ფიზიკა

11

მოსწავლის წიგნი

Don't copy

Don't copy

შინაარსი

თემა I. ელექტრომაგნიტური მოვლენები

პროექტი №1: სამხრეთი მაჩვენებელი“ 7
1.1. შესავალი: „მაგნიტზე, მაგნიტურ სხეულებსა და დიდ მაგნიტზე – დედამიწაზე“ 11
1.2. როგორ იწყებოდა ელექტროდინამიკა 20
პროექტი №2: ელექტრომაგნიტი, „მოლაპარაკე ელვა“ და სხვა... 24
1.3. დენიანი გამტარის მაგნიტური ველი 28
პროექტი №3: მუდმივი დენის ელექტროძრავა 35
1.4. ამპერის კანონი 38
1.5. ფიზიკა ამოცანებში: ამპერის ძალა 43
1.6. ნივთიერების მაგნიტური თვისებები 48
1.7. ლორენცის ძალა 58
1.8. ფიზიკა ამოცანებში: ლორენცის ძალა 63
1.9. ფარადეის ცდები 75
1.10. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი 83
1.11. ფიზიკა ამოცანებში: ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა 88
1.12. თვითინდუქცია 94
შეამოწმე შენი ცოდნა. ტესტი №1 99
I თემის დამატებითი კითხვები, ამოცანები 102
I თემის მოკლე შინაარსი 110

თემა II. რხევები და ტალღები

პროექტი № 4: ფიზიკა გულისცემის ხმით 121
2.1. მექანიკური რხევა 126
2.2. ჰარმონიული რხევა 135
2.3. რეზონანსი 146
2.4. ფიზიკა ამოცანებში: ქანქარიანი საათი 155
2.5. მექანიკური ტალღა 161
პროექტი №5: „თიხა მღერის“... 172
2.6. ბგერითი ტალღები 177
2.7. ტალღური მოვლენები 186
2.8. ფიზიკა ამოცანებში: დოპლერის ეფექტი 192
2.9. თავისუფალი ელექტრული რხევები 196
2.10. ცვლადი დენის გენერატორი 206
2.11. ცვლადი დენის წრედი 212
2.12. ტრანსფორმატორი 223

Don't copy

2.13. ელექტრომაგნიტური ტალღები 228
2.14. ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალა 236
შეამოწმე შენი ცოდნა. ტესტი №2 242
II თემის დამატებითი კითხვები, ამოცანები 245
II თემის მოკლე შინაარსი 257

თემა III. გეომეტრიული ოპტიკა

„წითელი წანაცვლება“ 269
3.1. შესავალი: სინათლე - ელექტრომაგნიტური ტალღა 274
პროექტი №6: კამერა - ობსკურა 282
3.2. სინათლის წრფივი გავრცელება 285
3.3. სინათლის არეკვლა 292
პროექტი №7: ატმოსფერული მირაჟი 303
3.4. სინათლის გარდატეხა 305
3.5. ლინზები 317
პროექტი №8: ლინზები – ხიდი შეუცნობლისკენ 325
3.6. გამოსახულების აგება ლინზაში 329
შეამოწმე შენი ცოდნა. ტესტი №3 338
III თემის დამატებითი კითხვები, ამოცანები 341
IIII თემის მოკლე შინაარსი 348

თემის შემაჯამებელი ტესტების პასუხები 356
დამატებითი კითხვების, ამოცანების პასუხები 356
ფიზიკურ სიდიდეთა ცხრილები 363
დანართი. კვლევითი სამუშაოს ანგარიში 364

Don't copy

სახელმძღვანელოში მოცემული მასალა თქვენგან აქტიურ მონაწილეობას მოითხოვს. ამ მიზნით მასში ჩართულია მრავალფეროვანი სავარჯიშოები, რომელთაგან ნაწილს მასწავლებლის ხელმძღვანელობით მთელი კლასი ერთად შეასრულებს, ნაწილი კი ინდივიდუალური, წყვილებში და ჯგუფური მუშაობისათვის არის განკუთვნილი. მათი ამოცნობა არ გაგიჭირდებათ, რადგან თითოეული მათგანი წიგნში შესაბამისი სიმბოლოთი (ლოგოთი) არის აღნიშნული:

1.2.1 დავალების ნომერი (მაგ., I თემის მე-2 პარაგრაფის დავალება 1).

ინდივიდუალური სამუშაო

წყვილებში სამუშაო

ჯგუფური სამუშაო

ცდის ჩატარება სიფრთხილეს მოითხოვს!

საინტერესო, დამატებითი ინფორმაცია

ცდის ჩატარებისას საჭირო აღჭურვილობა:


წინსაფარი


ნიღაბი


ხელთათმანები


მექანიკური დაზიანებისგან დამცავი სათვალე


გამოსხივებისგან დამცავი სათვალე

გამაფრთხილებელი ნიშნები


ცხელი ზედაპირი


მომწამვლელი ნივთიერება


ცეცხლსაშიშია


ვარდნილი სხეულების საფრთხე


მსხვრევადი ჭურჭელი


მჩხვლეტავი საგნები


სტატიკური ელექტრობა


ლაზერის გამოსხივება

ელექტრული დენის საფრთხე:





Don't copy

წიგნის ინტერაქტიული ვებ-გვერდი შეგიძლია ნახო შემდეგ მისამართზე:

http://bitly.ws/Atiz

გვერდზე განთავსებულია წიგნში გამოყენებული ყველა ონლაინ რესურსი (ვირტუალური ლაბორატორია, ვიდეო, დამატებითი ტექსტური ინფორმაცია), ის ინტერაქტიული ანიმაციები, რომლებიც სპეციალურად წიგნისთვის შეიქმნა.

Don't copy

პროექტი №1: „სამხრეთის მაჩვენებელი“



სურ. 1



სურ. 2

თუ ღამის ცას ყურადღებით დააკვირდები, ცის თაღის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე შვიდ კაშკაშა ვარსკვლავს შეუიარაღებელი თვალითაც შეამჩნევ. მათი განლაგება „ჩამჩას“ მოგაგონებს (სურ.1): ეს **დიდი დათვის თანავარსკვლავედის** ყველაზე მკაფიო ვარსკვლავებია. თანავარსკვლავედს **„დიდ ჩამჩასაც“** უწოდებენ.

უძველესი დროიდან „დიდი ჩამჩის“ დახმარებით ადამიანებს შეეძლოთ განესაზღვრათ **პოლარული ვარსკვლავის** ადგილმდებარეობა, რომელიც დედამიწის ჩრდილოეთის მანიშნებელია: თუ „დიდი ჩამჩის“ ორ კიდურა ვარსკვლავს (მერაკსა და დუბჰეს) წარმოსახვითი სწორი ხაზით შეაერთებ და გააგრძელებ, ცაზე **„პატარა ჩამჩასაც“** აღმოაჩენ, რომელიც **პატარა დათვის თანავარსკვლავედის** სახელითაა ცნობილი. ჩრდილოეთის მანიშნებელი პოლარული ვარსკვლავი სწორედ მისი „სახელურის“ კიდურა ვარსკვლავია...

ჩვენს წელთაღრიცხვამდე III საუკუნეში ჩინელმა ფილოსოფოსმა ჰენ ფეი-ცუმ აღწერა მოწყობილობა, რომელსაც **სინანი**, ანუ **„სამხრეთის მაჩვენებელი“**, ერქვა. სინანი ორი ნაწილისგან შედგებოდა: „ჩამჩისა“ და სპილენძის (ან ხის) „თეფშისგან“ (სურ. 2).

სინანის „ჩამჩა“ დიდი დათვის თანავარსკვლავედის ფორმას იმეორებს. ის **ბუნებრივი მაგნიტისაგან** (მაგნეტიტისგან, ანუ მაგნიტური რკინაქვისგან) დამზადებული ნახევარსფეროა, რომელსაც სახელური აქვს. „ჩამჩას“ სპილენძის გაპრიალებულ სადგამზე („თეფშზე“) ამობურცული ზედაპირით ათავსებდნენ და ატრიალებდნენ: „ჩამჩა“ ვერტიკალური ღერძის გარშემო ტრიალებდა და გაჩერებისას მისი სახელური ყოველთვის სამხრეთისკენ იყო მიმართული, ნახევარსფერო კი პოლარულ ვარსკვლავს „უყურებდა“.

სინანი **კომპასის** შორეული წინაპარია, თუმცა მას გარემოში ორიენტირებისთვის არ იყენებდნენ. სინანს სარიტუალო დანიშნულება ჰქონდა და მისი დახმარებით ჩინელი „მაგები“ მომავლის წინასწარმეტყველებას ცდილობდნენ...

გაიგე უფრო მეტი: http://bitly.ws/yvD6

Don't copy



სურ. 3. რეკონსტრუქცია

ძვ.წ. 1100 წლით დათარიღებულ ჩინურ ქრონიკებში კი აღწერილია „სამხრეთის მაჩვენებელი“, რომელსაც როგორც კომპასს, ისე იყენებდნენ: ორთვალა ეტლზე დამაგრებულ ადამიანის მინიატურულ ფიგურას გაწვდილ ხელზე მაგნიტი ჰქონდა მიმაგრებული (სურ.3). ეტლი სატრანსპორტო საშუალებებზე მაგრდებოდა და ფიგურის ხელი ყოველთვის სამხრეთს უჩვენებდა, მიუხედავად იმისა, რომელი მიმართულებით მოძრაობდა ტრანსპორტი.

ის ფაქტი, რომ **მაგნიტი სივრცეში ისე ორიენტირდება, რომ მისი ერთი ბოლო ყოველთვის სამხრეთს აჩვენებს, ხოლო მეორე პოლარული ვარსკვლავისკენაა (ჩრდილოეთისკენაა) მიქცეული**, უხსოვარი დროიდან იყო ცნობილი არა მარტო ჩინეთში, არამედ საბერძნეთსა და ინდოეთშიც. თუმცა დიდი ხნის განმავლობაში სივრცეში ორიენტირებას ადამიანები მაინც დღისით მზისა და ღამით პოლარული ვარსკვლავის ადგილმდებარეობის მიხედვით ცდილობდნენ. ეს კი ხშირად (მაგ., მოღრუბლულ ამინდში) შეცდომის მიზეზი ხდებოდა და მოგზაურთათვის საბედისწეროდ მთავრდებოდა...

კომპასის განვითარების ისტორია, სინანიდან შედარებით სრულყოფილ მოწყობილობამდე, მრავალ საუკუნეს ითვლის.

სინანის მთავარი ნაკლი ის იყო, რომ მისი „ჩამჩის“ თავისუფლად ორიენტირებას ხელს „თეფშთან“ ხახუნი უშლიდა. ამას გარდა, ის საკმაოდ მძიმე და სატარებლად მოუხერხებელი იყო.

პირველად ჩინეთში XI საუკუნეში გამოჩნდა კომპასი, რომლის დახმარებით გაცილებით ზუსტად შეიძლებოდა სივრცეში მიმართულების განსაზღვრა. ეს **„სველი“ კომპასი** იყო, რომლის ისარი **ხელოვნური მაგნიტისგან** იყო დამზადებული და წყალში ცურავდა.



სურ. 4.

იმ დროისთვის ჩინელებისთვის უკვე ცნობილი იყო ხელოვნური მაგნიტის დამზადების რამდენიმე ხერხი. მაგ., მათ შეამჩნიეს, რომ რკინის სხეული შეიძლება დამაგნიტდეს (შეიძინოს მაგნიტის თვისება), თუ ის ბუნებრივი მაგნიტის სიახლოვესაა ან მას ეხება, როცა მას უროს ურტყამენ, ან როცა გავარვარებული რკინა ცივდება...

„სველი“ კომპასის ხელოვნური მაგნიტისგან დამზადებულ „ისარს“ თევზის ფორმა ჰქონდა (სურ. 4). „თევზს“ წყლიან ჭურჭელში ათავსებდნენ: ის თავისუფლად ცურავდა წყლის ზედაპირზე და მისი ჩვენება გაცილებით ზუსტი იყო, ვიდრე სინანის. წყლის ზედაპირზე „თევზი“ ისე ორიენტირდებოდა, რომ მისი თავი სამხრეთს უჩვენებდა, ბოლო კი – ჩრდილოეთს. ამგვარ კომპასს ჩინელებმა უწოდეს **„თევზი, რომელიც სამხრეთს უჩვენებს“**.

დავალება 1. **დაამზადე „თევზი, რომელიც სამხრეთს უჩვენებს“, ანუ „სველი“ კომპასი.**

დავალების შესასრულებლად დაგჭირდება: ფართო ჭურჭელი, წყალი, პენოპლასტის თეფში, ჩვეულებრივი საკერავი ნემსი, მაგნიტი, კომპასი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. გამოჭერი პენოპლასტისგან თევზის ფორმის ფირფიტა (ფორმას მნიშვნელობა არ აქვს. შეგიძლია ნებისმიერი ფორმის ფირფიტა გამოჭრა და პენოპლასტი კორპით ჩაანაცვლო);

Don't copy

2. აავსე წყლით ჭურჭელი და მოათავსე წყლის ზედაპირზე „თევზი“ (სურ. 5);

3. დაამაგნიტე ნემსი: მოათავსე ნემსი მაგიდის ზედაპირზე და მისი ერთი ბოლო თითით დააფიქსირე. გაუსვი მაგნიტი რამდენჯერმე (10 – 20-ჯერ) ნემსის გასწვრივ, მთელ სიგრძეზე, ერთი მიმართულებით (სურ.6);

4. შეამოწმე, დამაგნიტდა თუ არა ნემსი: თუ ის მეორე ნემსს მიიზიდავს, მაშინ დამაგნიტების პროცესი წარმატებულია, ხოლო თუ არ მიიზიდავს, დამაგნიტების პროცესი გაიმეორე;

5. მოათავსე ნემსი თევზის ზედაპირზე (სურ. 5) და განსაზღვრე კომპასის დახმარებით: რა მიმართულებით ორიენტირდა „თევზი“;



სურ. 5

6. სცადე ნემსის დამაგნიტება სხვადასხვა ხერხითაც:

ა) გაახახუნე მაგნიტზე, აბრეშუმისა და ბამბის ქსოვილზე, ხის ნაჭერზე, ქაღალდის ფურცელზე;

ბ) მოათავსე ნემსი კომპასის ისრის გასწვრივ და მის ერთ ბოლოზე პატარა ჩაქუჩი რამდენჯერმე მსუბუქად დაარტყი;

გ) გაახურე ნემსის ერთი ბოლო ცეცხლის ალზე და სწრაფად გააცივე;

დ) დაახვიე ნემსზე იზოლირებული წვრილი მავთული და მიუერთე მისი ბოლოები ბატარეას დაახლოებით 3-5 წუთის განმავლობაში;



სურ. 6

7. დააკვირდი:

ა) რა შემთხვევაში დამაგნიტდა ნემსი და ახსენი თითოეულ შემთხვევაში, რატომ იძენს ჩვეულებრივი ნემსი მაგნიტის თვისებას (იხ. § 1.6);

ბ) რა დროის განმავლობაში ინარჩუნებს ნემსი მაგნიტის თვისებებს;

გ) რაზეა დამოკიდებული, რამდენად ძლიერად დამაგნიტდება ნემსი;

მოგვიანებით კომპასის განსხვავებული, **„მშრალი“**, ვერსიები შეიქმნა. XI საუკუნის მე-2 ნახევარში ჩინელმა სწავლულმა, შენ გუამ (ჩვ. წ.1030 –1094) დამაგნიტებული ნემსი შუა ნაწილით ჯერ აბრეშუმის ძაფზე დაკიდა, ხოლო შემდეგ წვეტიან სადგამზე მოათავსა (ეს უკანასკნელი ძალიან ჰგავდა თანამედროვე კომპასს) ისე, რომ ნემსი ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში წონასწორობას ინარჩუნებდა.

შენ გუას „მშრალი“ კომპასის ჩვენება გაცილებით ზუსტი იყო, ვიდრე „სველი“ კომპასის, რადგან ნემსს საკიდზე (სადგამზე) თავისუფალი ბრუნვისას გარემოს მხრიდან უფრო ნაკლები წინააღმდეგობა ხვდებოდა. გარდა ამისა, „მშრალი“ კომპასი უფრო მცირე ზომისა და სატარებლად მოსახერხებელი იყო.

დავალება 2. დაამზადე „მშრალი“ კომპასი.

დავალების შესასრულებლად დაგჭირდება: მინის ცილინდრული ჭურჭელი, ფანქარი, აბრეშუმის ძაფი, ჩვეულებრივი საკერავი ნემსი, ქაღალდის პატარა ფურცელი (15 X 15 მმ), მაგნიტი, კომპასი.

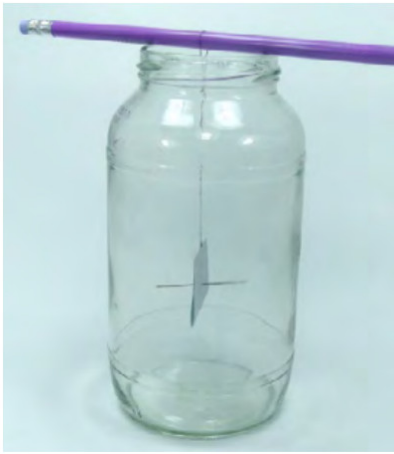
სამუშაოს მსვლელობა:

1. დაკიდე ფანქრის შუა ნაწილზე ძაფით ქაღალდის ფურცელი;

2. დაამაგნიტე ნემსი და ფურცლის ცენტრში მართობულად ჩაამაგრე;

3. ფანქარი ჭურჭლის კიდეზე მოათავსე (სურ. 7);

4. განსაზღვრე კომპასის დახმარებით: რა მიმართულებით ორიენტირდა ნემსი?



სურ. 7

Don't copy

თავისი მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების დროს შენ გუამ დაადგინა, რომ **კომპასის ისარი ზუსტად სამხრეთს არ უჩვენებდა:** ის სამხრეთის მიმართულებიდან გარკვეული კუთხით იხრებოდა (ეს ფაქტი ევროპელებმა მხოლოდ 400 წლის შემდეგ შეამჩნიეს, მანამდე კი თვლიდნენ, რომ კომპასის ისარს პოლარული ვარსკვლავი იზიდავდა).

XII საუკუნეში კომპასმა მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა ჩინეთის ძლიერი საზღვაო ფლოტის მფლობელ სახელმწიფოდ ჩამოყალიბებაში. მათი ყველა საზღვაო ხომალდი კომპასით იყო აღჭურვილი, რაც აადვილებდა შორეულ ქვეყნებთან საზღვაო მიმოსვლასა და, შესაბამისად, მათთან სოციალურ და ეკონომიკურ ურთიერთობებს.

XII საუკუნეში ჩინურმა კომპასმა არაბეთში შეაღწია, XIII საუკუნის დასაწყისში კი „მცურავი ნემსი“ ევროპელებისთვის გახდა ცნობილი.

ზოგიერთი ისტორიული წყაროს მიხედვით, ევროპული კომპასის შექმნას საფუძვლად არა ჩინელების, არამედ ძველი ბერძნების მიერ მაგნიტის შესახებ დაგროვილი ცოდნა დაედო. ისტორიას არ შემოუნახავს ზუსტი ცნობები იმაზე, თუ ვინ იყო კომპასის გამომგონებელი. ჩინური ხელნაწერების მიხედვით კომპასის ისტორია შეიძლება სინამდვილეს სულაც არ შეესაბამება, მაგრამ ფაქტი ფაქტად რჩება: **კომპასი ერთ-ერთი უდიდესი გამოგონებაა, რომელმაც მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა კაცობრიობის ისტორიაში და მისი მიმდინარეობა ფუნდამენტურად შეცვალა.**

რომ არა ის პირველაღმომჩენი, რომელიც მიხვდა ძირითად პრინციპს, თუ როგორ შეიძლება განსაზღვრო სივრცეში ჩრდილოეთისა და სამხრეთის მიმართულება მაგნიტური კომპასის დახმარებით, კაცობრიობას არ ექნებოდა თანამედროვე ნავიგაციის თანამგზავრული ტექნოლოგიები: მაგ., „ჯი-პი-ეს“ ნავიგატორები (სურ. 8), რომელთა დახმარებით შეგვიძლია დედამიწის ნებისმიერ წერტილში სასურველი მარშრუტის შესახებ უზუსტესი ინფორმაცია მივიღოთ.



სურ. 8

მაგნიტური კომპასი დღესაც ინარჩუნებს აქტუალურობას, მიუხედავად იმისა, რომ შეიქმნა განსხვავებული და გაცილებით ზუსტი კომპასებიც, რომელთაგან ზოგიერთის (მაგ., გიროკომპასის) მუშაობის პრინციპი მაგნიტურ მოვლენებს არ ეფუძნება.

წარმოადგინე შენ მიერ დამზადებული „სველი“ და „მშრალი“ „კომპასები“ და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის, რომლებსაც მაგნიტური კომპასის მოქმედება ეფუძნება (მაგ., რითია გამოწვეული კომპასის ისრის გარკვეული მიმართულებით ორიენტირების უნარი, რატომ მაგნიტდება გარკვეული ზემოქმედების შედეგად ნივთიერება, რომელსაც მაგნიტური თვისებები არ აქვს, რატომ არ მაგნიტდება ყველა ნივთიერება) (იხ. § 1.3, § 1.6);

2. რომელი გარე/შიდა ფაქტორები განაპირობებს მაგნიტური თვისებების მქონე ნივთიერების ფიზიკური თვისებების ცვლილებებს და რომელი ფიზიკური სიდიდეებით ხასიათდება ნივთიერების ეს თვისებები;

3. რა სახის ურთიერთქმედება გხვდება მაგნიტური კომპასის მოქმედებისას და როგორ აღიწერება ეს ურთიერთქმედება;

4. რომელი ძალის მოქმედების შედეგად ორიენტირდება მაგნიტური ისარი და რაზეა დამოკიდებული ამ ძალის მოქმედებით გამოწვეული შედეგები.

შენიშვნა: ზოგიერთი დავალების შესრულებას/ცდის შედეგის ახსნას, მოგვიანებით, შესაბამისი პარაგრაფის (მაგ., § 1.3 – § 1.6-ის) დამუშავების პროცესში შეძლებ;

Don't copy

1.1 შესავალი: „მაგნიტზე, მაგნიტურ სხეულებსა და დიდ მაგნიტზე – დედამიწაზე“



სურ. 1.1.1

მაგნიტური მოვლენები, ისევე როგორც ელექტრული, ადამიანისთვის უხსოვარი დროიდანაა ცნობილი. მაგნეტიზმის აღმოჩენას უამრავი ისტორია უკავშირდება, რომელთაგან ზოგი ლამაზი ლეგენდაა, ზოგი კი ნამდვილი ამბავი... თუმცა მათი ერთმანეთისგან გამიჯვნა ძალიან რთულია, იმდენად შორეულია წარსული, როცა მაგნიტის თვისებები პირველად აღმოაჩინეს.

რომაელი ფილოსოფოსის, „ბუნების ისტორიის“ ავტორის, **პლინიუს უფროსის** (ჩვ. წ. 23/24 – 79), მტკიცებით, პირველად „უცნაური ქვები“, რომლებიც რკინის სხეულებს იზიდავდა, მწყემსმა, სახელად **მაგნესმა**, აღმოაჩინა.

გადმოცემის მიხედვით, ამბავი, რომელიც მწყემს მაგნესს უკავშირდება, ძვ. წ.-ით 900 წელს მოხდა: მწყემსი საბერძნეთის ერთ-ერთ რეგიონში, რომელსაც **მაგნეზია** ერქვა, იდის მთის ფერდობზე ცხვარს აძოვებდა და სწორედ მაშინ შეამჩნია, რომ მის რკინისნალიან ფეხსაცმელს პატარ-პატარა შავი ქვები ეკვროდა...

უცნაური ქვები ფერდობზე უხვად იყო მიმობნეული და მათი მიზიდულობის გამო მწყემსის რკინისწვეტიანი ხელჯოხი კლდის ქიმს ისე ძლიერად მიეკრა, რომ მაგნესს საკმაოდ დიდი ძალისხმევა დასჭირდა, ჯოხი რომ დაებრუნებინა (სურ. 1.1.1). „ქვას“, რომელიც რკინის სხეულებს იზიდავდა, მწყემსი მაგნესის ან, სულაც, მაგნეზიის პატივსაცემად, **მაგნიტი** უწოდეს...

ბერძენი ფილოსოფოსი, **პლატონი** (ძვ. წ. 428/427 ან 424/423 — 348/347), კი ამტკიცებს, რომ სახელწოდება **მაგნიტი** (მაგნეტიტი, „magnetis“) პირველად ძველმა ბერძენმა დრამატურგმა ევრიპიდემ (ძვ. წ. 480 – 406) გამოიყენა, რადგან მიზიდვის უნარის მქონე „ქვებს“ ხშირად ქალაქ **მაგნესიის** (უძველესი ქალაქი ლიდიაში, მდებარეობდა ამჟამინდელი თურქეთის ქალაქის, მანისის, ადგილას) მახლობლად პოულობდნენ. ევრიპიდემ თავის ერთ-ერთ ნაწარმოებში აღწერა კიდეც მისი თვისებები.

1.1.1. ბუნებრივი მაგნიტი – „მოსიყვარულე ქვა“

ბუნებრივი მაგნიტი (სურ. 1.1.2) ან, როგორც მას ადრე უწოდებდნენ, **მაგნიტური რკინაქვა**, **მაგნეტიტი** – შავი ფერის ფართოდ გავრცელებული მინერალია, ქიმიური შემადგენლობით: $FeO.Fe_2O_3$.

მაგნიტს სხვადასხვა ხალხი განსხვავებულად მოიხსენიებდა: უხსოვარ დროს, როცა არც ქალაქ მაგნესიის შესახებ იცოდნენ რამე და არც ბერძენი მწყემსის სახელი ჰქონდათ გაგონილი, ამ „უცნაურ“ ქვებს ჩინელებმა „ჩუ-ში“ შეარქვეს.

ბერძნებმა – „ადამასი“, „კალამიტა,“ „ჰერკულესის ქვა“;
ფრანგებმა – „აიმანი“;
ინდუსებმა – „თხუმბაკა“;
ეგვიპტელებმა – „ორას ძვალი“;
ესპანელებმა – „პიედრამანი“;
გერმანელებმა – „ლიბენშტაინი“,
ინგლისელებმა – „ლოუდსტოუნი“...



სურ. 1.1.2.

ამ სახელწოდებების უმრავლესობა ითარგმნება, როგორც **„მოსიყვარულე ქვა“**, რაც მეტაფორულად გამოხატავს მაგნიტის თვისებას, მიიზიდოს, „უყვარდეს“ რკინის სხეულები...

Don't copy



სურ. 1.1.3. "Epistola de Magnete". 1558

სავარაუდოა, რომ ბუნებრივი მაგნიტის (მაგნეტიტის) უჩვეულო თვისებების შესახებ მესოპოტამიაში ჯერ კიდევ ბრინჯაოს ხანაში (ძვ. წ. 3300 – 1200) იყო ცნობილი...

ბუნებრივი მაგნიტების თვისებები აღწერილია ძველ ჩინეთში გამოცემულ ტრაქტატში „ოსტატი ლიუს გაზაფხულისა და შემოდგომის ჩანაწერები“, რომელიც ძვ. წ. 240 წლით თარიღდება. ჩინელებმა აღმოაჩინეს, რომ **მაგნიტი სპილენძს და კერამიკას არ იზიდავს,** მათ შეამჩნიეს, რომ:

1. თუ ჩვეულებრივ ნემსს მაგნიტზე რამდენჯერმე ერთი მიმართულებით ძლიერად გაუსვამ, ის **დამაგნიტდება: მაგნიტის თვისებებს შეიძენს;**

2. ძაფზე დაკიდებული დამაგნიტებული ნემსი ერთი ბოლოთი პოლარული ვარსკვლავის მიმართულებით „იხედება“.

პირველი ევროპელი, რომელმაც ბუნებრივი მაგნიტის თვისებები აღწერა, ფრანგი მეცნიერი და ინჟინერი **პიერ პელერენ დე მარიკური** იყო, რომელსაც საზოგადოება ფსევდონიმით, **პიერ პელეგრინის** სახელით იცნობდა.

პელეგრინი 1269 წელს მეგობარს უგზავნის წერილს, რომელიც მეცნიერების ისტორიაში შევიდა, როგორც „წერილი მაგნიტზე“ („Epistola de Magnete“) (სურ.1.1.3).

წერილში პერეგრინი წერს, რომ **მაგნიტის თითოეულ ნატეხს მკვეთრად გამორჩეული ორი ადგილი აქვს,** რომლებიც განსაკუთრებული სიძლიერით იზიდავს რკინის სხეულებს და აღწერს რამდენიმე მეთოდს, როგორ უნდა იპოვო ეს ადგილები.

პერეგრინი თავის ცდებში სფერული ფორმის მაგნიტს იყენებდა და სწამდა, რომ მისი მიზიდულობა კოსმოსთან იყო დაკავშირებული. ის სფერულ მაგნიტსა და ცის თაღს შორის პარალელს ავლებდა:

„...შენ უნდა იცოდე, რომ ქვა თავის თავში ცას მოიცავს. ცის თაღზე ორი მნიშვნელოვანი წერტილია, რომელთა გარშემოც ციური სფერო მოძრაობს. ერთ მათგანს **არქტიკული,** ანუ **ჩრდილო პოლუსი** ჰქვია, ხოლო მეორეს – **ანტარქტიკული**, ანუ **სამხრეთი პოლუსი**. ამ ქვაშიც (მაგნიტშიც), მსგავსად ცისა, **ორი ადგილია: ერთი – ჩრდილო და მეორე – სამხრეთ პოლუსი**...“ – წერდა თავის წერილში პერეგრინი.

პერეგრინის თქმით, **თუ მაგნიტს ორ ნაწილად გავყოფთ, თითოეულ ნაწილს კვლავ ორი პოლუსი ექნება.**

ის აღწერდა მაგნიტების ურთიერთქმედებას და აღნიშნავდა, რომ **მაგნიტების სხვადასხვა სახელიანი პოლუსები ერთმანეთს მიიზიდავს, ხოლო ერთსახელიანი – განიზიდავს.**

წერილში აღწერილია კომპასის ისრის დამაგნიტების ხერხიცა და კომპასის გამოყენების წესიც...

პერეგრინის წერილი იმ სამეცნიერო ლიტერატურის ჩამონათვალში შედიოდა, რომელსაც მეცნიერები და მკვლევრები XVII საუკუნემდე დიდი პატივისცემით იმოწმებდნენ. ის დღესაც არ კარგავს აქტუალურობას: 2005 წელს დედამიწის შესახებ მეცნიერებათა ევროპულმა კავშირმა დააარსა პიერ პერეგრინის სახელობის ჯილდო („Petrus Peregrinus Medal“), რომელიც მეცნიერებს მიენიჭება „გამორჩეული წვლილისთვის მაგნეტიზმისა და პალეომაგნეტიზმის განვითარების საქმეში“.

პერეგრინის ჩანაწერები კარგად იყო ცნობილი ინგლისის დედოფალ ელისაბედ I-ის კარის ექიმის, სწავლულისა და ბუნებისმეტყველის, **უილიამ გილბერტისთვის**

DonFCOP

(1544 – 1603), რომლისთვისაც პროფესიულ ინტერესს წარმოადგენდა მაგნიტის თვისებების გამოკვლევა. ის თვლიდა, რომ მაგნიტს გამაჯანსაღებელი გავლენა ჰქონდა ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

1600 წელს გილბერტმა **„მაგნიტზე, მაგნიტურ სხეულებსა და დიდ მაგნიტზე – დედამიწაზე“** ექვსტომიანი ნაშრომი გამოაქვეყნა. წიგნში მან ბუნებრივ მაგნიტსა და რკინის დამაგნიტებაზე არა მარტო მანამდე ცნობილი ფაქტები აღწერა, არამედ საკუთარი ცდებიც, რომლებსაც სფერულ მაგნიტზე ატარებდა.

გილბერტმა აღმოაჩინა, რომ მაგნიტი გაცხელებისას თავის თვისებას კარგავს. ის იყო პირველი, ვინც მაგნიტის მიზიდულობა, რომელსაც მაგნიტის „სულით“ ხსნიდა, დაელექტროებული ქარვის მიზიდულობისგან გამიჯნა...

გილბერტის წიგნი იმ დროისთვის მნიშვნელოვანი და ნოვატორული ნაშრომი იყო, რომელიც ღირსეულად იქნა დაფასებული როგორც თანამედროვეთა, ისე შთამომავლობის მიერ.

1.1.2. ხელოვნური მაგნიტი

ბუნებრივი მაგნიტი (მაგნეტიტი) იზიდავს არა მარტო რკინისა და ფოლადის, არამედ ნიკელისა და კობალტის სხეულებსაც, თუმცა მაგნეტიტის მაგნიტური თვისებები არც ისე ძლიერია. მოგვიანებით ადამიანებმა ისწავლეს **ხელოვნური მაგნიტის** შექმნა, რომელიც გაცილებით ძლიერი მაგნიტური თვისებებით ხასიათდება, ვიდრე ბუნებრივი. მათ შეამჩნიეს, რომ რკინა, ფოლადი, ნიკელი, კობალტი მაგნიტის სიახლოვეს ან მასთან შეხებისას თავადაც იძენს მაგნიტურ თვისებას – **მაგნიტდება** (ამაში შენც დარწმუნდები, თუ რკინის ლურსმანს მაგნიტზე რამდენჯერმე გაუსვამ ერთი მიმართულებით, ხოლო შემდეგ რკინის პატარა სხეულებს (ქაღალდის სამაგრს, ქინძისთავს) მიუახლოებ).

ხელოვნურ მაგნიტებს მიეკუთვნება ელექტრომაგნიტიც, რომელსაც მოგვიანებით უკეთ გავეცნობით. **ხელოვნური მაგნიტები სხვადასხვა ფორმისაა,** მაგ., **ზოლისებრი, რგოლისებრი, ნალისებრი** (სურ. 1.1.4).



ზოლისებრი რგოლისებრი ნალისებრი

სურ. 1.1.4

1.1.3. მაგნიტის თვისებები

ჩაატარე მარტივი ცდები და დააკვირდი მაგნიტის ზოგიერთ თვისებას:

ცდა 1

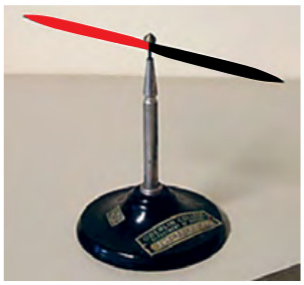
მოათავსე ზოლისებრი მაგნიტი ლითონის ჭანჭიკებითა და ქაღალდის სამაგრებით სავსე ყუთში.

დააკვირდი: ერთნაირად მიიზიდა თუ არა მაგნიტის ყველა უბანმა ლითონის სხეულები?

გამოთქვი ვარაუდი: არის თუ არა მაგნიტის მიზიდულობა მის მთელ სიგრძეზე ერთნაირი სიძლიერის?

Don't copy

ცდა II



სურ. 1.1.5

1.

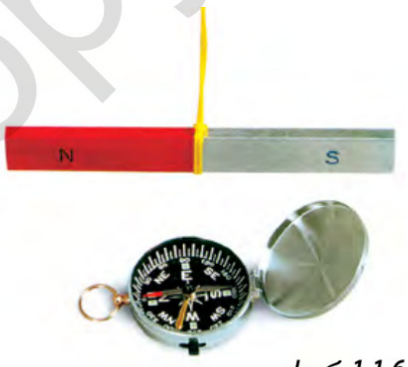
ა) პატარა ზოლისებრი მაგნიტი შუა ნაწილით დაკიდე ძაფზე ისე, რომ ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში გაწონასწორდეს;

ბ) მოათავსე მაგნიტური ისარი (ხელოვნური მაგნიტისგან დამზადებული ისრის ფორმის მაგნიტი) წვეტიან სადგამზე ისე, რომ თავისუფლად ბრუნავდეს ვერტიკალური ღერძის გარშემო (სურ. 1.1.5).

2. მიაბრუნე მაგნიტური ისარი (ზოლისებრი პატარა მაგნიტი) სხვადასხვა მხარეს და **დააკვირდი** თითოეულ შემთხვევაში: როგორ ორიენტირდება ისარი (ზოლისებრი პატარა მაგნიტი) გაჩერების შემდეგ?

მაგნიტის მთელ სიგრძეზე მისი მიზიდულობის უნარი ერთნაირი არ არის. მაგნიტის იმ უბნებს, რომელთა მახლობლადაც ყველაზე ძლიერია მაგნიტის მიზიდულობა, **პოლუსები** ჰქვია. თითოეულ მაგნიტს ორი პოლუსი აქვს.

მაგნიტურ ისარსაც, როგორც ყველა მაგნიტს, ორი პოლუსი აქვს. მაგნიტური ისარი ყოველთვის ერთი წრფის გასწვრივ ორიენტირდება: ისრის ერთი ბოლო მუდმივად დედამიწის ჩრდილოეთისკენაა მიმართული, ამიტომ მას ისრის (მაგნიტის) **ჩრდილო** (North) **პოლუსი** (N) უწოდეს. მაგნიტური ისრის მეორე ბოლო კი სამხრეთისკენაა მიმართული და, შესაბამისად, მას ისრის (მაგნიტის) **სამხრეთი** (South) **პოლუსი** (S) ჰქვია.

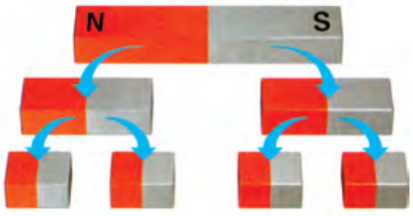


(N და S სიმბოლოები ნებისმიერი მაგნიტის პოლუსების აღსანიშნავად გამოიყენება. ხშირად მაგნიტის პოლუსებს განსხვავებული ფერითაც ღებავენ).

მაგნიტური ისრის თვისება გამოყენებულია კომპასში: კომპასის მაგნიტური ისრის ერთი ბოლო ყოველთვის დედამიწის ჩრდილოეთისკენაა მიმართული, მეორე კი – სამხრეთისკენ (სურ.1.1.6).

სურ. 1.1.6

ერთპოლუსიანი მაგნიტი არ არსებობს. მეცნიერებმა მრავალი ცდა ჩაატარეს იმისათვის, რომ ერთპოლუსიანი მაგნიტი მიეღოთ, მაგრამ ამაოდ. ყველა ცდა, გაეცალკევებინათ მაგნიტის პოლუსები, უშედეგოდ დამთავრდა: თუ მაგნიტს შუაზე გაჭრი, ორ პატარა მაგნიტს მიიღებ, რომლებსაც ისევ ორი პოლუსი ექნება (სურ.1.1.7).



სურ. 1.1.7

ცდა III

მიუახლოე მაგნიტები ერთმანეთს:

ა) ერთნაირი პოლუსებით;

ბ) განსხვავებული პოლუსებით.

დააკვირდი: როგორ ურთიერთქმედებს ისინი?

მაგნიტები ურთიერთქმედებს: მაგნიტის ერთნაირი პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავს, განსხვავებული პოლუსები კი – მიიზიდავს (სურ.1.1.8).

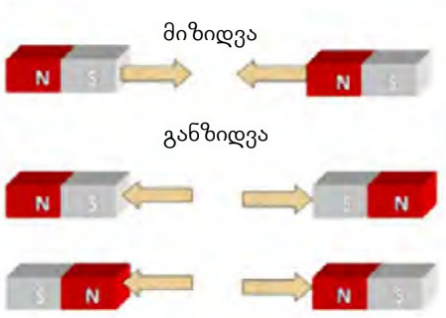
სწორედ მაგნიტების ურთიერთქმედებით აიხსნება მოვლენა, რომელიც **„მაგნიტური ლევიტაციის“** სახელითაა ცნობილი: თუ რგოლისებრ მაგნიტებს ვერტიკალურ ღერძზე

Don't copy

ისე განალაგებ, რომ ისინი ერთმანეთისკენ ერთნაირი პოლუსებით იყოს მიქცეული, მაგნიტები ჰაერში „დაეკიდება“, ილივლივებს, ანუ, როგორც ამბობენ ხოლმე, ერთ მაგნიტი მეორის თავზე ლევიტირებს („levitation“ „ფრენას“ ნიშნავს) (სურ.1.1.9).

მაგნიტური ლევიტაციის მოვლენა უდევს საფუძვლად 1.1.10 სურათზე გამოსახული სუვენირის მოქმედებასაც: გლობუსი საკიდზე კი არ კიდია, ჰაერში ლივლივებს. ნახე ვიდეო:

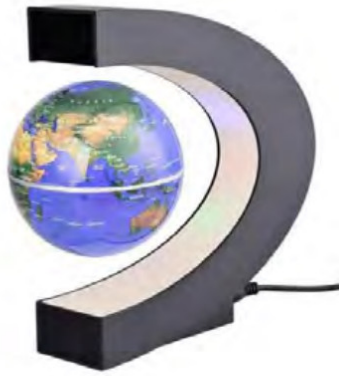
http://bitly.ws/ACHg
http://bitly.ws/ACHr



სურ. 1.1.8

„მაგნიტური ლევიტაციის“ მოვლენას ეფუძნება სატრანსპორტო სფეროში ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი მიღწევა – **მაგლევი** („მაგნიტური ლევიტაცია“): მაგლევი ლიანდაგების თავზე მოლივლივე მატარებელია. ის მაგნიტური ველის გავლენით თითქმის ხახუნის გარეშე მოძრაობს და რეკორდულ სიჩქარეს (დაახლოებით 600 კმ/სთ-ს) ავითარებს.


სურ. 1.1.9


სურ. 1.1.10

1.1.4. მაგნიტური ველი

როგორ იზიდავს მაგნიტი რკინის (ფოლადის) სხეულებს? როგორ ურთიერთქმედებს მაგნიტები? მაგნიტის „უცნაურ“ თვისებაზე, მიიზიდოს რკინის სხეულები ისე, რომ არც კი შეეხოს მას, ჯერ კიდევ ძველი ბერძენი ფილოსოფოსი **თალეს მილეტელი** (ძვ. წ. 640-546) წერდა და „უცნაურობას“ მაგნიტში „სულიერი“ ძალის არსებობით ხსნიდა... მოგვიანებით კი ბერძენი მოაზროვნეები უხილავი ორთქლის არსებობაზეც მსჯელობდნენ, რომელიც, მათი აზრით, მაგნიტს გარს აკრავს და მას მიზიდულობის უნარს ანიჭებს...

შენ იცი, რომ ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების თანამედროვე თეორიის თანახმად, **ნებისმიერი დამუხტული სხეული თავის გარშემო ქმნის ელექტრულ ველს, რომლის საშუალებითაც სხვა დამუხტულ (ნეიტრალურ) სხეულთან ურთიერთქმედებს.**

ამ თეორიის თანახმად, ორი დამუხტული ნაწილაკის ურთიერთქმედება ასე აღიწერება: დამუხტული ნაწილაკები უშუალოდ არ მოქმედებს ერთმანეთზე. ერთი დამუხტული ნაწილაკის ელექტრული ველი მეორე ნაწილაკზე მოქმედებს და – პირიქით.

ანალოგიურად, **მაგნიტი თავის გარშემო ქმნის მაგნიტურ ველს, რომლის საშუალებითაც სხვა მაგნიტთან ურთიერთქმედებს:** ერთი მაგნიტის მაგნიტური ველი მეორე მაგნიტზე მოქმედებს და – პირიქით.

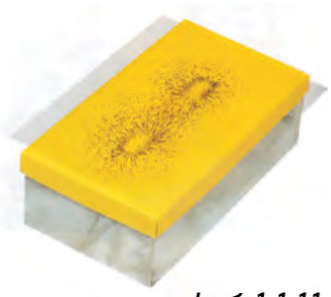
(მაგნიტის მიერ, მაგ., რკინის სხეულების მიზიდვაც მაგნიტური ველის საშუალებით ხდება, თუმცა ამ საკითხს მოგვიანებით განვიხილავთ).

მაგნიტური ველი (ისევე, როგორც ელექტრული, გრავიტაციული) მატერიის არსებობის ერთ-ერთი ფორმაა, რომელსაც ნივთიერებისგან განსხვავებული თვისებები აქვს. **მაგნიტური ველის აღმოჩენა მხოლოდ მისი მოქმედების შედეგადაა შესაძლებელი:** მაგნიტური ველი გარკვეული ძალით მოქმედებს მასში შეტანილ მაგნიტურ ისარზე (მიუახლოვე მუდმივი მაგნიტი მაგნიტურ ისარს და კიდევ ერთხელ დააკვირდი, როგორ მოქმედებს მაგნიტური ველი მასში მოთავსებულ მაგნიტურ ისარზე).

მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ველის „დანახვა“ რკინის ნაქლიბის დახმარებით შეიძლება. ჩაატარე ცდა:

Don't copy

ცდა IV



სურ. 1.1.11

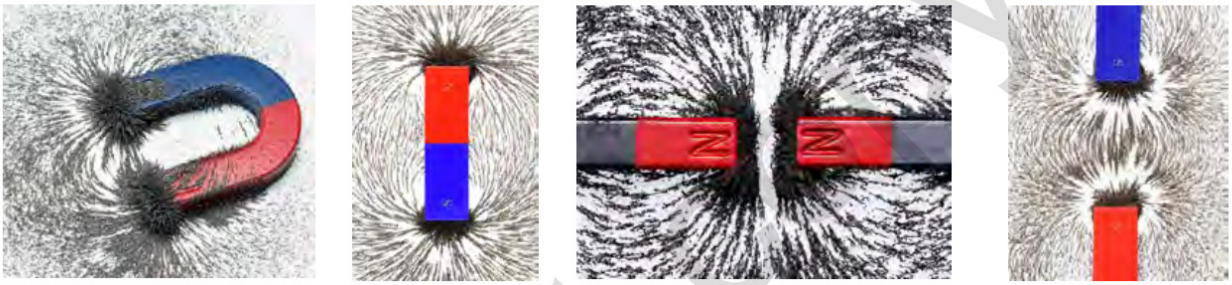
1. მოათავსე ზოლისებრი (ან სხვა ფორმის) მაგნიტი მუყაოს ყუთში (სურ.1.1.11);

2. ჩაყარე რკინის ნაქლიბი საცერში და მისი დახმარებით მინის ფირფიტაზე თანაბრად გაანაწილე;

3. მოათავსე მინის ფირფიტა ყუთის სახურავზე, ფანქრით ოდნავ მიუკაკუნე (რათა რკინის ნაქლიბის ნაწილაკებს ხახუნმა გადაადგილებაში ხელი არ შეუშალოს) და **დააკვირდი:** როგორ განლაგდა რკინის ნაქლიბი მინის ფირფიტაზე.

გამოთქვი ვარაუდი: რამ „აიძულა“ ნაქლიბი, რომ განლაგება შეეცვალა და უფრო მოწესრიგებულად განლაგებულიყო ფირფიტის ზედაპირზე (სურ.1.1.11)?

წირებს, რომელთა გასწვრივაც მაგნიტურ ველში რკინის ნაქლიბი განლაგდა, **მაგნიტური ველის წირები** ჰქვია. **დააკვირდი** სურათებს (სურ.1.1.12): მათზე გამოსახულია სხვადასხვა ფორმის მუდმივი მაგნიტის (მაგნიტების) მაგნიტურ ველში რკინის ნაქლიბის განლაგება, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, მაგნიტური ველი „დავინახოთ“.



სურ. 1.1.12

დააკვირდი რკინის ნაქლიბის „ქცევას“ მაგნიტურ ველში:
http://bitly.ws/yvNC http://bitly.ws/yvNE

1.1.12 სურათზე გამოსახული მაგნიტური ველის „სურათების“ მიღება ძალიან ადვილად შეგიძლია: ამისათვის მაგნიტი და რკინის ნაქლიბი დაგჭირდება. თუმცა ცდის დასრულებისას ნაქლიბის მაგნიტისგან მოშორება ძნელია. ამის თავიდან ასაცილებლად მაგნიტები წინასწარ პოლიეთილენის ერთჯერად პაკეტში მოათავსე და ცდის დასასრულს პაკეტი ფრთხილად ამოაბრუნე ისე, რომ რკინის ნაქლიბი მის შიგნით მოექცეს, ხოლო მაგნიტი გარეთ დარჩეს.

გახსოვდეს: მაგნიტური ველის ეკრანირება პოლიეთილენით, ქაღალდით, მინითს, ხით, ტყავით შეუძლებელია (მაგნიტური ველი აღწევს წყალშიც, ადამიანის სხეულშიც) (სურ.1.1.13).



სურ. 1.1.13

ცდა V

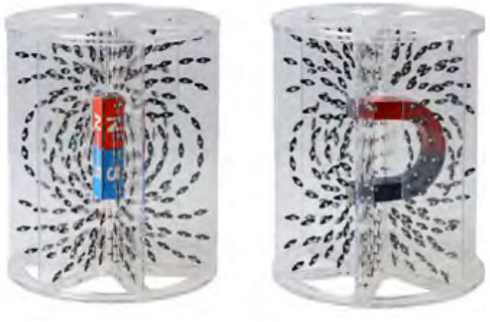
მოათავსე რამდენიმე მაგნიტური ისარი (ან კომპასი) მუდმივი ზოლისებრი ან ნალისებრი მაგნიტის სიახლოვეს (სურ.1.1.14).

დააკვირდი, როგორ განლაგდა მაგნიტური ისრები მუდმივი მაგნიტის გარშემო.

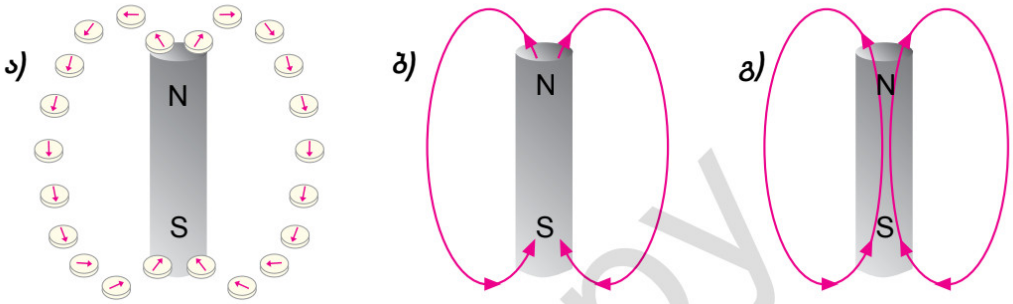
Don't copy

მაგნიტური ველის მიმართულებად მიჩნეულია ის მიმართულება, საითაც „იყურება“ ამ ველში მოთავსებული მაგნიტური ისრის ჩრდილო პოლუსი (სურ.1.1.15, ა), ანუ ჩრდილოეთიდან სამხრეთისკენ.

მაგნიტური ველის წირები შეკრული წირებია: ისინი მაგნიტის ჩრდილოეთ პოლუსიდან გამოდის და სამხრეთ პოლუსში შედის (სურ.1.1.15, ბ). მაგნიტის შიგნით კი წირები სამხრეთიდან ჩრდილოეთ პოლუსისკენაა მიმართული (სურ.1.1.15, გ).



სურ. 1.1.14



სურ. 1.1.15

1.1.5. დედამიწა – დიდი მაგნიტი

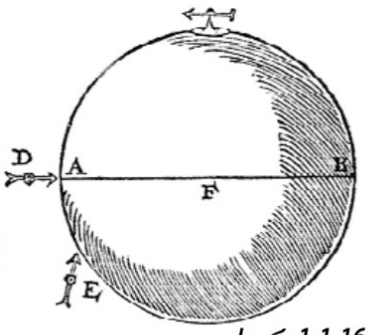
რატომ ორიენტირდება კომპასის ისარი ყოველთვის ერთი და იმავე მიმართულებით? რა „აიძულებს“ მაგნიტურ ისარს, მუდმივად ერთი მიმართულებით „იყუროს“?

XV საუკუნემდე ევროპელები თვლიდნენ, რომ კომპასის ისარს პოლარული ვარსკვლავი იზიდავდა. პირველი, ვინც შეამჩნია, რომ ისარი ზუსტად ჩრდილოეთს არ უჩვენებდა, **ქრისტეფორე კოლუმბი** იყო.

1492 წელს ესპანეთის სანაპიროდან სამი ხომალდისგან შემდგარი ექსპედიცია კოლუმბის ხელმძღვანელობით დასავლეთისკენ გაემართა. რამდენიმე დღის შემდეგ ხომალდის ეკიპაჟმა მოულოდნელად შეამჩნია, რომ კომპასის ისარი გადაიხარა და პოლარული ვარსკვლავისკენ აღარ იყო მიმართული. ფაქტმა მეზღვაურებში პანიკა გამოიწვია. ისინი მომხდარს ცუდი ამბის მაუწყებლად მიიჩნევდნენ და შეშინებულები უკან დაბრუნებას სთხოვდნენ კოლუმბს. კოლუმბმა, რომელმაც თავადაც ვერ ახსნა კომპასის ისრის გადახრა, მაინც მოახერხა მეზღვაურთა დარწმუნება იმაში, რომ „უცნაურად“ პოლარული ვარსკვლავი „იქცეოდა“ და არა კომპასი...

მეზღვაურებმა კაპიტანს დაუჯერეს და ექსპედიციამ გზა განაგრძო. გზის ბოლოს კი მათ უდიდესი გეოგრაფიული აღმოჩენა ელოდათ: ხომალდები მანამდე უცნობი კონტინენტის (ამერიკის) ნაპირს მიადგნენ...

თითქმის ორი საუკუნის შემდეგ კი **უილიამ გილბერტმა** ერთ-ერთმა პირველმა გამოთქვა ვარაუდი, რომ **დედამიწა გიგანტური მაგნიტია** და კომპასის ისარი არა პოლარული ვარსკვლავისკენ, არამედ სწორედ ამ დიდი მაგნიტის პოლუსისკენაა მიმართული. გილბერტმა თავისი ვარაუდი ცდით შეამოწმა: მან მაგნეტიტისგან დიდი გლობუსი დაამზადა (სურ.1.1.16), რომელსაც **„პატარა დედამიწა“** („terella“) უწოდა.



სურ. 1.1.16

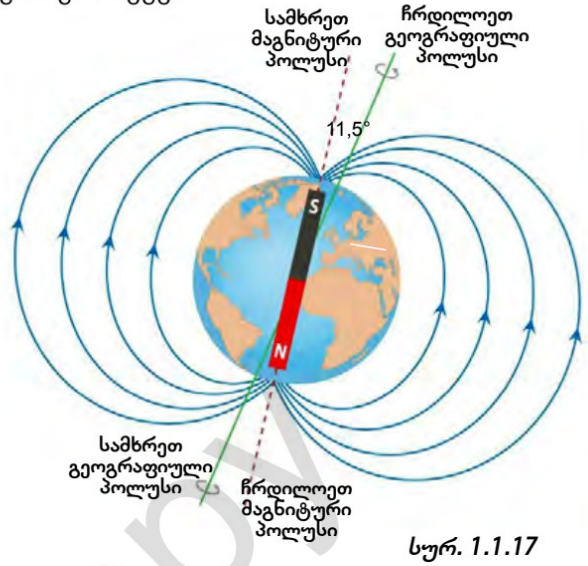
გილბერტმა შეამჩნია, რომ მაგნიტურ გლობუსს ორი პოლუსი ჰქონდა და გლობუსის ყველა წერტილში (პოლუსების გარდა) კომპასის ისარი გლობუსის ერთი პოლუსიდან მეორისკენ იყო მიმართული, პოლუსებზე კი ის ვერტიკალურად ჩერდებოდა...

Don't copy

„ჩვენი დედამიწა დიდი მაგნიტია“ – დაასკვნა გილბერტმა და მისი დასკვნის ჭეშმარიტება მოგვიანებით ჩატარებულმა კვლევებმა სრულად დაადასტურა.

დედამიწა ნამდვილად დიდი „მაგნიტია“, რომლის პოლუსებზე მაგნიტური ისარი ვერტიკალურად ორიენტირდება. თუმცა გილბერტი ცდებოდა: ის თვლიდა, რომ დედამიწის მაგნიტური პოლუსები მის გეოგრაფიულ პოლუსებს ემთხვევა.

დედამიწას გარს მაგნიტური ველი აკრავს, რომელსაც **გეომაგნიტურ ველს** უწოდებენ. გეომაგნიტური ველი ჩვენი პლანეტის „დაბადებიდან“ დაახლოებით 1 მილიარდი წლის შემდეგ წარმოიქმნა (დედამიწის ასაკი დაახლოებით 4,5 მილიარდი წელია).



სურ. 1.1.17

დედამიწის მაგნეტიზმს რამდენიმე განსხვავებული მოდელის მიხედვით შეისწავლიან. ერთ-ერთის მიხედვით, ჩვენი პლანეტა გიგანტური ზოლისებრი მაგნიტია, რომლის ცენტრი დედამიწის ცენტრს ემთხვევა, ხოლო მაგნიტურ პოლუსებზე გამავალი ღერძი დედამიწის ბრუნვის ღერძის მიმართ $11,5^0$-ით არის დახრილი (სურ.1.1.17).

არქტიკაში დედამიწის მაგნიტური ველის ის პოლუსი მდებარეობს, რომლისკენაც კომპასის ისრის ჩრდილოეთი ბოლოა მიმართული. ცხადია, ეს პოლუსი სამხრეთ მაგნიტურ პოლუსად უნდა ჩაითვალოს (რადგან სხვადასხვასახელიანი პოლუსები მიიზიდება!).

ანალოგიურად, ჩრდილო მაგნიტური პოლუსი სამხრეთ ნახევარსფეროში უნდა მდებარობდეს. **დედამიწის მაგნიტური ველის წირები „გიგანტური მაგნიტის“ ჩრდილო მაგნიტური პოლუსიდან გამოდის** (რომელიც სამხრეთ ნახევარსფეროში მდებარეობს) **და სამხრეთ პოლუსში შედის** (რომელიც ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მდებარეობს).

...თუმცა **მიღებულია, რომ მაგნიტურ პოლუსებს სახელები გეოგრაფიული პოლუსების მიხედვით დაერქვას** და არა ისე, როგორც ამას ფიზიკა გვკარნახობს. ამიტომ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მაგნიტურ პოლუსს ხშირად ჩრდილო მაგნიტურ პოლუსს უწოდებენ, ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროში – სამხრეთ მაგნიტურ პოლუსს (ასეა მიღებული საერთაშორისოდ აღიარებული კონვენციის მიხედვით).

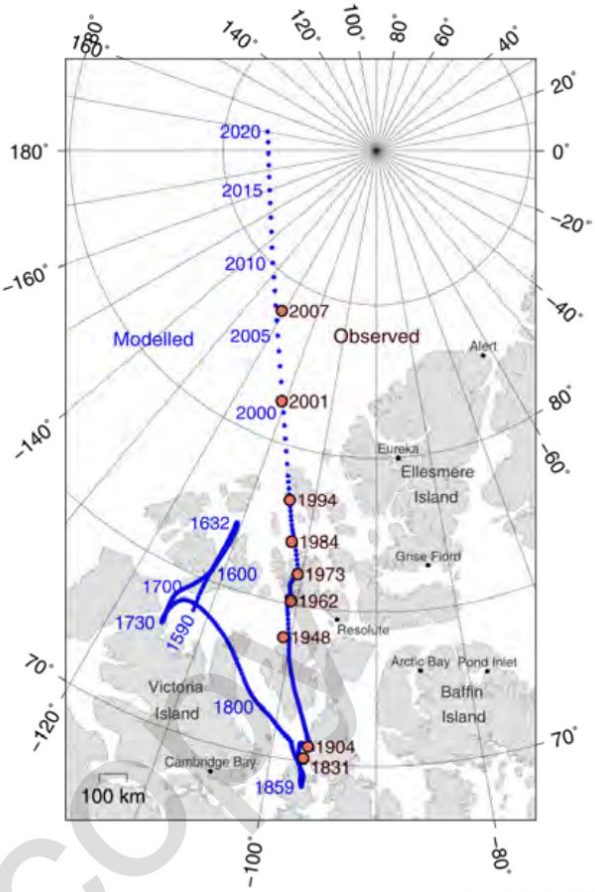
დედამიწის მაგნიტური პოლუსები პერიოდულად ერთმანეთს ადგილებს უცვლის, რაც საკმაოდ იშვიათი მოვლენაა. ცნობილია, რომ უკანასკნელად პოლუსები დედამიწის მაგნიტურმა ველმა 780 000 წლის წინ შეიცვალა.

დედამიწის მაგნიტური ველის პოლუსები გეოგრაფიულ პოლუსებს არ ემთხვევა: მაგნიტური პოლუსი გეოგრაფიული პოლუსიდან ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში დაახლოებით 2100 კმ-ით, ხოლო სამხრეთში – დაახლოებით 3000 კმ-ითაა დაშორებული (მაგნიტური პოლუსები გეომაგნიტური ველის არაერთგვაროვნების გამო დედამიწის ცენტრის მიმართ სიმეტრიულად არ არის განლაგებული). შესაბამისად, **კომპასის მაგნიტური ისრის მიმართულებაც გეოგრაფიული მერიდიანის მიმართულებას არ ემთხვევა** და **ის მხოლოდ მიახლოებით გვიჩვენებს ჩრდილოეთის მიმართულებას:** ისრის ჩრდილოეთი ბოლო ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მდებარე მაგნიტური პოლუსისკენაა მიმართული და არა პოლარული ვარსკვლავისკენ!

დედამიწის მაგნიტური ველის პოლუსები მდებარეობას გეოგრაფიული პოლუსების (დედამიწის ბრუნვის ღერძის პლანეტის ზედაპირთან გადაკვეთის წერტილების) მიმართაც იცვლის: ჩრდილოეთში მაგნიტური პოლუსი ჩრდილო-დასავლეთის მიმართულებით მოძრაობს (სიჩქარით 40 კმ წელიწადში), სამხრეთში კი – სამხრეთ-აღმო-

Don't copy

სავლეთის). სურათ 1.1.18-ზე ნაჩვენებია, როგორ იცვლებოდა ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მაგნიტური პოლუსის მდებარეობა წლების მიხედვით (პოლუსის ტრაექტორიის ის წერტილები, რომლებიც დაკვირვების შედეგადაა მიღებული, წითლადაა აღნიშნული, კომპიუტერული მოდელირების შედეგებს კი ლურჯი ფერის წერტილები ასახავს).



სურ. 1.1.18

დედამიწის მაგნიტური ველის არსებობა დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობისა და განვითარებისთვის ერთ-ერთი აუცილებელი პირობაა. ის პლანეტის გარშემო ქმნის **მაგნიტოსფეროს** – სივრცეს, რომელიც დედამიწას მზის ქარისა და კოსმოსური გამოსხივებისგან იცავს.

ნახე ვიდეო:
http://bitly.ws/yvQK

დედამიწის მაგნიტური ველი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დედამიწაზე მიმდინარე გეოფიზიკურ, ბიოფიზიკურ და ეკოლოგიურ პროცესებზე: მისი დახმარებით სეისმოლოგები მიწისძვრებს პროგნოზირებენ, გეოლოგები სასარგებლო წიაღისეულს ეძებენ (დედამიწის ზედაპირზე არსებობს ადგილები, სადაც კომპასის ისრის მიმართულება გეომაგნიტური ველის წირების მიმართულებას არ ემთხვევა. ასეთ ადგილებს **მაგნიტურ ანომალიებს** უწოდებენ და მათი გამომწვევი მიზეზი, მეტწილად, რკინის მადნის ბუდობებია).

დედამიწის მაგნიტური ველი გავლენას ახდენს კლიმატსა და ამინდზე. მისმა ცვლილებამ შეიძლება გამოიწვიოს ტემპერატურის, ატმოსფერული წნევის რხევები, ნალექების სიხშირის ცვლილება. შესაძლოა, გახდეს სხვადასხვა სტიქიური უბედურების (მაგ., ქარიშხლის) გამომწვევი მიზეზი.

კვლევები ადასტურებს, რომ ბიოსფეროს ზოგიერთი წარმომადგენლის ნავიგაცია მჭიდროდაა დაკავშირებული გეომაგნიტური ველის წირების მიმართულებასთან, მაგ., აღმოჩნდა, რომ ზღვის მწვანე კუს ფენომენალური უნარი აქვს, დედამიწის მაგნიტურ ველში უმნიშვნელო ცვლილებაც კი შეიგრძნოს, რაც მიგრაციის დროს უშეცდომოდ ორიენტირებაში ეხმარება. **გაიგე უფრო მეტი**:
http://bitly.ws/zePc

ასე რომ, დედამიწის მაგნიტური ველი გავლენას ახდენს დედამიწის ლითოსფეროზე, ჰიდროსფეროსა და ატმოსფეროზე, მოქმედებს მცენარეთა, ცხოველთა სამყაროზე, ადამიანის ჯანმრთელობასა და საქმიანობის სფეროებზე, გავლენას ახდენს დედამიწის ევოლუციაზე... დედამიწის მაგნიტური ველის სხვადასხვა სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვან გამოვლინებას მომდევნო გაკვეთილებზეც ხშირად შეხვდები და გაიგებ მიზეზსაც, რაც პლანეტის მაგნიტური ველის არსებობას განაპირობებს.

Don't copy

1.2 როგორ იწყებოდა ელექტროდინამიკა

თოვლის დედოფალი, პატარა ქალთევზა, საძაგელი იხვის ჭუკი, პრინცესა მუხუდოს მარცვალზე, ნამცეცა, ოლე ლუკოიე ცნობილი დანიელი მწერლისა და მსოფლიოში აღიარებული მეზღაპრის, ჰანს ქრისტიან ანდერსენის (1805 – 1875), ზღაპრების გმირები არიან... ზღაპრების, რომლებშიც მოთხრობილი სევდანარევი ისტორიები უკვე ორას წელზე მეტია, საინტერესოა არა მხოლოდ ბავშვებისთვის, არამედ უფროსებისთვისაც.

„არ არსებობს იმაზე უფრო კარგი ზღაპარი, ვიდრე ის, რომელსაც ცხოვრება ქმნის“ – ამბობდა მწერალი და თავისი ზღაპრებისთვის ისტორიებს რეალური ცხოვრების კარნახით წერდა. სწორედ ასეთი ისტორია აქვს აღწერილი ზღაპარში „ორი ძმა“:

...დანიის ერთ-ერთ კუნძულზე წითელი კრამიტით დახურულ პატარა სახლში ერსტედების ოჯახი, დედა, მამა და ორი მცირეწლოვანი ძმა, ცხოვრობდა... ძმები ერთმანეთისგან ძალიან განსხვავდებოდნენ, თუმცა ფიქრი ორივეს უყვარდა და სამყარო მათ წარმოსახვაში სულაც არ იყო ისეთი, როგორადაც ხანში შესული ძიძა აცნობდა...

...ნისლი ელფების ცეკვააო, არწმუნებდა ძმებს ძიძა, მაგრამ უფროსმა ძმამ ზუსტად იცოდა, რომ ახლად მოხნული მინდვრებიდან ზევით ნაკადებად აღმავალი ნისლი წყლის თბილი ორთქლი იყო... ის ბევრს კითხულობდა ბუნების ძალებზე, მზეზე, მთვარეზე, სჯეროდა, რომ ოდესღაც გამოიცნობდა ჩიტების ფრენის საიდუმლოს და მათსავით ფრენას შეძლებდა... ოცნებობდა, რომ ერთ მშვენიერ დღეს რაღაც ახალს აღმოაჩენდა... მისი ოცნება ახდა.

...ძმებს მომავალში მთელი დანია გაიცნობს: უმცროსი, ანდერს სანდო, დანიის პრემიერ-მინისტრი გახდება, უფროსი კი, ჰანს ქრისტიანი, ფილოსოფიის, ქიმიის, ფიზიკის პროფესორი და მისი აღმოჩენა ელექტრული და მაგნიტური მოვლენების კვლევაში სამეცნიერო გადატრიალებას მოახდენს... ანდერსენის ზღაპრის გმირი, მისი სეხნია, ჰანს ქრისტიან ერსტედი (1777 – 1851) 28 წლით უფროსი იყო მწერალზე, თუმცა ასაკს ხელი არ შეუშლია არც მათი მეგობრობისა და არც მწერლისთვის, დაენახა, როგორ ჰგავდა მეცნიერის ცხოვრება ზღაპარს კეთილი დასასრულით.

1.2.1 ერსტედის აღმოჩენა

რა აღმოაჩინა ერსტედმა? 1820 წელს კოპენჰაგენის უნივერსიტეტის ფიზიკის კათედრაზე ის თავის სტუდენტებთან ერთად დენიანი გამტარის სითბურ მოქმედებას აკვირდებოდა. პროფესორის ასისტენტმა შეამჩნია, რომ დენიანი გამტარის მახლობლად მოთავსებული კომპასის ისარი წრედის შეკვრისას საწყისი მდებარეობიდან გადაიხარა. ერსტედმა რამდენჯერმე გაიმეორა ცდა და საბოლოოდ დარწმუნდა, რომ **დენიანი გამტარი კომპასის ისარზე მაბრუნებელ ზემოქმედებას ახდენს** (სურ.1.2.1).



სურ. 1.2.1

მიიღე მონაწილეობა ერსტედის ექსპერიმენტში: http://bitly.ws/ACJb

ჩაატარე ერსტედის ცდა და დააკვირდი დენიანი გამტარის მოქმედებას კომპასის ისარზე.

Don't copy

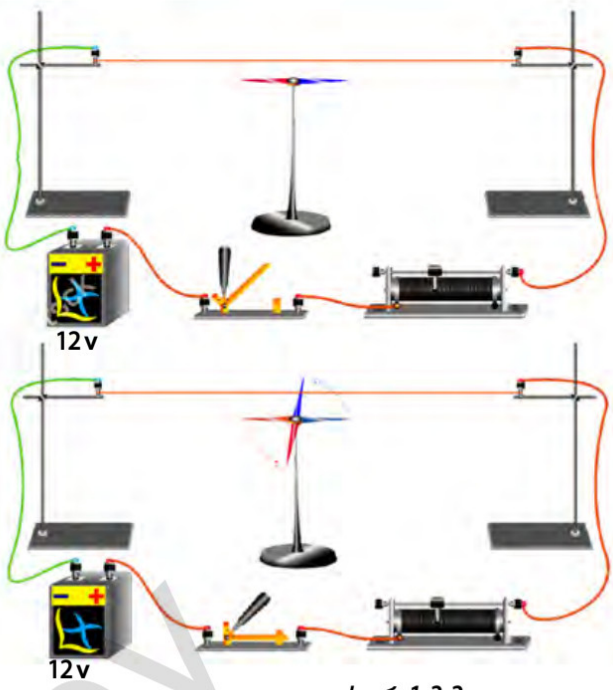
ცდა I

1. ააწყვე ელექტრული წრედი სურათ 1.2.2-ზე მოცემული სქემის მიხედვით.

2. მოათავსე მაგნიტური ისარი შტატივში ჩამაგრებული დენიანი გამტარის პარალელურად გამტარის: ა) ქვეშ; ბ) ზევით.

3. ჩამრთველი ჯერ ჩართე, შემდეგ კი გამორთე. დააკვირდი მაგნიტურ ისარს. რა შეამჩნიე ჩამრთველის ჩართვისა და გამორთვის მომენტში?

4. შეცვალე დენის მიმართულება გამტარში (მისი ბოლოები დენის წყაროს განსხვავებულ პოლუსებთან მიაერთე) და **დააკვირდი,** როგორ აისახება ეს ცვლილება მაგნიტური ისრის ბრუნვის მიმართულებაზე.



სურ. 1.2.2

გამოთქვი ვარაუდი:

ა) რატომ მოქმედებს დენიანი გამტარი მაგნიტურ ისარზე, რომელზეც მხოლოდ მაგნიტური ველი მოქმედებს?

ბ) რატომ უბრუნდება მაგნიტური ისარი თავის პირვანდელ მდგომარეობას მას შემდეგ, რაც გამტარში დენი აღარ გადის?

რატომ იყო მნიშვნელოვანი ერსტედის აღმოჩენა? ერსტედის ცდით პირველად ექსპერიმენტულად დადასტურდა, რომ:

1. ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის გარკვეული ურთიერთკავშირი არსებობს. ერსტედი პირველი არ ყოფილა, ვინც ელექტრობის მაგნიტურ გამოვლინებას მიაქცია ყურადღება. მსგავსება ელექტრული მუხტების ურთიერთქმედებასა და მაგნიტის პოლუსების ურთიერთქმედებას შორის მრავალი თაობის მეცნიერებს აფიქრებდა იმაზე, რომ ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის კავშირი არსებობდა. თუმცა ყველანაირი მცდელობა, ეს კავშირი დაედგინათ, წარუმატებლად მთავრდებოდა.

მეტიც, ფრანგი ფიზიკოსის, ასტრონომის, პოლიტიკური მოღვაწის **დომინიკ ფრანსუა არაგოსთვის** (1786 – 1853) ცნობილი იყო, რომ ხშირად ჭექა-ქუხილის დროს საზღვაო ხომალდებზე კომპასი მწყობრიდან გამოდიოდა, ფოლადის სხეულები (საათის ზამბარები, იარაღი) კი მაგნიტდებოდა. არაგო ხვდებოდა, რომ ამ ცვლილებების მიზეზი ატმოსფერული ელექტრობა იყო, მაგრამ სხვათა მსგავსად, მანაც ვერ მოახერხა საკუთარი ვარაუდის ექსპერიმენტით დადასტურება.

2. დენიანი გამტარი თავის გარშემო მაგნიტურ ველს ქმნის და სწორედ მისი მაგნიტური ველი მოქმედებს გამტარის მახლობლად მოთავსებულ მაგნიტურ ისარზე. ერსტედმა დაადგინა, რომ **მაგნიტურ ისარზე მხოლოდ დენიანი გამტარი მოქმედებს და არ მოქმედებს დამუხტული ღერო**, რაც იმას ნიშნავდა, რომ მისთვის ცნობილი ორი სახის (სტატიკური და ვოლტას სვეტის) ელექტრობიდან მხოლოდ ვოლტას ელექტრობა (ელექტრული დენი) ქმნის მაგნიტურ ველს.

ერსტედის აღმოჩენას ბედნიერ შემთხვევითობას მიაწერენ ხოლმე, თუმცა საწინააღმდეგოს ამტკიცებს მეცნიერის ჩანაწერები, რომლებსაც აღმოჩენამდე დიდი ხნით ადრე აკეთებდა. ერსტედი ხშირად სვამდა კითხვას: თუ ელექტრობა და სითბო ერთმანეთთან ურთიერთკავშირშია, რატომ არ შეიძლება ასეთივე ურთიერთკავშირი არსებობდეს ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორისაც? მიუხედავად იმისა, რომ ისინი, ერთი შეხედვით, ერთმანეთს არ ჰგავს...

Don't copy

...ამბობენ, იმისათვის, რომ ამ მოვლენებს შორის ურთიერთკავშირზე მუდმივად ეფიქრა, ერსტედი ჯიბით ყოველთვის პატარა მაგნიტს ატარებდა...

ერსტედის აღმოჩენამ საფუძველი დაუდო ელექტრომაგნეტიზმის თეორიას, რომლის თანახმადაც, ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს ერთიანი ბუნება აქვს – თეორიას, რომელიც შემდგომში ფარადეის ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონითა და მაქსველის მათემატიკური განტოლებებით დაგვირგვინდა...

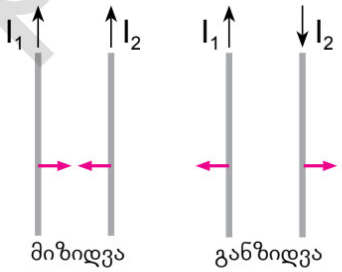
1.2.2. ამპერის ცდა: დენიანი გამტარების ურთიერთქმედება



სურ. 1.2.3

ერსტედის აღმოჩენამ გამოჩენილი ფრანგი მათემატიკოსი და ფიზიკოსი **ანდრე მარი ამპერი** (1775 – 1836) დააფიქრა (სურ.1.2.3): თუ დენიანი გამტარი თავის გარშემო მაგნიტურ ველს ქმნის, მაშინ მისი მაგნიტური ველი არა მხოლოდ მაგნიტურ ისარზე, არამედ სხვა დენიან გამტარზეც უნდა მოქმედებდეს, რომელიც ამ ველშია მოთავსებული...

1820 წელს (იმავე წელს, როცა ერსტედის ცდის შედეგები გახდა ცნობილი) ამპერმა ექსპერიმენტულად დაადგინა (სურ.1.2.4), რომ **დენიანი გამტარები ურთიერთქმედებს: თუ ორ პარალელურ გამტარში გამავალი დენი ერთი მიმართულებისაა, დენიანი გამტარები ერთმანეთს მიიზიდავს**, ხოლო **თუ გამტარებში საპირისპირო მიმართულების დენი გადის, დენიანი გამტარები ერთმანეთს განიზიდავს** (დენიანი გამტარების ურთიერთქმედებას მოგვიანებით დავუბრუნდებით და ავხსნით, რატომ მიიზიდავს/განიზიდავს დენიანი გამტარები ერთმანეთს).



სურ. 1.2.4

ჩაატარე ამპერის ცდა და **დააკვირდი დენიანი გამტარების ურთიერთქმედებას**:

ცდა II



1. ჩაამაგრე ფოლგისგან გამოჭრილი ორი გამტარი ზოლი ვერტიკალურად და ერთმანეთის პარალელურად შტატივის თათებს შორის;



2. ზოლების ქვედა ბოლოები დენის წყაროს (12 ვ-იანი აკუმულატორის) პოლუსებს მიუერთე (სურ. 1.2.5, ა).

დააკვირდი: ურთიერთქმედებს თუ არა გამტარები, როცა მათში დენი არ გადის?

3. შეაერთე ზოლების ზედა ბოლოები დამატებითი სადენით (სურ. 1.2.5, ბ).



დაფიქრდი: როგორაა ჩართული გამტარები წრედში: მიმდევრობით თუ პარალელურად? როგორი იქნება გამტარებში გამავალი დენი: ერთი მიმართულების თუ საპირისპირო მიმართულების?

4. ჩართე ჩამრთველი და **დააკვირდი:** ურთიერთქმედებს თუ არა დენიანი გამტარები? განიზიდავს თუ მიიზიდავს ერთმანეთს?

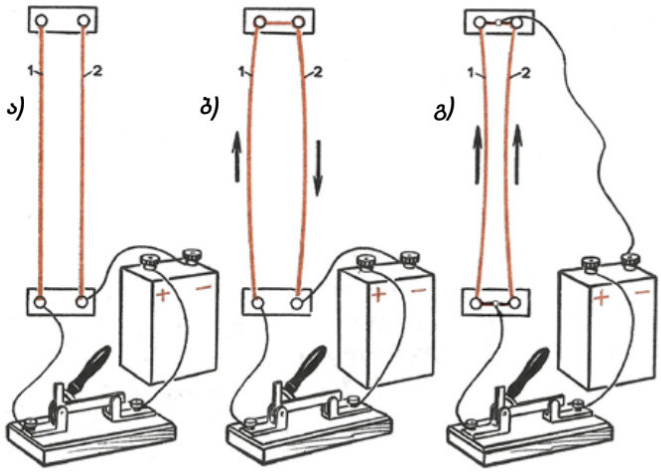
5. გამორთე ჩამრთველი და შეაერთე დამატებითი სადენით ზოლების ქვედა ბოლოებიც (სურ. 1.2.5, გ);

დაფიქრდი: როგორაა ჩართული ამჯერად გამტარები წრედში: მიმდევრობით თუ პარალელურად? როგორი იქნება გამტარებში გამავალი დენი: ერთი მიმართულების თუ საპირისპირო მიმართულების?

6. ჩართე ჩამრთველი და **დააკვირდი:** როგორ ურთიერთქმედებს დენიანი გამტარები? განიზიდავს თუ მიიზიდავს ერთმანეთს?

Don't copy

7. გამოიტანე დასკვნა: თუ ორ პარალელურ გამტარში გამავალი დენი ერთი მიმართულებისაა, დენიანი გამტარები ერთმანეთს ...., ხოლო თუ მათში საპირისპირო მიმართულების დენი გადის, დენიანი გამტარები ერთმანეთს ..... (წერტილების ნაცვლად იგულისხმე შესაბამისი სიტყვები: „მიიზიდავს“ ან „განიზიდავს“).



სურ. 1.2.4

დენიანი გამტარების, ანუ მოძრავი ელექტრული მუხტების ურთიერთქმედებას **მაგნიტური ურთიერთქმედება** ჰქვია, ძალას კი, რომლითაც დენიანი გამტარები ერთმანეთზე მოქმედებს – **მაგნიტური ძალა**.

იმ მოვლენების აღმოჩენისა და შესწავლის შედეგად დაგროვილი ცოდნის სფეროს, რომლებიც დენიანი გამტარის მიერ მაგნიტური ველის წარმოქმნას უკავშირდება, ამპერმა **ელექტროდინამიკა** უწოდა.

1.2.3. ამპერი – დენის ძალის ერთეული SI-ში

ამპერის აღმოჩენა, დენიანი გამტარების მაგნიტური ურთიერთქმედება, საფუძვლად დაედო ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI-ში) დენის ძალის ერთეულის განსაზღვრებას. 1948 წელს ზომა-წონის IX საერთაშორისო კონფერენციაზე დენის ძალის ერთეულად, მეცნიერის პატივსაცემად, **1 ამპერი** დაადგინეს:

1 ამპერი – ისეთი მუდმივი დენის ძალაა, რომლის გავლისას ვაკუუმში ერთმანეთისგან 1 მ მანძილით პარალელურად მოთავსებულ ორ უსასრულოდ გრძელ და უსასრულოდ მცირე წრიული განივკვეთის მქონე წრფივ გამტარში გამტარების სიგრძის ყოველი 1 მეტრი $2 \cdot 10^{-7}$ ნ-ის ტოლი ძალით ურთიერთქმედებს.

2019 წელს ძალაში შევიდა ზომა-წონის 26-ე გენერალური კონფერენციის გადაწყვეტილება, რომლის თანახმადაც,

დენის ძალის ერთეული SI-ში, 1 ამპერი, ასე განისაზღვრება:

1 ამპერი არის ისეთი დენის ძალა, რომლის დროსაც გამტარის განივკვეთში 1 წმ-ის განმავლობაში 1 კულონი მუხტი ($6{,}241 \cdot 10^{18}$ ელემენტარული მუხტი) **გადის** ($e = 1{,}60217 \cdot 10^{-19}$ კ).

ძველი განმარტების თანახმად, პრაქტიკაში 1 ამპერის გაზომვა შეუძლებელია, რადგან ყველა გამტარს სასრული სიგრძე აქვს. თანამედროვე განმარტების მიხედვით კი 1 ამპერის განსაზღვრა ექსპერიმენტულად სავსებით რეალისტურია (ექსპერიმენტისთვის საჭირო მოწყობილობა, ე.წ. **ელექტრონული ტუმბო** (ინჟექტორი), რომელიც უზრუნველყოფს ელექტრონების ნებისმიერ რაოდენობას ნაკადში, 2010 წელს შეიქმნა და ფასდაუდებელია როგორც ფუნდამენტური მეცნიერების დარგებისთვის, ისე **მეტროლოგიისთვის** (მეტროლოგია შეისწავლის საზომ ერთეულებს, ადგენს გაზომვის მეთოდებსა და საშუალებებს, ზრუნავს გაზომვათა სიზუსტეზე, ქმნის ფიზიკურ ერთეულებსა და ერთეულთა სისტემებს).

ერსტედისა და ამპერის აღმოჩენა საფუძვლად დაედო ბევრ ისეთ გამოგონებას (ტელეგრაფს, ტელეფონს, ელექტრულ ძრავას, მიკროფონს, ხმის გამაძლიერებელს, გენერატორს, ტრანსფორმატორს და ა.შ.), რომელთა გარეშეც წარმოუდგენელია თანამედროვე სამყაროში როგორც საყოფაცხოვრებო სფერო, ისე მეცნიერება და ტექნიკა.

Don't copy

პროექტი №2: ელექტრომაგნიტი, „მოლაპარაკე ელვა“ და სხვა...

XVIII საუკუნემდე სიტყვები „რკინა“ და „მაგნიტი“ სინონიმები იყო, 1820 წელს კი ერსტედის აღმოჩენის შემდეგ, კაცობრიობის ისტორიის ავანსცენაზე ელექტრომაგნეტიზმი გამოდის.

...დენიანი გამტარი მაგნიტურ ისარზე მოქმედებს, რაც იმას ნიშნავს, რომ დენის გამოყენებით შესაძლებელია მაგნიტის დამზადება – მიხვდნენ ელექტრომაგნიტური მოვლენებით დაინტერესებული მეცნიერები და ახალი, ელექტროტექნიკის, ეპოქაც დაიწყო:

იმავე წელს, როცა ერსტედის აღმოჩენა ცნობილი გახდა სამეცნიერო საზოგადოებისთვის, ფრანსუა არაგომ შეამჩნია, რომ დენიანი მავთული რკინის ნაქლიბს იკრავდა...

ანდრე ამპერმა ექსპერიმენტულად დაამტკიცა, რომ კოჭაზე სპირალურად დახვეული დენიანი მავთული (სოლენოიდი) გაცილებით ძლიერ მაგნიტურ ველს ქმნიდა, ვიდრე წრფივი...

1821 წელს მაიკლ ფარადეიმ ელექტროძრავას ლაბორატორიული მოდელი შექმნა, რომელშიც ხან მაგნიტი ბრუნავდა დენიანი გამტარის გარშემო და ხანაც პირიქით: დენიანი გამტარი მაგნიტის გარშემო...



სურ. 1



სურ. 2



სურ. 3

ამპერმა მანძილზე სიგნალის გადაცემა სცადა, რისთვისაც დენიანი გამტარის მახლობლად მაგნიტური ისრის გადახრა გამოიყენა...

1825 წელს ინგლისელმა გამომგონებელმა **უილიამ სტერჯენმა** შეამჩნია, რომ სოლენოიდის მაგნიტური ველი მნიშვნელოვნად ძლიერდებოდა, როცა მის შიგნით ფოლადის გულარს ათავსებდა... ეს კი ნამდვილად იყო **პირველი ელექტრომაგნიტი**: 200 გ-იან ელექტრომაგნიტს 3,6 კგ ტვირთის აწევა შეეძლო.

იმავე წელს ჯეიმს ჯოულმა ელექტრომაგნიტის ამწევი ძალა 200 ნ-მდე გაზარდა... ექვსი წლის შემდეგ ამერიკელმა მეცნიერმა ჯოზეფ ჰენრიმ 300 კგ მასის ელექტრომაგნიტი დაამზადა, რომლის ტვირთამწეობა 1 ტონას აღემატებოდა...

თანამედროვე ელექტრომაგნიტებს რამდენიმე ათეული ტონა ტვირთის აწევაც შეუძლია და მათ ხშირად იყენებენ საწარმოებში, რომლებშიც რკინის მძიმე დანადგრების ან ფოლადის კონსტრუქციების ერთი ადგილიდან მეორეზე გადატანაა საჭირო (სურ. 1).

თუმცა ელექტრომაგნიტების გამოყენება მხოლოდ სიმძიმეების აწევას არ გულისხმობს. ცხადია, მას თანამედროვე სამყაროში გამოყენების გაცილებით ფართო სფერო აქვს, რადგან ელექტრომაგნიტს მუდმივ მაგნიტთან შედარებით უპირატესობა აქვს: მისი მაგნიტური თვისებები შეიძლება მარტივად არეგულირო, გააძლიერო ან სულაც სრულიად მოსპო. ელექტრომაგნიტების გულარებს ამზადებენ რბილი რკინისგან, პერმალოისა და სხვა შენადნობებისგან, რომლებიც არა მარტო თითქმის მყისიერად მაგნიტდებიან (როცა კოჭაში დენი გადის), არამედ სწრაფადვე კარგავენ მაგნიტურ თვისებებს (როცა კოჭას ხვიებში დენი არ გადის)... ძნელია მოძებნო თანამედროვე ტექნოლოგიებში მოწყობილობა, რომელთა მუშაობისთვისაც ელექტრომაგნიტს არ იყენებენ.

Don't copy

მათ ყველგან ნახავ – დაწყებული საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ელექტროტექნიკით და დამთავრებული იმ ურთულესი მექანიზმებით, რაც კი ოდესმე ადამიანს შეუქმნია: თანამედროვე კავშირგაბმულობის საშუალებებში, ელექტროძრავებსა და გენერატორებში, მართვისა და კონტროლის ავტომატიზებულ სისტემებში, კომპიუტერებში. ელექტრომაგნიტებს იყენებენ მაგნიტურ-რეზონანსულ ტომოგრაფში (MRT-ში) (სურ. 2), ნაწილაკთა ამაჩქარებლებში (სურ. 3), რომელთა დახმარებითაც მეცნიერები და ინჟინრები სამყაროს წარმოშობის საიდუმლოს ხსნიან და ა. შ.

დავალება 1. დაამზადე ელექტრომაგნიტი.

ამისათვის დაგჭირდება (სურ. 4): დენის წყარო (1,5 ვ, 2 ვ, 6 ვ, 9 ვ), სპილენძის მავთული, სხვადასხვა მასალისგან დამზადებული ლურსმნები ან ხრახნები; შემაერთებელი სადენები „ალიგატორებით“; ქაღალდის რკინის სამაგრები, ციფრული სასწორი.



სურ. 4

სამუშაოს მსვლელობა:

1. დაამზადე რამდენიმე კოჭა ხვიათა განსხვავებული რაოდენობით: დაახვიე რკინის ლურსმანზე (ხრახნზე) ერთ ფენად სპილენძის მავთული (სურ. 5);



სურ. 5

3. მიუერთე კოჭაზე დახვეული მავთული შემაერთებელი სადენებით დენის წყაროს პოლუსებს;

4. მიუახლოვე დენიანი კოჭა რკინის პატარა სხეულებს (ქაღალდის სამაგრებს) და სასწორის დახმარებით განსაზღვრე იმ რკინის სხეულების საერთო მასა (ან წონა), რომლებიც მაგნიტმა მიიზიდა (სურ. 6).



სურ. 6

ჩაიწერე, რისი ტოლია ელექტრომაგნიტის ტვირთამწეობა (იმ რკინის სხეულების საერთო მასა (ან წონა), რომლებიც მაგნიტმა მიიზიდა).

გაიმეორე ცდები და გამოიკვლიე: როგორ არის დამოკიდებული ელექტრომაგნიტის ტვირთამწეობა:

ა) კოჭას ხვიების რაოდენობაზე;

ბ) კოჭას ხვიებში გამავალი დენის ძალაზე;

გ) იმ მასალაზე, რომლისგანაც გულარია (ლურსმანია, ხრახნია) დამზადებული.

წარმოადგინე კვლევის შედეგები დიაგრამების ან გრაფიკების სახით.

დავალება 2. განსაზღვრე შენ მიერ დამზადებული, ყველაზე დიდი ტვირთამწეობის მქონე, ელექტრომაგნიტის მაგნიტური ინდუქციის მოდული (იხ. § 1.4).

ერსტედის აღმოჩენის შემდეგ ელექტრომაგნეტიზმის შესწავლა, კვლევა და გამოყენება სხვადასხვა მიზნისთვის მთავარი მოვლენა გახდა არა მარტო მეცნიერებისა და გამომგონებლებისთვის, არამედ სხვა სფეროს წარმომადგენლებისთვისაც.

ფრენსის ბენჯამინ ჯონსონი (1864 – 1952) ამერიკელი ფოტოჟურნალისტია, რომლის შესანიშნავ ფოტოებს უამრავი საინტერესო ფაქტი აქვს შემონახული: ერთ-ერთ მათგანზე (სურ. 7), რომელიც 1890 – 1900 წლებშია გადაღებული, ქალთა სკოლის მოსწავლეები ელექტრომაგნიტებს ათვალიერებენ, დაფაზე კი დიდი ასოებით გაკვეთილის თემა წერია: „ელექტრომაგნეტიზმი“...



სურ. 7

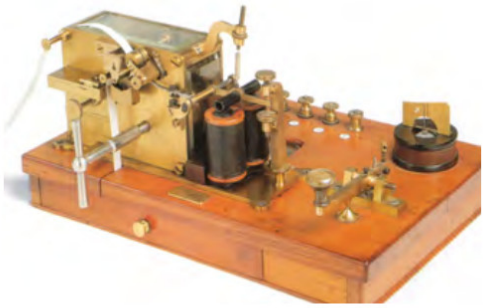
...და ეს სულაც არ არის გასაკვირი, თუ იმ წლების მსოფლიოში ტექნოლოგიების განვითარების პროცესს გადავხედავთ.

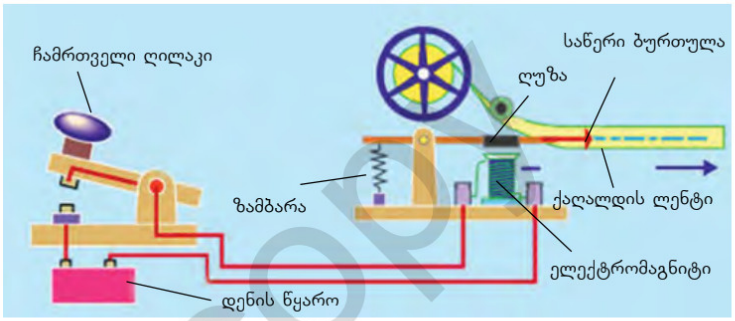
Don't copy

გალვანის, ვოლტას, ერსტედის, ამპერის, ფარადეის აღმოჩენებმა მეცნიერებისა და გამომგონებლების აზრები ერთი მიზნისკენ მიმართა: შეექმნათ ტელეგრაფი, რომელიც ინფორმაციას შორ მანძილზე ელექტრული დენის დახმარებით გადასცემდა...

ყველა სკოლაში, უნივერსიტეტსა თუ სამეცნიერო ლაბორატორიაში ვოლტას უზარმაზარი სვეტები იდგა. ადამიანები ათასგვარ ხერხს იგონებდნენ, რომ ელექტრული დენის მეშვეობით სიგნალი გაეგზავნათ.

ერთ-ერთი პირველი ელექტრომაგნიტური ტელეგრაფი 1833 წელს გერმანიაში კარლ გაუსმა და ვილჰელმ ვებერმა შექმნეს. 1837 წელს მსგავსი ტიპის ტელეგრაფი უილიამ კუკისა და ჩარლზ უინსტონის დამსახურებით დიდ ბრიტანეთში ამოქმედდა. 1840 წელს კი ამერიკაში სამუელ მორზემ დააპატენტა თავისი ელექტრომაგნიტური ტელეგრაფი (სურ. 8), რომლისთვისაც კოდი თავად შექმნა: მორზეს კოდში ანბანის ასოები მოკლე და გრძელი ელექტრული სიგნალების სახით გადაიცემოდა და მიმღებ სადგურში ინფორმაცია სპეციალურ ლენტზე „წერტილებისა“ და „ტირეების“ სახით იწერებოდა.





სურ. 8. მორზეს ტელეგრაფი მორზეს ტელეგრაფის სქემა

პირველი ორი ტელეგრაფი განსხვავდებოდა მორზეს ტელეგრაფისგან: მორზე გადაცემული ინფორმაციის ჩასაწერად საწერ მოწყობილობას იყენებდა, მისი წინამორბედები კი – მაგნიტური ისრის გადახრას... თუმცა, მიუხედავად განსხვავებისა, ორივე ტიპის ტელეგრაფის მოქმედებაში მთავარი როლი **ელექტრომაგნიტს** ეკისრებოდა.

მორზეს პირველი ტელეგრაფის საშუალებით სიგნალი მხოლოდ მოკლე მანძილებზე გადაიცემოდა, რაც ცხადია, ტელეგრაფისთვის ნაკლი იყო. მორზემ დახმარებისთვის საქვეყნოდ აღიარებულ და ძალიან პატივსაცემ მეცნიერს, **ჯოზეფ ჰენრის**, მიმართა. ჰენრი ამერიკის მაშინდელი პრეზიდენტის, აბრაამ ლინკოლნის მრჩეველი იყო სამეცნიერო საკითხებში და სხვა მეცნიერ-გამომგონებლებს უანგაროდ ეხმარებოდა...

ჯოზეფ ჰენრი (1797 – 1879) ამერიკელი მეცნიერია, ფიზიკოსი, რომლის სახელსაც უამრავი აღმოჩენა და გამოგონება უკავშირდება. ის იყო ერთ-ერთი პირველი, ვინც ელექტრომაგნიტი შექმნა და პრაქტიკაში გამოიყენა: როცა მორზე მასთან რჩევისთვის მივიდა, ჯოზეფ ჰენრის უკვე ჰქონდა მოქმედი ტელეგრაფი, რომლითაც ინფორმაციას თავისი სამეცნიერო ლაბორატორიიდან იღებდა... ჰენრიმ ურჩია მორზეს, სიგნალის გასაძლიერებლად **ელექტრომაგნიტური რელე** გამოეყენებინა, რომელიც ასევე ჰენრის გამოგონება იყო... უამრავი აღმოჩენა და გამოგონება აქვს ჯოზეფ ჰენრის, თუმცა ის მათ გამოქვეყნებას ხშირად აგვიანებდა...

„მოლაპარაკე ელვა“ ასე უწოდეს ელექტრომაგნიტურ ტელეგრაფს ადამიანებმა, რომლებიც ახლო მომავალში კიდევ უფრო დიდი „სასწაულის“ მოსწრენი გახდებიან, რომელსაც უხილავი და ყოვლისშემძლე ელექტრული დენი შესთავაზებს მათ... 1877 წელს ბოსტონის ერთ-ერთი სკოლის ახალგაზრდა პედაგოგმა **ალექსანდრ ბელმა** ჟურნალ, „მეცნიერ ამერიკელში“ გამოაქვეყნა სტატია და საზოგადოებას თავისი გამოგონების შესახებ აუწყა... გამოგონებისა, რომელმაც ტელეგრაფის მნიშვნელობა ცოტა დაჩრდილა... ეს **ტელეფონი** იყო. ელექტრომაგნიტი ტელეფონის კონსტრუქციაშიც უმნიშვნელოვანეს როლს ასრულებდა.

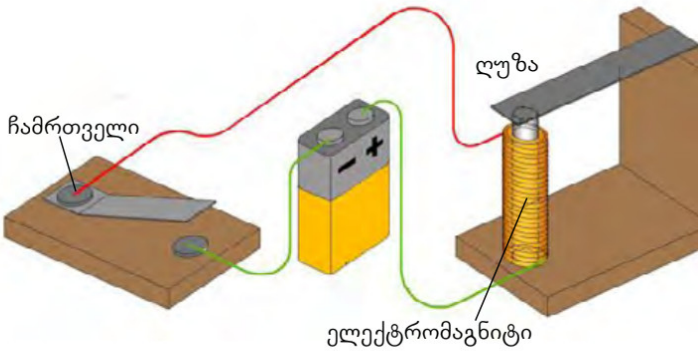
Don't copy

გაიგე მეტი ტელეგრაფისა და ტელეფონის გამოგონების შესახებ:
http://bitly.ws/zw44
http://bitly.ws/zw45

დავალება 3.

1. მორზეს ელექტრომექანიკური ტელეგრაფის სქემაში ერთ-ერთი მთავარი დეტალი **ელექტრომაგნიტია**. ახსენი მისი მნიშვნელობა ტელეგრაფის მოქმედებაში;

2. გაარკვიე, რა დანიშნულებისაა ელექტრომაგნიტური რელე და რა მიზნით გამოიყენეს ის მორზეს ტელეგრაფში;



სურ. 9

3. ააწყვე მორზეს ტელეგრაფის მოდელი მარტივი სქემის (სურ. 9) მიხედვით და ახსენი მისი მოქმედების პრინციპი.

ტელეგრაფის მარტივი მოდელის შესაქმნელად გამოიყენე დამატებითი ინფორმაცია:
http://bitly.ws/zw4r http://bitly.ws/zw4s
http://bitly.ws/zw4x http://bitly.ws/zw4z

წარმოადგინე შენ მიერ დამზადებული ელექტრომაგნიტი, ტელეგრაფის მოდელი და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. ელექტრომაგნიტისა და ტელეგრაფის მოდელის დამზადების ეტაპების დაწვრილებითი აღწერა;

2. მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის (რა მიზეზითაა გამოწვეული, რა შედეგი მოჰყვება), რომლებსაც ელექტრომაგნიტის მოქმედება ეფუძნება:
ა) რატომ იძენს მაგნიტის თვისებას დენიანი კოჭა;
ბ) რა უპირატესობა აქვს ელექტრომაგნიტს მუდმივ მაგნიტთან შედარებით და რატომ;
გ) რატომ აძლიერებს გულარი დენიანი კოჭას მაგნიტურ თვისებებს და რატომ ენიჭება მნიშვნელობა მასალას, რომლისგანაც გულარია დამზადებული (იხ. § 1.6);

3. როგორ ხორციელდება ურთიერთქმედება ელექტრომაგნიტსა და იმ სხეულებს შორის, რომლებსაც მიიზიდავს;

4. როგორ არის დამოკიდებული ელექტრომაგნიტის ტვირთამწეობა:
ა) კოჭას ხვიების რაოდენობაზე;
ბ) კოჭას ხვიებში გამავალი დენის ძალაზე;
გ) იმ მასალაზე, რომლისგანაც გულარია დამზადებული
(აღწერილი უნდა იყოს კვლევის ეტაპები და წარმოდგენილი ექსპერიმენტის გრაფიკულად დამუშავებული შედეგები);

5. რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს ელექტრომაგნიტს და რაში იყენებენ მას ტექნიკასა და ყოფა-ცხოვრებაში.

შენიშვნა: ზოგიერთი დავალების შესრულებას/ცდის შედეგის ახსნას, მოგვიანებით, შესაბამისი პარაგრაფების დამუშავების პროცესში შეძლებ;

პროექტზე მუშაობაში დაგეხმარება მასალები, რომლებიც ინტერნეტშია განთავსებული მისამართზე: http://bitly.ws/zw4D
ნახე ვიდეო: http://bitly.ws/zw4J

Don't copy

1.3 დენიანი გამტარის მაგნიტური ველი



სურ. 1.3.1

მაგნიტორეცეფცია ცოცხალი ორგანიზმის უნარია, შეიგრძნოს დედამიწის მაგნიტური ველი, რაც **ბიონავიგაციის** ფენომენს ხსნის: ზოგიერთი ცოცხალი ორგანიზმი სივრცეში დედამიწის მაგნიტური ველის მიმართულების მიხედვით ორიენტირებს.

მაგნიტორეცეფცია აღმოჩენილია ბაქტერიებში, უხერხემლოებსა (დროზოფილებში, ლობსტერებში, მეთაფლია ფუტკრებში) და ზოგიერთ ხერხემლიანში (გადამფრენ ფრინველებში, თევზებში, ზვიგენებში, ზღვის კუსა და სკაროსში). ადამიანებში მაგნიტორეცეფციის არსებობა მეცნიერულად დამტიცებული არ არის და ჯერაც საკამათო თემაა.

2008 წლის აგვისტოში სამეცნიერო ჟურნალ, „Proceedings of the National Academy of Sciences“-ში, გამოჩნდა კვლევა, რომელშიც გერმანელი და ჩეხი მეცნიერების ჯგუფი, გინეკა ბურდას ხელმძღვანელობით, ამტკიცებდა, რომ ძროხების განლაგება ნახირში გარკვეულ კანონზომიერებას ემორჩილება: ძროხები (ასევე ველური თხები, კეთილშობილი ირმები) ძოვისა და დასვენების დროს დედამიწის მაგნიტური ველის წირების გასწვრივ, სამხრეთიდან ჩრდილოეთისაკენ, ორიენტირდებიან (სურ.1.3.1), ანუ მათი მტკიცებით, ძროხების უმრავლესობა ამ დროს ჩრდილოეთისკენ „იყურება“...

მეცნიერებმა საერთო ჯამში დედამიწის 308 რეგიონში 8510 ძროხა გამოიკვლიეს. კვლევამ სამეცნიერო წრეებში არნახული დაინტერესება გამოიწვია, რადგან ეს იყო პირველი შემთხვევა, როცა მაგნიტორეცეფცია მსხვილ რქოსან პირუტყვში დააფიქსირეს...

ბურდას ჯგუფის მიერ გამოქვეყნებულ სტატიას კრიტიკა მოჰყვა. კრიტიკოსების აზრით, წარმოდგენილი სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე ძროხებში მაგნიტორეცეფციის არსებობის მტკიცება არ შეიძლება. მათ მოჰყავდათ მაგალითები, რომლებიც საწინააღმდეგოს ამტკიცებდა: ხშირად ძროხების უმრავლესობა ნახირში სულაც არ ორიენტირდება დედამიწის მაგნიტური ველის წირების გასწვრივ.

მკვლევრებმა სხვა არგუმენტებთან ერთად კრიტიკას ახალი კვლევის შედეგი დაუპირისპირეს. მათი აზრით, ნახირს ბუნებრივ ორიენტაციაში ელექტროგადამცემი ხაზები უშლიდა ხელს...

რა გავლენა შეიძლება ჰქონდეს ელექტროგადამცემ ხაზებს ძროხების განლაგებაზე, თუ ის ნამდვილად მაგნიტორეცეფციითა გამოწვეული, რამდენად საფუძვლიანია მკვლევართა არგუმენტი ფიზიკის თვალსაზრისით – ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეძლებ.

გაიგე ამ კვლევის შესახებ უფრო მეტი: http://bitly.ws/yvXD

1.3.1. მაგნიტური ველის ძირითადი თვისებები

დენიანი გამტარები თავიანთ გარშემო შექმნილი მაგნიტური ველებით ურთიერთქმედებს: ერთ გამტარში არსებული ელექტრული დენი თავის გარშემო მაგნიტურ ველს ქმნის, რომელიც მეორე დენიან გამტარზე მოქმედებს და – პირიქით. **მაგნიტური ველი მატერიის არსებობის განსაკუთრებული ფორმაა, რომელიც ჩვენი ცნობიერებისგან დამოუკიდებლად არსებობს და მისი საშუალებით დენიანი გამტარები (მოძრავი მუხტები) ურთიერთქმედებს.**

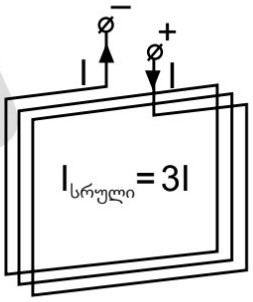
Do not copy

ერსტედისა და ამპერის ცდები ექსპერიმენტულად ადასტურებს **მაგნიტური ველის ძირითად თვისებებს:**

1. მაგნიტურ ველს ელექტრული დენი, ანუ მოძრავი ელექტრული მუხტები, ქმნის (უძრავი ელექტრული მუხტები თავის გარშემო მხოლოდ ელექტრულ ველს ქმნის, რომელიც ელექტრული ძალით მოქმედებს როგორც უძრავ, ისე მოძრავ მუხტებზე);

2. მაგნიტური ველის აღმოჩენა შესაძლებელია მაგნიტურ ისარსა და დენიან გამტარზე (მოძრავ მუხტებზე) მოქმედების შედეგად (უძრავ ელექტრულ მუხტებზე მაგნიტური ველი არ მოქმედებს).

გაიხსენე: ელექტრული ველის შესწავლისას ვაკვირდებოდით მის მოქმედებას მცირე ზომის დამუხტულ სხეულზე (საცდელ მუხტზე). მაგნიტური ველის შესწავლისთვის კი წვრილი დენიანი გამტარის პატარა მონაკვეთი გამოიყენება. შენ იცი, რომ გამტარის მონაკვეთში მუდმივი დენი არ შეიძლება არსებობდეს: ნებისმიერი წრედი, რომელშიც მუდმივი დენი არსებობს, ყოველთვის შეკრულია. სწორედ ამიტომ **მაგნიტური ველის შესასწავლად ხშირად აკვირდებიან მის ზემოქმედებას შეკრულ კონტურზე,** მაგ., **გამტარისგან დამზადებულ პატარა ჩარჩოზე**, რომელშიც დენი გადის (ჩარჩოს ზომები მცირეა იმ მანძილებთან შედარებით, რომლებზეც მაგნიტური ველი შესამჩნევად იცვლება) (სურ.1.3.2). ჩარჩო შეიძლება გამტარის ერთი ან რამდენიმე ხვიისგან შედგებოდეს. ჩარჩოს დენის წყაროსთან მიმყვანი სადენები ან ძალიან ახლოს უნდა მოვათავსოთ ერთმანეთთან ან გადავგრიხოთ, რომ ჯამური ძალა, რომლითაც მაგნიტური ველი მათზე იმოქმედებს, ნულს გაუტოლდეს.

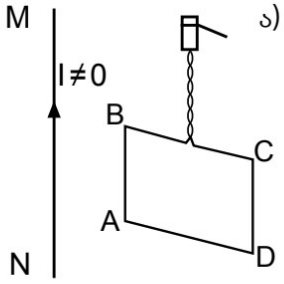


სურ. 1.3.2

ვთქვათ, წრფივი დენიანი გამტარის (MN) მახლობლად გამტარი ჩარჩოა მოთავსებული (სურ. 1.3.3, ა):

ა) ჩარჩო წვრილ მოქნილ სადენებზეა დაკიდებული, რათა მისი თავისუფლად ორიენტირების შემაფერხებელი დრეკადობის ძალა არ აღიძვრას;

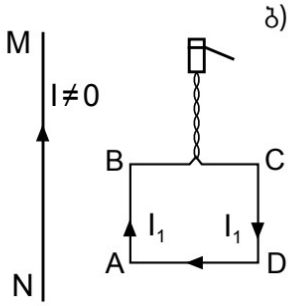
ბ) MN გამტარი ჩარჩოს სიბრტყის პარალელურია და მისი AB და CD გვერდებიდან თანაბრადაა დაშორებული.



თუ ჩარჩოში დენი (I_1) გაივლის (სურ. 1.3.3, ბ)**, დენიანი წრფივი გამტარი**:

ა) მიიზიდავს ჩარჩოს იმ მხარეს (AB), რომელშიც იმავე მიმართულების დენი (I_1) გადის, რაც წრფივ გამტარში (I);

ბ) განიზიდავს ჩარჩოს იმ მხარეს (CD), რომელშიც დენი წრფივ გამტარში გამავალი დენის საწინააღმდეგო მიმართულებით გადის.



სურ. 1.3.3

ჩარჩოს AB და CD გვერდებზე ტოლი სიდიდისა და საპირისპირო მიმართულების ძალები იმოქმედებს (MN გამტარი ჩარჩოს AB და CD გვერდებიდან თანაბრადაა დაშორებული). შედეგად, ჩარჩო შემობრუნდება და ისე ორიენტირდება, რომ წრფივი გამტარი მის სიბრტყეში აღმოჩნდება. ჩარჩოს AB მხარე უფრო ახლოს აღმოჩნდება წრფივ დენიან გამტართან, ვიდრე – CD (სურ. 1.3.3, ბ). თუ წრფივ გამტარში დენის მიმართულებას შევცვლით, ჩარჩო 180^0-ით შემობრუნდება.

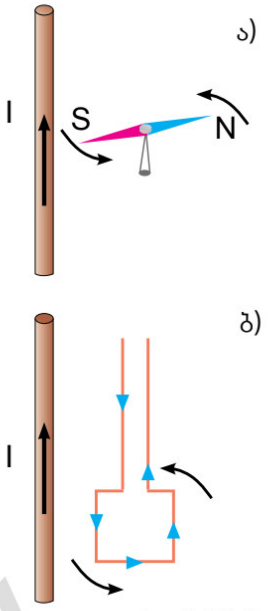
ასე რომ, **მაგნიტური ველი დენიან ჩარჩოზე (ისევე, როგორც მაგნიტურ ისარზე) მაორიენტირებელ გავლენას ახდენს.**

(**შენიშვნა:** თუ დენიან ჩარჩოს ისეთ მაგნიტურ ველში მოვათავსებთ, რომელიც

Don't copy

ა) ერთგვაროვანია (ანუ სივრცის ყველა წერტილში ერთნაირია), მაშინ მაგნიტური ველი ჩარჩოზე მხოლოდ მაორიენტირებელ გავლენას ახდენს. სწორედ ამიტომ ექსპერიმენტის დროს ჩარჩოს გამტარისგან ისეთ მანძილზე ათავსებენ, რომელიც საგრძნობლად აღემატება ჩარჩოს ზომებს, რათა მაგნიტური ველის ცვლილება შესამჩნევი არ იყოს;

ბ) არაერთგვაროვანია, მაშინ ჩარჩო, გარდა იმისა, რომ მაგნიტური ველის გავლენით ორიენტაციას შეიცვლის, გადატანით მოძრაობასაც შეასრულებს, მაგ., მიიზიდება ან განიზიდება დენიანი გამტარის მიერ).

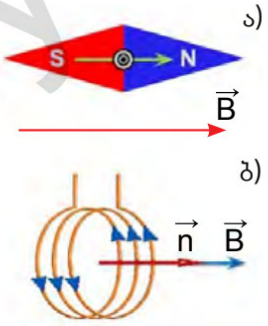


სურ. 1.3.4

1.3.2. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი

მაგნიტურ ისარსა და დენიან გამტარზე მაგნიტური ველის მაორიენტირებელი მოქმედება (სურ.1.3.4) მიგვანიშნებს იმაზე, რომ მაგნიტური ველი უნდა ხასიათდებოდეს ვექტორული ფიზიკური სიდიდით, რომლის მიმართულება განსაზღვრავს ჩარჩოსა და მაგნიტური ისრის ორიენტაციას.

მაგნიტური ველის მახასიათებელ ვექტორულ სიდიდეს **მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი** (ან უბრალოდ, **ინდუქციის ვექტორი**) ჰქვია. **მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორს $\vec{B}$ -თი აღნიშნავენ.**

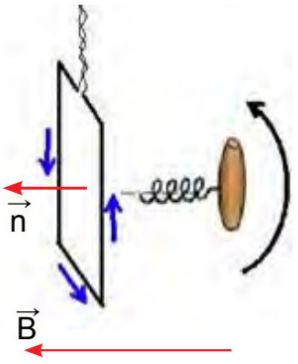


სურ. 1.3.5

საითაა მიმართული მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი?

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებად მიღებულია მაგნიტურ ველში მოთავსებული თავისუფლად მბრუნავი მაგნიტური ისრის მიმართულება სამხრეთიდან (S) ჩრდილოეთ პოლუსისაკენ (N) (სურ.1.3.5, ა).

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება ველის იმ ადგილას, რომელშიც თავისუფლად მბრუნავი დენიანი ჩარჩოა მოთავსებული, ჩარჩოს დადებითი ნორმალის ($\vec{n}$) მიმართულებას ემთხვევა (სურ.1.3.5, ბ):



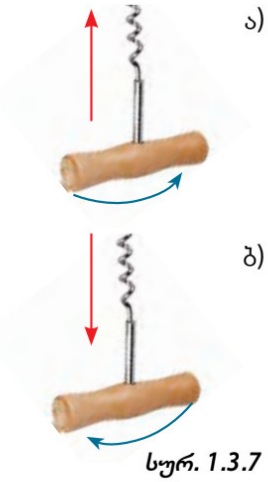
სურ. 1.3.6

ჩარჩოს ნორმალი იგივეა, რაც ჩარჩოს სიბრტყის მართობი. ნორმალის (მართობის) დადებითი მიმართულება კი ის მიმართულებაა, საითაც ბურღის წვერი გადაადგილდება, თუ მის ტარს ჩარჩოში გამავალი დენის მიმართულებით ვაბრუნებთ (სურ. 1.3.6):

ასე რომ, მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულების განსაზღვრაში ხშირად ჩვეულებრივი **ბურღი** (ე.წ. **მარჯვენა ხრახნი**) დაგეხმარება (სურ.1.3.7). გაიხსენე: **ბურღის წვერი:**

ა) წინ, წვერის მიმართულებით, გადაადგილდება, თუ ბურღის ტარს მარცხნიდან მარჯვნივ (საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით) ვაბრუნებთ (სურ.1.3.7, ა);

ბ) უკან, წვერის საპირისპიროდ, გადაადგილდება, თუ ბურღის ტარს მარჯვნიდან მარცხნივ (საათის ისრის მოძრაობის საპირისპიროდ) ვაბრუნებთ (სურ.1.3.7, ბ).



სურ. 1.3.7

ცხადია, იმისათვის, რომ მაგნიტური ველი რაოდენობრივად დავახასიათოთ, მხოლოდ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულების განსაზღვრა არ კმარა. აუცილებელია, ვიცოდეთ, როგორ გამოითვლება მისი მოდული. ამას კი მოგვიანებით, ამპერის ძალის შესწავლის შემდეგ შევძლებთ.

Don't copy

1.3.3. მაგნიტური ინდუქციის წირები

გაიხსენე: ელექტრული ველის თვალსაჩინოდ წარმოსადგენად მოსახერხებელია ელექტრული ველის დაძაბულობის ძალწირების გამოყენება. დაძაბულობის ძალწირების ანალოგიურად, მაგნიტური ველის თვალსაჩინოდ წარმოსადგენად **მაგნიტური ინდუქციის წარმოსახვით წირებს** იყენებენ (სურ.1.3.8).



სურ. 1.3.8

მაგნიტური ველის ინდუქციის წირი ისეთი წირია, რომლის ნებისმიერ წერტილში მაგნიტური ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი მხების გასწვრივაა მიმართული (სურ.1.3.8)

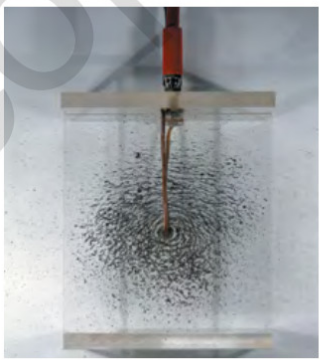
მაგნიტური ინდუქციის წირთა სურათი შეიძლება „ხილული“ გავხადოთ, თუ რკინის წვრილ ნაქლიბს გამოვიყენებთ: შენ იცი, რომ რკინის ნაქლიბის თითოეული ნაწილაკი მაგნიტურ ველში მაგნიტდება და ისე „იქცევა“, როგორც მაგნიტური ისარი. რკინის ნაწილაკები მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების გასწვრივ ორიენტირდება, რაც საშუალებას გვაძლევს, დავინახოთ, როგორია ინდუქციის წირთა განლაგება და, შესაბამისად, დავადგინოთ მაგნიტური ველის განაწილების ხასიათი (სად არის უფრო ძლიერი, სად – შედარებით სუსტი).

დააკვირდი სურათებს (სურ.1.3.9): მათზე გამოსახულია რკინის ნაქლიბის განლაგება სხვადასხვა დენიანი გამტარის მაგნიტურ ველში. ნახე ვიდეო:

http://bitly.ws/yw3T http://bitly.ws/yw3Z







სურ. 1.3.9

დენიანი კოჭას – სოლენოიდის მაგნიტური ველი.

1.3.4.წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ინდუქციის წირები

ჩაატარე ცდა და დააკვირდი, როგორ განლაგდება რკინის ნაქლიბი წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტურ ველში. რკინის ნაქლიბის განლაგება წარმოდგენას შეგიქმნის წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ინდუქციის წირების გრაფიკულ სურათზე.

ცდა I

ნახე ცდა ვიდეოზე: http://bitly.ws/yw4c

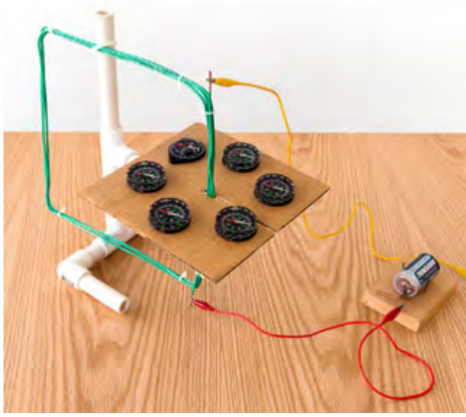
1. გაატარე წრფივი ვერტიკალური გამტარი მუყაოს ქაღალდში მუყაოს სიბრტყის მართობულად (სურ.1.3.10);

2. გამტარის ირგვლივ:

ა) მოათავსე რამდენიმე (4 ან 5) მაგნიტური ისარი ან კომპასი;

ბ) მიმოაბნიე რკინის ნაქლიბი.

3. მიუერთე გამტარის ბოლოები დენის წყაროს და ჩართე ჩამრთველი;



სურ. 1.3.10

Don't copy

4. შეარხიე მუყაო ოდნავ (ან დააკაკუნე ფანქრით მასზე) და დააკვირდი, როგორ განლაგდა რკინის ნაქლიბი დენიანი გამტარის ირგვლივ;

5. დააკვირდი, როგორ ორიენტირდა მაგნიტური ისრები: ერთი მიმართულებით თუ განსხვავებულად?

დაფიქრდი: შეიძლება თუ არა, რომ ისრების განლაგების მიხედვით მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება განვსაზღვროთ?

6. წარმოადგინე გრაფიკულად ცდის შედეგი: გამოსახე წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის წირები ნახაზზე.

რა ინფორმაცია შეიძლება მივიღოთ ველის გრაფიკული სურათიდან? დააკვირდი სურათს (სურ.1.3.11): მასზე წრფივი დენიანი გამტარის გარშემო რკინის ნაქლიბის განლაგება ჩანს, რაც მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების განლაგებაზე გვიქმნის წარმოდგენას. 1.3.11 სურათიდან ჩანს, რომ:

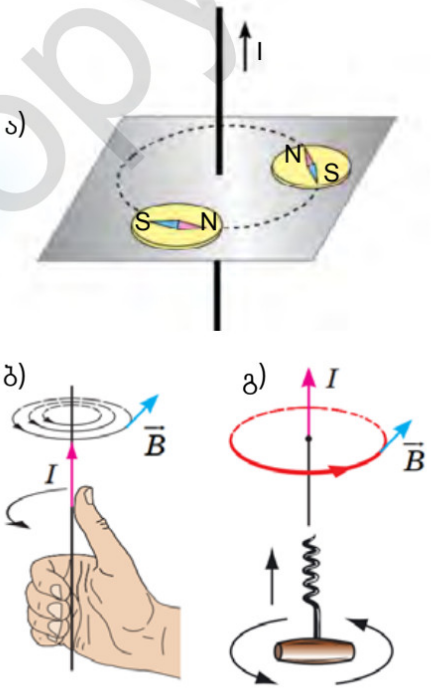


სურ. 1.3.11

1. წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის წირები გამტარის მართობულ სიბრტყეში მდებარე კონცენტრული წრეწირებია, რომელთა ცენტრში გამტარი გადის;

2. დენიანი გამტარის მახლობლად წირების სიხშირე მეტია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მაგნიტური ველი დენიანი გამტარის ახლოს უფრო ძლიერია.

როგორ განვსაზღვროთ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება ველის მოცემულ წერტილში? შენ იცი, რომ მაგნიტური ველის მოცემულ წერტილში ინდუქციის ვექტორი ინდუქციის წირის მხების გასწვრივაა მიმართული (სურ.1.3.8), მაგრამ რომელი მიმართულებით?



სურ. 1.3.12

მაგნიტური ისრის დახმარებით შესაძლებელია მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულების განსაზღვრა (სურ.1.3.12, ა): მისი მიმართულება ემთხვევა მაგნიტურ ველში მოთავსებული თავისუფლად მბრუნავი მაგნიტური ისრის მიმართულებას სამხრეთიდან (S) ჩრდილოეთ პოლუსისაკენ (N).

წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების (ვექტორის) მიმართულება **მარჯვენა ხელის I წესითაც** განისაზღვრება (სურ.1.3.12,ბ):

თუ წრფივ გამტარს მარჯვენა ხელში ისე მოიქცევ, რომ გაშლილი ცერი გამტარში გამავალი დენის მიმართულებას უჩვენებდეს, მაშინ დანარჩენი ოთხი მოხრილი თითი წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის წირების (და, შესაბამისად, ინდუქციის ვექტორის) მიმართულებას გიჩვენებს.

წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების მიმართულებას ბურღის წესითაც ადგენენ (სურ.1.3.12, გ): **თუ ბურღს ისე აბრუნებ, რომ წვერის გადაადგილების მიმართულება გამტარში დენის მიმართულებას დაემთხვას, მაშინ ბურღის ტარის ბრუნვის მიმართულება მაგნიტური ინდუქციის წირების მიმართულებას დაემთხვევა.**

ასე რომ, დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულება დამოკიდებულია გამტარში გამავალი დენის მიმართულებაზე. **როგორ გამოვსახოთ ნახაზზე დენის ან მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება, როცა ის ნახაზის (წიგნის სიბრტყის) მართობულია?**

Don't copy

1.3.1



სურ. 1.3.13

გაიხსენე: ჩვეულებრივ ისარს ერთი ბოლო წვეტიანი აქვს, მეორე ბოლო კი – გაფართოებული (სურ. 1.3.13).

დაფიქრდი: როგორ შეიძლება გამოვსახოთ სურათზე ისარი, რომელსაც წარმოსახვითი დამკვირვებელი („თვალი“) ხედავს იმ შემთხვევაში, როცა:

ა) ისარი მისგან ჰორიზონტალურადაა გასროლილი: სურ.1.3.14, ა)?

ბ) ისარი მისკენ ჰორიზონტალურად მოძრაობს (სურ.1.3.14, ბ)?



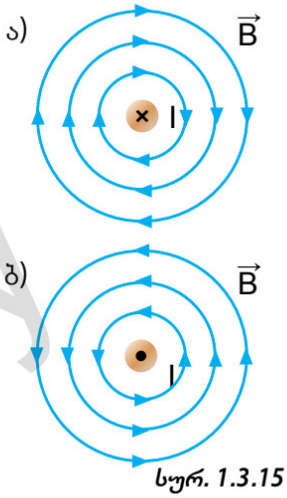
სურ. 1.3.14

ასე: ⊙ თუ ასე: ⊗ ?

გაითვალისწინე: თუ წრფივ გამტარში დენის (ან მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის) მიმართულება ნახაზის (წიგნის სიბრტყის) **მართობულია და მიმართულია:**

ა) შენგან ნახაზის სიბრტყისკენ, მაშინ დენის (ინდუქციის ვექტორის) მიმართულება ნახაზზე ისე გამოისახება, როგორც ეს სურათ 1.3.15, ა-ზეა მითითებული (ანუ „+“ ნიშნით);

ბ) **ნახაზის სიბრტყიდან შენკენ,** მაშინ დენის (ინდუქციის ვექტორის) მიმართულება ნახაზზე ისე გამოისახება, როგორც ეს სურათ 1.3.2, ბ-ზეა მითითებული (ანუ წერტილით).



სურ. 1.3.15

1.3.5. დენიანი კოჭას – სოლენოიდის მაგნიტური ინდუქციის წირები

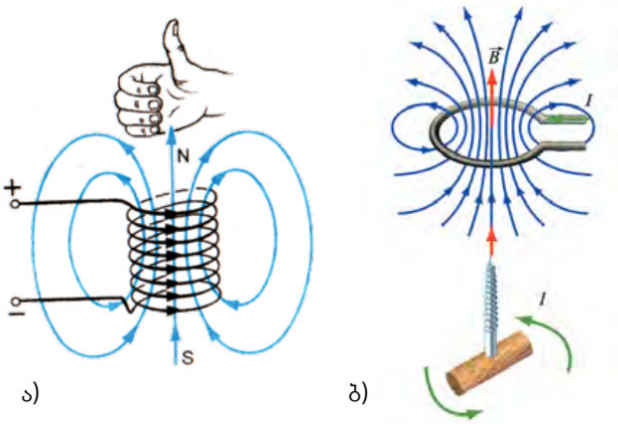
1922 წელს ანდრე მარი ამპერმა აღმოაჩინა, რომ მაგნიტურ ველს თავის გარშემო კოჭაც (სპირალურად დახვეული დენიანი გამტარი) ქმნის (სურ.1.3.9).

ამპერმა კოჭას **სოლენოდი** უწოდა (ბერძნულად „solen“ „მილს“ ნიშნავს, „eidos“ კი – „მსგავსს“). მეცნიერმა შეამჩნია, რომ **დენიანი კოჭას (სოლენოიდის) მაგნიტური ველი ზუსტად ისეთივე იყო, როგორიც მუდმივი ზოლოვანი მაგნიტისა**.

1924 წელს ინგლისელმა ფიზიკოსმა და გამომგონებელმა უილიამ სტერჯენმა პირველად გამოიყენა არა მილისებრი, არამედ ნალის ფორმის სოლენოდი.

დენიანი კოჭას (სოლენოიდის) მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების მიმართულება მარჯვენა ხელის II წესით განისაზღვრება (სურ.1.3.16, ა):

თუ სოლენოიდს მარჯვენა ხელში ისე მოიქცევ, რომ ოთხი მოხრილი თითი ხვიებში გამავალი დენის მიმართულებას უჩვენებდეს, მაშინ გაშლილი ცერი გიჩვენებს მაგნიტური ველის ძალწირების მიმართულებას ხვიების ცენტრში.



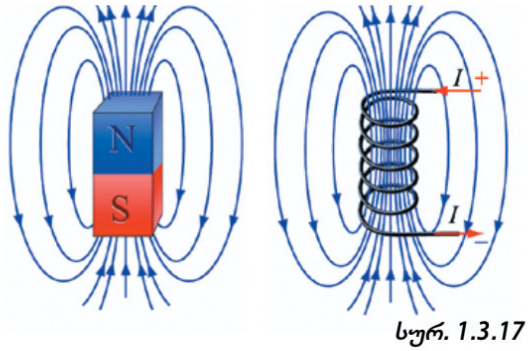
სურ. 1.3.16

ბურღის წესს ამ შემთხვევაშიც იყენებენ (სურ. 1.3.16, ბ): **თუ ბურღს ისე აბრუნებ, რომ ტარის ბრუნვის მიმართულება ხვიებში დენის მიმართულებას დაემთხვას, მაშინ ბურღის წვერის გადაადგილების მიმართულება მაგნიტური ინდუქციის წირების მიმართულებას დაემთხვევა.**

დააკვირდი სურათ 1.3.17-ს და შეადარე ერთმანეთს მუდმივი მაგნიტისა და სოლენოიდის მაგნიტური ველი: სოლენოიდი ისეთსავე მაგნიტურ ველს ქმნის, როგორ-

Don't copy

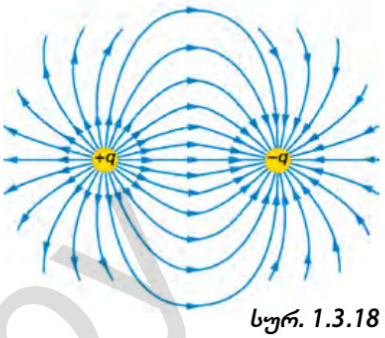
საც მუდმივი მაგნიტი. სოლენოიდსაც, მაგნიტის მსგავსად, ორი პოლუსი აქვს: ჩრდილოეთი (N) და სამხრეთი (S). ჩრდილოეთი პოლუსი სოლენოიდის ის მხარეა, საიდანაც ინდუქციის წირები გამოდის (საითაც უჩვენებს ცერი მარჯვენა ხელის II წესის თანახმად), სამხრეთი პოლუსი კი – ის მხარე, რომელშიც წირები შედის.



სურ. 1.3.17

1.3.6. გრიგალური ველი

გაიხსენე: **ბუნებაში ორგვარი ელექტრული მუხტი არსებობს – დადებითი და უარყოფითი. ელექტროსტატიკური ველის ძალწირები ყოველთვის დადებით მუხტზე იწყება და უარყოფითზე მთავრდება** (სურ.1.3.18). ელექტროსტატიკური ველი **პოტენციალურია:** მისი მუშაობა შეკრულ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლია.



სურ. 1.3.18

მაგნიტური ინდუქციის წირების **მნიშვნელოვანი თავისებურება** კი ის არის, რომ მათ არც დასაწყისი აქვთ და არც დასასრული: **მაგნიტური ინდუქციის წირები შეკრული წირებია.** ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ბუნებაში **მაგნიტური მუხტები არ არსებობს**.

ველს, რომელიც შეკრული წირებით ხასიათდება, **გრიგალური ველი** ჰქვია. ასე რომ, **მაგნიტური ველი გრიგალური ველია.** დააკვირდი სურათებს (სურ. 1.3.9, 1.3.12): მუდმივი მაგნიტის, წრფივი დენიანი გამტარისა და სოლენოიდის მაგნიტური ველის ინდუქციის წირები შეკრულია.

1.3.7. მაგნიტური ველების სუპერპოზიცია

მაგნიტური ველი ისევე, როგორც ელექტრული, სუპერპოზიციის პრინციპს ექვემდებარება. **სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად**, შესაძლებელია, რომ სივრცის ერთსა და იმავე წერტილში რამდენიმე სხვადასხვა დენიანი გამტარის (ან მაგნიტის) მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი ერთდროულად არსებობდეს. ეს ველები ამ წერტილში შეტანილ საცდელ სხეულზე (მაგნიტურ ისარზე, დენის ელემენტზე – შეკრულ დენიან ჩარჩოზე) ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად მოქმედებს, ანუ როგორც ამბობენ, ამ წერტილში მაგნიტური ველების ზედდება ხდება („სუპერპოზიცია“ „ზედდებას“ ნიშნავს).

მაგნიტური ველების სუპერპოზიციის პრინციპიდან გამომდინარე: თუ სივრცის მოცემულ წერტილში სხვადასხვა დენიანი გამტარი (ან მაგნიტი) ქმნის მაგნიტურ ველს (რომელთა ინდუქციის ვექტორებია $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2$, $\vec{B}_3$ ... და ა. შ.), მაშინ ველის მოცემულ წერტილში ჯამური ველის ინდუქციის ვექტორი თითოეული დენიანი გამტარის (მაგნიტის) მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორთა გეომეტრიული ჯამის ტოლია:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \ldots$$

ახლა კი პარაგრაფის დასაწყისში დასმულ კითხვას დავუბრუნდეთ. ცხადია, სუპერპოზიციის პრინციპიდან გამომდინარე, ელექტროგადამცემი ხაზების მახლობლად მაგნიტური ველი ხაზებში გამავალი დენისა და დედამიწის მაგნიტური ველების ზედდების შედეგია, რაც, შეიძლება, გავლენას ახდენდეს ამ ადგილებში მყოფ მსხვილ რქოსან პირუტყვთა მაგნიტორეცეფიაზე (თუ მისი არსებობა ნამდვილად დამტკიცდა...).

ასე რომ, მკვლევართა არგუმენტი მათი ჰიპოთეზის ჭეშმარიტების დამტკიცებისთვის ნამდვილად გამოდგება... თუმცა კითხვა კვლავ უამრავია და საზოგადოება ამ კითხვებზე მეცნიერულად დასაბუთებულ პასუხებს ელის, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს, უკეთ „გავუგოთ“ ცხოველებს.

Don't copy

პროექტი №3:
მუდმივი დენის ელექტრომძრავა

1820 წელს, მას შემდეგ, რაც ჰანს ქრისტიან ერსტედმა შეამჩნია, რომ დენიანი გამტარის მახლობლად მაგნიტური ისარი გადაიხარა, იმდროინდელი ნატურფილოსოფოსები (თანამედროვე წარმოდგენით, საბუნებისმეტყველო დარგების მეცნიერები) დაბნეულობამ მოიცვა: ისინი თვლიდნენ, რომ ელექტრობა და მაგნეტიზმი ორი სრულიად განსხვავებული მოვლენაა.

ერსტედის ცდის შედეგით შთაგონებულმა ანდრე მარი ამპერმა დენიანი გამტარების ურთიერთქმედებაც მალევე აღმოაჩინა და ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის თვალსაჩინო ურთიერთკავშირის დადასტურება მათემატიკური თეორიით სცადა.

ერთ-ერთი სამეცნიერო ჟურნალის რედაქტორმა მაიკლ ფარადეის კამათში ჩართვა სთხოვა და სტატია დაუკვეთა ელექტრომაგნეტიზმის შესახებ, რომელსაც სულ რაღაც ორიოდე წლის ისტორია ჰქონდა და ჯერ ისევ საწყის ეტაპზე, ექსპერიმენტული კვლევა-ძიების პროცესში იყო.

ფარადეის ბიოგრაფიაში ეს ის ეტაპია, როცა მას უფრო ქიმია აინტერესებს და ელექტრომაგნეტიზმი მისთვის მხოლოდ გასართობია (...თან ცოტა თრგუნავს კიდეც ამპერის მათემატიკა)... თუმცა ფარადეი სულით ხორცამდე ექსპერიმენტატორია, სტატია საშუალებას აძლევს, სრულიად ახალ სფეროში მოსინჯოს ძალები. იმისათვის, რომ დეტალურად აღწეროს კავშირი ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის, ფარადეი ერსტედის ცდებს იმეორებს, ცდილობს, გაერკვეს ამპერის თეორიაში, ატარებს სრულიად ახალ ექსპერიმენტებსაც, თუმცა შედეგებს ძალიან სერიოზულად არ ეკიდება... სამეფო აკადემიაში, რომელთანაც თანამშრომლობს, სულ სხვა მიმართულებით ევალება კვლევა.



სურ. 1

1821 წლის 3 სექტემბერს ფარადეიმ შეამჩნია, რომ თავისუფლად დაკიდებული დენიანი გამტარი მაგნიტის გარშემო ბრუნავს.

„...ძალიან დამაჯერებელია, მაგრამ საჭიროა, უკეთესი მოწყობილობა შევქმნა“ – ჩაწერს ის თავის დღიურში და მეორე დღესვე ქმნის „უკეთესს“:

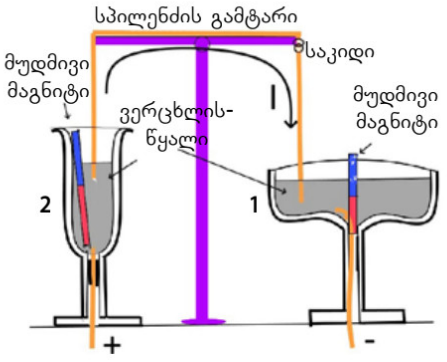
ფარადეის მოწყობილობა მინის ორი ღრმა ჭურჭლისგან შედგება (სურ.1): ერთ მათგანში ფსკერზე მაგნიტი სანთლით მიამაგრა, მეორეში კი ისეთივე მაგნიტი თავისუფლად, მიმაგრების გარეშე, მოათავსა.

ორივე ჭურჭელში იმდენი ვერცხლისწყალი ჩაასხა, რომ მაგნიტები სითხით ნაწილობრივ დაიფარა (სურ.2);

ჭურჭელში (სურ. 2), რომელშიც **მაგნიტი:**

ა) დამაგრებული იყო (1), ჩაუშვა საკიდზე დაკიდებული სპილენძის წვრილი გამტარი, რომელიც დაკიდების წერტილის გარშემო **თავისუფლად ბრუნავდა;**

ბ) დამაგრებული არ იყო (2), ჩაუშვა საკიდზე **უძრავად მიმაგრებული** სპილენძის წვრილი ღერო.



სურ. 2

თავის მოწყობილობას ფარადეი ვოლტას სვეტის გამომყვანებთან აერთებდა. წრედის შეკვრისას:

ა) ერთ ჭურჭელში (1) თავისუფლად დაკიდებული გამტარის ბოლო ფსკერზე მიმაგრებული მაგნიტის გარშემო ბრუნავდა;

Don't COPY

ბ) მეორე ჭურჭელში კი მაგნიტი დამაგრებული გამტარი ღეროს გარშემო წრიულად მოძრაობდა.

ეს **პირველი ელექტროძრავა** იყო – **მოწყობილობა, რომელშიც ელექტრული ენერგია მექანიკურად გარდაიქმნება**... თუმცა თავისი გამოგონების პრაქტიკულ მნიშვნელობასა და სარგებელს ფარადეი ვერ მიხვდა და ჩათვალა, რომ ის მხოლოდ სალონური გართობის დროს სახალისო თავშესაქცევად გამოდგებოდა.



სურ. 3

დავალება 1. **დაამზადე ფარადეის ელექტროძრავას ანალოგი** (სურ. 3).

1. ახსენი მოვლენა, რომელიც ფარადეის მოწყობილობას „ელექტროძრავას“ სტატუსს ანიჭებს:

2. გაარკვიე: რატომ ბრუნავს დენიანი გამტარი მაგნიტის გარშემო და – პირიქით;

3. დაიხმარე ფანტაზია და წარმოიდგინე: როგორ შეიძლებოდა ფარადეის მოწყობილობისგან უფრო სრულყოფილი ძრავას შექმნა? როგორ განავითარებდი ფარადეის ადგილას მას?

შენიშვნა: ვერცხლისწყლის ნაცვლად მარილიანი წყალხსნარი გამოიყენე.

ნახე ვიდეო: დააკვირდი ძალიან საინტერესო ექსპერიმენტის მსვლელობას, რომელიც საშუალებას მოგცემს, მარტივად დაამზადო ფარადეის ელექტროძრავა.
http://bitly.ws/zw9X

გაეცანი ადრეული ხანის სხვა ელექტროძრავებსაც:
http://bitly.ws/zwa2

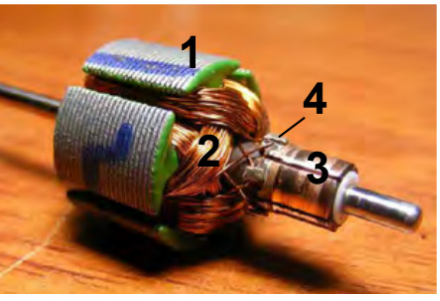
ფარადეის მოწყობილობა შესანიშნავი მტკიცებულება იყო იმ კონცეფციისა, რომლის მიხედვითაც ელექტრობასა და მაგნეტიზმს ერთიანი ბუნება აქვს. ელექტრომაგნიტის გამოგონების შემდეგ ელექტროძრავების განვითარების ისტორია სწრაფად განვითარდა. უამრავი სხვადასხვა კონტრუქციის ელექტროძრავა შეიქმნა, რომელთაგან ზოგი მუდმივ დენზე მუშაობდა, ზოგი – ცვლადზე. პრინციპი კი, რომელიც საფუძვლად ედო ელექტროძრავების მოქმედებას, ყველა შემთხვევაში ერთნაირი იყო: აღმოჩნდა, რომ მაგნიტური ველი მასში მოთავსებულ დენიან ჩარჩოზე **მაორიენტირებელ გავლენას ახდენს:** დენიანი ჩარჩო მაგნიტურ ველში ბრუნავს, ორიენტაციას იცვლის.

ელექტროძრავას ძირითადი ნაწილებია (სურ. 4):

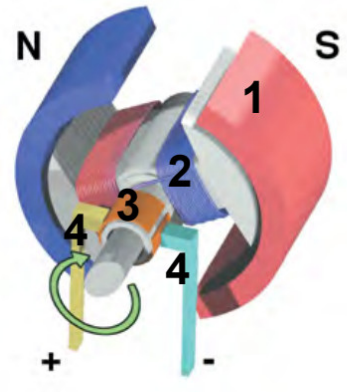
1. ინდუქტორი – მძლავრი მაგნიტი (ან ელექტრომაგნიტი), რომელიც მაგნიტურ ველს ქმნის.

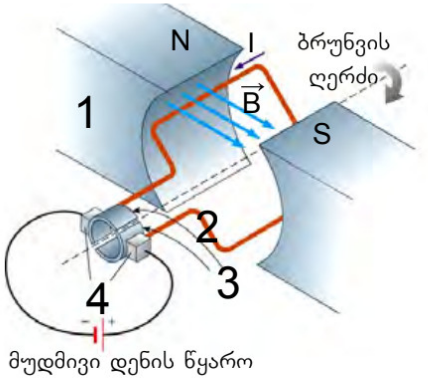
2. ღუზა – ძრავას მბრუნავი ნაწილი, გამტარი ხვიების გრაგნილი (ჩარჩო, რომელზეც იზოლირებული გამტარია დახვეული).

კოლექტორები (3) – ორი ნახევარრგოლია, რომლებიც მოსრიალე კონტაქტებს (გრაფიტის ან სპილენძის ფუნჯებს) მჭიდროდ ეხება.



სურ. 4



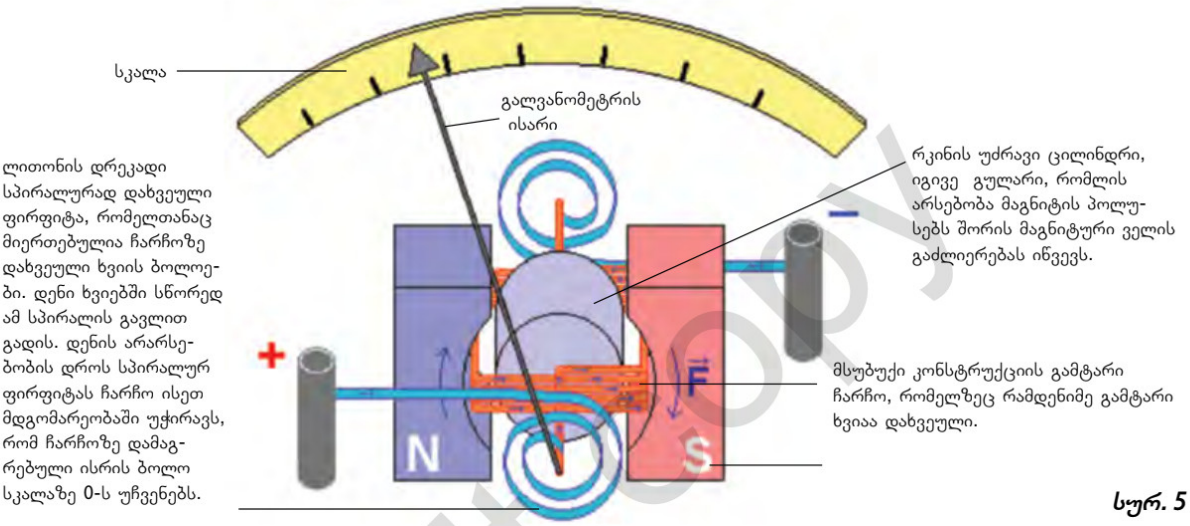


DO not copy

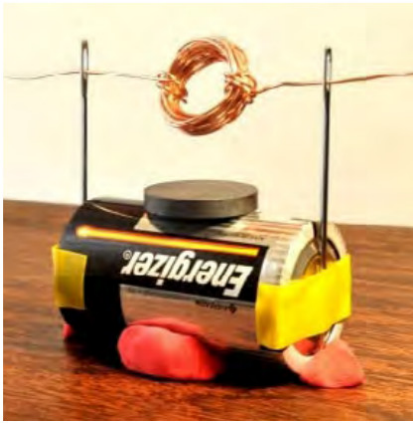
კონტაქტები (ფუნჯები) (4) მუდმივი დენის წყაროს პოლუსებთანაა მიერთებული და დენი კოლექტორის გავლით გრაგნილის ხვიებს მიეწოდება.

როცა ხვიებში დენი გადის, მაგნიტური ველის მხრიდან გრაგნილზე მოქმედებს ძალა, რომელიც ღუზის შემობრუნებას იწვევს. კოლექტორის საშუალებით გრაგნილში დენი ისეთ მიმართულებას იღებს, რომ მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ძალა ღუზის უწყვეტი ბრუნვის გამომწვევ მაბრუნებელ მომენტს ქმნის.

დენიან ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მაორიენტირებელი მოქმედება გამოყენებულია ელექტროგამზომ ხელსაწყოებშიც (ამპერმეტრსა და ვოლტმეტრში). **დააკვირდი** მე-5 სურათს: მასზე გალვანომეტრის გამარტივებული სქემაა გამოსახული: როცა ხვიებში დენი გადის, მაგნიტური ველის მხრიდან ჩარჩოზე მოქმედი ძალა მის შემობრუნებას იწვევს. ჩარჩოს შემობრუნების კუთხის მიხედვით კი დენის ძალის განსაზღვრაა შესაძლებელი.



სურ. 5



სურ. 6

დავალება 2. დაამზადე ელექტროძრავას მარტივი მოდელი (სურ. 6).

ახსენი მისი მოქმედების პრინციპი. **გამოიკვლიე:**

ა) რაზეა დამოკიდებული ღუზის ბრუნვის სიჩქარე;

ბ) როგორ შეიძლება ღუზის ბრუნვის მიმართულების ცვლილება.

მოდელის დასამზადებლად მოიძიე დამატებითი ინფორმაცია:

http://bitly.ws/zwb2 http://bitly.ws/zwb3
http://bitly.ws/zwb5 http://bitly.ws/zwb6

წარმოადგინე შენ მიერ დამზადებული ელექტროძრავას მოდელები და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. ელექტროძრავას დამზადების ეტაპების დაწვრილებითი აღწერა;

2. მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის, რომლებსაც ელექტროძრავას მოქმედება ეფუძნება (მაგ., რა მიზეზითაა გამოწვეული ელექტროძრავას ღუზის ბრუნვა, რატომ ათავსებენ გრაგნილის ხვიებს შორის ლითონის ცილინდრს, რატომაა კოლექტორები ნახევარრგოლების სახის);

3. როგორ ხორციელდება ურთიერთქმედება მუდმივი მაგნიტის (ელექტრომაგნიტის) ელექტრულ ველსა და მასში მოთავსებული გრაგნილის (ჩარჩოს) გამტარ ხვიებს შორის, რა ძალა მოქმედებს გამტარ ხვიებზე და როგორ გარდაიქმნება ელექტრული ენერგია მექანიკურად, რატომ აღიძვრება მაბრუნებელი მომენტი და რაზეა დამოკიდებული მისი მნიშვნელობა;

4. რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს ელექტროძრავას.

Don't copy

1.4 ამპერის კანონი

– რა არის ახალი იმაში, რაც თქვენ გვიჩვენეთ ? – მიმართა საფრანგეთის აკადემიის ერთ-ერთმა წევრმა ანრი მარი ამპერს, როცა მან 1820 წლის სექტემბერში, ერსტედის აღმოჩენიდან სულ რამდენიმე თვეში, აკადემიის სხდომაზე დენიანი გამტარების ურთიერთქმედების შესახებ თავისი კვლევის შედეგი წარუდგინა.

– ცხადია, რომ, თუ დენიანი გამტარები მაგნიტურ ისარზე მოქმედებს, მაშინ ისინი ერთმანეთზეც იმოქმედებს, – დაეთანხმნენ კოლეგები ოპონენტს.

...ამპერი დაიბნა, არ იცოდა, რა ეპასუხა. უხერხული სიჩუმე აკადემიის სწავლულმა მდივანმა, ფრანგმა ფიზიკოსმა, ასტრონომმა და პოლიტიკურმა მოღვაწემ, ფრანსუა არაგომ (1786 – 1853), დაარღვია – ადამიანმა, რომლის სამეცნიერო ბიოგრაფია მდიდარი იყო ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის ურთიერთკავშირის ექსპერიმენტული კვლევებით, რომელმაც პირველმა შეამჩნია, რომ დენიანი გამტარი რკინის ნაქლიბს იზიდავდა... არაგომ ჯიბიდან რკინის ორი გასაღები ამოიღო და აკადემიის წევრებს მიმართა:



სურ. 1.4.1. *ამპერი (მარცხნივ) და არაგო აკვირდებიან მაგნიტური ველის მოქმედებას დენიან გამტარზე...*

– ამ გასაღებიდან თითოეული მაგნიტურ ისარზე ახდენს გავლენას (რკინა მიიზიდება მაგნიტის მიერ!), მაგრამ ისინი ერთმანეთზე არ მოქმედებს, – ძალზე მარტივად და თვალსაჩინოდ მიანიშნა არაგომ აკადემიის წვერებს, რომ ისინი მეცნიერების ისტორიაში ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი და რევოლუციური აღმოჩენის წინაშე იდგნენ. **რატომ იყო ამპერის აღმოჩენა მნიშვნელოვანი?** ის ადასტურებდა, რომ

1. დენიანი გამტარი (მოძრავი ელექტრული მუხტები) თავის გარშემო მაგნიტურ ველს ქმნის;

2. მაგნიტური ველი მოქმედებს მხოლოდ მოძრავ ელექტრულ მუხტზე და არ მოქმედებს უძრავზე.

გაივლის წლები და ამპერის აღმოჩენა ელექტროძრავას, ელექტრომაგნიტის, ტელეგრაფის, რელეს და ბევრი ისეთი მოწყობილობის მუშაობის საფუძველი გახდება, რომელთა გარეშეც შეუძლებელია წარმოიდგინო ადამიანის ცხოვრება და ტექნოლოგიური პროგრესი.

„ელექტრობის ნიუტონი“ – ასე უწოდებს ამპერს ელექტროდინამიკის განვითარებაში შეტანილი წვლილისა და დამსახურების გამო ჯეიმს კლარკ მაქსველი – მეცნიერი, რომელმაც ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის ურთიერთკავშირის დასადგენად ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევების შედეგები მათემატიკურად აღწერა და ელექტრული და მაგნიტური მოვლენების ერთიანი ბუნება საბოლოოდ დაადასტურა.

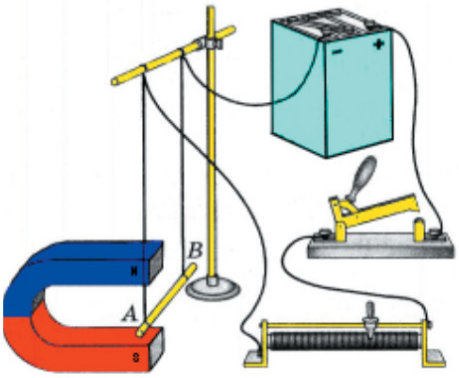
1820 წელს ამპერმა ექსპერიმენტულად შეისწავლა მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარზე. ის ცვლიდა გამტარების ფორმას, მათ განლაგებას მაგნიტურ ველში და შეძლო, განესაზღვრა ძალის სიდიდე, რომლითაც მაგნიტურ ველი დენიანი გამტარის მონაკვეთზე (დენის ელემენტზე) მოქმედებს.

1.4.1. ამპერის ძალა

ამპერი პირველი არ იყო, ვინც ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს შორის ურთიერთკავშირს იკვლევდა, მაგრამ ის პირველი იყო, ვინც მაგნიტური ველის მხრიდან

Don't copy

დენიან გამტარზე მოქმედება მათემატიკურად აღწერა. 1820 წელს მან კანონი დაადგინა, რომლის მიხედვითაც მაგნიტური ველის მხრიდან დენიანი გამტარის ცალკეულ უბანზე (დენის ელემენტზე) მოქმედი ძალის მოდული განისაზღვრება. კანონს, მეცნიერის პატივსაცემად **ამპერის კანონი** ეწოდა, ძალას კი, რომლითაც მაგნიტური ველი დენიან გამტარზე მოქმედებს – **ამპერის ძალა**.



სურ. 1.4.2

რაზეა დამოკიდებული ამპერის ძალა? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად და იმისათვის, რომ მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარზე **თვისებრივად** აღვწეროთ, ჩაატარე ცდა:

ცდა I

ცდისთვის საჭიროა: დენის წყარო (12 ვ), რეოსტატი, მსუბუქი გამტარი ღერო (ან სადენი), ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები, ნალისებრი დიდი მაგნიტი.

ცდის ჩატარება ვირტუალურ ლაბორატორიაშიც შეგიძლია: http://bitly.ws/zpeZ

1. ააწყვე ელექტრული წრედი სურათ 1.4.2-ზე გამოსახული სქემის მიხედვით და ჩართე ჩამრთველი;

დააკვირდი: როგორ მოქმედებს ნალისებრი მაგნიტის მაგნიტური ველი დენიან გამტარზე?

2. ცვალე რეოსტატის საშუალებით გამტარ ღეროში (რომლის AB უბანი წრედშია ჩართული) გამავალი დენის ძალა;

დააკვირდი: როგორაა დამოკიდებული დენის ძალაზე მაგნიტის მაგნიტური ველის მხრიდან დენიან გამტარზე მოქმედი ძალის (ამპერის ძალის) მოდული?

3. ცვალე წრედში ჩართული გამტარის AB უბნის სიგრძე ისე, რომ მასში გამავალი დენის ძალა უცვლელი დარჩეს;

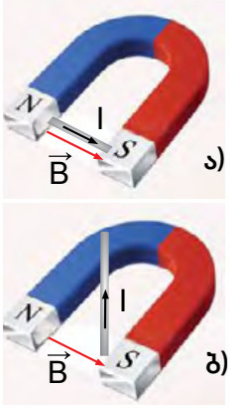
დააკვირდი: როგორაა დამოკიდებული ამპერის ძალის მოდული დენიანი გამტარის AB უბნის სიგრძეზე?

4. ცვალე მაგნიტის მდებარეობა დენიანი გამტარის მიმართ ისე, რომ იცვლებოდეს კუთხე გამტარსა და მაგნიტური ინდუქციის წირებს შორის. **დააკვირდი:** იცვლება თუ არა ამპერის ძალის მოდული? რა შემთხვევაშია ის მაქსიმალური? რა შემთხვევაში არ მოქმედებს მაგნიტი დენიან გამტარზე?

5. გაიმეორე ცდა: დენიანი გამტარი ორი ერთმანეთზე მჭიდროდ მიკრული ნალისებრი მაგნიტის პოლუსებს შორის მოათავსე (მაგნიტები ერთად ისე შეკარი, რომ ერთმანეთს „U“-ს ფორმის ზედაპირით ეხებოდეს და ერთნაირი პოლუსები ერთად აღმოჩნდეს).

დააკვირდი: რა შემთხვევაში მოქმედებს დენიან გამტარზე მაგნიტური ველი დიდი ძალით: როცა ველი ერთი მაგნიტით იქმნება თუ როცა მას ორი მაგნიტი ქმნის?

6. გამოთქვი ვარაუდი: რაზეა დამოკიდებული ამპერის ძალის მოდული?



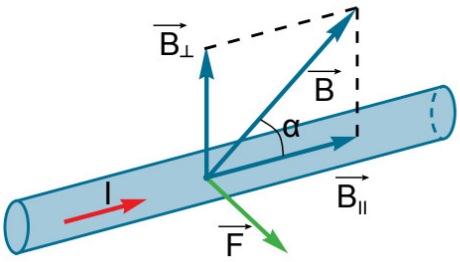
სურ. 1.4.3

ექსპერიმენტული კვლევა აჩვენებს, რომ ამპერის ძალის მოდული დამოკიდებულია მაგნიტურ ველში დენიანი გამტარის ორიენტაციაზე: **მაგნიტური ველი, რომლის ინდუქციის ვექტორი დენიანი გამტარის**

ა) გასწვრივაა მიმართული, გამტარზე არ მოქმედებს (სურ.1.4.3, ა);

ბ) მართობულადაა მიმართული, გამტარზე მაქსიმალური ძალით მოქმედებს (სურ.1.4.3, ბ).

Don't copy



სურ. 1.4.4

ვთქვათ, მაგნიტური ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი გამტარში გამავალი დენის მიმართულებასთან (გამტარის მიმართულებასთან) α კუთხეს ადგენს (სურ.1.4.4):

1. $\vec{B}$ ვექტორის ის მდგენელი, რომელიც გამტარის გასწვრივაა მიმართული ($\vec{B}_\parallel$), დენიან გამტარზე არ მოქმედებს;

2. დენიან გამტარზე $\vec{B}$ ვექტორის მხოლოდ ის მდგენელი მოქმედებს, რომელიც გამტარის მართობულია ($\vec{B}_\perp$). ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **ამპერის ძალის მოდული დამოკიდებულია მხოლოდ გამტარისადმი ვექტორის მართობულ მდგენელზე** ($B_\perp$), რომელიც ასე გამოითვლება:

$$B_\perp = B \sin \alpha;$$

ცდები აჩვენებს, რომ დენიანი გამტარის მონაკვეთზე (ℓ) მოქმედი ამპერის ძალის ($F_{მაქს}$) მაქსიმალური მნიშვნელობა პირდაპირპროპორციულია:

ა) გამტარში გამავალი დენის ძალისა ($F_{მაქს} \sim I$);

ბ) დენიანი გამტარის მონაკვეთის სიგრძისა ($F_{მაქს} \sim \ell$):

ანუ **ამპერის ძალის ($F_{მაქს}$) მაქსიმალური მნიშვნელობა პირდაპირპროპორციულია დენის ძალისა და მონაკვეთის სიგრძის ნამრავლისა:**

$$F_{მაქს} \sim I\ell \qquad (1.4.1)$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ **ამპერის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობის ($F_{მაქს}$) შეფარდება $I \cdot \ell$ ნამრავლთან მუდმივი სიდიდეა და დამოკიდებული არ არის არც დენის ძალასა და არც დენიანი გამტარის მონაკვეთის სიგრძეზე.** რაზეა დამოკიდებული ეს შეფარდება?

1.4.2. მაგნიტური ინდუქცია

გაიხსენე 1-ელი ცდის მე-5 შედეგი: მაგნიტურ ველში მოთავსებული დენიანი გამტარის მონაკვეთზე (დენის ელემენტზე) მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ძალის მოდული, გარდა მასში გამავალი დენის ძალისა და გამტარის მონაკვეთის სიგრძისა, თავად მაგნიტურ ველზეცაა დამოკიდებული. ასე რომ, $\frac{F_{მაქს}}{I\ell}$ შეფარდება შეიძლება მივიჩნიოთ მაგნიტური ველის მახასიათებლად ველის იმ წერტილში, რომელშიც დენის ელემენტია მოთავსებული. მას **მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულს,** ან უბრალოდ, **მაგნიტურ ინდუქციას** უწოდებენ. მაგნიტური ინდუქცია B-თი აღინიშნება.

მაგნიტური ინდუქცია (ინდუქციის ვექტორის მოდული) (B) **ტოლია მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიანი გამტარის მონაკვეთზე (დენის ელემენტზე) მოქმედი ამპერის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობის შეფარდებისა მონაკვეთში გამავალი დენის ძალისა და მონაკვეთის სიგრძის ნამრავლთან:**

$$\boxed{B = \frac{F_{მაქს}}{I\ell}} \qquad (1.4.2)$$

დააკვირდი: 1.4.2 ტოლობიდან ჩანს, რომ **მაგნიტური ინდუქციის მოდული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად გვიჩვენებს, რა მაქსიმალური ძალით მოქმედებს მაგნიტური ველი მასში მოთავსებული გამტარის 1 მ სიგრძის მონაკვეთზე, როცა გამტარში 1 ა დენი გადის.**

1.4.3. მაგნიტური ინდუქციის ერთეული

ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI-ში) მაგნიტური ინდუქციის ერთეულს ელექტროტექნიკის „ჯადოქრად“ აღიარებული სერბი მეცნიერის, ნიკოლა ტესლას, პატივსაცემად **ტესლა** (ტლ) ჰქვია.

Don't copy

1 ტესლა ისეთი მაგნიტური ველის ინდუქციაა, რომელიც მასში მოთავსებული დენიანი გამტარის ყოველ 1 მ-იან მონაკვეთზე 1 ნ-ის ტოლი მაქსიმალური ძალით მოქმედებს, როცა გამტარში 1 ა დენი გადის:

$$[B]_{si} = \frac{[F]_{si}}{[I]_{si}\cdot[\ell]_{si}} = \frac{1\text{ნ}}{1\text{ა}\cdot 1\text{მ}} = 1\frac{\text{ნ}}{\text{ა}\cdot\text{მ}} = 1\text{ტლ}$$

1 ტესლა ძალიან დიდი ერთეულია: დედამიწის მაგნიტური ველის ინდუქცია 50^0 განედზე დაახლოებით $5 \cdot 10^{-5}$ ტესლაა (0,05 მილიტესლა ან 50 მიკროტესლა), ხოლო ეკვატორზე (0^0 განედზე) – $3{,}1 \cdot 10^{-5}$ ტესლას უტოლდება. მაცივარზე მისაკრავი მაგნიტური სუვენირების მაგნიტური ინდუქცია $5 \cdot 10^{-3}$ ტესლაა, მსოფლიოში ყველაზე დიდი კოლაიდერის (ელემენტარულ ნაწილაკთა ამაჩქარებლის) – უზარმაზარი ზეგამტარული და ზემძლავრი მაგნიტისა კი, რომელშიც 11 კა დენი გადის, 8,1 ტესლაა.

1.4.4. ამპერის კანონი

1826 წელს ამპერმა დაადგინა კანონი, რომელიც მათემატიკურად აღწერს კავშირს მაგნიტური ველის მხრიდან დენიანი გამტარის მონაკვეთზე მოქმედ ამპერის ძალის მოდულსა და ამ ველის მაგნიტურ ინდუქციას შორის. კანონს **ამპერის კანონი** ეწოდა. **ამპერის კანონის თანახმად:**

ამპერის ძალის მოდული ($F_ა$), რომლითაც მაგნიტური ველი მასში მოთავსებული დენიანი გამტარის მცირე მონაკვეთზე (დენის ელემენტზე) მოქმედებს, ტოლია მაგნიტური ველის ინდუქციის (B), გამტარში გამავალი დენის ძალის (I), დენიანი გამტარის მონაკვეთის სიგრძის (ℓ) ნამრავლისა იმ α კუთხის სინუსზე, რომელსაც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი დენის მიმართულებასთან ქმნის. ამპერის კანონი მათემატიკურად ასე ჩაიწერება:

$$F_ა = B\,I\,\ell\sin\alpha \qquad (1.4.3)$$

დააკვირდი ამპერის კანონის მათემატიკურ ჩანაწერს: **როცა მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი დენიანი გამტარის მონაკვეთის:**

ა) მართობულია ($\alpha = 90^0$), მაშინ $\sin\alpha = 1$ და **ამპერის ძალა თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს**;

ბ) გასწვრივაა მიმართული ($\alpha = 0^0$), მაშინ $\sin\alpha = 0$ და ამპერის ძალა 0-ს უტოლდება, ანუ ასეთ შემთხვევაში **დენიანი გამტარის მონაკვეთზე მაგნიტური ველი არ მოქმედებს**.

თუ ვიცით დენიანი გამტარის ნებისმიერ მცირე მონაკვეთზე მოქმედი ამპერის ძალის მოდული და მიმართულება, შეიძლება განვსაზღვროთ მთელ შეკრულ გამტარზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ძალა. ამისათვის საჭიროა, მთელი გამტარი წრფივ მცირე მონაკვეთებად დავყოთ და ვიპოვოთ ყველა მონაკვეთზე მოქმედი ამპერის ძალთა ჯამი.

1.4.5. ამპერის ძალის მიმართულება

გაიხსენე: ელექტრული ველის მხრიდან საცდელ დადებით მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულება ყოველთვის ემთხვევა დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას.

ამპერის ძალის მოდული და მიმართულება კი დამოკიდებულია მაგნიტურ ველში მოთავსებული დენიანი გამტარის ორიენტაციაზე მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართ.

ამასთან, **ამპერის ძალის მიმართულება დამოკიდებულია გამტარში გამავალი დენის მიმართულებაზეც** (თუ I ცდას გაიმეორებ და გამტარში გამავალი დენის მიმართულებას შეცვლი, შეამჩნევ, რომ იცვლება მაგნიტურ ველში მოთავსებულ გამტარზე მოქმედი ამპერის ძალის მიმართულებაც).

დააკვირდი ვირტუალურ ლაბორატორიაში: http://bitly.ws/zpyw

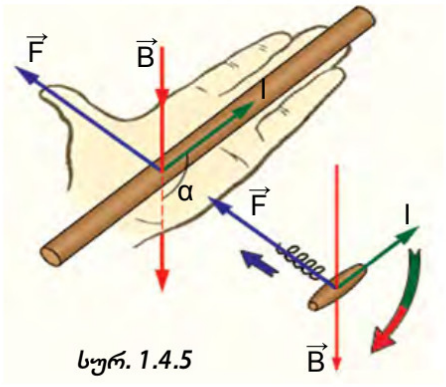
Draft copy

ამპერის ძალის მიმართულება მარცხენა ხელის წესით განისაზღვრება (სურ.1.4.5): **თუ მარცხენა ხელს ისე მოათავსებ, რომ:**

1. ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი (გამტარისადმი მართობული მისი მდგენელი) ხელისგულში შედიოდეს;

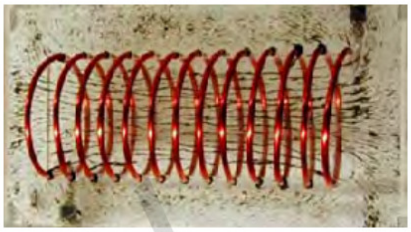
2. გაშლილი ოთხი თითი გამტარში დენის მიმართულებას გიჩვენებდეს,

მაშინ 90^0-ით გაშლილი ცერი დენიანი გამტარის მონაკვეთზე მოქმედი ამპერის ძალის მიმართულებას მიგანიშნებს.

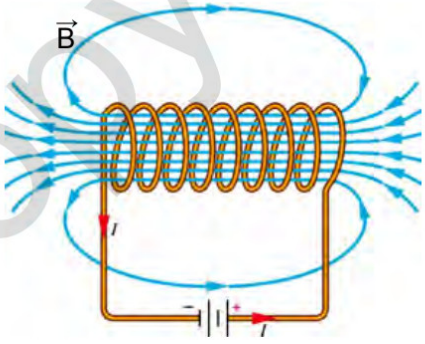


სურ. 1.4.5

ასე რომ, **ამპერის ძალა ყოველთვის როგორც გამტარის, ისე იმ მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მართობულია, რომელშიცაა მოთავსებული** (**შენიშვნა:** მარცხენა ხელის წესით ინდუქციის ვექტორის ან გამტარში გამავალი დენის მიმართულების განსაზღვრაც შეგიძლია).



გაითვალისწინე: **ამპერის ძალის მიმართულების განსაზღვრა შესაძლებელია ბურღის წესითაც**: წარმოიდგინე, ბურღი ისე გიჭირავს, რომ მისი ღერძი მართობულია როგორც მაგნიტური ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორის, ისე გამტარში დენის მიმართულებისა (სურ. 1.4.5). თუ წარმოსახვით ბურღს ისე აბრუნებ, რომ მისი ტარი დენის მიმართულებიდან $\vec{B}$ ვექტორისკენ ბრუნავდეს, ბურღის წვერი ამპერის ძალის მიმართულებით გადაადგილდება.



სურ. 1.4.6

1.4.5. ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი

თუ სივრცის გარკვეულ ნაწილში მაგნიტური ველის ნებისმიერ წერტილში მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება და მოდული ერთნაირია, მაშინ ამბობენ, რომ სივრცის ამ ნაწილში **მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია.** მაგ., ერთგვაროვანია მაგნიტური ველი სოლენოიდის შიგნით, თუ სოლენოიდის სიგრძე ბევრად აღემატება მის დიამეტრს. ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციის წირები პარალელურია, ხოლო მათი სიხშირე ველის ყველა წერტილში ერთნაირია (სურ.1.4.6).

1.4.6. სხვადასხვა ფორმის დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქცია

ვთქვათ, გამტარში გამავალი დენის ძალაა I და დენიანი გამტარი თავის გარშემო ქმნის მაგნიტურ ველს, რომლის ინდუქციაა B. **გაითვალისწინე**, რომ μ_0 მაგნიტური მუდმივაა, რომელიც SI-ში ასე ჩაიწერება: $\mu_0 = 2\pi \cdot 10^{-4}$ ნ/ა^2. **მაგნიტური ველის ინდუქცია:**

ა) მცირე განივკვეთის ფართობის მქონე წრფივი დენიანი გამტარისგან d მანძილით დაშორებულ წერტილში ასე გამოითვლება: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$ (d მანძილი გაცილებით ნაკლებია დენიანი გამტარის სიგრძეზე).

ბ) დენიანი კოჭას (სოლენოიდის) შიგნით ასე გამოითვლება: $B = \frac{\mu_0 IN}{\ell}$; N კოჭას ხვიათა საერთო რიცხვია, ℓ კოჭას (სოლენოიდის) სიგრძეა, რომელიც გაცილებით აღემატება ხვიების რადიუსს;

გ) წრიული გამტარის ცენტრში გამოითვლება ასე: $B = \frac{\mu_0 I}{2r}$; r წრიული გამტარის რადიუსია (**შენიშვნა:** ფორმულები სამართლიანი ვაკუუმში/ჰაერში მოთავსებული დენიანი გამტარის მაგნიტური ველისთვის).

Don't copy

ამოცანა 1.5.1

დენიანი გამტარების ურთიერთქმედება

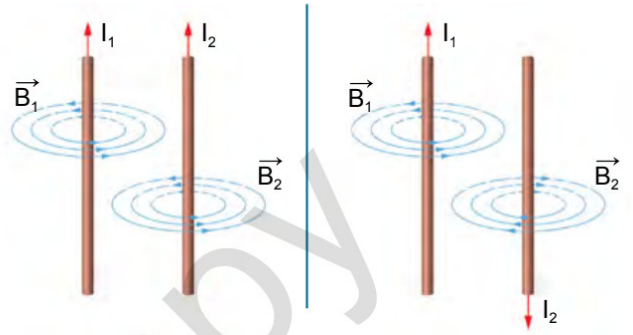
დაამტკიცე, თუ ორ პარალელურ გამტარში გამავალი დენი ერთი მიმართულებისაა, დენიანი გამტარები ერთმანეთს მიიზიდავს, ხოლო თუ მათში საპირისპირო მიმართულების დენი გადის, ისინი ერთმანეთს განიზიდავს.

1. სურათ 1.5.1-ზე გამოსახულია ორი შემთხვევა: როცა პარალელურ გამტარებში გამავალ დენს:

ა) ერთნაირი მიმართულება აქვს;

ბ) საპირისპირო მიმართულება აქვს.

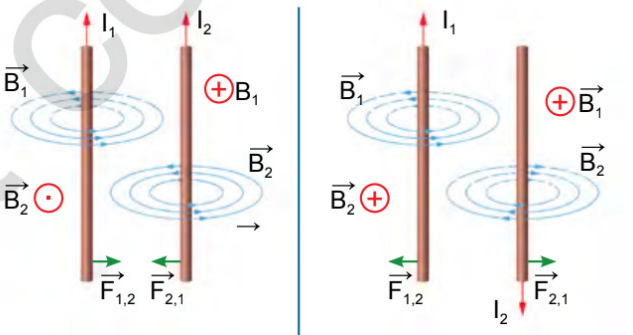
განსაზღვრე **ბურღის წესით** თითოეული წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ინდუქციის წირების მიმართულება და შეამოწმე შენ მიერ მიღებული შედეგი 1.5.1 სურათის მიხედვით.



სურ. 1.5.1

2. თითოეულ დენიან გამტარზე **მეორე გამტარის მაგნიტური ველის მხრიდან** მოქმედებს ამპერის ძალა, რომლის მიმართულება **მარცხენა ხელის წესით** განისაზღვრება (სურ.1.5.2).

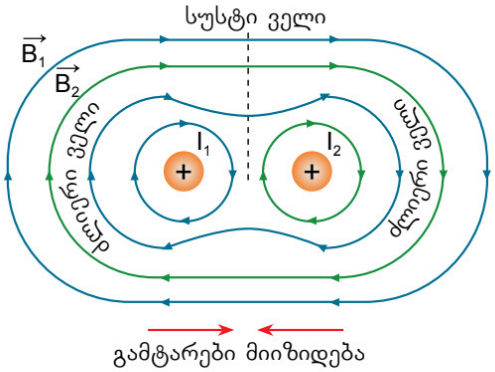
განსაზღვრე თითოეულ დენიან გამტარზე **მეორე დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის მხრიდან** მოქმედი ამპერის ძალის მიმართულება და შეამოწმე შენ მიერ მიღებული შედეგი 1.5.2 სურათის მიხედვით.



სურ. 1.5.2

დენიანი გამტარების ურთიერთქმედების კანონზომიერება სუპერპოზიციის პრინციპიდანაც გამომდინარეობს:

1. ვთქვათ, **ორ პარალელურ გამტარში გამავალი დენი ერთი მიმართულებისაა** (სურ.1.5.3). დენიანი გამტარების მაგნიტური ველების სუპერპოზიციის შედეგად **ჯამური მაგნიტური ველი გამტარებს:**



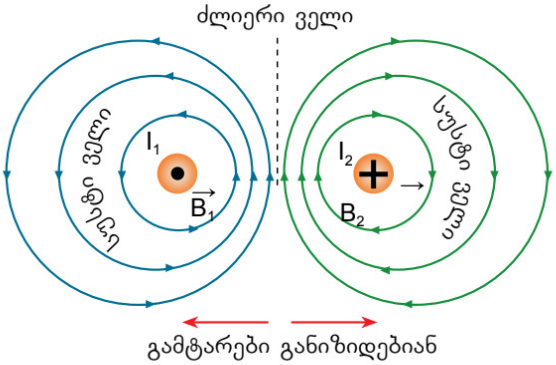
სურ. 1.5.3

ა) შორის შესუსტდება: დენიანი გამტარების მაგნიტური ველების ინდუქციის წირებს საპირისპირო მიმართულება აქვს და ერთმანეთს გააკომპენსირებს (ნაწილობრივ ან მთლიანად);

ბ) გარეთ გაძლიერდება: დენიანი გამტარების მაგნიტური ველების ინდუქციის წირების მიმართულება ერთნაირია (ველები შეიკრიბება);

Don't copy

მაგნიტური ველი დენიან გამტარებს ცენტრალური ნაწილისკენ, ნაკლები ინდუქციის მიდამოსკენ გადევნის: გამტარები ურთიერთმიიზიდება.



სურ. 1.5.4

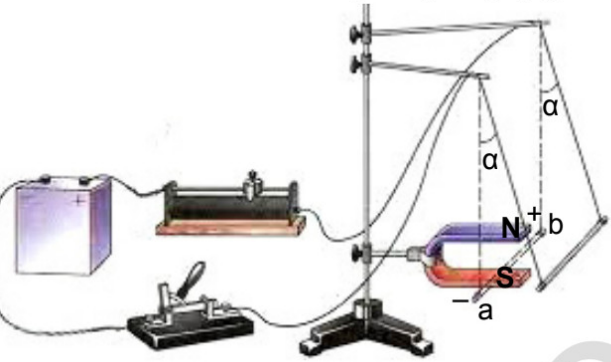
2. ვთქვათ, **ორ პარალელურ გამტარში გამავალი დენი საპირისპირო მიმართულებისაა** (სურ.1.5.4). დენიანი გამტარების მაგნიტური ველების სუპერპოზიციის შედეგად **ჯამური მაგნიტური ველი გამტარებს:**

ა) შორის გაძლიერდება: დენიანი გამტარების მაგნიტური ველების ინდუქციის წირების მიმართულება ერთნაირია (ველები შეიკრიბება);

ბ) გარეთ შესუსტდება: დენიანი გამტარების მაგნიტური ველების ინდუქციის წირებს საპირისპირო მიმართულება აქვს და ისინი ერთმანეთს ნაწილობრივ (ან მთლიანად) გააკომპენსირებს;

მაგნიტური ველი დენიან გამტარებს ცენტრალური ნაწილიდან გარეთ, ნაკლები ინდუქციის მიდამოსკენ განდევნის: გამტარები ურთიერთგანიზიდება.

ჩაატარე ცდები ვირტუალურ ლაბორატორიაში. დააკვირდი დენიანი გამტარების ურთიერთქმედებას: http://bitly.ws/zpDQ



სურ. 1.5.5

ამოცანა 1.5.2

მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარზე

ნალისებრი მაგნიტის პოლუსებს შორის ორ ძაფზე 10 გ მასისა და 20 სმ სიგრძის გამტარი ღეროა დაკიდებული (სურ.1.5.5). **გამოთვალე კუთხე, რომლითაც ძაფები ვერტიკალიდან გადაიხრება, როცა გამტარში 4,9 ა დენი გაივლის, თუ ცნობილია, რომ მაგნიტის მაგნიტური ველის ინდუქცია 0,1 ტლ-ს ტოლია (g ≈ 9,8 ნ/კგ).**

მოც.:

$m = 10$ გ $= 0{,}01$ კგ; $\ell = 20$ სმ $= 0{,}2$ მ; $I = 4{,}9$ ა; $B = 0{,}1$ ტლ; $g \approx 9{,}8$ ნ/კგ | **უ.ვ.** α.

1. დააკვირდი 1.5.5 სურათს:

ა) ნალისებრი მაგნიტის ინდუქციის ვექტორი ვერტიკალურად ქვევითაა მიმართული (მაგნიტის N-იდან S პოლუსისკენ) (მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია);

ბ) დენი გამტარში b-დან a-ს მიმართულებით გადის;

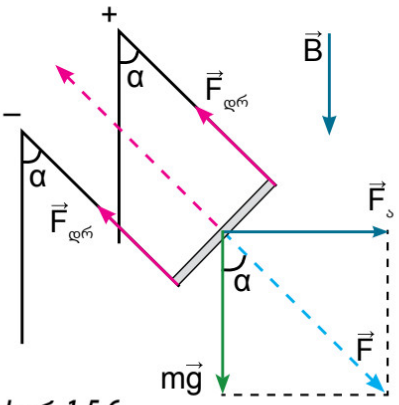
გ) ამპერის ძალა, მარცხენა ხელის წესის თანახმად, მარცხნიდან მარჯვნივ, გამტარის მართობულადაა მიმართული: გამტარი მაგნიტისგან განიზიდება და ძაფები ვერტიკალთან α კუთხეს შექმნის.

2. დააკვირდი 1.5.6 სურათს: მასზე დენიან გამტარზე მოქმედ ძალთა დიაგრამაა გამოსახული. **დენიან გამტარზე მოქმედებს:**

ა) ამპერის ძალა, რომლის მოდული, ამპერის კანონის თანახმად, ასე გამოითვლება: $F_ა = IB\ell$ (1)

ბ) ვერტიკალურად ქვევით მიმართული **გამტარის სიმძიმის ძალა,** რომლის მოდული ასე გამოითვლება: $F_{სიმ} = mg$ (2)

DonEdu Copy



სურ. 1.5.6

გ) ორივე ძაფის **დაჭიმულობის ძალა** ($2\vec{F}_{დრ}$).

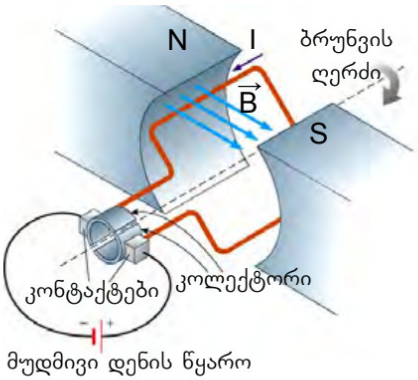
ამპერის ძალისა და სიმძიმის ძალის ტოლქმედი ($\vec{F}$) ძაფების დაჭიმულობის ძალებს ($2\vec{F}_{დრ}$) აწონასწორებს:

$$\vec{F}_{ა} + \vec{F}_{სიმ} = \vec{F}\ ; \qquad F = 2F_{დრ} \qquad (3)$$

3. ნახაზიდან (სურ.1.5.6) ჩანს, რომ:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_{ა}}{F_{სიმ}} = \frac{IB\ell}{mg}$$

ამოცანის მოცემულობის გათვალისწინებით კი მივიღებთ, რომ $\operatorname{tg}\alpha = 1$, ანუ როცა გამტარში დენი გაივლის, ძაფები ვერტიკალიდან 45^0-იანი კუთხით გადაიხრება.



სურ. 1.5.7

ამოცანა 1.5.3

მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან ჩარჩოზე

ამპერის ექსპერიმენტული კვლევები, რომლებიც დენიან გამტარზე მაგნიტური ველის მოქმედებას უკავშირდებოდა, ბევრი ისეთი მოწყობილობის მუშაობის პრინციპს დაედო საფუძვლად, რომელთა გარეშე ადამიანის ყოფა-ცხოვრება თანამედროვე დროშიც კი წარმოუდგენელია. მაგ., **ელექტროძრავას** ერთ-ერთი მთავარი დეტალი მაგნიტურ ველში მოთავსებული დენიანი ჩარჩოა, რომელიც მაგნიტური ველის მოქმედებით ბრუნავს (სურ.1.5.7).

გავარკვიოთ, როგორია ელექტროძრავას მუშაობის პრინციპი. ამისათვის კი განვიხილოთ, როგორ მოქმედებს ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი მასში მოთავსებულ დენიან ჩარჩოზე.

1. დააკვირდი ნახაზს (სურ. 1.5.8, ა): მასზე სქემატურადაა გამოსახული **მართკუთხა ფორმის ჩარჩო, რომელიც:**

ა) მოთავსებულია ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომლის ინდუქციის ვექტორი ($\vec{B}$) ვერტიკალურად ზევითაა მიმართული;

ბ) თავისუფლად ბრუნავს ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო.

2. ვთქვათ, ჩარჩოში დენი $1 \to 2 \to 3 \to 4 \to 1$ გადის (სურ. 1.5.8, ა).

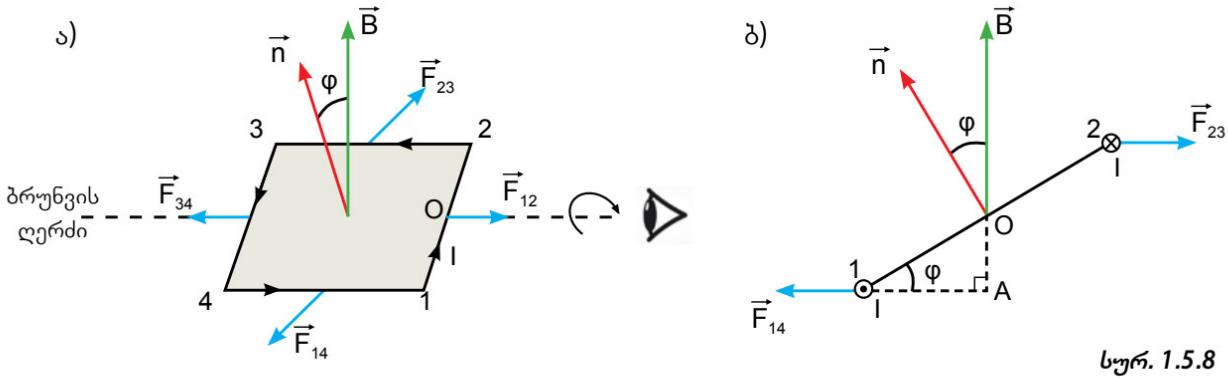
3. $\vec{n}$ **ვექტორი ჩარჩოს დადებითი ნორმალია** (სურ. 1.5.8, ა): მისი მიმართულება ჩარჩოს სიბრტყის მართობის იმ მიმართულებას ემთხვევა, საითაც გადაადგილდება ბურღის წვერი, თუ მის ტარს ჩარჩოში გამავალი დენის მიმართულებით ვაბრუნებთ (ბურღის ღერძი ჩარჩოს სიბრტყის მართობულია). φ არის კუთხე $\vec{n}$ **და** $\vec{B}$ ვექტორებს შორის: $\varphi \neq 0$.

4. ჩარჩოს ყველა გვერდზე ამპერის ძალა მოქმედებს, რადგან დენი მთელ კონტურში გადის (ამასთან, ყველა გვერდში გამავალი დენის ძალა ერთნაირია). **ამპერის ძალა, რომელიც მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედებს ჩარჩოს:**

ა) 1-2 და 3-4 გვერდებზე, შესაბამისად, არის $\vec{F}_{12}$ **და** $\vec{F}_{34}$ (სურ. 1.5.8, ა).

$\vec{F}_{12}$ და $\vec{F}_{34}$ ძალების მიმართულება მარცხენა ხელის წესით განისაზღვრება: ისინი ჩარჩოს 1-2 და 3-4 გვერდებზე, მათ მართობულად, ბრუნვის ღერძის გასწვრივაა მოდებული და ჩარჩოს შემობრუნებას არ იწვევს. $\vec{F}_{12}$ და $\vec{F}_{34}$ ძალები ჩარჩოს მხოლოდ ჭიმავენ: $\vec{F}_{12}$ ძალა მარჯვნივ, $\vec{F}_{34}$ ძალა კი – მარცხნივ.

Don't copy



სურ. 1.5.8

ბ) 2-3 და 1-4 გვერდებზე, შესაბამისად, არის $\vec{F}_{23}$ და $\vec{F}_{14}$ (სურ. 1.5.8, ა).

$\vec{F}_{23}$ და $\vec{F}_{14}$ ძალების მიმართულებაც მარცხენა ხელის წესით განისაზღვრება.

წარმოიდგინე, რომ ჩარჩოს მარჯვენა მხრიდან უყურებ (სურ. 1.5.8, ბ): $\vec{F}_{23}$ და $\vec{F}_{14}$ ძალები ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, ბრუნვის ღერძის მართობულადაა შესაბამის გვერდებზე მოდებული (გვერდების მართობულად).

$\vec{F}_{23}$ და $\vec{F}_{14}$ ძალები ჩარჩოს ჰორიზონტალური ბრუნვის ღერძის გარშემო, საათის ისრის მიმართულებით აბრუნებს (სურ. 1.5.8, ბ).

5. გამოვთვალოთ $\vec{F}_{23}$ და $\vec{F}_{14}$ ძალების მაბრუნებელი მომენტი ჩარჩოს ბრუნვის ღერძის მიმართ, რომელიც O წერტილში გადის (სურ. 1.5.8, ბ).

ვთქვათ,

ა) 2-3 და 1-4 გვერდების სიგრძე a-ს ტოლია, მაშინ ამპერის კანონის თანახმად:

$$F_{23} = F_{14} = IBa \qquad (1)$$

($\vec{F}_{23}$ და $\vec{F}_{14}$ ძალები მოდულით ტოლია და მიმართულებით საწინააღმდეგო);

ბ) 1-2 და 3-4 გვერდების სიგრძე b-ს ტოლია, მაშინ $\vec{F}_{14}$ და $\vec{F}_{23}$ ძალების მხარი

$$d = OA = \frac{b}{2}\sin\varphi \qquad (2)$$

1-ელისა და მე-2-ის გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ **ძალთა მომენტი, რომელიც ჩარჩოს ბრუნვას იწვევს**, ასე გამოითვლება:

$$M = F_{14}\,d + F_{23}\,d = 2\,F_{14}\,d = 2\cdot IBa\cdot\frac{b}{2}\sin\varphi = IBa\cdot b\sin\varphi \qquad (3)$$

6. გაითვალისწინე, რომ $a\cdot b$ ნამრავლი **ჩარჩოს S ფართობს** გამოსახავს:

$$S = a\cdot b \qquad (4)$$

თუ მე-4 ტოლობას მე-3-ში შევიტანთ, მივიღებთ, რომ **დენიანი ჩარჩოს მაბრუნებელი მომენტი**, რომელსაც მასზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ამპერის ძალები ქმნის, ასე გამოითვლება:

$$\boxed{M = IBS\cdot\sin\varphi} \qquad (1.5.1)$$

1.5.1 ფორმულა სამართლიანია ნებისმიერი ფორმის ჩარჩოსთვის (შეკრული კონტურისთვის), რომელიც სივრცეში S ფართობს შემოსაზღვრავს.

თუ ჩარჩო N ხვიისგან შედგება, მაშინ 1.6.1 ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\boxed{M = N\cdot IBS\cdot\sin\varphi} \qquad (1.5.2)$$

1.5.1 ფორმულიდან ჩანს, რომ **დენიანი ჩარჩოს მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი** (როცა $\sin\varphi = 1$) **ასე გამოითვლება:**

$$\boxed{M_{\text{მაქს}} = IBS} \qquad (1.5.3)$$

Don't copy

1.5.3-ის თანახმად, **შეკრულ კონტურზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედ ძალთა მაბრუნებელი მომენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა კონტურში გამავალი დენის ძალისა და კონტურით შემოსაზღვრული ფართობის პირდაპირპროპორციულია.**
ეს კი იმას ნიშნავს, რომ

$$B = \frac{M_{\text{მაქს}}}{IS} = \text{const},$$

ანუ **მაგნიტური ველის ინდუქცია კონტურის თვისებებზე დამოკიდებული არ არის: ის მაგნიტურ ველს ახასიათებს მოცემულ წერტილში.**

დააკვირდი 1.5.1 ფორმულას: როცა **ჩარჩოს სიბრტყე მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის:**

1) პარალელურია ($\varphi = 90^0$), მაშინ მაბრუნებელი მომენტი მაქსიმალურია (სურ. 1.5.9, ა);

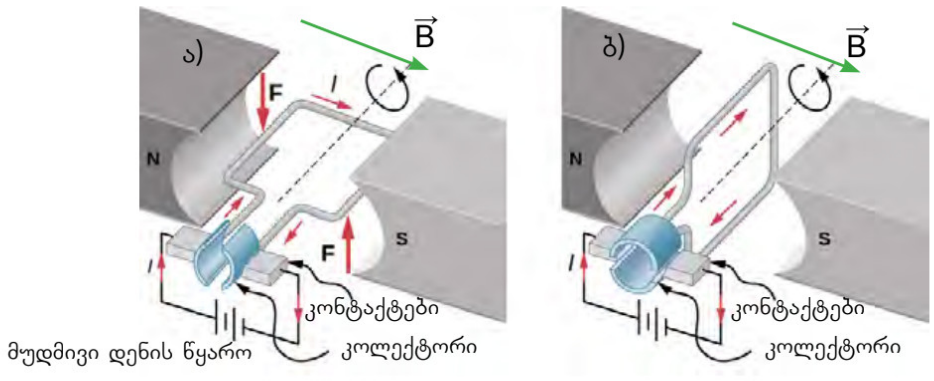
2) მართობულია ($\varphi = 0^0$ ან $\varphi = 180^0$), მაბრუნებელი მომენტი ნულის ტოლია (სურ. 1.5.9, ბ):

ა) თუ $\varphi = 180^0$, მაშინ $\vec{n}$ და $\vec{B}$ ვექტორები ერთმანეთის საპირისპიროდაა მიმართული. ამ მდებარეობაში ჩარჩო **არამდგრად წონასწორობაშია**: თუ ჩარჩოს ოდნავ უბიძგებ, ის ბრუნვას დაიწყებს და „შეეცდება“, ისე შებრუნდეს, რომ მისი დადებითი ნორმალი მაგნიტური ველის ინდუქციას დაემთხვეს (φ კუთხე 0-ს გაუტოლდეს);

ბ) თუ $\varphi = 0^0$, მაშინ $\vec{n}$ და $\vec{B}$ ვექტორები ერთმანეთის თანამიმართულია. ამ მდებარეობაში ჩარჩო **მდგრად წონასწორობაშია**: თუ ჩარჩოს ოდნავ უბიძგებ და წონასწორობის მდგომარეობიდან გადახრი, ჩარჩო „ეცდება“, რომ ისევ საწყის მდებარეობაში დაბრუნდეს. ჩარჩო რხევას დაიწყებს: პერიოდულად გადაიხრება საწყისი მდგომარეობიდან და კვლავ დაუბრუნდება მას. რხევა მანამ გაგრძელდება, სანამ ხახუნის შედეგად საბოლოოდ გაჩერდება მდგომარეობაში, რომელშიც მისი დადებითი ნორმალი გარე მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულებას ემთხვევა ($\varphi = 0^0$).

გაითვალისწინე: ჩარჩო ნებისმიერ შემთხვევაში შემობრუნდება ისე, რომ მისი დადებითი ნორმალის მიმართულება მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულებას დაემთხვევა.

თუ ჩარჩოს ბრუნვის ღერძზე ძაფს დაახვევ და მასზე ტვირთს დაკიდებ, ტვირთი ხან ზევით იმოძრავებს, ხან ქვევით. თუ საჭირო მომენტში დენის მიმართულებას შეცვლი, მაშინ ჩარჩო რხევის ნაცვლად განუწყვეტლივ იბრუნებს ერთი მიმართულებით და, შესაბამისად, ტვირთიც ერთი მიმართულებით (ან მხოლოდ ქვევით, ან მხოლოდ ზევით) იმოძრავებს, რაც იმას ნიშნავს, რომ შენ სრულფასოვან ელექტროძრავას მიიღებ!



სურ. 1.5.9

Don't copy

1.6 ნივთიერების მაგნიტური თვისებები



სურ. 1.6.1

2005 წელს, სანგრე-დე-კრისტოს მთებში (ნიუ-მექსიკოს შტატი) მიწის სქელი ფენით დაფარული უძველესი კრატერი აღმოაჩინეს, რომლის ასაკი 1,2 მილიარდ წელს ითვლის. კრატერი **სანტა-ფეს** სახელითაა ცნობილი და მკვლევრების აზრით, მისი წარმოქმნა დედამიწის ზედაპირზე ასტეროიდის შეჯახების შედეგია.

იმისათვის, რომ დამალული უძველესი კრატერები აღმოაჩინონ, გეოლოგებს ხშირად უწევთ ნგრევის კვალის ძებნა. ალიასკის უნივერსიტეტის გეოლოგთა ჯგუფმა კი მათი აღმოჩენის გაცილებით მარტივ გზას მიაგნო.

2017 წელს სამეცნიერო ჟურნალში – „Science Alert“ გამოქვეყნდა კვლევა, რომლის თანახმადაც, ამერიკელმა გეოლოგებმა აღმოაჩინეს, რომ სანტა-ფეს კრატერის გარშემო მთის ქანების (გრანიტის, ბაზალტის, თიხის, ცარცის, ქვანახშირის) მაგნიტური თვისებები (ქანების დამაგნიტებულობა) თითქმის 0,1 %-მდე იყო შემცირებული. გეოლოგების აზრით, ქანების მაგნიტური თვისებების შესუსტება იმ პლაზმის „ბრალი“ იყო, რომელიც უზარმაზარი სიჩქარით (დაახლოებით 72 კმ/წმ-ში) მოძრავი კოსმოსური ობიექტის დედამიწასთან შეჯახებისას გაჩნდა (სურ.1.6.1). ასტეროიდის შეჯახების შემდეგ კი ქანების მაგნეტიზმის აღდგენა შეუძლებელია.

ასე რომ, მთის ქანების მაგნეტიზმის კვლევის შედეგებით, შეიძლება უძველესი კრატერების კვალის მიგნება. თუ ქანებს მაგნიტური თვისებები აღარ აქვს (ან ძალიან შემცირებულია), ეს იმას ნიშნავს, რომ იმ ადგილას ოდესღაც დიდი სიჩქარით მოძრავი უზარმაზარი კოსმოსური ობიექტი ჩამოვარდა.

რატომ აქვს მთის ქანებს მაგნიტური თვისებები? რა იწვევს მათ დამაგნიტებას? მთის ქანების შემდგენლობაში პარა-, დია- და ფერომაგნეტიკური მინერალები შედის, რომელთაგან ყველაზე ძლიერი დამაგნიტების უნარი ფერომაგნეტიკებს აქვს. შესაბამისად, სწორედ ფერომაგნეტიკები (მაგ., რკინა, მაგნეტიტი, ტიტანომაგნეტიტი, ჰემატიტი) განაპირობებს მთის ქანების მაგნეტიზმს. იმ დროს, როცა გავარვარებული მაგმა დედამიწის სიღრმიდან ზედაპირზე ამოიფრქვევა, გაცივებისას, ქანის ფორმირების პროცესში, დედამიწის მაგნიტური ველის გავლენით ქანების შემადგენლობაში შემავალი ფერომაგნეტიკური მარცვლები მაგნიტდება და მათი დამსახურებით შეძენილ მაგნიტურ თვისებებს ქანები განუსაზღვრელად დიდხანს ინარჩუნებს, ვიდრე დედამიწის მაგნიტური ველი არ შეიცვლება, იმ კონკრეტულ ადგილას ასტეროიდი არ დაეცემა და ა.შ.

ქანების „მაგნიტური მეხსიერება“ საშუალებას აძლევს გეოფიზიკოსებს, განსაზღვრონ იმ უძველესი გეომაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული და მიმართულება, რომელიც დედამიწის ზედაპირის მოცემულ წერტილში მილიონობით წლის წინ იმ დროს არსებობდა, როცა ქანები წარმოიქმნა. ეს კი დაეხმარება მათ, რომ „დააკვირდნენ“ დედამიწის მაგნიტური ველის ევოლუციას.

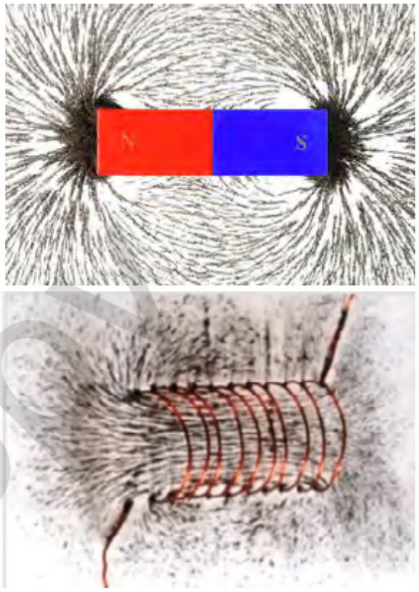
რა არის პარა-, დია- და ფერომაგნეტიკური ნივთიერებები? რატომ მაგნიტდება ისინი? რა განაპირობებს ნივთიერების მაგნიტურ თვისებებს და რა შემთხვევაში კარგავენ მას? სწორედ ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას შეძლებ ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ.

Don't copy

1.6.1. ამპერის ჰიპოთეზა

ერსტედის მიერ დენიანი გამტარის მაგნიტური მოქმედების აღმოჩენის შემდეგ, ფრანსუა არაგო შეეცადა, რომ აღმოჩენა დენიან გამტარში მაგნიტური მუხტების არსებობით აეხსნა.

ამპერის კანონის აღმოჩენის შემდეგ ნათლად გამოჩნდა, რომ არაგოს მოსაზრება უსაფუძვლო იყო. ძალა, რომლითაც მაგნიტური ველი მასში მოთავსებულ დენის ელემენტზე (წრფივი დენიანი გამტარის მცირე მონაკვეთზე) მოქმედებს, მაგნიტური ველის (ინდუქციის ვექტორის) მართობულია. ეს ფაქტი არ შეიძლება მაგნიტური მუხტების არსებობით აიხსნას, რადგან ასეთ შემთხვევაში ამპერის ძალა მაგნიტური ველის (ინდუქციის ვექტორის) გასწვრივ იქნებოდა მიმართული (მსგავსად ელექტრული ძალისა, რომელიც ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის გასწვრივაა მიმართული).



სურ. 1.6.2

მაგნიტური მუხტები ბუნებაში არ არსებობს. მაგნიტური ველის წყარო ელექტრული დენია (მოძრავი ელექტრული მუხტები), – ამბობდა ამპერი და არგუმენტად იმ მსგავსებას იყენებდა, რომელიც მუდმივი ზოლისებრი მაგნიტისა და დენიანი კოჭას გარშემო რკინის ნაქლიბის განლაგებას შორის არსებობდა (სურ.1.6.2).

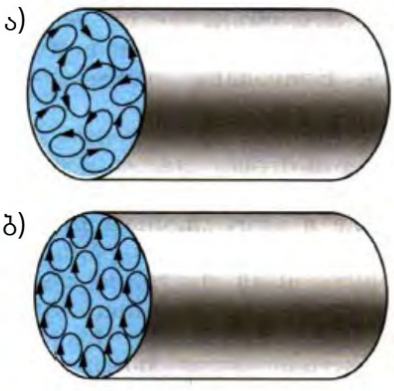
ამპერი იყო პირველი, ვინც ივარაუდა, რომ **დედამიწის მაგნეტიზმი მისი სფეროს შიგნით არსებული დენებით იყო გამოწვეული.** ამპერის ვარაუდს დედამიწის მაგნიტური ველის შესახებ თანამედროვე წარმოდგენები სრულად იზიარებს. დედამიწის გარე ბირთვში ნივთიერება (რომლის შემადგენლობაში, ძირითადად, რკინა (85 %) და ნიკელი (10 %) შედის, თხევად მდგომარეობაშია. გარე ბირთვში ელექტროგამტარი თხევადი ნივთიერების კონვექციური მოძრაობა ელექტრულ დენებს ქმნის, რაც, თავის მხრივ, პლანეტის მაგნიტური ველის არსებობას განაპირობებს.

თუ მაგნიტური ველის წყარო ელექტრული დენია, **რატომ იქმნება მაგნიტური ველი ბუნებრივი მაგნიტის გარშემო?**

– ყველა მაგნიტური მოვლენა ელექტრულ ეფექტებს განეკუთვნება, – განაცხადა 1820 წელს ამპერმა მეცნიერებათა აკადემიის სხდომაზე.

– **ყველა სხეულში არსებობს პატარ-პატარა წრიული დენები** – ასეთი შინაარსის იყო **ამპერის ჰიპოთეზა**, რომელიც იმ დროისთვის საკმაოდ თამამად და უჩვეულოდ ჟღერდა.

...თუ სიბრტყეები, რომლებშიც დენები ცირკულირებს, ერთმანეთის მიმართ უწესრიგოდაა განლაგებული, დენების მაგნიტური ველები ერთმანეთს აკომპენსირებს და სხეული მაგნიტურ თვისებებს არ ამჟღავნებს (სურ.1.6.3, ა).



სურ. 1.6.3

თუ წრიული დენების სიბრტყეები ისეა განლაგებული, რომ დენების მიმართულება ერთმანეთს ემთხვევა, მაშინ მათი მაგნიტური ველები შეიკრიბება და სხეული მაგნიტად გადაიქცევა (სურ.1.6.3, ბ), – დაახლოებით ასე მსჯელობდა ამპერი.

– **ბუნებრივი მაგნიტი სწორედ ისეთი სხეულია, რომელშიც ამ პატარ-პატარა წრიულ დენებს ერთი მიმართულება აქვს,** – დაასკვნა ამპერმა.

Don't copy

მიუხედავად იმისა, რომ ამპერმა თავისი ჰიპოთეზის ჭეშმარიტების დამტკიცება ვერ შეძლო (პატარ-პატარა წრიული დენების წარმოშობის ბუნება მისთვის სრულიად უცნობი იყო), ჰიპოთეზამ მაგნიტური მოვლენების კვლევაში მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა. ის არა მარტო მაგნიტის თვისებებს ხსნიდა, არამედ ამტკიცებდა კიდეც, რომ **მაგნიტური ურთიერთქმედება დენების ურთიერთქმედებაა.**

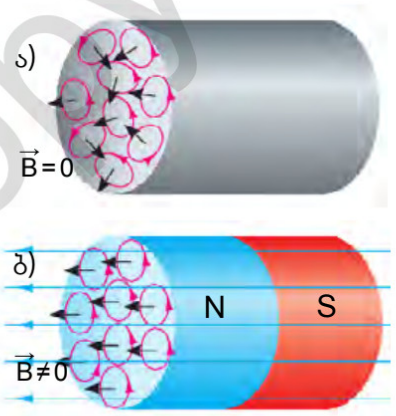
ამპერის ჰიპოთეზა ბევრ ისეთ მოვლენას ჰფენდა ნათელს, რომელთა გამომწვევი მიზეზი მეცნიერებისთვის მანამდე უცნობი იყო, მაგ.:

1. რატომ მოქმედებს მაგნიტური ველი მაგნიტურ ისარსა და დენიან ჩარჩოზე (შეკრულ კონტურზე) ერთნაირად: მაგნიტური ისარი შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც პატარ-პატარა (მიკროსკოპული, ელემენტარული) დენიანი ჩარჩოების ერთობლიობა, რომლებშიც გამავალ დენს ერთნაირი მიმართულება აქვს;

2. რატომ სუსტდება (ან საერთოდ ქრება) მაგნიტის მაგნიტური თვისებები დარტყმისას, ან როცა მას აცხელებენ – ირღვევა მიკროსკოპული დენების ურთიერთგანლაგება;

3. რატომ არ შეიძლება ერთპოლუსიანი მაგნიტის მიღება: თუ მაგნიტს გავჭრით, მიკროსკოპული წრიული დენების განლაგება შენარჩუნდება გადანაჭერის მთელ მოცულობაში და კვლავ მივიღებთ მაგნიტს ორი განსხვავებული პოლუსით;

4. რატომ მაგნიტდება სხეული (მაგ., ნემსი, ქაღალდის სამაგრი, რკინის ნაქლიბი) მაგნიტურ ველში – გარე მაგნიტური ველის გავლენით წრიული დენების სიბრტყეები ისე განლაგდება ერთმანეთის მიმართ, რომ მათ მიერ შექმნილი მაგნიტური ველების ინდუქციის ვექტორის მიმართულება მეტწილად გარე ველის მიმართულებას დაემთხვევა. წრიული დენების მაგნიტური ველები შეიკრიბება და სხეული (მაგ.,ნემსი, ქაღალდის სამაგრი, რკინის ნაქლიბი) მაგნიტურ თვისებებს შეიძენს (სურ.1.6.4).



სურ. 1.6.4

5. რატომ მაგნიტდება რკინის სხეული დარტყმისას (უძველესი დროიდან მჭედლები ამჩნევდნენ, რომ რკინაზე უროს რამდენჯერმე დარტყმისას, რკინა მაგნიტის თვისებებს იძენდა) – ძლიერი დარტყმისას რკინაში უწესრიგოდ ორიენტირებული წრიული დენები განლაგებას იცვლის და ძირითადად, ერთი მიმართულებით ორიენტირდება.

მაშ ასე, **ამპერის ჰიპოთეზის** თანახმად, მუდმივი მაგნიტის და ზოგადად, **ნივთიერების მაგნიტური თვისებები მასში ელემენტარული წრიული დენების** (ე.წ „ამპერის დენების“ ან „მოლეკულური დენების) **არსებობითაა განპირობებული.**

ამპერის ჰიპოთეზის ჭეშმარიტება თითქმის ასი წლის შემდეგ, რეზერფორდის მიერ ატომის აგებულების აღმოჩენით დადასტურდა.

1.6.2. მოლეკულური დენები

ატომის აგებულების რეზერფორდის **პლანეტარული მოდელის მიხედვით, ელექტრონები,** მზის გარშემო მოძრავი პლანეტების მსგავსად, **ატომბირთვის გარშემო მოძრაობენ** (შეგახსენებ, რომ თანამედროვე წარმოდგენების მიხედვით ელექტრონის მოძრაობა ატომში გაცილებით რთული ხასიათისაა. პლანეტარული მოდელი ატომის აგებულების გამარტივებული მოდელია, რომელიც მხოლოდ მიახლოებით ხსნის ნივთიერების მაგნიტურ თვისებებს).

სწორედ ელექტრონების მოძრაობის შედეგად აღიძვრება ის მიკროსკოპული, ე.წ. **მოლეკულური დენები**, რომელთა არსებობასაც ამპერი ვარაუდობდა (თუმცა იმ დროს მოლეკულებისა და ატომების არსებობის შესახებ არაფერი იცოდნენ). მოლეკულური დენები კი, თავის მხრივ, მაგნიტურ ველებს ქმნის. შესაბამისად, **მაგნიტური თვისებები**

Don't copy

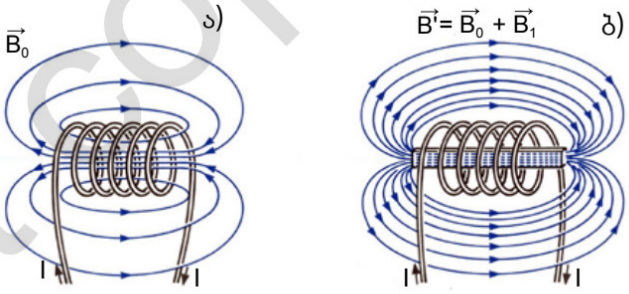
ყველა ნივთიერებას შეიძლება ჰქონდეს (რაც მტკიცდება კიდეც ექსპერიმენტულად), თუმცა ატომების, მოლეკულების აგებულებისა და განლაგების განსხვავებულობის გამო, სხვადასხვა ნივთიერების მაგნიტური თვისებები განსხვავებულია. განსხვავებულია ერთი და იმავე ნივთიერების მაგნიტური თვისებებიც კი სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში.

უმრავლეს შემთხვევაში, ნივთიერებაში **ცალკეული ელექტრონების, ასევე ცალკეული ატომებისა და მოლეკულების მაგნიტური ველი მთლიანად ან თითქმის მთლიანად კომპენსირებულია.** ნაწილაკთა სითბური მოძრაობის გამო, სიბრტყეები, რომლებშიც მოლეკულური დენები ცირკულირებს, ერთმანეთის მიმართ უწესრიგოდაა განლაგებული (სურ. 1.6.3, ა). ამის გამო ნივთიერებათა უმრავლესობას მაგნიტური თვისებები ან საერთოდ არ აღენიშნება, ან საკმაოდ სუსტად აქვს გამოხატული. პრაქტიკაში ასეთი ნივთიერებების მაგნიტურ თვისებებს უგულებელყოფენ და ამბობენ, რომ ისინი **არამაგნიტური** ნივთიერებებია.

თუ ნივთიერებაში მოლეკულური დენების მიმართულება ერთმანეთს ემთხვევა, მაშინ სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად, მათი მაგნიტური ველების ზედდება ხდება და ჯამური ველი გაძლიერდება. ასეთ შემთხვევაში ნივთიერებას მკვეთრად გამოხატული **მაგნიტური თვისებები** აქვს (სურ. 1.6.3, ბ).

ამპერმა შეამჩნია, რომ ხვიებში **ერთი და იმავე დენის გავლისას, სოლენოიდი თავის გარშემო გაცილებით ძლიერ მაგნიტურ ველს მაშინ ქმნიდა, როცა მის შიგნით რკინის გულარს ათავსებდა.**

ეს იმით აიხსნება, რომ **ყველა ნივთიერება მაგნიტურ ველში მოთავსებისას მაგნიტდება, ანუ თავადაც ქმნის მაგნიტურ ველს.**



სურ. 1.6.5

ვთქვათ, $\vec{B}_0$ იმ მაგნიტური ველის ინდუქციაა, რომელსაც თავის გარშემო დენიანი სოლენოიდი ქმნის ვაკუუმში (როცა სოლენოიდის შიგნით ნივთიერება არ არის) (სურ.1.6.5 ა).

დენიანი სოლენოიდის ველში მოთავსებული რკინის გულარი (ნივთიერება) **დამაგნიტდება** და თავის მხრივ, შექმნის მაგნიტურ ველს, რომლის ინდუქციაა $\vec{B}_1$.

სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად, **ჯამური მაგნიტური ველის ინდუქცია ($\vec{B}'$), რომელიც დენიანი სოლენოიდის გარშემო იქმნება, როცა მასში რკინის გულარია (ნივთიერებაა) მოთავსებული, ასე გამოითვლება** (სურ. 1.6.5, ბ):

$$\vec{B}' = \vec{B}_0 + \vec{B}_1 \qquad (1.6.1)$$

1.6.3. მაგნიტური შეღწევადობა

ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს, **ვაკუუმთან შედარებით,** რამდენჯერ განსხვავდება მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული ერთგვაროვან ნივთიერებაში, ნივთიერების **მაგნიტური შეღწევადობა** ჰქვია (იგულისხმება, რომ მაგნიტური ველის წყარო ორივე შემთხვევაში ერთნაირია და ნივთიერება მთლიანად ავსებს სივრცეს, რომელშიც მაგნიტური ველია).

მაგნიტური შეღწევადობა μ ასოთი აღინიშნება და ასე გამოითვლება:

$$\mu = \frac{B}{B_0} \qquad (1.6.2)$$

B დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციაა ნივთიერებაში, ხოლო B_0 - იმავე დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქცია ვაკუუმში.

Don't copy

ნივთიერების მაგნიტური შეღწევადობა დიალექტრიკული შეღწევადობის მსგავსი სიდიდეა, თუმცა **გაითვალისწინე,** ელექტრული ველი დიელექტრიკში ყოველთვის მცირდება, **მაგნიტური ველი ნივთიერებაში კი შეიძლება გაძლიერდეს და შეიძლება შემცირდეს კიდეც.**

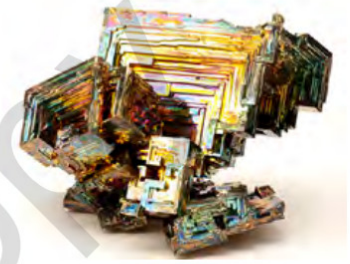
1.6.4. ნივთიერებები მაგნიტური თვისებები

XIX საუკუნის 50-იან წლებში მაიკლ ფარადეიმ ექსპერიმენტით დაადგინა, **რომ მაგნიტურ ველს ყველა ნივთიერება ცვლის,** რადგან მაგნიტურ ველში მოთავსებისას ყველა ნივთიერება მაგნიტდება (თავადაც მაგნიტურ ველს ქმნის). იმის მიხედვით, თუ როგორია ამ ცვლილების ხასიათი, ფარადეიმ **ნივთიერებები მაგნიტური თვისებების მიხედვით სამ ძირითად ჯგუფად დაყო: დია -, პარა - და ფერომაგნეტიკებად.**

დიამაგნეტიკები

ნივთიერებებს, რომელთა მაგნიტური შეღწევადობა 1-ზე ნაკლებია ($\mu < 1$) და მცირედ განსხვავდება მისგან, **დიამაგნეტიკები** ჰქვია.

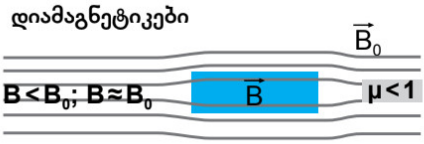
მაგ., **დიამაგნეტიკებია:** წყალი, ვერცხლი, ოქრო, ნახშირბადი, ტყვია, კვარცი, აირები (გარდა ჟანგბადის). დიამაგნეტიკებიდან ყველაზე ძლიერის – **ბისმუტის** (სურ. 1.6.6) – მაგნიტური შეღწევადობა 0,999824-ს უტოლდება. წყლისთვის $\mu = 0{,}999991$.



სურ. 1.6.6

რადგან **დიამაგნეტიკებისთვის μ მცირედ განსხვავდება 1-ისგან და ამასთან μ <1**, ეს იმას ნიშნავს, რომ:

ა) $B < B_0$ და ამასთან, დიამაგნეტიკებში მაგნიტური ველი (B) მცირედ განსხვავდება B_0-სგან ($B \approx B_0$), ე.ი. ვაკუუმთან შედარებით **მაგნიტური ველი დიამაგნეტიკში ოდნავ სუსტდება** (1.6.7);

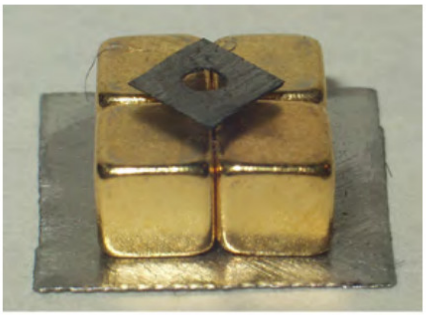


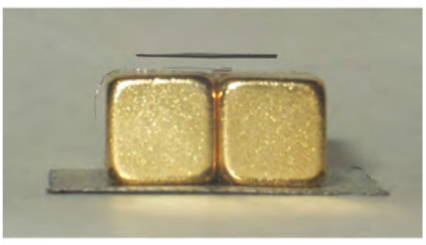
სურ. 1.6.7

ბ) დიამაგნეტიკის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი ($\vec{B}_1$) იმ მაგნიტური ველის ინდუქციის საწინააღმდეგოდაა მიმართული, რომელშიცაა მოთავსებული:

$$\vec{B}_1 \uparrow\downarrow \vec{B}_0$$

შედეგად **დიამაგნეტიკი გარე მაგნიტური ველიდან გამოიდევნება** (დიამაგნეტიკი გამოიდევნება არაერთგვაროვანი მაგნიტური ველიდან, დიდი ინდუქციის მიდამოდან მცირესკენ).





სურ. 1.6.8

ე.ი. დიამაგნეტიკები ისეთი ნივთიერებებია, რომლებიც მაგნიტურ ველში ინდუქციის ვექტორის საწინააღმდეგო მიმართულებით სუსტად მაგნიტდება ($B_1 << B_0$).

ის ფაქტი, რომ დიამაგნეტიკი გარე მაგნიტური ველიდან გამოიდევნება, საფუძვლად უდევს მოვლენას, რომელსაც **დიამაგნიტური ლევიტაცია** ჰქვია. მაგ., ძლიერი მუდმივი მაგნიტის (≈ 1,2 ტლ) თავზე ლივლივებს – ლევიტირებს ისეთი დიამაგნიტური ნივთიერებების თხელი ფირფიტები, როგორებიცაა გრაფიტი ან ბისმუტი (სურ. 1.6.8), ლევიტირებს წყლის წვეთიც.

Don't copy

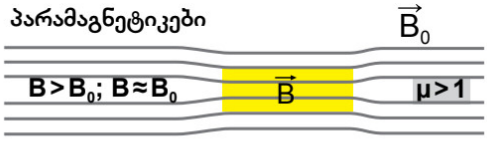
პარამაგნეტიკები

ნივთიერებებს, რომელთა მაგნიტური შეღწევადობა 1-ზე მეტია ($\mu > 1$) და მცირედ განსხვავდება მისგან, **პარამაგნეტიკები** ჰქვია.

მაგ., **პარამაგნეტიკებია:** პლატინა ($\mu = 1{,}00036$), თხევადი ჟანგბადი ($\mu = 1{,}0034$), ჰაერი ($\mu = 1{,}00000038$), ებონიტი, ალუმინი, ვოლფრამი და ა.შ.

რადგან **პარამაგნეტიკებისთვის μ მცირედ განსხვავდება 1-ისგან და ამასთან $\mu > 1$,** ეს იმას ნიშნავს, რომ:

ა) $B > B_0$ და ამასთან პარამაგნეტიკებში მაგნიტური ველი (B) მცირედ განსხვავდება B_0-სგან ($B \approx B_0$), ანუ **მაგნიტური ველი ვაკუუმთან შედარებით ოდნავ იზრდება, როცა მასში პარამაგნეტიკს ათავსებენ** (სურ. 1.6.9);



სურ. 1.6.9

ბ) პარამაგნეტიკის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი ($\vec{B}_1$) იმ მაგნიტური ველის ინდუქციის თანამიმართულია, რომელშიცაა მოთავსებული:

$$\vec{B}_1 \uparrow\uparrow \vec{B}_0$$

ე.ი. პარამაგნეტიკები ისეთი ნივთიერებებია, რომლებიც მაგნიტურ ველში ინდუქციის ვექტორის მიმართულებით სუსტად მაგნიტდებიან ($B_1 << B_0$).

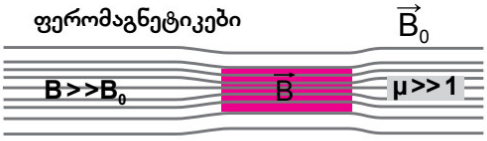
ფერომაგნეტიკები

ზოგიერთ ნივთიერებას (მაგ., რკინას, კობალტს, ნიკელს, ზოგიერთ ლითონთა შენადნობსა და იშვიათმიწა ელემენტებს (ლანთანოიდებს)), **ძლიერი მაგნიტური თვისებები** აქვს. იმის გამო, რომ ასეთი თვისებები პირველად რკინის ჯგუფის ლითონებს აღმოჩნდა, მათ **ფერომაგნეტიკები** უწოდეს (ლათინურად, „ferrum“ რკინას ნიშნავს).

ფერომაგნეტიკების მაგნიტური შეღწევადობა გაცილებით მეტია 1-ზე ($\mu >> 1$): მისი მნიშვნელობა რამდენიმე ათეულ, ასეულ და, ზოგ შემთხვევაში, ათას ერთეულს აღწევს. მაგ., კობალტისთვის $\mu = 175$; რკინისთვის $\mu \approx 1000$; ნიკელისთვის $\mu = 1120$; პერმალოისთვის (რკინა-ნიკელის შენადნობი) $\mu = 250\ 000$; სუპერმალოისთვის $\mu = 10^6$.

ფერომაგნეტიკებისთვის $\mu >> 1$, რაც იმას ნიშნავს, რომ:

ა) გარე მაგნიტურ ველში ($\vec{B}_0$) მოთავსებისას ფერომაგნეტიკური ნივთიერება დამაგნიტდება და საკუთარ მაგნიტურ ველს ($\vec{B}_1$) შექმნის, რომლის ინდუქცია გაცილებით აღემატება გარე მაგნიტური ველის ინდუქციას ($B_1 >> B_0$) (სურ. 1.6.10);



სურ. 1.6.10

ბ) **ფერომაგნეტიკები** მაგნიტურ ველში ინდუქციის ვექტორის მიმართულებით ძლიერად მაგნიტდება და, შესაბამისად, მაგნიტური ველი ძლიერდება, როცა მასში ფერომაგნიტურ ნივთიერებას მოათავსებ:

$$\vec{B}_1 \uparrow\uparrow \vec{B}_0,\ B >> B_0$$

(სწორედ ამიტომ ათავსებენ ელექტრომაგნიტის დენიან კოჭაში ფერომაგნეტიკის გულარს: დენიანი კოჭას მაგნიტური ველის ინდუქცია მნიშვნელოვნად, ასჯერ, ათასჯერ იზრდება).

ფერომაგნეტიკების მაგნიტური შეღწევადობა მუდმივი სიდიდე არ არის. ის დამოკიდებულია იმ გარე (დამამაგნიტებელი) ველის ინდუქციაზე, რომელშიც ფერომაგნიტური ნიმუშია მოთავსებული.

ნახე ვიდეო ფერომაგნეტიკურ სითხეზე:
http://bitly.ws/yBjX

Don't copy

ფერომაგნეტიკები ორ ჯგუფად იყოფა: მაგნიტურად რბილ და ხისტ ფერომაგნიტურ მასალებად.

რბილი ფერომაგნეტიკები (სუფთა რკინა, ფოლადი, პერმალოი) **ადვილად მაგნიტდება, თუ მათ თუნდაც სუსტ მაგნიტურ ველში მოვათავსებთ.** გაიხსენე: ნემსის, ქაღალდის რკინის საკინძის, ლურსმნის დამაგნიტება მარტივია. ამისათვის საკმარისია, ისინი მუდმივი მაგნიტის სიახლოვეს მოვათავსოთ ან მასზე რამდენჯერმე გავახახუნოთ.

გარე მაგნიტური ველის მიმართულების ცვლილებისას პოლუსებს რბილი ფერომაგნეტიკების მაგნიტური ველიც იცვლის,

გარე მაგნიტური ველის შემცირებისას ან გაქრობისას, რბილი ფერომაგნეტიკები მაგნიტურ თვისებებს დროთა განმავლობაში თანდათან კარგავენ.

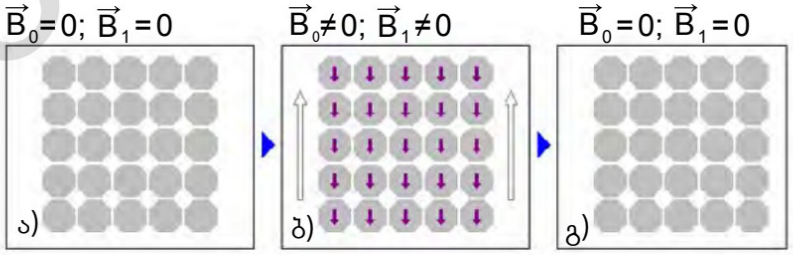
რბილ ფერომაგნეტიკებს იყენებენ იქ, სადაც მათი მაგნიტური თვისებების ხშირი ცვლილებაა საჭირო (ანუ, სადაც საჭიროებისამებრ დამაგნიტდება ან დაკარგავს მაგნიტურ თვისებებს). რბილი ფერომაგნეტიკებისგან ამზადებენ ელექტრომაგნიტის გულარებს, ფართოდ იყენებენ ტრანსფორმატორებში, გენერატორებში, ელექტროძრავებში და ა.შ.

ხისტი ფერომაგნეტიკების დამაგნიტება, რბილისგან განსხვავებით, მხოლოდ ძლიერ მაგნიტურ ველშია შესაძლებელი და ისინი თავიანთ მაგნიტურ თვისებებს მას შემდეგაც ინარჩუნებენ, რაც გარე მაგნიტური ველი ისპობა. მათგან ამზადებენ სწორედ **მუდმივ მაგნიტებს**, რომლებსაც ფართოდ იყენებენ ტექნიკასა და ყოფა-ცხოვრებაში. მაგ., მუდმივი მაგნიტები გამოიყენება მაგნიტოელექტრულ გამზომ ხელსაწყოებში, მიკროფონში, დინამიკებში, რელეში, მაგნიტურ კომპასში და ა.შ.

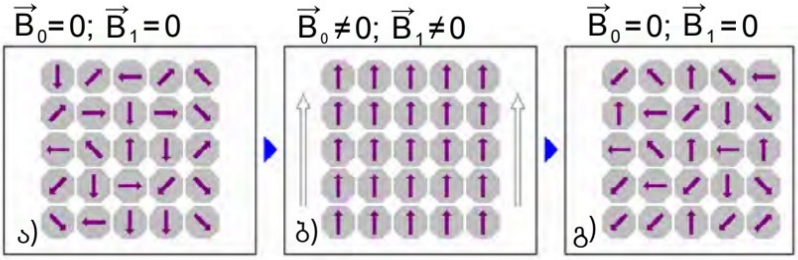
1.6.5. დია-, პარა- და ფერომაგნეტიკების დამაგნიტების მექანიზმი

დიამაგნეტიკების ატომებში (მოლეკულებში) ელექტრონების მაგნიტური ველი მთლიანად კომპენსირებულია. შესაბამისად, დიამაგნეტიკური ნივთიერებების ატომებს (მოლეკულებს) საკუთარი მაგნიტური ველი არ აქვს ($\vec{B}_1 = 0$) (სურ.1.6.11, ა).

გარე მაგნიტურ ველში ($\vec{B}_0 \neq 0$) მოთავსებისას დიამაგნეტიკების ატომებში ელექტრონების ბირთვის გარშემო მოძრაობა ისე იცვლება, რომ მათი მაგნიტური ველები ერთმანეთს აღარ აკომპენსირებს ($\vec{B}_1 \neq 0$) და ატომების (მოლეკულების) მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი გარე მაგნიტური ველის საწინააღმდეგოდაა მიმართული ($\vec{B}_1 \uparrow\downarrow \vec{B}_0$) (სურ. 1.6.11, ბ). დიამაგნეტიკი ასუსტებს იმ მაგნიტურ ველს, რომელშიცაა მოთავსებული. მას შემდეგ რაც გარე მაგნიტური ველი მოქმედებას შეწყვეტს, დიამაგნიტის ატომები და, შესაბამისად, დიამაგნიტური ნივთიერება მაგნიტურ თვისებებს კარგავს (სურ. 1.6.11, გ).



სურ. 1.6.11

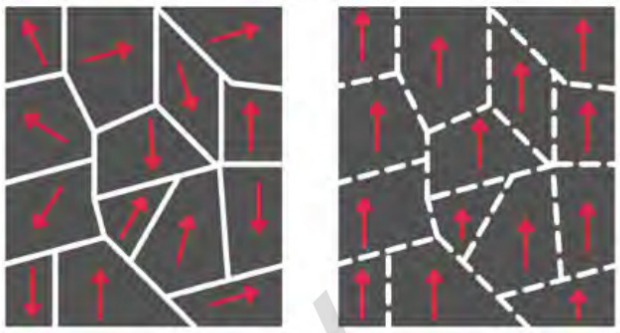


სურ. 1.6.12

პარამაგნეტიკების ატომებში ელექტრონების მაგნიტური ველი ნაწილობრივაა კომპენსირებული და ატომებს საკუთარი მაგნიტური ველი აქვს. ისინი პატარა მუდმივ მაგნიტებს ჰგვანან. პარამაგნიტურ ნივთიერებაში ეს პატარა „მაგნიტები“ უწესრიგოდაა განლაგებული და მათი ჯამური მაგნიტური ველი

Don't copy

ნულის ტოლია ($\vec{B}_1 = 0$) (სურ. 1.6.12, ა). თუ პარამაგნეტიკს გარე მაგნიტურ ველში ($\vec{B}_0 \neq 0$) მოვათავსებთ, ატომი -„მაგნიტები“ კომპასის ისრის მსგავსად შემობრუნდება და ისე ორიენტირდება, რომ მათი ინდუქციის ვექტორები უპირატესად გარე მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულებით განლაგდება ($\vec{B}_1 \neq 0$; $\vec{B}_1 \uparrow\uparrow \vec{B}_0$) (ატომების მაგნიტური ინდუქციის ვექტორთა სრული ორიენტაცია გარე მაგნიტური ველის მიმართულებით მხოლოდ აბსოლუტური ნულის მახლობლადაა შესაძლებელი) (სურ. 1.6.12, ბ). შესაბამისად, მაგნიტური ველი პარამაგნიტურ ნივთიერებაში გაძლიერდება. გარე მაგნიტური ველის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ პარამაგნიტური ნივთიერება მაგნიტურ თვისებებს კარგავს (სურ. 1.6.12, გ).

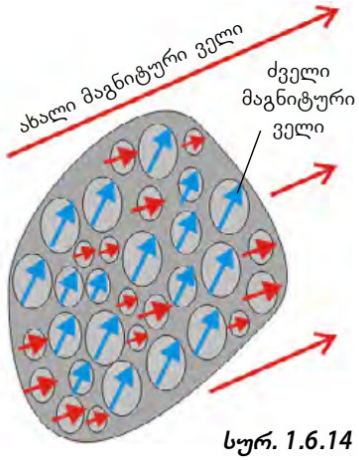

ა) ბ)

სურ. 1.6.13

ფერომაგნეტიკის (მაგ., რკინის) კრისტალში ჩნდება ცალკეული უბნები, რომლებშიც ელექტრონების საკუთარი ღერძის გარშემო მოძრაობისას აღძრული მაგნიტური ველების ინდუქციის ვექტორები ერთმანეთის პარალელურად ორიენტირდება. შედეგად, ცალკეულ უბანს თავისი მაგნიტური ველი აქვს, რომელიც, დაახლოებით, 10^{-2} – 10^{-4} სმ მანძილზე ვრცელდება (სურ.1.6.13, ა). ასეთ თავისთავად დამაგნიტებულ უბნებს **დომენები** ჰქვია (ფრანგულად „domaine“ „სამფლობელოს“ ნიშნავს). სხვადასხვა დომენის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორს განსხვავებული მიმართულება აქვს და ამიტომ მთლიან კრისტალში მათი მაგნიტური ველები ერთმანეთს აკომპენსირებს (სურ.1.6.13, ა).

ფერმოაგნეტიკის ნიმუშის გარე მაგნიტურ ველში მოათავსებისას, დომენების დიდი ნაწილის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი გარე მაგნიტური ველის მიმართულებით ორიენტირდება (ძლიერდება ფერომაგნეტიკის საკუთარი მაგნიტური ველი, ($\vec{B}_1$) და ასეთი დომენების რიცხვი გარე მაგნიტური ველის ზრდასთან ერთად იზრდება.

გარე ველის ინდუქციის გარკვეული მნიშვნელობისთვის, ყველა დომენი გარე ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულებით ორიენტირდება (სურ.1.6.13, ბ): მაგნიტური ველი ფერომაგნეტიკში თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს (ფერომაგნეტიკი მაქსიმალურადაა დამაგნიტებული) და გარე ველის კიდევ უფრო გაზრდისას, მეტად აღარ გაიზრდება. ამ მოვლენას **მაგნიტური ნაჯერობა** ჰქვია.



სურ. 1.6.14

თუ დამაგნიტებულ ფერომაგნეტიკს გარე მაგნიტური ველიდან გამოვიტანთ, დომენების მნიშვნელოვანი ნაწილი მოწესრიგებულ ორიენტაციას კვლავ შეინარჩუნებს (ფეროგაგნიტების დომენები ინახავს ინფორმაციას იმ ველზეც, რომელშიც, შესაძლოა, ადრე ხდებოდა მისი დამაგნიტება. სწორედ ამ მოვლენას იყენებენ გეოფიზიკოსები დედამიწის მაგნიტური ველის ევოლუციის შესწავლისას. ისინი მთის ქანებში შემავალ ფერომაგნეტიკურ მარცვლებში დომენების განლაგებას აკვირდებიან (სურ. 1.6.14)).

1.6.6. მუდმივი მაგნიტები

მაგნიტურად ხისტი ფერომაგნიტური ნიმუში გარე მაგნიტურ ველში დამაგნიტებისას **მუდმივი მაგნიტი** ხდება – მაგნიტი, რომელიც ხანგრძლივად ინარჩუნებს მაგნიტურ თვისებებს (დამაგნიტებულობას). მუდმივი მაგნიტების გამოყენების სფერო ძალიან

Don't copy

დიდია და თითოეულ შემთხვევაში მათ, როგორც მაგნიტური ველის ავტონომიურ წყაროს (რომელიც დამატებით ენერგიას არ მოიხმარს), ისე იყენებენ.

საყოფაცხოვრებო თუ სამეცნიერო მიზნები, რომელთა მისაღწევად მუდმივი მაგნიტები გამოიყენება, მრავალფეროვანია, რაც, შესაბამისად, მუდმივი მაგნიტების ფორმისა და მათ დასამზადებლად გამოყენებული მასალების განსხვავებულობას განაპირობებს.

მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად რკინას, ნიკელს, კობალტს, იშვიათმიწა ლითონების შენადნობებს (მაგ., ნეოდიმიუმის მაგნიტში) და ასევე ბუნებრივ მინერალებს (მაგნეტიტს) იყენებენ.



სურ. 1.6.15

მუდმივი მაგნიტები, ძირითადად, **ოთხ ჯგუფად იყოფა:**

1. ფერიტები (იგივე, კერამიკული მაგნიტები) - რკინის ოქსიდისა და ბარიუმის/სტონციუმის ფერიტებთან შენადნობია (სურ. 2.6.15). ფერიტები ადვილად მსხვრევადია, თუმცა კოროზიის მიმართ გამძლეა და თავის მაგნიტურ თვისებებს – 30^{0}C-დან 270^{0}C -მდე ტემპერატურულ დიაპაზონში ინარჩუნებს.

ფერიტები (მათ შორის, მაგნეტიტი) ფართოდ გამოიყენება ყოფა-ცხოვრებასა და მრეწველობაში, ტექნიკასა და ელექტრონიკაში. მათ იყენებენ აკუსტიკურ სისტემებში, გენერატორებში, მუდმივი დენის ძრავებში. აქვს ექსპლოატაცის ხანგრძლივი ვადა (10 –30 წელი). **ფერიტების მაგნიტური ინდუქცია 0,4 ტესლას უტოლდება.**

2. ალნიკო (Al - Ni - Co) – მუდმივი მაგნიტის სახეობაა, რომელიც მზადდება ალუმინის, ნიკელისა და კობალტის შენადნობისგან. ინარჩუნებს მაგნიტურ თვისებებს 550 ^{0}C -მდე. **მისი დამაგნიტებულობა 0,7 ტლ-ს რიგისაა.** ალნიკოს მაგნიტები შეუცვლელია სამეცნიერო-კვლევით ლაბორატორიებში.

3. იშვიათმიწა მაგნიტები - ძლიერი მუდმივი მაგნიტებია, რომლებიც იშვიათმიწა ელემენტების (ნეოდიმიუმის, სამარიუმის) შენადნობებისგან მზადდება. ნეოდიმიუმის, რკინისა და ბორის შენადნობისგან ე.წ. **ნეოდიმიუმის მაგნიტს** ამზადებენ, რომლის **დამაგნიტებულობა 1,1 ტესლას ტოლია** და დიდი ხნის განმავლობაში უცვლელად ნარჩუნდება (ყოველ 10 წელიწადში მაგნეტიზმის მხოლოდ 1%-ს კარგავს).

ნეოდიმიუმის მაგნიტი (სურ. 1.6.16) დღესდღეობით ყველაზე მოთხოვნადია. მას ყველგან იყენებენ: სუვენირებში, სათამაშოებში, დინამიკებში, მძლავრ ელექტროგენერატორებში, ამწეებში, მაგნიტო-რეზონანსულ ტომოგრაფებში და ა.შ.



სურ. 1.6.16

ნეოდიმიუმის მაგნიტი საკმაოდ მყიფეა და ტემპერატურა, რომელზედაც ის მაგნიტურ თვისებებს ინარჩუნებს, შედარებით დაბალი აქვს (80^{0}C, ზოგ შემთხვევაში კი 140 ^{0}C – 200^{0}C) .

სამარიუმის მაგნიტი სამარიუმისა და კობალტის შენადობისგან მზადდება. კობალტის მინარევი სამარიუმის მაგნიტებს საკმაოდ ძვირადღირებულს ხდის, რის გამოც მათ მხოლოდ აუცილებლობის შემთხვევაში და იმ დროს იყენებენ, როცა გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მოწყობილობის ზომებსა და წონას. მაგ., სამარიუმი მაგნიტებს იყენებენ კოსმოსურ აპარატებში, ავიაციაში, კომპიუტერულ ტექნიკაში, მინიატურულ ძრავებში, საათებში, ყურსასმენებში, მობილურ ტელეფონებში და ა.შ.

სამარიუმის მაგნიტი თავის მაგნიტურ თვისებებს 270^{0}C -მდე ინარჩუნებს. **მისი დამაგნიტებულობა კი 1 ტესლაა.**

Don't copy

4. პოლიმერული მუდმივი მაგნიტები - მაგნიტოპლასტები (სურ.1.6.17). მაგნიტური ფხვნილისა და გამაერთიანებელი პოლიმერული კომპონენტის (ვინილის, კაუჩუკის, პლასტმასისა და აკრილის) დახმარებით რბილ, მოქნილ და მსუბუქ მაგნიტებს ამზადებენ, რომლებიც თავისი მაგნიტური თვისებებით სხვა მუდმივ მაგნიტებს ჩამორჩება, მაგრამ მათ თავისი გამოყენების სფერო აქვს: გამოიყენება სუვენირების, სხვადასხვა საკანცელარიო ნივთის, სარეკლამო პროდუქციის მისაკრავად.



სურ. 1.6.17

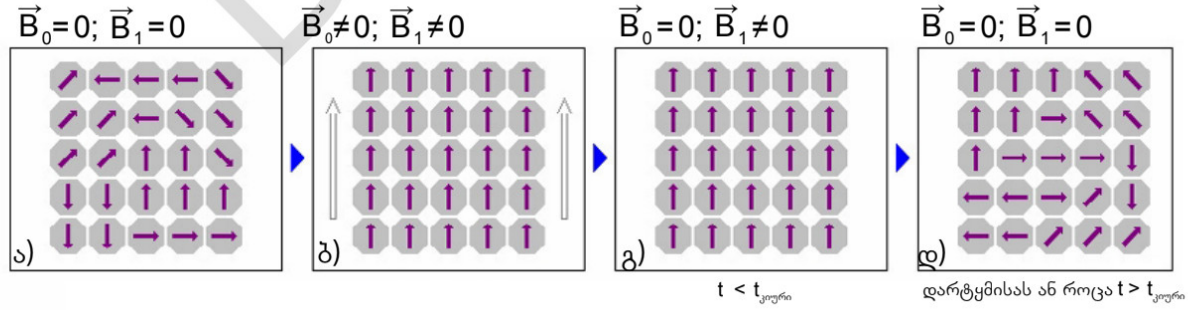
1.6.7. კიურის ტემპერატურა

ფერომაგნეტიკის მაგნიტური თვისებები შეიძლება მასზე გარეშე ზემოქმედების (მაგ., დარტყმის ან ტემპერატურის მომატებისას) შემცირდეს, ან სულაც გაქრეს. დარტყმისას ან მაღალი ტემპერატურის პირობებში ირღვევა წესრიგი დომენების ორიენტაციაში და ნიმუში მაგნიტურ თვისებებს კარგავს (სურ.1.6.18).

ყოველი ფერომაგნეტიკისთვის არსებობს ტემპერატურის გარკვეული მნიშვნელობა, რომლის შემდეგაც ის ფერომაგნიტურ თვისებებს კარგავს და პარამაგნეტიკად გადაიქცევა. ამ ტემპერატურას **კიურის ტემპერატურა (კიურის წერტილი)** ჰქვია (სახელი ფრანგი მეცნიერის, პიერ კიურის, პატივსაცემად დაერქვა, რომელმაც ეს მოვლენა 1895 წელს აღმოაჩინა).

მაგ., რკინისთვის კიურის ტემპერატურა 770^0C-ია: თუ დამაგნიტებულ ლურსმანს ძალიან გავახურებთ (წითლად ვარვარებამდე), ის რკინის საგნების მიზიდვის უნარს დაკარგავს. ნიკელისთვის კიურის ტემპერატურა 354 ^{0}C-ია, კობალტისთვის კი – 1130^0C. არსებობს ისეთი ფერომაგნიტური მასალებიც, რომელთათვისაც კიურის ტემპერატურა 100^0C-ზე დაბალია, მაგ., იშვიათმიწა ლითონის - გადოლინიუმისთვის (Gd) კიურის ტემპერატურა 19 ^{0}C-ია.

გაცივებისას ნიმუში თავის ფერომაგნიტურ თვისებებს აღიდგენს, თუმცა შესაძლებელია, მაგნიტურად ხისტი მასალა რბილად გადაიქცეს.



სურ. 1.6.18

გაიგე მეტი კიურის ტემპერატურაზე: http://bitly.ws/ACJE

Don't copy

1.7 ლორენცის ძალა

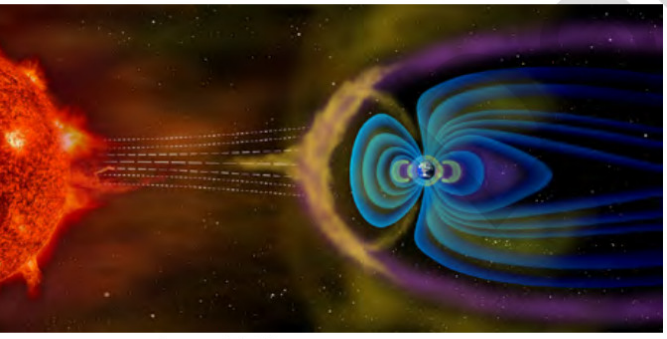


სურ. 1.7.1

გრძელი პოლარული ღამეების დროს დედამიწის ჩრდილო და სამხრეთ ნახევარსფეროში, პოლუსებთან ახლოს, ბუნება ერთ-ერთ ყველაზე ლამაზსა და საოცარ სანახაობას გვთავაზობს – ცაზე სხვადასხვა შეფერილობისა და ფორმის ნათება ჩნდება (სურ.1.7.1). ნათება ხან რკალის ფორმას იღებს, ხან ზოლებად ეშვება ციდან, ხან უძრავია, ხანაც პულსირებს, ხან მოყვითალო-მწვანე ფერისაა, ხანაც – წითელი და იისფერი. ეს **პოლარულია ციალია,** მოვლენა, რომლის დიდებულებასაც სიტყვებით ვერ აღწერ, ის **უნდა ნახო**: http://bitly.ws/yM3f

აღმოჩნდა, რომ ყოველ 11,5 წელიწადში პოლარული ციალის მოვლენის სიხშირე თავის მაქსიმუმს აღწევს. ამავე პერიოდულობით აღწევს თავის მაქსიმუმს **მზის აქტიურობაც,** რომელსაც ციალთან საინტერესო კავშირი აქვს. მზის ზედაპირზე ხშირად მუქი ფერის ლაქები ჩნდება. **მზის ლაქები** ის ადგილებია, საიდანაც დამუხტული ნაწილაკების – ელექტრონების, პროტონების (წყალბადის ბირთვების), ალფა-ნაწილაკების (ჰელიუმის ბირთვების) – ნაკადი უზარმაზარი სიჩქარით გამოიტყორცნება გარემომცველ კოსმოსურ სივრცეში. ასეთ დროს ამბობენ, რომ მზეზე **აფეთქება** მოხდა. მზიდან ამოფრქვეულ დამუხტული ნაწილაკების ნაკადს კი **მზის ქარი** ჰქვია.

მზის ქარი დედამიწას უზარმაზარი სიჩქარით (300 – 1200 კმ/წმ-ით) უახლოვდება. მათი ზეგავლენა სიცოცხლისთვის საშიშია და სწორედ დედამიწის მაგნიტური ველის დამსახურებაა ის, რომ მავნე გამოსხივება დედამიწის ზედაპირამდე ვერ აღწევს. დედამიწის მაგნიტური ველი დედამიწის გარშემო ერთგვარ დამცავ ფარს – **მაგნიტოსფეროს** ქმნის (სურ.1.7.2). მაგნიტოსფერო მზიდან გამოტყორცნილ დამუხტულ ნაწილაკებს „ჩაიჭერს“ და მაგნიტური ველის მოქმედებით ნაწილაკები მაგნიტური ინდუქციის წირების გასწვრივ, სპირალურ ტრაექტორიაზე წარიტაცებიან (სწორედ მზის ქართან ურთიერთქმედების გამო აქვს მაგნიტოსფეროს წვეთისებრი ფორმა: მზის მიმართულებით ის შეკუმშულია და ვრცელდება მანძილზე, რომელიც დედამიწის რადიუსს დაახლოებით 10-ჯერ აღემატება, მაგნიტოსფეროს „კუდი“ კი საპირისპირო მიმართულებით დედამიწის რადიუსზე 1000- ჯერ მეტ მანძილზეა გაწელილი). **ნახე ვიდეო და დააკვირდი,** როგორ მოძრაობს დედამიწის მაგნიტური ველის გავლენით მზის ქარის დამუხტული ნაწილაკები: http://bitly.ws/yM3H



სურ. 1.7.2

მაგნიტოსფეროში დიდი სიჩქარით შემოჭრილი დამუხტული ნაწილაკები ატმოსფეროს ზედა ფენებში შემავალი აირების იონიზაციას იწვევს და შედეგად, პოლუსებთან ახლოს, იქ, სადაც მაგნიტური ველის ინდუქცია ძლიერია, ნათება – **ციალი** ჩნდება (მოვლენა ანალოგიურია მოვლენის, რომელიც სარეკლამო განათებების განმუხტვის მილებში ხდება: კათოდიდან ამოტყორცნილი ელექტრონები მილებში არსებული გაიშვიათებული აირის მოლეკულებს ეჯახება, რაც აირის იონიზაციას და მის ნათებას იწვევს).

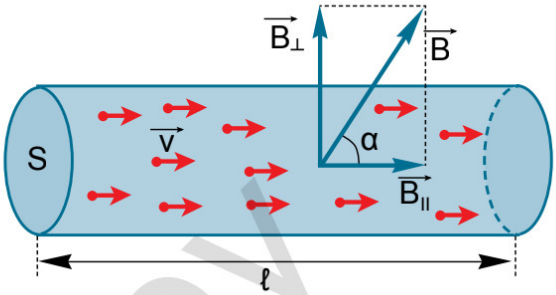
Print copy

ატმოსფეროს ზედა ფენებში (სადაც ატმოსფეროს შემადგენელი აირები გაიშვიათებულია) შემოჭრილი სწრაფი ელექტრონების ჟანგბადის ატომებთან დაჯახების შედეგად წითელი ან მწვანე ფერის ნათება მიიღება, აზოტის მოლეკულებთან შეჯახებისას კი – ცისფერი და იისფერი.

რატომ იცვლის დედამიწის მაგნიტურ ველში მზის ქარის დამუხტული ნაწილაკები მოძრაობის მიმართულებას, რატომ მოძრაობს ისინი სპირალურ ტრაექტორიაზე და ბოლოს... რატომ ჩნდება პოლარული ციალი დედამიწის პოლუსებთან და არა – სხვა ადგილებში? ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას მას შემდეგ შეძლებ, რაც გაეცნობი, თუ როგორ მოქმედებს მაგნიტური ველი მასში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე.

1.7.1 ლორენცის ძალა

შენ იცი, რომ მაგნიტური ველი მასში მოთავსებულ დენიან გამტარზე ამპერის ძალით მოქმედებს. ვისაუბრეთ, თუ როგორ გამოითვლება ამპერის ძალა, საითაა ის მიმართული, რაში გამოიყენება, მაგრამ მიზეზზე, თუ რატომ აღიძვრება ამპერის ძალა, არაფერი გვითქვამს. **რატომ ჩნდება ამპერის ძალა, რა არის მისი აღძვრის მიზეზი?** ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად გაიხსენე – ამპერის ძალა, რომელიც მაგნიტური ველის მხრიდან დენიანი გამტარის მცირე მონაკვეთზე მოქმედებს, გამოითვლება ფორმულით:



სურ. 1.7.3

$$F_ა = B\,I\,\ell \sin\alpha \qquad (1.7.1)$$

სადაც B მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მოდულია (თუ დავუშვებთ, რომ რომ გამტარის განივკვეთის ფართობი და მონაკვეთის სიგრძე ძალიან მცირეა, მაშინ მონაკვეთის ირგვლივ მაგნიტური ინდუქცია შეგვიძლია მუდმივად მივიჩნიოთ);

I – მაგნიტურ ველში მოთავსებულ გამტარში გამავალი დენის ძალაა;

ℓ – დენიანი გამტარის მონაკვეთის სიგრძეა;

α – კუთხეა, რომელსაც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი გამტარში გამავალი დენის მიმართულებასთან ადგენს (სურ. 1.7.3).

გაიხსენე – ელექტრული დენი დამუხტულ ნაწილაკთა მოწესრიგებული, მიმართული მოძრაობაა და გამტარში გამავალი დენის ძალა (I) დამოკიდებულია: დამუხტულ ნაწილაკთა კონცენტრაციაზე (n), თითოეული ნაწილაკის მიერ გადატანილი მუხტის მოდულზე ($|q_0|$), ნაწილაკთა მიმართული მოძრაობის სიჩქარესა (v) და გამტარის განივკვეთის ფართობზე (S):

$$I = |q_0|\,nvS \qquad (1.7.2)$$

1.7.2 ფორმულის გათვალისწინებით, ამპერის ძალის გამოსათვლელი 1.7.1 ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$F_ა = B\,|q_0|\,nvS\,\ell \sin\alpha \qquad (1.7.\ 3)$$

დააკვირდი (სურ. 1.7.3): Sℓ მოცულობაა, რომელსაც გამტარის მონაკვეთი სივრცეში იკავებს, nSℓ კი დამუხტული ნაწილაკების რაოდენობაა (N) განსახილველ მოცულობაში.

1.7.3 ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ძალა, რომლითაც მაგნიტური ველი თითოეულ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებს, გამოითვლება ფორმულით:

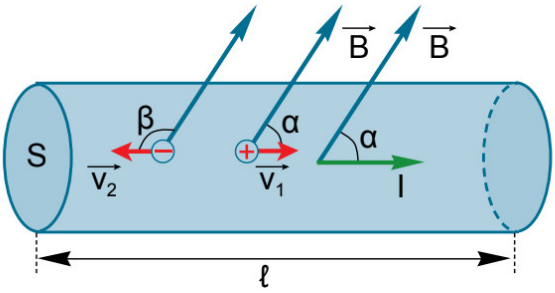
$$\frac{F_ა}{N} = B\,|q_0|\,v\sin\alpha \qquad (1.7.4)$$

Don't copy

ძალას, რომლითაც მაგნიტური ველი მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებს, **ლორენცის ძალა** ჰქვია.1.7.4. ტოლობიდან ჩანს, რომ **ლორენცის ძალის მოდული** ($F_ლ$) **ასე გამოითვლება:**

$$F_ლ = B|q_0|v\sin\alpha \qquad (1.7.5)$$

ამპერის ძალის მოდულის გამოსათვლელ ფორმულაში **α** არის კუთხე, რომელსაც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი დენის მიმართულებასთან ადგენს. **დენის მიმართულებად დადებითად დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებული მოძრაობის მიმართულებაა მიღებული**. შესაბამისად, მაგნიტურ ველში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალის მოდულის გამოსათვლელ ფორმულაში: **α კუთხე**



სურ. 1.7.4

ა) დადებითად დამუხტული ნაწილაკის შემთხვევაში, არის კუთხე მაგნიტური ინდუქციის ვექტორსა და ნაწილაკის მიმართული მოძრაობის სიჩქარეს შორის (სურ. 1.7.4);

ბ) უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკის შემთხვევაში იმ β კუთხის მოსაზღვრეა, რომელსაც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი ნაწილაკის მიმართული მოძრაობის სიჩქარესთან ქმნის (სურ. 1.7.4): $\sin\alpha = \sin\beta$.

ასე რომ, 1.7.5 ფორმულაში **α არის კუთხე, რომელსაც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი ნაწილაკის სიჩქარის მიმართულებასთან ადგენს.**

ცდებით მტკიცდება, რომ **მაგნიტური ველი უძრავ მუხტებზე არ მოქმედებს.** მართლაც, დააკვირდი 1.7.5 ფორმულას: თუ $v = 0$, მაშინ ლორენცის ძალა 0-ის ტოლია. **მაგნიტური ველი მხოლოდ მოძრავ მუხტებზე მოქმედებს.**

მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარზე გამტარში მიმართულად მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე ველის მოქმედების შედეგია.

ასე რომ, **ამპერის ძალის აღძვრის მიზეზი ლორენცის ძალაა** - ძალა, რომლითაც მაგნიტური ველი დენის თითოეულ გადამტანზე მოქმედებს. ამპერის ძალა დენიან გამტარში მოძრავ ყველა დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალების ტოლქმედია.

1.7.1

1. გააანალიზე 1.7.5 ფორმულა. რისი ტოლია მოძრავ მუხტზე მოქმედი ლორენცის ძალის მოდული, თუ მუხტი მაგნიტურ ველში მოძრაობს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის:

ა) გასწვრივ ($\vec{v} \uparrow\uparrow \vec{B}$ ან $\vec{v} \uparrow\downarrow \vec{B}$)? ბ) მართობულად ($\vec{v} \perp \vec{B}$)?

გამოიტანე დასკვნა: რა შემთხვევაშია ლორენცის ძალის მოდული მაქსიმალური? ნულის ტოლი?

2. იმოქმედებს თუ არა ლორენცის ძალა მაგნიტურ ველში მოძრავ ნეიტრონზე? რატომ?

გაითვალისწინე, თუ დამუხტულ ნაწილაკზე ერთდროულად მოქმედებს როგორც ელექტრული, ისე მაგნიტური ველი, მაშინ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი სრული ძალა ($\vec{F}$) ელექტრული ველის მხრიდან ნაწილაკზე მოქმედი ელექტრული ($\vec{F}_{ელ}$) და ლორენცის ($\vec{F}_ლ$) ძალების ტოლქმედია:

$$\vec{F} = \vec{F}_{ელ} + \vec{F}_ლ \qquad (1.7.6)$$

Don't copy

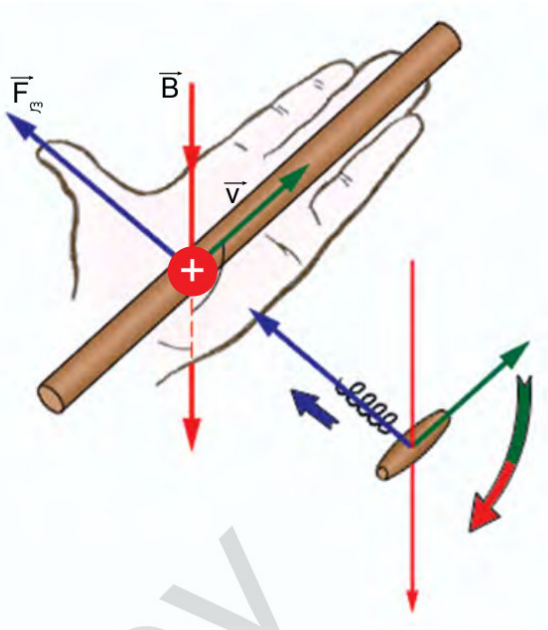
1.7.2. ლორენცის ძალის მიმართულება

ლორენცის ძალის მიმართულება, ისევე, როგორც ამპერის ძალისა, **მარცხენა ხელის წესით განისაზღვრება: თუ მარცხენა ხელს ისე მოვათავსებთ, რომ**

ა) ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი (მისი სიჩქარისადმი მართობული მდგენელი) ხელისგულში შედიოდეს;

ბ) გაშლილი ოთხი თითი კი დადებითი მუხტის სიჩქარის მიმართულებას (ან უარყოფითი მუხტის სიჩქარის საწინააღმდეგო მიმართულებას) გვიჩვენებდეს,

მაშინ 90°-ით გაშლილი ცერი დადებით (უარყოფით) მუხტზე მოქმედი ლორენცის ძალის მიმართულებას მიგვანიშნებს (სურ. 1.7.5).



სურ. 1.7.5

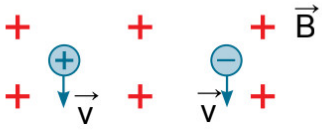
გაითვალისწინე, ლორენცის ძალა მართობულია როგორც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორისა, ისე ნაწილაკის სიჩქარის:

$$\vec{F}_ლ \perp \vec{B} \quad \text{და} \quad \vec{F}_ლ \perp \vec{v}.$$

ლორენცის ძალის მიმართულების განსაზღვრა ბურღის წესითაცაა შესაძლებელი: წარმოიდგინე, ბურღი ისე გიჭირავს, რომ მისი წვერის მიმართულება მართობულია როგორც ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორისა, ისე სიჩქარის $\vec{v}$ ვექტორისა (სურ. 1.7.5). **ლორენცის ძალა მიმართულია იმ მხარეს, საითაც გადაადგილდება წარმოსახვითი ბურღის წვერი, თუ მის ტარს $\vec{v}$ ვექტორიდან $\vec{B}$ ვექტორისკენ აბრუნებ.**

1.7.2

ვთქვათ, მაგნიტურ ველში, რომლის ინდუქციის ვექტორი შენგან წიგნის სიბრტყისკენ მართობულადაა მიმართული (სურ. 1.7.6), ინდუქციის ვექტორის მართობულად პროტონი და ელექტრონი მოძრაობს. განსაზღვრე თითოეულ მათგანზე მოქმედი ლორენცის ძალის მიმართულება.



სურ. 1.7.6

გაიხსენე: თუ სხეულზე მოდებული ძალა გადაადგილების (სიჩქარის) მართობულია, მაშინ ის მუშაობას არ ასრულებს. ლორენცის ძალა ყოველთვის ნაწილაკის სიჩქარის მართობულია, ამიტომ ის მუშაობას არ ასრულებს.

კინეტიკური ენერგიის შესახებ თეორემის თანახმად, თუ ძალის მოქმედებით სხეულის სიჩქარე იცვლება, ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ამ სხეულის კინეტიკური ენერგიის ცვლილების ტოლია:

$$A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2},$$

რადგან **ლორენცის ძალა მუშაობას არ ასრულებს,** $A = 0$, ანუ

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = 0 \qquad \text{ე.ი.} \qquad \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$$

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **ლორენცის ძალის მოქმედებით მოძრავი დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარის მოდული არ იცვლება, იცვლება მხოლოდ ნაწილაკის სიჩქარის მიმართულება.**

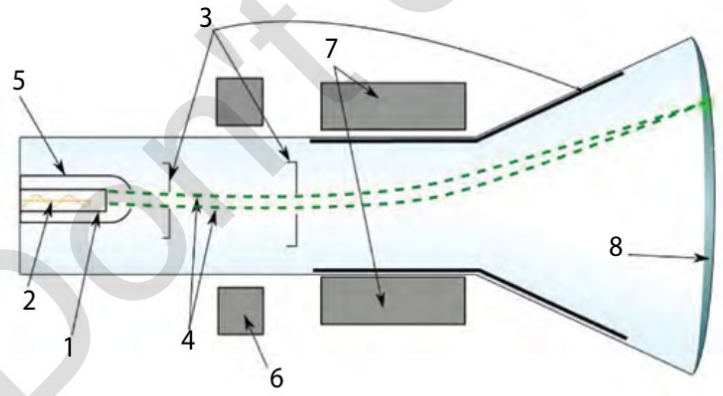
Don't copy

1.7.3

მოძრავ მუხტზე ლორენცის ძალის მოქმედება ტექნიკაში ფართოდაა გამოყენებული. მაგ., ელექტრონულ-სხივურ მილაკში (რომელიც ძველი თაობის ტელევიზორების ძირითადი ნაწილია) ელექტრონული კონის მართვა სწორედ ელექტრული და მაგნიტური ველების დახმარებით ხდება.

1.7.6 სურათზე **ელექტრონულ-სხივური მილაკის გამარტივებული სქემაა გამოსახული**:

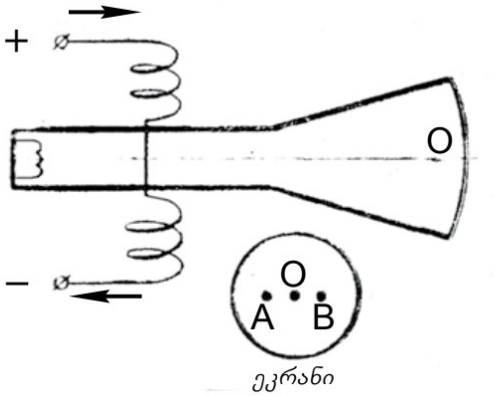
1 – კათოდი;
2 – ვარვარების ძაფი;
3 – ანოდი;
4 – ვიწრო ელექტრონული კონა;
5 – დამატებითი ელექტროდი (თუ კათოდსა და ანოდს შორის დამატებით ელექტროდს მოვათავსებთ, მაშინ მისი პოტენციალის ცვლით შეგვიძლია კონაში ელექტრონების რაოდენობა ვცვალოთ);
6 – დიაფრაგმა, რომელიც ელექტრონული კონის ფოკუსირებას ახდენს (მასში მხოლოდ ის ელექტრონები გავა, რომლებიც მილაკის ღერძის გასწვრივ მოძრაობს);
7 – ელექტრომაგნიტი, დენიანი კოჭა, რომლის მაგნიტურ ველში გავლისას ელექტრონული კონა გადაიხრება;
8 – ლუმინოფორიანი ეკრანი, რომელიც ელექტრონებით „დაბომბვის“ შედეგად ნათებას იწყებს (ლუმინოფორები ელექტრონული კონის ენერგიის დაახლოებით 25%-ს სინათლის ენერგიად გარდაქმნის).



სურ. 1.7.6

1.7.7 სურათზე წრის სახით გამოსახულია ელექტრონულ-სხივური მილაკის ეკრანი, რომელიც ჩვენკენ „იყურება“.

თუ ელექტრომაგნიტში დენი არ გადის, ელექტრონული კონა ეკრანის ზუსტად ცენტრში ხვდება და ეკრანზე მნათი წერტილი O წერტილში მიიღება. თუ ელექტრომაგნიტის ხვიებში დენი გადის, კონა გადაიხრება და მნათი წერტილი ეკრანის სხვა ადგილას მიიღება. **ახსენი, რატომ გადაიხრება კონა და დაფიქრდი:** სავარაუდოდ, რომელ (A, B თუ ისევ O) წერტილში მიიღება მნათი წერტილი, თუ ელექტრომაგნიტის კოჭას ხვიაში გამავალ დენს 1.7.7 სურათზე ნაჩვენები მიმართულება ექნება?



სურ. 1.7.7.

Don't copy

1.8 ფიზიკა ამოცანებში: ლორენცის ძალა

მაგნიტურ ველში მიმართულად მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე ველის მხრიდან მოქმედების შესწავლას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს, რადგან ლორენცის ძალის გამოვლინება ხშირია, როგორც ბუნებაში მიმდინარე ზოგიერთი მოვლენის, ისე სამეცნიერო ექსპერიმენტებსა და ტექნიკაში გამოყენებულ სხვადასხვა მოწყობილობაში.

განვიხილოთ, დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობა ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში განსხვავებული შემთხვევებისათვის.

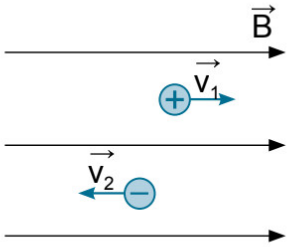
გაიხსენე: **მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია, თუ მის ნებისმიერ წერტილში ინდუქციის ვექტორის მოდული და მიმართულება ერთნაირია.** ასეთი მაგნიტური ველის ინდუქციის წირები ერთმანეთის პარალელურია და მათი განაწილების სიხშირე ყველგან ერთნაირია.

1.8.1 ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობა ძალწირების პარალელურად

ამოცანა 1.8.1

აღწერე, როგორ იმოძრავებს დამუხტული ნაწილაკი (q) ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, თუ ის ველში ძალწირების პარალელურად შეიჭრა, ანუ მისი სიჩქარე ინდუქციის ვექტორის გასწვრივაა მიმართული ($\vec{v} \parallel \vec{B}$). რისი ტოლია ამ დროს ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალა?

დააკვირდი 1.8.1 სურათს: თუ მაგნიტურ ველში მოძრავი დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარე მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის გასწვრივაა მიმართული ($\vec{v} \parallel \vec{B}$), მაშინ



სურ. 1.8.1

$$\alpha = 0^0 \text{ ან } \alpha = 180^0) \Rightarrow \sin\alpha = 0,$$

ანუ

$$F_ლ = B\,|q|\,v\,\sin\alpha = 0$$

ასე რომ, **თუ დამუხტული ნაწილაკი მაგნიტურ ველში ძალწირების პარალელურად მოძრაობს, მაგნიტური ველის მხრიდან ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალა ნულის ტოლია.** რაც იმას ნიშნავს, რომ **ნაწილაკი მაგნიტურ ველში წრფივად და თანაბრად იმოძრავებს:** ის მაგნიტურ ველში მოძრაობას გააგრძელებს იმავე სიჩქარით, რომელიც მას ველში შეჭრისას ჰქონდა.

1.8.2 ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობა ძალწირების მართობულად

ამოცანა 1.8.2

აღწერე, როგორ იმოძრავებს დამუხტული ნაწილაკი (q) ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, თუ ის ველში ძალწირების მართობულად შეიჭრა ($\vec{v} \perp \vec{B}$).

გამოთვალე ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალის მოდული.

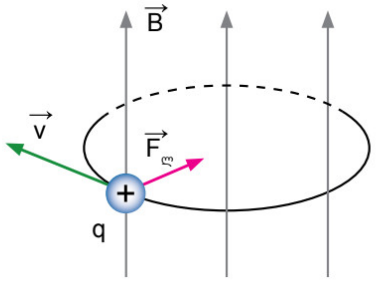
თუ მაგნიტურ ველში მოძრავი დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარე მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მართობულია ($\vec{v} \perp \vec{B}$), მაშინ $\alpha = 90^0) \Rightarrow$ $\sin\alpha = 1$, ანუ **ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალის მოდული თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს,** რომელიც ასე გამოითვლება:

$$F_ლ = B \cdot |q| \cdot v \qquad (1.8.1)$$

Don't copy

რადგან ლორენცის ძალა დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარის მართობულია, ის ნაწილაკს ცენტრისკენულ აჩქარებას მიანიჭებს. ასე რომ, **ინდუქციის ვექტორის მართობულად მოძრავი დამუხტული ნაწილაკი მაგნიტურ ველში წრეწირზე მოდულით მუდმივი სიჩქარით იმოძრავებს** (ლორენცის ძალა ნაწილაკის სიჩქარის მოდულს არ ცვლის).

დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალის მიმართულება კი მარცხენა ხელის წესით განისაზღვრება (სურ.1.8.2).



სურ. 1.8.2

1.8.3 მოძრავი ნაწილაკის მუხტის ნიშნის დადგენა

ამოცანა 1.8.3

იმ ფაქტს, რომ მაგნიტურ ველში ძალწირების მართობულად მოძრავი დამუხტული ნაწილაკი წრეწირზე მოძრაობს, ნაწილაკის მუხტის ნიშნის დასადგენად იყენებენ.

დააკვირდი 1.8.3 სურათს: **ვთქვათ, ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი შენგან ნახაზის სიბრტყისკენ, მართობულადაა მიმართული და მასში ინდუქციის ვექტორის მართობულად დამუხტული ნაწილაკი შეიჭრა: ნაწილაკი მაგნიტურ ველში მოძრაობისას წრეწირს შემოწერს. როგორ დავადგინოთ ნაწილაკის მუხტი?**

განსაზღვრე ლორენცის ძალის მიმართულება მარცხენა ხელის წესით:

1. მოათავსე მარცხენა ხელი ისე, რომ

ა) ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი ხელისგულში შედიოდეს;

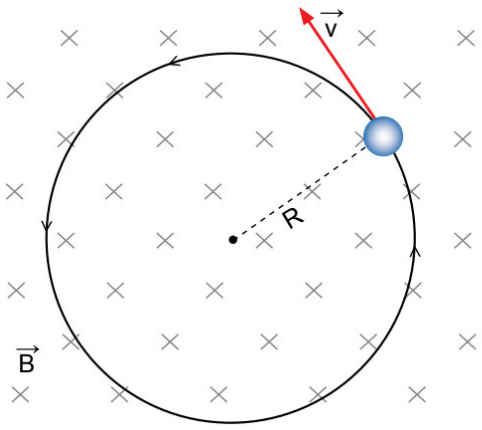
ბ) გაშლილი ოთხი თითი მუხტის სიჩქარის მიმართულებას გიჩვენებდეს.

2. თუ 90^0-ით გაშლილი ცერი მიმართულია წრეწირის

ა) ცენტრისკენ, მაშინ ნაწილაკის მუხტი დადებითია;

ბ) ცენტრის საპირისპირო მხარეს, მაშინ ნაწილაკის მუხტი უარყოფითია;.

ასე რომ, **1.8.3 სურათზე გამოსახული ნაწილაკის მუხტი დადებითია.**



სურ.1.8.3

ამოცანა 1.8.4

ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად დამუხტული ნაწილაკი (q) **შეიჭრა. გამოთვალე დამუხტული ნაწილაკის მიერ შემოწერილი წრეწირის** R **რადიუსი** (სურ. 1.8.4).

ამოხსნა

1. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ძალწირების მართობულად მოძრავ ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალის მოდული ასე გამოითვლება:

$$F_ლ = B\,|q|\,v \qquad (1)$$

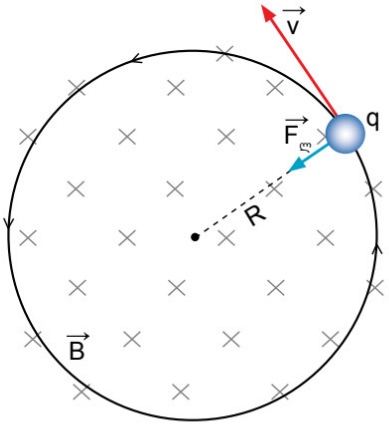
Don't copy

2. ნიუტონის II კანონის თანახმად, ნაწილაკის მოძრაობის განტოლება მიიღებს სახეს:

$$ma = B \cdot |q| \cdot v \qquad (2)$$

3. ლორენცის ძალა ნაწილაკის სიჩქარის მართობულია, ის ნაწილაკს ცენტრისკენულ აჩქარებას ანიჭებს და შედეგად, ნაწილაკი მაგნიტურ ველში შეჭრის შემდეგ წრეწირზე იმოძრავებს. ნაწილაკის ცენტრისკენული აჩქარება გამოითვლება ფორმულით:

$$a = \frac{v^2}{R} \qquad (3)$$



სურ.1.8.4

4. მე-3-ს გათვალისწინებით, მე-2 ტოლობა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\frac{mv^2}{R} = B \cdot |q| \cdot v \qquad (4)$$

5. მე-4 ტოლობიდან ჩანს, რომ **იმ წრეწირის რადიუსი, რომელსაც ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად მოძრავი დამუხტული ნაწილაკი შემოწერს, ასე გამოითვლება:**

$$R = \frac{mv}{B|q|} \qquad (1.8.2)$$

ამოცანა 1.8.5

ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად დამუხტული ნაწილაკი (q) შეიჭრა. გამოთვალე დამუხტული ნაწილაკის წრეწირზე მოძრაობის პერიოდი.

ამოხსნა

1. ლორენცის ძალა ნაწილაკის სიჩქარის მართობულია, ის ნაწილაკს ცენტრისკენულ აჩქარებას ანიჭებს და შედეგად, ინდუქციის წირების მართობულად მოძრავი ნაწილაკი მაგნიტურ ველში წრეწირზე იმოძრავებს.

2. გაიხსენე: წრეწირზე მოძრაობის პერიოდი არის დრო, რომელშიც ნაწილაკი წრეწირზე მოძრაობისას ერთ სრულ ბრუნს შემოწერს: $T = \frac{2\pi R}{v}$;

3. 1.8.2 ფორმულის გათვალისწინებით მიიღებ, რომ **იმ წრეწირზე მოძრაობის პერიოდი, რომელსაც ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად მოძრავი დამუხტული ნაწილაკი შემოწერს, ასე გამოითვლება:**

$$T = \frac{2\pi m}{|q|B} \qquad (1.8.3)$$

დააკვირდი: 1.8.2 და 1.8.3 გამოსახულებებიდან ჩანს:

ა) რაც მეტია დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარის მოდული, მით მეტია იმ წრეწირის რადიუსი, რომელსაც ნაწილაკი მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად მოძრაობისას შემოწერს;

ბ) ნაწილაკის მოძრაობის პერიოდი დამოკიდებული არ არის არც სიჩქარესა და არც წრეწირის რადიუსზე.

ასე რომ, **ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად სხვადასხვა სიჩქარით მოძრაობისას დამუხტული ნაწილაკი განსხვავებული რადიუსის წრეწირებს შემოწერს, თუმცა მისი წრეწირზე მოძრაობის პერიოდი არ შეიცვლება: პერიოდი დამოკიდებული არ არის არც ნაწილაკის სიჩქარესა და არც წრეწირის რადიუსზე.**

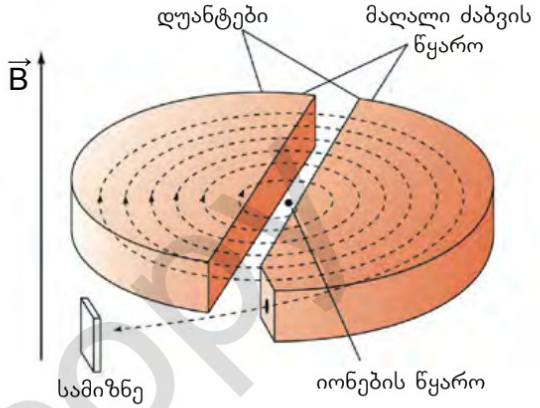
ეს ფაქტი გამოყენებულია დამუხტულ ნაწილაკთა ამაჩქარებელში, რომელსაც **ციკლოტრონი** ჰქვია.

Don't copy

1.8.4. ციკლოტრონი

მიკროსამყაროში მიმდინარე პროცესების კვლევისთვის **მაღალი ენერგიების ელემენტარულ ნაწილაკებს** იყენებენ: რაც უფრო მცირეა გამოსაკვლევი მასშტაბები, მით უფრო სწრაფი ნაწილაკების ნაკადია საჭირო. მაღალი ენერგიების ნაწილაკების მისაღებად იყენებენ მოწყობილობას, რომელსაც ელემენტარული ნაწილაკების **ამაჩქარებელი** ჰქვია. ამაჩქარებლები ორი სახისაა: **წრფივი** და **ციკლური**.

ორივე სახის ამაჩქარებელში ნაწილაკები ელექტრული ველის მოქმედებით აჩქარდება: წრფივ ამაჩქარებელში ნაწილაკები წრფივად მოძრაობს, ხოლო ციკლურში – წრიულ ან ბრტყელ სპირალურ ტრაექტორიაზე. უმარტივესი ციკლური ამაჩქარებელი – **ციკლოტრონი** – 1931 წელს ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ერნესტ ლოურენსმა და მილტონ ლივინგსტონმა შექმნეს.

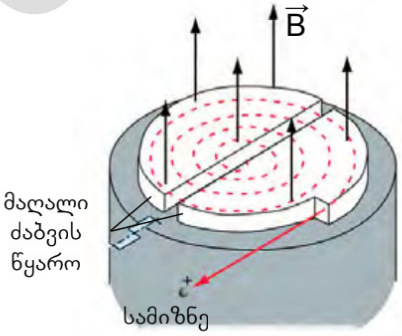


სურ. 1.8.5

1.8.5 სურათზე ციკლოტრონის გამარტივებული სქემაა გამოსახული.

წარმოიდგინე: კონსერვისთვის განკუთვნილი ლითონის წრიული ბრტყელი ქილა. ქილა შუაზე, დიამეტრის გასწვრივაა გაჭრილი და ქილის ნაწილები ერთმანეთისგან დაშორებულია: მათ შორის **ღიობია**. ქილის თითოეული ნაწილი თავისი მოხაზულობით ლათინურ ასო „D“-ს ჰგავს და ამ მსგავსების გამო მათ **დუანტები** უწოდეს.

სწორედ **დუანტებია** ციკლოტრონის მოწყობილობის ერთ-ერთი ძირითადი დეტალი: დუანტები ლითონის ორი „D“-ს ფორმის ელექტროდია, რომელთა შიგნით სიცარიელეა (სურ. 1.8.5).



სურ. 1.8.6

დუანტები მაღალი ძაბვის წყაროსთანაა მიერთებული და მათ შორის, ღიობში, ელექტრული ველია შექმნილი (ელექტრული ველი პერიოდულად მიმართულებას იცვლის, ანუ ცვლადია ელექტრული ველის დაძაბულობაც).

ლითონის დუანტების შიდა სივრცეში ელექტრული ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია.

დუანტები ვაკუუმურ კამერაში **მუდმივი ელექტრომაგნიტის** პოლუსებს შორის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველშია მოთავსებული (სურ. 1.8.6): ველის ინდუქციის წირები ვერტიკალურად ზევით, დუანტების სიბრტყის მართობულადაა მიმართული.

დუანტებს შორის, ღიობში, დამუხტული ნაწილაკების (პროტონების) **წყაროა** მოთავსებული. **წყაროდან** გამოსხივებულ დამუხტული ნაწილაკზე (პროტონზე) ელექტრული ველი მოქმედებს ძალით და ნაწილაკი ძალწირების გასწვრივ, ერთ-ერთი დუანტის შიდა სივრცისკენ ამოძრავდება.

მაგნიტური ველი მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე ლორენცის ძალით მოქმედებს და შედეგად, დუანტის შიგნით ნაწილაკი **წრიულ ტრაექტორიაზე** იმოძრავებს.

იმ მომენტში, ნაწილაკი ნახევარწრეწირს შემოწერს ერთ-ერთი დუანტის შიგნით და კვლავ დუანტებს შორის, ღიობში, აღმოჩნდება, ელექტრული ველის დაძაბულობის მიმართულება საპირისპიროდ შეიცვლება: ნაწილაკზე ელექტრული ველი იმოქმედებს ძალით, რომელიც მას აჩქარებას მიანიჭებს, ნაწილაკის სიჩქარე გაიზრდება და მეორე დუანტის შიდა სივრცისკენ წრფივად, ელექტრული ველის დაძაბულობის გასწვრივ, ამოძრავდება.

Don't copy

1.8.2 ფორმულის თანახმად, **რაც მეტია დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარის მოდული, მით მეტია იმ წრეწირის რადიუსი, რომელსაც ნაწილაკი მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად მოძრაობისას შემოწერს.** ასე რომ, ელექტრული ველის მოქმედებით აჩქარებული ნაწილაკი მეორე დუანტის შიგნით უფრო მეტი რადიუსის მქონე წრეწირზე იმოძრავებს და ა.შ. ელექტრულ ველში აჩქარებული ნაწილაკის მიერ შემოწერილი ყოველი შემდგომი ნახევარწრეწირის რადიუსი მეტი იქნება წინაზე.

1.8.3 ფორმულის თანახმად, დუანტების შიგნით ნაწილაკის წრეწირზე მოძრაობის პერიოდი **არც ნაწილაკის სიჩქარეზეა დამოკიდებული და არც წრეწირის რადიუსზე** (თუ დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარე გაცილებით ნაკლებია სინათლის სიჩქარეზე $v << c$): **სხვადასხვა სიჩქარის დროს ნაწილაკი განსხვავებული რადიუსის წრეწირზე იმოძრავებს, მაგრამ მისი წრეწირზე მოძრაობის პერიოდი არ შეიცვლება.**

ასე რომ, დუანტებს შორის ღიობში ნაწილაკი ერთი და იმავე დროის შემდეგ ხვდება და ყოველ ჯერზე აჩქარდება. ის გაზრდილი სიჩქარით უფრო დიდი რადიუსის მქონე წრეწირზე აგრძელებს მოძრაობას და შედეგად, მისი **ტრაექტორია ბრტყელი სპირალური წირია**.

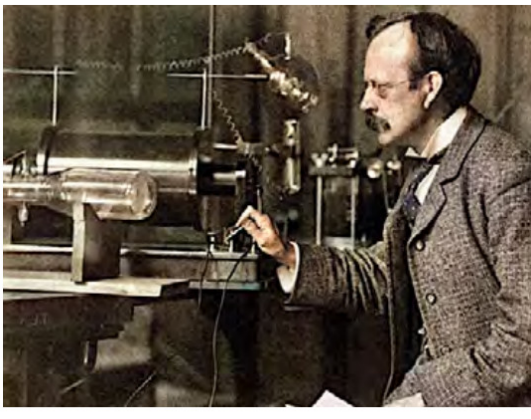
სპირალის ბოლო ხვიაზე ნაწილაკები დამატებით ამაჩქარებელ ველში ხვდება და კიდევ უფრო მაღალი სიჩქარით გარეთ, **სამიზნისკენ,** გაიტყორცნება (სურ. 1.8.6).

1.8.5. ტომსონის ცდა: ელექტრონის კუთრი მუხტის განსაზღვრა

1897 წლის 29 აპრილს, ლონდონის სამეფო საზოგადოების სხდომაზე, კემბრიჯის უნივერსიტეტის პროფესორმა – ინგლისელმა ფიზიკოსმა **ჯოზეფ ჯონ ტომსონმა** საზოგადოებას მანამდე უცნობი ელემენტარული ნაწილაკის, **ელექტრონის,** აღმოჩენა აუწყა.

1906 წელს ტომსონს ნობელის პრემია „აირებში ელექტრული დენის კვლევისთვის“ მიენიჭა, რომელიც ელექტრონის აღმოჩენასაც მოიცავდა.

ამ აღმოჩენას წინ უძღვოდა არაერთი მეცნიერის თავდაუზოგავი შრომა და სამეცნიერო წარმატება და რომ არა ტომსონის წინამორბედები, ელექტრონის აღმოჩენა გაურკვეველი დროით კიდევ გადაიწევდა... არადა, ეს იყო XIX საუკუნის მიწურული, ელექტრულ დენს ფართოდ იყენებენ როგორც მრეწველობაში (ელექტროძრავა, გენერატორი), ისე ყოფა-ცხოვრებაში (ტელეგრაფი, ტელეფონი, განათება). მაქსველის მიერ უკვე შექმნილია ელექტრული და მაგნიტური მოვლენების გამაერთიანებელი თეორია, რომელიც მანამდე ცნობილ ყველა ელექტრულსა თუ მაგნიტურ ეფექტებს ხსნის, მაგრამ ელექტრონის არსებობა ჯერ არავინ იცის. არავინ იცის, რა არის ელექტრული დენი, როგორ ჩნდება ელექტრული მუხტი ...



სურ. 1.8.7. ჯოზეფ ტომსონი

1859 წელს, გერმანელმა ფიზიკოსმა და მათემატიკოსმა **იულიუს პლიუკერმა** ვაკუუმში (გაიშვიათებულ აირში) ელექტრული დენის კვლევისას უხილავი სხივები აღმოაჩინა: სხივები ლითონის კათოდიდან ანოდის მიმართულებით წრფივად ვრცელდებოდა და მილაკის ლუმინოფორებით დაფარულ კედელზე, იქ, სადაც ისინი ხვდებოდა, ნათებას იწვევდა. მათ **კათოდური სხივები** უწოდეს.

აღმოჩენილი იყო ელექტრული და მაგნიტური ველის ზემოქმედება კათოდურ სხივებზე: კათოდური სხივები ელექტრულსა და მაგნიტურ ველში იხრებოდა, მოძრაობის მიმართულებას იცვლიდა.

1895 წელს ფრანგმა ფიზიკოსმა **ჟან პერენმა** აჩვენა, რომ კათოდური სხივები უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების ნაკადია: ნაწილაკები წრფივად მოძრაობენ, მაგრამ

DO NOT COPY

მათი მოძრაობის მიმართულება მაგნიტურ ველში იცვლება (1926 წელს პერენი ნობელის პრემიის მფლობელი გახდა).

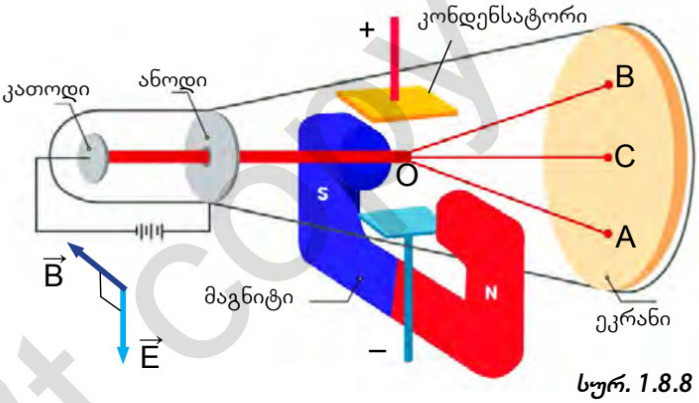
1897 წლის იანვარში გერმანელმა მეცნიერმა **ემილ ვიხერტმა** გაზომა იმ უარყოფითი ნაწილაკების **კუთრი მუხტი** (მუხტის შეფარდება მასასთან), რომელიც კათოდურ სხივებს ქმნიდა, თუმცა მისი ექსპერიმენტი შედეგების განზოგადების საშუალებას არ იძლეოდა.

სხვებისგან დამოუკიდებლად, ტომსონი კემბრიჯის უნივერსიტეტის კავენდიშის ლაბორატორიაში უამრავ ცდას ატარებდა: იყენებდა სხვადასხვა ლითონისგან დამზადებულ კათოდებს, აკვირდებოდა განმუხტვას სხვადასხვა აირში.

საბოლოოდ, მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგების საფუძველზე, ტომსონი მივიდა დასკვნამდე: **ნაწილაკები, რომლებიც კათოდურ სხივებს ქმნის, ერთმანეთისგან არ განსხვავდება და შედის ყველა ნივთიერების ატომში** (ტომსონმა ატომის აგებულების საკუთარი მოდელიც წარმოადგინა, რომლის მიხედვითაც ელექტრონები ატომში ისეა მიმობნეული, როგორც „ქიშმიში კექსში“). **ნაწილაკების კუთრი მუხტი** $q/m \approx 10^{11}$ კ /კგ.

იმავე, 1897 წელს, ტომსონის მიერ აღმოჩენილ ნაწილაკს **ელექტრონი** უწოდეს.

ამოცანა 1.8. 6



სურ. 1.8.8

დააკვირდი 1.8.8 სურათზე იმ ვაკუუმური მილაკის გამარტივებული სქემაა გამოსახული, რომლის დახმარებითაც ტომსონი ექსპერიმენტს ატარებდა: კათოდიდან ამოფრქვეული უარყოფითი ნაწილაკები მაღალი ძაბვის ანოდურ ველში აჩქარდება და მოძრაობას ურთიერთმართობულ ერთგვაროვან ელექტრულსა და მაგნიტურ ველებში აგრძელებს ($\vec{E} \perp \vec{B}$, ამასთან ნაწილაკების სიჩქარე, $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$ და $\vec{v}_0 \perp \vec{E}$).

ელექტრული ველი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის იქმნება, მაგნიტური ველის წყაროდ ტომსონი დენიან კოჭას იყენებდა.

ვთქვათ (სურ.1.8.8),

ა) კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ძაბვა ნულის ტოლია (ე.ი. კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ელექტრული ველი არ არის, $\vec{E} = 0$) **და ნაწილაკებზე არც მაგნიტური ველი მოქმედებს** ($\vec{B} = 0$): უარყოფითი ნაწილაკები წრფივად გავრცელდება და ლუმინოფორებით დაფარულ ეკრანთან შეჯახებისას, მნათი წერტილი ეკრანის ცენტრში (C წერტილში) მიიღება;

ბ) კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ძაბვა ნული არ არის ($\vec{E} \neq 0$) **და კათოდურ სხივებზე მაგნიტური ველი არ მოქმედებს** ($\vec{B} = 0$):

კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ელექტრულ ველში გავლისას უარყოფითი ნაწილაკების ნაკადი დადებითად დამუხტული შემონაფენისკენ გადაიხრება და ნათება ეკრანის B წერტილში მიიღება;

გ) კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ძაბვა ნულია ($\vec{E} = 0$), **მაგრამ კათოდურ სხივებზე მაგნიტური ველი მოქმედებს** ($\vec{B} \neq 0$): უარყოფით ნაწილაკებზე ლორენცის ძალა იმოქმედებს, ნაკადი გადაიხრება და ნათება ეკრანის A წერტილში მიიღება (მარცხენა ხელის წესის მიხედვით ლორენცის ძალა ქვევითაა მიმართული);

დ) მილაკში ორივე ველი, მაგნიტურიც და ელექტრულიც, ერთდროულად არსებობს ($\vec{E} \neq 0$, $\vec{B} \neq 0$): ტომსონი მიხვდა, რომ ასეთ დროს შესაძლებელია ველების

Don't copy

ისე შერჩევა, რომ ნაწილაკების ნაკადი არ გადაიხაროს და მნათი წერტილი ისევ ეკრანის ცენტრში აღმოჩნდეს. ამისათვის საჭიროა, რომ ელექტრული და მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ძალები ერთმანეთს აწონასწორებდეს:

$$F_{ელ} = F_{ლ}$$

თუ გაითვალისწინებ, რომ

$$F_{ელ} = qE \quad \text{და} \quad F_{ლ} = |q|v_0 B \ (\sin\alpha = 1, \text{ რადგან } \vec{v_0} \perp \vec{B})$$

მიიღებ: $qE = |q|v_0 B \Rightarrow v_0 = \frac{E}{B}$ (1)

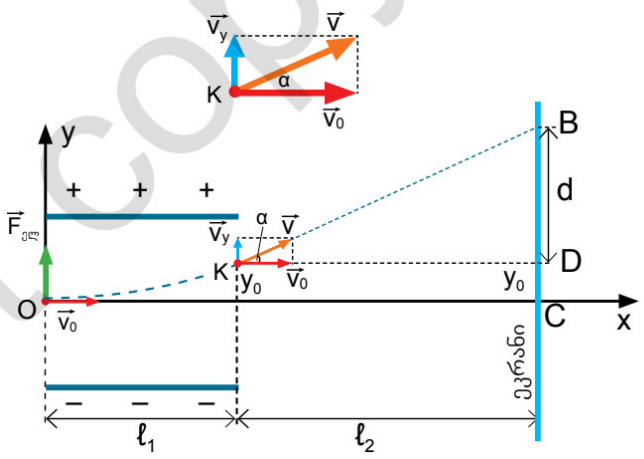
თავის ექსპერიმენტებში ტომსონი $\vec{E}$-სა და $\vec{B}$-ს მოდულს ზომავდა და კათოდურ სხივებში უარყოფითი ნაწილაკების სიჩქარეს ითვლიდა. აღმოჩნდა, რომ კათოდურ სხივებში ნაწილაკის სიჩქარე $v_0 \approx 2{,}8 \cdot 10^7$ მ/წმ.

თავის ერთ-ერთ ექსპერიმენტში ტომსონი აკვირდებოდა კათოდური სხივების მოძრაობას კონდენსატორის შემონაფენებს შორის, როცა მათზე მხოლოდ კონდენსატორის ელექტრული ველი მოქმედებს ($\vec{E} \neq 0$, $\vec{B} = 0$) (სურ. 1.8.9): ერთგვაროვან ელექტრულ ველში მოძრავ უარყოფით ნაწილაკზე მოქმედებს ელექტრული ძალა, რომელიც ნაწილაკის $\vec{v_0}$ სიჩქარის მართობულად, უარყოფითიდან დადებითი ფირფიტისკენაა მიმართული (სიმძიმის ძალის გავლენა უგულებელყოფილია).

1. დააკვირდი ნახაზს (სურ. 1.8.9):

ა) Ox ღერძი ნაწილაკის საწყისი სიჩქარის ($\vec{v_0}$) მიმართულებას ემთხვევა (იმ სიჩქარის მიმართულებას, რომლითაც ნაწილაკი ელექტრულ ველში შედის მას შემდეგ, რაც ანოდური ძაბვის მოქმედებით გარკვეულ სიჩქარეს შეიძენს);

ბ) Oy ღერძი ნაწილაკზე მოქმედი ელექტრული ძალის თანამიმართულია.



სურ. 1.8.9

2. ნაწილაკის მოძრაობა:

ა) Ox ღერძის გასწვრივ თანაბარია ($a_x = 0$, $v_{0x} = v_0 = \text{const}$), რადგან ამ მიმართულებით მასზე ძალა არ მოქმედებს: დრო, რომელიც ნაწილაკს კონდენსატორის ელექტრულ ველში მოძრაობისას სჭირდება, ასე გამოითვლება:

$$t = \frac{\ell_1}{v_0} \quad (2)$$

v_0 ნაწილაკის სიჩქარეა, რომელიც ტომსონმა გამოთვალა, ℓ_1 კონდენსატორის შემონაფენის სიგრძეა.

ბ) Oy ღერძის გასწვრივ თანაბარაჩქარებულია ($a_y \neq 0$): ამ მიმართულებით ნაწილაკზე ელექტრული ძალა მოქმედებს. ელექტრულ ველში ნაწილაკის მოძრაობის განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$F_{ელ} = |q|E = ma_y \quad (3)$$

სადაც E კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ელექტრული ველის დაძაბულობაა.

3. კონდენსატორის შემონაფენებს შორის, ელექტრულ ველში მოძრაობისას, **Oy ღერძის გასწვრივ, ნაწილაკის:**

ა) საწყისი სიჩქარე (O წერტილში) 0-ის ტოლია: $v_{0y} = 0$;

Don't copy

ბ) სიჩქარე კონდენსატორიდან გამოსვლის მომენტში (K წერტილში) ასე გამოითვლება: $v_y = v_{0y} + a_y t = a_y t$;

თუ მე-2 და მე-3 ტოლობებს გავითვალისწინებთ, მივიღებთ, რომ

$$v_y = \frac{|q|E}{m}\,\frac{\ell_1}{v_0} \qquad (4)$$

ბ) წანაცვლება გამოითვლება ასე: $y_0 = \frac{a_y t^2}{2}$ (5)

4. კონდენსატორიდან გამოსვლის შემდეგ ნაწილაკი $\vec{v}$ სიჩქარით ინერციით მოძრაობს KB მონაკვეთზე: $\vec{v} = \vec{v_0} + \vec{v_y}$.

5. CB ეკრანის ცენტრიდან მნათი წერტილის წანაცვლებაა.

ნახაზიდან (სურ. 1.8.9) ჩანს, რომ $\frac{v_y}{v_0} = \frac{BD}{\ell_2}$ (6)

$BD = BC - y_0 = d$; ℓ_2 მანძილია კონდენსატორის ბოლოდან ეკრანამდე.

6. თუ გავითვალისწინებთ 1-ელ და მე-4 ტოლობებს, მე-6 დან მივიღებთ, რომ **ნაწილაკის კუთრი მუხტი, ანუ ნაწილაკის მასისა და მუხტის შეფარდება,** ასე გამოითვლება: $\frac{|q|}{m} = \frac{d}{\ell_2}\cdot\frac{E}{\ell_1 B^2}$ (7)

$\frac{d}{\ell_2} = \mathrm{tg}\alpha$, სადაც α არის კუთხე $\vec{v_0}$ და $\vec{v}$ ვექტორებს შორის, რომლის განსაზღვრაც ტომსონს ექსპერიმენტულად შეეძლო. მან ასევე გაზომა მე-7 ფორმულაში შემავალი სხვა სიდიდეებიც (ℓ, B, E) და გამოთვალა იმ ნაწილაკის კუთრი მუხტი, რომელსაც შემდგომში **ელექტრონი** უწოდეს:

$$\frac{|q|}{m} \approx 1{,}7592 \cdot 10^{11}\ \text{კ/კგ}.$$

ელექტრონის მუხტის ცალკე გამოთვლა ტომსონმა ვერ შეძლო და მისი ექსპერიმენტული განსაზღვრა 1910 –1914 წლებში ამერიკელ ფიზიკოს-ექსპერიმენტატორს, **რობერტ მილიკენს** ხვდა წილად.

1.8.6. დამუხტული ნაწილაკის მასის განსაზღვრა მას – სპექტროგრაფის საშუალებით

დამუხტული ნაწილაკის კუთრი მუხტის განსაზღვრა დღევანდელობაშიც აქტუალურია იმის გათვალისწინებით, რომ ახალი ნაწილაკების აღმოჩენა ბირთვული კვლევების სამეცნიერო ცენტრებში ძალიან ხშირად ხდება. კუთრი მუხტის განსაზღვრისთვის თანამედროვე ლაბორატორიებში **მას-სპექტროგრაფს** იყენებენ, რომლის მოქმედების პრინციპიც მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის მოქმედებას ეფუძნება. **მას-სპექტროგრაფის** დახმარებით შესაძლებელია:

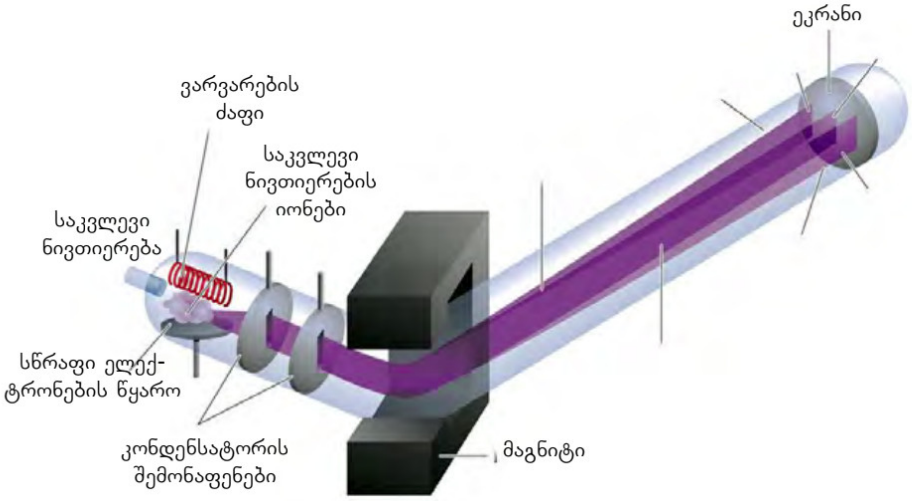
ა) დამუხტული ნაწილაკების კუთრი მუხტისა და მასის განსაზღვრა;

ბ) იზოტოპების (ატომთა ბირთვები მუხტით ერთნაირია და მასით სხვადასხვა, მაგ., ^{20}Ne და ^{22}Ne) გაცალკევება.

ამოცანა 1.8. 7

შენ იცი, რომ მაგნიტური ველი მოქმედებს მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე, ნეიტრალურზე კი არ მოქმედებს, ამიტომ მას-სპექტროგრაფში ჯერ გამოსაკვლევი ნივთიერების (მაგ., რადიოაქტიური იზოტოპის ან რომელიმე აირის ატომების (მოლეკულების) იონიზაციას სწრაფი ელექტრონების დახმარებით ახდენენ,

Don't copy



სურ. 1.8.10

ხოლო შემდეგ უკვე დამუხტული ნაწილაკების (დადებითი იონების) მოძრაობას ერთგვაროვან ელექტრულსა და მაგნიტურ ველში აკვირდებიან.

1. დააკვირდი 1.8.10 სურათს. მასზე მას-სპექტროგრაფის გამარტივებული სქემაა გამოსახული: იონები კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ელექტრულ ველში ხვდება. ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე თითოეული მათგანი კინეტიკურ ენერგიას შეიძენს. ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად:

$$\frac{mv^2}{2} = |q| \cdot U \qquad (1)$$

სადაც

m - იონის მასაა; v - სიჩქარე, რომელსაც იონი ელექტრულ ველში შეიძენს;

|q| - იონის მუხტის მოდულია; U - ძაბვაა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის.

2. 1-ელი ტოლობიდან ჩანს, რომ იონის სიჩქარე ასე გამოითვლება:

$$v = \sqrt{\frac{2|q|U}{m}} \qquad (2)$$

3. მას შემდეგ, რაც v სიჩქარით მოძრავი იონები ელექტრულ ველს დატოვებს, ისინი მას-სპექტოგრაფის იმ ნაწილში ხვდებიან, რომელშიც მათი სიჩქარის მართობული ერთგვაროვანი მაგნიტური ველია (B) შექმნილი.

იონებზე ლორენცის მაქსიმალური ძალა იმოქმედებს და მათ ცენტრისკენულ აჩქარებას მიანიჭებს:

$$a = \frac{v^2}{R} \qquad (3)$$

სადაც R იმ წრეწირის რადიუსია, რომელსაც იონი მაგნიტურ ველში მოძრაობისას შემოწერს.

4. იონის მოძრაობის განტოლება ასე ჩაიწერება:

$$ma = |q|Bv \qquad (4)$$

5. მე-3 ტოლობის გათვალისწინებით, მე-4 მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\frac{mv^2}{R} = |q|Bv \Rightarrow \frac{mv}{R} = |q|B \qquad (5)$$

6. თუ მე-2 გამოსახულებას მე-5-ში შეიტან და მიღებულ ტოლობას გაამარტივებ, მიიღებ, რომ **ნაწილაკის** (იონის) **კუთრი მუხტი**, ასე გამოითვლება:

$$\frac{|q|}{m} = \frac{2U}{R^2B^2} \qquad (6)$$

Don't copy

წრეწირის R რადიუსს მას-სპექტოგრაფის დეტექტორზე (ფოტოფირფიტით დაფარულ ეკრანზე) ნაწილაკების მიერ დატოვებული კვალის მიხედვით პოულობენ: წრეწირის რკალის შემოწერის შემდეგ დამუხტული ნაწილაკები ფოტოფირფიტაზე ხვდებიან და დეტექტორზე მნათი წერტილი ჩნდება.

7. თუ დამუხტული ნაწილაკის მუხტი ცნობილია, მე-6 ტოლობიდან **ნაწილაკის მასის განსაზღვრაც შეიძლება:**

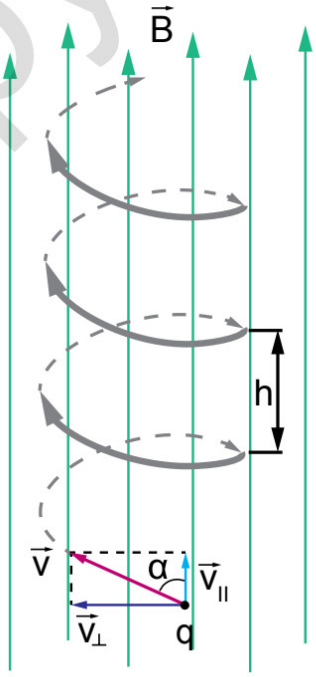
$$m = \frac{|q|R^2B^2}{2U} \qquad (7)$$

დააკვირდი მე-7 გამოსახულებას: იმ შემთხვევაში, თუ $|q_1| = |q_2|$, ის ნაწილაკი, რომლის მასაც მეტია, უფრო დიდი რადიუსის წრეწირს შემოწერს. სწორედ ეს ფაქტია გამოყენებული მას-სპექტოგრაფში მასების მიხედვით ნაწილაკების სელექციისათვის (გადარჩევისთვის).

1.8.7. ინდუქციის წირებისადმი α კუთხით მოძრავი დამუხტული ნაწილაკის ტრაექტორია

ამოცანა 1.8. 8

აღწერე, როგორ იმოძრავებს დამუხტული ნაწილაკი (q) ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, თუ ის მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირებისადმი α კუთხით შეიჭრა ($0 < \alpha < 90^0$) (სურ. 1.8.11).



სურ. 1.8.11

ვთქვათ, ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირებისადმი α კუთხით დადებითად დამუხტული ნაწილაკი $\vec{v}$ სიჩქარით შეიჭრა. დამუხტულ ნაწილაკზე მაგნიტური ველის მხრიდან ლორენცის ძალა იმოქმედებს. **როგორ იმოძრავებს ნაწილაკი ასეთ შემთხვევაში? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად:**

1. დავშალოთ ნაწილაკის $\vec{v}$ სიჩქარე ორ, $\vec{v}_\perp$ და $\vec{v}_\parallel$, მდგენელად, რომელთაგან

ა) $\vec{v}_\perp$ **მდგენელი ინდუქციის წირების მართობულია** ($\vec{v}_\perp \perp \vec{B}$):

$$v_\perp = v\sin\alpha \qquad (1)$$

ბ) $\vec{v}_\parallel$ **მდგენელი კი ინდუქციის წირების გასწვრივაა მიმართული** ($\vec{v}_\perp \uparrow\uparrow \vec{B}$):

$$v_\parallel = v\cos\alpha \qquad (2)$$

შესაბამისად, მივიღებთ, რომ

$$\vec{v} = \vec{v}_\perp + \vec{v}_\parallel, \qquad (3)$$

2. ვთქვათ,

ა) $\vec{v}_\parallel = 0$ და $\vec{v}_\perp \neq 0$, მაშინ დამუხტული ნაწილაკი ლორენცის ძალის გავლენით ჰორიზონტალურ სიბრტყეში წრეწირზე იმოძრავებს (ლორენცის ძალა, მარცხენა ხელის წესის თანახმად, შენგან წიგნის სიბრტყისკენ მართობულადაა მიმართული).

ცენტრისკენული აჩქარება, რომელსაც ლორენცის ძალა ნაწილაკს ანიჭებს, ასე გამოითვლება: $a = \frac{v_\perp^2}{R}$ (4)

Don't copy

იმ წრეწირის რადიუსი კი, რომელზედაც ნაწილაკი იმოძრავებს, 1.8.2 ფორმულის თანახმად, ასე: $R = \frac{mv_{\perp}}{B|q|}$ (5)

ბ) $\vec{v}_{\perp} = 0$ და $\vec{v}_{\parallel} \neq 0$, მაშინ დამუხტული ნაწილაკი ვერტიკალურად ზევით წრფივად და თანაბრად იმოძრავებს: მაგნიტური ველი ინდუქციის წირების გასწვრივ მოძრავ ნაწილაკზე არ მოქმედებს;

ჩვენ შემთხვევაში სიჩქარის ორივე მდგენელი ნულისგან განსხვავებულია:

$$\vec{v}_{\perp} \neq 0 \text{ და } \vec{v}_{\parallel} \neq 0$$

ნაწილაკის მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ჯამური შედეგი ორი სახის მოძრაობისა, რომელთაც ნაწილაკი ერთდროულად ასრულებს: ნაწილაკი მოძრაობს წრეწირზე და, იმავდროულად, ის ინდუქციის ვექტორის მიმართულებით ინერციით გადაადგილდება.

შედეგად, **ნაწილაკი ხრახნწირზე იმოძრავებს** (სურ.1.8.11), **რომელიც ინდუქციის წირებს გარს ევლება, მოიცავს მათ.**

როგორ გამოითვლება ხრახნწირის რადიუსი და ბიჯი?

1-ელი და მე-5 ფორმულების გათვალისწინებით, **ხრახნწირის რადიუსი ასე გამოითვლება:**

$$R = \frac{mv\sin\alpha}{B|q|} \qquad (1.8.4)$$

ხრახნწირის ბიჯი არის მანძილი, რომელსაც ნაწილაკი ინდუქციის წირების გასწვრივ, ვერტიკალური მიმართულებით, პერიოდის განმავლობაში გადის (სურ. 1.8.11):

$$h = v_{\parallel} T = T \cdot v\cos\alpha \qquad (6)$$

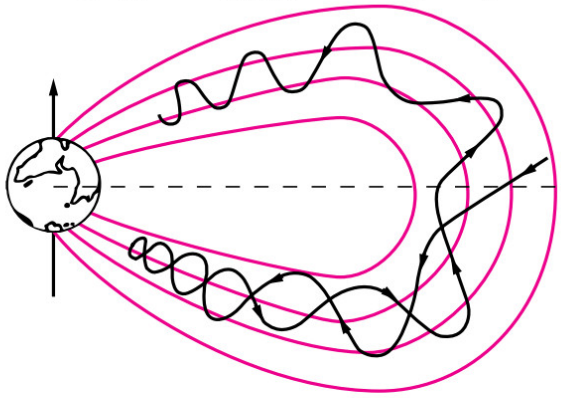
1.8.3 ფორმულის გათვალისწინებით მიიღებ, რომ **ხრახნწირის ბიჯი ასე გამოითვლება:**

$$h = \frac{2\pi m}{|q|B} v\cos\alpha \qquad (1.8.5)$$

1.8.8. დედამიწის მაგნიტური ველი – დამცავი ფარი

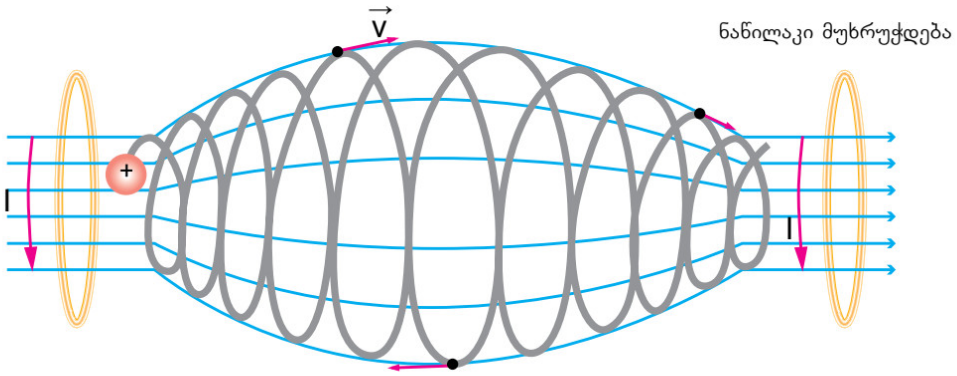
რატომ იცავს დედამიწის მაგნიტური ველი სიცოცხლეს დედამიწაზე? მაგნიტოსფეროში დიდი სიჩქარით შემოჭრილ დამუხტულ ნაწილაკებს (სწრაფ ელექტრონებსა და პროტონებს) დედამიწის მაგნიტური ველი „ჩაიჭერს და ნაწილაკები ინდუქციის წირების გასწვრივ, პოლუსებისკენ, ხრახნწირზე გადაადგილდება (სურ. 1.8.12): რაც უფრო უახლოვდება ნაწილაკი პოლუსს, მით უფრო შემცირდება ხრახნწირის რადიუსი (პოლუსებთან B მაგნიტური ინდუქცია იზრდება და, 1.8.4 ფორმულის თანახმად, შემცირდება ხრახნწირის რადიუსი).

ასე რომ, მზის ქარის დამუხტული ნაწილაკები დედამიწის პოლუსებთან იყრის თავს, მაგრამ ასეთ შემთხვევაში ხომ პოლუსებთან დამუხტული ნაწილაკების გავლენა კიდევ უფრო საშიში იქნება სიცოცხლისთვის?



სურ. 1.8.12

Don't copy



***სურ.1.8.13**. დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობა მაგნიტურ „ხაფანგში“.*

აღმოჩნდა, რომ დედამიწის მაგნიტური ველი ერთგვარ მაგნიტურ „ხაფანგს“ ქმნის ნაწილაკებისთვის და ამ „ხაფანგიდან“ თავის დაღწევას მათი მხოლოდ მცირე, სიცოცხლისთვის არცთუ ისე საშიში რაოდენობა ახერხებს.

რა არის მაგნიტური „ხაფანგი“? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად განვიხილოთ არაერთგვაროვანი მაგნიტური ველი, რომლის ინდუქციის წირები, ერთგვაროვანისგან განსხვავებით, პარალელური არ არის (სურ. 1.8.13): ისინი სივრცის გარკვეულ ნაწილში შეიძლება უახლოვდებოდეს ან შორდებოდეს ერთმანეთს. მაგ., არაერთგვაროვანია დედამიწის მაგნიტური ველი: პოლუსებთან ველი უფრო ძლიერია, ვიდრე – ეკვატორზე. შესაბამისად, პოლუსებთან ინდუქციის წირების სიხშირე იზრდება.



სურ. 1.8.14

ვთქვათ, **არაერთგვაროვან** მაგნიტურ ველში დადებითად დამუხტული ნაწილაკი ინდუქციის წირებისადმი კუთხით შეიჭრა და წირების გასწვრივ მარჯვნივ, წირების შეჯგუფების მიმართულებით, მოძრაობს (სურ.1.8.13) – გადაადგილდება ძლიერი ველისკენ.

ძლიერი ველისკენ გადაადგილებისას, წირების გასწვრივ ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარე მცირდება – ნაწილაკი მუხრუჭდება. თუმცა ამავდროულად ნაწილაკის ბრუნვის სიჩქარე იზრდება: ნაწილაკი სულ უფრო და უფრო სწრაფად მოძრაობს ხრახნწირზე, რომლის რადიუსიც თანდათან მცირდება. **ნაწილაკის სრული სიჩქარე კი მაგნიტურ ველში არ იცვლება.**

დროის გარკვეულ მომენტში სივრცის იმ ნაწილში, სადაც ინდუქციის წირების სიხშირე ძალიან დიდია, წირების გასწვრივ ნაწილაკის გადატანითი მოძრაობის სიჩქარე ნულს გაუტოლდება და ნაწილაკი მოძრაობის მიმართულებას შეიცვლის – ის საპირისპირო მხარეს ამოძრავდება ხრახნწირზე.

დედამიწის გარშემო იქმნება ე. წ. **რადიაციული სარტყლები** (სურ.1.8.14), რომლებშიც დამუხტული ნაწილაკები „ხაფანგში“ მომწყვდეულივით, ჩრდილო და სამხრეთ პოლუსებს შორის, ხრახნწირზე აქეთ-იქეთ გადაადგილდება (მათი მიმოქცევის პერიოდი ≈ 0,1-იდან 1 წმ-ის ფარგლებში მერყეობს).

მხოლოდ პოლუსებთან ახლოს (იქ, სადაც ინდუქციის წირების სიხშირე მაქსიმალურია), „შეძლებს“ ხოლმე ნაწილაკების მცირე ნაწილი „ხაფანგიდან“ თავის დაღწევას: ნაწილაკები რადიაციული სარტყლიდან ატმოსფეროს ზედა ფენებში შემოიჭრება და ფენების შემადგენელი აირების იონიზირებას ახდენს, რაც პოლარულ ნათებას იწვევს.

1.9 ფარადეის ცდები

„ყველაზე დიდი, რაც კი ოდესმე აღმომიჩენია, მაიკლ ფარადეია“ ... – ეს სიტყვები ინგლისელ ქიმიკოსსა და ფიზიკოსს, ლონდონის სამეფო საზოგადოებისა და პარიზის მეცნიერებათა აკადემიის წევრს **ჰემფრი დევის** (1778 – 1829) ეკუთვნის – ადამიანს, რომლის სახელსაც უამრავი მნიშვნელოვანი სამეცნიერო აღმოჩენა უკავშირდება და ელექტროქიმიის ფუძემდებლად ითვლება.



სურ. 1.9.1

12 წლის იყო მაიკლ ფარადეი (1791 – 1867), როცა ლონდონის წიგნის მაღაზიაში შეგირდად დაიწყო მუშაობა. ფარადეი, რომლის განათლება მხოლოდ წერა-კითხვის ცოდნითა და მცირეოდენი არითმეტიკით შემოიფარგლება, ხარბად კითხულობს ყველაფერს, რაც კი მაღაზიაში ხელთ მოხვდება. განსაკუთრებულ ინტერესს მასში სამეცნიერო შინაარსის, ფიზიკისა და ქიმიის წიგნები იწვევს. ოჯახის ფინანსური შესაძლებლობებიდან გამომდინარე, თვითგანათლება იყო ერთადერთი საშუალება, რომელიც ახალგაზრდა ფარადეის მეცნიერებისკენ მიმავალ გზას უკაფავდა... და უდიდესი სურვილი ცოდნის მიღებისა, რათა უკეთ გაეგო მისთვის საინტერესო ბევრი მოვლენა და გასაგებად გამოეთქვა აზრები, რომლებიც თავში მოსდიოდა.

ეს აზრები კი იმდენად მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა ფიზიკის, ქიმიის, ელექტროტექნიკის შემდგომი განვითარებისთვის, რომ ალბერტ აინშტაინმა ფარადეის „ღმერთის რჩეული“ უწოდა. „რჩეული“ კი ფარადეი ნამდვილად იყო, თუნდაც იმიტომ, რომ თავისი ცხოვრების ადრეულ ეტაპზე მას ძალიან გაუმართლა – სრულიად ახალგაზრდა იმ დროისთვის სახელმოხვეჭილი მეცნიერის ლექციებზე ჯერ შემთხვევით მოხვდა, ხოლო მოგვიანებით მის ლაბორატორიაში ასისტენტის ადგილი მიიღო (სურ. 1.9.1). ეს მეცნიერი იყო, სწორედ, **ჰემფრი დევი**, ადამიანი, რომელმაც აღმოაჩინა მაიკლ ფარადეი, მისი უზომო ცნობისწადილი მეცნიერებისადმი, შრომისმოყვარეობა, შემოქმედებითი ნიჭი, ექსპერიმენტების გასაოცარი უნარი და ყველანაირად დაეხმარა, რომ ახალგაზრდა მეცნიერს თავისი ოცნებები რეალობად ექცია.

მომავალში, სრულიად დამსახურებულად, ფარადეი საპატიო და გამორჩეულ ადგილს დაიკავებს იმ მეცნიერთა შორის, რომლებმაც მეცნიერების ისტორიაში უდიდესი როლი შეასრულეს.

„კულონის, გალვანის, ერსტედის, არაგოს, ამპერის შრომები ცალკეული „მწვერვალებია“ მეცნიერებაში, ფარადეიმ კი „მწვერვალთა“ მთელი სისტემა შექმნა, – წერდა მეცნიერების ერთ-ერთი ისტორიკოსი.

ფარადეის სახელს უკავშირდება უამრავი აღმოჩენა: ელექტროლიზის კანონები, ელექტრომაგნიტური ველის გავლენა ოპტიკურ მოვლენებზე, პირველი ტრანსფორმატორი, ელექტროძრავას მოდელი, ფარადეის „გალია“... მან შემოიტანა და მეცნიერებაში დაამკვიდრა ცნებები: ველი, ძალწირი, იონი, კათოდი, ანოდი, ელექტროლიტი, დიელექტრიკი, დიამაგნეტიზმი, პარამაგნეტიზმი.

ფარადეი ითვლება ელექტრომაგნიტური თეორიის ფუძემდებლად, რომელიც შემდგომში ჯეიმს მაქსველმა მათემატიკურად აღწერა. მათემატიკა სუსტი ადგილი იყო ფარადეისთვის. ამას აღიარებდა, სწუხდა, თუმცა გენიალური ექსპერიმენტატორისთვის ეს დაბრკოლება მაინც არ იყო: იქ, სადაც მათემატიკის ცოდნა არ ჰყოფნიდა, მდიდარი

Don't copy

წარმოსახვის უნარი ეხმარებოდა, რომ საკვლევი მოვლენის მახასიათებელი დეტალები ნახატებით გადმოეცა. სწორედ ასეთ დროს გაჩნდა მის ფანტაზიაში **ველის ძალწირები**.

და რაც მთავარია, ფარადეიმ საბოლოოდ დაამტკიცა, რომ ელექტრული და მაგნიტური მოვლენები ერთიანია. მან პირველმა შემოიტანა ელექტრული და მაგნიტური ველის ცნება, ის თვლიდა, რომ „ ელექტრომაგნიტური სიგნალები ველებს გადააქვს სივრცეში“.

ფარადეი არა მარტო თავისი აღმოჩენებით უსწრებდა დროს, არამედ შესასწავლი პრობლემისადმი მიდგომითაც: ის თვლიდა, რომ აუცილებელია, ბუნებაში მიმდინარე განსხვავებულ მოვლენებში „შეხების ადგილები“ აღმოაჩინო, რადგან სწორედ ამ ადგილებში შეიძლება სრულიად ახალი კანონზომიერებების მიგნება.

ერსტედისა და ამპერის აღმოჩენიდან 11 წლის განმავლობაში ფარადეი მუდმივად ფიქრობდა პრობლემაზე: ელექტრობა წარმოშობს მაგნეტიზმს. რატომ არ შეიძლება პირიქით – მაგნეტიზმი ბადებდეს ელექტრობას. ისინი ხომ ასე ჰგვანან ერთმანეთს.

...ლონდონელები ხშირად ხედავდნენ ჩაფიქრებულ ფარადეის, რომელიც სკამზე იჯდა და კოჭას ყურადღებით ათვალიერებდა... ცდილობდა მიეგნო საიდუმლოსთვის, თუ როგორ შეიძლება მაგნიტით (ან ელექტრომაგნიტით) ელექტრული დენის მიღება.

ფარადეისგან დამოუკიდებლად, უამრავი მეცნიერი ცდილობდა იმავე საიდუმლოს ამოხსნას. ამერიკელი ჯოზეფ ჰენრი მიხვდა კიდეც, როგორ შეიძლებოდა მაგნიტური ველის დახმარებით ელექტრული დენის მიღება, მაგრამ მან, სამწუხაროდ, თავისი კვლევის შედეგები არ გამოაქვეყნა. ერთი წლის შემდეგ კი ფარადეიმ საიდუმლოს, რომლის ამოხსნასაც ბევრი მეცნიერი (მათ შორის ამპერიც) ამაოდ ცდილობდა, ფარდა ახადა.

1.9.1. ფარადეის პირველი ცდა

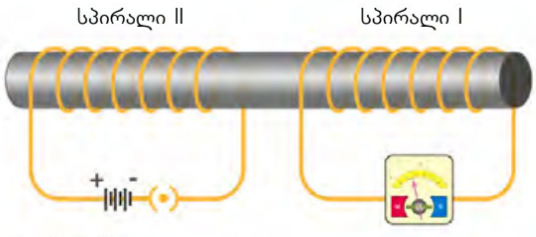


სურ. 1.9.2

1831 წლის 29 აგვისტოს ფარადეი ექსპერიმენტს ატარებს, რომელიც დაწვრილებით აქვს აღწერილი თავის ჩანაწერებში (ფარადეი, როგორც ჭეშმარიტი ექსპერიმენტატორი, ყველა ექსპერიმენტს ნომრავდა და მის მსვლელობას დაწვრილებით აღწერდა. მთლიანობაში ფარადეის 40 000-მდე ექსპერიმენტი აქვს აღწერილი):

ხის კოჭაზე 200 ფუტი სიგრძის სპილენძის ორი მავთული სპირალურადაა დახვეული. მათი ხვიები ერთმანეთისგან ბამბის ქსოვილითაა იზოლირებული (სურ.1.9.2).

პირველი სპირალი გალვანომეტრთან იყო მიერთეული, მეორე სპირალი კი - დენის წყაროსთან. პირველ სპირალთან მიერთებული გალვანომეტრის ისარი საწყისი მდებარეობიდან მაშინ იხრებოდა, როცა მეორე სპირალის წრედი შეიკვრებოდა ან პირიქით, განირთვებოდა (სურ. 1.9.3).



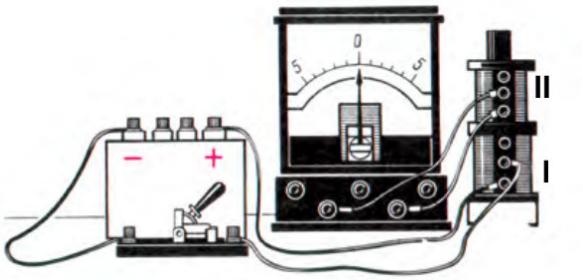
სურ. 1.9.3

ფარადეის მსგავსად ცდის ჩატარება შენც შეგიძლია: ჩაატარე ცდა და დააკვირდი ფარადეის მიერ აღმოჩენილ მოვლენას.

ცდისთვის საჭიროა (სურ.1.9.4): ორი კოჭა მათზე დახვეული სპილენძის მავთულით, მუდმივი დენის წყარო (ელემენტთა ბატარეა ან 12 ვ-იანი აკუმულატორი), გალვანომეტრი, შემაერთებელი სადენები.

Don't copy

ცდა I



სურ. 1.9.4

1. ააწყვე წრედი 1.9.4 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით: შეაერთე მიმდევრობით ერთი (I) კოჭა, ჩამრთველი და დენის წყარო;

2. მოათავსე მეორე კოჭა პირველ კოჭაზე და მიუერთე გალვანომეტრს (სურ. 1.9.4);

3. ჩართე ჩამრთველი: მიუერთე პირველი კოჭა დენის წყაროს. დააკვირდი **მეორე კოჭასთან მიერთებული გალვანომეტრის ისარს**. რა შეამჩნიე ჩამრთველის
ა) ჩართვის მომენტში? ბ) ჩართვიდან მცირე ხნის შემდეგ?

4. გამორთე ჩამრთველი: ჩახსენი პირველი კოჭა დენის წყაროსგან. **დააკვირდი მეორე კოჭასთან მიერთებული გალვანომეტრის ისარს**: რა შეამჩნიე ჩამრთველის გამორთვის მომენტში?

დიახ, სწორედ ეს მოვლენა აღმოაჩინა ფარადეიმ მსგავსი ცდის ჩატარებისას: წრედის შეკვრისა და განრთვისას მეორე კოჭასთან მიერთებული გალვანომეტრის ისარი მყისიერად გადაიხრება და მაშინვე საწყის მდგომარეობას, ნულს უბრუნდება. ეს იმის მანიშნებელია, რომ **წრედის შეკვრისა და განრთვის მომენტში მეორე კოჭას ხვიებში მცირე დროის განმავლობაში დენი აღიძვრება.**

ფარადეისთვის ცნობილი იყო, რომ პირველი კოჭა წრედში ჩართვის შემდეგ მაგნიტის თვისებებს იძენდა და სწორედ ამ ელექტრომაგნიტის საშუალებით ცდილობდა ის მეორე კოჭას ხვიებში მუდმივი დენის მიღებას. მეცნიერისთვის გაუგებარი იყო, რატომ აღიძვრებოდა დენი მეორე კოჭაში მხოლოდ წრედის ჩართვისა და განრთვის მომენტებში და რატომ არ გადიოდა მასში დენი მუდმივად. მიზეზის გასარკვევად და მიზნის მისაღწევად ფარადეიმ ცდა მრავალგზის გაიმეორა, მაგრამ ამაოდ – მეორე კოჭაში მუდმივ დენს ფარადეი ვერ იღებდა.

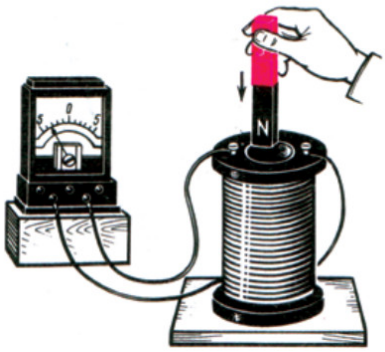
1.9.2. ფარადეის II ცდა – აღმოჩენა

1831 წლის 17 ოქტომბერს (ეს ის იშვიათი გამონაკლისია, როცა აღმოჩენის თარიღი ზუსტადაა ცნობილი) ფარადეიმ გალვანომეტრთან მიერთებულ კოჭაში ჩვეულებრივი მაგნიტი შეიტანა, გალვანომეტრის ისარი გადაიხარა. როცა ფარადეიმ მაგნიტი კოჭადან უკან გამოიტანა, ისარი კვლავ გადაიხარა, ოღონდ თავდაპირველი მიმართულების საპირისპიროდ.

ჩაატარე ფარადეის მე-2 ცდა და **დააკვირდი**, რა შემთხვევაში აღიძვრება დენი კოჭას ხვიებში.

ცდისთვის საჭიროა (სურ.1.9.5): კოჭა მასზე დახვეული სპილენძის მავთულით, გალვანომეტრი, შემაერთებელი სადენები, მუდმივი ზოლოვანი მაგნიტი.

ცდა II



სურ. 1.9.5

1. მიუერთე კოჭაზე დახვეული სპილენძის მავთულის ბოლოები გალვანომეტრს (სურ.1.9.5);

2. შეიტანე ზოლოვანი მაგნიტი კოჭაში (ამოძრავე ის ნელა), გარკვეული დროის განმავლობაში უძრავად გააჩერე კოჭას შიგნით და ისევ გამოიტანე;

დააკვირდი ცდის მსვლელობისას: როდის გადაიხარა გალვანომეტრის ისარი, როცა მაგნიტი მოძრაობდა, თუ როცა ის უძრავი იყო?

Don't copy

3. ჩაამაგრე ზოლოვანი მაგნიტი შტატივის თათში უძრავად;

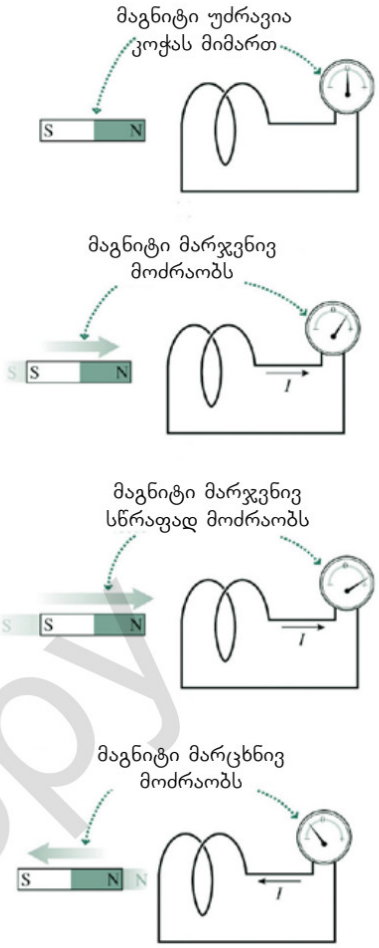
4. კოჭა, რომელიც კვლავ გალვანომეტრთანაა მიერთებული, უძრავი მაგნიტის მიმართ ჯერ ამოძრავე, შემდეგ კი უძრავად გააჩერე.

დააკვირდი ცდის მსვლელობისას: როდის გადაიხარა გალვანომეტრის ისარი, როცა კოჭა მოძრაობდა, თუ როცა ის უძრავი იყო?

5. გამოიტანე დასკვნა: რა არის საჭირო იმისათვის, რომ კოჭას ხვიებში დენი აღიძრას?

6. ამოძრავე მაგნიტი უძრავი კოჭას მიმართ (ან პირიქით, ამოძრავე კოჭა უძრავი მაგნიტის მიმართ) ჯერ სწრაფად, შემდეგ კი – ნელა;

დააკვირდი: რა შემთხვევაში გადაიხარა უფრო მეტად გალვანომეტრის ისარი? რაზე მიგანიშნებს ეს?



სურ. 1.9.6

ჩატარებული ცდის შედეგებიდან გამომდინარე, ფარადეისთვის ნათელი იყო: **კოჭას ხვიებში დენის აღძვრის მიზეზი მაგნიტის მოძრაობაში იმალება.**

კოჭაში დენის აღძვრას შეიძლება დავაკვირდეთ მაშინაც, თუ მუდმივი მაგნიტის მაგივრად ელექტრომაგნიტს – დენიან კოჭას გამოვიყენებთ.

ცდა III



1. გაიმეორე I ცდა: მიუერთე ერთი კოჭა დენის წყაროს, მეორე კი – გალვანომეტრს;



2. ჯერ ამოძრავე მეორე კოჭა პირველის მიმართ (ან პირიქით, პირველი კოჭა ამოძრავე მეორის მიმართ), ხოლო შემდეგ უძრავად გააჩერე (სურ.1.9.7).

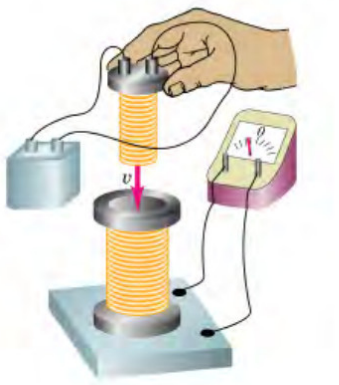
დააკვირდი ცდის მსვლელობისას: როდის გადაიხარა გალვანომეტრის ისარი, როცა ერთი კოჭა მეორის მიმართ მოძრაობდა, თუ როცა ის უძრავი იყო?



3. გამოიტანე დასკვნა: რა არის საჭირო იმისათვის, რომ კოჭას ხვიებში დენი აღიძრას?

4. ამოძრავე ერთი კოჭა მეორის მიმართ ჯერ ნელა, ხოლო შემდეგ – სწრაფად.

დააკვირდი: არის თუ არა დამოკიდებული გალვანომეტრის ჩვენება კოჭას მოძრაობის სისწრაფეზე? როგორია ეს დამოკიდებულება?



სურ. 1.9.7

მიუხედავად მრავალი მეცნიერის მცდელობისა, რომ მაგნეტიზმი ელექტრობად გარდაექმნათ, წარმატებული მხოლოდ ფარადეის ექსპერიმენტი აღმოჩნდა. რა იყო ამის მიზეზი? შვეიცარიელი ფიზიკოსი ჟან დანიელ **კოლადონი** (1802 –1893) თითქმის იმავდროულად მუშაობდა ამ საკითხზე, რა დროსაც – ფარადეი. ის კოჭაში ელექტრული დენის მიღებას მაგნიტის დახმარებით ცდილობდა. იმისათვის, რომ მაგნიტს გალვანომეტრის ისარზე გავლენა არ მოეხდინა, მეცნიერს კოჭასთან მიერთებული გალვანომეტრი ლაბორატორიიდან სხვა ოთახში გაჰქონდა. კოჭას კი ლაბორატორიაში ტოვებდა.

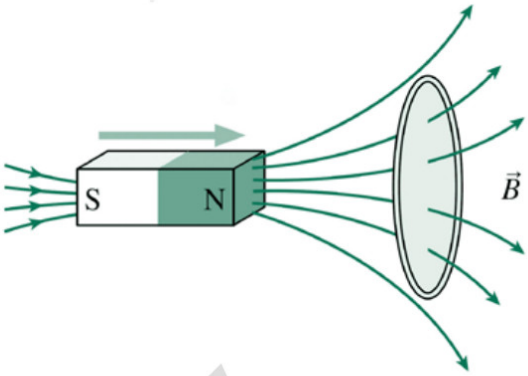
კოლადონი კოჭაში მაგნიტს ათავსებდა და თავად მეორე ოთახში გადიოდა, რათა გალვანომეტრის ჩვენება ენახა. გალვანომეტრის ისარი ნულს უჩვენებდა.

Don't copy

სულ ერთი ნაბიჯი აშორებდა კოლადონს დიდ აღმოჩენამდე: ასისტენტი რომ ჰყოლოდა, რომელიც მეორე ოთახში გალვანომეტრს დააკვირდებოდა, კოლადონი აღმოაჩენდა, რომ **მაგნიტი მხოლოდ იმ შემთხვევაში წარმოქმნის დენს კოჭას ხვიებში, თუ ის კოჭას მიმართ მოძრაობს.**

1.9.3. მაგნიტური ნაკადი

რა აქვს საერთო მე-2 და მე-3 ცდების შედეგებს? ნათელია, რომ **დენი შეკრულ გამტარში** (კოჭას ხვიაში, კონტურში) **მაშინ აღიძვრება, როცა გამტარი ცვლადი მაგნიტური ველის მოქმედების არეში ხვდება.**



სურ. 1.9.8

ფარადეის წარმოდგენით, მაგნიტური ველი ცვლადია, თუ იცვლება მოცემული შეკრული კონტურით შემოსაზღვრული ზედაპირის გამჭოლი ინდუქციის წირების რაოდენობა (სურ. 1.9.8).

რაზეა დამოკიდებული შეკრული კონტურით შემოსაზღვრული ზედაპირის გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის წირების რაოდენობა?

ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად **წარმოიდგინე:** $\vec{B}$ ინდუქციის მაგნიტურ ველში მოთავსებულია შეკრული კონტური, რომელიც S ფართობის მქონე ზედაპირს შემოსაზღვრავს (სურ. 1.9.9).

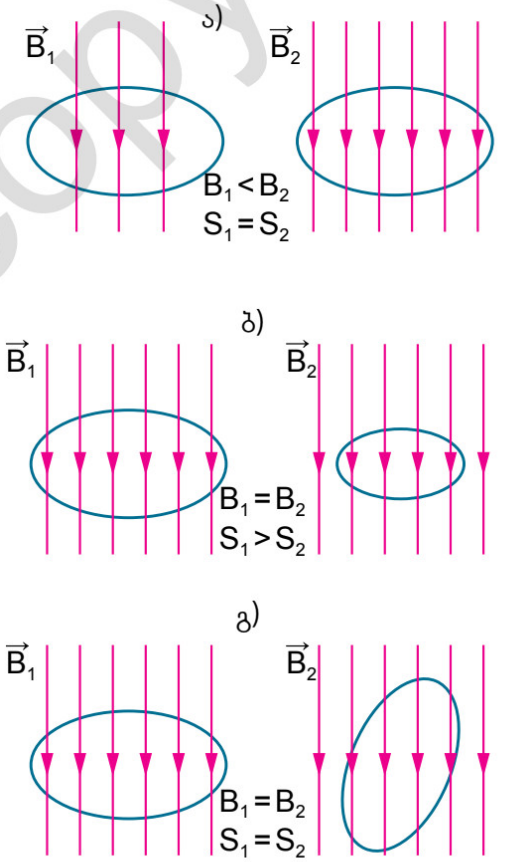
1.9.1

შეადარე ერთმანეთს შეკრული კონტურით შემოსაზღვრული ზედაპირის გამჭოლი ინდუქციის წირების რაოდენობა, თუ:

ა) $S_1 = S_2$ და $B_1 < B_2$ (სურ. 1.9.9, ა);

ბ) $S_1 > S_2$ და $B_1 = B_2$ (სურ. 1.9.9, ბ);

გ) $S_1 = S_2$ და $B_1 = B_2$ (სურ. 1.9.9, გ).



სურ. 1.9.9

შეკრული კონტურით შემოსაზღვრული S ფართობის გამჭოლ მაგნიტური ინდუქციის წირთა რაოდენობას ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც კონტურით შემოსაზღვრულ ფართობში გამავალი **მაგნიტური ნაკადი** ჰქვია.

მაგნიტური ნაკადი პროპორციულია ინდუქციის წირთა რაოდენობის: რაც უფრო მეტია შეკრული კონტურით შემოსაზღვრული S ფართობის გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის წირთა რაოდენობა, მით უფრო მეტია მაგნიტური ნაკადი.

მაგნიტური ნაკადი დამოკიდებულია:

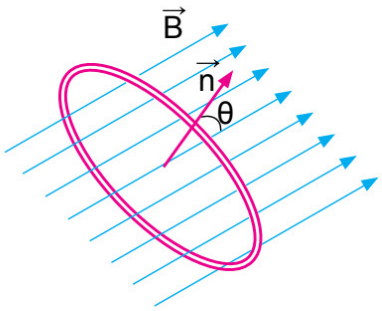
ა) მაგნიტური ინდუქციის B მოდულზე (სურ. 1.9.9, ა);

ბ) შეკრული კონტურით შემოსაზღვრულ S ფართობზე (სურ. 1.9.9, ბ);

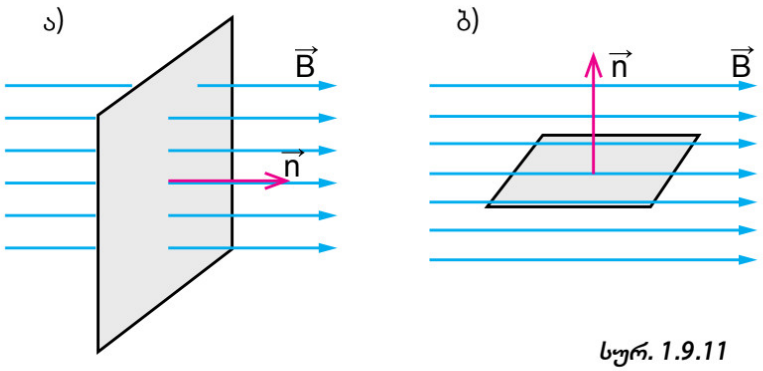
გ) მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართ კონტურის სიბრტყის ორიენტაციაზე (სურ. 1.9.9, გ).

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართ კონტურის სიბრტყის ორიენტაცია იმ α კუთხის მიხედვით განისაზღვრება, რომელსაც ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი კონტურით შემო-

Don't copy



სურ. 1.9.10



სურ. 1.9.11

საზღვრული ზედაპირის $\vec{n}$ ნორმალთან (ზედაპირის მართობთან) ქმნის (სურ. 1.9.10).
კონტურით შემოსაზღვრულ ფართობში (კონტურში) გამავალი მაგნიტური ნაკადი:

ა) მაქსიმალურია, თუ კონტურის სიბრტყე ინდუქციის ვექტორის მართობულია, ანუ თუ $\alpha = 0^0$ (სურ. 1.9.11, ა)

ბ) ნულის ტოლია, თუ კონტურის სიბრტყე ინდუქციის ვექტორის პარალელურია, ანუ თუ $\alpha = 90^0$ (სურ. 1.9.11, ბ)

ეს იმას ნიშნავს, რომ მაგნიტური ნაკადი დამოკიდებულია α კუთხის კოსინუსზე.

მაგნიტურ ნაკადს Φ ასოთი აღნიშნავენ და გამოითვლება ფორმულით:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha \qquad (1.9.1)$$

რომელშიც:

B მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულია;

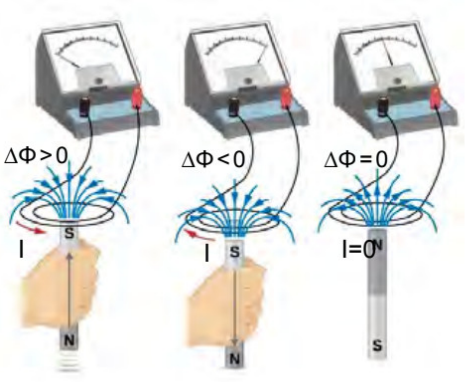
S შეკრული კონტურით შემოსაზღვრული ზედაპირის ფართობია;

α კუთხეა ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორსა და სიბრტყის $\vec{n}$ ნორმალს შორის (სურ. 1.9.10).

მაგნიტური ნაკადის ერთეულად SI -ში მიღებულია 1 ვებერი (1ვბ = 1 ტლ · მ^2): 1 ვებერი მაგნიტური ნაკადი განჭოლავს ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების მართობულ ზედაპირს, რომლის ფართობია 1 მ^2, თუ მაგნიტური ველის ინდუქციაა 1 ტლ.

1.9.4. ელექტრომაგნიტური ინდუქცია

ფარადეის ცდების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ: **შეკრულ გამტარ კონტურში (კოჭას ხვიებში) დენი მაშინ აღიძვრება, როცა კონტურით შემოსაზღვრული ფართობის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი (ინდუქციის წირების რაოდენობა) იცვლება** (სურ.1.9.12): რაც უფრო სწრაფად იცვლება მაგნიტური ნაკადი, მით უფრო დიდია წარმოქმნილი დენი (ამასთან, მნიშვნელობა არ აქვს, თუ რა მიზეზით იცვლება შეკრულ კონტურში ინდუქციის წირთა რაოდენობა: წირების რაოდენობა შეიძლება იცვლებოდეს მაგნიტის (ელექტრომაგნიტის) მოძრაობით ან ელექტრომაგნიტში გამავალი დენის ძალის ცვლილებით).



სურ. 1.9.12

შეკრულ კონტურში ელექტრული დენის აღძვრის მოვლენას, კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებისას, ელექტრომაგნიტური ინდუქცია ჰქვია.

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის დროს აღძრულ (ინდუცირებულ) ელექტრულ დენს **ინდუქციურ დენს** უწოდებენ.

შეკრული კონტური (კოჭას ხვიები), რომელშიც ინდუქციური დენი აღიძვრება, მაგნიტს ემსგავსება, რომლის პოლუსებს ინდუქციური დენის მიმართულება განსაზღვრავს

Don't copy

(**გაიხსენე:** ინდუქციის წირები გამოდის მაგნიტის ჩრდილო პოლუსიდან და შედის სამხრეთ პოლუსში). **ჩაატარე ცდა და დააკვირდი** ინდუქციური დენის ურთიერთქმედებას მაგნიტთან.

ცდა III



1. მიუერთე კოჭაზე დახვეული მავთულის ბოლოები გალვანომეტრს (სურ.1.9.12).

2. ზოლოვანი მაგნიტი ჯერ მიუახლოვე კოჭას და მერე ისევ დააშორე;



დააკვირდი გალვანომეტრის ჩვენებას: იცვლება თუ არა ინდუქციური დენის მიმართულება?

3. გამოტანე დასკვნა: არის თუ არა ინდუქციური დენის მიმართულება დამოკიდებული კოჭას ხვიების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებაზე?

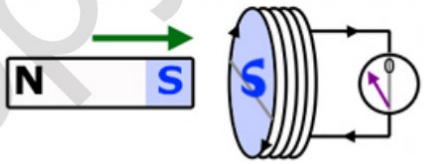


4. გაიმეორე ცდა და დააკვირდი: როგორ ურთიერთქმედებს (მიიზიდავს თუ განიზიდავს) კოჭაში აღძრული ინდუქციური დენი მაგნიტთან, როცა მაგნიტი კოჭას: ა) უახლოვდება? ბ) შორდება?

როგორ აიხსნება III ცდის შედეგი?

1. ვთქვათ, კოჭას მაგნიტს ვუახლოვებთ (მაგ., სამხრეთ S პოლუსით) (სურ. 1.9.13): კოჭას ხვიების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იზრდება.

კოჭას ხვიებში ინდუქციური დენი აღიძვრება და ის, თავის მხრივ, მაგნიტურ ველს წარმოქმნის. კოჭა ემსგავსება მაგნიტს, რომელიც მსგავსი პოლუსით (ჩრდილო პოლუსით) მოძრავი მაგნიტისკენაა მიმართული: **კოჭასა და მაგნიტის მაგნიტურ ველებს საპირისპირო მიმართულება** აქვს, **კოჭას ხვიებში აღძრული ინდუქციური დენი განიზიდავს კოჭასკენ მოძრავ მაგნიტს** (დააკვირდი ცდის დროს: კოჭა ეწინააღმდეგება მაგნიტის მიახლოებას).

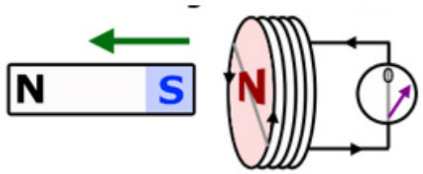


სურ. 1.9.13

დავუშვათ საწინააღმდეგო: ვთქვათ, მაგნიტი კოჭას მივუახლოვეთ და კოჭამ მაგნიტი მიიზიდა, ანუ მაგნიტი კოჭასკენ გაქანდება ისე, რომ ამისათვის ჩვენ მუშაობის შესრულება არ დაგვჭირდება. შედეგად, გაიზრდება მაგნიტის კინეტიკური ენერგია და კოჭას ხვიებში ინდუქციური დენი წარმოიქმნება.

გამოდის, რომ მაგნიტის კინეტიკური ენერგია და ინდუქციური დენის ენერგია არაფრისგან, ენერგიის დახარჯვის გარეშე წარმოიქმნა, რაც ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად შეუძლებელია. ე.ი. **ჩვენი დაშვება არასწორია.**

2. ვთქვათ, მაგნიტის სამხრეთ პოლუსი კოჭასკენაა მიქცეული და მაგნიტი კოჭას შორდება. კოჭას ხვიების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი მცირდება (სურ. 1.9.14): კოჭას ხვიებში აღძრული ინდუქციური დენი, თავის მხრივ, წარმოქმნის მაგნიტურ ველს და კოჭა ემსგავსება მაგნიტს, რომელიც საპირისპირო პოლუსით (ჩრდილოეთ პოლუსით) მოძრავი მაგნიტისკენაა მიმართული: **კოჭასა და მაგნიტის მაგნიტურ ველებს ერთნაირი მიმართულება აქვს, კოჭას ხვიებში აღძრული ინდუქციური დენი მიიზიდავს მაგნიტს, რომელიც კოჭას შორდება** (დააკვირდი ცდის დროს: კოჭა ეწინააღმდეგება მაგნიტის დაშორებას).



სურ. 1.9.14

1.9.2

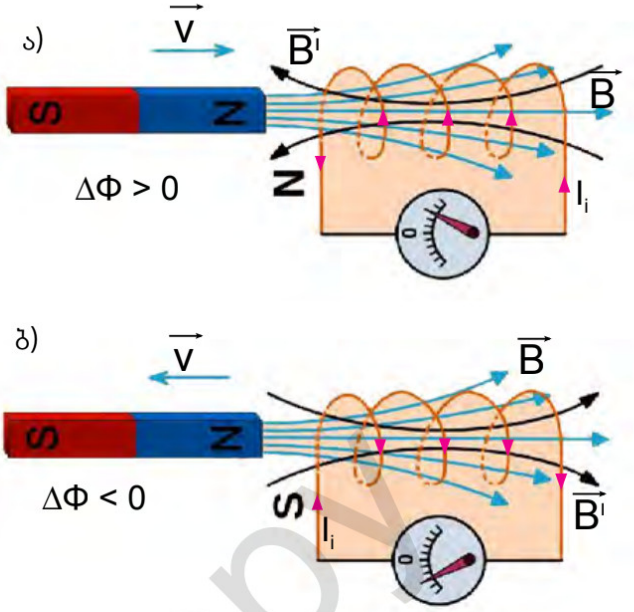
გამოიყენე ენერგიის მუდმივობის კანონი და **ახსენი:** რა მოხდებოდა, თუ კოჭას ხვიებში აღძრული ინდუქციური დენი განიზიდავდა მაგნიტს, რომელიც კოჭას შორდება.

Don't copy

1.9.5. ინდუქციური დენის მიმართულება

როგორ განვსაზღვროთ ინდუქციური დენის მიმართულება? ვთქვათ,

ა) მაგნიტი კოჭას უახლოვდება (სურ. 1.9.15, ა): **კოჭას ხვიების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იზრდება** ($\Delta\Phi > 0$).



სურ. 1.9.15

კოჭაში აღძრულ ინდუქციურ დენს კი ისეთი მიმართულება აქვს, რომ მის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი ($\vec{B}'$) **ეწინააღმდეგება ხვიების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ზრდას** (ამცირებს მაგნიტურ ნაკადს კოჭას ხვიებში). **ინდუქციური დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის $\vec{B}'$ ვექტორი მაგნიტის ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორის საწინააღმდეგოდაა მიმართული:** $\vec{B}' \uparrow\downarrow \vec{B}$ (სურ. 1.9.15, ა).

$\vec{B}'$ ინდუქციის ვექტორის მიმართულების ცოდნა კი საშუალებას გვაძლევს, ბურღის წესის თანახმად (იხ. გვ.33), ინდუქციური დენის (I_i) მიმართულება დავადგინოთ (სურ. 1.9.15, ა).

ბ) მაგნიტი კოჭას შორდება (სურ. 1.9.15, ბ): **კოჭას ხვიების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი მცირდება** ($\Delta\Phi < 0$).

კოჭაში აღძრულ ინდუქციურ დენს კი ისეთი მიმართულება აქვს, რომ მის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი $\vec{B}'$ **ეწინააღმდეგება ხვიების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის შემცირებას** (ზრდის მაგნიტურ ნაკადს კოჭას ხვიებში). **ინდუქციური დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის $\vec{B}'$ ვექტორი მაგნიტის ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორის თანამიმართულია:** $\vec{B}' \uparrow\uparrow \vec{B}$ (სურ. 1.9.15, ბ).

$\vec{B}'$ ინდუქციის ვექტორის მიმართულების ცოდნა კი საშუალებას გვაძლევს, ბურღის წესის თანახმად, ინდუქციური დენის მიმართულება დავადგინოთ (სურ. 1.9.15, ბ).

1.9.6. ლენცის წესი

ინდუქციური დენის მიმართულების განსაზღვრის წესი **ემილ ლენცმა** დაადგინა და მის პატივსაცემად **ლენცის წესი** ეწოდა.

ლენცის წესის თანახმად,

შეკრულ კონტურში აღძრულ ინდუქციურ დენს ისეთი მიმართულება აქვს, რომ მის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი ცდილობს შეეწინააღმდეგოს იმ მაგნიტური ნაკადის ნებისმიერ ცვლილებას, რომელიც ამ ინდუქციურ დენს წარმოშობს.

იმისათვის, რომ **შეკრულ კონტურში ინდუქციური დენის მიმართულება დავადგინოთ, საჭიროა:**

1. განვსაზღვროთ, გარე მაგნიტური ველის ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორის მიმართულება;

2. გავარკვიოთ, როგორ იცვლება კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი: იზრდება ($\Delta\Phi > 0$), თუ მცირდება ($\Delta\Phi < 0$);

3. ლენცის წესის თანახმად, დავადგინოთ ინდუქციური დენის მაგნიტური ველის ინდუქციის $\vec{B}'$ ვექტორის მიმართულება:

ა) თუ $\Delta\Phi > 0$, მაშინ $\vec{B}'$ და $\vec{B}$ ვექტორები ურთიერთსაპირისპიროდაა მიმართული;

ბ) თუ $\Delta\Phi < 0$, მაშინ $\vec{B}'$ და $\vec{B}$ ვექტორები თანამიმართულია.

4. გამოვიყენოთ **ბურღის** ან **მარჯვენა ხელის II წესი** (იხ. გვ.33): დავადგინოთ ინდუქციური დენის მიმართულება ინდუქციის $\vec{B}'$ ვექტორის მიმართულების მიხედვით.

Don't copy

1.10 ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი

არსებობს ქურა, რომლის მუშა ზედაპირი არასდროს ცხელდება (როცა ქურა ჩართულია!) ისე, რომ ხელი დაგწვას, მაგრამ მასზე მოთავსებული ქვაბის ძირი ამ დროს ისე ვარვარდება, რომ ქვაბში მოთავსებული სადილი უსწრაფესად მზადდება!

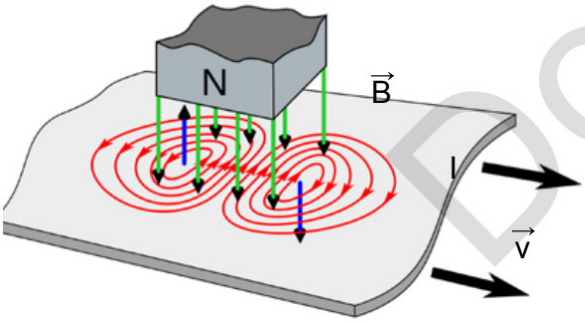


სურ. 1.10.1

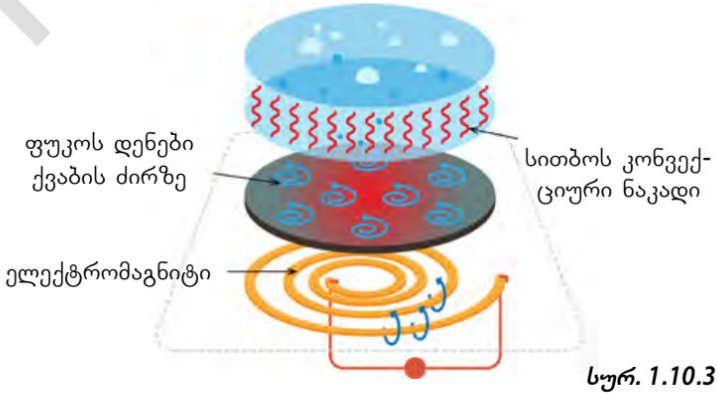
ამ ქურას **ინდუქციური ქურა** ჰქვია (სურ. 1.10.1). მისი მუშა ზედაპირი მინაკერამიკისგან მზადდება, საჭიროებს სპეციალურ ჭურჭელს (ქვაბს), რომლის ძირი ფერომაგნიტური მასალისგანაა დამზადებული. ქურის დამონტაჟება სხვა საყოფაცხოვრებო ელექტროტექნიკის (მაგ., სარეცხი მანქანის, მოკლეტალღური ღუმელის) ახლოს რეკომენდებული არ არის.

ცხადია, ინდუქციური ქურის მახასიათებლებს და საჭირო რეკომენდაციებს ის მოვლენა განსაზღვრავს, რომელიც ქურის მუშაობას უდევს საფუძვლად – მოვლენა, რომელსაც შენ უკვე იცნობ. ეს **ელექტრომაგნიტური ინდუქციაა** – შეკრულ გამტარში ინდუქციური დენი მისი გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ნებისმიერი ცვლილებისას აღიძვრება.

ვთქვათ, შეკრული კონტურის ნაცვლად ცვლად მაგნიტურ ველში მოთავსებულია მასიური გამტარი (მაგ., რკინის მასიური ფირფიტა). მასიური გამტარი, წარმოიდგინე, როგორც უამრავი შეკრული კონტურის ერთობლიობა, რომლებიც მიჯრითაა ჩაწყობილი. შეკრულ წარმოსახვით კონტურებსა და, შესაბამისად, მასიურ გამტარში აღძვრება შეკრული (წრიული) დენები, როცა მასიური გამტარის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იცვლება (მაგ., გამტარის მოძრაობისას) (სურ. 1.10.2). მათ **ფუკოს დენები** ჰქვია (სახელი ფრანგი ფიზიკოსის **ჟან ბერნარ ფუკოს** (1819 -1868) პატივსაცემად ეწოდა).



სურ. 1.10.2



სურ. 1.10.3

ინდუქციური ქურის კამფორის ქვეშ მოთავსებულია ელექტრომაგნიტი (სურ. 1.10.3). ელექტრომაგნიტში ცვლადი დენი გადის (იცვლება მისი მიმართულებაც და მოდულიც) და, შესაბამისად, ის ცვლად მაგნიტურ ველს ქმნის. ცვლადი მაგნიტური ველი ქვაბის ძირში ფუკოს დენებს აღძრავს, რომელთა სითბური მოქმედების შედეგად მხოლოდ ქვაბის ძირი თბება. ქვაბის გამთბარი ძირიდან კი სითბო მასში მოთავსებულ პროდუქტს თბოგამტარობის გზით გადაეცემა. ფუკოს დენები მხოლოდ მასიურ გამტარში აღიძვრება, ამიტომ მათი გავლენით ქურის არაგამტარი ზედაპირი არ თბება (ზედაპირი შეიძლება უმნიშვნელოდ გათბეს, მაგ., ცხელი სადილიდან თბოგამტარობის გზით გადაცემული სითბოს ხარჯზე).

რატომ აქვს ინდუქციური ქურისთვის განკუთვნილ ჭურჭელს ფერომაგნიტური მასალისგან დამზადებული ძირი? ასეთი მასალის მაგნიტური შეღწევადობა დიდია, რის გამოც,

Don't copy

მაგნიტური ველი, ძირითადად, ჭურჭლის ძირში კონცენტრირდება. ეს კი განაპირობებს იმას, რომ ფუკოს დენები და, შესაბამისად, მათი სითბური მოქმედება ძლიერდება.

ფუკოს დენების სითბურ მოქმედებას ეფუძნება ლითონების ე.წ. **ინდუქციური დნობა** ვაკუუმში: ცვლად მაგნიტურ ველში მოთავსებული ლითონის ნიმუში, მასში აღძრული ფუკოს დენების სითბური მოქმედების შედეგად დნობის ტემპერატურამდე ვარვარდება. გარემოს კი, ამ დროს, სითბოს უმნიშვნელო რაოდენობა გადაეცემა (სურ. 1.10.4).



სურ. 1.10.4

ნახე ვიდეოზე ლითონების ინდუქციური დნობა: http://bitly.ws/yVzS
http://bitly.ws/yVA7

ფუკოს დენების სხვა საინტერესო გამოვლინებების შესახებ ამ პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ შეიტყობ. ახლა შევეცადოთ **ავხსნათ, რატომ აღიძვრება ინდუქციური დენი და, შესაბამისად, ფუკოს დენები შეკრულ გამტარში.**

1.10.1 გრიგალური ელექტრული ველი

ფარადეის ცდებიდან ჩანს, რომ **ინდუქციური დენი აღიძვრება შეკრულ გამტარში (კონტურში), თუ ის**

ა) უძრავია და მოთავსებულია ცვლად მაგნიტურ ველში;

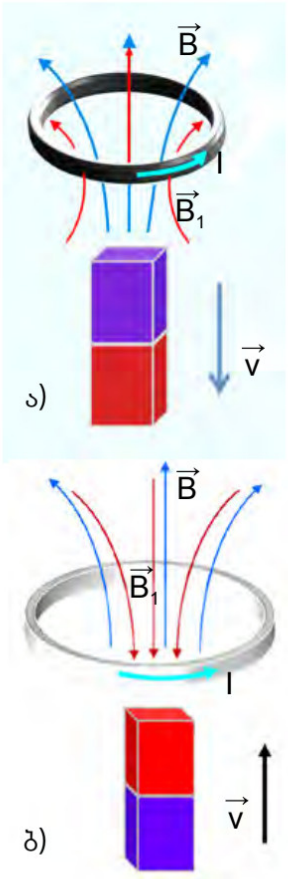
ან

ბ) მოძრავია და მოთავსებულია მაგნიტურ ველში, რომელიც შესაძლებელია, არც იცვლებოდეს.

გაიხსენე: შეკრულ გამტარში ელექტრული დენის აღძვრისთვის აუცილებელი პირობაა, რომ გამტარის თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებზე გარე ძალა მოქმედებდეს.

ვთქვათ, უძრავი შეკრული კონტური ცვლად მაგნიტურ ველშია მოთავსებული: შეკრულ კონტურში ინდუქციური დენი აღიძვრება, რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ დროს გამტარის (კოჭას ხვიების) თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებზე (თავისუფალ ელექტრონებზე) გარე ძალა მოქმედებს.

რა არის ეს გარე ძალა? მაგნიტური ველი მხოლოდ მოძრავ მუხტებზე (ელექტრულ დენზე) მოქმედებს. როცა შეკრული კონტური უძრავია, თავისუფალი მუხტები კონტურში უწესრიგოდ, ქაოსურად მოძრაობენ და მათი გადატანითი მოძრაობის საშუალო სიჩქარე ნულის ტოლია. შესაბამისად, ასეთ შემთხვევაში იმ ცვლადი მაგნიტური ველის მოქმედებით, რომელშიც უძრავია კონტურია მოთავსებული, კონტურში დენი არ აღიძვრება. მაშ, რა ძალები მოქმედებს გამტარის თავისუფალ მუხტებზე?

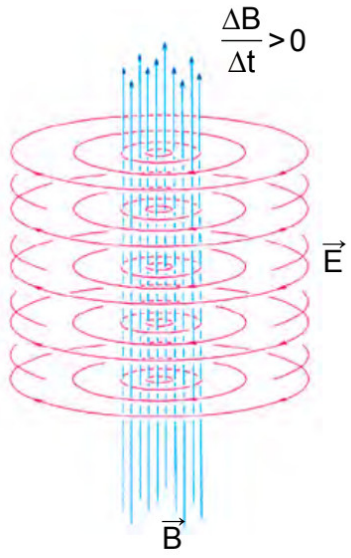


სურ. 1.10.5

შენ იცი, რომ უძრავი მაგნიტი თავის გარშემო მხოლოდ მაგნიტურ ველს ქმნის. **მოძრავი მაგნიტი კი, გარდა მაგნიტური ველისა, ელექტრულ ველსაც ქმნის** (ამ დასკვნამდე პირველად ჯეიმს მაქსველი მივიდა), **რომელიც, ელექტროსტატიკური ველისაგან განსხვავებით, ელექტრულ მუხტებთან უშუალოდ დაკავშირებული არ არის. ამიტომ მისი დაძაბულობის წირები არც იწყება და არც მთავრდება ელექტრულ მუხტებზე** (სურ. 1.10.5). ამ ელექტრული ველის ძალწირები, მაგნიტური ინდუქციის წირების მსგავსად, შეკრული წირებია (**გაიხსენე**: ასეთ ველს **გრიგალური ველი** ჰქვია), რომელიც მისი წარმომქმნელი მაგნიტური ველის ძალწირებს მოიცავს (სურ. 1.10.6).

Don't copy

ასე რომ, ელექტრული ველი, რომელსაც ცვლადი მაგნიტური ველი ქმნის, **გრიგალური ველია** (მას **ინდუქციურ ელექტრულ ველსაც** უწოდებენ). **ელექტრომაგნიტური ინდუქციის არსი სწორედ ცვლადი მაგნიტური ველის მიერ გრიგალური ელექტრული ველის წარმოქმნაა და არა შეკრულ კონტურში ინდუქციური დენის აღძვრა:** მაგნიტური ველის ნებისმიერი ცვლილება გრიგალურ (ინდუქციურ) ელექტრულ ველს წარმოქნის, მიუხედავად იმისა, არსებობს თუ არა შეკრული გამტარი სივრცის იმ ნაწილში, სადაც გრიგალური ველი წარმოიქმნება.



სურ. 1.10.6

შეკრული გამტარი (კოჭას ხვიები) მხოლოდ გრიგალური ველის არსებობის გამომჟღავნებას უწყობს ხელს: გრიგალური ელექტრული ველი მასში მოთავსებული შეკრული გამტარის თავისუფალ მუხტებზე მოქმედებს და შედეგად, გამტარში ინდუქციური დენი აღიძვრება (**გრიგალური ელექტრული ველის ძალწირების მიმართულება ინდუქციური დენის მიმართულებას ემთხვევა**) (სურ. 1.10.5).

ასე რომ, **ცვლად მაგნიტურ ველში მოთავსებულ უძრავ შეკრულ გამტარში ინდუქციური დენის აღძვრის მიზეზი გრიგალური ელექტრული ველია.**

სწორედ **გრიგალური ელექტრული ველის მხრიდან მოქმედი ძალაა ის გარე ძალა, რომელიც ცვლად მაგნიტურ ველში მოთავსებულ შეკრული უძრავი გამტარის თავისუფალ მუხტებზე მოქმედებს** (სწორედ გრიგალური ელექტრული ველის მოქმედებით აღიძვრება მასიურ გამტარებში ფუკოს დენები, რომელთა სითბური მოქმედება გამტარებში სითბოს დიდი რაოდენობით გამოყოფას და, შესაბამისად, ენერგიის უსარგებლო კარგვას იწვევს. სწორედ ამიტომ სხვადასხვა მოწყობილობის (მაგ., ტრანსფორმატორის, გენერატორის) კოჭას რკინის გულარები მასიური არ არის. ისინი ერთმანეთისაგან იზოლირებული ცალკეული ფირფიტების ერთობლიობაა).

ძალა, რომლითაც გრიგალური ველი q მუხტზე მოქმედებს, ისევე გამოითვლება, როგორც ელექტროსტატიკური ველის მხრიდან მუხტზე მოქმედი ძალა: $\vec{F} = q\vec{E}$

ელექტროსტატიკური ველისაგან განსხვავებით, **გრიგალური ველი პოტენციური ველი არ არის:** მისი მუშაობა ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლი არ არის!

გრიგალური ელექტრული ველის დაძაბულობის შეკრულ წირთა გასწვრივ მუხტის გადაადგილებისას ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ყოველთვის დადებითია (ძალისა და გადაადგილების მიმართულება ერთმანეთს ემთხვევა).

1.10.2 ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი

გაიხსენე: ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც რიცხობრივად გვიჩვენებს გარე ძალის მიერ შეკრული კონტურის გასწვრივ ერთეული დადებითი მუხტის გადატანისას შესრულებულ მუშაობას, **ელექტრომამოძრავებელი ძალა** (ემძ) ჰქვია ($\varepsilon = \frac{A_{\text{გარე}}}{q}$).

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის დროს შეკრულ კონტურში ინდუქციური დენის აღძვრა გრიგალური ველის მხრიდან მოქმედი **გარე ძალის მოქმედების შედეგია**. გარე ძალის მოქმედება კი ხასიათდება ელექტრომამოძრავებელი ძალით, რომელსაც **ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა** (ემძ) ჰქვია. **ინდუქციის ემძ ε_i -ითი** („ეფსილონით“) **აღინიშნება.**

როგორ გამოითვლება ინდუქციის ემძ? შენ უკვე იცი, რომ ინდუქციური დენი შეკრულ კონტურში მაშინ აღიძვრება, როცა კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იცვლება. ამასთან, ფარადეის ცდებით მტკიცდება, რომ **რაც უფრო სწრაფად იცვლება მაგნიტური**

Don't copy

ნაკადი (ანუ, რაც უფრო მეტია მისი ცვლილების სიჩქარე), **მით უფრო მეტია ინდუქციური დენის ძალა (I_i).**

თუ მცირე Δt დროის განმავლობაში მაგნიტური ნაკადი $\Delta\Phi$ სიდიდით იცვლება, მაშინ მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარე ტოლია $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$-ის, ამიტომ ფარადეის ცდების შედეგი შეიძლება ასე ჩამოვაყალიბოთ:

ინდუქციური დენის ძალა შეკრული კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარის პროპორციულია:

$$I_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (1.10.1)$$

ჩაკეტილი წრედისთვის ომის კანონის თანახმად, შეკრულ კონტურში, რომლის წინაღობაა r, გამავალი ინდუქციური დენის ძალა შეიძლება ასე გამოვსახოთ:

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{r} \qquad (1.10.2)$$

ასე რომ, 1.10.1 -ისა და 1.10.2-ის თანახმად:

$$\frac{\varepsilon_i}{r} \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (1.10.3)$$

იმის გათვალისწინებით, რომ კონტურის წინაღობა მაგნიტური ნაკადის ცვლილებაზე დამოკიდებული არ არის, მივიღებთ:

$$\varepsilon_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (1.10.4)$$

1.10.4 დამოკიდებულება შენთვის კარგად ცნობილი ფარადეის ცდების შედეგს ასახავს: **კოჭაში აღძრული ინდუქციური დენი და, შესაბამისად, ინდუქციის ემძ დამოკიდებულია ხვიების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარეზე** (რაც უფრო მეტია ნაკადის ცვლილების სიჩქარე, მით უფრო მეტია ინდუქციური დენის ძალა და, შესაბამისად, ინდუქციის ემძ).

ეს ექსპერიმენტული ფაქტი **ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონში** აისახა, რომელიც 1855 წელს ჯეიმს კლერკ მაქსველმა დაადგინა (კანონი ინდუქციის ემძ-ისთვის დადგინდა და არა ინდუქციური დენისთვის). **ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის** თანახმად,

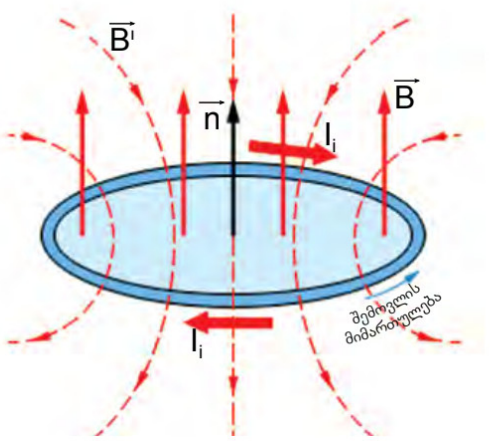
შეკრულ კონტურში ინდუქციის ემ ძალის მოდული კონტურით შემოსაზღვრული ფართობის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარის ტოლია:

$$|\varepsilon_i| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| \qquad (1.10.5)$$

როგორ გავითვალისწინოთ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონში ინდუქციური დენის მიმართულება ლენცის წესის თანახმად?

1. ავირჩიოთ ნებისმიერად კონტურის შემოვლის დადებითი მიმართულება: ვთქვათ, ის საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებას ემთხვევა (სურ. 1.10.7);

2. კონტურის $\vec{n}$ ნორმალი შემოვლის დადებით მიმართულებასთან მარჯვენა ხრახნს ქმნის: თუ ბურღის ტარს კონტურის შემოვლის დადებითი მიმართულებით ვაბრუნებთ, მაშინ ბურღის წვერი $\vec{n}$ ნორმალის მიმართულებით გადაადგილდება (სურ. 1.10.7).



სურ. 1.10.7

Don't copy

3. გაითვალისწინე: შეკრული კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი დადებითია ($\Phi > 0$), თუ ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორის (კონტურის სიბრტყისადმი მისი მართობული მდგენელის) მიმართულება $\vec{n}$ ნორმალის მიმართულებას ემთხვევა (ამიტომ კონტურის შემოვლის დადებით მიმართულებად ყოველთვის იმ მიმართულებას ირჩევენ, საითაც ბურღის ტარი უნდა ვაბრუნოთ, რომ მისი წვერი ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორის (კონტურის სიბრტყისადმი მისი მართობული მდგენელის) მიმართულებით გადაადგილდეს).

4. ვთქვათ, კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი მიმართულია კონტურის ნორმალის გასწვრივ და მაგნიტური ნაკადი იზრდება დროის მიხედვით, მაშინ $\Phi > 0$ და $\frac{\Delta\Phi}{t} > 0$ (სურ. 1.10.7);

5. ლენცის წესის თანახმად, ინდუქციური დენი ისეთ მაგნიტურ ველს ($\vec{B}'$) ქმნის, რომელიც კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ველის საპირისპიროა: $\vec{B}' \uparrow\downarrow \vec{B}$ (წარმოქმნილი მაგნიტური ველის ($\vec{B}'$) ინდუქციის წირები სურათ 1.10.7-ზე წყვეტილი წირითაა გამოსახული).

6. ინდუქციური დენის მიმართულება ბურღის წესის თანახმად განისაზღვრება: თუბურღის წვერი ინდუქციის $\vec{B}'$ ვექტორის (მისი მართობული მდგენელის) მიმართულებით გადაადგილდება, მაშინ ტარის ბრუნვის მიმართულება კონტურში ინდუქციური დენის მიმართულებას დაემთხვევა.

სურათ 1.10.7-ზე ინდუქციური დენის მიმართულება საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებას ემთხვევა, ანუ კონტურში ინდუქციური დენი შემოვლის დადებითი მიმართულების საწინააღმდეგოდ გადის და, შესაბამისად, ინდუქციის ემძ უარყოფითია ($\varepsilon_i < 0$).

ასე რომ, ε_i -სა და $\Delta\Phi / t$ შეფარდებას საპირისპირო ნიშანი აქვს. ამის გათვალისწინებით **ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი მათემატიკურად ასე ჩაიწერება:**

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (1.10.6)$$

თუ ინდუქციური დენი არა ერთ, არამედ კოჭას N ცალ ერთნაირ ხვიაში აღიძვრება, მაშინ კოჭაში აღძრული ინდუქციის ემძ N-ჯერ მეტი იქნება, ვიდრე – ემძ ერთ ხვიაში:

$$\varepsilon_i = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (1.10.7)$$

1.10.5 ტოლობის თანახმად, **მაგნიტური ნაკადის ერთეული SI-ში ასე განისაზღვრება:**

შეკრული კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი **1 ვებერია**, თუ **1 წამში** ნაკადის ნულამდე თანაბრად შემცირებისას, კონტურში **1 ვოლტი** ინდუქციის ემძ აღიძვრება:

$$1 \text{ ვბ} = 1 \text{ ვ} \cdot \text{წმ}$$

1.10.3. ინდუქციის ემძ მოძრავ გამტარში

რა მიზეზით აღიძვრება ინდუქციის ემძ მუდმივ მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარში?

როცა გამტარი მუდმივ მაგნიტურ ველში მოძრაობს, მასთან ერთად მოძრაობს გამტარის თავისუფალი მუხტები: მუხტები ინარჩუნებს მოძრაობის ქაოსურ ხასიათს, მაგრამ ამავე დროს გადატანით მოძრაობასაც ასრულებს იმ სიჩქარით, რომლითაც გამტარი მოძრაობს. თითოეულ თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკზე მაგნიტური ველის მხრიდან ლორენცის ძალა მოქმედებს. მისი მოქმედებით დამუხტული ნაწილაკები გამტარის გასწვრივ მოწესრიგებულად გადაადგილდება. სწორედ ლორენცის ძალაა ის **გარე ძალა,** რომელიც მუდმივ მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარში მუხტების მიმართულ მოძრაობას იწვევს, ანუ **გამტარში, რომელიც მუდმივ მაგნიტურ ველში მოძრაობს, ინდუქციური დენის აღძვრის მიზეზი ლორენცის ძალაა** (ამ საკითხს მომდევნო პარაგრაფში განვიხილავთ).

DonCopy

1.11 ფიზიკა ამოცანებში: ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა

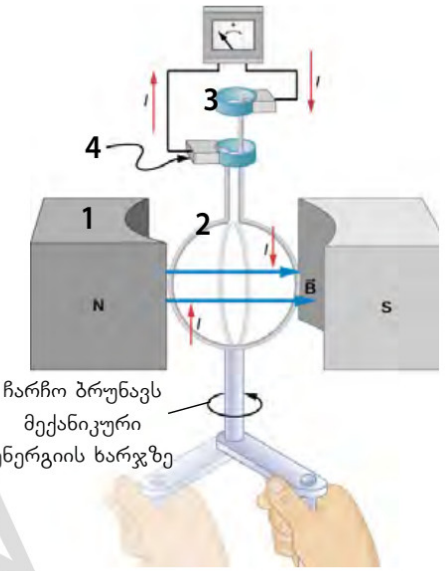
ელექტროძრავა ელექტრული მოწყობილობაა, რომელშიც ელექტრული ენერგია მექანიკურად გარდაიქმნება. **ელექტრული დენის გენერატორში** კი პირიქითაა – მექანიკური ენერგია (თბო-, ჰიდრო- და ატომურ ელექტროსადგურებში) ელექტრულ ენერგიად გარდაიქმნება.

ელექტრული ძრავაცა და გენერატორიც ორი ძირითადი ნაწილისგან შედგება (სურ. 1.11.1). ესენია:

1. ინდუქტორი (1) – ელექტრომაგნიტი ან მუდმივი მაგნიტი, რომელიც მაგნიტურ ველს ქმნის;

2. ღუზა (2) – გამტარი ხვიების გრაგნილი (ჩარჩო), რომელშიც ინდუქციის ემძ აღიძვრება.

კოლექტორების (3), ორი ნახევარრგოლისა და მოსრიალე კონტაქტების (გრაფიტის ან სპილენძის ფუნჯების) (4) დახმარებით ღუზა გარე წრედს უკავშირდება.



სურ. 1.11.1

ზოგიერთი გენერატორის:

ა) **მბრუნავი ნაწილი (როტორი)** ხვიების გრაგნილია (გამტარი ჩარჩოა), ზოგისა კი - ელექტრომაგნიტი;

ბ) **უძრავი ნაწილი (სტატორი)** – მუდმივი მაგნიტია (ან ელექტრომაგნიტია), ზოგისა კი – გამტარი ხვიები გრაგნილი.

მოვლენა, რომელიც გენერატორისა და ძრავას მუშაობას საფუძვლად უდევს – **ელექტრომაგნიტური ინდუქციაა.**

შენ იცი, რომ **ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა აღიძვრება:**

ა) უძრავ გამტარში, რომელიც მოთავსებულია დროის მიხედვით ცვლად მაგნიტურ ველში და მისი გამომწვევი მიზეზი ამ დროს გრიგალური ელექტრული ველია;

ბ) გამტარში, რომელიც მაგნიტურ ველში მოძრაობს (მაგნიტური ველი შეიძლება დროის მიხედვით არ იცვლებოდეს).

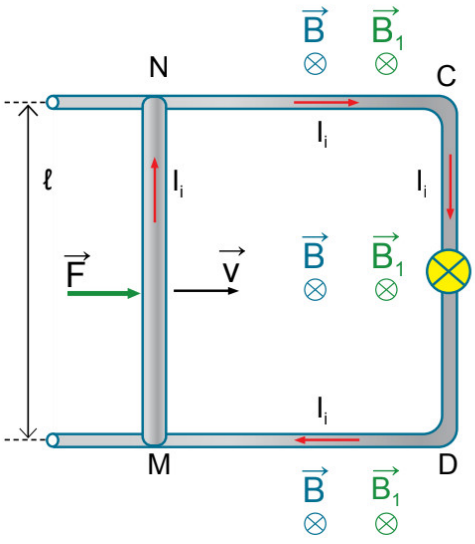
რა იწვევს მოძრავ გამტარში ინდუქციის ემძ-ის აღძვრას? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად განვიხილოთ ამოცანა.

ამოცანა 1.11.1

განსაზღვრე ინდუქციის ემძ, რომელიც მუდმივ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარში აღიძვრება.

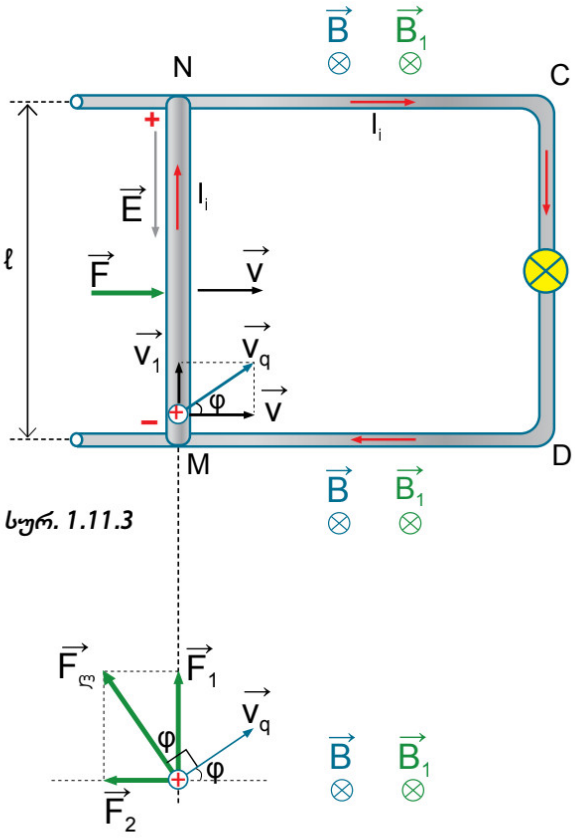
1. ვთქვათ, წრფივი გამტარი, რომლის სიგრძეა ℓ, მუდმივი $\vec{v}$ სიჩქარით მოძრაობს: წარმოიდგინე შეკრული მართკუთხა MDCN გამტარი კონტური (სურ. 1.11.2), რომლის MN გვერდი (იგივე ℓ სიგრძის გამტარი) კონტურის CN და DM გვერდების გასწვრივ სრიალებს;

2. გამტარი კონტური მოთავსებულია ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომლის ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი კონტურის სიბრტყის მართობულია და მიმართულია შენგან წიგნის სიბრტყისკენ;



სურ. 1.11.2

Don't copy



სურ. 1.11.3

სურ. 1.11.4

3. ვთქვათ, იმისათვის, რომ MN გამტარმა მოძრაობა დაიწყოს, მას $\vec{F}$ ძალით ვუბიძგეთ. გამტარი მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მართობულ სიბრტყეში მარჯვნივ გადაადგილდება: შემცირდება MDCN კონტურით შემოსაზღვრული ფართობი ($\vec{B}$ =const) და, შესაბამისად, შემცირდება კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი;

4. ლენცის წესის თანახმად, კონტურში აღიძვრება ინდუქციური დენი (I_i), რომლის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი ($\vec{B}_1$) კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის შემცირებას ეწინააღმდეგება ($\vec{B}_1 \uparrow\uparrow \vec{B}$). ბურღის წესის თანახმად, ინდუქციურ დენის (I_i) მიმართულება საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებას დაემთხვევა.

გამტარში აღძრული ინდუქციური დენი გამტარის დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებული, მიმართული მოძრაობაა. რა „აიძულებს“ მათ, მიმართულად იმოძრაონ გამტარის გასწვრივ?

5. გამტარის თითოეული დამუხტული ნაწილაკი (q) მონაწილეობას იღებს ორგვარ მოძრაობაში (სურ. 1.11.3): **ის გადაადგილდება**

ა) გამტართან ერთად $\vec{v}$ სიჩქარით ჰორიზონტალურად მარჯვნივ;

ბ) გამტარის გასწვრივ მოწესრიგებულად, $\vec{v}_1$ სიჩქარით.

ასე რომ, დამუხტული ნაწილაკი გამტარში იმოძრავებს $\vec{v}_q$ სიჩქარით, რომლის მდგენელებია $\vec{v}$ და $\vec{v}_1$:

$$\vec{v}_q = \vec{v} + \vec{v}_1 \qquad (1)$$

დააკვირდი ნახაზს (სურ. 1.11.3):

$$v_q = \frac{v}{\cos\varphi} \qquad (2)$$

φ კუთხეა, რომელსაც გამტარის $\vec{v}$ სიჩქარე ნაწილაკის $\vec{v}_q$ სიჩქარესთან ქმნის.

6. მაგნიტურ ველში (რომლის ინდუქციის მოდულია B) მოძრავი გამტარის თითოეულ დამუხტულ ნაწილაკზე მაგნიტური ველის მხრიდან **ლორენცის ძალა** ($F_ლ$) მოქმედებს, რომლის მოდული ასე გამოითვლება:

$$F_ლ = |q| v_q B \sin\alpha \qquad (3)$$

α კუთხეა დამუხტული ნაწილაკის $\vec{v}_q$ სიჩქარესა და მაგნიტური ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორს შორის:

$$\alpha = 90^0 \Rightarrow F_ლ = |q| v_q B \qquad (4)$$

7. დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედი ლორენცის ძალის მიმართულება მარცხენა ხელის წესით განისაზღვრება. მაგ., მაგნიტურ ველში მოძრავ ლითონის გამტარში დადებით იონზე მოქმედ ლორენცის ძალას ექნება ისეთი მიმართულება, როგორიც 1.11.4 სურათზეა გამოსახული:

$$\vec{F}_ლ \perp \vec{v}_q,\ \vec{F}_ლ \perp \vec{B};$$

Don't COPY

8. ლორენცის ძალა დავშალოთ ორ მდგენელად (სურ. 1.11.4):

$$\vec{F}_{ლ} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \qquad (5)$$

$\vec{F}_1$ მდგენელი გამტარის გასწვრივაა მიმართული, $\vec{F}_2$ კი – გამტარის მართობულად.

9. ლორენცის ძალის $\vec{F}_1$ მდგენელის გავლენით გამტარის დამუხტული ნაწილაკები გამტარის გასწვრივ გადაადგილდება. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **გამტარში დამუხტული ნაწილაკები გაცალკევდება:** გამტარის ერთ ბოლოზე ჭარბი დადებითი მუხტი დაგროვდება, ხოლო მეორეზე – ჭარბი უარყოფითი (სურ. 1.11.3);

10. გამტარის შიგნით, მის ბოლოებს შორის, ელექტრული ველი აღიძვრება. ელექტრული ველი გამტარის დამუხტულ ნაწილაკებზე ელექტრული $\vec{F}_{ელ}$ ძალით იმოქმედებს, რომლის მოდული ასე გამოითვლება:

$$F_{ელ} = |q|E, \qquad (6)$$

სადაც E გამტარის ბოლოებს შორის აღძრული ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდულია.

11. $\vec{F}_{ელ}$ ძალა:

ა) გამტარის შიგნით აღძრული ელექტრული ველის დაძაბულობის $\vec{E}$ ვექტორის თანამიმართულია (სურ. 1.11.3);

ბ) ლორენცის ძალის $\vec{F}_1$ მდგენელის საპირისპიროდაა მიმართული (სურ. 1.11.4).

როცა ელექტრული და მაგნიტური ველების მხრიდან მუხტებზე მოქმედი ძალები ერთმანეთს გააწონასწორებს ($\vec{F}_{ელ} = -\vec{F}_1$), დამუხტული ნაწილაკები გამტარის გასწვრივ თანაბრად იმოძრავებს.

ასე რომ, $\vec{F}_1$ მდგენელის გავლენით გამტარის დამუხტული ნაწილაკები გამტარის გასწვრივ ელექტრული ძალის საპირისპიროდ მიმართულად გადაადგილდება, რაც იმას ნიშნავს, რომ **ლორენცის ძალის $\vec{F}_1$ მდგენელია სწორედ ის გარე ძალა, რომელიც მუდმივ მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარში ინდუქციურ დენს (I_i) აღძრავს.**

12. ლორენცის ძალის $\vec{F}_2$ მდგენელი გამტარის სიჩქარის საწინააღმდეგოდააა მიმართული, ის ამუხრუჭებს გამტარს (სურ. 1.11.4).

იმისათვის, რომ გამტარმა თანაბრად იმოძრაოს მაგნიტურ ველში, გამტარზე მოდებული უნდა იყოს $\vec{F}$ ძალა, რომელიც $\vec{F}_2$ მდგენელს გააწონასწორებს:

$$\vec{F} = -\vec{F}_2 \qquad (7)$$

$\vec{F}_2$ მდგენელი მოდულით იმ $\vec{F}$ ძალის ტოლია, რომელიც გამტარს მაგნიტურ ველში თანაბრად მოძრაობას „აიძულებს“.

13. რისი ტოლია ლორენცის ძალის მუშაობა?

ერთი მხრივ,

$$A_{ლ} = F_{ლ}s\cos\beta, \qquad (8)$$

სადაც s გამტარში დამუხტული ნაწილაკის გადაადგილების მოდულია, ხოლო β კუთხეა ლორენცის ძალასა და გადაადგილების ($\vec{v}_q$ სიჩქარის) ვექტორს შორის:

$$\text{რადგან } \vec{F}_{ლ} \perp \vec{v}_q \Rightarrow A_{ლ} = F_{ლ} \cdot s \cdot \cos\beta = 0, \qquad (9)$$

ანუ **ლორენცის ძალის მუშაობა ნულის ტოლია:** $A_{ლ} = 0$

მეორე მხრივ,

ლორენცის ძალის მუშაობა $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ მდგენელების მიერ შესრულებული მუშაობების ჯამის ტოლია: $A_{F_{ლ}} = A_{F1} + A_{F2} = 0 \Rightarrow A_{F1} = -A_{F2}$ (10)

Don't copy

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **ლორენცის ძალა ნულოვან მუშაობას ასრულებს, რადგან მისი:**

ა) $\vec{F}_1$ მდგენელი, ანუ **გარე ძალა, დადებით მუშაობას** ($A_{F1} > 0$) **ასრულებს;**

ბ) $\vec{F}_2$ **მდგენელი კი – უარყოფითს** ($A_{F2} < 0$): ის სიჩქარის საწინააღმდეგოდააა მიმართული.

14. მე-7-ს თანახმად, $\vec{F}_2$ მდგენელი მოდულით იმ $\vec{F}$ ძალის ტოლია, რომელიც გამტარს მაგნიტურ ველში თანაბრად მოძრაობას „აიძულებს“:

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}, \qquad \text{ანუ,} \qquad A_F = -A_{F2} \tag{11}$$

მე-11 და მე-10 ტოლობიდან კი ჩანს, რომ $A_{F1} = A_F$ (12)

რაც იმას ნიშნავს, რომ **გამტარში მუხტების გადაადგილებისას გარე ძალა** (ლორენცის ძალის $\vec{F}_1$ მდგენელი) **მუშაობას იმ** $\vec{F}$ **ძალის მუშაობის ხარჯზე ასრულებს, რომელიც გამტარს მაგნიტურ ველში ამოძრავებს,** ანუ **იმ მექანიკური ენერგიის ხარჯზე, რომელიც გამტარის მოძრაობაზე იხარჯება** (მაგ., ელექტრული დენი ჰიდროელექტროსადგურის გენერატორებში ვარდნილი წყლის მექანიკური ენერგიის ხარჯზე მიიღება).

ასე რომ, **მაგნიტური ველი** (ლორენცის ძალის $\vec{F}_1$ მდგენელი ანუ, როგორც ამბობენ ხოლმე, უბრალოდ, ლორენცის ძალა) **არის მიზეზი მოძრავ გამტარში ელექტრული მუხტების მოძრაობის, მაგრამ ენერგიის წყარო არ არის!**

15. როგორ გამოითვლება ინდუქციის ემძ გამტარში?

ა) ინდუქციის ემძ-ის მოდული ასე გამოითვლება:

$$\varepsilon_i = \frac{A_{\text{გარე}}}{|q|} = \frac{A_{F1}}{|q|} \tag{13}$$

A_{F1} არის მუშაობა, რომელსაც ლორენცის ძალის $\vec{F}_1$ მდგენელი ℓ სიგრძის გამტარის გასწვრივ დამუხტული ნაწილაკების გადაადგილებისას ასრულებს:

$$A_{F1} = F_1 \ell\ , \tag{14};$$

ბ) დააკვირდი ნახაზს (სურ. 1.11.4):

$$F_1 = F_{\text{ლ}} \cos\varphi \tag{15}$$

გ) თუ მე-14-ში შევიტანთ მე-15 გამოსახულებას და გავითვალისწინებთ მე-4-სა და მე-2-ს, მივიღებთ, რომ:

$$A_{F1} = |q| vB\ell \tag{16}$$

დ) მე-16-ს გათვალისწინებით, კი მე-13-დან მივიღებთ, რომ **ინდუქციის ემძ, რომელიც მუდმივ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარში აღიძვრება, ასე გამოითვლება:**

$$\boxed{\varepsilon_i = vB\ell} \tag{1.11.1}$$

MDCN გამტარი კონტურის NC, CD, და DM უბნებში ინდუქციის ეძ ნულის ტოლია, რადგან ისინი უძრავია მოცემული მაგნიტური ველის მიმართ. ასე რომ, ინდუქციის ემძ მთელ კონტურში MN მოძრავ გამტარში აღძრული ემძ-თი, 1.11.1 ფორმულის თანახმად განისაზღვრება და არ შეიცვლება, თუ გამტარი მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს. ელექტრული დენი კი ამ დროს გაიზრდება, რადგან MN გამტარის მარჯვნივ გადაადგილებისას კონტურის საერთო წინაღობა მცირდება.

თუ α კუთხე დამუხტული ნაწილაკის $\vec{v}_q$ სიჩქარესა და მაგნიტური ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორს შორის მართი არ არის ($\alpha \neq 90^0$), მაშინ 1.11.1 ტოლობა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\boxed{\varepsilon_i = vB\ell\sin\alpha} \tag{1.11.2}$$

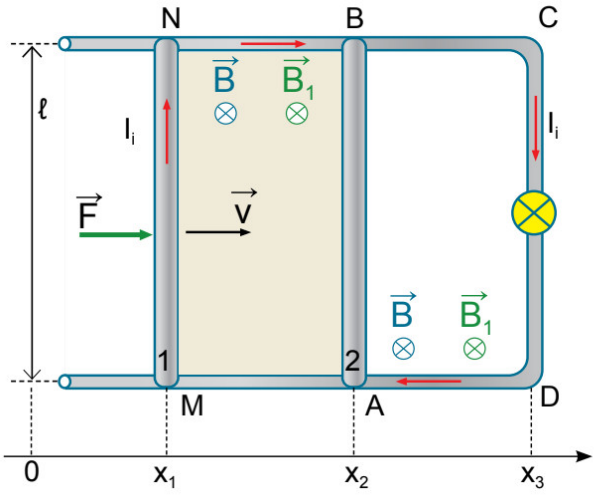
შენიშვნა: 1.11.2 ფორმულა 1.11.1-ის მსგავსად გამოიყვანება, ოღონდ იმ განსხვავებით, რომ ასეთ შემთხვევაში ლორენცის ძალა მე-3 ფორმულით გამოითვლება.

Don't copy

ამოცანა 1.11.2

დაამტკიცე, რომ 1.11.1 შედეგი ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის გამოვლინებაა.

ვთქვათ, გამტარი მუდმივ მაგნიტურ ველში მარჯვნივ თანაბრად მოძრაობს. ავირჩიოთ საკოორდინატო Ox ღერძი ისე, რომ მისი დადებითი მიმართულება გამტარის გადაადგილების მიმართულებას დაემთხვეს (სურ. 1.11.5).



სურ. 1.11.5

ვთქვათ, გამტარი ჯერ 1-ელ მდებარეობაში იმყოფებოდა, მცირე Δt დროის შემდეგ კი მე-2-ში მდებარეობაში გადაადგილდა.

აღვნიშნოთ გამტარის 1-ელი და მე-2 მდებარეობების შესაბამისი კოორდინატები x_1-ითა და x_2-ით, კონტურის CD მონაკვეთის მდებარეობის კოორდინატი კი – x_3-ით.

1. გამტარის მოძრაობის სიჩქარის v მოდული შეგვიძლია ასე გამოვთვალოთ:

$$v = \frac{x_2 - x_1}{\Delta t} \qquad (1)$$

2. გარდავქმნათ 1-ელი წილადის მრიცხველი: დავუმატოთ და გამოვაკლოთ მას x_3. მივიღებთ, რომ

$$v = \frac{x_2 - x_1}{\Delta t} = \frac{(x_3 - x_1) - (x_3 - x_2)}{\Delta t} \qquad (2)$$

3. შევიტანოთ მე-2 გამოსახულება 1.11.1 ფორმულაში. მივიღებთ, რომ:

$$\varepsilon_i = vB\ell = B\ell\,\frac{(x_3 - x_1) - (x_3 - x_2)}{\Delta t} = B\,\frac{\ell\,(x_3 - x_1) - \ell\,(x_3 - x_2)}{\Delta t} \qquad (3)$$

4. დააკვირდი ნახაზს (სურ. 1.11.5): $\ell(x_3 - x_1)$ და $\ell\,(x_3 - x_2)$ ნამრავლი, შესაბამისად, MNCD და ABCD კონტურებით შემოსაზღვრული მართკუთხედების ფართობებია, ანუ მე-3-დან მივიღებ:

$$\varepsilon_i = B\,\frac{S_{MNCD} - S_{ABCD}}{\Delta t} = \frac{B \cdot S_{MNCD} - B \cdot S_{ABCD}}{\Delta t} \qquad (4)$$

5. BS_{MNCD} და BS_{ABCD} ნამრავლი, შესაბამისად, MNCD და ABCD კონტურებით შემოსაზღვრული ფართობების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადია:

$$\varepsilon_i = \frac{B \cdot S_{MNCD} - B \cdot S_{ABCD}}{\Delta t} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\Delta t} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \qquad (5$$

ანუ **მაგნიტური ველში მოძრავ გამტარში ინდუქციის ემძ ასე გამოითვლება:**

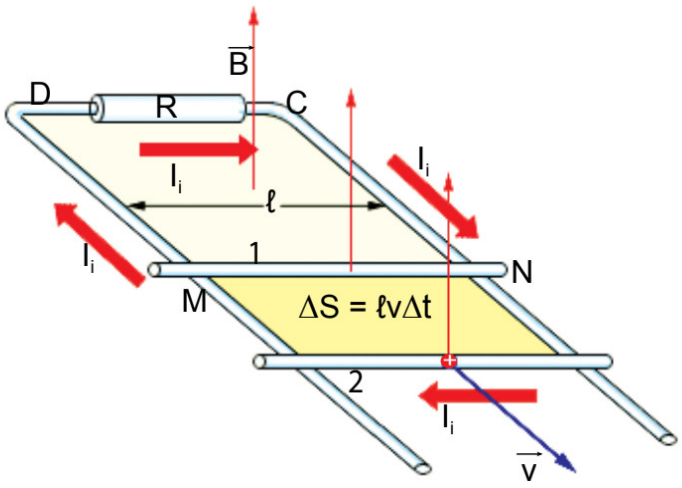
$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ **1.11.1 შედეგი ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის გამოვლინებაა** და ელექტრომამოძრავებელი ძალა ნებისმიერ შემთხვევაში ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონით განისაზღვრება, მიუხედავად მისი წარმოშობის მექანიზმისა.

Don't copy

ამოცანა 1.11.3

გამოიყენე ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი და განსაზღვრე ინდუქციის ემძ, რომელიც აღიძვრება მუდმივ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარში.



სურ. 1.11.6

ვთქვათ, შეკრული მართკუთხა MDCN გამტარი კონტურის MN გვერდი (იგივე ℓ სიგრძის წრფივი გამტარი) კონტურის CN და DM გვერდების გასწვრივ მუდმივი $\vec{v}$ სიჩქარით სრიალებს (სურ. 1.11.6).

გამტარი კონტური მოთავსებულია ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომლის ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი კონტურის სიბრტყის მართობულია და ვერტიკალურად ზევითაა მიმართული.

გამტარი მოძრაობს მარჯვნივ და Δt დროის განმავლობაში 1-ელიდან მე-2 მდებარეობაში გადაადგილდა: იზრდება MDCN კონტურით შემოსაზღვრული ფართობი (B = const) და, შესაბამისად, იზრდება კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი.

1. MN გამტარის 1-ელიდან მე- 2 მდგომარეობაში გადაადგილებისას კონტურით შემოსაზღვრული ფართობი დროის მიხედვით იზრდება ℓvΔt სიდიდით:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \ell v \Delta t \qquad (1)$$

2. კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილება ასე გამოითვლება:

$$\Delta\Phi = B\Delta S\cos\alpha \qquad (2)$$

სადაც α კუთხეა, ინდუქციის ვექტორსა და სიბრტყის ნორმალს (სიბრტყისადმი აღმართულ მართობს) შორის: $\alpha = 0^0$;

ე.ი.
$$\Delta\Phi = B\,\Delta S \qquad (3)$$

3. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის თანახმად:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -B\,\frac{\Delta S}{\Delta t} = -B\,\frac{\ell\, v\,\Delta t}{\Delta t} = -B\ell v \qquad (4)$$

ანუ, ეს ის შედეგია, რაც 1.11.1 ამოცანაში მივიღეთ. „ – “ ნიშანი იმის მაჩვენებელია, რომ ინდუქციური დენი კი MN გამტარის 1 -ელიდან მე-2 მდგომარეობაში გადაადგილებისას, შემცირდება, რადგან ამ დროს კონტურის საერთო წინაღობა იზრდება.

თუ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მთელი MDCN კონტური მოძრაობს ისე, რომ ინდუქციის ვექტორისადმი თავის ორიენტაციას ინარჩუნებს, მაშინ ინდუქციის ემძ კონტურში 0-ის ტოლი იქნება, რადგან კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი არ შეიცვლება.

Don't copy

1.12 თვითინდუქცია



სურ. 1.12.1

2003 წლის 14 აგვისტოს ჩრდილოეთ ამერიკის ენერგომომარაგების სისტემა თავისი არსებობის ისტორიაში ყველაზე დიდი ავარიის წინაშე აღმოჩნდა. მთელ ამ ტერიტორიაზე ელექტროენერგია ორი დღის განმავლობაში შეწყდა, რამაც 50 მილიონამდე ადამიანის ყოველდღიური ცხოვრების ნორმალური რიტმისა და ქვეყნისთვის მნიშვნელოვანი საწარმოებისა თუ ორგანიზაციების მუშაობის პარალიზება გამოიწვია. ზარალმა, რომელიც ქვეყნის ეკონომიკას მიადგა, 10 მილიარდ დოლარს მიაღწია.

რა მოხდა იმ დღეს ამერიკაში? ოჰაიოს შტატში, ერთ, არცთუ ისე დიდი სიმძლავრის, ელექტროსადგურზე ელექტროგადამცემი ხაზები მწყობრიდან გამოვიდა: მოკლე ჩართვა ხაზების ხეებთან შეხებამ გამოიწვია. ქვესადგური გაითიშა.

წესით, ერთი ქვესადგურის გათიშვას ელექტრომომარაგების ქსელზე ტოტალურად არ უნდა ემოქმედა. საბედისწერო შემთხვევით, მართვის ცენტრში უსაფრთხოების სისტემა მწყობრიდან გამოვიდა და პირველი ქვესადგურის მოულოდნელმა გათიშვამ მეორე ქვესადგურის ტრანსფორმატორზე ხანძარი გამოიწვია. 15 წუთის შემდეგ ხანძარმა მესამე ქვესადგურზე იფეთქა და ა. შ. მოვლენები ზვავისებურად განვითარდა: ამერიკის მთელ ჩრდილო-აღმოსავლეთ ტერიტორიაზე ელექტრონერგიის მიწოდება ერთმანეთის მიყოლებით გაითიშა აკრონში, კლივლენდში, დეტროიტში. ელექტროენერგია შეუწყდა ტორონტოსაც.

ელექტროენერგიის მომარაგების სისტემაში ტოტალური ავარიის (ამ მოვლენას, ხშირად, თავისი დრამატული შედეგებიდან გამომდინარე, **ბლექაუტს** უწოდებენ („black“ „შავს“ ნიშნავს, „out“- „გასვლას“) (სურ. 1.12.1). მიზეზების გამოსაკვლევად შეიქმნა ამერიკელი და კანადელი სპეციალისტების ჯგუფი, რომლის მუშაობის შესახებ სტატია ჟურნალ „Scientific American“-ში გამოქვეყნდა. ჯგუფის ერთ-ერთი წევრის, ინჟინერ-ელექტრიკოსის – ჯეფ დაგლის თქმით, ავარიის გრანდიოზული მასშტაბის მიზეზი უსაფრთხოების სისტემის გაუმართაობა იყო. მისთვის არავის დაუსვამს შეკითხვა: **რატომ გადიოდა ქვესადგურების ტრანსფორმატორებში დენი იმ დროს, როცა ელექტროენერგია ითიშებოდა. ყოველ მომდევნო ქვესადგურში ხანძრის გამომწვევი მიზეზი ხომ სწორედ ეს დენი იყო.**

პარაგრაფის გაცნობის შემდეგ ამ კითხვაზე პასუხის გაცემას შეძლებ, მაგრამ მანამდე ჩაატარე ცდა.

1.12.1 თვითინდუქციის მოვლენა

ცდისთვის საჭიროა: დენის წყარო (12 ვ-იანი აკუმულატორი), ორი ერთნაირი პატარა ნათურა სადგამით, რეოსტატი (50 ომი), კოჭა ხვიების დიდი რაოდენობითა და რკინის გულარით, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები.

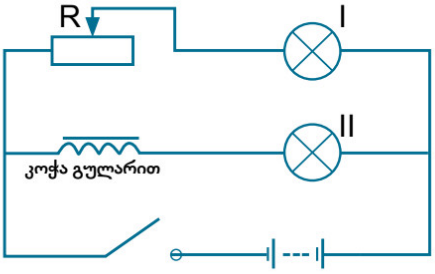
ცდა I

1. დააკვირდი სქემას (სურ. 1.12.2): დენის წყაროსთან მიერთებულ წრედში ორი პარალელური უბანია. ერთ უბანზე მიმდევრობით ჩართულია I ნათურა და რეოსტატი, ხოლო მეორე უბანზე – II ნათურა და კოჭა.

Don't copy



2. ააწყვე ელექტრული წრედი 1.12.2 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით. ჩართე ჩამრთველი და რეოსტატის საშუალებით ისე დაარეგულირე დენის ძალა წრედში, რომ პარალელურ უბნებში ჩართული ნათურები ერთნაირად ანათებდეს (რეოსტატის ელექტრული წინაღობა ისეთივე უნდა იყოს, როგორიც კოჭას ხვიების);



სურ. 1.12.2

3. გამორთე ჩამრთველი და კვლავ ჩართე, ოღონდ ამჯერად **დააკვირდი ნათურების ნათებას წრედის შეკვრის მომენტში:**

ა) ერთდროულად აინთო თუ არა ორივე ნათურა?

ბ) რომელი ნათურა აინთო უფრო სწრაფად: ნათურა, რომელიც რეოსტატთანაა მიერთებული თუ ნათურა, რომელიც კოჭასთანაა მიერთებული?

რით აიხსნება ცდის შედეგი? **თუ კოჭაში გამავალი დენი იცვლება** (მაგ., იზრდება წრედის ჩართვისას ან მცირდება წრედის განრთვისას), **მაშინ ის დროის მიხედვით ცვლად მაგნიტურ ველს წარმოქმნის**, რაც იმას ნიშნავს, რომ **კოჭას გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იცვლება**. კოჭას გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებისას კი **იმავე კოჭას ხვიებში ინდუქციის ემძ აღიძვრება.**

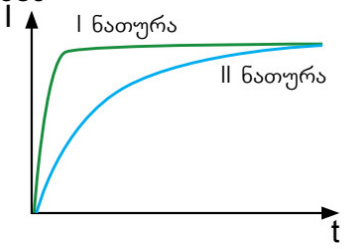
მოვლენას, რომლის დროსაც გამტარში გამავალი დენის ძალის ცვლილების შედეგად, იმავე გამტარში ინდუქციის ემძ აღიძვრება, თვითინდუქცია ჰქვია.

თვითინდუქციის მოვლენა ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კერძო გამოვლინებაა. **ლენცის წესის თანახმად, შეკრულ გამტარში (კოჭას ხვიებში) ისეთი მიმართულების გრიგალური ელექტრული ველი აღიძვრება, რომელიც მისი წარმომქმნელი დენის ნებისმიერ ცვლილებას ეწინააღმდეგება**:

1. დენის ზრდისას გრიგალური ელექტრული ველის დაძაბულობა გამტარში გამავალი დენის საპირისპიროდაა მიმართული და მის ზრდას ეწინააღმდეგება (თითქოს „ამუხრუჭებს“ მას);

2. დენის შემცირებისას კი გრიგალური ელექტრული ველის დაძაბულობა გამტარში გამავალი დენის თანამიმართულია და მის კლებას ეწინააღმდეგება.

I ცდაში წრედის შეკვრისას II ნათურა, რომელიც კოჭასთან მიმდევრობითაა შეერთებული, ოდნავ დაგვიანებით აინთება, ვიდრე რეოსტატთან მიმდევრობით მიერთებული I ნათურა. **კოჭაში აღიძვრება თვითინდუქციის ემძ, რომელიც რომელიც ეწინააღმდეგება დენის ზრდას ხვიებში** (სწორედ ამიტომ ითება კოჭასთან მიმდევრობით შეერთებული II ნათურა დაგვიანებით). **წრედის შეკვრისას კოჭას ხვიებში გამავალი დენი თანდათან იზრდება**: რკინისგულარიან კოჭაში, რომლის ხვიების რაოდენობა ძალიან დიდია, თვითინდუქციის ემძ დიდია და დენის ძალა ხვიებში ერთბაშად ვერ აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას (სურ. 1.12.3).



სურ. 1.12.3

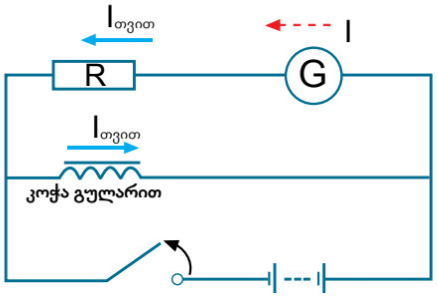
წრედის განრთვისას თვითინდუქციის მოვლენას შეგიძლია დააკვირდე ცდით, რომლის სქემა გამოსახულია 1.12.4 სურათზე.

წრედის განრთვისას დენი კოჭას ხვიებში მცირდება. დენის ცვლილებისას კოჭაში თვითინდუქციის ემძ აღიძვრება, რომელიც ეწინააღმდეგება დენის შემცირებას, „ცდილობს“ შეინარჩუნოს პირვანდელი დენი.

განრთვის მომენტში (სურ.1.12.4) **გალვანომეტრში გაივლის დენი** ($I_{თვით}$), რომელიც განრთვამდე წრედში გამავალი დენის (I-ს) საპირისპიროა. განრთვისას წრედში თვითინდუქციის ემძ შეიძლება მკვეთრად გაიზარდოს, რადგან ის „ცდილობს“ გაზრდილი

Don't copy

წინაღობის პირობებში დენი შეინარჩუნოს წრედში (განრთვის მომენტში დენი კოჭასა და R წინაღობაში თვითინდუქციის ემძ-ს წყალობით გადის).
წრედის განრთვის მომენტში დენის ძალა შეიძლება მნიშვნელოვნად გაიზარდოს იმ დენთან შედარებით, რომელიც წრედში განრთვამდე გადიოდა ($\varepsilon_{\text{თვით}} > \varepsilon_{\text{წყ}}$).



1.12.2 ინდუქციურობა

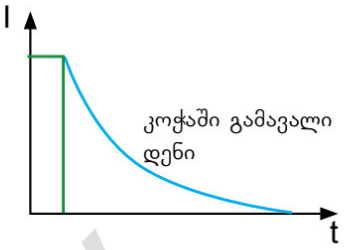
შენ იცი, რომ **გამტარში გამავალი ელექტრული დენი გამტარის გარშემო მაგნიტურ ველს ქმნის**, ამასთან

1. მაგნიტური ველის ინდუქცია გამტარში გამავალი დენის ძალის პროპორციულია:

$$B \sim I;$$

2. შეკრული გამტარი კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი მაგნიტური ველის ინდუქციის პროპორციულია:

$$\Phi \sim B;$$



სურ. 1.12.4

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **შეკრული კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი კონტურში გამავალი დენის ძალის პროპორციულია:**

$$\Phi \sim I\,,$$

ანუ **შეკრული გამტარის კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის დამოკიდებულება გამტარში გამავალ დენის ძალაზე მათემატიკურად ასე გამოისახება:**

$$\boxed{\Phi = L\,I} \qquad (1.12.1)$$

სადაც, **L პროპორციულობის კოეფიციენტია**, რომელიც დამოკიდებული არ არის გამტარში გამავალ დენის ძალაზე. L პროპორციულობის კოეფიციენტს გამტარის **ინდუქციურობა** ჰქვია.

ინდუქციურობა გამტარის მახასიათებელი სიდიდეა. იგი დამოკიდებულია მხოლოდ გამტარის ზომებზე, ფორმასა და ასევე იმ გარემოს მაგნიტურ თვისებებზე, რომელშიც გამტარია მოთავსებული და არა – გამტარში გამავალ დენზე.

წრფივი გამტარის ინდუქციურობა ძალიან მცირეა, ხოლო ხვიებად დახვეული იმავე გამტარის (ანუ კოჭას) ინდუქციურობა გაცილებით დიდია. კოჭას ინდუქციურობა კიდევ უფრო გაიზრდება, თუ მასში რკინის გულარს შევიტანთ.

კოჭას ინდუქციურობა გამოითვლება ფორმულით:

$$L = \mu\,\mu_0 N^2 \frac{S}{\ell}\,, \qquad (1.12.2)$$

რომელშიც

ℓ – კოჭას (სოლენოდის) სიგრძეა;

S – კოჭას განივკვეთის, ანუ მისი ერთი ხვიით შემოსაზღვრული ფართობი;

N – ხვიების რიცხვია კოჭაში;

μ_0 – გულარის მაგნიტური შეღწევადობაა;

μ – მაგნიტური მუდმივაა: $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ჰნ/მ = $1{,}26 \cdot 10^{-6}$ ჰნ/მ.

SI -ში ინდუქციურობის ერთეულად მიღებულია 1 ჰენრი (1 ჰნ = 1 ვბ · ა).

1 ჰნ ისეთი კონტურის ინდუქციურობაა, რომელშიც 1 ამპერი დენის გავლისას 1 ვებერის ტოლი მაგნიტური ნაკადი იქმნება.

Don't copy

1.12. 3 თვითინდუქციის ემძ

თვითინდუქციის მოვლენის დროს წარმოქმნილი გრიგალური ელექტრული ველის მოქმედება ხასიათდება ელექტრომამოძრავებელი ძალით, რომელსაც **თვითინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა** ჰქვია ($\varepsilon_{\text{თვით}}$).

თვითინდუქციის მოვლენა ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კერძო შემთხვევაა. მაშასადამე 1.12.1 ფორმულისა და ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის გათვალისწინებით, მივიღებთ, რომ:

$$\varepsilon_{\text{თვით}} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad (1.12.3)$$

(იგულისხმება, რომ მოცემული გამტარის ინდუქციურობა მუდმივი სიდიდეა, ანუ შეკრული გამტარი კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი მხოლოდ გამტარში გამავალი დენის ძალის შეცვლის შედეგად იცვლება, ხოლო გამტარის მახასიათებელი ზომები და კონტურის ფორმა უცვლელია).

1.12.3 გამოსახულებიდან ჩანს, რომ:

1. რაც უფრო მეტია წრედის ინდუქციურობა და რაც უფრო სწრაფად იცვლება მასში დენის ძალა, მით უფრო მეტია თვითინდუქციის ემძ;

2. ინდუქციურობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს, რისი ტოლია შეკრულ კონტურში 1 წამში დენის ძალის 1 ამპერით ცვლილებისას აღძრული თვითინდუქციის ემძ რიცხობრივად.

ინდუქციურობას **თვითინდუქციის კოეფიციენტსაც** უწოდებენ.

1.12.3 ფორმულიდან ჩანს, რომ

$$1\ \text{ჰნ} = \frac{1\ \text{ვ}}{1\frac{\text{ა}}{\text{წმ}}} = 1\frac{\text{ვ}\cdot\text{წმ}}{\text{ა}} = 1\ \text{ომი}\cdot\text{წმ},\ \text{ანუ}\ \ \mathbf{1\ ჰნ = 1\ ვბ\cdot ა = 1\ ომი\cdot წმ.}$$

1.12.4 მაგნიტური ველის ენერგია

თვითინდუქციის მოვლენა მექანიკაში ინერციის მოვლენის ანალოგიურია: ინერტულობის გამო სხეულის სიჩქარის ცვლილებას (გაზრდას, დამუხრუჭებას) გარკვეული დრო სჭირდება. დრო სჭირდება გამტარში დენის ძალის ცვლილებასაც: წრედის შეკვრისას თვითინდუქციის გამო დენის ძალა გამტარში განსაზღვრულ მნიშვნელობას არა მეყსეულად, არამედ თანდათან აღწევს (თვითინდუქცია თითქოსდა ამუხრუჭებს დენს), წრედის განრთვისას კი დენის ძალის მნიშვნელობა ნულამდე თანდათან მცირდება.

თუ ამ ანალოგიას გაითვალისწინებ, მაშინ ცხადია, რომ ინდუქციურობა (L) დენის ძალის (I) ცვლილებისას ისეთივე როლს ასრულებს, როგორსაც მასა (m) სხეულის სიჩქარის (v) ცვლილებისას. L ანალოგიური სიდიდეა m -ისა ($L \leftrightarrow m$), I კი – v-სი ($I \leftrightarrow v$).

თვითინდუქციისა და ინერციის მოვლენებს შორის ანალოგიის საფუძველზე შეგვიძლია ვიმსჯელოთ:

1. იმისათვის, რომ სხეულის სიჩქარე (და, შესაბამისად, მისი კინეტიკური ენერგია) გაიზარდოს, ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, საჭიროა, სხეულზე მოდებულმა ძალამ წინააღმდეგობის ძალების დასაძლევად დადებითი მუშაობა შეასრულოს: რაც უფრო მეტია ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა, მით უფრო მეტია სხეულის მიერ შეძენილი კინეტიკური ენერგია.

ანალოგიურად, იმისათვის, რომ წრედში დენის ძალა განსაზღვრულ სიდიდემდე გაიზარდოს, დენის წყარომ (გალვანურმა ელემენტმა, ელექტროსადგურის გენერატორმა და ა. შ.) უნდა შეასრულოს დადებითი მუშაობა თვითინდუქციის ემძ-ს (გრიგალური ელექტრული ველის) დასაძლევად: რაც უფრო მეტ მუშაობას ასრულებს დენის წყარო, მით უფრო მეტად გაიზრდება დენი წრედში, მით მეტ ენერგიას შეიძენს დენიანი გამტარი

Don't copy

და, შესაბამისად, მით უფრო მეტი იქნება **დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ენერგია**.

ასე რომ, **წრედის შეკვრისას დენის წყარო ასრულებს მუშაობას, რომელიც დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ენერგიად გარდაიქმნება.**

2. დამუხრუჭებისას სხეული კინეტიკური ენერგიის ხარჯზე ასრულებს მუშაობას წინააღმდეგობის ძალების დასაძლევად.

ანალოგიურად, **წრედის განრთვისას დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ენერგია დენის შენარჩუნებაზე დაიხარჯება.**

3. სხეულის კინეტიკური ენერგია სხეულის მასასა და სიჩქარეზეა დამოკიდებული:

$$E_{კინ} = \frac{mv^2}{2};$$

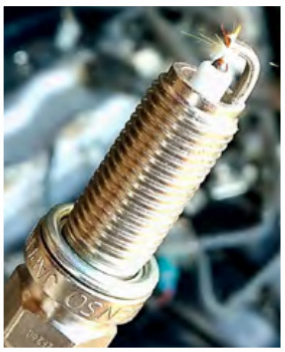
ანალოგიის გათვალისწინებით, მივიღებთ, რომ **დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ენერგია ასე გამოითვლება:**

$$W_მ = \frac{LI^2}{2} \qquad (1.12.4)$$

მაგნიტური ველის ენერგია გარდა მასში გამავალი დენის ძალისა, გამტარის ინდუქციურობაზეცაა დამოკიდებული: რკინისგულარიან კოჭაში, რომლის ხვიების რაოდენობა ძალიან დიდია, მაგნიტური ველის ენერგია მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს.

დენიან კოჭას მაგნიტური ენერგია აქვს მსგავსად დამუხტული კონდენსატორისა, რომელიც ელექტრული ენერგიის გარკვეულ მარაგს ინახავს.

გაიხსენე პარაგრაფის დასაწყისში დასმული კითხვა: რატომ გადის ქვესადგურის ტრანსფორმატორში დენი იმ დროს, როცა ელექტროენერგია ითიშება? ტრანსფორმატორი მოწყობილობაა (მას მომავალ გაკვეთილებზე გავეცნობით), რომელიც დიდი ინდუქციურობის მქონე ორი კოჭასგან შედგება. ორივე კოჭა ფოლადის საერთო გულარზეა ჩამოცმული. 1.12.3 ფორმულის თანახმად, **რაც უფრო დიდია კოჭას ინდუქციურობა (ანუ რაც უფრო მეტია მასში დაგროვილი მაგნიტური ველის ენერგია) და რაც უფრო სწრაფად იცვლება მასში გამავალი დენის ძალა, მით უფრო მეტია კოჭას ხვიებში აღძრული თვითინდუქციის ემძ.** წრედის განრთვისას განსაკუთრებით სწრაფად იცვლება დენის ძალა. წრედის მნიშვნელოვანი ინდუქციურობის დროს, თვითინდუქციის ემძ შეიძლება ისე გაიზარდოს, რომ გადააჭარბოს კიდეც დენის წყაროს ემძ-ს. განრთული (ან გაწყვეტილი) წრედის ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობამ, შესაძლოა, იმდენად დიდ მნიშვნელობას მიაღწიოს, რომ ჰაერში რკალური განმუხტვა დაიწყოს და განრთვის ადგილას ნაპერწკალი გაჩნდეს. ეს კი, შესაძლოა, ხანძრის გამომწვევი მიზეზიც გახდეს (სწორედ ეს მოვლენა გახდა ყოველი შემდგომი ქვესადგურის ავარიული გათიშვის მიზეზი).



სურ. 1.12.5

ჩამრთველიდან დიდი ინდუქციურობის მქონე ელექტრომოწყობილობის (მაგ., მაცივრის) გამორთვისას ან მაღალი ძაბვის ხაზების გაწყვეტისას, თვითინდუქციის მავნე გამოვლინების თავიდან ასაცილებლად სპეციალური მოწყობილობის დახმარებით რკალური განმუხტვის პროცესს ახშობენ. თვითინდუქციის გამო ნაპერწკლის გაჩენას დადებითი მხარეც აქვს. მაგ., ავტომობილის ძრავას ანთების სისტემაში ინდუქციურობის კოჭას (დროსელს) იყენებენ. იმისათვის, რომ სანთელის ელექტროდებს შორის ნაპერწკალი გაჩნდეს (სურ. 1.12.5), 1000 ვ-ზე მეტი ძაბვაა საჭირო. ავტომობილის აკუმულატორის მომჭერებზე კი ძაბვა მხოლოდ 12 ვ-ია. საჭირო ძაბვის მისაღებად, სპეციალური მოწყობილობა საჭირო მომენტში წრედს ავტომატურად თიშავს. ამ დროს დროსელში თვითინდუქციის მაღალი ემძ ჩნდება, რომელიც ელექტროდებს შორის ნაპერწკლის გაჩენას უზრუნველყოფს. ნაპერწკალი საწვავის აალებას იწვევს, რასაც ძრავას დგუში მოძრაობაში მოჰყავს.

Don't copy

1 შეამოწმე შენი ცოდნა

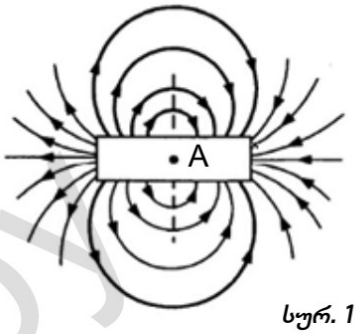
ტესტი №1

გაითვალისწინე: თითოეულ დავალებას, სირთულის მიხედვით, გარკვეული ფერი და ქულა შეესაბამება:

უმარტივესი – 1 ქულა; **მარტივი** – 2 ქულა;

საშუალო სირთულის – 3 ქულა; **რთული** – 4 ქულა.

1. 1-ელ სურათზე ზოლოვანი მაგნიტის მაგნიტური ველის წირებია გამოსახული. დაფიქრდი, რომელია სწორი გამონათქვამი:



სურ. 1

A წერტილში, რომელიც ზოლოვანი მაგნიტის შიგნით მდებარეობს:

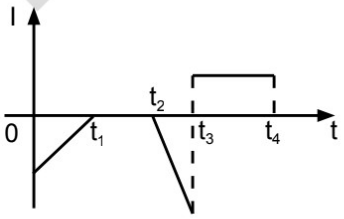
ა) მაგნიტური ველი არ არის;

ბ) მაგნიტური ველის წირები მიმართულია მარცხნიდან მარჯვნივ;

გ) მაგნიტური ველის წირები მიმართულია მარჯვნიდან მარცხნივ;

დ) მაგნიტური ველის წირები მართობულია ნახაზის სიბრტყისა და მიმართულია ჩვენგან წიგნისკენ.

2. განსაზღვრე კოჭაში გამავალი დენის ძალის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით (სურ. 2), დროის რომელ შუალედში იქმნება კოჭას გარშემო მაგნიტური ველი:

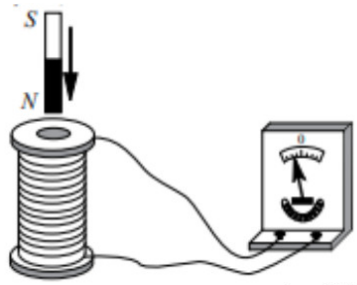


სურ. 2

ა) $t \in [0; t_1]$; ბ) $t \in [t_2; t_3]$;

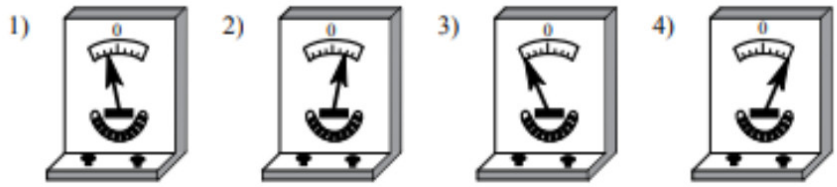
გ) $t \in [0; t_1]$ და $[t_2; t_3]$; დ) $t \in [0; t_1]$ და $[t_2; t_4]$.

3. დააკვირდი გალვანომეტრის ჩვენებას (სურ. 3), როცა მუდმივი ზოლოვანი მაგნიტი კოჭაში ჩრდილოეთ პოლუსით შეაქვთ. განსაზღვრე, რომელი გალვანომეტრი გიჩვენებს კოჭაში აღძრულ დენს, თუ იმავე მაგნიტს ისეთივე სიჩქარით კოჭაში სამხრეთ პოლუსით შევიტანთ (სურ. 4):



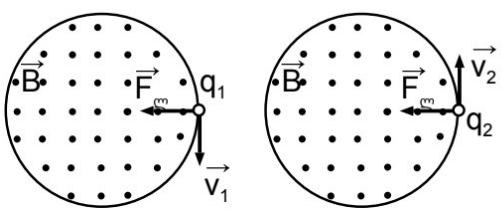
სურ. 3

ა) 1; ბ) 2; გ) 3; დ) 4;



სურ. 4

4. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად დამუხტული ნაწილაკი შეიჭრა (სურ. 5). დაადგინე ნაწილაკის მუხტის ნიშანი:



სურ. 5

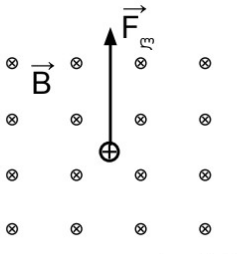
ა) $q_1 > 0, q_2 < 0$; ბ) $q_1 > 0, q_2 > 0$;

გ) $q_1 < 0, q_2 < 0$; დ) $q_1 < 0, q_2 > 0$.

Don't copy

5. განსაზღვრე სიჩქარის მიმართულება, რომლითაც ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში პროტონი შეიჭრა (სურ. 6):

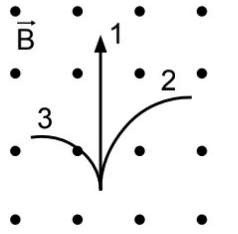
ა) ↓ ; ბ) ↑ ; გ) → ; დ) ←.



სურ. 6

6. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ძალწირების მართობულად პროტონი, ელექტრონი და ნეიტრონი ერთნაირი სიჩქარით შეიჭრა. განსაზღვრე, რომელი ტრაექტორია შეესაბამება თითოეულ ნაწილაკს (სურ. 7):

ა) 1- პროტონი; 2- ნეიტრონი; 3- ელექტრონი;
ბ) 1- ნეიტრონი; 2- ელექტრონი; 3- პროტონი;
გ) 1- ნეიტრონი; 2- პროტონი; 3- ელექტრონი;
დ) 1- პროტონი; 2- ელექტრონი; 3- ნეიტრონი.



სურ. 7

№ 7 – 8 ამოცანებში: ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ძალწირების მართობულად პროტონი და α ნაწილაკი (ჰელიუმის ატომის ბირთვი) ერთნაირი კინეტიკური ენერგიით შეიჭრა. ცნობილია, რომ α ნაწილაკის მუხტი პროტონის მუხტზე ორჯერ მეტია, მასა კი – ოთხჯერ მეტი.

7. შეადარე ნაწილაკთა მიერ შემოწერილი წრეწირის რადიუსები:

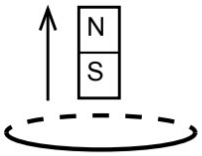
ა) $R_\alpha : R_p = 2 : 1$; ბ) $R_\alpha : R_p = 1 : 1$; გ) $R_\alpha : R_p = 4 : 1$; დ) $R_\alpha : R_p = 1 : 4$.

8. შეადარე ნაწილაკთა წრეწირზე მოძრაობის პერიოდები:

ა) $T_\alpha : T_p = 2 : 1$; ბ) $T_\alpha : T_p = 1 : 2$; გ) $T_\alpha : T_p = 4 : 1$; დ) $T_\alpha : T_p = 1 : 4$.

9. განსაზღვრე შეკრულ წრიულ კონტურში ინდუქციური დენის მიმართულება (სურ. 8):

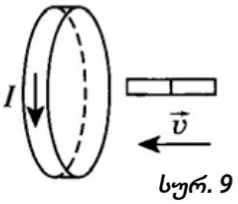
ა) დენი გადის საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით;
ბ) დენი გადის საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით;
გ) დენი არ გადის;
გ) შეუძლებელია განსაზღვრა.



სურ. 8

10. განსაზღვრე მაგნიტის პოლუსი, რომლითაც ის ალუმინის რგოლში შეაქვთ (სურ. 9):

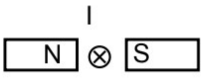
ა) დადებითი; ბ) სამხრეთი;
გ) ჩრდილოეთი; გ) შეუძლებელია განსაზღვრა.



სურ. 9

11. განსაზღვრე მაგნიტის პოლუსებს შორის მოთავსებულ დენიან გამტარზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ძალის მიმართულება (სურ. 10):

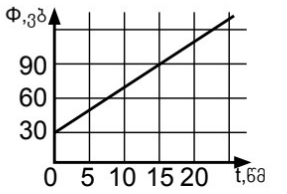
ა) → ; ბ) ←; გ) ↑ ; დ) ↓ .



სურ. 10

12. მე-11 სურათზე გამოსახულ გრაფიკზე ჩანს, თუ როგორ იცვლება შეკრული კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი დროის მიხედვით. გამოთვალე კონტურში t დროის განმავლობაში აღძრული ელექტრომაგნიტური ინდუქციის ემძ.

ა) 2 ვ; ბ) 4 ვ;
გ) 6 ვ; დ) შეუძლებელია განსაზღვრა.



სურ. 11

Don't copy

№ 13 – 15 ამოცანებში: მე-12 სურათზე შეკრული კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკია გამოსახული.

13. დროის რომელ შუალედში აღძრა კონტურში ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მაქსიმალური ემძ?

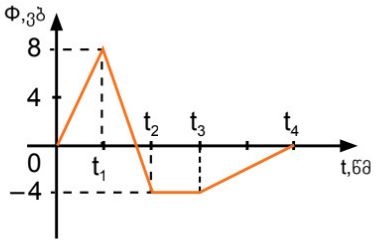
ა) $t \in [0; t_1]$; ბ) $t \in [t_1; t_2]$;

გ) $t \in [t_2; t_3]$; დ) $t \in [t_3; t_4]$.

14. დროის რომელ შუალედში არ აღიძრა კონტურში ელექტრომაგნიტური ინდუქციის ემძ?

ა) $t \in [0; t_1]$; ბ) $t \in [t_1; t_2]$;

გ) $t \in [t_2; t_3]$; დ) $t \in [t_3; t_4]$.



სურ. 12

15. კოჭაში, რომლის ინდუქციურობა 80 მჰნ-ია, 2 ა დენი გადის. განსაზღვრე დრო, რომელშიც წრედის განრთვისას დენი ნულამდე შემცირდება, თუ თვითინდუქციის ემძ კოჭაში 16 ვ-ია.

ა) 10 წმ; ბ) 5 წმ; დ) 0,01 წმ; გ) 0,005 წმ.

Don't copy

ტესტში დაგროვილი ქულების მიხედვით საკუთარი ცოდნის შეფასებას შეძლებ:

დაგროვილი ქულები	შედეგის აღწერა	შეფასება
1 - 5	იმ დავალებებიდან, რომლებიც მართებულად გაქვს შესრულებული, ჩანს, რომ ზოგიერთმა საკითხმა დაგაინტერესა. ვფიქრობ, კარგი იქნება, თუ გავლილ მასალას ხელახლა გადახედავ.	1
6 - 9		2
10 - 13		3
14 - 17		4
18 - 21	ბევრი დავალება მართებულად გაქვს შესრულებული. შედეგის გასაუმჯობესებლად აუცილებლად გააანალიზე, რა ტიპის შეცდომები დაუშვი და რამ განაპირობა ეს შეცდომები. ხელახლა გადახედე გავლილ მასალას და მისი უკეთ გააზრებისთვის დამატებითი სავარჯიშოები გამოიყენე.	5
22 - 25		6
26 - 29	საკმაოდ ბევრი დავალება მართებულად გაქვს შესრულებული. ჩანს, რომ მიმდინარე დავალებებს ყურადღებას აქცევდი. გადახედე დაშვებულ შეცდომებს და გააანალიზე, რა ტიპის შეცდომებს უშვებ ძირითადად და რატომ. გააკეთე დამატებითი სავარჯიშოები და ამოცანები იმ კატეგორიიდან, რომელშიც უფრო მეტი შეცდომა გაქვს დაშვებული.	7
30 - 32		8
33 - 36	შედეგი კარგია. აუცილებლად გააანალიზე მცირე ხარვეზები, რომლებიც ტესტის შესრულებისას დაუშვი. ეს სხვა დროს წვრილმანებზე ყურადღების კონცენტრირებაში დაგეხმარება.	9
37 - 39	გილოცავ! შედეგი ძალიან კარგია. ჩანს, რომ დამოუკიდებლად მუშაობდი, საკლასო და საშინაო დავალებებს სისტემატურად და გააზრებულად ასრულებდი.	10

გაითვალისწინე: თითოეულ დავალებას, სირთულის მიხედვით, გარკვეული ფერი შეესაბამება:

უმარტივესი ; **მარტივი** ; **საშუალო სირთულის** .

მითითება: I თემის დამატებით ამოცანებში, თუ სპეციალური მითითება არ არის, ჩათვალე, რომ მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია.

1.1. შესავალი: „მაგნიტზე, მაგნიტურ სხეულებსა და დიდ მაგნიტზე – დედამიწაზე“

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 8 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა არის ბუნებრივი და მუდმივი მაგნიტი? რით განსხვავდება ისინი ერთმანეთისგან?
2. ჩამოთვალე მაგნიტის თვისებები: როგორ ორიენტირდება მაგნიტის ისარი დედამიწის მაგნიტურ ველში, როგორ ურთიერთქმედებს მაგნიტი სხვა მაგნიტთან, არსებობს თუ არა ერთპოლუსიანი მაგნიტი და ა.შ.
3. აღწერე კომპასის მოქმედების პრინციპი.
4. როგორ განისაზღვრება მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ველის მიმართულება?
5. რა არის მაგნიტური ველის წირები და როგორ განსაზღვრავენ მათ მიმართულებას?
6. საითაა მიმართული დედამიწის მაგნიტური ველის წირები?
7. სად მდებარეობს დედამიწის მაგნიტური ველის ჩრდილო და სამხრეთი პოლუსი?
8. რა გავლენას ახდენს დედამიწის მაგნიტური ველი დედამიწის სხვადასხვა სფეროზე (ლითოსფეროზე, ჰიდროსფეროსა და ატმოსფეროზე)?
9. აღმოაჩინე შეცდომა 1.1. სურათზე:



სურ. 1.1

10. 1.2 სურათზე გამოსახულია ორი ზოლოვანი მაგნიტის ირგვლივ რკინის ნაქლიბის განლაგება. მაგნიტების ერთმანეთისკენ მიქცეული პოლუსები, შესაბამისად, არის:

ა) 1 – N და 2 – S; ბ) 1 – S და 2 – S;
გ) 1 – N და 2 – N; დ) შეუძლებელია განსაზღვრა.
პასუხი ახსენი.



სურ. 1.2

1.2. როგორ იწყებოდა ელექტროდინამიკა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 4 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა არის ერსტედის აღმოჩენის არსი და რატომ იყო მნიშვნელოვანი ეს აღმოჩენა?
2. როგორ ურთიერთქმედებს დენიანი გამტარები?
3. რას ეწოდება მაგნიტური ურთიერთქმედება? მაგნიტური ძალა?
4. როგორ განისაზღვრება დენის ძალის ერთეული – 1ამპერი (ჩამოაყალიბე ძველი და თანამედროვე განსაზღვრება)?
5. შეიძლება თუ არა, რომ ერსტედის ცდა ვაკუუმში ჩავატაროთ? რატომ?

Don't copy

6. რა შემთხვევაში აღიძვრება დამუხტული სხეულების ირგვლივ ელექტრული ველი? მაგნიტური?
7. როგორ შეიძლება აღმოვაჩინოთ გამტარში დენი, თუ ამპერმეტრს (გალვანომეტრს) არ გამოვიყენებთ?
8. მაგნიტური ისრები, რომლებიც დენიანი გამტარის გარშემოა განლაგებული, 180°-ით შემობრუნდა. რით აიხსნება ეს მოვლენა?
9. გამდნარი ლითონის ჭავლში, რომელიც ვერტიკალურად ქვევით ეშვება, ელექტრულ დენს ატარებენ: ჭავლი ამ დროს ხან ფართოვდება და ხანაც ვიწროვდება. როგორ ფიქრობ, რატომ ხდება ასე?

1.3.დენიანი გამტარის მაგნიტური ველი

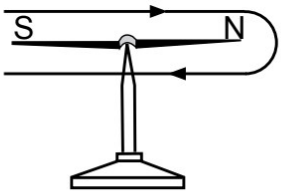
ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 8 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. ჩამოაყალიბე მაგნიტური ველის ძირითადი თვისებები.
2. როგორ გავლენას ახდენს მაგნიტური ველი დენიან ჩარჩოზე და ახსენი ეს მოვლენა.
3. რა არის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი და როგორ განისაზღვრება მისი მიმართულება?
4. რა არის მაგნიტური ველის ინდუქციის წირი და რისთვის იყენებენ მას?
5. რა ინფორმაცია შეიძლება მივიღოთ ველის გრაფიკული სურათიდან?
6. როგორ განისაზღვრება მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების (ვექტორის) მიმართულება:
   ა) წრფივი დენიანი გამტარის შემთხვევაში? ბ) დენიანი კოჭას (სოლენოიდის) შემთხვევაში?
7. რა არის გრიგალური ველი და რით განსხვავდება ის პოტენციალური ველისგან?
8. ჩამოაყალიბე მაგნიტური ველების სუპერპოზიციის პრინციპის არსი.

1.4.ამპერის კანონი

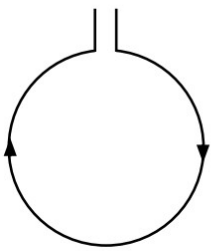
ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 7 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რატომ იყო მნიშვნელოვანი ამპერის აღმოჩენა?
2. რა არის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდული? რისი მახასიათებელია ის და როგორ გამოითვლება? რა არის მისი ფიზიკური არსი (რას გვიჩვენებს)?
3. რა არის მაგნიტური ინდუქციის ერთეული და როგორ განისაზღვრება ის SI-ში?
4. ჩამოაყალიბე ამპერის კანონი (განმარტე ამპერის კანონის მათემატიკურ ჩანაწერში შემავალი ყველა სიდიდე);
5. რა შემთხვევაშია ამპერის ძალის მოდული:
   ა) მაქსიმალური? ბ) ნულის ტოლი?
6. როგორ განისაზღვრება ამპერის ძალის მიმართულება (ჩამოაყალიბე მარცხენა ხელისა და ბურღის წესი);
7. როგორ განისაზღვრება ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი? დაასახელე ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის მაგალითი.



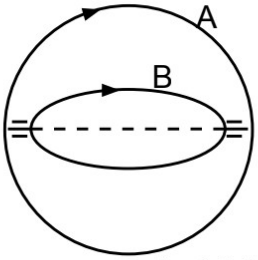
სურ. 1.3

8. რა მიმართულებით შემობრუნდება მაგნიტური ისარი კონტურში, რომელშიც დენი 1.3 სურათზე ნაჩვენები მიმართულებით გადის? რატომ?
   ახსენი, რატომ შემობრუნდება ისარი და რა მოხდება, თუ კონტურში დენის მიმართულება შეიცვლება?
9. წრიული ხვია თავისუფლად ჰკიდია მიმყვან სადენებზე. ხვიაში დენის მიმართულება 1.4 სურათზეა ნაჩვენები. ახსენი, რა მოხდება იმ შემთხვევაში, თუ ხვიის წინ ზოლოვან მაგნიტს მოვათავსებთ:
   ა) ხვიისკენ სამხრეთი პოლუსით;


სურ. 1.4

Don't copy

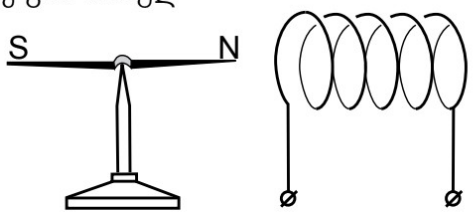
ბ) ხვიისკენ ჩრდილოეთი პოლუსით;
გ) ხვიის სიბრტყის პარალელურად, სამხრეთი პოლუსით მარჯვნივ?



სურ. 1.5

10. A წრიული გამტარი დამაგრებულია, B წრიულ გამტარს კი შეუძლია ბრუნვა ღერძის გარშემო (სურ. 1.5). როგორ მდებარეობას მიიღებს B გამტარი, თუ დენი სურათზე ნაჩვენები მიმართულებით გადის? რატომ? რა მოხდება თუ დენის მიმართულება შეიცვლება?

11. მაგნიტური ისარი სოლენოიდის მიმართ 1.6 სურათზე გამოსახულ მდებარეობას იკავებს. დაადგინე, რა მიმართულებით გადის სოლენოიდში დენი (რომელ მხარეს უნდა დავწეროთ „+“ და „–“ ნიშნები). პასუხი ახსენი. რა მოხდება თუ დენის მიმართულება შეიცვლება?



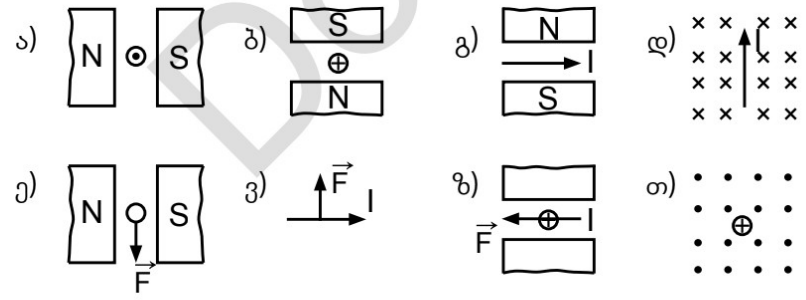
სურ. 1.6

12. მაგნიტურ ველში მოთავსებული 1 სმ² ფართობის ჩარჩოზე მოქმედებს 2 მკნ·მ-ის ტოლი მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი. ახსენი, რა იწვევს ჩარჩოს ბრუნვას და განსაზღვრე მაგნიტური ველის ინდუქცია. ცნობილია, რომ ჩარჩოში გამავალი დენის ძალა 0,5 ა-ია.

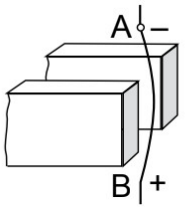
13. 400 სმ² ფართობის ჩართო მოთავსებულია 0,1 ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში ისე, რომ ჩარჩოს ნორმალი ინდუქციის წირების მართობულია. იმოქმედებს თუ არა ჩარჩოზე მაბრუნებელი მომენტი ველის მხრიდან? რატომ? დენის ძალის რა მნიშვნელობის დროს იმოქმედებს ჩარჩოზე 20 მნ · მ მაბრუნებელი მომენტი?

14. 200 გამტარი ხვიის მქონე ბრტყელი მართკუთხა ჩარჩო, რომლის გვერდებია 10 სმ და 5 სმ, მოთავსებულია 0,05 ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში. რა შემთხვევაში იმოქმედებს მაქსიმალური მაბრუნებელი მომენტი ჩარჩოზე? გამოთვალე მისი მნიშვნელობა, თუ ხვიებში გამავალი დენის ძალა 2 ა-ია?

15. 1.7 სურათზე ნაჩვენებია მაგნიტური ველისა და დენის ურთიერთქმედების სხვადასხვა შემთხვევა. ყველა შემთხვევისთვის შეადგინე ამოცანა (განსაზღვრე მოცემულობა და საძიებელი ფიზიკური სიდიდე) და ამოხსენი, ახსენი მოვლენა, რომელიც საფუძვლად უდევს შენ მიერ შედგენილ ამოცანას.



სურ. 1.7



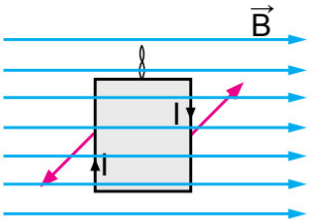
სურ. 1.8

16. განსაზღვრე მაგნიტის პოლუსების განლაგება (სურ. 1.8). ახსენი პასუხი.

17. გამოთვალე იმ მაგნიტური ველის ინდუქცია, რომელშიც 5 სმ აქტიური სიგრძის გამტარზე 50 მნ ძალა მოქმედებს. დენის ძალა გამტარში 25 ა-ია. გამტარი ველის მაგნიტური ინდუქციის მართობულადაა მოთავსებული. რის ტოლი იქნებოდა ძალის მოდული, თუ გამტარი მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის გასწვრივ იქნებოდა ველში მოთავსებული?

18. რა ძალით იმოქმედებს 10 მტლ ინდუქციის მაგნიტური ველი 0,1 მ აქტიური სიგრძის გამტარზე, თუ მასში დენის ძალა 50 ა-ია? ველის ინდუქციის წირები და დენი ურთიერთმართობულია.

Don't copy

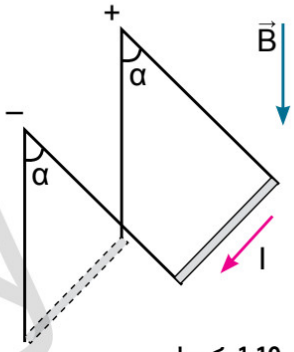


სურ. 1.9

19. ჰორიზონტალურად მოთავსებულ 20 სმ სიგრძისა და 4 გ მასის გამტარში დენის ძალა 10 ა-ია. იპოვე იმ მაგნიტური ველის ინდუქცია (მოდული და მიმართულება), რომელშიც უნდა მოვათავსოთ გამტარი, რომ სიმძიმის ძალა ამპერის ძალამ გააწონასწოროს.

20. 8 სმ სიგრძის გამტარში დენის ძალა 50 ა-ია. გამტარი მოთავსებულია 20 მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. რა მუშაობას შეასრულებს დენის წყარო, თუ გამტარი მაგნიტური ველის ძალწირების მართობულად 10 სმ-ით გადაადგილდა?

21. დენიანი მართკუთხა ჩარჩოს ზომებია 3 სმ × 5 სმ (სურ. 1.9) დენის ძალაა 10 ა, მაგნიტური ველის ინდუქცია – 0,1 ტლ. გამოთვალე მაგნიტური ველის მხრიდან ჩარჩოზე მოქმედი ძალების მომენტთა ჯამი.



სურ. 1.10

22. მაგნიტური ინდუქციის წირების მართობულად მოთავსებულია გამტარი, რომელშიც გადის 10 ა დენი. რისი ტოლია ველის ინდუქცია, თუ გამტარი წონასწორობაშია? გამტარის თითოეული მეტრის მასა 5 გრამია.

23. ვერტიკალურად მიმართული 0,03 ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში მსუბუქ სადენზე ჩამოკიდებულია 2 მმ^2 განივკვეთის სპილენძის გამტარი (სურ. 1.10). ვერტიკალიდან რა კუთხით გადაიხრება სადენები, თუ მასში გაივლის 6 ა დენი?

24. მაგნიტური ველის ძალწირების მართობულად მოთავსებულ 15 სმ სიგრძის გამტარში გადის 8 ა დენი. განსაზღვრე, მუშაობა, რომელიც სრულდება გამტარის 2,5 სმ-ზე გადაადგილებისას ამპერის ძალის მიმართულებით, თუ ველის ინდუქცია 0,4 ტესლაა.

25. გამოთვალე დენის ძალა 1 ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში მოთავსებულ გამტარში, თუ მისი 0,1 მ სიგრძის ნაწილზე ველი მოქმედებს 1,5 ნ ძალით? დენისა და ველის მიმართულებებს შორის კუთხე 30^0-ია.

1.6. ნივთიერების მაგნიტური თვისებები

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 10 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. ჩამოაყალიბე ამპერის ჰიპოთეზა და ახსენი, რა როლი შეასრულა მან თავის დროზე ელექტროდინამიკის განვითარებაში (რომელი მოვლენების ახსნა შეიძლებოდა ჰიპოთეზაზე დაყრდნობით)?
2. რით აიხსნება ე.წ. მოლეკულური დენების არსებობა?
3. რა განაპირობებს ნივთიერების მაგნიტურ თვისებებს? ახსენი, რატომ შეიძლება ჰქონდეს მაგნიტური თვისებები ყველა ნივთიერებას?
4. რა არის მაგნიტური შეღწევადობა (როგორ გამოითვლება ის და რას გვიჩვენებს)?
5. როგორ იყოფა ნივთიერებები მაგნიტური თვისებების მიხედვით?
6. დაახასიათე დია -, პარა - და ფერომაგნეტიკები. ახსენი დია-, პარა- და ფერომაგნეტიკების დამაგნიტების მექანიზმი.
7. როგორ ამზადებენ მუდმივ მაგნიტებს?
8. რა არის კიურის ტემპერატურა?
9. ახსენი:

   ა) რატომ მოქმედებს მაგნიტური ველი მაგნიტურ ისარსა და დენიან ჩარჩოზე (შეკრულ კონტურზე) ერთნაირად (რატომ ქმნის მაბრუნებელ მომენტს)?

   ბ) რატომ სუსტდება (ან საერთოდ ქრება) მაგნიტის მაგნიტური თვისებები დარტყმისას ან როცა მას აცხელებენ?

   გ) რატომ არ შეიძლება ერთპოლუსიანი მაგნიტის მიღება?

Don't copy

დ) რატომ მაგნიტდება სხეული (მაგ., ნემსი, ქაღალდის სამაგრი, რკინის ნაქლიბი) მაგნიტურ ველში?
ე) რატომ მაგნიტდება რკინის სხეული დარტყმისას?

1.7. ლორენცის ძალა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 5 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რას ეწოდება ლორენცის ძალა და როგორ გამოითვლება ის (განმარტე ფორმულაში შემავალი ყველა სიდიდე);
2. რა შემთხვევაშია ლორენცის ძალის მოდული მაქსიმალური? ნულის ტოლი?
3. როგორ განისაზღვრება ლორენცის ძალის მიმართულება?
4. ახსენი, რატომ არ იცვლება ლორენცის ძალის მოქმედებით მოძრავი დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარის მოდული? როგორ გავლენას ახდენს ლორენცის ძალა ნაწილაკის სიჩქარეზე?
5. რატომ ჩნდება ამპერის ძალა, რა არის მისი აღძვრის მიზეზი?

6. 0,2 ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში პროტონი 10 მგმ/წმ სიჩქარით მოძრაობს. იმოქმედებს თუ არა პროტონზე მაგნიტური ველი ძალით, თუ პროტონი მოძრაობს ინდუქციის წირების: ა) მართობულად ; ბ) გასწვრივ? რატომ?
გამოთვალე თითოეულ შემთხვევაში ძალის მოდული.
7. მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად 10 მგმ/წმ სიჩქარით შეიჭრა ელექტრონი. იპოვე ველის ინდუქცია, თუ ველში ელექტრონმა 1 სმ-რადიუსიანი წრეწირი შემოწერა.
8. 0,01 ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში პროტონმა 10 სმ-რადიუსიანი წრეწირი შემოწერა. იპოვე პროტონის სიჩქარე (მოდული და მიმართულება).
9. შეიცვლება თუ არა v სიჩქარით მოძრავი ელექტრონის კინეტიკური ენერგია, როცა იგი ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოხვდება? რატომ?
10. ელექტრონი მოძრაობს B = 4 მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად. იპოვე ელექტრონის მიმოქცევის T პერიოდი.
11. B = 10 მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად შეიჭრა $W_к$ = 30 კევ კინეტიკური ენერგიის ელექტრონი. იპოვე ველში ელექტრონის მოძრაობის ტრაექტორიის სიმრუდის რადიუსი.
12. ერთგვაროვანი ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები და ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციის წირები ურთიერთმართობულია. ელექტრული ველის დაძაბულობა 1 კვ/მ-ია, მაგნიტური ველის ინდუქცია კი 1 მტლ. როგორი უნდა იყოს ელექტრონის სიჩქარის მიმართულება და მოდული, რომ იგი წრფივად მოძრაობდეს?
13. ნაწილაკი, რომლის მუხტია q, მასა კი m, იწყებს v სიჩქარით მოძრაობას $\vec{B}$ ინდუქციის მაგნიტურ ველში. ნაწილაკის სიჩქარის ვექტორი ინდუქციის ვექტორთან ადგენს α კუთხეს. დაამტკიცე, რომ ნაწილაკის ტრაექტორია იქნება ხრახნწირი. გამოთვალე ამ ხრახნწირის სიმრუდის რადიუსი და ბიჯი.
14. ერთნაირი პოტენციალთა სხვაობით აჩქარებული ელექტრონი და პროტონი შედის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად. შეადარე მათი ტრაექტორიების სიმრუდის რადიუსები.
15. ელექტრონი მოძრაობას იწყებს 220 ვ პოტენციალთა სხვაობის ელექტრულ ველში და მისი დატოვების შემდეგ $5 \cdot 10^{-3}$ ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ხვდება. მაგნიტურ ველში ელექტრონი 1 სმ რადიუსის წრეწირზე მოძრაობს. აღწერე, როგორია ელექტრონის მოძრაობა ჯერ ელექტრულ, შემდეგ კი მაგნიტურ ველში და გამოთვალე ელექტრონის მასა.

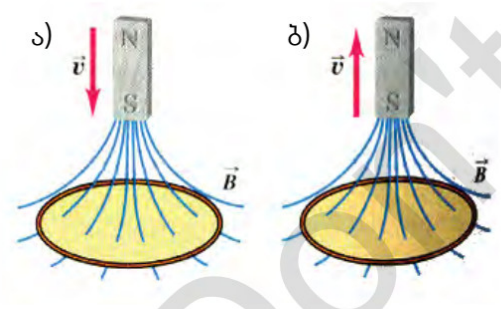
Don't copy

1.9.ფარადეის ცდები

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 6 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა არის ფარადეის აღმოჩენის არსი და რატომ იყო მნიშვნელოვანი ეს აღმოჩენა?
2. რა არის მაგნიტური ნაკადი და რაზეა დამოკიდებული შეკრული კონტურით შემოსაზღვრული ზედაპირის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი?
3. როგორ გამოითვლება მაგნიტური ნაკადი, რა არის მისი ერთეული და როგორ განისაზღვრება ის SI-ში?
4. აღწერე, ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა.
5. რა შემთხვევაში აღიძვრება შეკრულ კონტურში ინდუქციური დენი?
6. როგორ განისაზღვრება ინდუქციური დენის მიმართულება? ჩამოაყალიბე ლენცის წესი.

7. 60 სმ^2 განივკვეთის ფართობის მქონე კონტურის შიგნით მაგნიტური ნაკადი 0,3 მვბ-ია. იპოვე ველის ინდუქცია კონტურის შიგნით. ჩათვალე, რომ ველი ერთგვაროვანია.
8. რას უდრის მაგნიტური ნაკადი, რომელიც 50 სმ^2 ფართობის ბრტყელ ზედაპირს განჭოლავს, თუ ველის ინდუქცია 0,4 ტლ-აა. ზედაპირი ველის ინდუქციის ვექტორის
ა) მართობულია; ბ) მიმართ 45^0-ითაა მოთავსებული; გ) მიმართ 30^0-ითაა მოთავსებული.
9. რა მაგნიტური ნაკადი განჭოლავს 50 სმ^2 ფართობის ბრტყელ ზედაპირს, თუ ველის ინდუქციაა 0,4 ტლ და ზედაპირის სიბრტყე ინდუქციის ვექტორთან ადგენს 30^0-იან კუთხეს?
10. გამოიყენე ლენცის წესი და დაადგინე 1.11 სურათზე გამოსახულ თითოეულ შემთხვევაში ინდუქციური დენის მიმართულება.



სურ. 1.11



სურ. 1.12

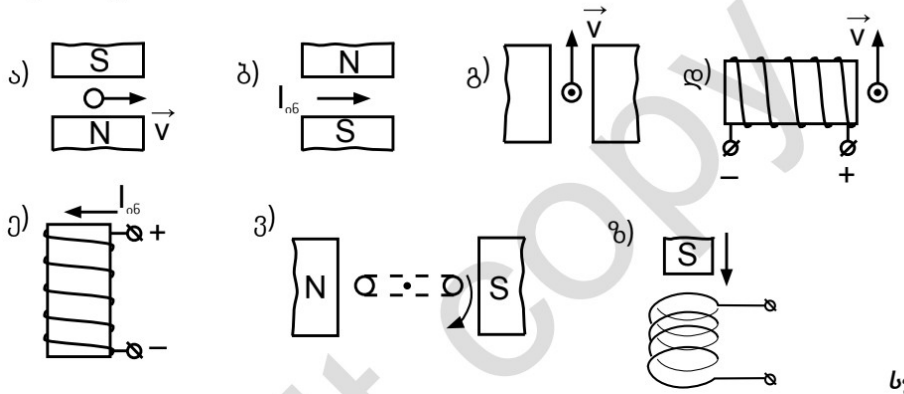
11. ჰორიზონტალური ღერო, რომლის ბოლოებზე ალუმინის ორი რგოლია დამაგრებული, ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ თავისუფლად ბრუნავს (სურ.1.12). **დააკვირდი:** ერთი რგოლი მთლიანია, მეორე კი – გაჭრილი.
თუ ზოლოვან მაგნიტს მთლიან რგოლს მივუახლოებთ, რგოლი მაგნიტისგან განიზიდება. ახსენი ეს მოვლენა.
გამოთქვი ვარაუდი: რა მოხდება, თუ მაგნიტს
ა) მთლიან რგოლს დავაშორებთ? ბ) გაჭრილ რგოლს მივუახლოებთ ან დავაშორებთ?
პასუხები ახსენი და **გადაამოწმე** მათი ჭეშმარიტება ცდით:
აღწერილი ხელსაწყოს მოძებნა სასკოლო ლაბორატორიაშიც შეგიძლია, თუმცა მას თავადაც მარტივად დაამზადებ:
1. რგოლები წვენისთვის განკუთვნილი ალუმინის ქილებისგან გამოჭერი;
2. რგოლები დაკიდე შტატივის თათზე ძაფით (იმის მაგივრად, რომ ჰორიზონტალური ღეროს ბოლოებზე დაამაგრო);
მითითება: ალუმინი პარამაგნიტური ნივთიერებაა, სპილენძი კი- დიამაგნეტური. იმისათვის, რომ უძრავ მაგნიტსა და რგოლს შორის მაგნიტური ურთიერთქმედება სრულიად გამორიცხო, სასურველია, რგოლები სპილენძისგან იყოს დამზადებული.

Don't copy

1.10. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 5 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა არის გრიგალური ელექტრული ველი? ახსენი მისი წარმოშობის მექანიზმი.
2. რატომ აღიძვრება ცვლად მაგნიტურ ველში მოთავსებულ უძრავ შეკრულ გამტარში ინდუქციური დენი? რა არის მისი აღძვრის მიზეზი?
3. რა არის ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა? როგორ გამოითვლება ის?
4. ჩამოაყალიბე ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი. როგორ ჩაიწერება ის მათემატიკურად?
5. რა მიზეზით აღიძვრება ინდუქციის ემძ მუდმივ მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარში?
6. 1.13 სურათზე ნაჩვენებია ელექტრომაგნიტური ინდუქციის სხვადასხვა შემთხვევა. თითოეული შემთხვევისთვის შეადგინე ამოცანა (განსაზღვრე მოცემულობა და საძიებელი ფიზიკური სიდიდე) და ამოხსენი, ახსენი მოვლენა, რომელიც საფუძვლად უდევს შენ მიერ შედგენილ ამოცანას.



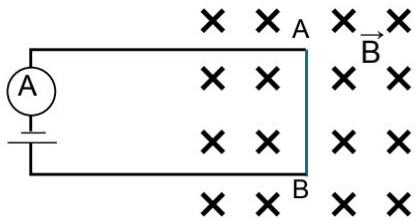
სურ. 1.13

7. აღიძვრება თუ არა ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულ წრიულ ხვიაში ინდუქციური დენი, თუ ხვიას
   ა) გადავაადგილებთ? რატომ?
   ბ) ვაბრუნებთ მისი სიბრტყის ცენტრში მართობულად გამავალი ღერძის გარშემო? რატომ?
   გ) ვაბრუნებთ იმ ღერძის გარშემო, რომელიც მის სიბრტყეში ძევს? რატომ?
8. 500-ხვიიან სოლენოიდში 5 მწმ-ის განმავლობაში მაგნიტური ნაკადი თანაბრად მცირდება 7-დან 3 მვბ-მდე. ახსენი, რატომ აღიძვრება ასეთ შემთხვევაში ინდუქციის ემ ძალა სოლენოიდში და გამოთვალე მისი მნიშვნელობა.
9. იპოვე მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარე სოლენოიდში 120 ვ ემ ძალის აღძვრისას, თუ სოლენოიდის ხვიათა რიცხვი 2000-ია.
10. რამდენ ხვიას უნდა შეიცავდეს 50 სმ^2 განივკვეთის ფოლადის გულარზე დახვეული გრაგნილი, რომ მასში მაგნიტური ინდუქციის 0,1-დან 1,1 ტლ-მდე ცვლილებისას 5 მწმ-ში 100 ვ ინდუქციის ემ ძალა აღიძვრას?
11. 8 მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში 0,25 მ გამტარი 5 მ/წმ სიჩქარით გადაადგილდება მაგნიტური ინდუქციის ვექტორისადმი 30^0-იანი კუთხით. იპოვე ინდუქციის ემ ძალა გამტარში.
12. რა სიჩქარით უნდა გადავაადგილოთ მაგნიტური ინდუქციის წირებისადმი 60^0-იანი კუთხით 1 მ აქტიური ნაწილის სიგრძის გამტარი, რომ მასში 1 ვ ინდუქციის ემ ძალა აღიძრას (ახსენი, მისი ახსნის მიზეზი)?
    მაგნიტური ველის ინდუქცია 0,2 ტლ-აა.
13. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში (B = 0,1 ტლ) მოთავსებული გამტარის AB მონაკვეთის სიგრძე 1 მ-ია, წინაღობა კი 2 ომია. გამტარი მიერთებულია 1 ვ ემ ძალის წყაროსთან

Don't copy

(სურ. 1.14). გამოთვალე დენის ძალა გამტარში, თუ იგი მოძრაობს 4 მ/წმ სიჩქარით: ა) მარჯვნივ; ბ) მარცხნივ.

დაფიქრდი: რა მიმართულებითა და რა სიჩქარით უნდა იმოძრაოს გამტარმა, რომ მასში დენმა არ გაიაროს (მიმყვანი მავთულებისა და დენის წყაროს შიგა წინაღობას ნუ გაითვალისწინებ).



სურ. 1.14

1.12. თვითინდუქცია

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 7 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა არის თვითინდუქციის მოვლენა?
2. აღწერე თვითინდუქციის გამოვლინება წრედის ჩართვისა და განრთვის მომენტში.
3. რა არის კოჭას (გამტარის) ინდუქციურობა, რაზეა ის დამოკიდებული, როგორ გამოითვლება და რა არის მისი ერთეული SI-ში?
4. როგორ გამოთვლება თვითინდუქციის ემძ და რაზეა ის დამოკიდებული?
5. აღწერე ანალოგია, რომელიც ინერციისა და თვითინდუქციის მოვლენას შორის არსებობს.
6. როგორ გამოითვლება კოჭას მაგნიტური ენერგია (განმარტე ფორმულაში შემავალი ფიზიკური სიდიდეები);
7. აღწერე თვითინდუქციის სასარგებლო და საზიანო გამოვლინებები.
8. გამოთვალე სოლენოიდის ინდუქციურობა, თუ ხვიებში 5 ა დენის გავლისას მისი გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი 50 მილივებერია?
9. გამოთვალე 20 მჰნ ინდუქციურობის კოჭაში 10 ა დენის გავლისას აღძრული მაგნიტური ნაკადი.
10. სოლენოიდში, რომლის ინდუქციურობა 0,4 მჰნ-ია, განივკვეთის ფართობი კი 10 სმ^2, დენის ძალა 0,5 ა-ია. იპოვე მაგნიტური ველის ინდუქცია სოლენოიდში, თუ იგი 100 ხვიას შეიცავს. ჩათვალე, რომ ველი ერთგვაროვანია.
11. 20 სმ^2 განივკვეთის რკინის გულარიანი კოჭას ინდუქციურობა 0,02 ჰნ-ია. რისი ტოლი უნდა იყოს დენის ძალა, რომ ინდუქციურობა გულარში 1 მტლ იყოს? კოჭას ხვიათა რიცხვია 1000.
12. იპოვე იმ გამტარის ინდუქციურობა, რომელშიც 0,25 წამის განმავლობაში დენის ძალის 2 ამპერით თანაბრად შემცირებისას 20 მვ თვითინდუქციის ემ ძალა აღიძვრება. ახსენი, მოვლენა, რომელიც საფუძვლად უდევს ამოცანაში აღწერილ სიტუაციას.
13. რა სიდიდის თვითინდუქციის ემ ძალა აღიძვრება 0,4 ჰნ ინდუქციურობის გრაგნილში, თუ დენის ძალა 0,02 წამის განმავლობაში თანაბრად იცვლება 5 ამპერით?
14. კოჭაში გადის 17 ა დენი. მისი წინაღობაა 5 ომი, ინდუქციურობა 0,05 ჰნ. რისი ტოლი იქნება ძაბვა კოჭას მომჭერებზე, თუ დენი თანაბრად იზრდება 10^3 ა/წმ სიჩქარით?
15. გამტარი კონტურის წინაღობაა 0,03 ომი. ამ კონტურში 2 წამში მაგნიტური ნაკადი შეიცვალა $1{,}2 \cdot 10^{-2}$ ვებერით. რა სიდიდის დენი გადიოდა გამტარში, თუ ნაკადი თანაბრად იცვლებოდა?
16. 0,6 ჰნ ინდუქციურობის კოჭაში დენის ძალა 20 ა-ია, გამოთვალე ამ კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია. როგორ შეიცვლება ველის ენერგია, თუ დენის ძალა ორჯერ შემცირდება?
17. რისი ტოლი უნდა იყოს დენის ძალა 0,5 ჰნ ინდუქციურობის დროსელის გრაგნილში, რომ მაგნიტური ველის ენერგია 1 ჯ-ის ტოლი აღმოჩნდეს?
18. იპოვე იმ სოლენოიდის მაგნიტური ველის ენერგია, რომელშიც 10 ა დენის გავლისას 0,5 ვბ მაგნიტური ნაკადი აღიძვრება.
19. 0,5 ჰნ ინდუქციურობის კოჭაში გამავალი დენის ძალის ორჯერ გაზრდისას მაგნიტური ველის ენერგია 3 ჯ-ით გაიზარდა. იპოვე დენის ძალისა და ველის ენერგიის საწყისი მნიშვნელობები.

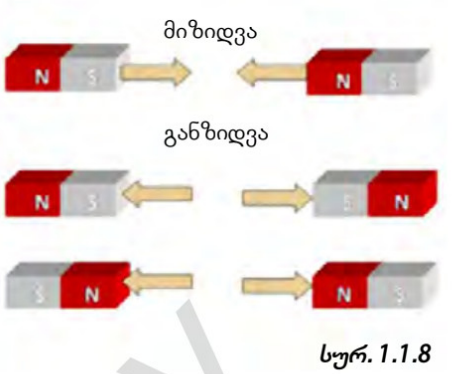
Don't copy

I თემის მოკლე შინაარსი

1.1. შესავალი: „მაგნიტზე, მაგნიტურ სხეულებსა და დიდ მაგნიტზე-დედამიწაზე“

მაგნიტის თვისებები

მაგნიტის იმ უბნებს, რომელთა მახლობლადაც ყველაზე ძლიერია მაგნიტის მიზიდულობა, **პოლუსები** ჰქვია.

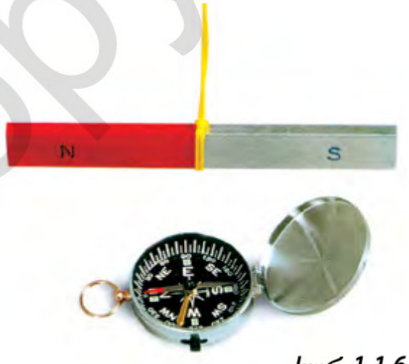


სურ. 1.1.8

თითოეულ მაგნიტს ორი პოლუსი აქვს: ჩრდილო (N) და სამხრეთ (N) პოლუსი. ერთპოლუსიანი მაგნიტი არ არსებობს.

მაგნიტები ურთიერთქმედებს: მაგნიტის ერთნაირი პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავს, განსხვავებული პოლუსები კი – მიიზიდავს (სურ.1.1.8).

მაგნიტურ ისარსაც, როგორც ყველა მაგნიტს, ორი პოლუსი აქვს. მაგნიტური ისარი ყოველთვის ერთი წრფის გასწვრივ ორიენტირდება: ისრის ერთი ბოლო მუდმივად დედამიწის ჩრდილოეთისკენაა მიმართული, ამიტომ მას ისრის (მაგნიტის) **ჩრდილო პოლუსი** (N) უწოდეს. მაგნიტური ისრის მეორე ბოლო კი სამხრეთისკენაა მიმართული და, შესაბამისად, მას ისრის (მაგნიტის) **სამხრეთი პოლუსი** (S) ჰქვია (სურ.1.1.6).



სურ. 1.1.6

მაგნიტური ისრის თვისება გამოყენებულია კომპასში.

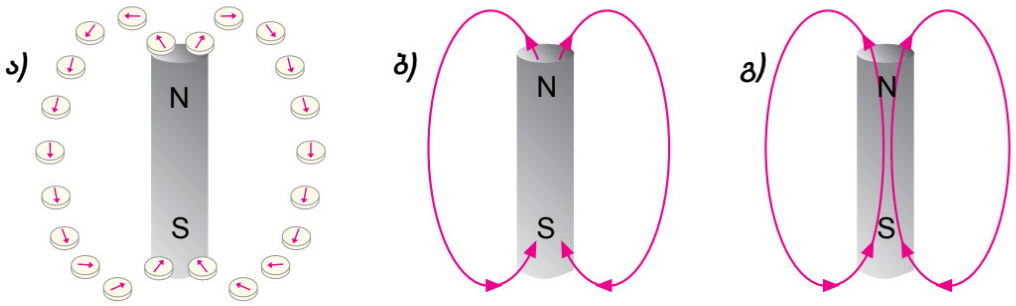
მაგნიტური ველი

მაგნიტი თავის გარშემო ქმნის მაგნიტურ ველს, რომლის საშუალებითაც **სხვა მაგნიტთან ურთიერთქმედებს:** ერთი მაგნიტის მაგნიტური ველი მეორე მაგნიტზე მოქმედებს და – პირიქით.

მაგნიტური ველის მიმართულებად მიჩნეულია ის მიმართულება, საითაც „იყურება“ ამ ველში მოთავსებული მაგნიტური ისრის ჩრდილო პოლუსი (სურ.1.1.15, ა), ანუ **ჩრდილოეთიდან სამხრეთისკენ.**

წირებს, რომელთა გასწვრივაც მაგნიტურ ველში მაგნიტური ისრები (რკინის ნაქლიბი) განლაგდება, **მაგნიტური ველის წირები** ჰქვია.

მაგნიტური ველის წირები შეკრული წირებია: ისინი მაგნიტის ჩრდილოეთ პოლუსიდან გამოდის და სამხრეთ პოლუსში შედის (სურ.1.1.15, ბ). მაგნიტის შიგნით კი წირები სამხრეთიდან ჩრდილოეთ პოლუსისკენაა მიმართული (სურ.1.1.15, გ).



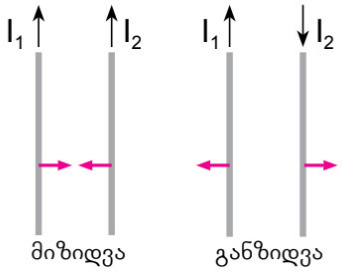
სურ. 1.1.15

Don Copy

1.2.როგორ იწყებოდა ელექტროდინამიკა

დენიანი გამტარის მაგნიტური ველი

დენიანი გამტარი თავის გარშემო მაგნიტურ ველს ქმნის. დენიანი გამტარები ურთიერთქმედებს: თუ ორ პარალელურ გამტარში გამავალი დენი ერთი მიმართულებისაა, დენიანი გამტარები ერთმანეთს მიიზიდავს, ხოლო თუ გამტარებში საპირისპირო მიმართულების დენი გადის, დენიანი გამტარები ერთმანეთს განიზიდავს (სურ.1.2.4).



სურ. 1.2.4

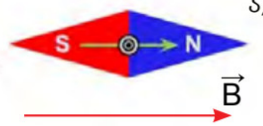
1.3.დენიანი გამტარის მაგნიტური ველი

მაგნიტური ველის ძირითადი თვისებები:

1. მაგნიტურ ველს ელექტრული დენი, ანუ მოძრავი ელექტრული მუხტები, ქმნის (უძრავი ელექტრული მუხტები თავის გარშემო მხოლოდ ელექტრულ ველს ქმნის, რომელიც ელექტრული ძალით მოქმედებს როგორც უძრავ, ისე მოძრავ მუხტებზე);

2. მაგნიტური ველის აღმოჩენა შესაძლებელია მაგნიტურ ისარსა და დენიან გამტარზე (მოძრავ მუხტებზე) მოქმედების შედეგად (უძრავ ელექტრულ მუხტებზე მაგნიტური ველი არ მოქმედებს).

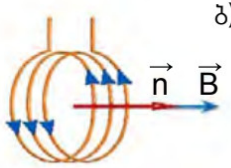
ა)



მაგნიტური ველი დენიან ჩარჩოზე (ისევე, როგორც მაგნიტურ ისარზე) მაორიენტირებელ გავლენას ახდენს.

მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი

ბ)



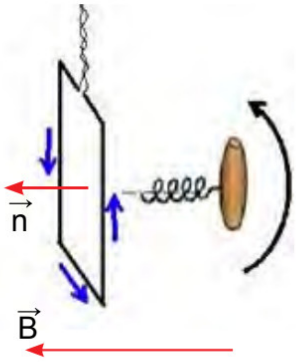
სურ. 1.3.5

მაგნიტური ველის მახასიათებელ ვექტორულ სიდიდეს **მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი** (ან უბრალოდ, **ინდუქციის ვექტორი**) ჰქვია. **მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორს $\vec{B}$-თი აღნიშნავენ.**

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებად მიღებულია:

1. მაგნიტურ ველში მოთავსებული თავისუფლად მბრუნავი მაგნიტური ისრის მიმართულება სამხრეთიდან (S) ჩრდილოეთ პოლუსისაკენ (N) (სურ.1.3.5, ა);

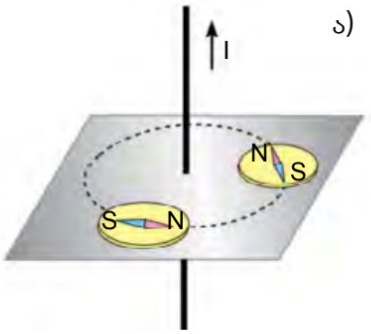
2. ჩარჩოს დადებითი ნორმალის ($\vec{n}$) მიმართულება ველის იმ ადგილას, რომელშიც თავისუფლად მბრუნავი დენიანი ჩარჩოა მოთავსებული (სურ.1.3.5, ბ): ჩარჩოს ნორმალი იგივეა, რაც ჩარჩოს სიბრტყის მართობი. ნორმალის (მართობის) დადებითი მიმართულება კი ის მიმართულებაა, საითაც **ბურღის** წვერი გადაადგილდება, თუ მის ტარს ჩარჩოში გამავალი დენის მიმართულებით ვაბრუნებთ (სურ. 1.3.6).



სურ. 1.3.6

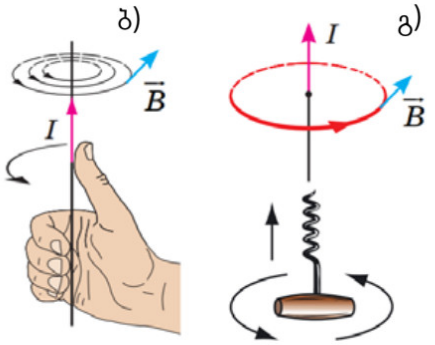
მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულების განსაზღვრა მაგნიტური ისრის დახმარებითაცაა შესაძლებელი (სურ.1.3.12, ა): ინდუქციის ვექტორის მიმართულება ემთხვევა მაგნიტურ ველში მოთავსებული თავისუფლად მბრუნავი მაგნიტური ისრის მიმართულებას სამხრეთიდან (S) ჩრდილოეთ პოლუსისაკენ (N).

ა)



Don't copy

წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულება



სურ. 1.3.12

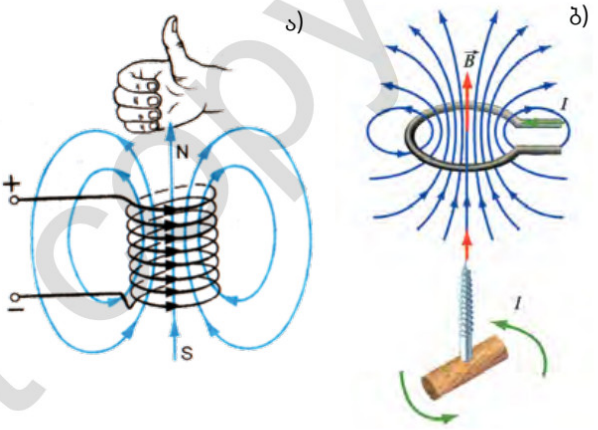
წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების (ვექტორის) მიმართულება განისაზღვრება:

1. **მარჯვენა ხელის I წესით** (სურ.1.3.12,ბ):

თუ წრფივ გამტარს მარჯვენა ხელში ისე მოიქცევ, რომ გაშლილი ცერი გამტარში გამავალი დენის მიმართულებას უჩვენებდეს, მაშინ დანარჩენი ოთხი მოხრილი თითი წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის წირების (და, შესაბამისად, ინდუქციის ვექტორის) მიმართულებას გიჩვენებს.

2. **ბურღის წესით** (სურ.1.3.12, გ): თუ ბურღს ისე აბრუნებ, რომ წვერის გადაადგილების მიმართულება გამტარში დენის მიმართულებას დაემთხვას, მაშინ ბურღის ტარის ბრუნვის მიმართულება მაგნიტური ინდუქციის წირების მიმართულებას დაემთხვევა.

სოლენოიდის მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების მიმართულება



სურ. 1.3.16

დენიანი კოჭას (სოლენოიდის) მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების მიმართულება განისაზღვრება:

1. მარჯვენა ხელის II წესით (სურ.1.3.16, ა): თუ სოლენოიდს მარჯვენა ხელში ისე მოიქცევ, რომ ოთხი მოხრილი თითი ხვიებში გამავალი დენის მიმართულებას უჩვენებდეს, მაშინ გაშლილი ცერი გიჩვენებს მაგნიტური ველის ძალწირების მიმართულებას ხვიების ცენტრში.

2. ბურღის წესით (სურ. 1.3.16, ბ): თუ ბურღს ისე აბრუნებ, რომ ტარის ბრუნვის მიმართულება ხვიებში დენის მიმართულებას დაემთხვას, მაშინ ბურღის წვერის გადაადგილების მიმართულება მაგნიტური ინდუქციის წირების მიმართულებას დაემთხვევა.

მაგნიტური ველი გრიგალური ველია

მაგნიტური ინდუქციის წირების **მნიშვნელოვანი თავისებურება** ის არის, რომ მათ არც დასაწყისი აქვთ და არც დასასრული: **მაგნიტური ინდუქციის წირები შეკრული წირებია.** ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ბუნებაში **მაგნიტური მუხტები არ არსებობს**.

ველს, რომელიც შეკრული წირებით ხასიათდება, **გრიგალური ველი** ჰქვია. ასე რომ, **მაგნიტური ველი გრიგალური ველია.** დააკვირდი სურათებს (სურ. 1.3.9, 1.3.12): მუდმივი მაგნიტის, წრფივი დენიანი გამტარისა და სოლენოიდის მაგნიტური ველის ინდუქციის წირები შეკრულია.

1.4.ამპერის კანონი

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდული (მაგნიტური ინდუქცია)

ძალას, რომლითაც მაგნიტური ველი დენიან გამტარზე მოქმედებს **ამპერის ძალა** ჰქვია.

მაგნიტური ინდუქცია (ინდუქციის ვექტორის მოდული) (B) **ტოლია მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიანი გამტარის მონაკვეთზე (დენის ელემენტზე) მოქმედი ამპერის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობის შეფარდებისა მონაკვეთში გამავალი დენის ძალისა და მონაკვეთის სიგრძის ნამრავლთან:**

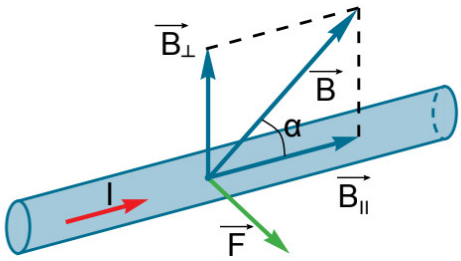
Don't copy

$$B = \frac{F_{მაქს}}{I\ell} \qquad (1.4.2)$$

მაგნიტური ინდუქციის მოდული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად გვიჩვენებს, რა მაქსიმალური ძალით მოქმედებს მაგნიტური ველი მასში მოთავსებული გამტარის 1 მ სიგრძის მონაკვეთზე, როცა გამტარში 1 ა დენი გადის.

მაგნიტური ინდუქციის ერთეულად SI-ში მიღებულია 1 ტესლა.

ამპერის კანონი



სურ. 1.4.4

ამპერის კანონის თანახმად: **ამპერის ძალის მოდული ($F_ა$), რომლითაც მაგნიტური ველი მასში მოთავსებული დენიანი გამტარის მცირე მონაკვეთზე (დენის ელემენტზე) მოქმედებს, ტოლია მაგნიტური ველის ინდუქციის (B), გამტარში გამავალი დენის ძალის (I), დენიანი გამტარის მონაკვეთის სიგრძის (ℓ) ნამრავლისა იმ α კუთხის სინუსზე, რომელსაც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი დენის მიმართულებასთან ქმნის.**

ამპერის კანონი მათემატიკურად ასე ჩაიწერება:

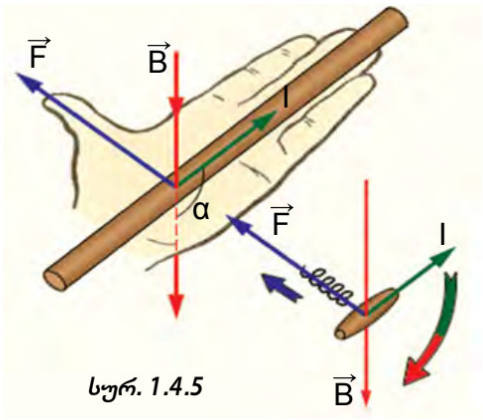
$$F_ა = B\,I\,\ell\,\sin\alpha \qquad (1.4.3)$$

როცა მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი დენიანი გამტარის მონაკვეთის:

ა) მართობულია ($\alpha = 90^0$), მაშინ $\sin\alpha = 1$ და **ამპერის ძალა თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს;**

ბ) გასწვრივაა მიმართული ($\alpha = 0^0$), მაშინ $\sin\alpha = 0$ და ამპერის ძალა 0-ს უტოლდება, ანუ ასეთ შემთხვევაში **დენიანი გამტარის მონაკვეთზე მაგნიტური ველი არ მოქმედებს.**

ამპერის ძალის მიმართულება



სურ. 1.4.5

ამპერის ძალის მიმართულება მარცხენა ხელის წესით განისაზღვრება (სურ.1.4.5): **თუ მარცხენა ხელს ისე მოათავსებ, რომ:**

1. ინდუქციის ვექტორი (გამტარისადმი მართობული მისი მდგენელი) ხელისგულში შედიოდეს;

2. გაშლილი ოთხი თითი გამტარში დენის მიმართულებას გიჩვენებდეს,

მაშინ 90⁰-ით გაშლილი ცერი დენიანი გამტარის მონაკვეთზე მოქმედი ამპერის ძალის მიმართულებას მიგანიშნებს.

ასე რომ, **ამპერის ძალა ყოველთვის როგორც გამტარის, ისე იმ მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მართობულია, რომელშიცაა მოთავსებული (შენიშვნა:** მარცხენა ხელის წესით ინდუქციის ვექტორის ან გამტარში გამავალი დენის მიმართულების განსაზღვრაც შეგიძლია).

ამპერის ძალის მიმართულების განსაზღვრა შესაძლებელია ბურღის წესითაც: წარმოიდგინე, ბურღი ისე გიჭირავს, რომ მისი ღერძი მართობულია როგორც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის, ისე გამტარში დენის მიმართულებისა (სურ. 1.4.5). თუ წარმოსახვით ბურღს ისე აბრუნებ, რომ მისი ტარი დენის მიმართულებიდან ვექტორისკენ ბრუნავდეს, ბურღის წვერი ამპერის ძალის მიმართულებით გადაადგილდება.

ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი

თუ სივრცის გარკვეულ ნაწილში მაგნიტური ველის ნებისმიერ წერტილში მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება და მოდული ერთნაირია, მაშინ ამბობენ, რომ სივრცის ამ ნაწილში **მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია.**

Don't copy

1.6. ნივთიერებების მაგნიტური თვისებები

ამპერის ჰიპოთეზა. მოლეკულური დენები.

ამპერის ჰიპოთეზის თანახმად, მუდმივი მაგნიტის და ზოგადად, **ნივთიერების მაგნიტური თვისებები მასში ელემენტარული წრიული დენების** (ე.წ „ამპერის დენების“ ან „მოლეკულური დენების) **არსებობითაა განპირობებული.**

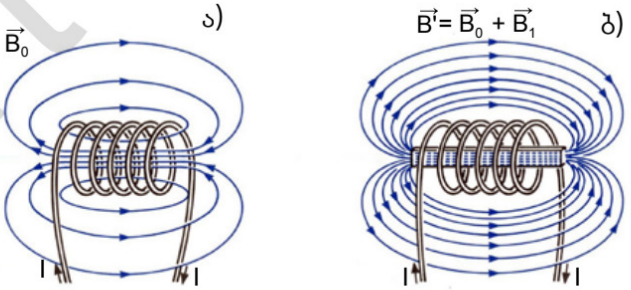
მოლეკულური დენები, რომელთა არსებობასაც ამპერი ვარაუდობდა, ატომებში ელექტრონების მოძრაობის შედეგად აღიძვრება. მოლეკულური დენები კი, თავის მხრივ, მაგნიტურ ველებს ქმნის. შესაბამისად, **მაგნიტური თვისებები ყველა ნივთიერებას შეიძლება ჰქონდეს**, თუმცა ატომების, მოლეკულების აგებულებისა და განლაგების განსხვავებულობის გამო, სხვადასხვა ნივთიერების მაგნიტური თვისებები განსხვავებულია. განსხვავებულია ერთი და იმავე ნივთიერების მაგნიტური თვისებებიც კი სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში.

უმრავლეს შემთხვევაში, ნივთიერებაში **ცალკეული ელექტრონების, ასევე ცალკეული ატომებისა და მოლეკულების მაგნიტური ველი მთლიანად ან თითქმის მთლიანად კომპენსირებულია.** ნაწილაკთა სითბური მოძრაობის გამო, სიბრტყეები, რომლებშიც მოლეკულური დენები ცირკულირებს, ერთმანეთის მიმართ უწესრიგოდაა განლაგებული (სურ. 1.6.3, ა). ამის გამო ნივთიერებათა უმრავლესობას მაგნიტური თვისებები ან საერთოდ არ აღენიშნება, ან საკმაოდ სუსტად აქვს გამოხატული. პრაქტიკაში ასეთი ნივთიერებების მაგნიტურ თვისებებს უგულებელყოფენ და ამბობენ, რომ ისინი **არამაგნიტური** ნივთიერებებია.

თუ ნივთიერებაში მოლეკულური დენების მიმართულება ერთმანეთს ემთხვევა, მაშინ სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად, მათი მაგნიტური ველების ზედდება ხდება და ჯამური ველი გაძლიერდება. ასეთ შემთხვევაში ნივთიერებას მკვეთრად გამოხატული **მაგნიტური თვისებები** აქვს (სურ. 1.6.3, ბ).

ყველა ნივთიერება მაგნიტურ ველში მოთავსებისას მაგნიტდება, ანუ თავადაც ქმნის მაგნიტურ ველს.

ვთქვათ, $\vec{B}_0$ იმ მაგნიტური ველის ინდუქციაა, რომელსაც თავის გარშემო დენიანი სოლენოიდი ქმნის ვაკუუმში (როცა სოლენოიდის შიგნით ნივთიერება არ არის) (სურ.1.6.5 ა).



სურ. 1.6.5

დენიანი სოლენოიდის ველში მოთავსებული რკინის გულარი (ნივთიერება) **დამაგნიტდება** და თავის მხრივ, შექმნის მაგნიტურ ველს, რომლის ინდუქციაა $\vec{B}_1$.

სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად, **ჯამური მაგნიტური ველის ინდუქცია ($\vec{B}'$), რომელიც დენიანი სოლენოიდის გარშემო იქმნება, როცა მასში რკინის გულარია (ნივთიერებაა) მოთავსებული, ასე გამოითვლება** (სურ. 1.6.5, ბ):

$$\vec{B}' = \vec{B}_0 + \vec{B}_1 \qquad (1.6.1)$$

მაგნიტური შეღწევადობა

ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს, **ვაკუუმთან შედარებით,** რამდენჯერ განსხვავდება მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული ერთგვაროვან ნივთიერებაში, ნივთიერების **მაგნიტური შეღწევადობა** ჰქვია (იგულისხმება, რომ მაგნიტური ველის წყარო ორივე შემთხვევაში ერთნაირია და ნივთიერება მთლიანად ავსებს სივრცეს, რომელშიც მაგნიტური ველია).

Don't copy

მაგნიტური შეღწევადობა μ ასოთი აღინიშნება და ასე გამოითვლება:

$$\mu = \frac{B}{B_0} \qquad (1.6.2)$$

B დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციაა ნივთიერებაში, ხოლო B_0 - იმავე დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქცია ვაკუუმში.

ნივთიერების მაგნიტური შეღწევადობა დიალექტრიკული შეღწევადობის მსგავსი სიდიდეა, თუმცა ელექტრული ველი დიელექტრიკში ყოველთვის მცირდება, **მაგნიტური ველი ნივთიერებაში კი შეიძლება გაძლიერდეს და შეიძლება შემცირდეს კიდეც.**

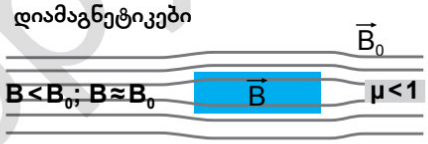
ნივთიერებების მაგნიტური თვისებები

ნივთიერებები მაგნიტური თვისებების მიხედვით სამ ძირითად ჯგუფად იყოფა: დია -, პარა - და ფერომაგნეტიკებად.

დიამაგნეტიკები

ნივთიერებებს, რომელთა მაგნიტური შეღწევადობა 1-ზე ნაკლებია (μ < 1) და მცირედ განსხვავდება მისგან, **დიამაგნეტიკები** ჰქვია. მაგ., **დიამაგნეტიკებია:** წყალი, ვერცხლი, ოქრო, ნახშირბადი, ტყვია, კვარცი, აირები (გარდა ჟანგბადის). დიამაგნეტიკებიდან ყველაზე ძლიერის – **ბისმუტის** – მაგნიტური შეღწევადობა 0,999824-ს უტოლდება. წყლისთვის μ = 0,999991.

დიამაგნეტიკში მაგნიტური ველი ვაკუუმთან შედარებით ოდნავ სუსტდება: $B < B_0$ და ამასთან, დიამაგნეტიკებში მაგნიტური ველი (B) მცირედ განსხვავდება B_0-სგან ($B \approx B_0$) (1.6.7).



სურ. 1.6.7

დიამაგნეტიკი გარე მაგნიტური ველიდან გამოიდევნება (დიამაგნეტიკი გამოიდევნება არაერთგვაროვანი მაგნიტური ველიდან, დიდი ინდუქციის მიდამოდან მცირესკენ): დიამაგნეტიკის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი ($\vec{B}_1$) იმ მაგნიტური ველის ინდუქციის საწინააღმდეგოდაა მიმართული, რომელშიცაა მოთავსებული:

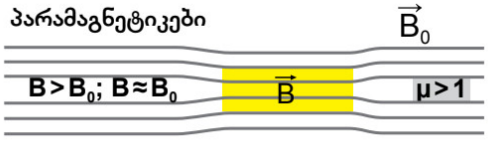
$$\vec{B}_1 \uparrow\downarrow \vec{B}_0$$

დიამაგნეტიკები ისეთი ნივთიერებებია, რომლებიც მაგნიტურ ველში ინდუქციის ვექტორის საწინააღმდეგო მიმართულებით სუსტად მაგნიტდება ($B_1 << B_0$).

პარამაგნეტიკები

ნივთიერებებს, რომელთა მაგნიტური შეღწევადობა 1-ზე მეტია (μ >1) და მცირედ განსხვავდება მისგან, **პარამაგნეტიკები** ჰქვია. მაგ., **პარამაგნეტიკებია:** პლატინა (μ = 1,00036), თხევადი ჟანგბადი (μ = 1,0034), ჰაერი (μ = 1,00000038), ებონიტი, ალუმინი, ვოლფრამი და ა.შ.

მაგნიტური ველი ვაკუუმთან შედარებით ოდნავ იზრდება, როცა მასში პარამაგნეტიკს ათავსებენ: $B > B_0$ და ამასთან პარამაგნეტიკებში მაგნიტური ველი (B) მცირედ განსხვავდება B_0-სგან ($B \approx B_0$) (სურ. 1.6.9).



სურ. 1.6.9

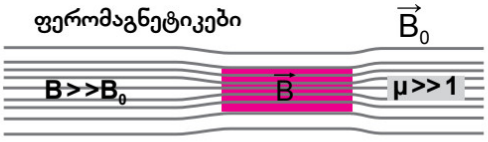
პარამაგნეტიკის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი ($\vec{B}_1$) იმ მაგნიტური ველის ინდუქციის თანამიმართულია, რომელშიცაა მოთავსებული:

$$\vec{B}_1 \uparrow\uparrow \vec{B}_0$$

პარამაგნეტიკები ისეთი ნივთიერებებია, რომლებიც მაგნიტურ ველში ინდუქციის ვექტორის მიმართულებით სუსტად მაგნიტდებიან ($B_1 << B_0$).

Do not copy

ფერომაგნეტიკები



სურ. 1.6.10

ფერომაგნეტიკების მაგნიტური შეღწევადობა გაცილებით მეტია 1-ზე (μ >> 1): მისი მნიშვნელობა რამდენიმე ათეულ, ასეულ და, ზოგ შემთხვევაში, ათას ერთეულს აღწევს. მაგ., კობალტისთვის μ =175; რკინისთვის μ ≈1000; ნიკელისთვის μ =1120; პერმალოისთვის (რკინა-ნიკელის შენადნობი) μ =250 000; სუპერმალოისთვის μ =10^6.

ფერომაგნეტიკებისთვის μ >> 1, რაც იმას ნიშნავს, რომ:

ა) გარე მაგნიტურ ველში ($\vec{B}_0$) მოთავსებისას ფერომაგნეტიკური ნივთიერება დამაგნიტდება და საკუთარ მაგნიტურ ველს ($\vec{B}_1$) შექმნის, რომლის ინდუქცია გაცილებით აღემატება გარე მაგნიტური ველის ინდუქციას ($B_1 >> B_0$) (სურ. 1.6.10);

ბ) **ფერომაგნეტიკები** მაგნიტურ ველში ინდუქციის ვექტორის მიმართულებით ძლიერად მაგნიტდება და, შესაბამისად, მაგნიტური ველი ძლიერდება, როცა მასში ფერომაგნიტურ ნივთიერებას მოათავსებ:

$$\vec{B}_1 \uparrow\uparrow \vec{B}_0,\ B >> B_0$$

(სწორედ ამიტომ ათავსებენ ელექტრომაგნიტის დენიან კოჭაში ფერომაგნეტიკის გულარს: დენიანი კოჭას მაგნიტური ველის ინდუქცია მნიშვნელოვნად, ასჯერ, ათასჯერ იზრდება).

ფერომაგნეტიკების მაგნიტური შეღწევადობა მუდმივი სიდიდე არ არის. ის დამოკიდებულია იმ გარე (დამამაგნიტებელი) ველის ინდუქციაზე, რომელშიც ფერომაგნიტური ნიმუშია მოთავსებული.

ფერომაგნეტიკის მაგნიტური თვისებები შეიძლება მასზე გარეშე ზემოქმედების (მაგ., დარტყმის ან ტემპერატურის მომატებისას) შემცირდეს, ან სულაც გაქრეს. ყოველი ფერომაგნეტიკისთვის არსებობს ტემპერატურის გარკვეული მნიშვნელობა, რომლის შემდეგაც ის ფერომაგნიტურ თვისებებს კარგავს და პარამაგნეტიკად გადაიქცევა. ამ ტემპერატურას **კიურის ტემპერატურა (კიურის წერტილი)** ჰქვია.

1.7. ლორენცის ძალა

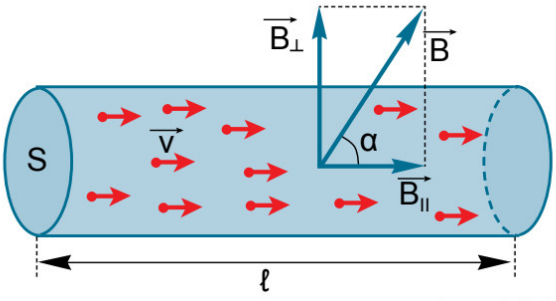
ლორენცის ძალის მოდული

ძალას, რომლითაც მაგნიტური ველი მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებს, **ლორენცის ძალა** ჰქვია. **ლორენცის ძალა** ($F_ლ$) ასე გამოითვლება:

$$F_ლ = B|q_0|v\sin\alpha \qquad (1.7.5)$$

სადაც

B მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მოდულია (თუ დავუშვებთ, რომ რომ გამტარის განივკვეთის ფართობი და მონაკვეთის სიგრძე ძალიან მცირეა, მაშინ მონაკვეთის ირგვლივ მაგნიტური ინდუქცია შეგვიძლია მუდმივად მივიჩნიოთ);



სურ. 1.7.3

q_0 მაგნიტურ ველში მოძრავი ნაწილაკის მუხტია;

v ნაწილაკთა მიმართული მოძრაობის სიჩქარის მოდულია;

α კუთხეა, რომელსაც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი გამტარში გამავალი დენის მიმართულებასთან ადგენს (სურ. 1.7.3). **გაიხსენე:** დენის მიმართულებად დადებითად დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებული მოძრაობის მიმართულებაა მიღებული.

მაგნიტური ველი უძრავ მუხტებზე არ მოქმედებს: თუ v = 0, მაშინ ლორენცის ძალა 0-ის ტოლია. **მაგნიტური ველი მხოლოდ მოძრავ მუხტებზე მოქმედებს.**

Demo copy

თუ მუხტი მაგნიტურ ველში მოძრაობს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის:

ა) გასწვრივ ($\vec{v} \uparrow\uparrow \vec{B}$ ან $\vec{v} \uparrow\downarrow \vec{B}$), მაშინ ლორენცის ძალის მოდული 0-ის ტოლია;

თუ დამუხტული ნაწილაკი მაგნიტურ ველში ძალწირების პარალელურად მოძრაობს, მაგნიტური ველის მხრიდან ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალა ნულის ტოლია. რაც იმას ნიშნავს, რომ ასეთ შემთხვევაში **ნაწილაკი მაგნიტურ ველში წრფივად და თანაბრად იმოძრავებს:** ის მაგნიტურ ველში მოძრაობას გააგრძელებს იმავე სიჩქარით, რომელიც მას ველში შეჭრისას ჰქონდა.

ბ) მართობულად ($\vec{v} \perp \vec{B}$), მაშინ ლორენცის ძალის მოდული მაქსიმალურია.

თუ ლორენცის ძალა დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარის მართობულია, ის ნაწილაკს ცენტრისკენულ აჩქარებას მიანიჭებს. ასე რომ, **ინდუქციის ვექტორის მართობულად მოძრავი დამუხტული ნაწილაკი მაგნიტურ ველში წრეწირზე მოდულით მუდმივი სიჩქარით იმოძრავებს** (ლორენცის ძალა ნაწილაკის სიჩქარის მოდულს არ ცვლის).

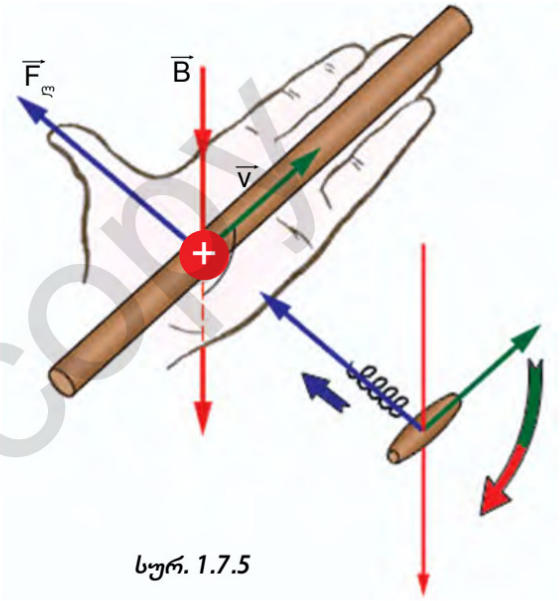
ლორენცის ძალის მიმართულება

ლორენცის ძალის მიმართულება, ისევე, როგორც ამპერის ძალისა, **მარცხენა ხელის წესით განისაზღვრება:** თუ მარცხენა ხელს ისე მოვათავსებთ, რომ

ა) ინდუქციის ვექტორი (მისი სიჩქარისადმი მართობული მდგენელი) ხელისგულში შედიოდეს;

ბ) გაშლილი ოთხი თითი კი დადებითი მუხტის სიჩქარის მიმართულებას (ან უარყოფითი მუხტის სიჩქარის საწინააღმდეგო მიმართულებას) გვიჩვენებდეს,

მაშინ 90°-ით გაშლილი ცერი დადებით (უარყოფით) მუხტზე მოქმედი ლორენცის ძალის მიმართულებას მიგვანიშნებს (სურ. 1.7.5).



სურ. 1.7.5

ლორენცის ძალის მიმართულების განსაზღვრა ბურღის წესითაცაა შესაძლებელი: წარმოიდგინე, ბურღი ისე გიჭირავს, რომ მისი წვერის მიმართულება მართობულია როგორც ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორისა, ისე სიჩქარის $\vec{v}$ ვექტორისა (სურ. 1.7.5). ლორენცის ძალა მიმართულია იმ მხარეს, საითაც გადაადგილდება წარმოსახვითი ბურღის წვერი, თუ მის ტარს $\vec{v}$ ვექტორიდან $\vec{B}$ ვექტორისკენ აბრუნებ.

გაითვალისწინე, ლორენცის ძალა მართობულია როგორც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორისა, ისე ნაწილაკის სიჩქარის:

$$\vec{F}_ლ \perp \vec{B} \quad \text{და} \quad \vec{F}_ლ \perp \vec{v}.$$

გაიხსენე: თუ სხეულზე მოდებული ძალა გადაადგილების (სიჩქარის) მართობულია, მაშინ ის მუშაობას არ ასრულებს. **ლორენცის ძალა ყოველთვის ნაწილაკის სიჩქარის მართობულია, ამიტომ ის მუშაობას არ ასრულებს.**

ლორენცის ძალის მოქმედებით მოძრავი დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარის მოდული არ იცვლება, იცვლება მხოლოდ ნაწილაკის სიჩქარის მიმართულება.

1.9. ფარადეის ცდები

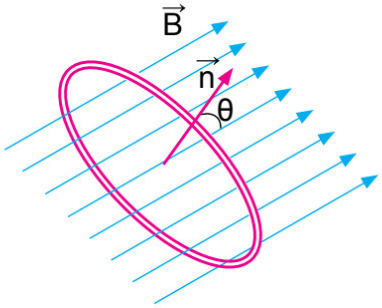
მაგნიტური ნაკადი

შეკრული კონტურით შემოსაზღვრული S ფართობის გამჭოლ მაგნიტური ინდუქციის წირთა რაოდენობას ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც კონტურით შემოსაზღვრულ ფართობში გამავალი **მაგნიტური ნაკადი** ჰქვია.

Don't copy

მაგნიტურ ნაკადს Φ ასოთი აღნიშნავენ და გამოითვლება ფორმულით:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha \qquad (1.9.1)$$



სურ. 1.9.10

რომელშიც:

B მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულია;

S შეკრული კონტურით შემოსაზღვრული ზედაპირის ფართობია;

α კუთხეა ინდუქციის ვექტორსა და სიბრტყის ნორმალს შორის (სურ. 1.9.10).

მაგნიტური ნაკადის ერთეულად SI -ში მიღებულია 1 ვებერი.

ელექტრომაგნიტური ინდუქცია

შეკრულ გამტარ კონტურში (კოჭას ხვიებში) დენი მაშინ აღიძვრება, როცა კონტურით შემოსაზღვრული ფართობის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი (ინდუქციის წირების რაოდენობა) იცვლება: რაც უფრო სწრაფად იცვლება მაგნიტური ნაკადი, მით უფრო დიდია წარმოქმნილი დენი.

შეკრულ კონტურში ელექტრული დენის აღძვრის მოვლენას, კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებისას, ელექტრომაგნიტური ინდუქცია ჰქვია.

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის დროს აღძრულ (ინდუცირებულ) ელექტრულ დენს **ინდუქციურ დენს** უწოდებენ.

ინდუქციური დენის მიმართულება–ლენცის წესი

ლენცის წესის თანახმად,

შეკრულ კონტურში აღძრულ ინდუქციურ დენს ისეთი მიმართულება აქვს, რომ მის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი ცდილობს შეეწინააღმდეგოს იმ მაგნიტური ნაკადის ნებისმიერ ცვლილებას, რომელიც ამ ინდუქციურ დენს წარმოშობს.

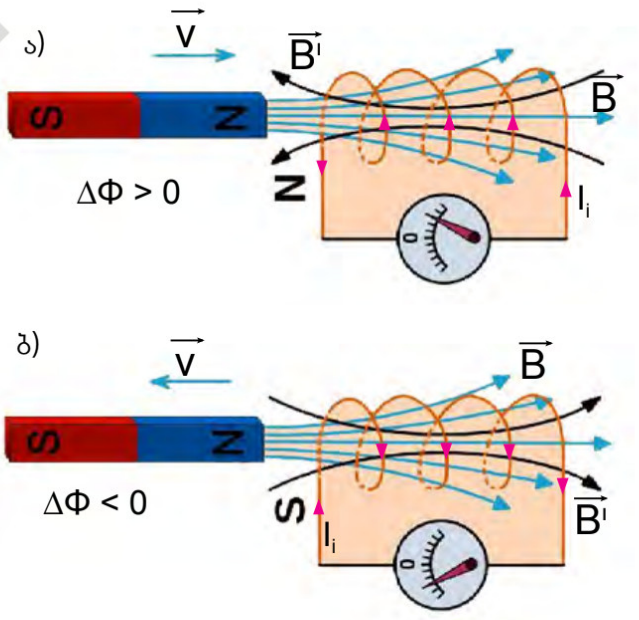
იმისათვის, რომ **შეკრულ კონტურში ინდუქციური დენის მიმართულება დავადგინოთ, საჭიროა:**

1. განვსაზღვროთ, გარე მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულება;

2. გავარკვიოთ, როგორ იცვლება კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი: იზრდება ($\Delta\Phi > 0$), თუ მცირდება ($\Delta\Phi < 0$);

3. ლენცის წესის თანახმად, დავადგინოთ ინდუქციური დენის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულება:

ა) თუ $\Delta\Phi > 0$, მაშინ და ვექტორები ურთიერთსაპირისპიროდაა მიმართული (სურ. 1.9.15,ა);



სურ. 1.9.15

ბ) თუ $\Delta\Phi < 0$, მაშინ და ვექტორები თანამიმართულია (სურ. 1.9.15,ბ);

4. გამოვიყენოთ **ბურღის** ან **მარჯვენა ხელის II წესი** (იხ. გვ.33): დავადგინოთ ინდუქციური დენის მიმართულება ინდუქციის ვექტორის მიმართულების მიხედვით.

Don't copy

1.10. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის თანახმად,

შეკრულ კონტურში ინდუქციის ემ ძალის მოდული კონტურით შემოსაზღვრული ფართობის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარის ტოლია:

$$|\varepsilon_i| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| \qquad (1.10.5)$$

ε_i -სა და $\Delta\Phi / t$ შეფარდებას საპირისპირო ნიშანი აქვს. ამის გათვალისწინებით **ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი მათემატიკურად ასე ჩაიწერება:**

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (1.10.6)$$

თუ ინდუქციური დენი არა ერთ, არამედ კოჭას N ცალ ერთნაირ ხვიაში აღიძვრება, მაშინ კოჭაში აღძრული ინდუქციის ემძ N-ჯერ მეტი იქნება, ვიდრე – ემძ ერთ ხვიაში:

$$\varepsilon_i = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (1.10.7)$$

მაგნიტური ნაკადის ერთეული SI-ში 1 ვებერია: შეკრული კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი **1 ვებერია**, თუ **1 წამში** ნაკადის ნულამდე თანაბრად შემცირებისას, კონტურში **1 ვოლტი** ინდუქციის ემძ აღიძვრება:

$$1\ \text{ვბ} = 1\ \text{ვ} \cdot \text{წმ}$$

1.12. თვითინდუქცია

კოჭას გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებისას კი **იმავე კოჭას ხვიებში ინდუქციის ემძ აღიძვრება.**

მოვლენას, რომლის დროსაც გამტარში გამავალი დენის ძალის ცვლილების შედეგად, იმავე გამტარში ინდუქციის ემძ აღიძვრება, თვითინდუქცია ჰქვია.

თვითინდუქციის მოვლენა ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კერძო გამოვლინებაა. **ლენცის წესის თანახმად, შეკრულ გამტარში (კოჭას ხვიებში) ისეთი მიმართულების გრიგალური ელექტრული ველი აღიძვრება, რომელიც მისი წარმომქმნელი დენის ნებისმიერ ცვლილებას ეწინააღმდეგება**

შეკრული გამტარის კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის დამოკიდებულება გამტარში გამავალ დენის ძალაზე მათემატიკურად ასე გამოისახება:

$$\Phi = L\,I \qquad (1.12.1)$$

სადაც, **L პროპორციულობის კოეფიციენტია**, რომელიც დამოკიდებული არ არის გამტარში გამავალ დენის ძალაზე. L პროპორციულობის კოეფიციენტს გამტარის **ინდუქციურობა** ჰქვია.

ინდუქციურობა გამტარის მახასიათებელი სიდიდეა. იგი დამოკიდებულია მხოლოდ გამტარის ზომებზე, ფორმასა და ასევე იმ გარემოს მაგნიტურ თვისებებზე, რომელშიც გამტარია მოთავსებული და არა – გამტარში გამავალ დენზე.

წრფივი გამტარის ინდუქციურობა ძალიან მცირეა, ხოლო ხვიებად დახვეული იმავე გამტარის (ანუ კოჭას) ინდუქციურობა გაცილებით დიდია. კოჭას ინდუქციურობა კიდევ უფრო გაიზრდება, თუ მასში რკინის გულარს შევიტანთ.

SI -ში ინდუქციურობის ერთეულად მიღებულია 1 ჰენრი (1 ჰნ = 1 ვბ · ა).

1 ჰნ ისეთი კონტურის ინდუქციურობაა, რომელშიც 1 ამპერი დენის გავლისას 1 ვებერის ტოლი მაგნიტური ნაკადი იქმნება.

Don't copy

თვითინდუქციის ემძ

თვითინდუქციის მოვლენის დროს წარმოქმნილი გრიგალური ელექტრული ველის მოქმედება ხასიათდება ელექტრომამოძრავებელი ძალით, რომელსაც **თვითინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა** ჰქვია ($\varepsilon_{\text{თვით}}$).

თვითინდუქციის მოვლენა ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კერძო შემთხვევაა. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის გათვალისწინებით, მივიღებთ, რომ:

$$\varepsilon_{\text{თვით}} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad (1.12.3)$$

(იგულისხმება, რომ მოცემული გამტარის ინდუქციურობა მუდმივი სიდიდეა, ანუ შეკრული გამტარი კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი მხოლოდ გამტარში გამავალი დენის ძალის შეცვლის შედეგად იცვლება, ხოლო გამტარის მახასიათებელი ზომები და კონტურის ფორმა უცვლელია).

1.12.3 გამოსახულებიდან ჩანს, რომ:

1. რაც უფრო მეტია წრედის ინდუქციურობა და რაც უფრო სწრაფად იცვლება მასში დენის ძალა, მით უფრო მეტია თვითინდუქციის ემძ;

2. ინდუქციურობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს, რისი ტოლია შეკრულ კონტურში 1 წამში დენის ძალის 1 ამპერით ცვლილებისას აღძრული თვითინდუქციის ემძ რიცხობრივად.

ინდუქციურობას **თვითინდუქციის კოეფიციენტსაც** უწოდებენ.

მაგნიტური ველის ენერგია

დენიან კოჭას მაგნიტური ენერგია აქვს მსგავსად დამუხტული კონდენსატორისა, რომელიც ელექტრული ენერგიის გარკვეულ მარაგს ინახავს.

დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ენერგია ასე გამოითვლება:

$$W_{მ} = \frac{LI^2}{2} \qquad (1.12.4)$$

მაგნიტური ველის ენერგია გარდა მასში გამავალი დენის ძალისა, გამტარის ინდუქციურობაზეცაა დამოკიდებული: რკინისგულარიან კოჭაში, რომლის ხვიების რაოდენობა ძალიან დიდია, მაგნიტური ველის ენერგია მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს.

Don't copy



სურ. 1



სურ. 2

1-ელ სურათზე პიზის საკათედრო ტაძარია გამოსახული, მე-2-ზე კი – ტალღური ქანქარა. რა აქვთ მათ საერთო? არაფერი, გარდა იმისა, რომ მოვლენა, რომელიც ტალღური ქანქარას მოქმედებას საფუძვლად უდევს, სწორედ ამ ტაძარში შეამჩნია პირველად გალილეო გალილეიმ (1564 – 1642): სხვადასხვა სიგრძის, საკიდებზე დაკიდებულ ბურთებს (ქანქარებს) ერთდროულად ერთნაირი კუთხით გადახრიან და თავისუფლად უშვებენ. სწორედ მერე იწყება სანახაობა, რომელიც ძალიან საინტერესო და ამავე დროს, ძალიან ლამაზია: ქანქარები რხევას ერთდროულად იწყებს, მაგრამ ყველა თავისებურად, ზოგი სწრაფად ირხევა, ზოგი კი – შედარებით ნელა...

ქანქარების „ანსამბლი“ საოცრად მოწესრიგებულია: ბურთები ტალღისებურად მოძრაობს, თითქოს მისრიალებენ სივრცეში... მერე წესრიგი ქაოსში გადადის, ქაოსს ისევ წესრიგი ცვლის და ტალღების უცნაური „გენერატორი“ დაუჯერებელ „ქორეოგრაფიას“ სთავაზობს მნახველს... ნახე ვიდეო: http://bitly.ws/z52D

18 წლის იყო გალილეო გალილეი (1564 – 1642), როდესაც პიზის დიდ კათედრალურ ტაძარში გრძელ ჯაჭვებზე დაკიდებული საცეცხლური ჭაღების მოძრაობამ მისი ყურადღება მიიპყრო: ღვთისმსახურების დაწყების წინ, როცა დიაკონმა ჭაღებზე სანთლები აანთო, ჭაღებმა რხევა დაიწყო...

გალილეიმ, თავისდა გასაოცრად, აღმოაჩინა, რომ ერთნაირი სიგრძის ჯაჭვებზე დაკიდებული უზარმაზარი და პატარა საცეცხლურები, მიუხედავად მათი ზომისა, ერთნაირად, სინქრონულად ირხეოდა. განსხვავებულად მხოლოდ სხვადასხვა სიგრძის ჯაჭვებზე დაკიდებული ჭაღები მოძრაობდა.

Don't copy

წირვის მიწურულს რხევა თანდათან მიიღია, მაგრამ გალილეიმ შეამჩნია, რომ დრო, რომელიც თითოეულ ჭაღს აქეთ-იქეთ მოძრაობისას სჭირდებოდა, არ იცვლებოდა! მისთვის ეს მოულოდნელი იყო და თვალით ნანახს არ ენდო, გადამოწმება მოიწადინა, თუმცა იმ დროს არც საათი და მით უფრო, არც წამმზომი არ არსებობდა... იმისათვის, რომ თავის უჩვეულო აღმოჩენაში დარწმუნებულიყო, გალილეიმ ჭაღების რხევის დროის ასათვლელად საკუთარი გულისცემა გამოიყენა...

რა არის რხევა, რომელი ფიზიკური სიდიდეებით ხასიათდება ის და რა დამოკიდებულება არსებობს მათ შორის, ახლო მომავალში შეიტყობ. თუმცა გალილეის აღმოჩენის არსი იმდენად მოულოდნელი და უცნაურია, რომ თეორიული ცოდნის ექსპერიმენტული გადამოწმება აუცილებლად დაგჭირდება.

სანამ კვლევას დაიწყებ, აუცილებლად ჩაატარე გამოკითხვა და შენ გარშემო ადამიანებს ერთადერთი შეკითხვა დაუსვი – შეკითხვა, რომელზედაც უმრავლესობას არასწორი პასუხი აქვს (თუმცა ყველა მათგანი ღრმად არის ხოლმე დარწმუნებული, რომ კითხვას სწორად უპასუხა). შეკითხვა ასეთია:

თუ 100 და 1 კგ-იან საწონებს ერთნაირი სიგრძის ძაფზე დაკიდებ, ვერტიკალიდან ორივეს ერთნაირი კუთხით გადახრი და ხელსაც ორივეს ერთდროულად გაუშვებ, რომელი მათგანი დაბრუნდება საწყის წერტილში უფრო სწრაფად: მძიმე თუ მსუბუქი საწონი?

შენი და სხვისი ვარაუდების გადასამოწმებლად ჩაატარე კვლევა.

კვლევისთვის დაგჭირდება: ძაფი, სხვადასხვა მასის (100 და 200 გ-იანი) ორი საწონი, შტატივი, წამმზომი.

დავალება 1. **გამოიკვლიე, როგორ არის დამოკიდებული ქანქარას რხევის პერიოდი რხევის ამპლიტუდაზე.**

1. დაკიდე 1 მ სიგრძის ძაფზე საწონი და ჩაამაგრე ძაფი შტატივის თათში (ისე, რომ საწონმა თავისუფლად შეძლოს რხევა);

2. გადახარე საწონი წონასწორობის მდებარეობიდან დაახლოებით, 5 სმ-ით და გაუშვი ხელი;

3. აითვალე წამმზომზე დრო, რომელიც საწონს 5– რხევის შესასრულებლად სჭირდება და გამოთვალე რხევის პერიოდი (გაიმეორე ცდა 3-ჯერ). **გაზომვისა და გამოთვლის შედეგები შეიტანე I ცხრილში.**

ცხრილი I

საწონის მასა m	ძაფის სიგრძე ℓ	ამპლიტუდა A	რხევების რაოდენობა N	დრო, რომელიც N რხევას დასჭირდა t	რხევის პერიოდი $T = \frac{t}{N}$	$T_{საშ}$ $\frac{T_1+T_2+T_3}{3}$	**გამოიტანე დასკვნა:** არის თუ არა ქანქარას რხევის პერიოდი დამოკიდებული ამპლიტუდაზე?
100 გ	1 მ	5 სმ					
	1 მ	5 სმ					
	1 მ	5 სმ					
100 გ	1 მ	10 სმ					
	1 მ	10 სმ					
	1 მ	10 სმ					

4. გაიმეორე ცდა, ოღონდ ამჯერად შეცვალე რხევის ამპლიტუდა (ძაფის გადახრის კუთხე): გადახარე საწონი წონასწორობის მდებარეობიდან, დაახლოებით, 10 სმ-ით და გაუშვი ხელი;

Don't copy
არ ჩაწერო წიგნში

5. ჩაატარე საჭირო გაზომვები, გამოთვალე საწონის რხევის პერიოდი და **შეავსე I ცხრილი.**

გამოიტანე დასკვნა: არის თუ არა ქანქარას რხევის პერიოდი დამოკიდებული რხევის ამპლიტუდაზე?

დავალება 2. გამოიკვლიე, როგორ არის დამოკიდებული ქანქარას რხევის პერიოდი მერხევი სხეულის მასაზე.

1. დაკიდე 1 მ სიგრძის ძაფზე 100 გ-იანი საწონი და ჩაამაგრე ძაფი შტატივის თათში ისე, რომ საწონმა თავისუფლად შეძლოს რხევა;

2. გადახარე საწონი წონასწორობის მდგომარეობიდან, დაახლოებით, 10 სმ-ით და გაუშვი ხელი;

3. ჩაატარე საჭირო გაზომვები და გამოთვალე ქანქარას რხევის პერიოდი (გაიმეორე ცდა 3-ჯერ). **გაზომვისა და გამოთვლის შედეგები შეიტანე II ცხრილში.**

4. გაიმეორე ცდა, ოღონდ ამჯერად საწონის მასა შეცვალე (შეავსე II ცხრილი).

გამოიტანე დასკვნა: არის თუ არა ქანქარას რხევის პერიოდი დამოკიდებული მერხევი სხეულის მასაზე?

ცხრილი II

საწონის მასა m	ძაფის სიგრძე ℓ	ამპლიტუდა A	რხევების რაოდენობა N	დრო, რომელიც N რხევას დასჭირდა t	რხევის პერიოდი $T = \frac{t}{N}$	**გამოიტანე დასკვნა:** არის თუ არა ქანქარას რხევის პერიოდი დამოკიდებული სხეულის მასაზე?
100 გ	1 მ	10 სმ				
	1 მ	10 სმ				
	1 მ	10 სმ				
200 გ	1 მ	10 სმ				
	1 მ	10 სმ				
	1 მ	10 სმ				

დავალება 3. გამოიკვლიე, როგორ არის დამოკიდებული ქანქარას რხევის პერიოდი ძაფის სიგრძეზე.

1. დაკიდე 1 მ სიგრძის ძაფზე 100 გ-იანი საწონი და ჩაამაგრე ძაფი შტატივის თათში ისე, რომ საწონმა თავისუფლად შეძლოს რხევა;

2. გადახარე საწონი წონასწორობის მდგომარეობიდან დაახლოებით 10 სმ-ით და გაუშვი ხელი;

3. ჩაატარე საჭირო გაზომვები და გამოთვალე საწონის რხევის პერიოდი (გაიმეორე ცდა 3-ჯერ). **გაზომვისა და გამოთვლის შედეგები შეიტანე III ცხრილში.**

ცხრილი III

ძაფის სიგრძე ℓ	საწონის მასა m	ამპლიტუდა A	რხევების რაოდენობა N	დრო, რომელიც N რხევას დასჭირდა t	რხევის პერიოდი $T = \frac{t}{N}$	**გამოიტანე დასკვნა:** როგორ არის დამოკიდებული ქანქარას რხევის პერიოდი ძაფის სიგრძეზე?
1 მ	100 გ	5 სმ				
50 სმ	100 გ	5 სმ				
25 სმ	100 გ	5 სმ				

4. გაიმეორე ცდა სხვადასხვა სიგრძის ძაფის შემთხვევაში (უცვლელად დატოვე რხევის ამპლიტუდა). თითოეულ შემთხვევაში ჩაატარე საჭირო გაზომვები, გამოთვალე საწონის რხევის პერიოდი და შეავსე III ცხრილი.

Don't COPY არ ჩაწერო წიგნში

გამოიტანე დასკვნა: არის თუ არა ქანქარას რხევის პერიოდი დამოკიდებული ძაფის სიგრძეზე? აღწერე, როგორია ამ დამოკიდებულების ხასიათი.

დავალება 4.

1. გამოთქვი ჰიპოთეზა: როგორაა დამოკიდებული ქანქარას რხევის პერიოდი:

ა) გარემოს წინააღმდეგობის ძალაზე;

ბ) იმ პლანეტის თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაზე, რომლის გრავიტაციულ ველშიც ის ირხევა.

2. შენი ჰიპოთეზების შესამოწმებლად ექსპერიმენტები შეგიძლია ჩაატარო ვირტუალურ ლაბორატორიაში: http://bitly.ws/z4v4

დაათვალიერე ვირტუალური ლაბორატორია: შენ შეგიძლია ქანქარას რხევას სიმულაციის გამოყენებით დააკვირდე. მისი დახმარებით შეგიძლია შეცვალო მერხევი სხეულის მასა, ამპლიტუდა, ქანქარას სიგრძე, გარემოს წინააღმდეგობის ძალა, თავისუფალი ვარდნის აჩქარება და დააკვირდე, როგორ იცვლება ამ დროს ქანქარას რხევის პერიოდი.

3. გამოიკვლიე ვირტუალურ ლაბორატორიაში: როგორაა დამოკიდებული ქანქარას პერიოდი:

ა) გარემოს წინააღმდეგობის ძალაზე.

ბ) პლანეტის თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაზე.

წარმოადგინე კვლევის შედეგები ცხრილების სახით.

4. შეგიძლია კვლევა Golabz-ის პლატფორმაზე ჩაატარო, რომელიც საკმაოდ საინტერესო შესაძლებლობებს გთავაზობს: http://bitly.ws/z4vi

დავალება 5. გამოიყენე შენ მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგები (რხევის პერიოდის საკიდის სიგრძეზე დამოკიდებულების ხასიათი) და **შექმენი ტალღური ქანქარას მოდელი** (სურ.3).

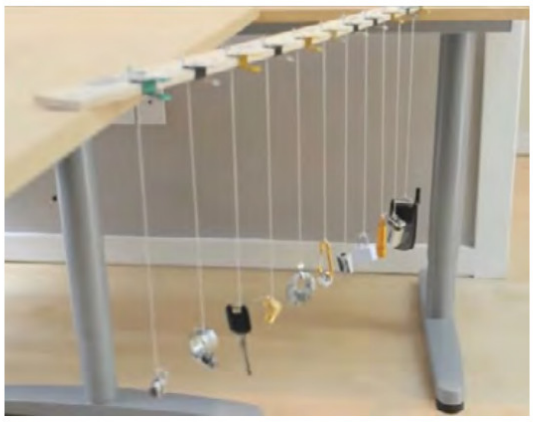
სამუშაოს დაწყებამდე **ნახე ვიდეო**:

http://bitly.ws/z4vK http://bitly.ws/z4vS

მოდელის დასამზადებლად ისეთი რესურსები გჭირდება, სახლში რომ მარტივად მოძებნი: ჰორიზონტალური საკიდი, ძაფი, ნებისმიერი დანიშნულების სხვადასხვა საგნები, რომლებსაც სახლში არავინ იყენებს (სურ. 4), მაგ., ძველი გასაღები, „ბრელოკები“, ჭანჭიკები და ა.შ.



სურ. 3



სურ. 4

Don't copy

სამუშაოს აღწერა:



სურ. 5

1. ჰორიზონტალურ ღეროზე ერთმანეთისგან ტოლი მანძილით დაშორებულ წერტილებში სხვადასხვა სიგრძის ძაფებზე დაკიდე სხეულები. ისინი შეიძლება იყოს ერთნაირი ფორმის, ზომის და განსხვავებულიც;

2. დაკიდებული სხეულები (ქანქარები) გრძელი სახაზავის დახმარებით ერთდროულად, ერთნაირი კუთხით გადახარე ვერტიკალიდან (სურ.5);

3. დააკვირდი ქანქარების რხევით მოძრაობას: ისინი ერთდროულად იწყებენ მოძრაობას, მერე ერთი მეორეს ჩამორჩება, რაღაც მომენტში ჯერ რამდენიმე მათგანი, მერე კი მთელი „ანსამბლი“ ისევ ერთნაირად ირხევა. იმისათვის, რომ ამ მოვლენის ახსნა გაგიადვილდეს, **ააგე თითოეული ქანქარასთვის წანაცვლების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი** (პირობითად, მათი ამპლიტუდა 1-ის ტოლად ჩათვალე);

4. ტალღური ქანქარას მარტივი მოდელის შექმნა ძალიან ადვილია, თუმცა უფრო სრულყოფილი მოდელის შექმნისთვის ზუსტი მათემატიკურ გამოთვლებია საჭირო და დაგჭირდება ფორმულა, რომელიც ქანქარას რხევის პერიოდსა და მის სიგრძეს შორის დამოკიდებულებას ასახავს (იხ. § 2.2).

ვირტუალური ლაბორატორია დაგეხმარება, რომ ქანქარას მოძრაობის პრინციპში გაერკვე, გამოიკვლიო, რა მნიშვნელოვანი ფაქტორები ახდენს გავლენას მის მოძრაობაზე და წინასწარ გათვალო ყველა ის დეტალი, რაც მოდელის შექმნას სჭირდება:

http://bitly.ws/z4Zb http://bitly.ws/z532
http://bitly.ws/z4xp http://bitly.ws/zeSw

მექანიკური რხევის თეორიას მომდევნო გაკვეთილებზე გაეცნობი, თუმცა ტალღური ქანქარას მოქმედების ასახსნელად აუცილებლად დაგჭირდება დამატებითი ინფორმაცია, რომელსაც მითითებულ მისამართებზე ნახავ:

http://bitly.ws/z4wB
http://bitly.ws/z4wH
http://bitly.ws/z4wT
http://bitly.ws/z98V
http://bitly.ws/z4wq
http://bitly.ws/z4x4

წარმოადგინე შენ მიერ დამზადებული ტალღური ქანქარას მოდელი და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. ჩატარებული სამუშაოს ეტაპების აღწერილობა და გრაფიკულად ან ცხრილებით სახით წარმოდგენილი შედეგები;

2. რა სახის ურთიერთქმედებები გხვდება ქანქარაში, რომელი ძალა იწვევს ქანქარას რხევას და რაზეა დამოკიდებული ამ ძალის მოქმედებით გამოწვეული შედეგები;

3. რა თვისობრივი ცვლილებები მიმდინარეობს ქანქარას რხევის პროცესში და როგორ აღიწერება ეს ცვლილებები რაოდენობრივად;

4. რომელ ფიზიკურ მოვლენას ეფუძნება ქანქარას მოქმედება და როგორ აიხსნება ქანქარას ტალღური მოძრაობა.

Don't copy

2.1 მექანიკური რხევა



სურ. 2.1.1

1851 წელს ფრანგმა ფიზიკოსმა, მექანიკოსმა და ასტრონომმა **ჟან ბერნარ ლეონ ფუკომ** ისტორიული ცდა ჩაატარა, რომელიც ჯერ კიდევ 300 წლით ადრე კოპერნიკის მიერ გამოთქმულ მოსაზრებას ექსპერიმენტულად ადასტურებდა: დედამიწა არა მარტო მზის გარშემო ბრუნავს, არამედ ბრუნავს საკუთარი ღერძის გარშემოც...

ფუკომ პარიზის ობსერვატორიის გუმბათზე 67 მ სიგრძის წვრილ და მოქნილ მავთულზე 28 კგ-იანი ტყვიის ბირთვი დაკიდა, რომელსაც ქვემოდან წვეტი ჰქონდა მიმაგრებული (სურ. 2.1.1). ბირთვის ქვეშ იატაკი ქვიშით იყო დაფარული. ფუკომ ბირთვი **წონასწორობის მდგომარეობიდან** გამოიყვანა: საკიდი ვერტიკალური მდგომარეობიდან გადახარა და ხელი გაუშვა... **ქანქარამ რხევა** დაიწყო. ბირთვზე მიმაგრებული წვეტი ქვიშაზე კვალს ტოვებდა და **1 სრული რხევის** შემდეგ ქანქარას კვალი წინას 3 მმ-ით შორდებოდა. ფუკოს ქანქარას **რხევის პერიოდი,** დაახლოებით, 16,5 წამს უტოლდებოდა.

1 საათის განმავლობაში ქანქარას **რხევის სიბრტყე** საათის მოძრაობის მიმართულებით (დედამიწის ბრუნვის მიმართულების საწინააღმდეგოდ) $11{,}3^0$-ით შემობრუნდა და **საწყის მდგომარეობაში,** დაახლოებით, 32 საათის შემდეგ დაბრუნდა...

ქანქარას რხევის სიბრტყის შემობრუნებით მტკიცდება ის, რომ დედამიწა საკუთარი ღერძის გარშემო ბრუნავს: დედამიწა რომ არ ბრუნავდეს, ქანქარა რხევის სიბრტყეს არ შეიცვლიდა. ფუკოს ქანქარას რხევას შეგიძლია დააკვირდე ვიდეოზე:

http://bitly.ws/z4xL
http://bitly.ws/z4xW

რა არის ქანქარა, როგორ მოვლენას ჰქვია რხევა, რომელი ფიზიკური სიდიდეებით ხასიათდება რხევითი მოძრაობა, როგორ მოძრაობს საკიდზე დაკიდებული სხეული და ა.შ. ამ პარაგრაფში გაეცნობი. ახლა კი განვსაზღვროთ, რა არის რხევა.

2.1.1 რხევა

ზოგადად, **რხევა** ნებისმიერი პროცესის მახასიათებლების ცვლილებაა, რომელიც გარკვეული დროის შემდეგ ზუსტად ან მიახლოებით მეორდება. დროს, რომელშიც ცვლილებები მეორდება, **პერიოდი** ჰქვია. თუ ცვლილებები ზუსტად (ან მიახლოებით) ერთი და იმავე დროის შემდეგ მეორდება, ამბობენ, რომ **რხევა პერიოდულია,** მაგ.:

ფუკოს ქანქარას რხევისას ტყვიის ბირთვის მდებარეობა, საკიდის გადახრის კუთხე, ქანქარას რხევის სიბრტყე იცვლება და გარკვეული დროის შემდეგ კვლავ მეორდება...

გიტარის, ვიოლინოს სიმები ირხევა: იცვლება მათი რხევის სიხშირე, გადახრა (ე.წ. ამპლიტუდა)...

ეკონომიკური რხევები განმეორებად პროცესს გულისხმობს, რომლის დროსაც აღმასვლას ეკონომიკაში დაღმასვლა მოსდევს (და, პირიქით)...

გულისცემა ცოცხალ ორგანიზმებში მიმდინარე რხევაა, რომელიც სისხლის მიმოქცევის განმეორებად, ციკლურ, პროცესს უკავშირდება...

Don't copy

ტვინის ნერვული უჯრედების პერიოდული აღგზნება რხევითი პროცესია. პოპულაციური რხევები ეკოლოგიაში გულისხმობს, მაგ., მწერებისა და მღრღნელების პერიოდულად მასშტაბურ გამრავლებას, რომელსაც გარკვეული დროის შემდეგ მათი რაოდენობის შემცირება მოჰყვება, ასევე – „მტაცებლისა და „მსხვერპლის“ რაოდენობის პერიოდულ ცვლილებას...

რხევებს განიცდის გეოთერმული და ვულკანური აქტივობა, კლიმატი, ცეფეიდების (ცვლადი ვარსკვლავების) გამოსხივება და ა.შ.

ბუნებაში მიმდინარე რხევითი პროცესები სხვადასხვანაირია. მე-11 კლასის ფიზიკის კურსში ჩვენ **მექანიკურ** და **ელექტრომაგნიტურ** რხევებს განვიხილავთ.

მექანიკურ რხევას (მექანიკური რხევის ნაცვლად ხშირად გამოიყენება ტერმინი – „ვიბრაცია“) ასრულებს მაგ., ძაფსა ან ზამბარაზე დაკიდებული სხეული, საათის ქანქარა, ქარიან ამინდში ხის ტოტები, მუსიკალური ინსტრუმენტების სიმები, შიგაწვის ძრავას ცილინდრში მოძრავი დგუში, ანკესის ტივტივა წყლის ზედაპირზე, საკერავი მანქანის ნემსი და ა.შ. **დააკვირდი მექანიკურ რხევებს** ვირტუალურ ლაბორატორიაში: http://bitly.ws/z5cC

ელექტრომაგნიტური რხევების მაგალითია ცვლადი დენი წრედში, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა და მიმართულება, მუდმივი დენისგან განსხვავებით, პერიოდულად იცვლება.

მექანიკური და ელექტრომაგნიტური რხევები ერთნაირი კანონზომიერებით მიმდინარეობს: მექანიკური რხევის დროს ზოგიერთი ფიზიკური სიდიდის (კოორდინატის, სიჩქარის, აჩქარების) ცვლილება ისეთივე რაოდენობრივი კანონებით აღიწერება, როგორითაც ელექტრომაგნიტური მოვლენების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების (მუხტის, დენის ძალის, ძაბვის) რხევები.

იმისათვის, რომ ელექტრომაგნიტური რხევების ფიზიკური ბუნება ნათელი გახდეს, ჯერ მექანიკურ რხევებს შევისწავლით, ხოლო შემდეგ კვლავ ელექტროდინამიკას დავუბრუნდებით და ელექტრომაგნიტურ რხევებს განვიხილავთ.

2.1.2.მექანიკური რხევა

მექანიკური რხევა მექანიკური მოძრაობის ერთ-ერთი სახეა, რომელიც ჩვენ მიერ აქამდე განხილული მექანიკური მოძრაობის ზოგიერთი სახისგან (მაგ., თანაბარი მოძრაობისგან, ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის მოძრაობისგან) თავისებურებით გამოირჩევა: **რხევით მოძრაობას განმეორებადობა, პერიოდულობა ახასიათებს** – მერხევი სხეულის მოძრაობა დროის ერთსა და იმავე შუალედის შემდეგ ზუსტად ან მიახლოებით მეორდება (ანუ, მეორდება მოძრაობის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეები: კოორდინატი, სიჩქარე, აჩქარება, ძალა, ენერგია).

თუ სხეული რხევით მოძრაობას ასრულებს, ეს იმას ნიშნავს, რომ არსებობს მდებარეობა, რომლის მახლობლადაც მერხევი სხეული მოძრაობის მთელი დროის განმავლობაში იმყოფება: ის ამ მდებარეობიდან ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს გადაიხრება (სურ. 2.1.2). ზოგ შემთხვევაში ამ მდებარეობაში სხეული **მდგრადი წონასწორობის მდგომარეობაში იმყოფება და მას წონასწორობის მდებარეობას** უწოდებენ.



სურ. 2.1.2

მოძრაობას, როცა სხეული ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს გადაიხრება და დროის ერთნაირი შუალედების შემდეგ ზუსტად ან მიახლოებით მეორდება, მექანიკური რხევა ჰქვია.

Don't copy

მოძრაობას, რომელიც დროის ერთნაირი შუალედების შემდეგ **ზუსტად მეორდება, პერიოდული მოძრაობა (რხევა)** ჰქვია. დროის იმ შუალედს, რომლის შემდეგაც მოძრაობა ზუსტად მეორდება, **პერიოდი** ჰქვია და მას T-თი აღნიშნავენ.

პერიოდული მოძრაობის განმარტებიდან გამომდინარეობს, რომ **პერიოდული მოძრაობის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეები (მათი მოდული, მიმართულება) ყოველი პერიოდის შემდეგ მეორდება**, ანუ სრულდება **პერიოდულობის პირობა:**

$$x(t + T) = x(t), \qquad (2.1.1)$$

სადაც x(t) პერიოდული მოძრაობის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდის მნიშვნელობაა დროის მოცემულ t მომენტში, x(t + T) კი იმავე ფიზიკური სიდიდის მნიშვნელობაა ერთი პერიოდის შემდეგ.

პერიოდული მექანიკური რხევისას დროის ერთნაირი T შუალედების შემდეგ **ზუსტად მეორდება მოცემული მერხევი სხეულის კოორდინატი, სიჩქარე, აჩქარება.** შესაბამისად, ზუსტად გამეორდება ძალა, რომელიც მერხევი სხეულის აჩქარებას იწვევს, სხეულის პოტენციური და კინეტიკური ენერგიები.

რხევითი მოძრაობის შესწავლისას ხშირად **ზამბარიან** და **მათემატიკურ ქანქარას** იყენებენ. განვიხილოთ მათი რხევის პროცესი და თითოეულ შემთხვევაში აღვწეროთ: რა არის რხევის გამომწვევი მიზეზი, როგორ იცვლება რხევის მახასიათებელი კინემატიკური სიდიდეები (სიჩქარე, აჩქარება) რხევის პროცესში.

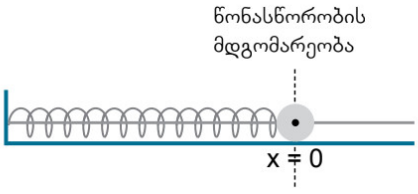
2.1.3. ზამბარიანი ქანქარა

ზამბარიანი ქანქარა ზამბარისა და მის ერთ ბოლოზე მიმაგრებული სხეულის ერთობლიობაა (სისტემაა): სხეული ირხევა ან ვერტიკალური მიმართულების გასწვრივ (ვერტიკალური ზამბარიანი ქანქარა (სურ. 2.1.3), ან, ჰორიზონტალურად (ჰორიზონტალური ზამბარიანი ქანქარა). განვიხილოთ **ჰორიზონტალური ზამბარიანი ქანქარას რხევა** (ყველა ის კანონზომიერება, რომელსაც განხილულ მაგალითში მივაგნებთ, სამართლიანია ვერტიკალური ზამბარიანი ქანქარასთვისაც):



სურ. 2.1.3

ვთქვათ, ზამბარა და მის ერთ ბოლოზე მიმაგრებული ბურთულა ჰორიზონტალურ საერთო ღერძზეა წამოცმული. ზამბარის მეორე ბოლო დამაგრებულია. ბურთულა ჰორიზონტალური ღერძის გასწვრივ თავისუფლად მოძრაობს (სურ. 2.1.4).



სურ. 2.1.4

თუ ზამბარა დეფორმირებული არ არის, მაშინ ბურთულა უძრავად ჩერდება **წონასწორობის მდგომარეობაში**. თუ ზამბარას გავჭიმავთ ან შევკუმშავთ, ბურთულა ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალის მოქმედებით ღერძის გასწვრივ იმოძრავებს. იმისათვის, რომ ზამბარიანი ქანქარას რხევის ანალიზი გაგვიმარტივდეს, **დავუშვათ, რომ:**

ა) წინააღმდეგობის (ხახუნის) ძალები, რომლებიც ბურთულაზე მოქმედებს (ღერძის, საყრდენის, გარემოს მხრიდან), უმნიშვნელოა და მათი უგულებელყოფა შესაძლებელია;

ბ) ზამბარის დეფორმაცია სხეულის რხევისას მცირეა და დრეკადი, ანუ შეგვიძლია **ჰუკის კანონის** გამოყენება:

მცირე დეფორმაციის დროს ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალის მოდული ზამბარის წანაცვლების მოდულის პირდაპირპროპორციულია:

$$F_{\text{დრ}} = k \cdot |x| \qquad (2.1.2)$$

k ზამბარას სიხისტეა, x ზამბარის ბოლოს წანაცვლებაა (გადაადგილების გეგმილია).

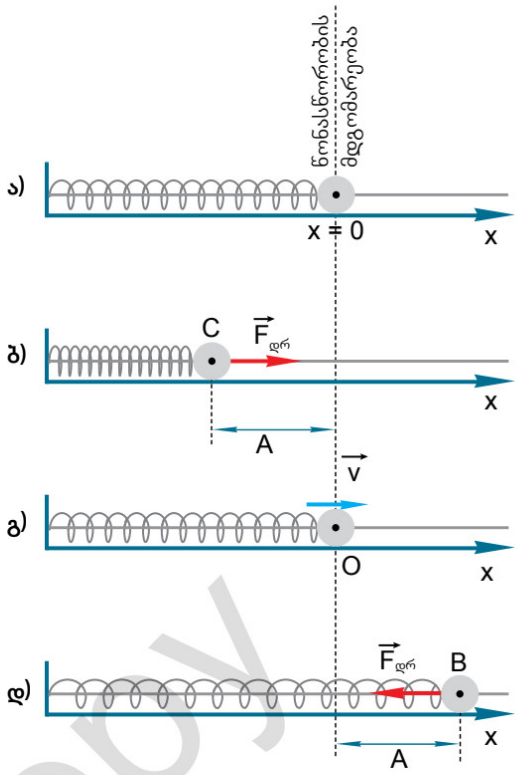
Don't copy

1. ავირჩიოთ საკოორდინატო Ox ღერძი ისე, რომ:

ა) ღერძი ჰორიზონტალურად, მარჯვნივ იყოს მიმართული (სურ. 2.1.5,ა);

ბ) კოორდინატთა სათავე წონასწორობის მდგომარეობაში ბურთულას სიმძიმის ცენტრს ემთხვეოდეს (სურ. 2.1.5, ა), ანუ წონასწორობის მდგომარეობაში ბურთულას კოორდინატი ნულის ტოლია (x = 0);

2. ვთქვათ, ბურთულა წონასწორობის მდგომარეობიდან **მარცხნივ გადავხარეთ:** გადავაადგილეთ C წერტილში და ხელით შევაკავეთ (სურ. 2.1.5, ბ).



სურ.2.1.5

წონასწორობის მდგომარეობიდან სხეულის (ბურთულას) გადახრას წანაცვლებას (x) უწოდებენ.

ზამბარა შეიკუმშება და სხეულზე მარჯვნივ მიმართული ზამბარის დრეკადობის ძალა იმოქმედებს:

$$(F_{დრ})_x = - kx \qquad (2.1.3)$$

„–“ ნიშანი იმაზე მიანიშნებს, რომ დრეკადობის ძალა წანაცვლების საპირისპიროდაა მიმართული.

იმის გათვალისწინებით, რომ ბურთულას სიმძიმის ძალა საყრდენის რეაქციის ძალითაა გაწონასწორებული და ხახუნის ძალები ნულის ტოლია, ნიუტონის II კანონის თანახმად, **ბურთულაზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალაა:**

$$(F_{დრ})_x = ma_x \qquad (2.1.4)$$

ანუ **ბურთულას აჩქარება ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალით განისაზღვრება.**

3. იმ მომენტში, როცა C წერტილში მყოფ ბურთულას ხელს გავუშვებთ, ანუ **მოძრაობის დაწყების მომენტში (t = 0), სანამ ბურთულა მოძრაობას დაიწყებს:**

ა) ბურთულას სიჩქარის მოდული 0-ის ტოლია (v =0);

ბ) ბურთულას წანაცვლებისა და, შესაბამისად, ბურთულაზე მოქმედი ზამბარის დრეკადობის ძალის მოდული ($F_{დრ}$) მაქსიმალურია (|x| = max; $F_{დრ}$ = max);

გ) მაქსიმალურია ბურთულას აჩქარების მოდულიც (a = max).

4. მას შემდეგ, რაც C წერტილში მყოფ ბურთულას ხელს გავუშვებთ და დრეკადობის ძალის მოქმედებით ბურთულა **მარჯვნივ დაიწყებს მოძრაობას**:

ა) შემცირდება ბურთულას წანაცვლებისა და, შესაბამისად, ბურთულაზე მოქმედი დრეკადობის ძალის მოდული (|x| ↓; $F_{დრ}$ ↓);

ბ) შემცირდება აჩქარების მოდული (a ↓);

გ) დრეკადობის ძალის მიმართულება ემთხვევა სიჩქარის მიმართულებას, ამიტომ ბურთულას **სიჩქარის მოდული იზრდება** (v ↑).

5. იმ მომენტში, როცა ბურთულა მარჯვნივ მოძრაობისას კვლავ **წონასწორობის მდგომარეობაში აღმოჩნდება** (O წერტილი):

Don't copy

ა) ბურთულას წანაცვლება ნულის ტოლია და, შესაბამისად, დრეკადობის ძალის მოდულიც ნულს გაუტოლდება ($x = 0$; $F_{დრ} = 0$);
ბ) ბურთულას აჩქარების მოდული ნულის ტოლია ($a = 0$);
გ) ბურთულას სიჩქარის მოდული **წონასწორობის მდგომარეობაში** მაქსიმალურია ($v = max$): სხეული ინერციით გააგრძელებს მოძრაობას მარჯვნივ (სურ. 2.1.5, გ).

6. წონასწორობის მდგომარეობის გავლის შემდეგ **ბურთულა მარჯვნივ მოძრაობს**:
ა) ზამბარა დაიჭიმება და სხეულზე **მარცხნივ მიმართული დრეკადობის ძალა** იმოქმედებს, რომლის მოდული, წანაცვლების მოდულის ზრდასთან ერთად, თანდათან გაიზრდება ($|x| \uparrow$; $F_{დრ} \uparrow$);
ბ) აჩქარების მოდული იზრდება ($a \uparrow$);
გ) დრეკადობის ძალის მიმართულება სიჩქარის მიმართულების საპირისპიროა, რის შედეგადაც **სხეულის სიჩქარის მოდული მცირდება** ($v \downarrow$).

7. იმ მომენტში, როცა ბურთულას **სიჩქარე ნულს გაუტოლდება** ($v = 0$), ის ისევ იმ მანძილზე აღმოჩნდება მარჯვნივ გადახრილი (B წერტილი), რომელზეც თავდაპირველად მარცხნივ იყო გადახრილი (სურ. 2.1.5, დ):
ა) წანაცვლება მაქსიმალურია და, შესაბამისად, მაქსიმალურია ბურთულაზე მოქმედი დრეკადობის ძალის მოდული ($|x| = max$; $F_{დრ} = max$);
ბ) მაქსიმალურია ბურთულას აჩქარების მოდული ($a = max$).

8. მარჯვენა, უკიდურეს მდებარეობაში (B წერტილში) ბურთულა მყისიერად გაჩერდება და დრეკადობის ძალის მოქმედებით მარცხნივ დაიწყებს მოძრაობას.

როცა ბურთულა შემდგომი მოძრაობისას კვლავ საწყის C წერტილში აღმოჩნდება, ვიტყვით, რომ მან **ერთი სრული რხევა** შეასრულა. ამის შემდეგ კი **ბურთულას მოძრაობა ზუსტად გამეორდება** (ცხადია, იმ დაშვებით, რომ ხახუნის ძალები ნულის ტოლია), რაც იმას ნიშნავს, რომ **ზუსტად გამეორდება ბურთულას რხევითი მოძრაობის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეები:** წანაცვლება, კოორდინატი, დრეკადობის ძალა, სიჩქარე, აჩქარება.

2.1.1

გადაიხაზე სამუშაო რვეულში 2.1.1 ცხრილი და გააგრძელე ცხრილის შევსება იმის მიხედვით, თუ როგორ იცვლება ჰორიზონტალური ზამბარიანი ქანქარას ფიზიკური მახასიათებლები პერიოდის მეორე ნახევარში რხევისას (სურ. 2.1.5). **დააკვირდი ქანქარას რხევას ვირტუალურ ლაბორატორიაში**: http://bitly.ws/zfsd

ცხრილი 2.1.1

ფიზიკური სიდიდე:	ბურთულა იმყოფება/მოძრაობს:								
	C-ში:	C → O	O-ში:	O → B	B-ში:	B → O	O-ში:	O → C	C-ში:
$\|x\|$	max	↓	0	↑	max				
$F_{დრ}$	max	↓	0	↑	max				
a	max	↓	0	↑	max				
v	0	↑	max	↓	0				

2.1.4. მათემატიკური ქანქარა

მათემატიკური ქანქარა უწონო, უჭიმარ ძაფზე დაკიდებული მატერიალური წერტილია, რომელიც რხევით მოძრაობას ასრულებს. **რეალური ქანქარა** ძაფზე დაკიდებული სხეულია (სურ. 2.1.6).

მათემატიკური ქანქარა რეალური ქანქარას მოდელია, რომლის დახმარებითაც რეალური ქანქარას რხევითი მოძრაობის დინამიკას აღწერენ. **დააკვირდი** ქანქარას რხევას ვირტუალურ ლაბორატორიაში: http://bitly.ws/z4v4



სურ. 2.1.6

Don't copy
არ ჩაწერო წიგნში

რეალური ქანქარა შეგვიძლია ჩავთვალოთ მათემატიკურად, თუ:

ა) ძაფის სიგრძე (ℓ) ბევრად აღემატება მასზე დაკიდებული სხეულის ზომას;

ბ) ძაფის მასა გაცილებით ნაკლებია სხეულის მასასთან შედარებით;

გ) ძაფის დეფორმაცია იმდენად უმნიშვნელოა, რომ მას უგულებელყოფენ.

განვიხილოთ **მათემატიკური ქანქარას რხევა:** ვთქვათ, გრძელ ძაფზე, რომლის სიგრძეა ℓ, დაკიდებულია მატერიალური წერტილი, რომლის მასაა m. იმისათვის, რომ მათემატიკური ქანქარას რხევის ანალიზი გაგვიმარტივდეს, **დავუშვათ, რომ:**

ა) ხახუნის ძალები, რომლებიც ქანქარაზე მოქმედებს, უმნიშვნელოა და მათი უგულებელყოფა შესაძლებელია;

ბ) ვიხილავთ მცირე რხევებს, როცა ძაფის ვერტიკალიდან გადახრის კუთხე ძალიან მცირეა.

ვთქვათ, **ქანქარა წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოვიყვანეთ** (სურ. 2.1.7): ვერტიკალიდან მცირე კუთხით მარჯვნივ გადავხარეთ და ბურთულა C წერტილში ხელით შევაკავეთ. თუ ბურთულას ხელს გავუშვებთ, ის მარცხნივ, წონასწორობის მდგომარეობისკენ ამოძრავდება.

1. ბურთულაზე მოქმედებს ორი ძალა ($F_{ხახ} = 0$):

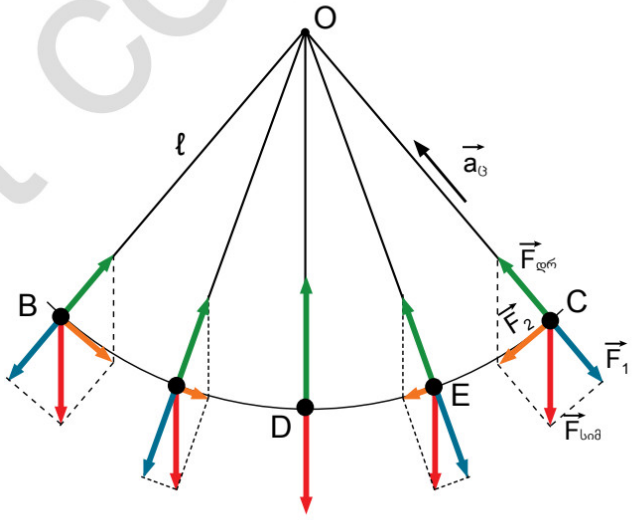
ა) ვერტიკალურად ქვევით მიმართული **სიმძიმის ძალა** ($\vec{F} = m\vec{g}$);

ბ) ძაფის გასწვრივ მიმართული ძაფის **დრეკადობის (დაჭიმულობის) ძალა** ($\vec{F}_{დრ}$).

2. დავშალოთ ბურთულას **სიმძიმის ძალა ორ მდგენელად**, რომელთაგან:

ა) $\vec{F}_1$ მიმართულია ძაფის მიმართულების გასწვრივ (მას **ნორმალურ მდგენელს** უწოდებენ);

ბ) $\vec{F}_2$ მიმართულია ძაფის მართობულად, ბურთულას ტრაექტორიის მხების გასწვრივ (მას **ტანგენციალურ მდგენელს** უწოდებენ).



სურ. 2.1.7

3. სიმძიმის ძალის $\vec{F}_1$ მდგენელისა და ძაფის დრეკადობის ძალის **ტოლქმედი** ბურთულას:

ა) სიჩქარის მართობულია და სიჩქარის მოდულს არ ცვლის;

ბ) სიჩქარის მიმართულების განუწყვეტლივ ცვლილებას იწვევს: ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში ბურთულას სიჩქარე მხების გასწვრივაა მიმართული;

გ) ცენტრისკენულ აჩქარებას ანიჭებს: ბურთულა მოძრაობს იმ ℓ რადიუსიანი წრეწირის რკალზე, რომლის ცენტრი O წერტილია. ბურთულას ცენტრისკენული აჩქარება ($\vec{a}_ც$) მიმართულია O წერტილისკენ.

4. სიმძიმის ძალის $\vec{F}_2$ მდგენელი ბურთულას მხების გასწვრივ მიმართულ, ე.წ. **ტანგენციალურ აჩქარებას** ($\vec{a}_ტ$) ანიჭებს: მისი გავლენით წონასწორობის მდებარეობისკენ ბურთულა წრეწირის რკალზე აჩქარებულად, მოდულით მზარდი სიჩქარით იმოძრავებს.

5. იმ მომენტში, როცა C წერტილში მყოფ ბურთულას ხელს გავუშვებთ, ანუ მოძრაობის დაწყების მომენტში (t = 0), **სანამ ბურთულა მოძრაობას დაიწყებს:**

ა) სხეულის სიჩქარე 0-ის ტოლია (v = 0);

ბ) სიმძიმის ძალის $\vec{F}_2$ მდგენელი მაქსიმალურია ($F_2 = max$);

Don't copy

გ) ტანგენციალური აჩქარება მაქსიმალურია ($a_{ტ}$ = max).

6. მას შემდეგ, რაც C წერტილში მყოფ ბურთულას ხელს გავუშვებთ, $\vec{F}_2$ მდგენელის მოქმედებით ბურთულა წონასწორობის მდგომარეობისკენ, **აჩქარებულად დაიწყებს მოძრაობას**:

ა) სხეულის სიჩქარე იზრდება (v ↑);

ბ) სიმძიმის ძალის $\vec{F}_2$ მდგენელი თანდათან შემცირდება (F_2 ↓);

გ) ტანგენციალური აჩქარება მცირდება ($a_{ტ}$ ↓).

7. იმ მომენტში, როცა ქანქარა წონასწორობის მდებარეობას გაივლის (D წერტილი):

ა) სიმძიმის ძალის $\vec{F}_2$ მდგენელი 0-ს გაუტოლდება (F_2 =0);

ბ) ტანგენციალური აჩქარება 0-ის ტოლია ($a_{ტ}$= 0).

გ) ბურთულას სიჩქარე კი თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს (v = max). ინერტულობის გამო ბურთულა მოძრაობას გააგრძელებს და წონასწორობის მდგომარეობიდან მარცხნივ გადაიხრება.

8. მარცხნივ მოძრაობისას სიმძიმის ძალის $\vec{F}_2$ მდგენელის მოდული თანდათან იზრდება (F_2 ↑; $a_{ტ}$ ↑), მიმართულება კი სიჩქარის ვექტორის საპირისპიროა: ბურთულას სიჩქარის მოდული თანდათან შემცირდება (v ↓).

9. იმ მომენტში, როცა ბურთულა მარცხენა უკიდურეს მდებარეობას (B წერტილს) მიაღწევს:

ა) ბურთულას სიჩქარე ნულს გაუტოლდება (v = 0) და ბურთულა მყისიერად გაჩერდება;

ბ) სიმძიმის ძალის $\vec{F}_2$ მდგენელის მოდული მაქსიმალურია (F_2 = max; $a_{ტ}$= max) და მიმართულია წონასწორობის მდებარეობისკენ.

ბურთულა მოდულით მზარდი სიჩქარით წონასწორობის მდებარეობისკენ ამოძრავდება, გაივლის მას და დაუბრუნდება საწყის მდებარეობას, ანუ **ქანქარა ერთ სრულ რხევას შეასრულებს.** ამის შემდეგ კი **ბურთულას მოძრაობა ზუსტად გამეორდება** (ცხადია, იმ დაშვებით, რომ ხახუნის ძალები ნულის ტოლია).

2.1.2.

წარმოადგინე ცხრილის სახით: როგორ იცვლება მათემატიკური ქანქარას ფიზიკური მახასიათებლები ქანქარას ერთი სრული რხევის განმავლობაში.

დააკვირდი: **ბურთულა მოძრაობს ℓ-რადიუსიანი წრეწირის რკალზე და მისი რხევის სიბრტყე არ იცვლება.** სწორედ ეს ფაქტი იცოდა ფუკომ, როცა თავისი ქანქარის რხევას აკვირდებოდა. წესით, ქანქარას რხევის სიბრტყე ინერციული ათვლის სისტემის მიმართ არ უნდა შეცვლილიყო. რხევის სიბრტყის ცვლილება ნიშნავს, რომ დედამიწასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა ინერციული არ არის და ადასტურებს დედამიწის ბრუნვას საკუთარი ღერძის გარშემო (ამ მოვლენის კიდევ უფრო დაწვრილებითი ანალიზი შესასწავლი საკითხის ფარგლებს სცდება და ამაზე არ შევჩერდებით). იმას, თუ როგორ აისახება დედამიწის დღეღამური ბრუნვა ქანქარის რხევის სიბრტყის ცვლილებაზე, შეგიძლია სიმულაციით დააკვირდე: http://bitly.ws/z5ir

2.1.5.თავისუფალი და იძულებითი რხევები

სხეულთა ერთობლიობას, რომელთა მოძრაობაც შეისწავლება, **სხეულთა სისტემა**, ან უბრალოდ, **სისტემა** ეწოდება. **ზამბარიანი და მათემატიკური ქანქარა მერხევი სისტემის (ოსცილატორის) მაგალითებია: ზამბარიანი ქანქარა არის სისტემა**, რომელიც შედგება ერთი ბოლოთი დამაგრებული ზამბარისა და მის თავისუფალ ბოლოზე მიმაგრებული სხეულისგან, **მათემატიკური ქანქარა** კი სისტემაა, რომელიც შედგება ძაფის, მასზე დაკიდებული სხეულისა

Don't copy

და დედამიწისგან (პლანეტისგან), რომლის გრავიტაციულ ველშიცაა მოთავსებული ქანქარა (რომ არა სხეულის სიმძიმის ძალა, ქანქარას რხევა არ აღიძვრებოდა).

სისტემაში შემავალი სხეულების ურთიერთქმედებისას აღძრულ ძალებს **შიდა ძალები** ჰქვია. იმ ძალებს კი, რომლითაც გარე სხეულები (სხეულები, რომლებიც მოცემულ სისტემაში არ შედის) მოქმედებს სისტემაზე, **გარე ძალებს** უწოდებენ.



სურ. 2.1.8

თუ სისტემა რხევით მოძრაობას პერიოდულად ცვლადი გარე ძალის მოქმედებით ასრულებს, მაშინ სისტემაში აღძრულ რხევებს **იძულებითს** უწოდებენ. მაგ., იძულებით რხევას ასრულებს დგუში ავტომობილის შიგაწვის ძრავაში, საკერავი მანქანის ნემსი, ე.წ. „კინეტიკური“ სუვენირები (სურ. 2.1.8), მეტრონომი (სურ. 2.1.9), საქანელა, როცა მას უბიძგებენ და ა.შ.



სურ. 2.1.9

თუ სისტემა წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოყვანის შემდეგ **მხოლოდ შიდა ძალების მოქმედებით ასრულებს რხევით მოძრაობას**, მაშინ სისტემაში აღძრულ რხევებს **თავისუფალი რხევები** ჰქვია. მაგ., თავისუფალ რხევებს ასრულებს ზამბარიანი და მათემატიკური ქანქარა ჩვენ მიერ განხილულ მაგალითებში. წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოყვანის შემდეგ, ორივე სისტემა გარე ზემოქმედების გარეშე, მხოლოდ შიდა ძალების მოქმედებით ირხევა: ზამბარიან ქანქარაში შიდა ძალა ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალაა, მათემატიკურ ქანქარაში კი – ძაფზე დაკიდებული სხეულის სიმძიმის ძალის ტანგენციალური მდგენელი.

როგორც განხილული მაგალითებიდან ჩანს, **სისტემაში თავისუფალი რხევების აღსაძრავად საჭიროა:**

1. წონასწორობიდან გამოყვანის შემდეგ, სისტემაში წარმოიქმნას წონასწორობის მდებარეობისკენ მიმართული ძალა, რომელიც ცდილობს სისტემა ამ მდებარეობაში დააბრუნოს;

2. სისტემაში წინააღმდეგობის ძალები (ხახუნი) საკმარისად მცირე უნდა იყოს (იმ ძალასთან შედარებით, რომელიც ცდილობს სისტემა წონასწორობის მდებარეობაში დააბრუნოს), რადგან წინააღმდეგ შემთხვევაში, რხევები სწრაფად **მიილევა** და, შესაძლოა, რომ არც კი აღიძრას. **არამილევადი რხევა** შესაძლებელია მხოლოდ ხახუნის არარსებობის შემთხვევაში.

2.1.6. რხევითი მოძრაობის ზოგიერთი მახასიათებელი

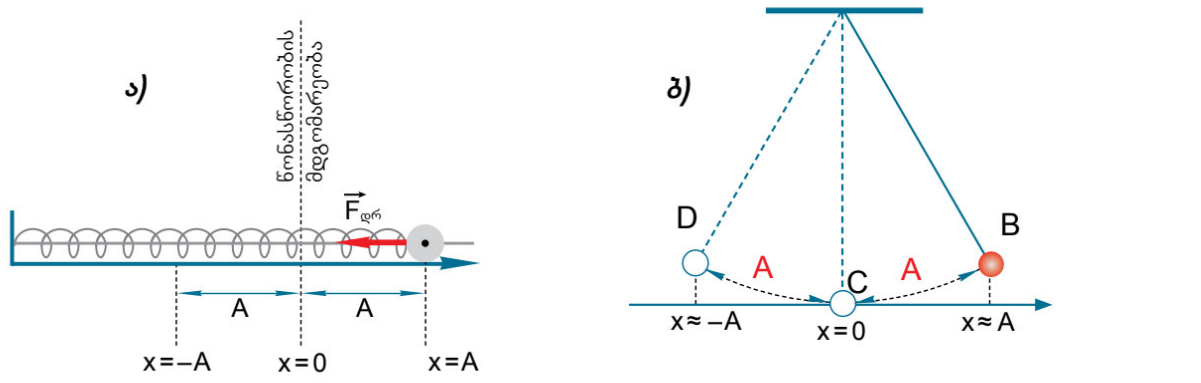
რხევითი მოძრაობის აღსაწერად ისეთივე კინემატიკური მახასიათებლები გამოიყენება, როგორსაც წრფივი თანაბარი და თანაბარაჩქარებული მოძრაობის დასახასიათებლად ვიყენებდით. ასეთებია მაგ., კოორდინატი, სიჩქარე, აჩქარება. თუმცა რხევითი მოძრაობის თავისებურებიდან გამომდინარე, მის აღსაწერად შემოაქვთ სხვა სიდიდეებიც, მაგ., წანაცვლება, ამპლიტუდა, პერიოდი, სიხშირე, ციკლური სიხშირე, ფაზა.

წანაცვლების შესახებ უკვე ვისაუბრეთ. ახლა კი განვიხილოთ, რა არის რხევის ამპლიტუდა, პერიოდი, სიხშირე (ციკლურ სიხშირეზე და ფაზაზე მოგვიანებით ვისაუბრებთ).

რხევის ამპლიტუდა

რხევის ამპლიტუდა წონასწორობის მდებარეობიდან მერხევი სხეულის უდიდესი გადახრის (წანაცვლების) მოდულია (სურ. 2.1.10). **ამპლიტუდას A -თი (ან x_0-ით, x_m -ით) აღნიშნავენ** (ზოგადად, ამპლიტუდა იმ ფიზიკური სიდიდის (წანაცვლების, სიჩქარის, აჩქარების, დენის ძალის, ძაბვის და ა.შ.) მაქსიმალური მნიშვნელობაა (მოდულით), რომლის რხევასაც ვაკვირდებით).

Don't copy



სურ. 2.1.10

მცირე რხევების დროს მათემატიკური ქანქარას რხევის ამპლიტუდად შეგვიძლია მივიჩნიოთ როგორც BC და CD რკალის სიგრძეები (სურ. 2.1.10, ბ), ისე BC და CD მონაკვეთების სიგრძეები ან Ox ღერძზე მათი პროექციების მოდულები. **მერხევი სხეულის მიერ ერთი სრული რხევის დროს გავლილი მანძილი 4A-ის ტოლია.**

თუ მერხევ სისტემაზე ხახუნის ძალები არ მოქმედებს, რხევის ამპლიტუდა უცვლელია. თავისუფალი რხევის ამპლიტუდა მხოლოდ **საწყის პირობებზეა** დამოკიდებული, ანუ იმაზე, თუ რამდენად დიდ მანძილზე წავანაცვლებთ სხეულს წონასწორობის მდებარეობიდან ან რამდენად დიდ სიჩქარეს მივანიჭებს მას, როცა ვუბიძგებთ.

რხევის პერიოდი

დროის იმ მინიმალურ შუალედს, რომლის შემდეგაც მერხევი სხეულის მოძრაობა მეორდება, **რხევის პერიოდი** ჰქვია. პერიოდის განმავლობაში სისტემა **ერთ სრულ რხევას** ასრულებს (ანუ, სისტემა თავის საწყის მდგომარეობას უბრუნდება). რხევის პერიოდს T ასოთი აღნიშნავენ. **რხევის პერიოდის ერთეული SI-ში 1 წამია.**

თუ t დროის განმავლობაში სისტემა N სრულ რხევას ასრულებს, მაშინ რხევის პერიოდი ასე გამოითვლება:

$$T = \frac{t}{N} \qquad (2.1.5)$$

რხევის სიხშირე

რხევის სიხშირე გვიჩვენებს,თუ რამდენ რხევას ასრულებს სისტემა დროის ერთეულში (1 წმ-ში, 1 წთ-ში ...). სიხშირეს ν ასოთი აღნიშნავენ.

სიხშირის ერთეული SI-ში 1 ჰერცია (ჰც): 1 ჰერცი ისეთი პერიოდული რხევის სიხშირეა, რომლის დროსაც 1 წმ-ში 1 რხევა სრულდება.

თუ t დროის განმავლობაში სისტემა N სრულ რხევას ასრულებს, მაშინ რხევის სიხშირე ასე გამოითვლება:

$$\nu = \frac{N}{t} \qquad (2.1.6)$$

დააკვირდი 2.1.5 და 2.1.6 ფორმულებს: **პერიოდი და სიხშირე ურთიერთშებრუნებული სიდიდეებია:**

$$\nu = \frac{1}{T} \qquad (2.1.7)$$

2.1.6-ის თანახმად, **1 ჰერცი** $= \frac{1}{\text{წმ}} =$ **წმ**$^{-1}$.

Don't copy

2.2 ჰარმონიული რხევა

1969 წლის 20 ივლისს, ამერიკული კოსმოსური ხომალდი – „აპოლონ 11“ – მთვარის ზედაპირზე დაეშვა. ხომალდის მეთაური – **ნილ ამსტრონგი** პირველი ადამიანია (სურ. 2.2.1), ვინც მთვარეზე ფეხი დადგა...19 წუთის შემდეგ მას ხომალდის პილოტი – **ბაზ ოლდრინი** შეუერთდა.



სურ. 2.2.1. ფოტოს ოლდრინი იღებს და თავად ჩაფხუტის მინაში ჩანს.

მთელი მსოფლიო პირდაპირ ეთერში უყურებდა ასტრონავტთა პირველ ნაბიჯებს მთვარეზე. მართვის ცენტრიდან კი მისიას თვალს კომუნიკატორთა ჯგუფი სულგანაბული ადევნებდა: მათი ყურადღების მიღმა ასტრონავტთა არც ერთი მოძრაობა, არც ერთი უმნიშვნელო დეტალიც კი არ რჩებოდა.

ჯგუფის წევრებს შორის საზღვაო ოფიცერი, მფრინავი და ნასას ასტრონავტი **დონ ლესლი ლინდიც** იმყოფებოდა, რომელიც მაღალი ენერგიების ფიზიკის დარგში დოქტორის ხარისხსაც ფლობდა. ამბობენ, როცა ეკრანზე ფართო კადრით ბაზ ოლდრინი გამოჩნდა, რომელსაც ხელში, დაახლოებით, ნახევარმეტრიან საკიდზე დაკიდებული მერხევი სხეული უჭირავს, დონ ლინდიმ ყველასათვის მოულოდნელად ხმამაღლა განაცხადა: მთვარეზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, დაახლოებით, 1, 6 მ/წმ^2-ია!

სულ რამდენიმე წამის განმავლობაში და თან ძალიან ბუნდოვნად ჩანს ეს ეპიზოდი ექვსსაათიან ჩანაწერში, მაგრამ რამდენიმე წამიც სრულიად საკმარისი აღმოჩნდა, რომ დონ ლინდის აბსოლუტურად სწორი დასკვნა გამოეტანა.

რამდენად მართალია ეს ისტორია, არავინ იცის (იმდენი ტყუილ-მართალი ითქვა და დაიწერა მთვარის მისიების შესახებ...), არც ისაა ცნობილი, ნამდვილად 1,6 მ/წმ^2 იყო თუ არა ლინდის გამოთვლის შედეგი, მაგრამ თავისუფალი ვარდნის აჩქარების განსაზღვრა ასეთ შემთხვევაში მართლაც შესაძლებელია. ცხადია, არცთუ ისე დიდი სიზუსტით, მაგრამ მაინც: ამისათვის მხოლოდ **საკიდზე დაკიდებული მერხევი სხეული – ქანქარაა** საჭირო. როგორ შეიძლება ქანქარას დახმარებით თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ეკრანზე ნანახი კადრებით განსაზღვრო, ამას ამ პარაგრაფიდან შეიტყობ.

მისიის მოკლე ჩანაწერის ნახვა კი შეგიძლია ვიდეოზე: http://bitly.ws/z4NC

თავისუფალი რხევების დინამიკა ჩვენ ორი, ზამბარიანი და მათემატიკური, ქანქარას კლასიკურ მაგალითზე განვიხილეთ. თითოეულ შემთხვევაში განვსაზღვრეთ რა პირობებში ასრულებს მერხევი სისტემა თავისუფალ რხევებს, რომელი ძალის მოქმედებით აღიძვრება რხევა სისტემაში, როგორ იცვლება თითოეულ სისტემაში სიჩქარე, აჩქარება. ახლა კი დავადგინოთ, როგორი სახე აქვს თავისუფალი რხევების აღმწერ განტოლებას თითოეულ შემთხვევაში.

2.2.1. ზამბარიანი ქანქარას თავისუფალი რხევის განტოლება

მაგალითისთვის, ჯერ **ჰორიზონტალური ზამბარიანი ქანქარას** რხევა განვიხილოთ. **დავუშვათ, რომ:**

ა) ხახუნის ძალები, რომლებიც ზამბარის ბოლოზე მიმაგრებულ ბურთულაზე მოქმედებს (ღერძის, საყრდენის, გარემოს მხრიდან), უმნიშვნელოა და მათი უგულებელყოფა შესაძლებელია;

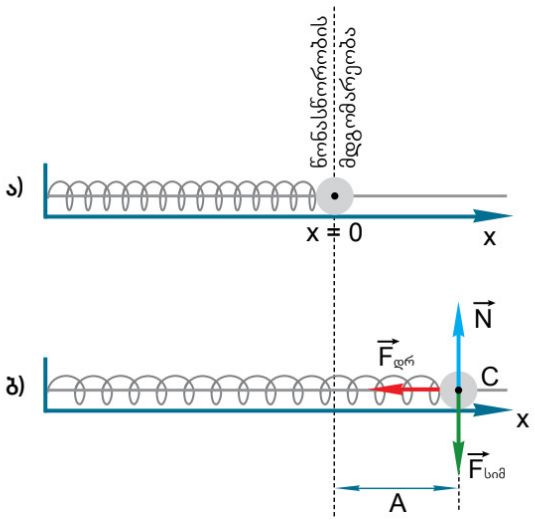
Don't copy

ბ) ზამბარის დეფორმაცია სხეულის რხევისას მცირეა და დრეკადი, ანუ შეგვიძლია **ჰუკის კანონის** გამოყენება.

1. ავირჩიოთ საკოორდინატო Ox ღერძი ისე, რომ:

ა) ღერძი ჰორიზონტალურად მარჯვნივ იყოს მიმართული (სურ. 2.2.2, ა);

ბ) კოორდინატთა სათავე წონასწორობის მდგომარეობაში ბურთულას სიმძიმის ცენტრს ემთხვეოდეს (სურ. 2.2.2, ა), ანუ წონასწორობის მდგომარეობაში ბურთულას კოორდინატი ნულის ტოლია (x = 0).



სურ. 2.2.2

2. ვთქვათ, **ბურთულა წონასწორობის მდგომარეობიდან მარჯვნივ გადავხარეთ:** გადავაადგილეთ C წერტილში და ხელით შევაკავეთ (სურ. 2.2.2, ბ).ზამბარა გაიჭიმება და სხეულზე მარცხნივ მიმართული ზამბარის დრეკადობის ძალა იმოქმედებს:

$$(F_{დრ})_x = - kx \qquad (2.2.1)$$

3. ნიუტონის II კანონის თანახმად, ზამბარის ბოლოზე მიმაგრებულ m მასის ბურთულაზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ასე განისაზღვრება:

$$\vec{F}_{სიმ} + \vec{N} + \vec{F}_{დრ} = m\vec{a} \qquad (2.2.2)$$

$\vec{F}_{სიმ}$ – ბურთულაზე მოქმედი სიმძიმის ძალაა;
$\vec{N}$ – საყრდენის რეაქციის ძალაა;
$\vec{F}_{დრ}$ – დეფორმირებულ ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალაა;
$\vec{a}$ – ბურთულას აჩქარებაა.

იმის გათვალისწინებით, რომ $\vec{F}_{სიმ}$ და $\vec{N}$ ძალები ერთმანეთს აწონასწორებს, 2.2.2 ვექტორული განტოლება Ox ღერძზე დაგეგმილებისას ასეთ სახეს მიიღებს:

$$- kx = ma_x \qquad (2.2.3)$$

2.2.3-დან ჩანს, რომ: $\boxed{a_x = -\frac{k}{m}x}$ (2.2.4)

დააკვირდი 2.2.4 გამოსახულებას: k სიხისტე და m მასა მოცემული მერხევი სისტემისთვის მუდმივი სიდიდეებია, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **მერხევი სხეულის აჩქარების გეგმილი პირდაპირპროპორციულია მისი x კოორდინატისა.** 2.2.4 განტოლებას ზამბარიანი ქანქარას **თავისუფალი რხევის განტოლება** ჰქვია.

2.2.2. მათემატიკური ქანქარას თავისუფალი რხევის განტოლება

გაიხსენე: მათემატიკური ქანქარა მერხევი სისტემაა, რომელიც შედგება:

ა) გრძელი, ℓ სიგრძის უწონო და უჭიმარი ძაფისგან;

ბ) ძაფზე დაკიდებული m მასის მატერიალური წერტილისგან;

გ) დედამიწისგან (პლანეტისგან), რომლის გრავიტაციულ ველშიც ირხევა ქანქარა.

დავუშვათ, რომ:

ა) ხახუნის ძალები, რომლებიც ქანქარაზე მოქმედებს, უმნიშვნელოა და მათი უგულებელყოფა შესაძლებელია;

ბ) ძაფის ვერტიკალიდან გადახრის კუთხე ძალიან მცირეა (ანუ ვიხილავთ ქანქარას **მცირე რხევებს**).

Don't copy

შენ იცი, რომ მათემატიკური ქანქარა რხევისას მოძრაობს წრეწირის რკალზე (ჩვენ შემთხვევაში, წრეწირის რადიუსია ℓ, ცენტრი კი C წერტილია (სურ. 2.2.3)), ამიტომ დროის ნებისმიერ მომენტში ბურთულას მდებარეობა სრულად განისაზღვრება ერთი სიდიდით – ვერტიკალიდან ძაფის გადახრის α კუთხით (სურ. 2.2.3). ჩავთვალოთ, რომ **α კუთხე:**

ა) დადებითია ($\alpha > 0$), თუ ქანქარა **წონასწორობის მდებარეობიდან მარჯვნივ არის** გადახრილი;

ბ) უარყოფითია ($\alpha < 0$), თუ ქანქარა **წონასწორობის მდებარეობიდან მარცხნივ არის** გადახრილი.

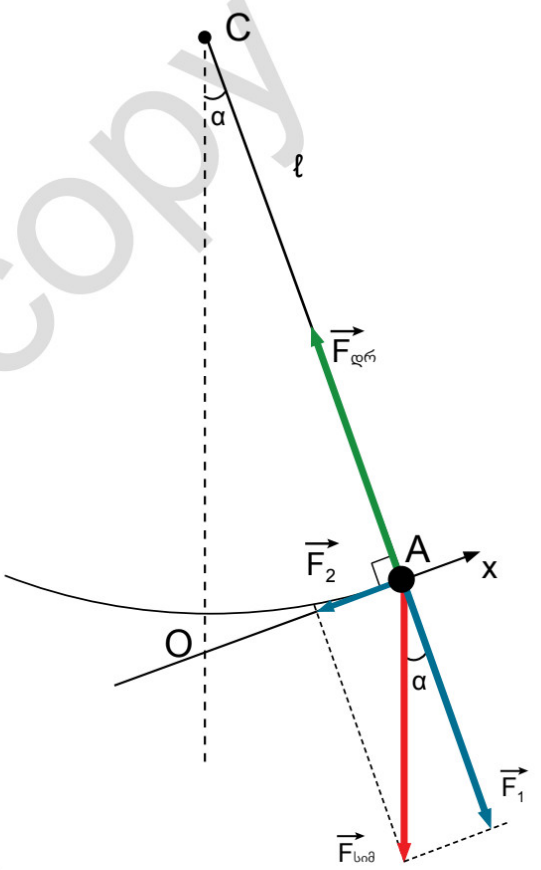
ვთქვათ, ქანქარა წონასწორობის მდებარეობიდან გადახრილია მარჯვნივ მცირე კუთხით და ბურთულა A წერტილში უძრავადაა შეკავებული (სურ. 2.2.3).

1. ავირჩიოთ საკოორდინატო Ox ღერძი ისე, რომ:

ა) A წერტილში ღერძი ძაფის მართობულად, ტრაექტორიის მხების გასწვრივ იყოს მიმართული;

ბ) ღერძის დადებითი მიმართულება დაემთხვეს დადებითი კუთხის ათვლის მიმართულებას;

გ)კოორდინატთა სათავე (O წერტილი) ემთხვეოდეს (მიახლოებით) წონასწორობის მდგომარეობაში ბურთულას სიმძიმის ცენტრს (წონასწორობის მდგომარეობაში ბურთულას კოორდინატი ნულის ტოლია: $x = 0$).



სურ. 2.2.3

2. ბურთულას სიმძიმის ძალისა ($\vec{F}_{სიმ}$) და ძაფში აღძრული დრეკადობის ძალის ($\vec{F}_{დრ}$) **ტოლქმედი სისტემას აჩქარებას** ($\vec{a}$) ანიჭებს.

ნიუტონის II კანონის თანახმად, **სისტემაზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი** ასე განისაზღვრება:

$$\vec{F}_{სიმ} + \vec{F}_{დრ} = m\vec{a} \qquad (2.2.5)$$

3. იმის გათვალისწინებით, რომ ძაფში აღძრული დრეკადობის ძალის ($\vec{F}_{დრ}$-ის) გეგმილი ძაფის მართობულ Ox ღერძზე ნულის ტოლია, 2.2.5 ვექტორული განტოლება Ox ღერძზე დაგეგმილებისას ასეთ სახეს მიიღებს:

$$(F_{სიმ})_x = ma_x \qquad (2.2.6)$$

2.2.3 ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$(F_{სიმ})_x = -mg\sin\alpha \qquad (2.2.7)$$

2.2.6 და 2.2.7 ტოლობებიდან მივიღებთ, რომ

$$a_x = -g\sin\alpha \qquad (2.2.8)$$

4. დააკვირდი ნახაზს (სურ. 2.2.3): მართკუთხა ΔOAC-დან: $\sin\alpha = \frac{OA}{OC}$

ქანქარას მცირე α კუთხით გადახრისას:

ა) OA კათეტის სიგრძე ბურთულას წანაცვლების მოდულის ტოლია: $OA = x$;

ბ) OC ჰიპოტენუზის სიგრძე კი მიახლოებით ძაფის სიგრძეს უტოლდება: $OC \approx \ell$

ასე რომ, მართკუთხა ΔOAC-დან: $\sin\alpha = \frac{x}{\ell}$ (2.2.9)

2.2.9 თანაფარდობის გათვალისწინებით, 2.2.8 ტოლობა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$a_x = -\frac{g}{\ell}x \qquad (2.2.10)$$

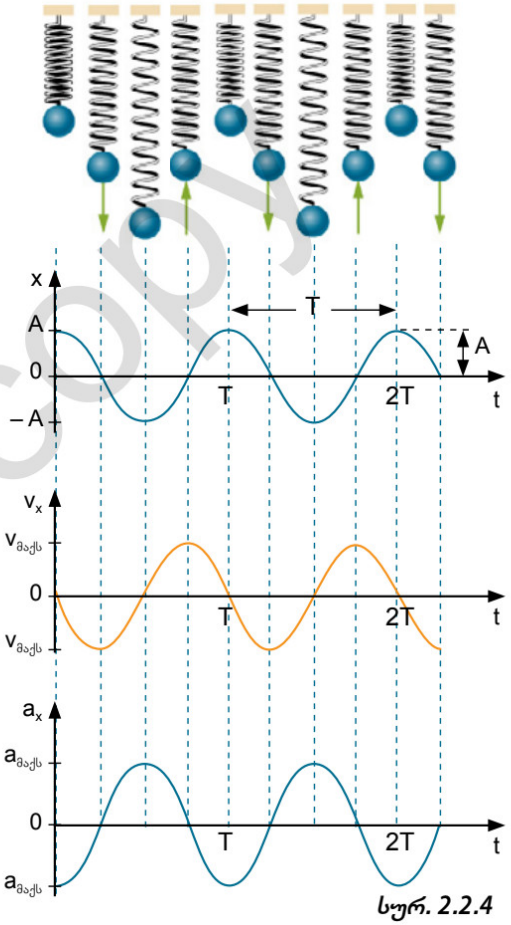
Don't copy

დააკვირდი 2.2.10 გამოსახულებას: g და ℓ მოცემული მერხევი სისტემისთვის მუდმივი სიდიდეებია, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **მერხევი სხეულის აჩქარების გეგმილი პირდაპირპროპორციულია მისი x კოორდინატისა.** 2.2.10 განტოლებას მათემატიკური ქანქარას **თავისუფალი რხევის განტოლება** ჰქვია. **დააკვირდი** ქანქარას რხევას ვირტუალურ ლაბორატორიაში: http://bitly.ws/z4v4

2.2.3. ჰარმონიული რხევები

აღმოჩნდა, რომ თუ სხეულის **აჩქარება კოორდინატის პირდაპირპროპორციულია, მაშინ ასეთი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება სინუსის ან კოსინუსის ფუნქციის დახმარებით აღიწერება** (ამ დამოკიდებულების დასადგენად მათემატიკური ანალიზია საჭირო, თუმცა ამ ეტაპზე, სირთულის გამო, მას თავს ავარიდებთ).

ზოგადად, **ფიზიკური სიდიდის** (მაგ., კოორდინატის, სიჩქარის, აჩქარების) **დროზე დამოკიდებულების პერიოდულ ცვლილებას, რომელიც სინუსის ან კოსინუსის კანონით მიმდინარეობს, ჰარმონიული რხევა** ჰქვია.



სურ. 2.2.4

თუ 2.2.4 და 2.2.10 განტოლობებს შეადარებ, შეამჩნევ, რომ **თავისუფალი რხევის განტოლებები, რომლებიც ზამბარიანი და მათემატიკური ქანქარას რხევას აღწერს (როცა ხახუნის ძალები უგულებელყოფილია), ერთნაირია:** ორივე შემთხვევაში **მერხევი სხეულის აჩქარება** (და, შესაბამისად, სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა) **პირდაპირპროპორციულია x კოორდინატისა.**

ზამბარიანი და მათემატიკური ქანქარას თავისუფალი რხევა (როცა ხახუნის ძალები უგულებელყოფილია) ჰარმონიულია და ერთნაირი კანონზომიერებით მიმდინარეობს, მიუხედავად იმისა, რომ მათი რხევის გამომწვევ ძალებს განსხვავებული ფიზიკური ბუნება აქვს: ერთ შემთხვევაში რხევას ზამბარის დრეკადობის ძალა იწვევს, მეორე შემთხვევაში კი – სიმძიმის ძალის მდგენელი. ასე რომ, **ჰარმონიული რხევისას სისტემაში აღიძვრება წონასწორობის მდგომარეობაში დამაბრუნებელი ძალა, რომლის მოდული გადახრის პროპორციულია** (იხ. ანალოგიების ცხრილი, გვ.259).

2.2.1

2.2.4 სურათზე გამოსახულია ზამბარიანი ქანქარას ჰარმონიული რხევის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების (კოორდინატის, სიჩქარისა და აჩქარების) დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები. აღწერე როგორ იცვლება კოორდინატი, სიჩქარე და აჩქარება დროის მიხედვით, პერიოდის განმავლობაში.

2.2.4.ჰარმონიული რხევის გრაფიკი

მერხევი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკულ მრუდს მარტივი ცდითაც დავადგენთ.

Don't copy

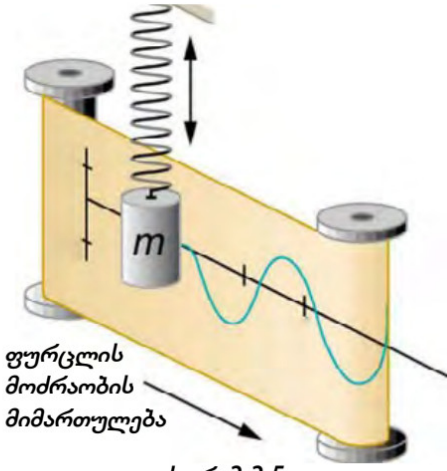
ცდა I

1. ჩაამაგრე შტატივის თათში ვერტიკალურად ზამბარა და მის ბოლოზე საწონი დაკიდე. საწონს ცხელი წებოთი მიამაგრე წვრილწვერიანი მარკერი ისე, რომ მარკერი მისდამი მართობულ სიბრტყეში მდებარეობდეს (სურ. 2.2.5);

2. მოათავსე ქაღალდის ფურცელი საწონთან ისე, რომ მას მარკერის წვერი ეხებოდეს;

3. გამოიყვანე საწონი წონასწორობის მდგომარეობიდან და მისი რხევის პროცესში ფურცელი ნელა წრფივად და თანაბრად ამოძრავე;

დააკვირდი: რა სახის მრუდს აღწერს მარკერის წვერი ფურცელზე?

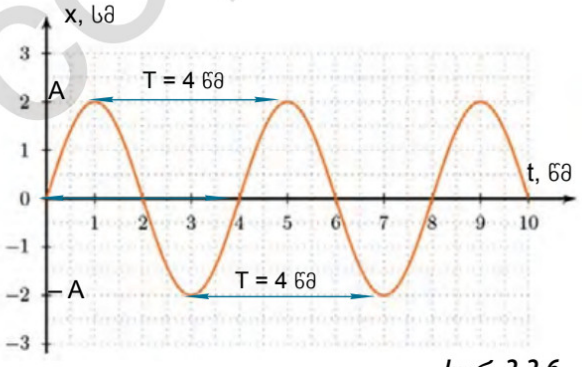


სურ. 2.2.5

სხეულის თავისუფალი რხევისას მისი მდებარეობა (კოორდინატი) განუწყვეტლივ იცვლება. **თუ ხახუნი იმდენად მცირეა, რომ მისი უგულებელყოფა შესაძლებელია, მერხევი სხეულის კოორდინატი დროის მიხედვით სინუსის (კოსინუსის) კანონით იცვლება.** ეს კი იმას ნიშნავს, რომ თავისუფლად მერხევი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი **სინუსოიდაა (კოსინუსოდაა).**

რხევას, რომლის დროსაც მერხევი სხეულის კოორდინატი დროის მიხედვით სინუსის (ან კოსინუსის) კანონით იცვლება, ჰარმონიული რხევა ჰქვია.

აღსანიშნავია, რომ, რეალურად, თავისუფალი რხევა ჰარმონიული რხევა არ არის, რადგან **ჰარმონიული რხევისას ამპლიტუდა უცვლელია,** თავისუფალი რხევა კი მილევადია. თუ ხახუნი უმნიშვნელოა, მაშინ მცირე დროის განმავლობაში (სანამ ამპლიტუდა მნიშვნელოვნად შემცირდება) თავისუფალი რხევა შეიძლება პრაქტიკულად ჰარმონიულად ჩავთვალოთ.



სურ. 2.2.6

დააკვირდი: 2.2.6 სურათზე ჰარმონიულად მერხევი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკია (**რხევის გრაფიკია**) გამოსახული.

რხევის გრაფიკის მიხედვით შეგვიძლია განვსაზღვროთ:

1. მერხევი სხეულის კოორდინატი დროის ნებისმიერ მომენტში: მაგ., სხეულის კოორდინატი, როცა

ა) $t = 0$; $x_0 = 0$ (ანუ მოძრაობის დაწყების მომენტში მერხევი სხეული წონასწორობის იმყოფებოდა);

ბ) $t = T/4 = 1$ წმ; $x = A = 2$ სმ (პერიოდის მეოთხედის შემდეგ, მას შემდეგ რაც სხეულმა 1/4 რხევა შეასრულა, სხეული წონასწორობის მდგომარეობიდან **მაქსიმალურადაა გადახრილი მარჯვნივ**);

გ) $t = T/2 = 2$ წმ; $x = 0$ (ნახევარი პერიოდის შემდეგ, მას შემდეგ რაც სხეულმა ნახევარი რხევა შეასრულა, სხეული კვლავ წონასწორობის მდგომარეობაში აღმოჩნდა);

დ) $t = 3T/4 = 3$ წმ; $x = -A = -2$ სმ (3/4 პერიოდის შემდეგ, მას შემდეგ რაც სხეულმა 3/4 რხევა შეასრულა, სხეული წონასწორობის მდგომარეობიდან მაქსიმალურადაა გადახრილი მარცხნივ).

Don't copy

ე) $t = T = 4$ წმ; $x = 0$ (პერიოდის შემდეგ, მას შემდეგ რაც სხეულმა **სრული 1 რხევა** შეასრულა, ის საწყის წონასწორულ მდგომარეობაში აღმოჩნდა).

2. რხევითი მოძრაობის მახასიათებლები:

ა) რხევის ამპლიტუდა: $A = 2$ სმ; ბ) რხევის პერიოდი: $T = 4$ წმ

გ) რხევის სიხშირე: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{4}$ წმ$^{-1}$ $= 0{,}25$ ჰც.

2.2.5.ჰარმონიული მერხევი სხეულის კოორდინატის (წანაცვლების) დროზე დამოკიდებულების განტოლება

როგორ ვიპოვოთ მერხევი სხეულის კოორდინატი დროის ნებისმიერ მომენტში, ანუ როგორ გადავჭრათ **მექანიკის ძირითადი ამოცანა** რხევითი მოძრაობის დროს?

ჰარმონიულად მერხევი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების განტოლება ჩაიწერება:

ან ასე: $\boxed{x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0)}$ (2.2.11)

ან ასე: $\boxed{x(t) = A\cos(\omega t + \varphi_0)}$ (2.2.12)

$x(t)$ მერხევი სხეულის კოორდინატია დროის მოცემულ t მომენტში;
A რხევის ამპლიტუდაა.

შენიშვნა: 2.2.11 და 2.2.12 განტოლებების

ა) გამოყვანა რთულ მათემატიკურ გარდაქმნებს უკავშირდება, ამიტომ მათ გამოყვანის გარეშე განვიხილავთ;

ბ) გამოყენება თანაბრადაა შესაძლებელი, თუმცა დამოკიდებულია კონკრეტული ამოცანის პირობებზე (რაზეც მოგვიანებით ვისაუბრებთ).

დააკვირდი 2.2.11 და 2.2.12 განტოლებებს: $\sin(\omega t + \varphi_0)$ და $\cos(\omega t + \varphi_0)$ მოდულით ყოველთვის ნაკლებია ან ტოლია 1-ზე, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ $|x(t)| \le A$, ანუ, **ამპლიტუდა წონასწორობის მდგომარეობიდან მაქსიმალური წანაცვლების მოდულია**.

2.2.6.ციკლური სიხშირე

რა ფიზიკური შინაარსი აქვს ω–ს? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად **გაიხსენე:** სინუსი და კოსინუსი პერიოდული ფუნქციებია. მათი უმცირესი პერიოდი 2π -ს ტოლია.

პერიოდულობის განმარტებიდან გამომდინარე (გაიხსენე 2.2.1 ტოლობა):

$$x(t + T) = x(t);$$

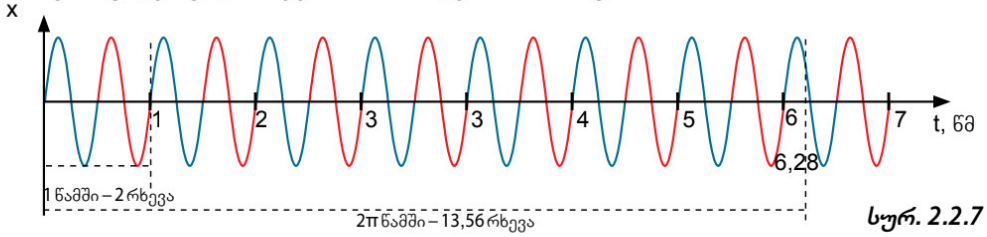
ანუ $A\cos(\omega(t+T) + \varphi_0) = A\cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow \cos(\omega(t+T) + \varphi_0) = \cos(\omega t + \varphi_0);$

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ $(\omega(t+T) + \varphi_0) - (\omega t + \varphi_0) = 2\pi$

გამარტივების შედეგად კი მივიღებთ, რომ $\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}}$ (2.2.13)

რადგან $T = \frac{1}{\nu} \Rightarrow$ $\boxed{\omega = 2\pi\nu}$ (2.2.14)

დააკვირდი: ν **სიხშირეა** – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც გვიჩვენებს დროის ერთეულში (მაგ., 1 წმ-ში) შესრულებულ რხევათა რაოდენობას (სურ. 2.2.7).



სურ. 2.2.7

Don't copy

ω , ანუ **2πν სიდიდე კი 2π წამში** (≈ 6,28 წმ-ში) **შესრულებულ რხევათა რიცხვს გვიჩვენებს** (სურ. 2.2.7). ω -ს **ციკლური სიხშირე** ჰქვია.

2.2.13 ფორმულის თანახმად, **ციკლური სიხშირის ერთეული SI-ში 1/წმ-ია** ან **1 რად/წმ** (სინუსის ან კოსინუსის არგუმენტი რადიანებში იზომება).

2.2.7. რხევის ფაზა

2.2.11 და 2.2.12 ფორმულებში **სინუსისა და კოსინუსის ნიშნის ქვეშ მდგომ გამოსახულებას რხევის ფაზა** ჰქვია და **φ**-თი აღინიშნება:

$$\varphi = \omega t + \varphi_0 \qquad (2.2.15)$$

რხევის ფაზა, როგორც სინუსისა და კოსინუსის არგუმენტი, **რადიანებით იზომება.**

მოცემული ამპლიტუდის დროს, ჰარმონიულად მერხევი სხეულის კოორდინატი დროის ნებისმიერ მომენტში ცალსახად განისაზღვრება სინუსის (კოსინუსის) არგუმენტით, ანუ **რხევის ფაზით.** ფაზა არა მარტო კოორდინატის, არამედ დროის ნებისმიერ მომენტში სხვა, ჰარმონიულად მერხევი ფიზიკური სიდიდეების (მაგ., სიჩქარის, აჩქარების) მნიშვნელობას განსაზრვრავს, ანუ **მოცემული ამპლიტუდის დროს ფაზა დროის ნებისმიერ მომენტში მერხევი სისტემის მდგომარეობას განსაზღვრავს.**

რა ფიზიკური შინაარსი აქვს φ_0 –ს?

დააკვირდი: φ_0 რხევის ფაზაა მოძრაობის დაწყების მომენტში (როცა $t = 0$, $\varphi = \varphi_0$). მას **საწყის ფაზას** უწოდებენ.

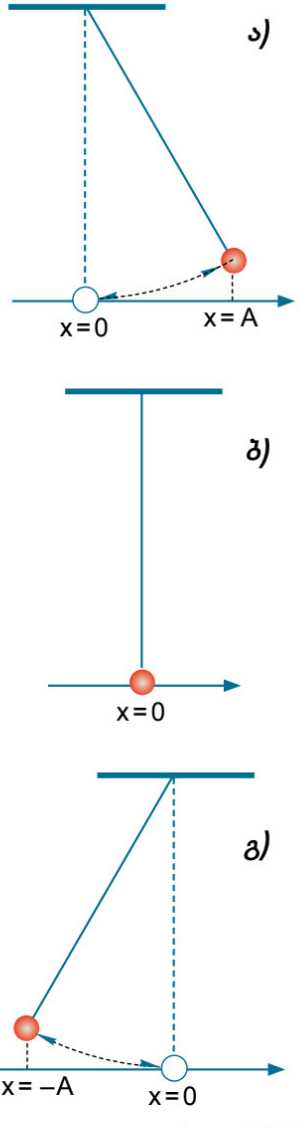
ვთქვათ, მათემატიკური ქანქარა დროის საწყის მომენტში (როცა $t = 0$):

1. გადახრილია წონასწორობის მდგომარეობიდან მარჯვნივ ($x = A$) (სურ. 2.2.8, ა), მაშინ 2.2.12 ფორმულის თანახმად, $x\ (0) = A\cos(\omega \cdot 0 + \varphi_0) = A) \Rightarrow \varphi_0 = 0$;

2. გადახრილია წონასწორობის მდგომარეობიდან მარცხნივ ($x = -A$) (სურ. 2.2.8, ბ), მაშინ 2.2.12 ფორმულის თანახმად, $x\ (0) = A\cos(\omega \cdot 0 + \varphi_0) = -A) \Rightarrow \varphi_0 = \pi$;

3. წონასწორობის მდგომარეობაში იმყოფება ($x = 0$) და მას უბიძგეს (სურ. 2.2.8, გ), მაშინ 2.2.12 ფორმულის თანახმად, $x\ (0) = A\cos(\omega \cdot 0 + \varphi_0) = 0) \Rightarrow \varphi_0 = \pi/2$.

(გაითვალისწინე: თუ ქანქარას მარჯვნივ უბიძგეს, მაშინ $\varphi_0 < 0$, ხოლო თუ მარცხნივ უბიძგეს, მაშინ $\varphi_0 > 0$).



სურ. 2.2.8

დააკვირდი: მოცემული ამპლიტუდის დროს მერხევი სხეულის კოორდინატს დროის

ა) **ნებისმიერ მომენტში** განსაზღვრავს **რხევის ფაზა ($\omega t + \varphi_0$);**

ბ) **საწყის მომენტში** განსაზღვრავს **საწყისი ფაზა (φ_0).**

საწყისი ფაზა, ამპლიტუდის მსგავსად, მერხევი სისტემის საწყისი პირობებით (სად იმყოფება მერხევი სხეული საწყის მომენტში, რა მიმართულებით მოძრაობს) **განისაზღვრება.**

როცა ერთი ქანქარას რხევას ვიხილავთ, მაშინ ყოველთვისაა შესაძლებელი **დროის საწყისი მომენტის** ისე შერჩევა, რომ **საწყისი ფაზა ნულის ტოლი აღმოჩნდეს.**

ვთქვათ, **დაკვირვების დაწყების მომენტი ($t = 0$) ისე შევარჩიეთ, რომ მათემატიკური ქანქარა:**

ა) წონასწორობის მდებარეობიდან მაქსიმალურადაა გადახრილი ($x = A$), მაშინ $\varphi_0 = 0$. ასეთ შემთხვევაში კოსინუსის შემცველი

Don't copy

2.2.12 განტოლება გამარტივდება და მიიღებს ასეთ სახეს:

$$x\ (t)\ = A\cos\omega t \qquad (2.2.16)$$

ბ) წონასწორობის მდებარეობაში იმყოფება. მაშინ უმჯობესი იქნება სინუსის შემცველი 2.2.11 განტოლების გამოყენება ($\varphi_0 = 0$), რომელიც ასეთ სახეს მიიღებს:

$$x\ (t)\ = A\sin\omega t \qquad (2.2.17)$$

ვთქვათ, **საწყისი ფაზა 0-ის ტოლია,** მაშინ 2.2.13 ტოლობის გათვალისწინებით, **ფაზა ასე გამოითვლება:**

$$\varphi = \omega t = 2\pi\frac{t}{T} \qquad (2.2.18)$$

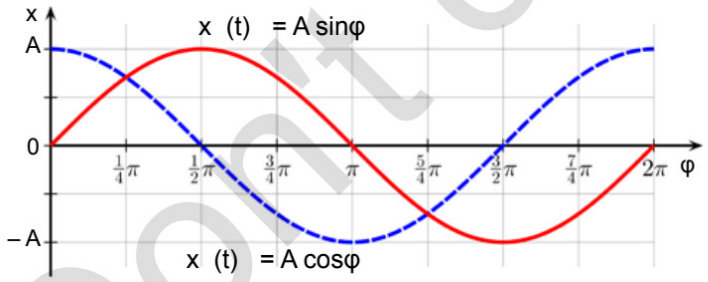
$\frac{t}{T}$ **შეფარდება გვიჩვენებს, პერიოდის რა ნაწილი გავიდა რხევის დაწყებიდან**. შესაბამისად, თუ ცნობილია ფაზის სიდიდე, 2.2.18 ფორმულის გამოყენებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ, რა დრო გავიდა რხევის დაწყებიდან (და – პირიქით).

მაგალითად,

ა) თუ $\varphi = 2\pi$, მაშინ რხევის დაწყებიდან გასულია პერიოდის ტოლი დრო ($t = T$) და სხეული საწყის მდგომარეობაში იმყოფება ($x = A$);

ბ) თუ რხევის დაწყებიდან გავიდა პერიოდის მეოთხედი ($t = \frac{T}{4}$), მაშინ $\varphi = \pi/2$.

ხშირად, გრაფიკულად გამოსახავენ მერხევი სხეულის კოორდინატის არა დროზე, არამედ ფაზაზე დამოკიდებულებას (სურ. 2.2.9). დააკვირდი გრაფიკს და შეადარე გარჩეულ მაგალითებში ჩვენ მიერ მიღებულ შედეგებს.



სურ. 2.2.9

2.2.8. ფაზათა წანაცვლება

ვთქვათ, ერთდროულად ორ ან რამდენიმე რხევას განვიხილავთ. თუ ჩავთვლით, რომ ერთი მათგანის საწყისი ფაზა 0-ის ტოლია ($\varphi_1 = \omega t$), მაშინ სხვა რხევით პროცესებში საწყისი φ_0 ფაზა, შესაძლოა, 0-ისგან განსხვავდებოდეს($\varphi_2 = \omega t + \varphi_0$) . **ფაზათა სხვაობა, თუ რხევები ერთნაირი სიხშირით მიმდინარეობს**, φ_0 -ს დაემთხვევა:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \varphi_0$$

ამასთან, იგულისხმება, რომ ყველა რხევა ერთნაირი ტრიგონომეტრიული ფუნქციით (ან კოსინუსით ან სინუსით) აღიწერება.

სურათ 2.2.10 -ზე გამოსახულია ერთნაირი ამპლიტუდითა და ერთნაირი სიხშირით მერხევი ორი სხეულის წანაცვლების (კოორდინატის) დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

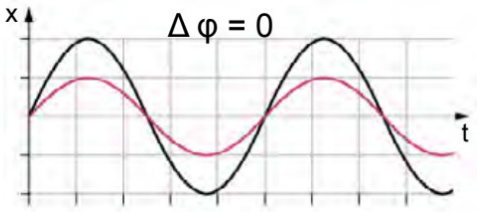
დააკვირდი: საწყის მომენტში (t=0) ორივე სხეული ერთნაირადაა გადახრილი წონასწორო-



სურ. 2.2.10

Don't copy

ბის მდებარეობიდან, ერთდროულად გადის წონასწორობის მდებარეობას და ერთსა და იმავე დროს აღწევენ წანაცვლების მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ანუ **ორივე სხეული აბსოლუტურად ერთნაირად ირხევა**. მათი რხევის გრაფიკები ზუსტად ერთნაირია: თუ მათ ერთმანეთს დავადებთ, გრაფიკები ერთმანეთს შეუთავსდება (ერთმანეთის მიმართ წანაცვლებული არ იქნება). ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ **სხეულები ერთნაირ ფაზაში ირხევა.** ერთნაირ ფაზაში შეიძლება სხვადასხვა ამპლიტუდის რხევებიც მიმდინარეობდეს (სურ. 2.2.11).

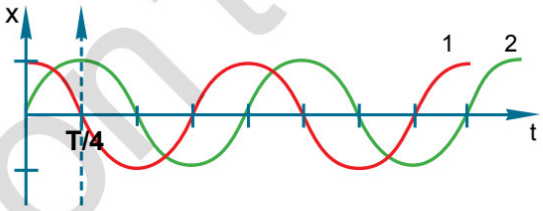


სურ. 2.2.11

ზოგადად, **თუ ორი ერთნაირი სიხშირით მერხევი სხეულები დროის ნებისმიერ მომენტში წონასწორობის მდებარეობის მიმართ ერთსა და იმავე მდგომარეობაში იმყოფება** (ერთ მხარესაა გადახრილი, ერთი მიმართულებით მოძრაობს), ამბობენ, რომ **მათი რხევები ერთნაირ ფაზაში მიმდინარეობს,** ანუ **ფაზათა სხვაობა 0-ის ტოლია** ($\Delta \varphi = 0$).

სურათ 2.2.12-ზე გამოსახულია ერთნაირი ამპლიტუდითა და ერთნაირი სიხშირით მერხევი ორი სხეულის წანაცვლების (კოორდინატის) დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

დააკვირდი: საწყის მომენტში ($t = 0$) 1-ელი სხეული მაქსიმალურადაა გადახრილი მარჯვნივ, მე-2 სხეული კი მოძრაობას წონასწორობის მდებარეობიდან იწყებს და მარჯვნივ იხრება. მე-2 სხეული „ჩამორჩება“ 1-ელ სხეულს $T/4$-ით (ანუ $\pi/2$ ფაზით): ის წანაცვლების ამპლიტუდურ მნიშვნელობას $T/4$-ის შემდეგ აღწევს, ანუ სხეულების **რხევის ფაზები წანაცვლებულია** $\pi/2$-ით.

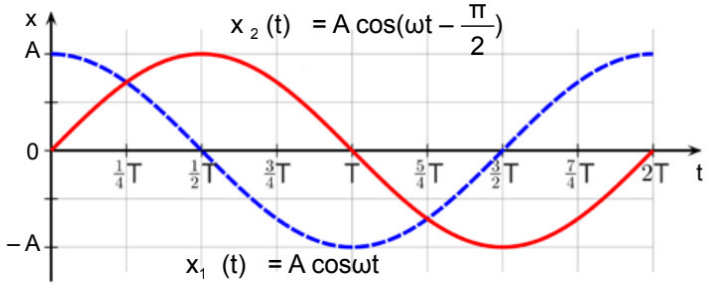


სურ. 2.2.12

ზოგადად, **თუ ერთნაირი სიხშირით მერხევი ორი სხეულიდან ერთ-ერთი მეორის მდგომარეობას დაგვიანებით იმეორებს (ჩამორჩება), ამბობენ, რომ მათი რხევები ფაზაშია წანაცვლებული.**

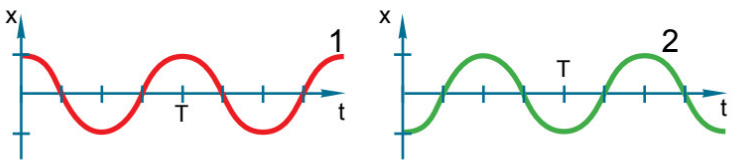
რხევაში „ჩამორჩენა“ ან „წინსწრება“ საწყისი ფაზის ნიშანზე აისახება: თუ რხევა „ჩამორჩება“ იმ რხევას, რომლის საწყისი ფაზა 0-ის ტოლია, მაშინ $\varphi_0<0$, თუ წინ „უსწრებს“, მაშინ $\varphi_0>0$.

დააკვირდი რხევის განტოლებებს (სურ. 2.2.13): მე-2 რხევა „ჩამორჩება“ პირველს. მე-2 რხევის განტოლებაში $\varphi_0<0$.

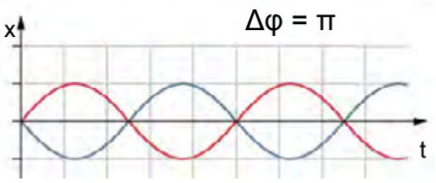


სურ. 2.2.13

Don't copy



სურ. 2.2.14



სურ. 2.2.15

თუ ერთნაირი სიხშირით მერხევი ორი სხეული დროის ნებისმიერ მომენტში ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით მოძრაობს (სურ. 2.2.14, 2.2.15), მაშინ ამბობენ, რომ **მათი რხევა საწინააღმდეგო ფაზაში მიმდინარეობს:** $\Delta\varphi = \pi$.

საწინააღმდეგო ფაზაში მიმდინარე ორი რხევის შემთხვევაში, ორივეს წანაცვლების მაქსიმუმი ერთდროულად მიიღწევა, მაგრამ საპირისპირო მხარეს (წანაცვლების ნიშანი განსხვავებულია).

2.2.9. თავისუფალი რხევის პერიოდი და სიხშირე

მათემატიკური ანალიზის გამოყენებით მტკიცდება, რომ **ჰარმონიული რხევის დროს მერხევი სხეულის აჩქარების გეგმილი Ox ღერძზე ასე გამოითვლება:**

$$a_x = -\omega^2 x \qquad (2.2.19)$$

დააკვირდი 2.2.4 და 2.2.10 განტოლებებს: **პროპორციულობის კოეფიციენტი ზამბარიანი და მათემატიკური ქანქარას რხევის განტოლებაში ციკლური სიხშირის კვადრატია.**

თუ შეადარებ 2.2.19 -სა და თავისუფალი რხევების 2.2.4 და 2.2.10 განტოლებებს, მიიღებ, რომ:

1. ზამბარიანი ქანქარას თავისუფალი რხევის პერიოდი ასე გამოითვლება:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (2.2.20)$$

(m ზამბარის ბოლოზე მიმაგრებული სხეულის მასაა, ხოლო k – ზამბარას სიხისტე).

2. მათემატიკური ქანქარას თავისუფალი რხევის პერიოდი ასე გამოითვლება:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad (2.2.21)$$

(ℓ ძაფის სიგრძეა, ხოლო g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება).

შენიშვნა: 2.2.21 ფორმულა სამართლიანია იმ შემთხვევაში, როცა ქანქარას გადახრის ამპლიტუდა მცირეა.

2.2.20 და 2.2.21 ფორმულებიდან ჩანს, რომ მცირე კუთხეებით გადახრისას **ჰარმონიული რხევის პერიოდი რხევის ამპლიტუდაზე დამოკიდებული არ არის**. ეს ასე აიხსნება: თუ მაგ., ამპლიტუდას ორჯერ გავზრდით, წონასწორობისკენ მიმართული ძალა და, შესაბამისად, აჩქარება ორჯერ გაიზრდება. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ შეძენილი სიჩქარე ორჯერ გაიზრდება. შედეგად, წონასწორობის მდებარეობისკენ სხეული მეტ მანძილს იმავე დროში გაივლის, რომელშიც გაივლიდა ორჯერ ნაკლები ამპლიტუდის შემთხვევაში.

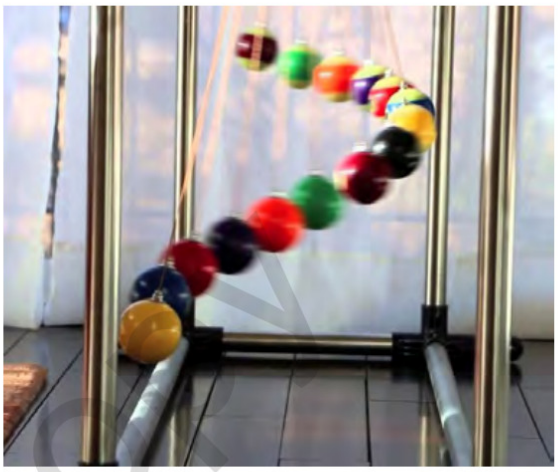
2.2.20 ფორმულის თანახმად, თუ ზამბარიანი ქანქარას პერიოდი და ზამბარას სიხისტე ცნობილია, შესაძლებელია, ზამბარაზე მიმაგრებული სხეულის მასის გამოთვლა. მასის განსაზღვის ამგვარ მეთოდს უწონობის პირობებში იყენებენ, როცა ჩვეულებრივი სასწორის გამოყენება შეუძლებელია.

2.2.21 ფორმულის დახმარებით, **თავისუფალი ვარდნის აჩქარების გამოთვლა შესაძლებელია**, თუ ქანქარას სიგრძეა ცნობილი. სავარაუდოდ, სწორედ ქანქარას სიგრძის

Don't copy

მიახლოებითი შეფასებითა და წამმზომის დახმარებით შეძლო დონ ლინდიმ მთვარეზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარების განსაზღვრა.

ასე რომ, **მათემატიკური ქანქარას რხევის პერიოდი მხოლოდ ქანქარას სიგრძესა და დედამიწის (პლანეტის) თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაზეა დამოკიდებული: მასასა და ამპლიტუდაზე დამოკიდებული არ არის!** სწორედ ეს დამოკიდებულება შეამჩნია გალილეო გალილეიმ, როცა საცეცხლურების რხევას აკვირდებოდა: ერთნაირი სიგრძის ჯაჭვებზე დაკიდებული დიდი და პატარა ჭაღების რხევის პერიოდი ერთნაირი იყო. რხევის მილევისას კი, მიუხედავად იმისა, რომ საცეცხლურების რხევის ამპლიტუდა შემცირდა, მათი პერიოდი იგივე დარჩა.



სურ. 2.2.16

2.2.21 ფორმულა დაგეხმარება **ტალღური ქანქარას მოდელის** შექმნაშიც (სურ. 2.2.16): ქანქარების სიგრძეები წინასწარ უნდა გამოთვალო. გაითვალისწინე: ყოველი მომდევნო ქანქარას სიგრძე იკლებს და, შესაბამისად, მცირდება პერიოდიც. ქანქარას სიგრძეები ისე უნდა შეარჩიო, რომ ერთსა და იმავე დროში ყოველი მომდევნო ქანქარა 1-ით ნაკლებ რხევას ასრულებდეს.

მაგ., ერთ-ერთი მოდელის მიხედვით, რომელშიც 11 ქანქარაა, ყველაზე გრძელი ქანქარას სიგრძე 34,4 სმ-ია (1 წუთში 51 რხევას ასრულებს). ყველაზე მოკლე ქანქარას სიგრძე 24 სმ-ია და ის წუთში 61 რხევას ასრულებს. თუ ქანქარების რხევის გრაფიკებს ერთსა და იმავე საკოორდინატო სისტემაში ააგებ, მათი „ქორეოგრაფიის“ საიდუმლოსაც ამოხსნი.

ქანქარას რხევაზე დაკვირვებით შესაძლებელია, დედამიწის სხვადასხვა ადგილას **g**-ს ცვლილების შემჩნევა. თავისუფალი ვარდნის აჩქარების სიდიდე (g_0) დედამიწის ზოგ ადგილას შეიძლება მისი საშუალო მნიშვნელობისგან ($g_{საშ}$) განსხვავდებოდეს, კერძოდ იქ, სადაც:

ა) სასარგებლო წიაღისეულის საბადოებია ან ლითონის მადანია;

ბ) დედამიწის ქერქი არაერთგვაროვანია (მთიან მასივებში ან ქვაბულებში).

g_0-სა და $g_{საშ}$ -ს შორის სხვაობას **გრავიტაციული ანომალია** ჰქვია და ასე გამოითვლება: $\Delta g = g_0 - g_{საშ}$

თუ $\Delta g > 0$, მაშინ ეს **დადებითი ანომალიაა**, რომელიც მიანიშნებს მიწის წიაღში მკვრივი მადნის ან ქანის არსებობას ($g_0 > g_{საშ}$). ასეთ ადგილებში მათემატიკური ქანქარას რხევის პერიოდი მცირდება (მისი რხევა ჩქარდება);

თუ **ანომალია უარყოფითია** ($\Delta g < 0$), მაშინ ის მსუბუქი სასარგებლო წიაღისეულის (ნავთობის, გაზის) არსებობას მოწმობს ($g_0 < g_{საშ}$). ასეთ ადგილებში მათემატიკური ქანქარას რხევის პერიოდი იზრდება (ნელდება მისი რხევა);

სასარგებლო წიაღისეულის აღმოჩენა თავისუფალი ვარდნის აჩქარების სიდიდის მიხედვით გეოლოგებში საკმაოდ პოპულარული მეთოდია, რომელსაც **გრავიმეტრიულ დაზვერვას** უწოდებენ.

Don't copy

2.3 რეზონანსი



სურ. 2.3.1

1940 წლის 7 ნოემბერი. ვაშინგტონი. ტაქომა ნაროუზის ხიდზე მოძრავი ავტომობილების მძღოლები უჩვეულო სანახაობის მომსწრენი გახდნენ, რომელიც ერთი შეხედვით რაღაც ზებუნებრივ მოვლენას ჰგავდა: 855 მ სიგრძის რკინა-ბეტონისგან ნაგებმა „დაკიდებულმა“ ხიდმა რხევა დაიწყო (წუთში 36 რხევის სიხშირით), რხევის ამპლიტუდა 1,5 მეტრს აღწევდა და თანდათან უფრო იზრდებოდა (სურ. 2.3.1). ხიდის ცენტრალური სამაგრი ჩაწყდა, ხიდი ჩაინგრა და სრუტეში ჩავარდა. ტაქომა ნაროუზის ხიდის ნგრევა შეგიძლია ნახო ვიდეოზე: http://bitly.ws/zyis

რა იყო ხიდის ჩანგრევის მიზეზი? იქნებ ქარი? იმ დღეს ნამდვილად ქროდა ძლიერი ქარი (რომლის სიჩქარე ≈ 16 მ/წმ-ს აღწევდა), თუმცა ეს არ იყო ქარიშხალი (ასეთი ქარის სიჩქარე 25 მ/წმ-დან იწყება), რომელსაც შეეძლო ნგრევა გამოეწვია.

რამ გამოიწვია ხიდის ჩანგრევა, ამ კითხვაზე პასუხს გაკვეთილის ბოლოს თავად გასცემ. მანამდე კი განვიხილოთ, როგორ გარდაიქმნება ენერგია მერხევ სისტემაში.

2.3.1. ენერგიის გარდაქმნა მერხევ სისტემაში

გაიხსენე: **იმისათვის, რომ სისტემაში თავისუფალი რხევები აღიძრას, საჭიროა:**

1. წონასწორობიდან გამოყვანის შემდეგ, სისტემაში წარმოიქმნას წონასწორობის მდებარეობისკენ მიმართული ძალა, რომელიც ცდილობს, სისტემა ამ მდებარეობაში დააბრუნოს;

2. სისტემაში წინააღმდეგობის ძალები (ხახუნი) საკმარისად მცირე უნდა იყოს (იმ ძალასთან შედარებით, რომელიც ცდილობს, სისტემა წონასწორობის მდებარეობაში დააბრუნოს);

წონასწორობის მდგომარეობიდან სისტემის გამოყვანას **დამატებითი ენერგია** (იმის გარდა, რაც მას წონასწორობის მდგომარეობაში უკვე აქვს) სჭირდება. ენერგიის გადაცემა სისტემისთვის შესაძლებელია ორი გზით: **მივანიჭოთ სისტემას:**

1. პოტენციური ენერგია: მაგ., გადავხაროთ ზამბარიან ქანქარაში ბურთულა წონასწორობის მდებარეობიდან გარკვეულ მანძილზე (გავჭიმოთ ან შევკუმშოთ ზამბარა);

2. კინეტიკური ენერგია: მაგ., ვუბიძგოთ ძაფზე დაკიდებულ ბურთულას (რომელიც წონასწორობის მდგომარეობაშია) და მივანიჭოთ სიჩქარე.

ცხადია, თუ დამატებითი ენერგია, რომელსაც სისტემას გადავცემთ, წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე დაიხარჯება, მაშინ რხევები მალევე მიილევა ან სულაც არ აღიძვრება (ამ მოვლენას შეგიძლია მარტივი ცდით დააკვირდე: ჩაუშვი ზამბარიანი ქანქარა წყალში (ან გლიცერინში) და ბურთულა წონასწორობის მდებარეობიდან გადახარე): წინააღმდეგობის ძალები უარყოფით მუშაობას ასრულებს და სისტემის სრული მექანიკური ენერგია მცირდება. შედეგად, დროთა განმავლობაში რხევის ამპლიტუდა თანდათან იკლებს (რხევა მიილევა) და როცა ენერგიის მარაგი ამოიწურება, რხევა შეწყდება.

განვიხილოთ ენერგიის გარდაქნის პროცესი რხევით სისტემებში, როცა:

I. სისტემაზე წინააღმდეგობის (ხახუნის) ძალები არ მოქმედებს;

II. სისტემაზე ხახუნის ძალები მოქმედებს.

Don't copy

I. ვთქვათ, **მერხევ სისტემაზე ხახუნის ძალები არ მოქმედებს**. ასეთ შემთხვევაში რხევითი სისტემის სრული მექანიკური ენერგია (პოტენციური და კინეტიკური ენერგიების ჯამი) არ იცვლება: **სრული მექანიკური ენერგიის შენახვის კანონის თანახმად**:

$$E_{სრ} = E_{პოტ} + E_{კინ} = \text{const} \qquad (2.3.1)$$

სრული მექანიკური ენერგია:

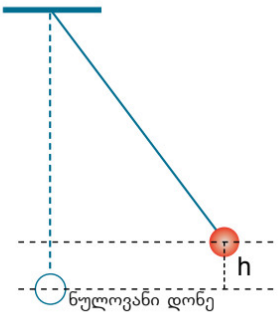
ა) ზამბარიანი ქანქარას შემთხვევაში ასე გამოითვლება:

$$E_{სრ} = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}; \qquad (2.3.2)$$

სადაც x წონასწორობის მდებარეობიდან ბურთულას წანაცვლებაა, ხოლო v ბურთულას სიჩქარეა დროის მოცემულ t მომენტში;

ბ) მათემატიკური ქანქარას შემთხვევაში ასე გამოითვლება:

$$E_{სრ} = mgh + \frac{mv^2}{2}; \qquad (2.3.3)$$



სურ. 2.3.2

სადაც h სიმაღლეა (სურ. 2.3.2), რომელზეც ბურთულას სიმძიმის ცენტრია აწეული ნულოვანი დონიდან (წონასწორობის მდებარეობიდან), ხოლო v ბურთულას სიჩქარეა დროის მოცემულ t მომენტში.

მაგალითისთვის, განვიხილოთ **ენერგიის გარდაქმნის პროცესი ზამბარიანი ქანქარას შემთხვევაში:**

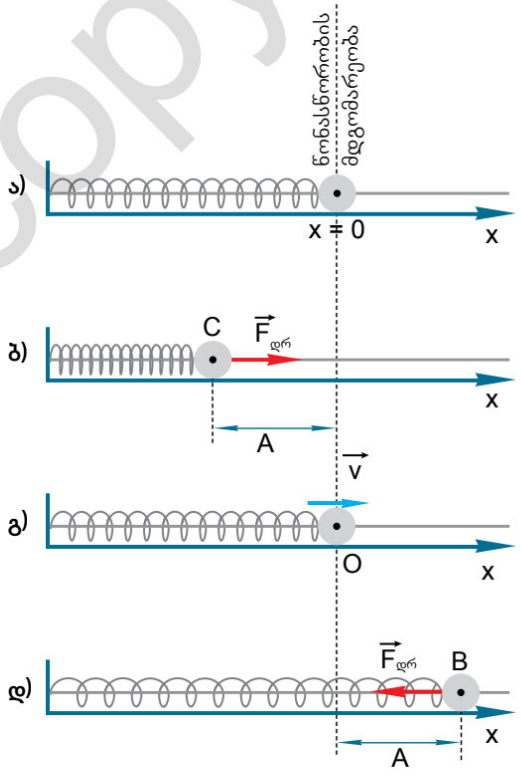
1. დროის საწყის მომენტში (t = 0), როცა ბურთულა წონასწორობის მდებარეობიდან მარცხნივ მაქსიმალურადაა გადახრილი (x = – A) და უძრავია (ბურთულა ხელითაა შეკავებული) (C წერტილი) (სურ. 2.3.3, ბ), სისტემის:

ა) კინეტიკური ენერგია ნულის ტოლია; $E_{კინ} = 0$;

ბ) პოტენციური ენერგია მაქსიმალურია:

$$E_{პოტ} = \max = \frac{kA^2}{2}; \qquad (2.3.4)$$

გ) სრული მექანიკური ენერგია მაქსიმალური პოტენციური ენერგიით განისაზღვრება: $E_{სრ} = \frac{kA^2}{2}$



სურ. 2.3.3

2. მას შემდეგ, რაც C წერტილში მყოფ ბურთულას ხელს გავუშვებთ, ბურთულა **მოძრაობას მარჯვნივ წონასწორობის მდგომარეობისკენ** (C -დან O წერტილისკენ) **დაიწყებს**:

ა) კინეტიკური ენერგია გაიზრდება (ბურთულას სიჩქარე იზრდება, v↑):

$$E_{კინ} \uparrow,$$

ბ) პოტენციური ენერგია შემცირდება (წანაცვლების მოდული მცირდება |x|↓):

$$E_{პოტ} \downarrow;$$

გ) სრული მექანიკური ენერგია უცვლელი რჩება: $E_{სრ} = E_{პოტ} + E_{კინ} = \text{const}$.

3. იმ მომენტში, როცა ბურთულა მარცხნივ მოძრაობისას კვლავ **წონასწორობის მდგომარეობაში აღმოჩნდება** (O წერტილი) (სურ. 2.3.3, გ):

Don't copy

ა) კინეტიკური ენერგია მაქსიმალურია (სიჩქარე მაქსიმალურია, $v = max$);

$$E_{კინ} = max = \frac{mv^2_{max}}{2},$$

ბ) პოტენციური ენერგია ნულის ტოლია (წანაცვლება ნულის ტოლია, $x = 0$):

$$E_{პოტ} = 0 ;$$

გ) სრული მექანიკური ენერგია მაქსიმალური კინეტიკური ენერგიით განისაზღვრება:

$$E_{სრ} = \frac{mv^2_{max}}{2}; \qquad (2.3.5)$$

4. ბურთულა ინერციით გააგრძელებს მოძრაობას ($O \to B$), გადაიხრება მარჯვნივ და მოდულით კლებადი სიჩქარით იმოძრავებს მანამ, სანამ მისი სიჩქარე ნულს გაუტოლდება. მარჯვენა უკიდურეს მდებარეობაში (B წერტილი) ბურთულა მყისიერად გაჩერდება და მარცხნივ ამოძრავდება (სურ. 2.3.3, დ). ენერგიის გარდაქმნის შემდგომი პროცესი ასახულია 2.3.1 ცხრილში.

ცხრილი 2.3.1. ზამბარიანი ქანქარას **ენერგიის გარდაქმნის პროცესი პერიოდის განმავლობაში:**

სისტემის ენერგია:	**ბურთულა იმყოფება/მოძრაობს:**								
	C -ში: $t = 0$	$C \to O$	O -ში: $t = T/4$	$O \to B$	B-ში: $t = T/2$	$B \to O$	O-ში: $t = 3T/4$	$O \to C$	C-ში: $t = T$
$E_{კინ}$	0	↑	$max ; \frac{mv^2_{max}}{2}$	↓	0	↑	$max; \frac{mv^2_{max}}{2}$	↓	0
$E_{პოტ}$	max $x = A$ $\frac{kA^2}{2}$	↓	0	↑	max $x = -A$ $\frac{kA^2}{2}$	↓	0	↑	max $x = A$ $\frac{kA^2}{2}$
$E_{სრ}$=const	$\frac{kA^2}{2}$	$E_{პოტ}+E_{კინ}$	$\frac{mv^2_{max}}{2}$	$E_{პოტ}+E_{კინ}$	$\frac{kA^2}{2}$	$E_{პოტ}+E_{კინ}$	$\frac{mv^2_{max}}{2}$	$E_{პოტ}+E_{კინ}$	$\frac{kA^2}{2}$

მათემატიკური ქანქარას ენერგიის გარდაქმნის პროცესი **პერიოდის განმავლობაში** ასახულია 2.3.2 ცხრილში:

ცხრილი 2.3.2. მათემატიკური ქანქარას **ენერგიის გარდაქმნის პროცესი პერიოდის განმავლობაში:**

სისტემის ენერგია:	ბურთულა იმყოფება/მოძრაობს:								
	C-ში: $t = 0$	$C \to O$	O-ში: $t = T/4$	$O \to B$	B-ში: $t = T/2$	$B \to O$	O-ში: $t = 3T/4$	$O \to C$	C-ში: $t = T$
$E_{კინ}$	0	↑	$max ; \frac{mv^2_{max}}{2}$	↓	0	↑	max	↓	0
$E_{პოტ}$	max $x = A$ mgh_{max}	↓	0	↑	max $x = -A$ mgh_{max}	↓	0	↑	max $x = A$ mgh_{max}
$E_{სრ}$=const	mgh_{max}	$E_{პოტ}+E_{კინ}$	$\frac{mv^2_{max}}{2}$	$E_{პოტ}+E_{კინ}$	mgh_{max}	$E_{პოტ}+E_{კინ}$	$\frac{mv^2_{max}}{2}$	$E_{პოტ}+E_{კინ}$	mgh_{max}

დააკვირდი 2.3.1 და 2.3.2 ცხრილების მონაცემებს: თავისუფალი რხევისას **პოტენციური და კინეტიკური ენერგიები პერიოდულად იცვლება**. სისტემის პოტენციური ენერგია გარდაიქმნება კინეტიკურად, კინეტიკური პოტენციურად, პოტენციური –

Don't copy

კვლავ კინეტიკურად და ა.შ. ენერგიის გარდაქმნის პროცესი ისე მიმდინარეობს, რომ თუ სისტემაზე ხახუნის ძალები არ მოქმედებს, **მერხევი სისტემის სრული მექანიკური ენერგია არ იცვლება.**

სისტემის სრული მექანიკური ენერგია მაქსიმალური პოტენციური ან მაქსიმალური კინეტიკური ენერგიით განისაზღვრება (თუ სისტემაზე ხახუნის ძალები არ მოქმედებს):

ა) **ზამბარიანი ქანქარას შემთხვევაში:**

$$E_{სრ} = \frac{kA^2}{2} = \frac{mv^2_{max}}{2}; \qquad (2.3.6)$$

სადაც A რხევის ამპლიტუდაა (მაქსიმალური წანაცვლების მოდული), ხოლო v_{max} ბურთულას მაქსიმალური სიჩქარეა წონაწორობის მდგომარეობის გავლის მომენტში;

ბ) **მათემატიკური ქანქარას შემთხვევაში**

$$E_{სრ} = mgh_{max} = \frac{mv^2_{max}}{2}; \qquad (2.3.7)$$

სადაც h_{max} ბურთულას სიმძიმის ცენტრის აწევის მაქსიმალური სიმაღლეა ნულოვანი დონიდან, ხოლო v_{max} ბურთულას სიჩქარეა წონასწორობის მდებარეობის გავლის მომენტში.

დააკვირდი 2.3.6. ფორმულას. **თავისუფლად მერხევი სხეულის სრული მექანიკური ენერგია პირდაპირპროპორციულია ამპლიტუდის კვადრატისა**: რაც უფრო მეტადაა გადახრილი მერხევი სხეული წონასწორობის მდებარეობიდან, მით უფრო მეტია მისი მექანიკური ენერგია, მით მეტია ის მაქსიმალური სიჩქარე, რომლითაც ის წონასწორობის მდებარეობას გადის (დააკვირდი 2.3.6 და 2.3.7 ფორმულებს).

2.3.6. და 2.3.7 ტოლობების თანახმად, **მაქსიმალური სიჩქარე, რომლითაც მერხევი სხეული წონასწორობის მდგომარეობას გადის, ასე გამოითვლება:**

ა) **ზამბარიანი ქანქარას შემთხვევაში** $v_{max} = A\sqrt{\frac{k}{m}}$ (2.3.8)

ბ) **მათემატიკური ქანქარას შემთხვევაში** $v_{max} = \sqrt{2gh_{max}}$ (2.3.9)

თუ გაიხსენებ, რომ $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, 2.3.8 ფორმულიდან მიიღებ, რომ **ქანქარას მაქსიმალური სიჩქარის მოდული ასე გამოითვლება**:

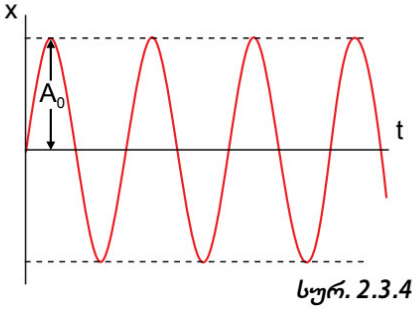
$$\boxed{v_{max} = A\omega} \qquad (2.3.10)$$

(მტკიცდება, რომ მაქსიმალური სიჩქარის მოდული მათემატიკური ქანქარას შემთხვევაშიც 2.3.10 ფორმულით გამოითვლება).

(გაიხსენე: პერიოდი ამპლიტუდაზე დამოკიდებული არ არის, რადგან თუ ამპლიტუდას გავზრდით, შეძენილი სიჩქარეც იმდენჯერვე გაიზრდება. წონასწორობის მდებარეობისკენ სხეული მეტ მანძილს იმავე დროში გაივლის, რომელშიც გაივლიდა ნაკლები ამპლიტუდის შემთხვევაში).

2.3.2. მილევადი და მიულევადი რხევები

თავისუფალი რხევისას, როცა სისტემაზე ხახუნის (წინააღმდეგობის) ძალები არ მოქმედებს, სისტემის სრული მექანიკური ენერგია არ შეიცვლება და, შესაბამისად, **არ შეიცვლება რხევის ამპლიტუდა.** ეს კი იმას ნიშნავს, რომ როცა სისტემაში ხახუნი არ არის, სისტემის თავისუფალი **რხევა არ მიილევა (მიულევადია),** უსასრულოდ გაგრძელდება. ჰარმონიული მიულევადი რხევის დროს კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკს 2.3.4 სურათზე გამოსახული სახე აქვს.



სურ. 2.3.4

Don't Copy

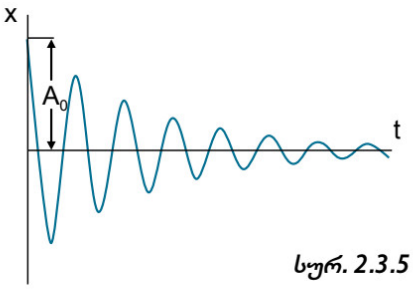
II. ვთქვათ, **რხევით სისტემაზე ხახუნის ძალები მოქმედებს**. ასეთ შემთხვევაში **რხევითი სისტემის სრული მექანიკური ენერგია შეიცვლება – არ შეინახება**:

$$E_{სრ} \neq const$$

ხახუნის ძალები ქანქარას მოძრაობის საპირისპიროდაა მიმართული და უარყოფით მუშაობას ასრულებს, შედეგად **სისტემის სრული მექანიკური ენერგია შემცირდება**: მექანიკური ენერგიის ცვლილება ხახუნის ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ტოლია:

$$\Delta E_{სრ} = A_{ხახ} < 0$$

ქანქარას მექანიკური ენერგიის შემცირება კი რხევის ამპლიტუდის შემცირებას გამოიწვევს, რხევა თანდათან მიილევა. ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ **რხევა მილევადია**. მილევადი რხევის დროს კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკს 2.3.5 სურათზე გამოსახული სახე აქვს.



სურ. 2.3.5

რეალურად, ხახუნის ძალები ნებისმიერ მერხევ სისტემაზე მოქმედებს, ამიტომ **თავისუფალი რხევები ყოველთვის მილევადია,** თუმცა თუ ხახუნი მცირეა, რხევების მილევა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში შესაძლოა, შეუმჩნეველი იყოს.

პრაქტიკაში ხშირად ჩნდება იმის აუცილებლობა, რომ **რხევების მილევა შეაჩერონ** ან, პირიქით – **გააძლიერონ და რხევები ჩაახშონ.**



სურ. 2.3.6

მაგ., საათის მექანიზმის გამართული მუშაობისთვის მნიშვნელოვანია, რომ მისი მერხევი სისტემის (ბალანსისა და ზამბარის) **რხევა მიულევადი** იყოს (სურ. 2.3.6).

საათის ზუსტი ჩვენება ბალანსის მიულევად რხევაზეა დამოკიდებული. იმისათვის, რომ ბალანსის რხევა არ მიილიოს, მასზე მოქმედ ხახუნის ძალებს მინიმალურამდე ამცირებენ: ბალანსის წვეტიან ღერძს კონუსის ფორმის კრისტალის (აგატის, ლალის) წვერზე ათავსებენ.



სურ. 2.3.7

ხშირად კი მნიშვნელოვანია რხევების ჩახშობა (მაგ., სეისმოგრაფის, გალვანომეტრის, ისრის რხევის), რა მიზნითაც სხვადასხვა ხერხს მიმართავენ. მაგ., რხევების ჩასახშობად **ინდუქციურ მუხრუჭს** იყენებენ, რომლის მუშაობის პრინციპს საფუძვლად ფუკოს დენების მოქმედება უდევს: ლითონის ქანქარას (ისრის) რხევა სწრაფად მიილევა, თუ ქანქარას მაგნიტის პოლუსებს შორის მოვათავსებთ (სურ. 2.3.7). ლითონის სხეულში აღიძვრება ფუკოს დენები, რომელთა მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი მაგნიტის მაგნიტური ველის საწინააღმდეგოდაა მიმართული და, შესაბამისად, ქანქარას მოძრაობა მუხრუჭდება – მისი რხევები სწრაფად მიილევა.

2.3.3. იძულებითი რხევები

იმის გამო, რომ ნებისმიერ მერხევ სისტემაში, თუნდაც უმნიშვნელო, მაგრამ ხახუნი ყოველთვის არსებობს, **თავისუფალი რხევები დროთა განმავლობაში მიილევა:** ხახუნის (წინააღმდეგობის ძალების) დაძლევაზე მერხევი სისტემა ენერგიას ხარჯავს. მილევადობის გამო პრაქტიკაში თავისუფალი რხევები იშვიათად გამოიყენება. გამოყენების თვალსაზრისით, უფრო მნიშვნელოვანი **არამილევადი რხევებია**, რომლებიც შეიძლება უსასრულოდ დიდხანს გაგრძელდეს.

Don't copy

იმისათვის, რომ რხევა მიულევადი იყოს, მერხევ სისტემას, რომელზედაც წინააღმდეგობის ძალები მოქმედებს, პერიოდულად დამატებითი ენერგია უნდა გადავცეთ, რათა მისი ენერგიის დანაკარგი შევავსოთ. **ამისათვის სისტემაზე გარე ძალამ პერიოდულად უნდა იმოქმედოს.**

რხევას, რომელიც გარე პერიოდული ძალის მოქმედებით მიმდინარეობს, **იძულებითი რხევა** ჰქვია.

იძულებითი რხევის ყველასათვის კარგად ცნობილი მაგალითია **საქანელას რხევა.** საქანელა ქანქარაა, რომელსაც თუ წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოვიყვანთ (გადავხრით ვერტიკალური მდებარეობიდან ან ვუბიძგებთ), თავისუფალ რხევას დაიწყებს.

ცხადია, შენთვის ცნობილია, როგორ უნდა მოვიქცეთ, რომ საქანელას რხევა არ მიილიოს: ამისათვის საჭიროა, რომ მასზე პერიოდულად გარე ძალით ვიმოქმედოთ, ვუბიძგოთ ხოლმე, რათა ვაიძულოთ ქანქარა რხევა განაგრძოს, შეასრულოს **იძულებითი რხევები**.

...მაგრამ შენ იცი, რომ საქანელას გაქანება (რხევის ამპლიტუდის გაზრდა) შეუძლებელი იქნება, თუ საქანელას თავისუფალი რხევის პროცესში უწესრიგოდ, სხვადასხვა მიმართულებით ვუბიძგებთ...



სურ. 2.3.8

საქანელა გაქანდება (რხევის ამპლიტუდა გაიზრდება), თუ მას გარედან **რიტმში ვუბიძგებთ** (სურ. 2.3.8) მაშინ, როცა საქანელა გადახრის უკიდურეს წერტილს მიუახლოვდება, ანუ სრული რხევის დასასრულს (თუ საქანელაზე ორი ადამიანი მოქმედებს, მაშინ რიტმული ბიძგები შესაძლებელია პერიოდის განმავლობაში ორჯერ, ტრაექტორიის ორ უკიდურეს წერტილში). ამასთან, **საქანელას უნდა ვუბიძგოთ ძალით, რომელიც მისი სიჩქარის მიმართულებას ემთხვევა**. საქანელას გაქანებას გარკვეული დრო სჭირდება, მაგრამ საქანელას რხევის ამპლიტუდა აუცილებლად გაიზრდება: თითოეული ბიძგი შეიძლება უმნიშვნელო იყოს და პირველი ბიძგის შემდეგ საქანელამ მცირე რხევა შეასრულოს, მაგრამ თუ გარე ძალა მასზე რიტმულად, ტაქტში იმოქმედებს, ყოველი მომდევნო ბიძგი წინა ბიძგის მოქმედებას გააძლიერებს და საქანელას ამპლიტუდა მკვეთრად გაიზრდება (სურ. 2.3.8). ამ მოვლენას **რეზონანსი** ჰქვია.



სურ. 2.3.9

თუ საქანელა მსუბუქია, მისი გაქანება ძნელი არ არის, მაგრამ თუ საქანელა მძიმეა, მაშინ მის გასაქანებლად დიდი ძალაა საჭირო. თუმცა მძიმე საქანელას გაქანება მცირე ძალითაცაა შესაძლებელი. გაიხსენე, როგორ იქცევიან ადამიანები ატრაქციონის ლითონის მძიმე „ნავების“ გასაქანებლად (სურ. 2.3.9).

„ნავები“ მძიმეა და მათი გაქანება თავიდან ძნელია. ჯერ მაქსიმალურად დიდი ძალით ცდილობენ, რომ „ნავი“ წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოიყვანონ, თუმცა მერე, როგორც კი ნავი რხევას დაიწყებს (ოდნავ მაინც), ადვილია მისი გაქანება. ამისათვის ხერხი უნდა იცოდე: როცა „ნავი“ ტრაექტორიის უკიდურეს წერტილს მიაღწევს, „მენავემ“ უნდა ჩაბუქნოს (უბიძგოს ნავს). თუ ნავში ორი ადამიანია, მაშინ მეორე „მენავე“ მაშინ უბიძგებს, როცა „ნავი“ საპირისპირო მხარეს, ტრაექტორიის უკიდურეს წერტილში აღმოჩნდება და ა.შ. თუ ასე გაგრძელდება, ძალიან მძიმე „ნავის“ რხევის ამპლიტუდაც,

DonTop

შესაძლოა, ისე გაიზარდოს, რომ მასში ჯდომა საშიშიც კი გახდეს. ეს უკვე **რეზონანსის** მოვლენაა, რომლის მიღწევა მცირე ძალის პერიოდული მოქმედებითაც შესაძლებელია.

რეზონანსის დროს, საფრთხის თავიდან ასაცილებლად, „მენავეების“ რიტმული ზემოქმედება უნდა შეწყდეს და თავისუფლად მერხევი „ნავი“ თანდათან გაჩერდება.

2.3.4. რეზონანსი

იმისათვის, რომ გავარკვიოთ, **რაზეა დამოკიდებული იძულებითი რხევის ამპლიტუდა**, შემოვიტანოთ აღნიშვნები. **აღვნიშნოთ:**

ა) ν **-თი იძულებითი რხევის სიხშირე.** იძულებითი რხევის სიხშირე ყოველთვის გარე პერიოდული ძალის მოქმედების სიხშირეს ემთხვევა;

ბ) ν_0 **-ით მერხევი სისტემის თავისუფალი რხევის სიხშირე,** რომელიც მერხევი სისტემის მახასიათებელებით განისაზღვრება: მაგ., საკიდიანი ქანქარას სიგრძით, ზამბარიან ქანქარაში ზამბარის სიხისტითა და მასზე დაკიდებული სხეულის მასით.

სისტემის თავისუფალი რხევის სიხშირეს სისტემის საკუთარ სიხშირეს უწოდებენ (ყველა მერხევ სისტემას რხევის საკუთარი სიხშირე აქვს).

განვიხილოთ ორი შემთხვევა: ა) **როცა** $\nu \neq \nu_0$ და ბ) **როცა** $\nu = \nu_0$.

ა) **თუ გარე პერიოდული ძალის სიხშირე მერხევი სისტემის საკუთარ სიხშირეს არ ემთხვევა** ($\nu \neq \nu_0$), მაშინ გარე ძალა დადებით მუშაობას შეიძლება პერიოდის მხოლოდ გარკვეულ მონაკვეთში ასრულებდეს, პერიოდის დარჩენილ ნაწილში კი გარე ძალა მერხევი სხეულის მოძრაობის საპირისპიროდ იქნება მიმართული და მისი მუშაობა ამ დროის განმავლობაში უარყოფითია. ასეთ დროს სისტემისთვის გადაცემული ენერგია უმნიშვნელოა (შესაძლებელია, ისეც მოხდეს, რომ პერიოდის განმავლობაში გარე ძალის მიერ შესრულებული სრული მუშაობა უარყოფითი იყოს) და, შესაბამისად, ასეთ დროს იძულებითი რხევების ამპლიტუდა დიდი არ არის (შეიძლება შემცირდეს კიდეც თავდაპირველთან შედარებით).

ბ) თუ გარე პერიოდული ძალის სიხშირე მერხევი სისტემის საკუთარ სიხშირეს ემთხვევა ($\nu = \nu_0$) (ანუ გარე ძალა ტაქტში, რიტმულად მოქმედებს სისტემაზე) და ამასთან, გარე ძალა ყოველთვის მერხევი სხეულის მოძრაობის მიმართულებით მოქმედებს, მაშინ ის პერიოდის განმავლობაში მხოლოდ დადებით მუშაობას ასრულებს. სისტემისთვის გადაცემული ენერგია მნიშვნელოვნად იზრდება და, შესაბამისად, იძულებითი რხევის ამპლიტუდა მკვეთრად გაიზრდება.

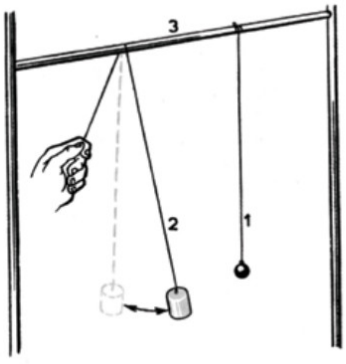
მოვლენას, რომლის დროსაც იძულებითი რხევის ამპლიტუდა მკვეთრად იზრდება მაშინ, როცა გარე პერიოდული ძალის სიხშირე სისტემის საკუთარ სიხშირეს ემთხვევა, რეზონანსი ჰქვია.

რეზონანსის მოვლენას შეგიძლია დააკვირდე ცდით:

ცდა I

1. დაკიდე ჰორიზონტალურად გაჭიმულ თოკზე ორი ქანქარა (სურ. 2.3.10): 1-ელი ქანქარას თავისუფალი ბოლო გამონასკვულია თოკზე და მისი სიგრძე არ იცვლება, ანუ 1-ელი ქანქარას **თავისუფალი რხევის სიხშირე უცვლელია;**

მე-2 ქანქარას სიგრძის ცვლილება შესაძლებელია: ძაფი თოკზეა გადადებული და თუ მის თავისუფალ ბოლოს ქვევით დაწევ, ძაფის სიგრძე შემცირდება. ე.ი. მე-2 ქანქარას **რხევის სიხშირის ცვლილება შესაძლებელია.**



სურ. 2.3.10

Don't copy

2. თუ მე-2 ქანქარას წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოიყვან, ის რხევას დაიწყებს. ის თოკზე და, შესაბამისად, 1-ელ ქანქარაზე პერიოდული ძალით იმოქმედებს. 1-ელი ქანქარას იძულებითი რხევის ამპლიტუდა გაიზრდება.

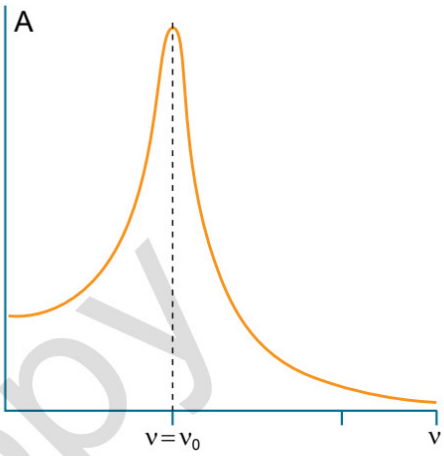
3. დაწიე მე-2 ქანქარას ძაფის თავისუფალი ბოლო ნელ-ნელა ქვევით და **დააკვირდი 1-ელის რხევას.** აღწერე, როგორ იცვლება 1-ელი ქანქარას იძულებითი რხევის ამპლიტუდა, როცა:

ა) მე-2 ქანქარას სიგრძეს ამცირებ (ანუ, როცა გარე ძალის სიხშირეს ზრდი);

ბ) ორივე ქანქარას სიგრძე ერთმანეთს თითქმის გაუტოლდება;

გ) მე-2 ქანქარას სიგრძეს კვლავ ამცირებ.

დააკვირდი 2.3.11 სურათზე გამოსახულ გრაფიკს: მასზე გამოსახულია იძულებითი რხევის ამპლიტუდის გარე პერიოდული ძალის სიხშირეზე დამოკიდებულება. ამ გრაფიკს **რეზონანსულ მრუდსაც** უწოდებენ. მისი დახმარებით შეგიძლია ცდის შედეგის ახსნაც:



სურ. 2.3.11

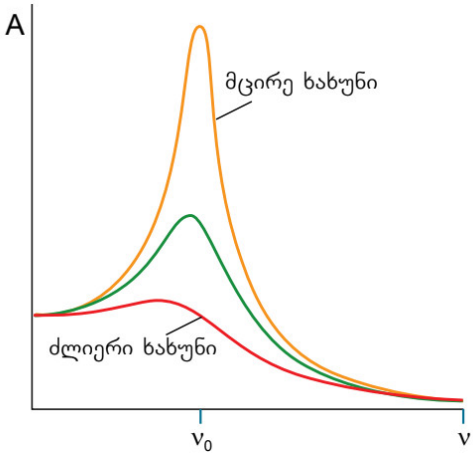
1. მერხევ სისტემაზე (1-ელ ქანქარაზე) მოქმედი გარე პერიოდული ძალის ν სიხშირის (მე-2 ქანქარას სიხშირის) თანდათან გაზრდისას იზრდება სისტემის (1-ელი ქანქარას) იძულებითი რხევის ამპლიტუდა;

2. იძულებითი რხევის ამპლიტუდა (1-ელი ქანქარას რხევის ამპლიტუდა) თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მაშინ აღწევს, როცა გარე პერიოდული ძალის ν სიხშირე მერხევი სისტემის (1-ელი ქანქარას) საკუთარ ν_0 სიხშირეს დაემთხვევა (საკუთარი ν_0 სიხშირე მოცემული სისტემისთვის უცვლელია).

ეს უკვე სისტემის (1-ელი ქანქარას) **რეზონანსული რხევაა**. დააკვირდი: **რეზონანსული მრუდი თავის მაქსიმუმს მაშინ აღწევს, როცა** $\nu = \nu_0$.

3. გარე ძალის ν სიხშირის შემდგომი ზრდისას იძულებითი რხევის ამპლიტუდა მცირდება. როცა გარე ძალის სიხშირე ძალიან დიდია, მერხევი სისტემის (1-ელი ქანქარას) ამპლიტუდა ნულისკენ მიისწრაფვის: ქანქარაზე დაკიდებული სხეული ინერტულობის გამო დროის მცირე მონაკვეთში შესამჩნევ გადაადგილებას ვერ ასწრებს და „ადგილზე ძიგძიგებს“ (სწორედ ეს მოვლენა შეიმჩნევა, როცა მე-2 ქანქარას სიგრძეს ძალიან დაამოკლებ და, შესაბამისად, მის რხევის სიხშირეს ძალიან გაზრდი).

თავისუფალი რხევის დროს მერხევი სისტემა დამატებით ენერგიას მხოლოდ ერთხელ იღებს (როცა სისტემა წონასწორობიდან გამოგვყავს). **იძულებითი რხევისას კი ენერგია სისტემას გარე პერიოდული ძალის მოქმედების შედეგად განუწყვეტლივ მიეწოდება.** შესაბამისად, სისტემის მიერ ხახუნის დაძლევაზე დახარჯული ენერგიის შევსება განუწყვეტლივ ხდება და სისტემის სრული ენერგია არ იცვლება. რეზონანსის დროს იძულებითი რხევის ამპლიტუდა თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს, რაც იმას ნიშნავს, რომ რეზონანსის დროს (როცა $\nu=\nu_0$) სისტემა მაქსიმალურ ენერგიას შთანთქავს. ამ მოვლენას **ენერგიის რეზონანსული შთანთქმა** ჰქვია.



სურ. 2.3.12

რეზონანსზე ხახუნი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს: რაც უფრო ნაკლებია სისტემაში ხახუნი, მით უფრო მკაფიოდაა გამოხატული რეზონანსის დროს იძულებითი რხევების ამპლიტუდის ზრდა (სურ. 2.3.12).

Don't copy

თუ ხახუნი სისტემაში მცირეა, მაშინ იძულებითი რხევის ამპლიტუდა შეიძლება ძალიან გაიზარდოს მაშინაც კი, როცა გარე ძალა მცირეა, თუმცა ასეთ შემთხვევაში რეზონანსის დამყარებას დიდი დრო სჭირდება. თუ ხახუნი ძალიან დიდია, მაშინ რეზონანსული რხევის ამპლიტუდა მცირეა და, შესაბამისად, არც რეზონანსის დამყარებას სჭირდება დიდი დრო.

2.3.5. რეზონანსი ჩვენ გარშემო

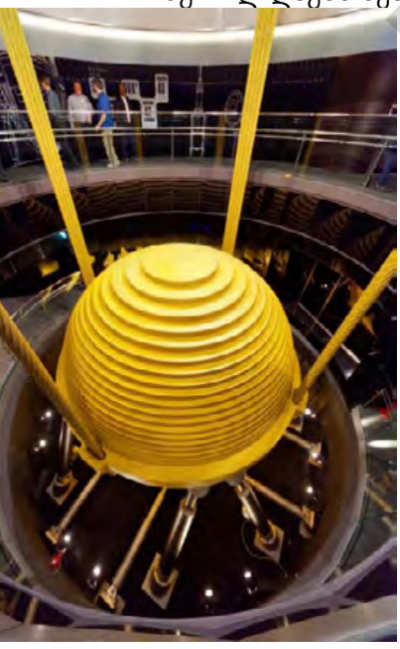
რეზონანსის მოვლენა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ყოფა-ცხოვრებაში, ბუნებასა და ტექნიკაში. ზოგიერთ შემთხვევაში მას სასარგებლო როლი აკისრია, ზოგშიც კი მისი გამოვლინება შესაძლოა დრამატულადაც დამთავრდეს.

რეზონანსი საკმაოდ გავრცელებული მოვლენაა ყოფა-ცხოვრებაში. გაიხსენე: ხშირად შეგიმჩნევია, რომ დიდი სატვირთო მანქანის გავლისას ფანჯრის მინები და ჭურჭელი ზრიალს იწყებს. **ეს რეზონანსის შედეგია:** მანქანის პერიოდული ბიძგების სიხშირე ფანჯრის (ჭურჭლის) რხევის საკუთარ სიხშირეს ემთხვევა და მათი რხევის ამპლიტუდა იზრდება. ჩვეულებრივ, ეს მოვლენა უსაფრთხოა, თუმცა იყო შემთხვევები, როცა მაღალსართულიანი შენობების მინები რეზონანსული რხევის დროს დაბლა ჩამოცვივდა.

ცნობილია, რომ ნიუ-იორკის ერთ-ერთი ღირსშესანიშნაობის, 425,5 მ სიმაღლის ცათამბჯენის („432 პარკ-ავენიუ“-ს), ბოლო სართულის რხევის ამპლიტუდა ძლიერი ქარის დროს 1,2 – 1,5 მ -ს აღწევს. თუ ამას რეზონანსის მოვლენაც დაემატება, რხევის ამპლიტუდა კიდევ უფრო იზრდება.

ნებისმიერი შენობა – ნაგებობა (დაწყებული ერთსართულიანი დაბალი სახლებით და დამთავრებული ცათამბჯენებით), რკინა-ბეტონის კონსტრუქციები (ხიდები, ანძები, ფაბრიკა-ქარხნების მილები), სხვადასხვა სატრანსპორტო საშუალების (გემის, თვითმფრინავის, მანქანის) კორპუსები **ერთგვარი მერხევი სისტემებია, რომლებიც საკუთარი რხევის სიხშირით ხასიათდება**.

თუ გარე პერიოდული ძალის (ქარის, მიწისძვრის) მოქმედების სიხშირე ზემოთ ჩამოთვლილი სისტემების საკუთარ სიხშირეს დაემთხვევა, მათი რხევის ამპლიტუდა მკვეთრად გაიზრდება, რაც ზოგ შემთხვევაში კატასტროფის მიზეზი შეიძლება გახდეს: ტაქომას ხიდის ჩანგრევა სწორედ ის ტრაგიკული შემთხვევაა, რომელიც რეზონანსმა გამოიწვია (ქარის ზემოქმედების სიხშირე ხიდის რხევის საკუთარ სიხშირეს საბედისწეროდ დაემთხვა). სწორედ ამიტომ ხიდზე გადასვლისას სამხედრო ნაწილებს მწყობრი ნაბიჯით სიარული ეკრძალებათ. გაიგე უფრო მეტი, რატომ დაინგრა ტაქომას ხიდი: http://bitly.ws/zyud



სურ. 2.3.13

რეზონანსის მოვლენას და მის შესაძლო შედეგებს ინჟინერ-კონსტრუქტორები, ცხადია, ითვალისწინებენ. ისინი წინასწარ ითვლიან ამა თუ იმ ნაგებობის (მანქანის) რხევის საკუთარ სიხშირეს და სპეციალურ ზომებს მიმართავენ, რომ მათი ექსპლუატაციის დროს რეზონანსი თავიდან აიცილონ (სწორედ რეზონანსის საწინააღმდეგო ზომები არ იყო მიღებული ტაქომას ხიდის მშენებლობისას).

შენობების რხევების ჩასახშობად, ძლიერი ქარისა და მიწისძვრის დროს რეზონანსისგან დასაცავად ინჟინრები სხვადასხვა მეთოდებს მიმართავენ. მაგ., ტაივანში 101 სართულიანი ცათამბჯენის („ტაიბეი-101“-ის) ზედა სართულზე ფოლადის 660 ტონიანი ქანქარაა დამონტაჟებული (სურ. 2.3.13): ქანქარა ინერციით ცათამბჯენის რხევის მიმართულების საწინააღმდეგოდ იხრება, რაც შედეგად, შენობის რხევას ახშობს.

ნახე ვიდეო: http://bitly.ws/zU7P

Don't copy

2.4 ფიზიკა ამოცანებში: ქანქარიანი საათი

ელექტრონული და ატომური საათების ეპოქაში ქანქარიანი საათი (სურ. 2.4.1), რომელიც სიზუსტით ბევრად ჩამოუვარდება მათ, მაინც ინარჩუნებს ესთეტიკურ ღირებულებას და თავისი ეპოქის სიმბოლოდ რჩება.



სურ. 2.4.1

პირველი ქანქარიანი საათი 1657 წელს ჰოლანდიელმა მათემატიკოსმა, ფიზიკოსმა, ინჟინერ-გამომგონებელმა და ასტრონომმა **ჰანს ქრისტიან ჰიუგენსმა** (1629 –1695) შექმნა. ჰიუგენსის საათის მუშაობის საფუძველი შენთვის კარგად ცნობილი მოვლენაა: მ**ცირე კუთხეებით გადახრისას ქანქარას რხევის პერიოდი რხევის ამპლიტუდაზე დამოკიდებული არ არის.** ამ მოვლენას **იზოქრონულობა** ჰქვია.

იზოქრონულობა პირველად გალილეო გალილეიმ 18 წლის ასაკში აღმოაჩინა, როცა პიზის საკათედრო ტაძარში ჭაღების მოძრაობას აკვირდებოდა. მოგვიანებით, 1602 წელს, მან მეგობრისთვის მიწერილ წერილში აღწერა იზოქრონულობა და გამოთქვა მოსაზრება, რომ ეს მოვლენა დროის ათვლისთვის საჭირო ხელსაწყოს შექმნაში დაეხმარებოდა ადამიანებს. თავად გალილეის დროის ასათვლელი „სამეცნიერო“ ხელსაწყო არ ჰქონდა. გაიხსენე: ჭაღების რხევის პერიოდის განსაზღვრისთვის გალილეიმ საკუთარი გულისცემის სიხშირე გამოიყენა.



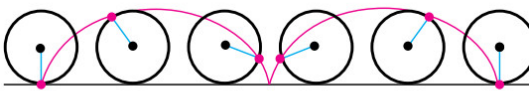
სურ. 2.4.2

სხვა შემთხვევაში მეცნიერი თავის ცდებში დროის ასათვლელად წყლიან კასრს იყენებდა, რომლის ფსკერზე გაკეთებული ნახვრეტიდან წყალი წვეთდა და ჭურჭელში გროვდებოდა. დაგროვილი წყლის რაოდენობით გალილეი ამა თუ იმ მოვლენის ხანგრძლივობას განსაზღვრავდა.

გალილეიმ საათის შექმნა ვერ მოასწრო, თუმცა დღემდეა შემორჩენილი ნახაზები, რომლის მიხედვითაც გალილეის აღმოჩენიდან თითქმის ორი საუკუნის დაამზადეს **გალილეის ქანქარიანი საათის მოდელი** (სურ. 2.4.2).

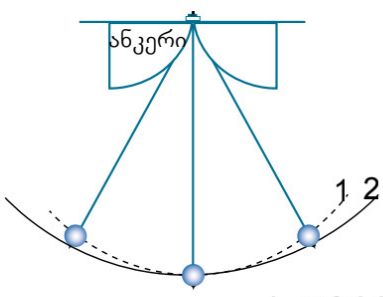
ჰიუგენსის ქანქარიან საათს ნაკლი ჰქონდა: ის მხოლოდ მაშინ მუშაობდა, თუ ქანქარას რხევის ამპლიტუდა დიდი იყო, მაგრამ ასეთ შემთხვევაში იზოქრონულობა ირღვეოდა – **დიდი ამპლიტუდით რხევისას ქანქარას პერიოდი ამპლიტუდაზე დამოკიდებული ხდება.**

ჰიუგენსი მიხვდა, როგორ გამოესწორებინა ეს ნაკლი: მან დაადგინა, რომ დიდი ამპლიტუდების შემთხვევაში რხევა იზოქრონულია, თუ ქანქარა მოძრაობს არა წრეწირის რკალზე, არამედ **ციკლოიდაზე** – მრუდზე, რომელზედაც მოძრაობს, მაგ., ავტომობილის ბორბლის წერტილი, როცა ავტომობილი ჰორიზონტალურად გადაადგილდება (სურ. 2.4.3).



სურ. 2.4.3

ქანქარას ციკლოიდზე მოძრაობას **ანკერი** უზრუნველყოფს (სურ. 2.4.4). ანკერი ერთგვარი ბერკეტია, რომელიც დიდი ამპლიტუდით რხევისას ქანქარას „აიძულებს“, რომ წრეწირის ნაცვლად ციკლოიდზე (1) იმოძრაოს. თუ ქანქარა მცირე ამპლიტუდით ირხევა, მაშინ ის წრეწირის რკალზე (2) მოძრაობს, რაშიც მას ანკერი ხელს არ უშლის.

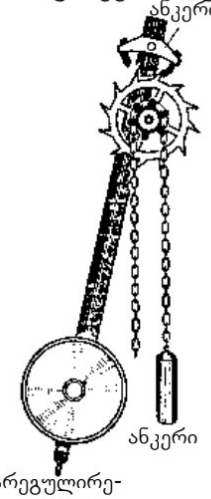


სურ. 2.4.4

დააკვირდი ვიდეოში როგორ მოძრაობს ქანქარა ციკლოიდზე: http://bitly.ws/zrsa

Don't copy

ქანქარიანი საათი ქანქარას რხევის ენერგიის ხარჯზე მუშაობს: საათის მექანიზმი ქანქარას პოტენციური და კინეტიკური ენერგიების ურთიერთგარდაქმნის პროცესში ისრების მოძრაობას უზრუნველყოფს. იდეალურ შემთხვევაში, თუ ქანქარაზე წინააღმდეგობის ძალები (მექანიზმის დეტალების ერთმანეთზე ხახუნი, ჰაერის წინააღმდეგობა) არ იმოქმედებს, ქანქარა უსასრულოდ დიდხანს შეასრულებს რხევას და საათი მუდმივად იმუშავებს. რეალურ პირობებში კი ქანქარას რხევაზე ხახუნი გავლენას ახდენს და მისი ამპლიტუდა თანდათან შემცირდება, თუმცა ქანქარას **რხევის პერიოდი ამპლიტუდაზე დამოკიდებული არ არის** და მანამ, სანამ სრულად არ მიილევა ქანქარას რხევა, საათი იმუშავებს. სწორედ ეს მნიშვნელოვანი ფაქტი გახდა ჰიუგენსისთვის შთაგონების წყარო, როცა ქანქარიანი საათის შექმნა.



სურ. 2.4.5

იმისათვის, რომ ქანქარას რხევა არ მიილიოს, ქანქარიან საათებს საკუთარი ენერგიის წყარო აქვს. მაგ., ენერგიის წყარო ზოგიერთ ქანქარიან საათში (სურ. 2.4.5) გარკვეულ სიმაღლეზე აწეული **ტვირთია** (ზოგშიც კი დეფორმირებული ზამბარა ან სპირალი), რომელიც დაბლა დაშვებისას თავისი პოტენციური ენერგიის ნაწილს კბილანა ბორბლის დახმარებით ქანქარას პერიოდულად გადასცემს და მისი იძულებითი რხევის მიულეველობას უზრუნველყოფს.

რა არის ქანქარიანი საათების მთავარი ნაკლი, რაც მათ სიზუსტეზე აისახება? გაიხსენე, ქანქარას პერიოდი ასე გამოითვლება:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad (2.4.1)$$

ქანქარას რხევის პერიოდი და, შესაბამისად, საათის სიზუსტე (რეალური დროის ზუსტად ჩვენება) დამოკიდებულია:

1. ქანქარას სიგრძეზე, რომელიც შეიძლება შეიცვალოს, მაგ., გარემოს ტემპერატურის ზემოქმედების შედეგად: გარემოს მაღალი ტემპერატურის დროს, სითბური გაფართოების გამო, ლითონის ქანქარას სიგრძე იმატებს, ტემპერატურის კლებისას კი – მცირდება. იმისათვის, რომ ქანქარას სიგრძის ცვლილება ასეთ შემთხვევაში საათის სიზუსტეზე არ აისახოს, ქანქარას სიგრძეს სპეციალური ხრახნით არეგულირებენ (სურ. 2.4.5).

2. თავისუფალი ვარდნის აჩქარების (g-ს) **მნიშვნელობაზე** იმ კონკრეტულ ადგილას, სადაც ქანქარიანი საათი მდებარეობს.

გაიხსენე: თავის მხრივ, **თავისუფალი ვარდნის აჩქარება (g) დამოკიდებულია:**

ა) გეოგრაფიულ განედზე: დედამიწის დღე-ღამური ბრუნვის გამო სხვადასხვა განედზე g განსხვავებულია;

ბ) დედამიწის რადიუსზე, რომელიც თანდათან მცირდება ეკვატორიდან პოლუსისკენ და ამასთან, დედამიწა პოლუსებთან შეზნექილია: g-ს მნიშვნელობა ეკვატორიდან პოლუსისკენ, 9,77 -დან 9,83 მ/წმ^2-მდე იზრდება;

გ) დედამიწის ზედაპირთან ახლოს წიაღისეულის, მადნის არსებობაზე, რომელიც მოცემულ ადგილას ქერქის საშუალო სიმკვრივეს ცვლის;

დ) დედამიწის ზედაპირიდან დაშორებაზე: დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლის ზრდასთან ერთად g-მცირდება.

გაიხსენე, მსოფლიო მიზიდულობის კანონის თანახმად, თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მოდული ასე გამოითვლება:

$$g = G\frac{M}{(R+h)^2}, \qquad (2.4.2)$$

სადაც G გრავიტაციული მუდმივაა: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ ნმ^2 /კგ^2;
M დედამიწის მასაა: $M = 5{,}9 \cdot 10^{24}$ კგ;
R დედამიწის რადიუსია: R = 6400 კმ;
h დედამიწის ზედაპირიდან დაშორებაა.

Don't copy

ცხადია, ყველა ეს ფაქტორი (და არა მარტო..) ქანქარიანის საათის სიზუსტეზე მოქმედებს. განვიხილოთ, როგორ გავლენას ახდენს ქანქარიანი საათის ჩვენებაზე სიმაღლის ცვლილება (მაგ., თუ ქანქარიან საათს ზღვის დონიდან გარკვეულ სიმაღლეზე ავიტანთ, ან პირიქით), როგორ აისახება g-ს ცვლილება ამ დროს ქანქარიანი საათის ჩვენებაზე: ჩამორჩება მისი ჩვენება ზუსტ დროს თუ წინ გაუსწრებს.



სურ. 2.4.6

ამოცანა 2.3.1

ჰიმალაიში, ზღვის დონიდან 4980 მ-ზე, რონგბუკის ბუდისტული მონასტერი მდებარეობს (სურ. 2.4.6). **უზარმაზარი ქანქარიანი საათი, რომელიც მონასტრის კედელს დაარსების დღიდან ამშვენებს, დარეგულირებულია ისე, რომ ზუსტ დროს აჩვენებს. როგორ შეიცვლება საათის ჩვენება, თუ მას ზღვის დონეზე დასახლებულ პუნქტში ჩამოვიტანთ? განსაზღვრე, დღე-ღამეში რამდენით ჩამორჩება ან გაუსწრებს საათი ზუსტ დროს, რომელსაც მონასტერში აჩვენებდა.**

განვიხილოთ ამოცანის ამოხსნა ორ ეტაპად.

I ეტაპი: დავადგინოთ, როგორ გამოითვლება, ზოგადად, დრო (Δt), რომლითაც საათი ჩამორჩება ან გაუსწრებს ზუსტ დროს.

1. სიმარტივისათვის, დავუშვათ, ქანქარიანი საათის **კონსტრუქცია ისეთია, რომ ქანქარას რხევის პერიოდში,** ე.ი. **იმ დროში, რომელშიც ქანქარა ერთ სრულ რხევას შეასრულებს**, საათის წამის მაჩვენებელი ისარი 1 დანაყოფით წაინაცვლებს წინ, ანუ რამდენ სრულ რხევასაც შეასრულებს ქანქარა t დროში, იმდენი დანაყოფით გადაინაცვლებს წამის ისარი.

მნიშვნელოვანია, გახსოვდეს: იმის მიუხედავად, რა ადგილას გადაიტან საათს, მისი კონსტრუქცია არ შეიცვლება, ანუ ნებისმიერ ადგილას ქანქარას 1 რხევისას საათის წამის ისარი 1 დანაყოფით წაინაცვლებს წინ!

2. ვთქვათ, ქანქარიანი საათი დარეგულირებულია რომელიღაც ნულოვან დონეზე (მაგ., ზღვის დონესა ან იმ დონეზე, რომელზედაც მონასტერი მდებარეობს). ეს იმას ნიშნავს, რომ **საათის ჩვენება ნულოვან დონეზე ზუსტია: დრო, რომელშიც წამის ისარი 1 დანაყოფით გადაინაცვლებს, 1 წმ-ის ტოლია!**

ვთქვათ, **ნულოვან დონეზე** (სურ. 2.4.7):

ა) T_0 ქანქარას რხევის პერიოდია, ანუ **ქანქარას 1 რხევისას წამის ისარი 1 წმ-ით გადანაცვლდება:**

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_0}} \qquad (1)$$

g_0 თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა ნულოვან დონეზე.

ბ) N_0 ქანქარას რხევათა რიცხვია t დროში (მაგ., დღე-ღამის განმავლობაში);

$$N_0 = \frac{t}{T_0} \qquad (2)$$

3. საათის გადატანისას ნულოვანი დონიდან სხვა, **ახალ დონეზე** (ზევით ატანისას, ქვევით ჩატანისას), ქანქარას რხევის პერიოდი შეიცვლება, რადგან შეიცვლება თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მნიშვნელობა.

ვთქვათ, **ახალ დონეზე, რომელზეც ქანქარა გადაიტანეს:**

ა) T ქანქარას რხევის პერიოდია: $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ (3)

g თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა ახალ დონეზე.

Don't copy

ბ) N ქანქარას რხევათა რიცხვია t დროში (მაგ., დღე-ღამის განმავლობაში):

$$N = \frac{t}{T} \qquad (4)$$

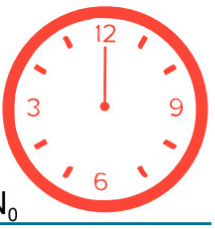


4. თუ ქანქარიან საათს ნულოვანი დონიდან ზევით (მეტ სიმაღლეზე) აიტან, ნულოვან დონესთან შედარებით:

ა) თავისუფალი ვარდნის აჩქარება **მცირდება** (2.4.2-ის თანახმად): $g < g_0$;

ბ) ქანქარას რხევის **პერიოდი იზრდება** (2.4.1-ის თანახმად): $T > T_0$,

რაც იმას ნიშნავს, რომ **საათის ისარი უფრო ნელა მოძრაობს,** ვიდრე ის ნულოვან დონეზე მოძრაობდა, ანუ საათი ზუსტ დროზე ნაკლებ დროს აჩვენებს – **საათი ჩამორჩება** (სურ. 2.4.7);



სურ. 2.4.7

გ) ქანქარას რხევის **სიხშირე მცირდება** და მცირდება t დროში (დღე-ღამის განმავლობაში) შესრულებული რხევათა რიცხვი: $N < N_0$;

5. ქანქარა t დროში (დღე-ღამის განმავლობაში) უფრო ნაკლებ რხევას ასრულებს, ვიდრე ის ნულოვან დონეზე, საათის ზუსტი ჩვენებისას ასრულებდა. **რხევათა დანაკლისი** ასე გამოითვლება:

$$\Delta N = N_0 - N \qquad (5)$$

Δt დრო, რომლითაც საათი ზუსტ დროს ჩამორჩება, კი – ასე:

$$\Delta t = T_0 \Delta N \qquad (6)$$

რხევათა დანაკლისი (ΔN) გვიჩვენებს, რამდენით ნაკლებ რხევას ასრულებს ქანქარა t დროში (დღე-ღამის განმავლობაში);

დააკვირდი: T_0 ქანქარას რხევის პერიოდია **ნულოვან დონეზე**, **როცა საათი ზუსტ დროს აჩვენებს:** T_0 =1 წმ (თუ ახალ დონეზე გადატანისას ქანქარამ 5 -ით ნაკლები რხევა შეასრულა, ეს იმას ნიშნავს, რომ 5 დანაყოფით ჩამორჩება წამის ისარი საათის ციფერბლატზე, ანუ (5 · 1) წმ-ით ნაკლებს აჩვენებს, ზუსტ დროსთან შედარებით).

თუ მე-5 ტოლობას გაითვალისწინებ, მე-6 ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\Delta t = T_0 \Delta N = T_0 (N_0 - N) \qquad (7)$$

6. თუ მე-7-ში მე-2-სა და მე-4 თანაფარდობებს შეიტან და გაამარტივებ, მიიღებ, რომ:

$$\Delta t = T_0 \Delta N = T_0 (N_0 - N) = T_0 \left(\frac{t}{T_0} - \frac{t}{T}\right) = t \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \qquad (8)$$

ასე რომ, **ზუსტ დროსთან შედარებით საათის „ჩამორჩენა" t დროში გამოითვლება ფორმულით:**

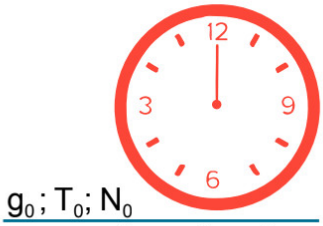
$$\Delta t = t \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \qquad (2.4.3)$$

7. შეიტანე მე-8-ში 1-ელი და მე-3 გამოსახულებები. გაამარტივე მიღებული ტოლობა და აღმოაჩენ, რომ **საათის „ჩამორჩენა" t დროში, რომელიც g-ს შემცირებითაა გამოწვეული (საათი ატანილია უფრო დიდ სიმაღლეზე), ასე გამოითვლება:**

$$\Delta t = t \left(1 - \sqrt{\frac{g}{g_0}}\right) \qquad (9)$$

Don't copy

8. თუ ქანქარიან საათს ნულოვანი დონიდან ქვევით (ნაკლებ სიმაღლეზე) ჩაიტან, ნულოვან დონესთან შედარებით:



ა) თავისუფალი ვარდნის აჩქარება **გაიზრდება** (2.4.2-ის თანახმად); $g > g_0$;

ბ) ქანქარას რხევის **პერიოდი შემცირდება** (2.4.1-ის თანახმად): $T < T_0$,

რაც იმას ნიშნავს, რომ **საათის ისარი უფრო სწრაფად მოძრაობს,** ვიდრე ის ნულოვან დონეზე მოძრაობდა, ანუ საათი ზუსტ დროზე მეტ დროს აჩვენებს – **საათი წინ წავა** (სურ. 2.4.8);



გ) ქანქარას რხევის **სიხშირე გაიზრდება** და გაიზრდება t დროში (დღე-ღამის განმავლობაში) შესრულებული რხევათა რიცხვი: $N > N_0$.

სურ. 2.4.8

ქანქარა t დროში (დღე-ღამის განმავლობაში) უფრო მეტ რხევას ასრულებს, ვიდრე ის ნულოვან დონეზე, საათის ზუსტი ჩვენებისას, ასრულებდა. **რხევათა ჭარბი რაოდენობა** ასე გამოითვლება:

$$\Delta N = N - N_0 \qquad (10)$$

Δt დრო კი, რომლითაც საათი ზუსტ დროს წინ გაუსწრებს, ასე:

$$\Delta t = T_0 \Delta N = T_0 (N - N_0) = T_0 \left(\frac{t}{T} - \frac{t}{T_0}\right) = t \left(\frac{T_0}{T} - 1\right) \qquad (11)$$

ასე რომ, **ზუსტ დროსთან შედარებით საათის „წინსწრება“ t დროში გამოითვლება ფორმულით:**

$$\boxed{\Delta t = t \left(\frac{T_0}{T} - 1\right)} \qquad (2.4.4)$$

2.4.3 და 2.4.4 ფორმულები შეგვიძლია გავაერთიანოთ და მივიღებთ, რომ **ზუსტ დროსთან შედარებით საათის „ჩამორჩენა“ ან „წინსწრება“ t დროში გამოითვლება ფორმულით:**

$$\boxed{\Delta t = \pm t \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)} \qquad (2.4.5)$$

„+“ იწერება მაშინ, როცა საათი ჩამორჩება ზუსტ დროს, ხოლო „–“ იწერება მაშინ, როცა საათი წინ უსწრებს ზუსტ დროს.

შენიშვნა: 2.4.5. ფორმულის გამოყენება იმ შემთხვევაშიცაა შესაძლებელი, როცა საათის ჩამორჩენა ან წინსწრება ქანქარას სიგრძის ცვლილებითაა გამოწვეული (მაგ., გარემოს ტემპერატურის ზემოქმედებით).

II ეტაპი: დავუბრუნდეთ შეკითხვას, რომელიც ამოცანაშია დასმული: იმის გამო, რომ ქანქარიანი საათი უფრო მაღალი ადგილიდან უფრო დაბალ ადგილას, ზღვის დონეზე, გადააქვთ, საათი წინ წავა – აჩვენებს იმაზე მეტ დროს, ვიდრე ის მონასტერში აჩვენებდა.

„წინსწრება“ გამოითვლება 2.4.4 ფორმულით:

1. თუ 2.4.4 ტოლობაში 1-ელსა და მე-3 გამოსახულებებს შეიტან, გამარტივების შედეგად მიიღებ, რომ **საათის „წინსწრება“ t დროში, რომელიც g-ს გაზრდითაა გამოწვეული (საათი ჩატანილია ქვევით,ზღვის დონეზე), ასე გამოითვლება:**

$$\Delta t = t \left(\sqrt{\frac{g}{g_0}} - 1\right) \qquad (12)$$

Don't copy

2. თუ 2.4.2 ფორმულას გაითვალისწინებ, მიიღებ, რომ თავისუფალი ვარდნის აჩქარება:

ა) ზღვის დონეზე ასე გამოითვლება: $g = G\frac{M}{R^2}$, (13)

ბ) იმ ადგილას, სადაც მონასტერი მდებარეობს ($h = 4980$ მ), ასე გამოითვლება:

$$g_0 = G\frac{M}{(R+h)^2}, \quad (14)$$

3. მე-13 და მე-14-ს გათვალისწინებით, მე-12-დან მივიღებთ, რომ დრო, რომლითაც ქანქარიანი საათი ზღვის დონეზე, **დღე-ღამეში** ($t = 24$ სთ), გაუსწრებს იმ დროს, რომელსაც მონასტერში აჩვენებდა, ასე გამოითვლება:

$$\Delta t = t\frac{h}{R} \quad (13)$$

ამოცანის მოცემულობის გათვალისწინებით, კი მივიღებთ, რომ $\Delta t \approx 67$ წმ.

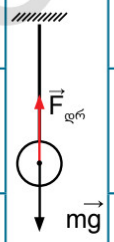
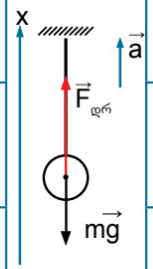
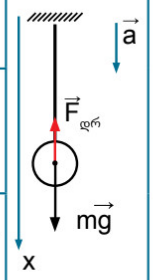
და კიდევ, ქანქარიანი საათი იმ ადგილას, რომელზედაც დარეგულირებულია, ზუსტად მუშაობს, **თუ ის წონასწორობაშია** (უძრავია ან მოძრაობს წრფივად და თანაბრად).

ქანქარას აჩქარებული მოძრაობისას იცვლება ძაფის (საკიდის) დაჭიმულობის ძალა (სიმძიმის ძალა უცვლელია), რაც იწვევს დაჭიმულობისა ($\vec{F}_{დრ}$) და სიმძიმის ძალის ($m\vec{g}$) ტოლქმედის და, შესაბამისად, ქანქარას რხევის პერიოდის ცვლილებას. გაითვალისწინე: **ზოგად შემთხვევაში, ქანქარას რხევის პერიოდი გამოითვლება ფორმულით:**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{a_0}}, \quad (2.4.6)$$

2.4.1 ცხრილში ჩანს, როგორ გამოითვლება ქანქარას $\vec{a}_0$ აჩქარების მოდული და რხევის პერიოდი ქანქარას ვერტიკალურად ზევით/ქვევით აჩქარებული მოძრაობისას, როგორ იცვლება ამ დროს საათის ჩვენება:

ცხრილი 2.4.1

	ქანქარას დაკიდების წერტილი					
	წონასწორობაშია: $a = 0$		მოძრაობს ვერტიკალურად **ზევით მიმართ.** a აჩქ.-ით		მოძრაობს ვერტიკალურად **ქვევით მიმართ.** a აჩქ.-ბით	
ძაფის დაჭიმულობის ძალის მოდული, $F_{დრ}$	$F_{დრ} = mg$		$F_{დრ} = m(g + a)$		$F_{დრ} = m(g - a)$	
აჩქარების მოდული, a_0	$a_0 = g$		$a_0 = g + a$		$a_0 = g - a$	
ქანქარას რხევის პერიოდი, T	$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$		$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g+a}}$		$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\lvert g-a\rvert}}$	
საათის ჩვენება	**ზუსტია**		**წინ წავა**		**ჩამორჩება**	

დააკვირდი: როცა ქანქარა უწონობის მდგომარეობაშია ($g = a$), ანუ $a_0 = 0$ და რხევის პერიოდი უსასრულოდ გაიზრდება. ეს იმას ნიშნავს, რომ ქანქარა რხევით მოძრაობას აღარ ასრულებს და უწონობის მდგომარეობაში ქანქარიანი საათი არ იმუშავებს. ამ მოვლენას შეგიძლია დააკვირდე ვირტუალურ ლაბორატორიაში:

http://bitly.ws/z4v4

Don't copy

2.5 მექანიკური ტალღა



სურ. 2.5.1

2015 წლის 13 მაისს „Google“-მა თავისი გარეკანი განაახლა და, ჩვეულებისამებრ, იმ დღის ყველაზე მნიშვნელოვანი მოვლენის აღსანიშნავად, მასზე დედამიწის აგებულების გრაფიკული სურათი განათავსა (სურ. 2.5.1). რა მოვლენას გამოეხმაურა „Google“, მსოფლიო მნიშვნელობის რომელ მოვლენას აღნიშნავდა იმ დღეს? ამ მოვლენის ისტორია 127 წლის წინ დაიწყო:

... როცა დედამიწის რომელიმე წერტილში მიწისძვრა ხდება, ორი ტიპის სეისმური **ტალღა** წარმოიქმნება: P და S ტალღა. P ტალღები ვრცელდება ყველა ტიპის გარემოში: მყარშიც, თხევადსა და აირადშიც. S ტალღა კი მხოლოდ მყარ გარემოში ვრცელდება.

XIX საუკუნის ბოლოს სეისმოლოგებმა სეისმური ტალღების გამოყენებით დედამიწის აგებულების კვლევა დაიწყეს: მაგ., სეისმური ტალღებით მათ დედამიწის ბირთვის „დათვალიერება“ შეძლეს, რაც ქერქის გაბურღვით (ზონდირებით) შეუძლებელი იყო.

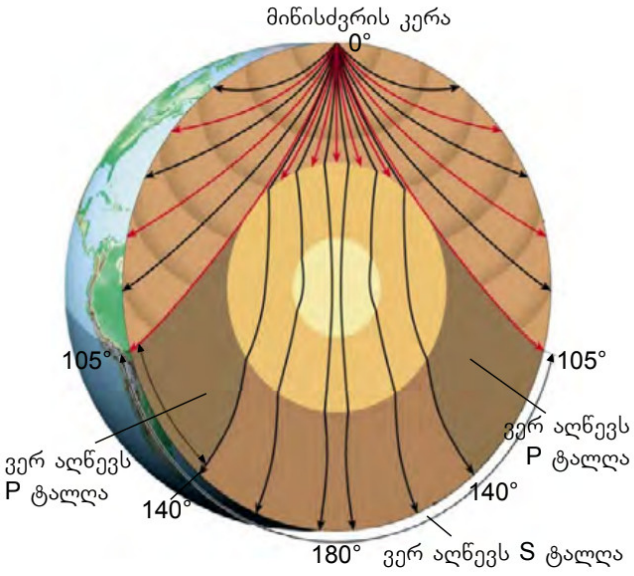
მეცნიერებმა დედამიწის სხვადასხვა წერტილში მდებარე სეისმური სადგურები **სეისმომეტრებით** აღჭურვეს – მოწყობილობებით, რომლებიც სეისმური ტალღების რეგისტრაციის (აღრიცხვის, დაფიქსირების) საშუალებას იძლევა.

1914 წელს გერმანელმა სეისმოლოგმა **ბენო გუტენბერგმა** შეკრიბა დედამიწის სხვადასხვა წერტილში სეისმომეტრების მონაცემები და მათი ანალიზის შედეგად დაადგინა, რომ დედამიწის ზედაპირიდან 2900 კმ-ის სიღრმეში მყარი მანტიის შემდეგ **თხევადი ბირთვის** საზღვარი იწყება. რა შეამჩნია გუტენბერგმა და რის საფუძველზე გამოიტანა დასკვნა?

დააკვირდი 2.5.2 სურათს: მიწისძვრის კერიდან (0°) ბიძგები სეისმური ტალღების სახით დედამიწის სიღრმეში ყველა მიმართულებით ვრცელდება, რაც დედამიწის სხვადასხვა ადგილში ქერქის რხევას (რყევას) იწვევს. ასე რომ, დედამიწის ერთ რომელიმე წერტილში მიწისძვრას დედამიწის თითქმის ყველა წერტილი „გრძნობს“. სეისმურ ტალღებს (ბიძგებს) სეისმომეტრები დედამიწის ყველა კუთხეში აფიქსირებს (მათ შორის, ძალიან მცირე ბიძგებსაც კი). გუტენბერგმა მონაცემების გაანალიზების შედეგად აღმოაჩინა, რომ **სეისმომეტრები აფიქსირებდა:**

ა) **S ტალღებს** მხოლოდ იმ ადგილებში (სურ. 2.5.2), რომლებიც კერიდან დაშორებული იყო არა უმეტეს 105^0-ისა (გაიხსენე: რკალის სიგრძე გარდა მანძილის ერთეულებისა, გრადუსებითაც იზომება), ანუ დედამიწის ზედაპირზე ჩნდებოდა „ჩრდილი“, სადაც **S ტალღები ვერ აღწევდა. მის გავრცელებას ხელს „რაღაც“ უშლიდა.**

ბ) **P ტალღებს** ყველგან, გარდა იმ წერტილებისა, რომლებიც კერიდან 105-დან 140^0-მდე იყო დაშორებული (სურ. 2.5.2).



სურ. 2.5.2

Don't COPY

ანუ 105-დან 140^0-ით დაშორებული წერტილები ერთგვარ „ჩრდილოვან ზონას“ ქმნიდა, რომელშიც არც ერთი ტიპის ტალღა არ აღწევდა.

გუტენბერგს მონაცემები პირდაპირ „კარნახობდა“, რომ „ჩრდილოვანი ზონების“ წარმოქმნა უკავშირდებოდა იმას, რომ **დედამიწის ბირთვი თხევადია**:

ა) S ტალღები თხევად გარემოში საერთოდ არ ვრცელდება და სწორედ ამიტომ ვერ ხერხდებოდა მათი რეგისტრაცია 105^0-ის შემდეგ;

ბ) P ტალღები, თხევად ბირთვში გავლისას, მოძრაობის მიმართულებიდან ისე იხრება, თითქოს თხევადი ბირთვი ცდილობს, რომ მათ თავი ერთ ადგილას მოუყაროს.

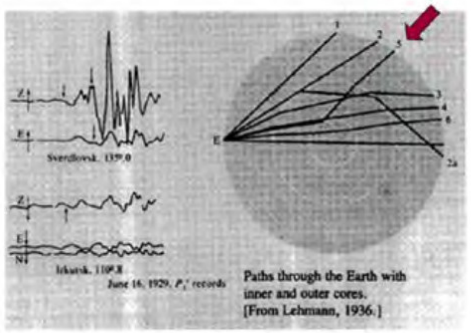
გუტენბერგის მიერ წარმოდგენილი დედამიწის აგებულების მოდელი ბევრ, მანამდე პასუხგაუცემელ კითხვას ნათელს ჰფენდა. მაგრამ გაჩნდა კითხვა, რომელსაც გუტენბერგის მოდელი ვერ პასუხობდა: ყველასაგან მოულოდნელად, P ტალღები სეისმომეტრებმა დააფიქსირეს იქ, სადაც მათ გამოჩენას არავინ ელოდა. P ტალღები აღმოაჩინეს 105-სა 140^0-ს შორის. დიდი ხნის განმავლობაში მეცნიერები თვლიდნენ, რომ ეს „არასწორი“ მონაცემები იყო და სეისმომეტრების გაუმართაობას დააბრალეს.

ადამიანი, რომელსაც არ სჯეროდა, რომ დედამიწის სხვადასხვა წერტილში ყველა სეისმომეტრი მწყობრიდან გამოვიდა, იყო დანიელი გეოფიზიკოსი (სეისმოლოგი) **ინგე ლემანი** (1888 – 1993), ქალი, რომლის შეუპოვარმა ხასიათმა და თავდადებულმა შრომამ კაცობრიობას კიდევ ერთი აღმოჩენა შესძინა (სურ. 2.5.3).



სურ. 2.5.3

1929 წელს, ახალი ზელანდიის მიწისძვრის შემდეგ, სეისმომეტრებმა მიწისძვრის კერიდან (ახალი ზელანდიიდან) გავრცელებული ზოგიერთი ტალღა ევროპაში იმ ადგილებში აღმოაჩინა, სადაც მათ, წესით ვერ უნდა შეეღწია. სეისმური სადგურების მონაცემებში ინგე ლემანს ეჭვი არ შეპარვია (მან თავის დროზე ბევრი იშრომა იმისათვის, რომ ეს სადგურები ახალი სეისმომეტრებით აღეჭურვათ). ინგე ლემანი დღედაღამე მუშაობდა, იწერდა მონაცემებს მუყაოს პატარა ნაჭრებზე, რომლებსაც შვრიის ფანტელისთვის განკუთვნილი ყუთებისგან ამზადებდა (ციფრულ ეპოქაში ძნელია ამის წარმოდგენა, მაგრამ მაშინ მუყაოს გამძლე ქაღალდი საუკეთესო გამოსავალი იყო, რათა მონაცემები არ დაეკარგა).



სურ. 2.5.4

მუყაოს ნაჭრებით გარშემორტყმული მეცნიერი წლობით იჯდა სამუშაო ოთახში და ფიქრობდა კითხვაზე, რომელსაც გუტენბერგის მოდელი ვერ პასუხობდა... და მიხვდა:

ერთადერთი ახსნა, რატომ აღმოჩნდა ჩრდილოვან ზონაში (105-სა 140^0-ს შორის) P ტალღა, არის ის, რომ **თხევადი ბირთვის შიგნით მყარი ბირთვია!** თხევადი და მყარი ბირთვის საზღვარზე P ტალღები **გარდატყდება, მოძრაობის მიმართულებას იცვლის** (სურ. 2.5.4). ეს იყო იმ თავსატეხის მარტივი და საოცრად ელეგანტური ამოხსნა, რომელსაც გუტენბერგის მოდელი აჩენდა. ლემანმა გამოთვალა კიდეც, რომ შიდა, მყარი ბირთვის რადიუსი, დაახლოებით, 1400 კმ-ია.

მონაცემების შემდგომმა ანალიზმა ლემანი საკუთარი ვარაუდის ჭეშმარიტებაში დაარწმუნა და 1936 წელს მან სამეცნიერო საზოგადოებას სტატია შესთავაზა, რომელსაც სათაურად მხოლოდ ერთი ასო ჰქონდა: „P“ (იმ P ტალღების „პატივსაცემად“, რომელთა დახმარებითაც ლემანმა მყარი ბირთვის აღმოჩენა შეძლო).

Don Copy

ეს იყო ლემანის სამეცნიერო ბიოგრაფიაში ყველაზე დიდი აღმოჩენა (თუმცა არა ერთადერთი), რომელსაც დედამიწის აგებულების შესახებ თეორიაში გადატრიალება მოჰყვა და არა მარტო თეორიაში – მისმა კოლეგა-მეცნიერებმა ერთხმად აღიარეს ინგე ლემანის, როგორც ქალი-მეცნიერის, გამორჩეული სამეცნიერო ალღო.

„არანაირი განსხვავება ბიჭებისა და გოგონების ინტელექტუალურ შესაძლებლობებს შორის არ არის“, – წერდა მოგვიანებით ინგე ლემანი და წუხილს გამოთქვამდა:

„ეს არის ფაქტი, რომელმაც შედეგად იმედგაცრუება მომიტანა, რადგან აღმოვაჩინე, რომ ამას სამყარო არ იზიარებს... თქვენ ვერ წარმოიდგენთ, რამდენი დრო დავხარჯე, რომ არაკომპეტენტური მამაკაცები ჩემს კომპეტენტურობაში დამერწმუნებინა“.

ინგე ლემანი პირველი ქალი იყო დანიაში, რომელიც სკოლაში ბიჭებთან ერთად სწავლობდა. მთელი თავისი ცხოვრება ის მადლიერი იყო მშობლიური სკოლის, რომელიც იმ ეპოქისთვის სრულიად გასაოცარი პროგრესულობით გამოირჩეოდა. სკოლა ბიჭებს და გოგონებს ერთნაირად სცემდა პატივს, მათ შესაძლებლობებს სათანადოდ აღიარებდა და მათ განვითარებაზე თანაბრად ზრუნავდა. სკოლის დირექტორი **ჰანა ადლერი** იყო – კიდევ ერთი საქვეყნოდ ცნობილი დანიელის, ნობელის პრემიის ლაურეატის, კაცობრიობის ისტორიაში ერთ-ერთი ყველაზე გამორჩეული მეცნიერის, **ნილს ბორის,** დეიდა და სულაც არ არის გასაკვირი, რომ მისი აღზრდილი ადამიანები სამყაროს უკეთესობისკენ ცვლიდნენ.

1971 წელს ინგე ლემანი გეოფიზიკის დარგში უმაღლესი ჯილდოთი – **„უილიამ ბოუის მედლით“** დააჯილდოვეს და საზეიმო ცერემონიაზე ასე წარადგინეს: შავი მაგიის (იგულისხმებოდა დედამიწის მყარი ბირთვი, რომელიც რკინისა და ნიკელისგან შედგება) ოსტატი, რომლის ჩანაცვლებას ვერანაირი კომპიუტერი ვერ შეძლებს...

ლემანი 104 წლის ასაკში გარდაიცვალა. 127 წლის იუბილეზე კი მას „Google“-მა თავისებურად მიაგო პატივი, როგორც ქალს, რომელმაც „ფეხქვეშ დედამიწის მყარი ბირთვი იგრძნო“ და შვრიის ფანტელის ყუთის ნაგლეჯებზე ბუნების კიდევ ერთი საიდუმლო ამოხსნა.

იმოგზაურე ინგე ლემანის აღმოჩენილ სამყაროში: http://bitly.ws/zyAb

რა არის ტალღა, როგორ წარმოიქმნება ის და რა სახის ტალღები არსებობს, ამ პარაგრაფიდან შეიტყობ.

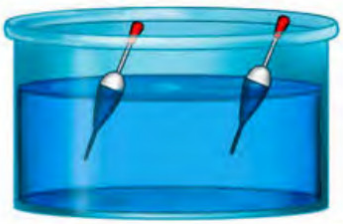
2.5.1. ტალღა

თუ დამდგარი წყლის მშვიდ ზედაპირზე კენჭს ისვრი, ჩავარდნის ადგილას წრეები წარმოიქმნება: ისინი სწრაფად იზრდება და წყლის ზედაპირზე ყველა მიმართულებით ვრცელდება. წყალი კი თავის ადგილას დგას, არ მოძრაობს გადატანითად, მაგრამ მის ზედაპირზე „რაღაც“ მაინც გადაადგილდება მიმართულად. ალბათ, შეგიმჩნევია, ქარის დროს მინდვრის ზედაპირი ღელავს, მოძრაობს, მაგრამ მცენარეები თავის ადგილზე რჩება, არ გადაადგილდება. ისინი მხოლოდ გადაიხრება და ისევ სწორდება, კვლავ გადაიხრება, გასწორდება და ა. შ.

რა გადაადგილდება მინდვრის ან წყლის ზედაპირის გასწვრივ? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად ჩაატარე ცდა, რომელიც საშუალებას მოგცემს, უკეთ დააკვირდე აღწერილ მოვლენას.

ცდა 1

1. მოათავსე წყლით სავსე ფართო ჭურჭელში (აბაზანაში) ტივტივა და მისგან მოშორებით წყლის ზედაპირზე ძალიან ფრთხილად კიდევ ერთი ასეთივე ტივტივა ჩაუშვი (სურ. 2.5.5). „იგრძნო“ თუ არა 1-ელმა ტივტივამ მე-2-ის არსებობა?



სურ. 2.5.5

Don't copy

2. 1-ელ ტივტივას ზემოდან მსუბუქად დაარტყი ხელი: ის წყლის ზედაპირზე ზევით-ქვევით დაიწყებს რხევას.

დააკვირდი: როგორ აისახა პირველი ტივტივას რხევა მეორეზე?

გამოიტანე დასკვნა: გადაეცა თუ არა 1-ელი ტივტივას რხევის ენერგია მე-2-ს?

3. მოათავსე ტივტივებს შორის წყლის ზედაპირზე ასანთის ღერი და 1-ელ ტივტივას ზემოდან ქვემოთ კვლავ მსუბუქად უბიძგე.

დააკვირდი: როგორ მოძრაობს ასანთის ღერი? გადაადგილდება თუ არა ის ტივტივებს შორის წყლის ზედაპირის გასწვრივ?

გამოთქვი ჰიპოთეზა: იმისათვის, რომ 1-ელიდან მე-2 ტივტივას ენერგია გადაეცეს, არის თუ არა საჭირო გარემოს (წყლის) გადაადგილება (წყლის დინება)?

ცხადია, ცდის შედეგის ახსნა არ გაგიჭირდება, რადგან აქ თითქოს ახალი არაფერია. 1-ელი ტივტივას რხევა წყლის ნაწილაკების რხევას იწვევს. წყლის ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების გამო კი მათი რხევითი მოძრაობა მეზობელი უბნის ნაწილაკებს ყველა მიმართულებით გადაეცემა. ისინიც, თავის მხრივ, რხევას იწყებენ – ზედაპირის მართობულად ზევით-ქვევით გადაადგილდებიან. ამ ნაწილაკების რხევაც გადაეცემა სხვა უბნის ნაწილაკებს ყველა მიმართულებით და ა. შ. **რხევა გავრცელდება და გარკვეულ მანძილზე გარემოს ყველა წერტილს მოიცავს,** ანუ **წარმოიქმნება ტალღა.**

მოვლენას, რომლის დროსაც რხევითი მოძრაობა სივრცეში ვრცელდება, ტალღა ჰქვია.

ტალღა სხვადასხვა სახისაა: მექანიკური, ელექტრომაგნიტური, გრავიტაციული. ტალღური მოვლენები ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული და, მიუხედავად იმისა, რომ სხვადასხვა სახის ტალღების გამომწვევი მიზეზები განსხვავებულია, რხევების მსგავსად, ყველა სახის ტალღა ერთნაირი რაოდენობრივი კანონებით აღიწერება. ეს კი საშუალებას გვაძლევს, შედარებით რთული ტალღური პროცესი (მაგ., ელექტრომაგნიტური ტალღა), აღსაქმელად უფრო მარტივი ტალღების, მექანიკური ტალღების, დახმარებით შევისწავლოთ.

2.5.2. მექანიკური ტალღები



სურ. 2.5.6

ელექტრომაგნიტურ ტალღებს მოგვიანებით გავეცნობით. ახლა მხოლოდ მექანიკურ ტალღებს განვიხილავთ.

მექანიკური ტალღებია, მაგ., **სითხის ზედაპირზე წარმოქმნილი ტალღები** და ე.წ. **დრეკადი ტალღები.**

სითხის ზედაპირზე ტალღა წარმოიქმნება, თუ მაგ., სითხეში (წყალში) რაიმე მსუბუქ სხეულს (ტივტივას) ჩააგდებ. ჩავარდნის ადგილას სწრაფად მზარდი წრიული ფორმის ტალღები ჩნდება, რომლის ზვირთები (ბორცვები) ყველა მიმართულებით გავრცელდება (სურ. 2.5.6): ტივტივას ჩაგდების ადგილას წარმოქმნილი **რხევა** მეზობელ უბნებს გადაეცემა და ბორცვები სულ ახალ – ახალ ადგილას გაჩნდება.

სითხეში დინება კი არ წარმოიქმნება, არამედ მის ზედაპირზე ბორცვების ადგილმდებარეობა შეიცვლება. ტივტივა, პრაქტიკულად, იმავე ადგილზე დარჩება. ის მხოლოდ რხევას შეასრულებს ვერტიკალურ სიბრტყეში.

დააკვირდი ტალღების წარმოქმნას წყლის ზედაპირზე.

ვიდეოში: http://bitly.ws/zyAB

ვირტუალურ ლაბორატორიაში:
https://rb.gy/shshrt

Don't copy

ასე რომ, ჩვენ მიერ განხილული მოძრაობებისაგან განსხვავებით, ტალღებს საინტერესო თავისებურება ახასიათებს: **ტალღაში ვრცელდება არა გარემოს ნაწილაკები (ნივთიერება), არამედ გარემოს რხევა** – გარემოს ნაწილაკების მდგომარეობის ცვლილება (ნებისმიერი გადახრა წონასწორობის მდებარეობიდან).

2.5.3. განივი და გრძივი ტალღები

ჩაატარე ცდები და დააკვირდი **დრეკადი ტალღების** წარმოქმნას.

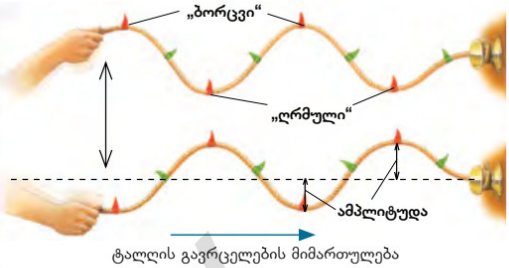
ცდა II





1. დაამაგრე რეზინის გრძელი დრეკადი ზონრის (ან გრძელი ზამბარის) ერთი ბოლო კარის სახელურზე (ან დაიხმარე მეგობარი და სთხოვე, ხელით დაიკავოს) (სურ. 2.5.7);

2. გაჭიმე ოდნავ ზონარი (ან ზამბარა) და მისი მეორე, თავისუფალი ბოლო ზევით-ქვევით **ერთი მკვეთრი მოძრაობით** (ვერტიკალურ სიბრტყეში) სწრაფად შეარხიე;



სურ. 2.5.7

3. დააკვირდი:

ა) ზონარში „ბორცვი“ წარმოიქმნა, რომელიც ზონრის გასწვრივ სწრაფად გადაადგილდება და მას შემდეგ რაც ზონრის დამაგრებულ ბოლოს მიაღწევს, უკან დაბრუნდება. ეს **განივი დრეკადი ტალღაა:** ზონრის ბოლომ ვერტიკალურ სიბრტყეში რხევა შეასრულა, რომელმაც ზონრის გასწვრივ ყველა უბანი მოიცვა, ანუ **ტალღა ზონრის გასწვრივ, რხევის მიმართულების მართობულად გავრცელდა;**

ბ) ზონარში (გარემოში) ტალღის გავრცელებისას „ბორცვები“ და „ღრმულები“ გადაადგილდება და არა თავად ზონარი: „ბორცვის“ ადგილას „ღრმული“ ჩნდება, მეზობელი „ღრმულის“ ადგილას – „ბორცვი“ და მათი ეს მონაცვლეობა შთაბეჭდილებას ქმნის, რომ ზონრის გასწვრივ „რაღაც“ გარბის.



დააკვირდი განივი ტალღის გავრცელებას ვირტუალურ ლაბორატორიაში: https://rb.gy/ozjsxu

ტალღას, რომელშიც გარემოს შემადგენელი ნაწილაკები ტალღის გავრცელების მიმართულების მართობულად ირხევა, განივი ტალღა ჰქვია.

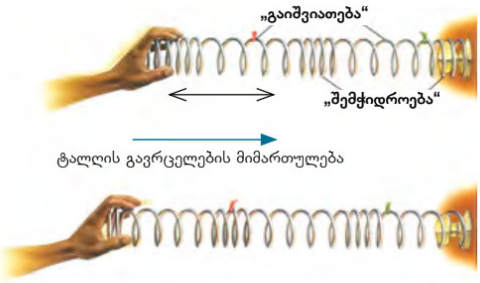
ცდა III





1. დიდი დიამეტრის მქონე გრძელი ზამბარის ერთი ბოლო კარის სახელურზე დაამაგრე (ან მეგობარი დაიხმარე და სთხოვე, ხელით დაიკავოს);

2. ზამბარა ოდნავ გაჭიმე და ზამბარის მეორე, თავისუფალ, ბოლოს მკვეთრი მოძრაობით მსუბუქად უბიძგე ჰორიზონტალურად (სურ. 2.5.8).



სურ. 2.5.8

3. დააკვირდი:

ა) ზამბარაში გაჩნდება შესქელებული უბანი, რომელშიც ხვიები ერთმანეთთან **მჭიდროდაა** განლაგებული. „შემჭიდროება“ სწრაფად გადაადგილდება ზამბარის გასწვრივ და მას შემდეგ, რაც ზამბარას დამაგრებულ ბოლოს მიაღწევს, უკან დაბრუნდება. ეს **გრძივი დრეკადი ტალღაა:** ზამბარას თავისუფალი ბოლოს ხვიებმა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში რხევა შეასრულა, რომელმაც ზამბარის

Don't copy

გასწვრივ ყველა უბანი მოიცვა, ანუ **ტალღა ზამბარის გასწვრივ, რხევის მიმართულებით გავრცელდა;**

ბ) ზამბარაში (გარემოში) ტალღის გავრცელებისას „შემჭიდროებები“ და, შესაბამისად, „გაიშვიათებები“ გადაადგილდება და არა თავად ზამბარა. „შემჭიდროების“ ადგილას „გაიშვიათება“ ჩნდება, მეზობელი „გაიშვიათების“ ადგილას – „შემჭიდროება“ და მათი ეს მონაცვლეობა შთაბეჭდილებას ქმნის, რომ ზამბარის გასწვრივ „რაღაც“ გარბის.

დააკვირდი გრძივი ტალღის გავრცელებას ვიდეოში:
https://rb.gy/euophe
https://rb.gy/c8vhcb

ტალღას, რომელშიც გარემოს შემადგენელი ნაწილაკები ტალღის გავრცელების მიმართულების გასწვრივ ირხევა, გრძივი ტალღა ჰქვია.

2.5.4. დრეკადი ტალღების წარმოშობის მექანიზმი

მაშ ასე, **მექანიკური დრეკადი ტალღები - ეს არის რხევის** (წონასწორობის მდებარეობიდან ნებისმიერი გადახრის) **გავრცელება დრეკად გარემოში.**

დრეკადია გარემო, თუ მისი ნებისმიერი დეფორმაციისას გარემოს შემადგენელ ნაწილაკებს შორის დრეკადობის ძალები აღიძვრება, რომლებიც ამ დეფორმაციას ეწინააღმდეგება.

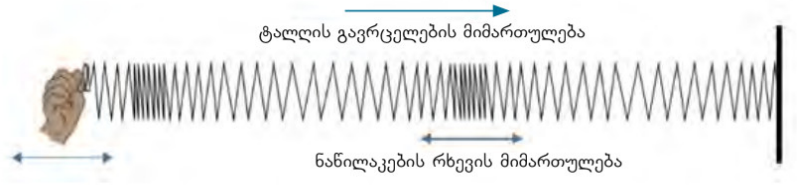
როგორია დრეკადი ტალღების წარმოშობის მექანიზმი? დრეკად გარემოში მერხევი სხეული (ტალღის წყარო) გარემოს იმ ნაწილაკებზე მოქმედებს, რომლებიც უშუალოდ გარს აკრავს და „აიძულებს“ მათ, რხევა შეასრულონ. ნაწილაკები რხევისას ერთმანეთის მიმართ წანაცვლდება და შედეგად, მერხევი სხეულის გარშემო გარემო დეფორმირდება (**ეს უკვე გარემოს შეშფოთებაა**). დეფორმირებულ დრეკად გარემოში აღიძვრება დრეკადობის ძალები, რომლებიც მის დეფორმაციას ეწინააღმდეგება:

გარემოს შემადგენელ ნაწილაკებს შორის მანძილის შემცირებისას დრეკადობის ძალების მოქმედების შედეგად ნაწილაკები ერთმანეთს დაშორდება და, პირიქით, ნაწილაკებს შორის მანძილის გაზრდისას გარემოში აღძრული დრეკადობის ძალების გავლენით ნაწილაკები ერთმანეთს მიუახლოვდება. დრეკადობის ძალების მოქმედება წყაროდან მოშორებულ უბნებსაც გადაეცემა და, შედეგად, გარემოს ყველა ნაწილაკი, ერთი მეორის მიყოლებით, იწყებს რხევას, ანუ **წარმოიქმნება დრეკადი ტალღა.**

ნებისმიერ მექანიკურ ტალღაში ერთდროულად ორი სახის მოძრაობა სრულდება – გარემოს ნაწილაკების რხევა და რხევის გავრცელება გარემოში.

როგორც უკვე იცი, **დრეკადი მექანიკური ტალღები ორგვარია – განივი და გრძივი.**

გრძივი ტალღის (სურ. 2.5.9) გარემოში გავრცელებას თან სდევს გარემოს შეკუმშვა და გაფართოება (ანუ გარემოში წარმოიქმნება **კუმშვის** დეფორმაცია). შესაბამისად, **გრძივი ტალღები მყარ გარემოშიც ვრცელდება, თხევადშიც და აირადშიც.**



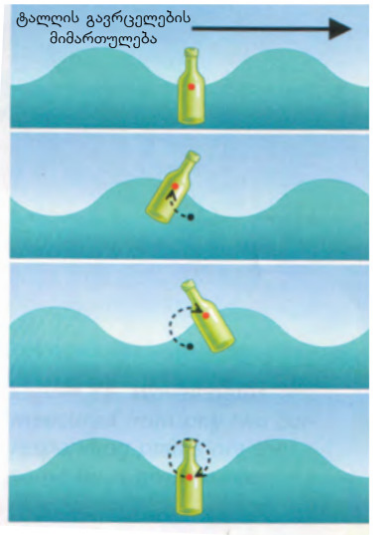
სურ. 2.5.9

განივი მექანიკური ტალღა (სურ. 2.5.10) მხოლოდ ისეთ გარემოში ვრცელდება, რომელშიც ცალკეული ფენები ერთმანეთის მიმართ წანაცვლდება, ანუ ისეთ გარემოში, რომელშიც შესაძლებელია **ძვრის დეფორმაცია.** ამის გამო **განივი მექანიკური ტალღა**

Do not copy



სურ. 2.5.10



სურ. 2.5.11

მხოლოდ მყარ გარემოში აღიძვრება, რადგან მხოლოდ მყარ გარემოში ხდება ძვრის დეფორმაცია.

ნებისმიერი სითხის ზედაპირზე წარმოქმნილი ტალღები (სურ. 2.5.11) არც განივია და არც გრძივი. ისინი ორივე სახის ტალღის კომბინაციაა და ნაწილაკების მოძრაობას ასეთ ტალღაში საკმაოდ რთული ხასიათი აქვს:

ნაწილაკები წრეწირზე (ან ელიფსზე) მოძრაობს და წრიულ მოძრაობასთან ერთად ძალიან ნელ გადატანით მოძრაობასაც ასრულებს იმ მიმართულებით, რა მიმართულებითაც ტალღა ვრცელდება (სწორედ ნაწილაკების მოძრაობის ამგვარი ხასიათით აიხსნება მოულოდნელი „ნობათები“, რომელთაც ზღვა პერიოდულად ნაპირზე გამორიყავს ხოლმე).

2.5.5. ტალღის ენერგია

ნებისმიერი ტალღის გავრცელებისას გარემოს ერთი უბნიდან მეორეს ნაწილაკების მოძრაობის კინეტიკური ენერგია და დრეკადი დეფორმაციის პოტენციური ენერგია გადაეცემა.

ტალღას გარემოს ყველა წერტილში გადააქვს ენერგია, თუმცა ამ ენერგიის მატარებელი მერხევი ნაწილაკები არ გადააქვს: **ტალღას გადააქვს ენერგია ნივთიერების გადატანის გარეშე**.

მექანიკური ტალღების წარმოქმნის მიზეზი გარემოში აღძრული რხევაა (გარემოს შეშფოთებაა), რომელსაც მერხევი სხეული (ტალღის წყარო) ასრულებს. **მერხევი სხეულის (ტალღის წყაროს) ენერგია წყაროს რხევის ამპლიტუდაზეა დამოკიდებული.**

ენერგია ტალღის გავრცელების მიმართულებით გადაიტანება და რაც უფრო მეტია ტალღის მიერ გადატანილი ენერგია, მით მეტია გარემოს ნაწილაკების რხევის ამპლიტუდა. ტალღის გავრცელებისას გარემოს ნაწილაკების რხევის ამპლიტუდა თანდათან მცირდება, რაც მექანიკური ენერგიის შინაგანად გარდაქმნის პროცესს უკავშირდება.



სურ. 2.5.12

ბუნებაში არსებულ ტალღებს უზარმაზარი ენერგია აქვს. შენ იცი, რომ ოკეანეების ტალღები ხშირად გამხდარა საზღვაო ხომალდების დაღუპვის, სანაპირო ზოლის დანგრევის მიზეზი. განსაკუთრებით დამანგრეველი ძალით **ცუნამი** ხასიათდება – ოკეანის გიგანტური ტალღა, რომლის სიმაღლე ზოგ შემთხვევაში 30 მ-ს აღწევს (სურ. 2.5.12). ცუნამის წარმოშობის მიზეზი შეიძლება იყო ოკეანის (დიდი წყალსატევის) ფსკერზე მიწისძვრა, ვულკანის ამოფრქვევა, წყალქვეშა აფეთქება. ცუნამი შეიძლება გამოიწვიოს ხმელეთიდან წყალში ყინულის საფარის გადანაცვლებამ, მეტეორიტის ჩამოვარდნამ და ა.შ.

ცუნამი ძალიან სწრაფად გადაადგილდება შორ მანძილზე ისე, რომ თავისი ენერგიის დიდ ნაწილს უცვლელად ინარჩუნებს. იმას, თუ როგორ წარმოიქმნება ცუნამი და როგორ ვრცელდება ის, შეგიძლია ანიმაციით დააკვირდე:

http://bitly.ws/zyGB

Don't copy

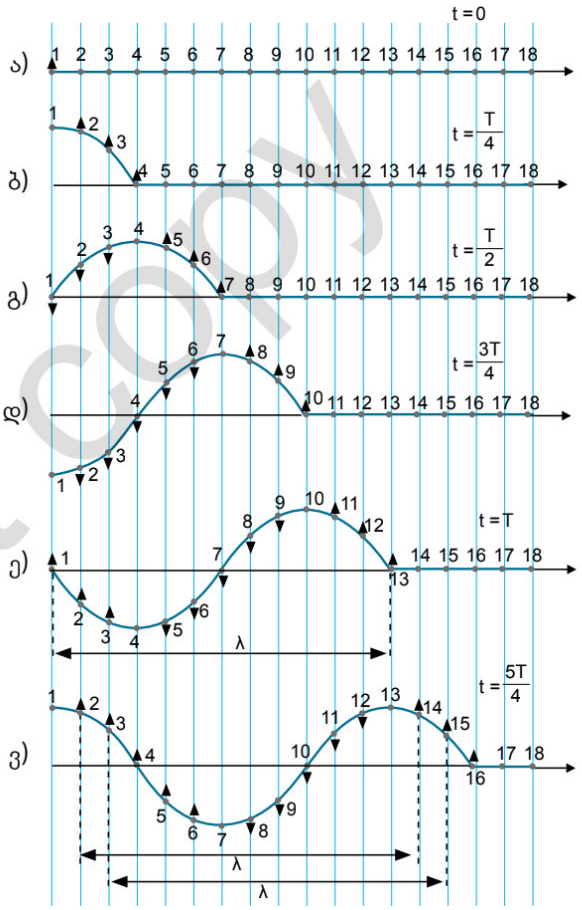
ადამიანმა მიაგნო საშუალებას, რომ ზღვის ტალღების ენერგია თავის სასარგებლოდ გამოიყენოს. ზღვის ტალღების ენერგიაზე მომუშავე ელექტროსადგურების სახით მსოფლიო საკმაოდ იაფ და ეკოლოგიურად სუფთა ენერგიის წყაროს მიიღებს. თუ როგორ მოჰყავს ტალღების ენერგიას ელექტროსადგურის როტორი მოძრაობაში, შეგიძლია დააკვირდე ვიდეოში:

https://rb.gy/ulfyju
https://rb.gy/uve2ru

2.5.6. ტალღის სიჩქარე

გარდა ენერგიისა, კიდევ რა ფიზიკური სიდიდეებით ხასიათდება ტალღა? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად განვიხილოთ **დრეკადი გარემოს მოდელი** და მისი დახმარებით დავაკვირდეთ განივი ტალღის წარმოქმნის მექანიზმს:

1. წარმოიდგინე **ერთგვაროვანი დრეკადი „გარემო“:** ერთნაირი მასის პატარა ბურთულების („გარემოს ნაწილაკების“) ერთობლიობა, რომელშიც ბურთულები ერთმანეთთან ზამბარით ან დრეკადი ზონრითაა დაკავშირებული (ზამბარის/ზონრის სიხისტე ყველგან ერთნაირია). ვთქვათ, ბურთულებზე ხახუნის ძალები არ მოქმედებს;



სურ. 2.5.13

2. ვთქვათ, 1-ელ ბურთულას ზევით მიმართული ძალით ვუბიძგეთ და წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოვიყვანეთ. ბურთულა დაიწყებს მოძრაობას ზევით მიმართული სიჩქარით (სურ. 2.5.13, ა).

ზამბარა, რომელიც 1-ელ ბურთულას მე-2-სთან აკავშირებს, გაიჭიმება და მასში დრეკადობის ძალა აღიძვრება. **დრეკადობის ძალა ზამბარის გაჭიმვას ეწინააღმდეგება**, ის ცდილობს 1-ელი და მე-2 ბურთულა ერთმანეთს დაუახლოვოს. შედეგად, 1-ელის სიჩქარე შემცირდება, მე-2-ის გაიზრდება: მე-2 ბურთულა წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოვა და ისიც ზევით გადაიხრება. ეს კი, თავის მხრივ, მე-2-სა და მე-3 ბურთულების შემაერთებელი ზამბარას გაჭიმვას გამოიწვევს.

3. იმ მომენტში, როცა 1-ელი ბურთულა მაქსიმალურად გადაიხრება, გარემოს შეშფოთება მე-4 ბურთულამდე მიაღწევს (სურ. 2.5.13, ბ). მე-4 მოძრაობას ზევით მიმართული სიჩქარით დაიწყებს. ამ დროს მე-2 და მე-3 ბურთულა კვლავ ზევით მოძრაობს, მათ ჯერ არ მიუღწევიათ მაქსიმალური გადახრის მდებარეობისთვის;

4. მას შემდეგ, რაც 1-ელი ბურთულა უკიდურეს ზედა წერტილს მიაღწევს, მისი სიჩქარე ნულს გაუტოლდება, მყისიერად გაჩერდება და ქვევით, წონასწორობის მდებარეობისკენ ამოძრავდება. იმ მომენტში, როცა 1-ელი ბურთულა წონაწორობის მდებარეობაში აღმოჩნდება (სურ. 2.5.13, გ), გარემოს შეშფოთება გარემოში აღძრული დრეკადობის ძალების მოქმედების შედეგად, უკვე მე-7 ბურთულასთან მიაღწევს და წონასწორობის მდებარეობიდან ისიც გადაიხრება და ა.შ. **შეშფოთება გარემოში გავრცელდება და თან-**

Don't copy

დათან რხევას ყველა ბურთულა დაიწყებს: მე-2 ბურთულა, 1-ელთან შედარებით, რხევას მოგვიანებით იწყებს, მე-3 მე-2-ს ჩამორჩება და ა.შ.

ასე რომ, დრეკად გარემოში შეშფოთება გარკვეული სიჩქარით ვრცელდება, რაც იმას ნიშნავს, რომ **გარემოში ტალღის გავრცელება გარკვეული სიჩქარით ხასიათდება.** მაგ., ფოლადის რელსზე დარტყმა დარტყმის ადგილას შეკუმშვას (გარემოს ნაწილაკების შემჭიდროვებას) იწვევს, რომელიც რელსის გასწვრივ დაახლოებით 5 კმ/წმ სიჩქარით ვრცელდება.

ტალღის სიჩქარე იმ გარემოს თვისებებზეა დამოკიდებული, რომელშიც ტალღა ვრცელდება – **მყარ გარემოში გრძივი ტალღა უფრო სწრაფად ვრცელდება, ვიდრე განივი.**

ტალღის სიჩქარე მოცემულ ერთგვაროვან გარემოში არ იცვლება – მუდმივია, მაგრამ არაერთგვაროვან გარემოში (მაგ., თხევადიდან მყარ გარემოში გადასვლისას) – იცვლება.

2.5.7. ტალღის სიგრძე

დავუბრუნდეთ **დრეკადი გარემოს მოდელს** (სურ. 2.5.13). იმის გამო, რომ ბურთულების მასები და ზამბარების სიხისტეები ერთნაირია, **ყველა ბურთულა (როცა ტალღა მასთან მიაღწევს) თავისი წონასწორობის მდებარეობის მახლობლად რხევას ერთნაირი ამპლიტუდითა და სიხშირით დაიწყებს.**

როცა 1-ელი ბურთულა (ტალღის წყარო) **1 სრულ რხევას შეასრულებს** (პერიოდის შემდეგ), ის თავის საწყის მდგომარეობაში აღმოჩნდება (სურ. სურ. 2.5.13, ე) – წონასწორობის მდებარეობაშია და ზევით მიმართული სიჩქარით განაგრძობს მოძრაობას. ამ მომენტში გარემოს შეშფოთება მე-13 ბურთულამდე მიაღწევს. ის, 1-ელის მსგავსად, წონასწორობის მდგომარეობაშია და მოძრაობას ზევით მიმართული სიჩქარით იწყებს. ეს იმას ნიშნავს, რომ **1-ელი და მე-13 ბურთულა ერთნაირ ფაზაში ირხევა** (უფრო სწორედ კი, მათი რხევის ფაზებს შორის სხვაობა 2π-ს ტოლია, მაგრამ ასეთ დროს ბურთულების მდგომარეობა ერთმანეთისგან არ განსხვავდება).

მანძილს, რა მანძილზეც ვრცელდება ტალღა იმ დროში, რა დროშიც ტალღის წყარო ერთ სრულ რხევას შეასრულებს, **ტალღის სიგრძე ჰქვია.**

დროს, რომელშიც რხევა გარემოში ტალღის სიგრძეზე ვრცელდება, ტალღის წყაროს რხევის (ტალღაში ნაწილაკების, ტალღის) **პერიოდი** (T- ს) ეწოდება.

დააკვირდი (სურ. 2.5.13, ე):

ა) საწინააღმდეგო ფაზაში ირხევა: 1-ელი და მე-7, მე-2 და მე-8, მე-3 და მე-9, მე-4 და მე-10, მე-5 და მე-11, მე-6 და მე-12;

ბ) ერთნაირ ფაზაში 1-ელი და მე-13 ბურთულა ირხევა (ასევე, მე-2 და მე-14, მე-3 და მე-15 და ა.შ.): მე-13 კი ის ბურთულაა, სადამდეც ტალღა აღწევს იმ დროში, რომელშიც 1-ელი ბურთულა ერთ სრულ რხევას ასრულებს (ანუ, ტალღის პერიოდში). 1-ელიდან მე-13 ბურთულამდე მანძილი არის სწორედ **ტალღის სიგრძე**.

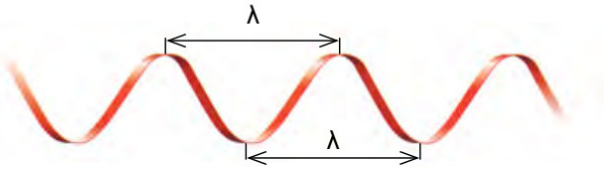
ასე რომ, **ტალღის სიგრძე გარემოს იმ უახლოეს ორ წერტილს შორის მანძილია, რომლებიც ერთნაირ ფაზაში ირხევა.**

დააკვირდი (სურ. სურ. 2.5.13, დ): იმ უახლოეს ორ წერტილს შორის მანძილი, რომლებიც საწინააღმდეგო ფაზაში ირხევა, ტალღის სიგრძის ნახევრის ტოლია.

ტალღის სიგრძე „λ“-თი („ლამბდა“) აღინიშნება და მანძილის ერთეულებით (მმ-ით, სმ-ით, მეტრით და ა. შ.) იზომება.

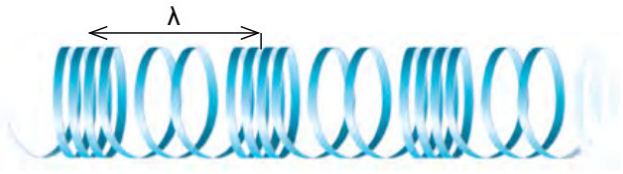
ტალღის სიგრძე შეესაბამება მანძილს ორ უახლოეს:

ა) „ბორცვსა“ ან „ღრმულს“ შორის განივ ტალღაში (სურ. 2.5.14);

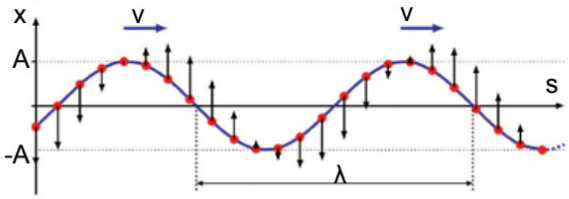


სურ. 2.5.14

Do not copy



სურ. 2.5.15



სურ. 2.5.16

ბ) ორ უახლოეს „შემჭიდროების“ ან „გაიშვიათების“ ცენტრებს შორის გრძივ ტალღაში (სურ. 2.5.15).

2.5.16 სურათზე გამოსახულია გრაფიკი, რომელიც ასახავს დამოკიდებულებას ტალღის წყაროს წანაცვლებასა (წონასწორობის მდებარეობიდან გადახრის) და გარემოში ტალღის გავრცელების მანძილს (s) შორის.

იმის გათვალისწინებით, რომ მოცემული გარემოში ტალღის სიჩქარე (v) მუდმივი სიდიდეა, **ტალღის სიგრძე (λ),** ანუ ტალღის მიერ პერიოდის (T-ს) განმავლობაში გავლილი მანძილი**, ასე გამოითვლება:**

$$\lambda = v\,T \qquad (2.5.1)$$

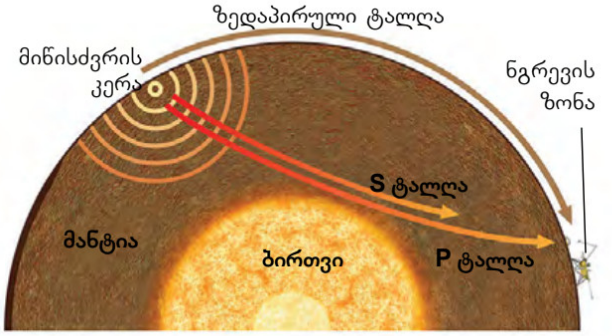
(გაიხსენე: მუდმივი v სიჩქარით მოძრავი სხეულის მიერ t დროში გავლილი მანძილი (ℓ), გამოითვლება ფორმულით $\ell = v \cdot t$)

თუ რხევის პერიოდს ტალღის წყაროს რხევის სიხშირის საშუალებით გამოსახავ, მაშინ **ტალღის სიჩქარე ასე გამოითვლება:**

$$v = \lambda\,\nu \qquad (2.5.2)$$

სადაც λ ტალღის სიგრძეა, ხოლო ν – ტალღის წყაროს რხევის სიხშირეა, იმავე გარემოს ნაწილაკების იძულებითი რხევის სიხშირე.

2.5.8. სეისმური ტალღები



სურ. 2.5.17

სეისმური ტალღები დედამიწის ქერქში უმეტესად მიწისძვრის დროს წარმოიქმნება, თუმცა შესაძლებელია, მისი წარმოშობის მიზეზი ვულკანის ამოფრქვევა, დიდი ზომის მეწყერი, მძლავრი აფეთქება იყოს. **სეისმური ტალღა დრეკადი მექანიკური ტალღაა,** რომელსაც მიწისძვრის კერაში გამოთავისუფლებული ენერგია ყველა მიმართულებით გადააქვს. **სეისმური ტალღები, ძირითადად, ორი ტიპისაა** (სურ. 2.5.17):

ა) მოცულობითი სეისმური ტალღები, რომლებიც პლანეტის სიღრმეში ვრცელდება (შეუძლიათ ბირთვის გავლით მთელი დედამიწის განჭოლა);

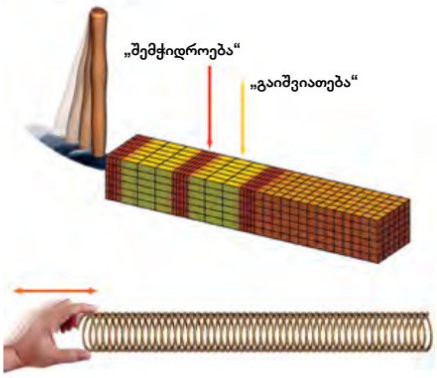
ბ) ზედაპირული სეისმური ტალღები, რომელიც პლანეტის ზედაპირზე ვრცელდება.

მოცულობითი სეისმური ტალღები ორი სახისაა: P და S ტალღები.

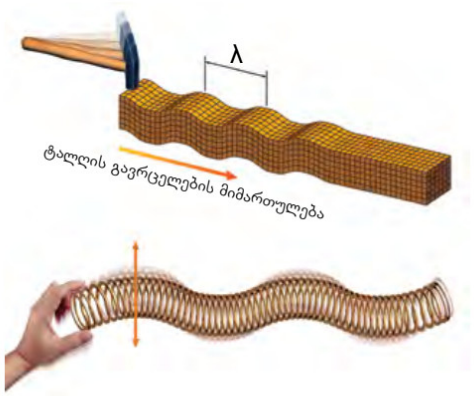
P ტალღა გრძივი სეისმური ტალღაა (სურ. 2.5.18): მისი გავრცელებისას დედამიწის შემადგენელი ქანების შეკუმშვა-გაფართოება (ანუ **კუმშვის დეფორმაცია**) ხდება. ვრცელდება ყველა სახის (მყარ, თხევად, აირად) გარემოში.

S ტალღა განივი სეისმური ტალღაა (სურ. 2.5.19): მისი გავრცელებისას დედამიწის შემადგენელი ქანების ცალკეული ფენები ერთმანეთის მიმართ წანაცვლდება, ანუ გარემოში **ძვრის დეფორმაცია** ხდება. ვრცელდება მხოლოდ მყარ გარემოში.

Don't copy



სურ. 2.5.18



სურ. 2.5.19

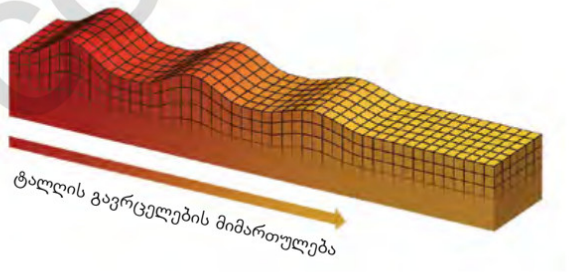
P და S ტალღების გავრცელების სიჩქარე ერთსა და იმავე გარემოში განსხვავებულია:

ა) **P ტალღა** ყველა სახის სეისმურ ტალღასთან შედარებით სწრაფად ვრცელდება (≈ 6 –14 კმ/წმ სიჩქარით) და, შესაბამისად, ყველაზე ადრე სეისმურ სადგურამდე (ან ნგრევის ზონამდე) სწორედ ის აღწევს. P ტალღას **პირველად ტალღასაც** („**P**rimary wave“) უწოდებენ;

ბ) **S ტალღა** P-სთან შედარებით ნელა (≈ 4 – 6 კმ/წმ სიჩქარით) ვრცელდება და სეისმომეტრი (სეისმოგრაფი) მას მოგვიანებით აღრიცხავს. სწორედ ამიტომ S ტალღას **მეორეული ტალღა** („**S**econdary wave“) ჰქვია.

სეისმურ სადგურში S ტალღების დაგვიანების დროის მიხედვით შესაძლებელია იმ მანძილის გამოთვლა, რა მანძილზეცაა დაშორებული სადგურიდან მიწისძვრის კერა.

ზედაპირული ტალღების გავრცელების სიჩქარე შედარებით მცირეა (≈ 4 კმ/წმ), თუმცა მათი ამპლიტუდა დიდია და სწორედ ზედაპირული ტალღების მოქმედების შედეგია ძლიერი მიწისძვრის თანმდევი მასშტაბური ნგრევა (სურ. 2.5.20).



სურ. 2.5.20

სეისმური ტალღები სხვადასხვა დრეკადი თვისებების მქონე გარემოთა გამყოფ ზედაპირზე მიმართულებას იცვლის (გარდატყდება და აირეკლება). სიღრმის ზრდასთან ერთად, დედამიწის შემადგენელი ქანების თვისებები იცვლება და, შესაბამისად, იცვლება სეისმური ტალღების გავრცელების სიჩქარეც. მიწისძვრის კერიდან სეისმურ სადგურებამდე განსხვავებული ტიპის სეისმური ტალღების გავრცელების დროის მიხედვით, მათი სიჩქარე სხვადასხვა სიღრმეზე გამოითვლება. ეს კი მეცნიერებს საშუალებას აძლევს, დედამიწის შინაგანი სტუქტურა გამოიკვლიონ. კვლევის ამ მეთოდს **სეისმურ დაზვერვას** უწოდებენ.

სწორედ სეისმური დაზვერვის შედეგად აღმოაჩინეს, რომ დედამიწა ერთგვაროვანი ქვის ბირთვი კი არ არის, არამედ რთული შინაგანი სტრუქტურა აქვს და შედგება ქერქის, მანტიისა და ბირთვისგან, რომლის შიდა ნაწილი (შიდა ბირთვი) მყარია.

Don't copy

პროექტი №5: „თიხა მღერის“...



სურ. 1

„მღერის ბიჭო... თიხა მღერის... “ – ჯოხს ფრთხილად უკაკუნებს მეთუნე ოსტატი თიხის ქოთანს და ცრემლნარევი ხმით ემშვიდობება თავის ნახელავს... თიხის უკანასკნელი ოსტატი სტოვებს საბუდარას (სურ.1).

ნახე ნაწყვეტი ფილმიდან:
http://bitly.ws/ACK3

თიხა მართლა „მღერის“... „მღერის“ რკინაც, მინაც, პლასტმასიც, ჰაერიც... ხოდა, ვნახოთ, როგორ „მღერიან“, რატომ „მღერიან“ და რა დროს „მღერიან“...

„მომღერალი“ ფიალები



სურ. 2

„მომღერალ“ ფიალებს ტიბეტურ ფიალებსაც ეძახიან (სურ. 2). როგორ გაჩნდა ტიბეტური ფიალა, საიდან დაიწყო მისი ისტორია, რა მიზნით იყენებდნენ მას, არავინ იცის. ვარაუდობენ, რომ ფიალები პირველად ჰიმალაიში, 5000 წლის წინ გამოჭედეს და მოგვიანებით გავრცელდა ინდოეთში, ნეპალში, ტიბეტში...

ტიბეტური ფიალა ერთგვარი მუსიკალური ინსტრუმენტია, „ზარია“, ოღონდ ნამდვილი ზარისგან განსხვავებით, მას სადგამზე დგამენ, არ კიდებენ. ტიბეტური ფიალა, ისევე როგორც თიხის ქოთანი, დარტყმისას ბგერას გამოსცემს, რომელიც დიდხანს ისმის და მერე ნელ-ნელა მიილევა.

ფიალებისთვის დამახასიათებელი ბგერების ტემბრს ფიალების ფორმა, ზომა და ის შენადნობი განსაზღვრავს, რომლისგანაცაა დამზადებული. ტრადიციულად, ტიბეტურ ფიალებს შვიდი ლითონის შენადნობისგან ამზადებდნენ, რომელთაგან თითოეული მათგანი, ლეგენდის თანახმად, ერთი რომელიმე პლანეტის „მაგიურ“ ძალას განასახიერებს: ოქრო – მზის, ვერცხლი – მთვარის, ტყვია – სატურნის, ვერცხლისწყალი – მერკურის, კალა – იუპიტერის, სპილენძი – ვენერას, რკინა – მარსის...

შენადნობში ლითონების პროპორცია ფიალის ბგერაში ძირითადი ტონის სისუფთავეს, ობერტონების მდიდარ გამასა და ბგერის ხანგრძლივობას განსაზღვრავს.

ფიალა მაშინაც „მღერის“, როცა მის კიდეზე თანაბრად, ფრთხილად, წრიულად უსვამ ხის ჯოხს – რეზონატორს. ის სუფთა, ჰარმონიულ და მდიდარი ტემბრის მქონე ბგერებს გამოსცემს.

ბგერის ტონალობა იცვლება, თუ რეზონატორის სიჩქარეს, დახრის კუთხეს ან იმ ძალას შეცვლი, რომლითაც ფიალის კედელს აწვები. პროფესიონალები რამდენიმე სხვადასხვა ზომის ფიალის გამოყენებით რთულ მუსიკალურ კომპოზიციებსაც ქმნიან. **მოუსმინე** ტიბეტური ფიალების პოლიფონიურ „სიმღერას“:
http://bitly.ws/zyN9

ტიბეტელი ბერები „მომღერალ“ ფიალებს მედიტაციის დროს იყენებდნენ. თანამედროვე სამყაროც კარგად იცნობს ფიალების არა მარტო ჯადოსნურ ჟღერადობას, არამედ სამკურნალო ეფექტსაც.

მოზრდილი ადამიანის ორგანიზმში საშუალოდ 60% წყალია – წყალი, რომელიც ძალიან მგრძნობიარეა გარემოში მიმდინარე ნებისმიერი რხევისა და, მათ შორის, ბგერების მიმართაც. ბგერები ადამიანის ორგანიზმში არა მარტო სმენით შეგრძნებას იწვევს, არამედ უჯრედულ დონეზეც მოქმედებს. ბგერები რეზონირებს წყლის მოლეკულებთან,

Don't copy

უჯრედულ მემბრანებთან, შინაგან ორგანოებთან. აღმოჩნდა, რომ ტიბეტური ფიალების ბგერებს რელაქსაციის უნარი აქვს: ადამიანის განწყობაზე დადებითად აისახება, სიმშვიდის განცდას ბადებს მასში და გამაჯანსაღებელი თერაპიული ეფექტი აქვს.

თუ ფიალაში წყალს ჩაასხამ, ფიალის ჟღერადობა იცვლება. ფიალაზე ჯოხის გარკვეული სიჩქარით ხახუნისას მასში ჩასხმული წყალი გაშხეფდება (სურ. 2).

დავალება 1. გაარკვიე:

ა) რატომ გამოსცემს ტიბეტური ფიალა ბგერას;

ბ) რა არის სუფთა მუსიკალური ტონი? ობერტონი? ტემბრი?

გ) რატომაა დამოკიდებული ბგერების ტემბრი ფიალების ფორმაზე, მოცულობასა და შენადნობზე, რომლისგანაც ამზადებენ;

დ) რატომ რეზონირებს ბგერა ცოცხალი ორგანიზმის უჯრედთან, შინაგან ორგანოებთან და რა შედეგი მოჰყვება ე.წ. აკუსტიკურ რეზონანსს;

ე) რატომ გაშხეფდება წყალი ფიალაზე ჯოხის ხახუნისას მხოლოდ მაშინ, როცა ჯოხის მოძრაობის სიჩქარე გარკვეულ ნიშნულს აღწევს.

„მომღერალი“ ჭიქები, ანუ წყლის „ქსილოფონი“

„მღერის“ თიხის ქოთანი, ლითონის ფიალა და „მღერის“ ჩვეულებრივი ჭიქაც. **ნახე ვიდეო:** http://bitly.ws/zyNr

დავალება 2.

I. ჩაატარე ცდა და „აამღერე“ ჭიქა.



სურ. 3

დაგჭირდება: სხვადასხვა ფორმის მინის გლუვი, თხელკედლიანი ჭიქები.

გლუვ და თხელკედლიან მინის ჭიქაში ჩაასხი ცოტაოდენი წყალი. დაისველე თითი წყალში და ჭიქის კიდეზე თანაბრად, წრიულად ამოძრავე (სურ.3). ცოტა ხანში „სიმღერასაც“ გაიგებ.

ჩაატარე კვლევა:

1. აიღე განსხვავებული ფორმის ჭიქები, ჩაასხი მათში წყალი და სცადე მათი ამღერება. როგორი ფორმის ჭიქა „მღერის“ უკეთ?

2. როდის „მღერის“ უკეთ ჭიქა, როცა მასში ცივ წყალს ჩაასხამ, თუ მაშინ, როცა თბილ წყალს ჩაასხამ?

3. როგორ იცვლება ბგერის ტონალობა, როცა ჭიქაში ჩასხმული წყლის რაოდენობას ზრდი? როცა ამცირებ?

II. დაამზადე წყლის „ქსილოფონი“.



სურ. 4

დაგჭირდება: 7 ცალი ერთნაირი ფუჭერი – მინის გლუვი, თხელკედლიანი „ფეხიანი“ ჭიქა, საკვებისთვის განკუთვნილი საღებავი.

1. ჩაასხი ჭიქებში **სხვადასხვა რაოდენობით** თბილი წყალი და ყველა ჭიქაში წყალი სხვადასხვა ფერით შეღებე (სურ.4);

2. მიარტყი ერთ-ერთი მათგანის კედელზე მსუბუქად ჯერ ფანქარი, შემდეგ კი – ჩანგალი (კოვზი);

დააკვირდი: როდის აქვს ბგერას უკეთესი ჟღერადობა?

3. მიარტყი მსუბუქად ყველა ჭიქის კედელზე ჩანგალი (კოვზი);

დააკვირდი: ერთნაირია თუ არა მათ მიერ გამოცემული ბგერები.

Don't copy

გაარკვიე:

ა) რატომ გამოსცემს ჭიქა ბგერას? ახსენი ბგერის წარმოქმნის მექანიზმი;

ბ) როგორ აისახება ბგერაზე ჭიქაში ჩასხმული წყლის რაოდენობა;

გ) რატომ ასხამენ ჭიქებში თბილ წყალს? რა მოხდება, თუ ცივ წყალს ჩავასხამთ?

დ) როდის გამოსცემს უკეთესად ბგერას წყლიანი ჭიქა: როცა მას ვარტყამთ ხის სხეულს თუ როცა ლითონს ვარტყამთ? რატომ? რით განსხვავდება ამ შემთხვევაში გამოცემული ბგერები ერთმანეთისგან?

ე) რით განსხვავდება ჭიქების მიერ გამოცემული ბგერები, როცა ერთნაირ ჭიქებში სხვადასხვა რაოდენობის წყალია ჩასხმული?

თუ ჭიქაში წყლის რაოდენობას შეცვლი, ჭიქა განსხვავებულ ბგერას გამოსცემს: ცვალე ჭიქებში წყლის რაოდენობა ისე, რომ ჭიქებმა ზუსტად ისეთივე ტონალობის ბგერა მოგცეს, როგორსაც ნოტები: „დო“, „რე“, „მი“, „ფა“, „სოლ“, „ლა“, „სი“...

ასე შეგიძლია დასარტყმელი მუსიკალური ინსტრუმენტი, **ქსილოფონი** (სურ.4), შექმნა და შენ მიერ შექმნილი ინსტრუმენტით რაიმე მარტივი მელოდიაც ააწყო.

წყლის „ქსილოფონის“ შესახებ დამატებითი ინფორმაცია შეგიძლია მოძებნო მისამართებზე:

http://bitly.ws/zyPg http://bitly.ws/zyPj

ნახე ვიდეო:

http://bitly.ws/zyPo http://bitly.ws/zyPp

„მომღერალი“ სათლი

ნახე ვიდეო: http://bitly.ws/zyPH

დავალება 3.

ჩაატარე ცდები. ცდებისთვის დაგჭირდება:

3 ცალი სხვადასხვა ზომის სათლი (პლასტმასის კონტეინერები);

ბამბის წვრილი ზონარი – 1მ სიგრძის;

ქაღალდის რკინის საკინძები;

ბამბის ნაჭერი, წყალი.



სურ. 5

სამუშაოს მსვლელობა:

1. გახვრიტე სათლის ძირი. ნახვრეტი უნდა იყოს იმხელა, რომ მასში ზონარს გასვლა უჭირდეს;

2. გაატარე სათლის ნახვრეტში ზონარი და გარედან მისი ერთი ბოლო რკინის საკინძზე გამოკვანძე (ისე, რომ საკინძი სათლს გარედან მოექცეს და ზონარი მის ძირზე ერთი ბოლოთი გარედან მიმაგრდეს) – ზონარი უნდა ეკიდოს სათლის შიდა სივრცეში (სურ.5);



სურ. 6

3. დაასველე ბამბის ნაჭერი;

4. დაიჭირე გადმობრუნებული სათლი ერთი ხელით (სურ.6). მეორე ხელით აიღე სველი ნაჭერი, ნაჭრიანი ხელი მჭიდროდ მოუჭირე ზონარს სათლის შიგნით, ფსკერთან ახლოს და ნაჭერი ზონრის გასწვრივ, ქვევით ჩამოასრიალე.

Don't copy

5. ჩაატარე ცდა განსხვავებული ზომის სხვადასხვა სათლზე და **დააკვირდი,** რით განსხვავდება ბგერები, რომლებიც განსხვავებული ზომის სათლის შემთხვევაში ისმის?

გაარკვიე:

ა) რატომ გამოსცემს პლასტმასის სათლი ხმას ? ახსენი ბგერის წარმოქმნის მექანიზმი;

ბ) რით განსხვავდება სხვადასხვა ზომის სათლის მიერ გამოცემული ბგერები? რა მნიშვნელობა აქვს ასეთ დროს სათლის ზომას?

გ) რატომ ასველებენ ბამბის ქსოვილს? რატომაა რეკომენდებული ბამბის და არა სხვა სახის ქსოვილი?

„მომღერალი“ ღერო

ნახე ვიდეო: http://bitly.ws/zyQI



სურ. 7

დავალება 4. „აამღერე“ ალუმინის ღერო.

ჩაატარე ცდები:

ცდა I

ცდისთვის დაგჭირდება: ცილინდრული ფორმის ალუმინის მასიური ღერო (60 – 80 სმ სიგრძისა და 0,5 – 1 სმ დიამეტრის), ხელთათმანი, კანიფოლის (ან ჟელატინის) ფხვნილი.

1. დაიჭირე ჰორიზონტალურად ალუმინის ღერო. მოჰკიდე მას ცენტრში ერთი ხელის ორი თითი;

2. ჩაიცვი მეორე ხელზე ხელთათმანი და ხელთათმანიანი თითებით კანიფოლის (ჟელატინის) ფხვნილი მოსრისე;

3. მოჰკიდე ხელთათმანიანი ხელის ორი თითი ღეროს მჭიდროდ და ცენტრიდან ბოლოსკენ თანაბრად გაასრიალე;

4. გაასრიალე რამდენჯერმე ხელთათმანიანი თითები და თითოეულ ჯერზე, გასრიალებისას, დაწოლის ძალა თანდათან გაზარდე. გაიმეორე მანამ, სანამ ღერო მუსიკალურ ბგერას არ გამოსცემს.



სურ. 8

შეაფასე: როგორია ბგერის სიხშირე (ტონალობა), ხანგრძლივობა.

ცდა II

1. გაიმეორე I ცდა, ოღონდ ამჯერად ღერო ვერტიკალურად დაიჭირე იმ წერტილით, რომელიც ღეროს ზედა ბოლოდან სიგრძის 1/4-ითაა დაშორებული;

2. კვლავ მოსრისე კანიფოლი (ჟელატინის) ხელთათმანიანი თითებით, მოჰკიდე ღეროს იმ წერტილთან ახლოს, რომლითაც გიჭირავს ის და ძლიერი დაწოლით რამდენჯერმე ჩაასრიალე მეორე ბოლოსკენ. ღერო ბგერას ამჯერადაც გამოსცემს.

შეადარე ღეროს მიერ I და II ცდაში გამოცემული ბგერები: რით განსხვავდება ისინი?

გაარკვიე:

ა) რატომ გამოსცემს ღერო ბგერას? ახსენი ბგერის წარმოქმნის მექანიზმი.

ბ) რა დანიშნულება აქვს კანიფოლის (ჟელატინის) ფხვნილს?

გ) როგორ არის დამოკიდებული ღეროს ბგერები იმ წერტილის მდებარეობაზე, რომლითაც ღერო გიჭირავს? ღეროზე თითის გასრიალების სიჩქარეზე?

Don't copy

მოისმინე განსხვავებული ბგერები, რომელსაც ღერო გამოსცემს (როცა სხვადასხვა წერტილით გიჭირავს): http://bitly.ws/ACKm

„მომღერალი“ მილი



სურ. 9

I. მოუსმინე: მუსიკალურ ინსტრუმენტად ქცეული მილების (Boomwhackers), მუსიკას:
http://bitly.ws/zNn3

ჩაატარე ცდები და დააკვირდი, როგორ გამოსცემს ბგერას ცილინდრული ფორმის მილი (გამოიყენე წყალგაყვანილობის პლასტმასის მილები).

გაარკვიე:

რატომ გამოსცემს ცილინდრული ფორმის მილი ბგერას? ახსენი ბგერის წარმოქმნის მექანიზმი.

გაეცანი თეორიას:
http://bitly.ws/zNn9
http://bitly.ws/zNmY
http://bitly.ws/zNnf
http://bitly.ws/zNnn
http://bitly.ws/zNns

II. ახსენი, როგორ გამოსცემს ზოგიერთი მუსიკალური ინტრუმენტი (მაგ., გიტარა, სალამური, დოლი) ბგერებს (რა როლს თამაშობს მათ მოქმედებაში აკუსტიკური რეზონანსი და რა ასრულებს რეზონატორის როლს);
მოიძიე საჭირო ინფორმაცია მისამართზე:
http://bitly.ws/zNnR
http://bitly.ws/zNo3

წარმოადგინე შენ მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგები და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. კვლევის ეტაპებისა და შედეგების დაწვრილებითი აღწერა;

2. მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის, რომლებსაც ბგერის წარმოქმნა ეფუძნება (მაგ., რა მიზეზით წარმოიქმნება ბგერა ამა თუ იმ გარემოში, რა იწვევს განსხვავებას ბგერებს შორის);

3. ნივთიერების რომელი სახეები გხვდება ბგერით მოვლენებში და რა დამოკიდებულებაა ბგერის წარმოქმნასა და იმ ნივთიერების თვისებებს შორის, რომელიც მონაწილეობს ბგერის წარმოქმნაში;

4. რომელი გარე/შიდა ფაქტორები განაპირობებს გარემოს ფიზიკური თვისებების ცვლილებებს ბგერით მოვლენაში;

5. ენერგიის რომელი სახეებით ხასიათდება ბგერითი ტალღა და როგორ გარდაიქმნება ენერგია ბგერით მოვლენებში რომ ბგერას ენერგია აქვს, რაც განაპირობებს ბგერითი ტალღების მიერ მუშაობის შესრულების უნარს.

Don't copy

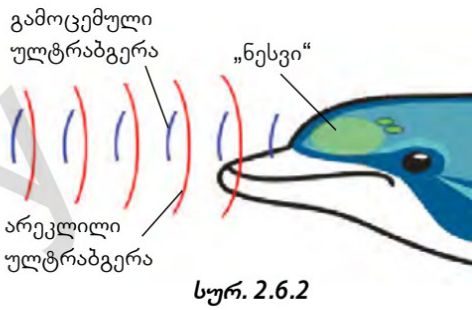
2.6 ბგერითი ტალღები



სურ. 2.6.1

დელფინებს კარგი მხედველობა აქვთ, თუმცა ღრმა წყლებში, იქ, სადაც სინათლის სხივი ვერ აღწევს, ცხადია, მხედველობა ნაკლებად გამოადგებათ.

დელფინები გარემოს, არც მეტი, არც ნაკლები – **ულტრაბგერებით „ხედავენ"!** დელფინი ულტრაბგერის ერთგვარი გენერატორია (სურ. 2.6.1). მაღალსიხშირულ ტალღებს იმ დროს გამოსცემს, როცა ცხვირიდან ჰაერის ნაკადს დიდი სიჩქარით გამოტყორცნის. ის არა მარტო გამოსცემს ულტრაბგერებს, არამედ მათი მართვაც შეუძლია.



სურ. 2.6.2

დელფინის შუბლქვეშ დიდი, ნესვის ფორმის ცხიმგროვაა, რომელიც ერთგვარი „ლინზის" როლს ასრულებს (სურ. 2.6.2). მისი დახმარებით დელფინს ულტრაბგერების ნაკადის ფოკუსირება შეუძლია: „ნესვის" ფორმის ცვლილებით ულტრაბგერების გაშლის კუთხე და გავრცელების მიმართულება იცვლება.

თუ დელფინს გარემოს ფართომასშტაბიანი დაზვერვა აქვს „გადაწყვეტილი", მაშინ შედარებით ნაკლები სიხშირის ულტრაბგერებს დიდი კუთხით გაშლის და გარემოში ისე აგზავნის. ულტრაბგერები თავის გავრცელების გზაზე ნებისმიერი „დაბრკოლებისგან" აირეკლება და დელფინს უკან უბრუნდება.

ქვედა ყბის ქვეშ დელფინს არხი აქვს. არეკლილი ულტრაბგერები ჯერ არხში, მერე კი მისი გავლით ბლანტი ზეთოვანი სითხით სავსე „რეზერვუარში" ხვდება. ულტრაბგერებს ზეთოვანი სითხე რხევით მოძრაობაში მოჰყავს, რხევები ჯერ სმენის ნერვს, შემდეგ კი, მისი დახმარებით, ტვინს გადაეცემა და დელფინი აკუსტიკურ გამოსახულებას იღებს – „დაბრკოლებას" ულტრაბგერებით ხედავს! დელფინის ტვინის ეს უბანი, რომელიც გარემოს აკუსტიკურ ვიზუალიზაციაზეა პასუხისმგებელი, 10-ჯერ უფრო დიდია, ვიდრე ადამიანის ტვინში.

მას შემდეგ, რაც დელფინი გარემოში „დაბრკოლებას" (სხვა დელფინს, საშიშროებას, საკვებს) აღმოაჩენს, „გადაწყვეტს", რომ ის ახლოდან დაკვირვებით დაათვალიეროს. „ნესვი" ულტრაბგერების გაშლის კუთხეს შეამცირებს (ულტრაბგერებს ფოკუსირებულს გახდის) და მათ სიხშირეს გაზრდის. ეს კი დელფინს საშუალებას მისცემს, დაწვრილებით გამოიკვლიოს – რა მანძილია აღმოჩენილ ობიექტამდე, რა მიმართულებითა და სიჩქარით მოძრაობს ის, რა ზომისაა (დელფინს შეუძლია გაარჩიოს გოლფის ბურთი ფეხბურთის მთელი მოედნის მასშტაბით). მეტიც, დელფინს შეუძლია განსაზღვროს, რა სახის თევზი ერგო იმ დღეს საკვებად. ულტრაბგერითი ტალღები აღწევს თევზის სხეულში და დელფინი „სკანირებას" უკეთებს თევზის საცურაო ბუშტს, რომელიც უნიკალურია ყველა სახეობის თევზისთვის (ზუსტად ისე, როგორც ექიმები ათვალიერებენ შინაგან ორგანოებს ულტრაბგერითი გამოკვლევისას).

ცოცხალი ორგანიზმის უნარს, განსაზღვროს გარემოში სხეულის ადგილმდებარეობა მისგან არეკლილი ულტრაბგერით, **ბიოექოლოკაცია** ჰქვია. ასეთი უნარი, დელფინის გარდა, აქვს ვეშაპს, ღამურას, ზოგიერთი სახის ღამის პეპელას, თხუნელას. ადამიანებში ბიოექოლოკაციის უნარი მკვეთრად გამოხატული არ არის, თუმცა, გარკვეულ პირობებში, ამ უნარის განვითარება შესაძლებელია. გაიგე მეტი დელფინის ბიოექოლოკაციაზე: http://bitly.ws/zNqC

...რა არის ბგერითი ტალღა, ულტრაბგერა – ამ პარაგრაფში გაეცნობი. ექოსა და ექოლოკაციაზე კი მომდევნო პარაგრაფში ვისაუბრებთ.

Don't copy

2.6.1. ბგერის წყარო – მერხევი სხეული

წყლის ზედაპირზე, რეზინის ზონარსა და ზამბარაში გავრცელებული ტალღის დანახვა შესაძლებელია, გამჭვირვალე გარემოში (მაგ., ჰაერში, წყალში) კი – ტალღა უხილავია. თუმცა ზოგჯერ ასეთი უხილავი ტალღები **სმენით შეგრძნებებს** იწვევს ჩვენში და მათი აღქმა სმენის ორგანოთი – **ყურით** შეგვიძლია. ასეთ შემთხვევაში **ბგერა** გვესმის. სმენითი შეგრძნებები იმ მექანიკური რხევების ზემოქმედების შედეგია, რომელიც გარემოში მიმდინარეობს. ჩაატარე ცდები და დააკვირდი, რა შემთხვევაში გესმის ბგერა.

ცდა I

ცდისთვის საჭიროა: კამერტონი (სურ. 2.6.3) – ლითონის ერთგვარი „ჩანგალი: ორი შტო („U“-ს ფორმის ღერო), რომელსაც ლითონისავე „ფეხი“ აქვს. კამერტონის ფეხი ხის ყუთზე მაგრდება (რომლის დანიშნულებასაც მოგვიანებით გავეცნობით);

1. დაირტყი კამერტონი ხელისგულზე ან დაარტყი მსუბუქად მის ერთ-ერთ შტოს პატარა ჩაქუჩი, რომელიც, როგორც წესი, კამერტონს თან ახლავს. შედეგად, **ბგერას მოისმენ**. თუ დარტყმების სიძლიერეს შეცვლი, ბგერაც შეიცვლება;

2. დაირტყი კამერტონი ხელისგულზე და:

ა) ოდნავ შეეხე ხელით მის შტოს იმ დროს, როცა კამერტონი ბგერას გამოსცემს;

ბ) ოდნავ შეახე კამერტონის შტო წყლის ზედაპირს (სურ. 2.6.4).

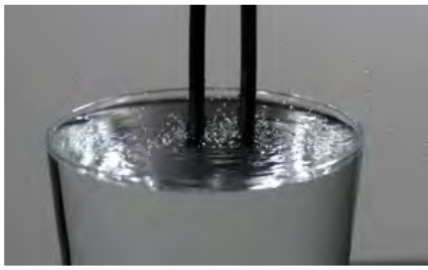


სურ. 2.6.3

დააკვირდი, როცა კამერტონი ბგერას გამოსცემს:

ა) რა შეგრძნებას იწვევს მასთან შეხება? როგორ ფიქრობ, რატომ?

ბ) რა ხდება, როცა მას წყლის ზედაპირს შეახებ? რატომ?



სურ. 2.6.4

გამოთქვი ვარაუდი: რა შემთხვევაში გამოსცემს სხეული ბგერას?

გაიგე მეტი კამერტონზე და მის დანიშნულებაზე: http://bitly.ws/zNrD

დააკვირდი წყლის გაშხეფებას: http://bitly.ws/zNrm

ცდა II

გამოჰკარი თითი გიტარის სიმს და **დააკვირდი სიმის შუა ნაწილს** (სურ. 2.6.5). თვალი მას შესქელებულად აღიქვამს. როგორ ფიქრობ, რა არის ამის მიზეზი?



სურ. 2.6.5

ცდა III

ცდისთვის საჭიროა: ლითონის (პლასტმასის, ხის) გრძელი სახაზავი.

1. სახაზავის ერთი ბოლო მაგიდის კიდეზე ჩამოდე და მასზე ხელისგულით ძლიერად დაეყრდენი ისე, რომ სახაზავი მაგიდას მჭიდროდ მიეკრას (სურ. 2.6.6).



სურ. 2.6.6

Don't copy

2. მეორე ხელი სახაზავის თავისუფალ ბოლოს მსუბუქად ჩამოჰკარი ისე, რომ სახაზავმა **რხევა** დაიწყოს. **დააკვირდი:** გესმის თუ არა ბგერა?

3. დაამოკლე თანდათან სახაზავის თავისუფალი ბოლოს სიგრძე და ყოველ ჯერზე ხელი ჩამოჰკარი.

დააკვირდი: რხევისას სახაზავი ყოველთვის გამოსცემს თუ არა ბგერას? როდის გესმის ბგერა?

ადამიანი ბგერების სამყაროში ცხოვრობს. შენ უამრავი ბგერა გესმის: ადამიანების, მუსიკალური ინსტრუმენტებისა და სხვადასხვა მანქანა-დანადგარების ხმები, ჩიტების ჭიკჭიკი, ქარიან ამინდში ტყისა და ზღვის ტალღების ხმაური, ჭექა-ქუხილის ხმა ელვისას, ნაკადულის ჩუხჩუხი, ფოთლების შრიალი და ა.შ. თითქმის ყოველთვის შეგიძლია, მიხვდე კიდეც, თუ რა გამოსცემს ამა თუ იმ ბგერას, ანუ რა არის **ბგერის წყარო.** ნებისმიერ შემთხვევაში **ბგერის წყარო მერხევი სხეულია** (შეიძლება ირხეოდეს, როგორც მყარი სხეული, ისე თხევადი და აირადი გარემო).

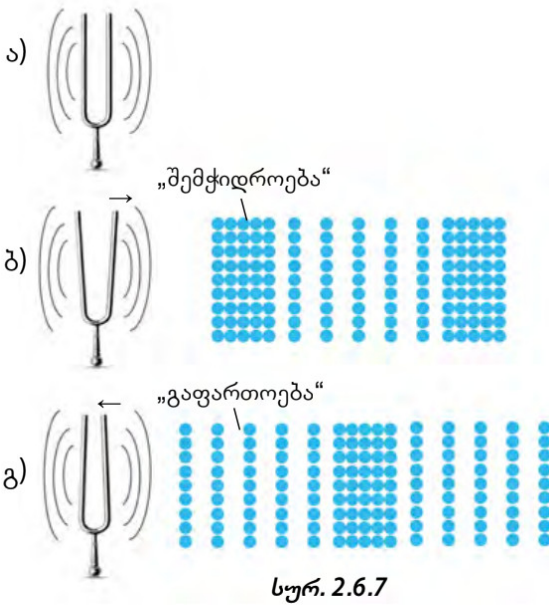
ფიზიკის დარგს, რომელიც ბგერით მოვლენებს შეისწავლის, **აკუსტიკა** ჰქვია („*akoustikos*“ ბერძნულად ნიშნავს „ყურს, რომელიც ისმენს“).

2.6.2. როგორ წარმოიქმნება ბგერა

ბგერის წყარო მერხევი სხეულია (მაგ., მერხევი კამერტონი, გიტარის სიმი, სახაზავი და ა.შ.), მაგრამ როგორ წარმოიქმნება ბგერა? თუ კამერტონს ჩაქუჩს დაარტყამ, მისი შტოები რხევას დაიწყებს (სურ. 2.6.7, ა). სიმარტივისთვის, განვიხილოთ კამერტონის მხოლოდ ერთი შტოს რხევა: რხევისას პერიოდის პირველ მეოთხედში შტო ერთი მიმართულებით გადაადგილდება, მეორე მეოთხედში კი – საწინააღმდეგო მიმართულებით.

პერიოდის პირველ მეოთხედში კამერტონის შტო ჰაერის ნაწილაკებს იმ მიმართულებით უბიძგებს, რა მიმართულებითაც თავად გადაიხრება წონასწორობის მდებარეობიდან (სურ. 2.6.7, ბ). ამის გამო იმ ადგილზე, რომელიც მერხევ შტოს უშუალოდ ეკვრის, ჰაერის ნაწილაკები **შემჭიდროვდება** და **ჰაერის შეკუმშული უბანი** (შესქელება, შემჭიდროება) წარმოიქმნება, რომელშიც ჰაერის წნევა მეტია, ვიდრე ატმოსფერული წნევა.

პერიოდის მეორე მეოთხედში შტო საწინააღმდეგო მიმართულებით ამოძრავდება (სურ. 2.6.7, გ). შტოსთან მიმდებარე შეკუმშული უბანი **გაფართოვდება**, ნაწილაკებს შორის მანძილი გაიზრდება, ნაწილაკები მოცემულ უბანზე გაიშვიათდება. წარმოიქმნება ჰაერის **გაფართოებული უბანი** (შეთხელება), რომელშიც წნევა ნაკლებია, ვიდრე ატმოსფერული.



სურ. 2.6.7

ჰაერის ცალკეული უბნების პერიოდული შეკუმშვა და გაფართოება (წნევის ცვლილება, რხევა) გარემოში ყველა მიმართულებით სხვა უბნებსაც თანდათან გადაეცემა და **ჰაერში გრძივი ტალღა გავრცელდება** (ჰაერის ნაწილაკები ტალღის გავრცელების მიმართულების გასწვრივ ირხევა). გარკვეული დროის შემდეგ, როდესაც დრეკადი ტალღა ადამიანის ყურამდე მიაღწევს, ყურში დაფის აპკი იძულებით რხევას იწყებს და სმენით შეგრძნებას იწვევს – **ადამიანს ბგერა ესმის.**

ნახე ვიდეოზე, როგორ იწვევს გარემოში გავრცელებული მექანიკური ტალღა სმენით შეგრძნებას: http://bitly.ws/zNvk

Don't copy

2.6.3 ბგერითი ტალღა – მექანიკური დრეკადი ტალღაა

მექანიკურ ტალღებს, რომლებიც სმენით შეგრძნებას იწვევს, **ბგერითი ტალღა** ან უბრალოდ, **ბგერა** ჰქვია. **ბგერითი ტალღა მექანიკური დრეკადი ტალღაა**, რომლის გავრცელებისთვის აუცილებელი პირობაა, რომ ბგერის წყაროსა და მიმღებს (ყურს) შორის არსებობდეს **დრეკადი გარემო**, რომლის შემადგენელი ნაწილაკები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებს.

ბგერა, ისევე როგორც ყველა მექანიკური გრძივი ტალღა, ვრცელდება დრეკადი გარემოს ცალკეული უბნების პერიოდული შეკუმშვა-გაფართოების სახით **როგორც აირად, ისე თხევად გარემოში**. მყარ სხეულში (რომელიც ეწინააღმდეგება როგორც მოცულობის, ასევე ფორმის ცვლილებასაც) შეიძლება გავრცელდეს როგორც გრძივი, ასევე განივი ბგერითი ტალღაც, რომელიც მყარი გარემოს ფენების ერთმანეთის მიმართ წანაცვლების, ძვრის დეფორმაციის შედეგად აღიძვრება. გარდა გრძივისა და განივისა, მყარ სხეულში შესაძლოა, ბგერა ზედაპირული ტალღის სახითაც გავრცელდეს. წყლის ზედაპირზე გავრცელებული ზედაპირული ტალღისგან განსხვავებით, რომელშიც წყლის ნაწილაკებს წონასწორობის მდგომარეობაში სიმძიმის ძალა აბრუნებს, მყარ სხეულში ამ ძალის როლში ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების შედეგად აღძრული დრეკადობის ძალები გვევლინება.



სურ. 2.6.8

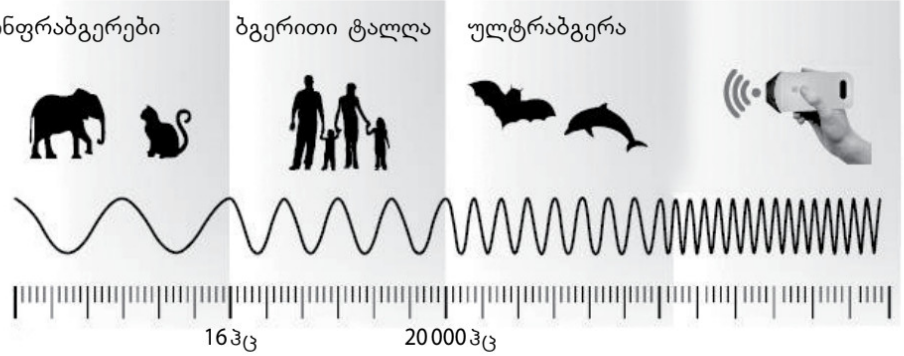
ვაკუუმში (იქ, სადაც ნივთიერება არ არის ან ძალიან გაიშვიათებულია) **ბგერა არ ვრცელდება**: თუ მინის ზარხუფის ქვეშ ბგერის წყაროს (მაგ., ჩართულ ელექტროზარს, მაღვიძარას) მოათავსებ და ზარხუფიდან ჰაერს ამოტუმბავ, ზარის ხმა თანდათან შესუსტდება, ბოლოს კი შეწყდება (სურ. 2.6.8).

2.6.4 ბგერითი სიხშირეები

გაიხსენე III ცდის შედეგი: სახაზავის რხევისას ბგერა მაშინ ისმის, როცა სახაზავის თავისუფალ ბოლოს საკმაოდ დაამოკლებ, რაც მისი რხევის სიხშირის გაზრდას იწვევს.

ბგერის წყარო მერხევი სხეულია, მაგრამ – არა ყოველთვის. **სმენით შეგრძნებას მხოლოდ ის ტალღები იწვევს, რომელთა წყარო 16 ჰც-იდან 20 000 ჰც-მდე სიხშირით ირხევა. გაიხსენე:** ზამბარიანი და მათემატიკური ქანქარას რხევისას ბგერა არ ისმის, თუმცა მათი რხევისას გარემოში ტალღა (გარემოს ცალკეული უბნების შეკუმშვა-გაფართოება) ვრცელდება.

16 ჰც-იდან 20 000 ჰც-მდე დიაპაზონში მოქცეულ სიხშირეებს **ბგერითი (აკუსტიკური) სიხშირეები ჰქვია** (სურ. 2.6.9). **ბგერის წყარო შეიძლება იყოს ნებისმიერი მერხევი სხეული** (მყარი, თხევადი, აირადი), **თუ ის ბგერითი სიხშირით ირხევა.** ასეთ შემთხვევაში გარემოში მისგან ყველა მიმართულებით ბგერითი ტალღები ვრცელდება – ტალღები, რომლებიც სმენით შეგრძნებას იწვევს.



სურ. 2.6.9

Don't copy

ტალღებს, რომელთა სიხშირე 20 000 ჰც-ს აღემატება, **ულტრაბგერები** ჰქვია, ხოლო 16 ჰც-ზე ნაკლები სიხშირის ტალღებს – **ინფრაბგერები** (გაითვალისწინე: ტალღების სიხშირე მათი წყაროს რხევის სიხშირის ტოლია). ულტრა- და ინფრაბგერებს ადამიანის ყური ვერ აღიქვამს, თუმცა ზოგიერთ ცხოველს ასეთი ბგერები „ესმის“.

მაგ., მედუზები, სპილო, კატები – ისეთი **ინფრაბგერებს** აღიქვამენ, რომელთა სიხშირე 8-იდან 13 ჰც-მდეა. ინფრაბგერები შტორმის მოახლოებისას ჰაერის ნაკადის ტალღებთან შეხებისას წარმოიქმნება და მედუზებს დიდი ხნით ადრე ამცნობენ შტორმის მოახლოებას.

ინფრაბგერები შეიძლება წარმოიქმნას ასევე ჭექა-ქუხილისას, აფეთქებისას, ვულკანის ამოფრქვევისას, მიწისძვრის დროს და ა. შ. ინფრაბგერები ძალიან დიდ მანძილზე ვრცელდება და ამიტომ მათი საშუალებით შესაძლებელია, განისაზღვროს მიწისქვეშა აფეთქებებისა და იარაღიდან გასროლის ადგილი, ცუნამის მოახლოება და ა. შ.

დელფინს, ღამურას, ზვიგენის გარკვეულ სახეობას შეუძლია გამოსცეს და მიიღოს-კიდეც **ულტრაბგერები**. დადგენილია, რომ 25 კჰც-ზე მაღალი სიხშირის ულტრაბგერები მტკივნეულ შეგრძნებას იწვევს თოლიებში, ამიტომ ულტრაბგერებს მათ დასაფრთხობად იყენებენ.

თუ ბგერითი ტალღის სიხშირე (ν) და გარემოში ბგერის გავრცელების სიჩქარე (v) გვეცოდინება, შევძლებთ, გამოვთვალოთ **ბგერითი ტალღის სიგრძე (λ)** (გაიხსენე 2.5.2 ფორმულა):

$$\lambda = \frac{v}{\nu} \qquad (2.6.1)$$

2.6.5 ბგერის სიჩქარე სხვადასხვა გარემოში

ბგერითი ტალღის გავრცელების სიჩქარე (იგივე, **ბგერის სიჩქარე**) ჩვეულებრივ, თავად ტალღის მახასიათებლებზე (სიხშირეზე, ამპლიტუდაზე) დამოკიდებული არ არის. **ბგერის სიჩქარე დამოკიდებულია იმ გარემოს მახასიათებლებზე, რომელშიც ის ვრცელდება.** ტალღის გავრცელებისას გარემოს ერთი ნაწილაკიდან მეორეზე ენერგიის გადაცემის სიჩქარე ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების ხასიათზეა დამოკიდებული: რაც უფრო ახლოსაა გარემოს ნაწილაკები ერთმანეთთან, მით უფრო სწრაფად გავრცელდება გარემოში ტალღა.

ბგერის სიჩქარე აირში

ბგერის წყარო შეიძლება იყოს არა მარტო მერხევი მყარი სხეული, არამედ ზოგიერთი ისეთი მოვლენაც (მაგ., აფეთქება, ტყვიის მოძრაობა, ქარის ქროლა, ხის დაცემა და ა. შ.), რომლებიც გარემომცველი ჰაერის სწრაფ შეკუმშვა-გაფართოებას, ანუ წნევის ცვლილებას, რხევას, იწვევს. ასეთი მოვლენის ყველაზე თვალსაჩინო მაგალითია **ჭექა-ქუხილი.** ელვის არხში ტემპერატურა 30 000°C-ს აღწევს, რის შედეგადაც მასში წნევა მკვეთრად იზრდება და ჰაერის სწრაფად გაფართოებას იწვევს. ეს კი, თავის მხრივ, ბგერით ტალღას წარმოქმნის. **გაელვებისას ჯერ სინათლეს ხედავ, შემდეგ კი ხმა გესმის, რაც იმითაა გამოწვეული, რომ რომ ბგერის გავრცელების სიჩქარე ჰაერში გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე სინათლის.**

1646 წელს ფრანგმა მეცნიერმა **მარენ მერსენმა** პირველად გაზომა ბგერის სიჩქარე ჰაერში. ის დიდი ხნის განმავლობაში აკვირდებოდა სხვადასხვა მოვლენას და შეამჩნია, რომ ზოგიერთ მათგანს ჯერ ხედავდა, მათთვის დამახასიათებელი ხმა კი მოგვიანებით აღწევდა მის ყურამდე. მაგ., მან ჯერ დაინახა, როგორ გაისროლეს საკმაოდ დიდი მანძილით დაშორებული ქვემეხიდან ჭურვი, გასროლის ხმა კი დაგვიანებით, მხოლოდ გარკვეული დროის შემდეგ გაიგონა. მერსენს მხოლოდ ქვემეხამდე მანძილისა (ℓ) და დაგვიანების დროის (Δt) გაზომვა დასჭირდა და ჰაერში ბგერის სიჩქარე მარტივად განსაზღვრა ($v = \ell / \Delta t$): მისი გამოთვლებით, ბგერის სიჩქარე ჰაერში 448 მ/წმ-ს აღწევდა.

Don't copy

აღმოჩნდა, რომ მერსენის მიერ გამოთვლილი ბგერის სიჩქარე ნიუტონის თეორიულ გამოთვლებს არ ემთხვეოდა და მოგვიანებით სხვა ექსპერიმენტებიც ჩატარდა, რათა ბგერის სიჩქარე დაეზუსტებინათ. ექსპერიმენტების შედეგად დაადგინეს:

ა) **ბგერის სიჩქარე დამოკიდებულია ჰაერის ტემპერატურაზე:** ჰაერის ტემპერატურის მომატებისას ბგერის სიჩქარე იზრდება, ხოლო კლებისას – მცირდება;

ბ) მშრალ ჰაერში, **0°C-ზე ბგერის სიჩქარეა 331,3 მ/წმ, 20°C- ზე კი – 343 მ/წმ**.

გ) **ბგერის სიჩქარე აირის სიმკვრივეზე დამოკიდებული არ არის, მაგრამ დამოკიდებულია აირის მოლეკულების მასაზე:** რაც უფრო მეტია მოლეკულების მასა, მით ნაკლებია აირში ბგერის გავრცელების სიჩქარე: მაგ., 0°C-ზე ბგერის სიჩქარე წყალბადში 1284 მ/წმ-ია, ხოლო ნახშირორჟანგში – 259 მ/წმ.

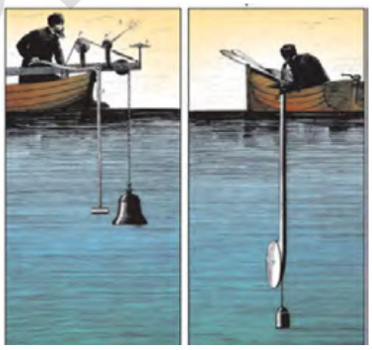
სიმაღლის ზრდასთან ერთად იცვლება ატმოსფეროს ტემპერატურა და, შესაბამისად, იცვლება ბგერის სიჩქარეც (იხ. ცხრილი 2.6.1).

ცხრილი 2.6.1

სიმაღლე	ტემპერატურა	ბგერის სიჩქარე, მ/წმ
ზღვის დონე	15 °C	340
11 000-დან 20 000 მ-მდე	–57 °C	295
29000 მ	–48 °C	301

ბგერის სიჩქარე სითხეში

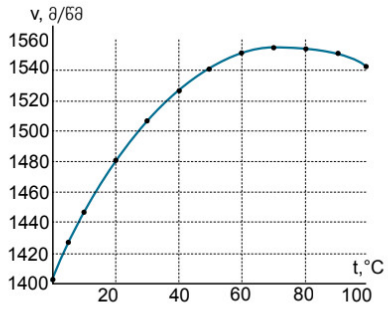
ბგერის სიჩქარე წყალში 1826 წელს ამპერის მოსწავლემ, **ჟან დანიელ კოლადონმა** და მისმა კოლეგამ, **შარლ ფრანსუა შტურმმა** გაზომეს. ცდებს ისინი ჟენევის ტბაზე ატარებდნენ: ერთ ნავზე ცეცხლს ანთებდნენ და იმავდროულად, წყალში ჩაშვებულ ლითონის ზარს ჩაქუჩს ურტყამდნენ. მეორე ნავზე კი, რომელიც პირველისგან 14 კმ-ით იყო დაშორებული, ზარის ხმას წყალქვეშ ხმის გამაძლიერებლით იჭერდნენ (სურ. 2.6.10).



სურ. 2.6.10

ზარის ხმა მეორე ნავზე, წყლის გავლით, სინათლის დანახვის შემდეგ, გარკვეული დაგვიანებით მიდიოდა. მეცნიერები ზომავდნენ დაგვიანების დროს და ითვლიდნენ სიჩქარეს: 8°C-ზე ბგერის სიჩქარე წყალში, დაახლოებით, 1435 მ/წმ აღმოჩნდა.

წყალში ტემპერატურის მომატებისას ბგერის სიჩქარე მატულობს და თავის მაქსიმუმს 74°C-ზე აღწევს. ტემპერატურის შემდგომი ზრდისას კი ბგერის სიჩქარე მცირდება (სურ. 2.6.11).



სურ. 2.6.11

აირისგან განსხვავებით, ბგერის სიჩქარე სითხეში (და მყარ სხეულშიც) გარემოს სიმკვრივეზეა დამოკიდებული: რაც უფრო მეტია გარემოს სიმკვრივე, მით უფრო მეტია ბგერის სიჩქარე.

ბგერის სიჩქარე მყარ სხეულში

ბგერის სიჩქარე მყარ სხეულში ბევრად მეტია, ვიდრე წყალსა და აირში. ამასთან, მყარ სხეულში შეიძლება გავრცელდეს როგორც გრძივი, ასევე – განივი ბგერითი ტალღაც. ამ ტალღების სიჩქარე განსხვავებულია, მაგ., ფოლადში განივი ტალღა ვრცელდება 3300 მ/წმ სიჩქარით, ხოლო გრძივი – 6100 მ/წმ სიჩქარით.

ბგერის კარგი გამტარობით ხასიათდება ნიადაგი. სწორედ ამიტომ ძველ დროში ალყა-შემორტყმულ ციხესიმაგრეში ყოველთვის ჰყავდათ „მიმყურადებლები“, რომლებიც

Don't copy

მუდმივად მიწისქვეშა სარდაფებში იმყოფებოდნენ და მიწაზე ყურის დადებით იგებდნენ, თხრიდა თუ არა მტერი ციხესიმაგრის მახლობლად გვირაბს, ან უახლოვდებოდა თუ არა მათ მტრის ცხენოსანი ჯარი.

დააკვირდი 2.6.1 ფორმულას: $\lambda = \frac{v}{\nu}$. **ერთგვაროვან გარემოში (მაგ., ჰაერში) ბგერითი ტალღის სიჩქარე მოცემულ პირობებში მუდმივია,** რაც იმას ნიშნავს, რომ **ტალღის სიგრძე (λ) დამოკიდებულია სიხშირეზე: რაც მეტია სიხშირე ტალღაში, მით ნაკლებია მისი ტალღის სიგრძე (და – პირიქით).** ულტრაბგერების ტალღის სიგრძე ნაკლებია, ვიდრე ბგერითი და ინფრაბგერითი ტალღების სიგრძეები (სურ. 2.6.9).

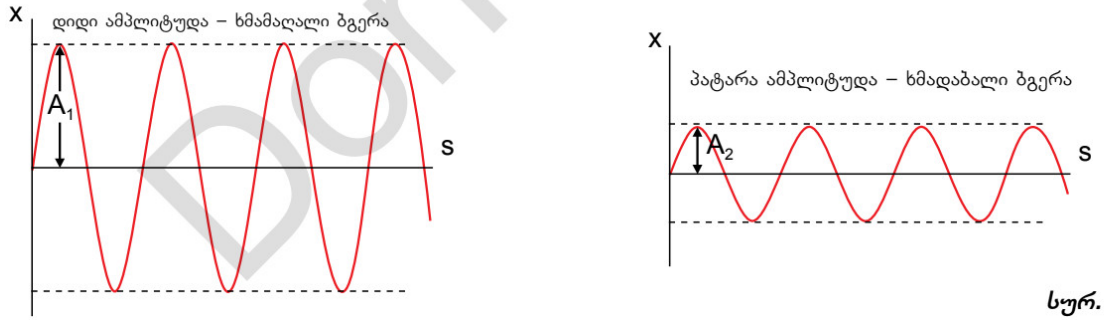
2.6.6. ბგერის ხმამაღლობა და სიმაღლე

ბგერები, რომლებიც ყოველდღიურად გვესმის, მრავალფეროვანია: ზოგი ხმამაღალია, ზოგი ხმადაბალი, ზოგი წვრილია და ზოგიც ბოხი. **ამპლიტუდა და სიხშირე ბგერითი ტალღის ფიზიკური მახასიათებლებია**, რომლებიც, თავის მხრივ, **ბგერის ფიზიოლოგიურ მახასიათებლებს განსაზღვრავს**. ბგერის ფიზიოლოგიური მახასიათებლები ჩვენ მიერ ბგერის სუბიექტურ აღქმასთანაა დაკავშირებული. ასეთი **ფიზიოლოგიური მახასიათებლებია: ბგერის სიმაღლე და ხმამაღლობა.**

ბგერის ხმამაღლობა

რაც უფრო მეტი ძალით დაარტყამ ჩაქუჩს კამერტონის შტოს ან რაც უფრო ძლიერად გამოჰკრავ გიტარის სიმს თითს, მით უფრო **ხმამაღალია** წარმოქმნილი ბგერა.

შენ იცი, რომ რაც უფრო ძლიერად ურტყამ კამერტონის შტოს ჩაქუჩს, **მით მეტი ამპლიტუდით** დაიწყებს ის რხევას და **მით მეტია ბგერით ტალღაში რხევის ამპლიტუდა**. ასე რომ, **ბგერის ხმამაღლობა ბგერის წყაროს რხევის ამპლიტუდაზე** და, შესაბამისად, **რხევის ენერგიაზეა დამოკიდებული** (სურ. 2.6.12). კამერტონის რხევის მილევასთან ერთად, ამპლიტუდა და რხევის ენერგია მცირდება. შესაბამისად, მცირდება ბგერის ხმამაღლობაც.



სურ. 2.6.12

დამოკიდებულება ბგერის ხმამაღლობასა და რხევის ენერგიას შორის პროპორციული არ არის, ის გაცილებით რთულია და ადამიანის სმენის ორგანოს – ყურის თავისებურებასთანაა დაკავშირებული. აღმოჩნდა, რომ თვითმფრინავის ძრავის მიერ გამოცემული ბგერის ენერგია, დაახლოებით, 10^{12}-ჯერ აღემატება ჩურჩულის ბგერის ენერგიას. თუმცა ძრავას შემთხვევაში ბგერის ხმამაღლობა მხოლოდ 12-ჯერ მეტია ჩურჩულის ხმამაღლობაზე. **ხმამაღლობის საზომ ერთეულს დეციბელი ჰქვია**.

ადამიანის ყურის მიერ ბგერის ხმამაღლობის აღქმა დამოკიდებულია ბგერით ტალღაში რხევის სიხშირეზეც. ერთნაირი ამპლიტუდის შემთხვევაში ადამიანი უკეთ აღიქვამს იმ ბგერებს, რომელთა სიხშირე 1000-დან 5000 ჰერცამდე დიაპაზონშია.

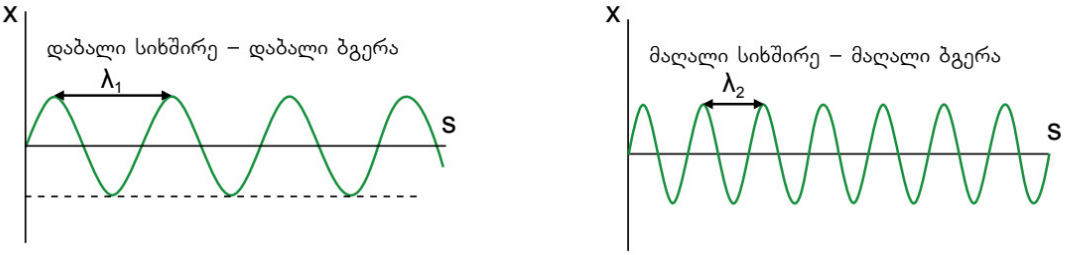
თუ ბგერის სიხშირე აკუსტიკური სიხშირეების საზღვრებთან (16 და 20 000 ჰც-თან) ახლოსაა, მაშინ სმენითი შეგრძნება ქვეითდება – ადამიანის ყური ბგერებს ვეღარ

Don't copy

აღიქვამს, მიუხედავად მათი ხმამაღლობისა (მიუხედავად იმისა, რომ ბგერას შეიძლება მნიშვნელოვანი რხევის ენერგია ჰქონდეს).

ბგერის სიმაღლე

რაც უფრო მეტია რხევის სიხშირე ბგერით ტალღაში, მით უფრო მაღალია ბგერა. რხევის პატარა სიხშირეებს დაბალი ბგერები შეესაბამება (სურ. 2.6.13).



სურ. 2.6.13

დაბალი ბგერები უფრო „ბოხია“, მაღალი კი – უფრო „წვრილი“: მაგ., ხოჭო ფრენისას ფრთებს წამში 220-ჯერ არხევს, კოღო კი – 500-600-ჯერ. სწორედ ამიტომ ხოჭოს ფრენას შედარებით დაბალი ბგერები სდევს თან – ის ბზუის. კოღოს ფრენისთვის კი მაღალი ბგერებია დამახასიათებელი – კოღო წუის.

ჩვეულებრივი საუბრისას ადამიანის **დაბალ ბგერებში** სიხშირე 100-იდან 7000 ჰც-მდე აღწევს, ხოლო **მაღალ ბგერებში** – 200-იდან 9000 ჰც-მდე.

ბგერით ტალღას, რომელსაც განსაზღვრული სიხშირე აქვს, **მუსიკალური ტონი** (ან უბრალოდ, **ტონი**) ჰქვია. სწორედ ამიტომ, **ბგერის სიმაღლე ტონის სიმაღლით განისაზღვრება**. დაბალი (მაღალი) ბგერები იგივეა, რაც დაბალი (მაღალი) ტონის (ტონალობის) ბგერები.

2.6.7. მუსიკალური ბგერა და ხმაური

სმენითი შეგრძნებები, რომელსაც სხვადასხვა ბგერა იწვევს, განსხვავებულია. ზოგიერთი ბგერა ადამიანს სიამოვნებას, სიმშვიდის განცდას ანიჭებს, ზოგი კი უსიამოვნო შეგრძნებასა და გაღიზიანებს იწვევს მასში. ფიზიკის თვალსაზრისითა და ადამიანის მიერ ბგერების ფსიქოემოციული აღქმის მიხედვით განარჩევენ **მუსიკალურ ბგერებსა** და **ხმაურს.**

მუსიკალური ინსტრუმენტები და ადამიანი, რომელიც მღერის, გამოსცემს **მუსიკალურ ბგერებს.** აფეთქება, სხვადასხვა სხეულების დავარდნა, ტრანსპორტის მოძრაობა კი **ხმაურს** ქმნის. რა განსხვავებაა მათ შორის?

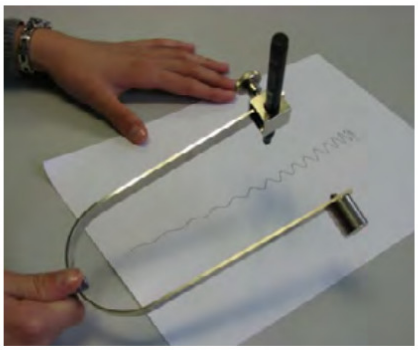
მუსიკალური ბგერა

ცდა IV

1. დაამაგრე კამერტონის შტოზე ნემსი (გრაფიტის წვრილი ღერო);

2. დაირტყი კამერტონი ხელისგულზე;

3. ნემსის (გრაფიტის) წვერი მინის გამჭვარტლულ ფირფიტას (ფურცელს) ოდნავ შეახე და მერხევი კამერტონი მასზე სწრაფად, თანაბრად გადაატარე (სურ. 2.6.14).



სურ. 2.6.14

დააკვირდი: ფირფიტაზე (ფურცელზე) სინუსოიდას მსგავსი მრუდი აღიბეჭდება. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **კამერტონის რხევა ძალიან ახლოსაა ჰარმონიულთან.**

Don't copy

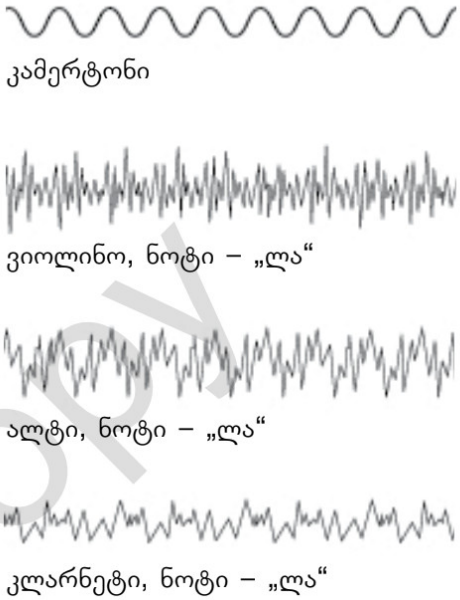
ჰარმონიულად მერხევი სხეულები მუსიკალურ ბგერებს გამოსცემს.

კამერტონი გამოსცემს მუსიკალურ ბგერას, რომელსაც ერთი განსაზღვრული სიხშირე აქვს, ანუ **კამერტონი გამოსცემს სუფთა მუსიკალურ ტონს.**

მუსიკალური ბგერა კი სხვადასხვა სიხშირის ჰარმონიულ რხევებს, სხვადასხვა მუსიკალურ ტონებს მოიცავს. მაგ., თუ კამერტონი სუფთა მუსიკალურ ტონს გამოსცემს (კამერტონის რხევა მარტივი სინუსოიდით აღიწერება), მუსიკალური ინსტრუმენტების ბგერებში სხვადასხვა სიხშირე, მუსიკალური ტონები გამოიყოფა (სურ. 2.6.15). **მუსიკალური ტონები ერთმანეთისგან ხმამაღლობითა და ტონის სიმაღლით განსხვავდება.**

მუსიკალურ ბგერაში შემავალი ტონებიდან ყველაზე დაბალი სიხშირის ტონს **ძირითადი ტონი ჰქვია**, უფრო მაღალი სიხშირის ტონებს კი **– ობერტონები**.

ერთი და იმავე ძირითადი ტონის შემთხვევაში ბგერა **ტემბრით** განსხვავდება და ამ განსხვავებას სხვადასხვა ობერტონი ქმნის. მაგ., სხვადასხვა მუსიკალურ ინსტრუმენტზე (ვიოლონოზე, ალტზე, ფორტეპიანოზე) ერთი და იმავე ოქტავის ნოტი „ლა“, განსხვავებულად ჟღერს – მისი **ტემბრი განსხვავებულია** და ეს **ობერტონების დამსახურებაა** (დააკვირდი 2.6.15 სურათს: ერთი და იმავე ნოტის ბგერის რხევის ჩანაწერი ობერტონებითაა განსხვავებული). სწორედ ტემბრის მიხედვით ვცნობთ ნაცნობი ადამიანის ხმას იმ უამრავ ხმას შორის, რომლებიც შეიძლება ერთი ტონალობისა და ერთნაირი ხმამაღლობის იყოს.



სურ. 2.6.15

ხმაური

ხმაურს, მუსიკალური ბგერისგან განსხვავებით, რხევის ერთი განსაზღვრული სიხშირე (ტონის სიმაღლე) არ შეესაბამება. ხმაური სხვადასხვა ხმამაღლობისა და სიხშირის არაპერიოდული რხევების ერთობლიობაა. ფიზიოლოგიური თვალსაზრისით, ხმაური, ნებისმიერი არასასიამოვნო ბგერაა (ის შეიძლება მუსიკალურიც იყოს). თავდაპირველად, სიტყვა „ხმაური“ მხოლოდ ბგერით ტალღებთან დაკავშირებით გამოიყენებოდა, დღეს კი ხმაურს ნებისმიერ არასასურველ რხევას უწოდებენ.

Don't copy

2.7 ტალღური მოვლენები



სურ. 2.7.1

ულტრაბგერითი ვიზუალიზაცია (სონოგრაფია) სწორედ ისაა, რითაც დელფინი (ღამურა, ვეშაპი) ბუნებამ დააჯილდოვა: ისინი ულტრაბგერებით არა მარტო ხედავენ, არამედ სკანირებაც შეუძლიათ სწორედ ისე, როგორც ექიმი ათვალიერებს პაციენტის შინაგან ორგანოებს ულტრაბგერითი გამოკვლევისას.

ულტრაბგერითი გამოკვლევა ცოცხალი ორგანიზმის (ადამიანის, ცხოველის) შინაგანი ორგანოებისა და ქსოვილების კვლევის სამედიცინო მეთოდია, რომელიც დაბრკოლებიდან ულტრაბგერის არეკვლის მოვლენას ეფუძნება.

ულტრაბგერების გენერატორი (**სკანერი**), რომელიც იმავდროულად **დეტექტორიცაა** (დაბრკოლებიდან არეკლილ ულტრაბგერებს აფიქსირებს), წამში 1000 ულტრაბგერით ტალღას წარმოქმნის და სამიზნისკენ მიმართავს.

ულტრაბგერა ცოცხალი ორგანიზმის ქსოვილში პერიოდულად შეკუმშვა-გაფართოების სახით ვრცელდება და მისი გავრცელების სიჩქარე ქსოვილის დრეკად თვისებებზეა (სიმკვრივეზეა) დამოკიდებული.

ნებისმიერი გარემო და, მათ შორის, ცოცხალი ორგანიზმის ქსოვილი, ულტრაბგერის გავრცელებას ეწინააღმდეგება, ანუ მას გარკვეული **აკუსტიკური წინაღობა** აქვს, რომლის სიდიდე ქსოვილის სიმკვრივესა და ულტრაბგერის სიჩქარეზეა დამოკიდებული: რაც უფრო მეტია ეს პარამეტრები, მით უფრო მეტია გარემოს (ქსოვილის) აკუსტიკური წინაღობა, რომელსაც **აკუსტიკურ იმპედანსსაც** უწოდებენ.

ულტრაბგერები ერთგვაროვან გარემოში მუდმივი სიჩქარით ვრცელდება, მაგრამ ორი სხვადასხვა აკუსტიკური წინაღობის მქონე **გარემოს გამყოფ საზღვარზე** (მაგ., კანი – ცხიმი, ცხიმი – კუნთი, კუნთი – ძვალი) **ის მიმართულებას იცვლის.** ნაწილი **აირეკლება** და ისევ ულტრაბგერის **სკანერში** ბრუნდება, ნაწილი კი მეორე გარემოში გადავა, თავისი წრფივი გავრცელების მიმართულებას შეიცვლის, ანუ **გარდატყდება.**

თუ ულტრაბგერებს გავრცელების გზაზე პატარა წარმონაქმნი შეხვდა (რომლის ზომები ულტრაბგერის ტალღის სიგრძეზე ნაკლებია ან მისი რიგისაა), ულტრაბგერა მას ისე შემოუვლის, თითქოს არც ყოფილა. ულტრაბგერების **დიფრაქციის** (დაბრკოლების შემოვლის) გამო ასეთი პატარა წარმონაქმნების შესახებ ულტრაბგერითი გამოკვლევისას ინფორმაციას ვერ იღებე.

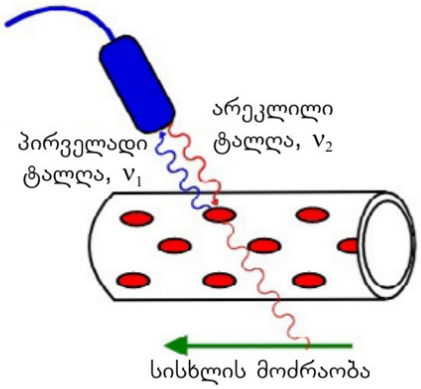
ულტრაბგერები ჰაერის (აირების) მიერ თითქმის მთლიანად შთაინთქმება. სწორედ ამიტომ, ფილტვების, კუჭის, წვრილი და მსხვილი ნაწლავის (ანუ იმ ორგანოების, რომლებშიც დიდი რაოდენობით აირებია) ულტრაბგერითი გამოკვლევა შეუძლებელია.

კანიდან ულტრაბგერების 99,99 % აირეკლება, ამიტომ პაციენტს კანზე ჯერ წყლის შემცველ ჟელეს უსვამენ (იმისათვის, რომ სკანერსა და კანს შორის შუალედიდან ჰაერი გამოდევნონ) და მხოლოდ მას შემდეგ მიმართავენ კანზე ულტრაბგერების ნაკადს (ჟელე ულტრაბგერებისთვის ერთგვარი გარდამავალი ზონაა სკანერიდან ორგანიზმის სიღრმისკენ).

სხვადასხვა ორგანოთა საზღვრებიდან ულტრაბგერა განსხვავებულად აირეკლება: რაც უფრო მეტია არეკლილი ულტრაბგერის ინტენსივობა, მით უფრო მკვეთრი და ნათელია **სონოგრამა** – შინაგანი ორგანოს გამოსახულება ულტრაბგერითი აპარატის მონიტორზე.

Don't copy

რაც უფრო მეტია ულტრაბგერის სიხშირე, მით მეტია იმ გამოსახულების სიმკვეთრე, რომელიც ამა თუ იმ ქსოვილიდან ულტრაბგერის არეკვლის შედეგად მიიღება. სამედიცინო დაწესებულებებში გამოიყენება 2-დან 29 მგჰც-მდე სიხშირის ულტრაბგერები.



სურ. 2.7.2

მონაცემები, რომლებსაც ულტრაბგერითი გამოკვლევის დროს იღებენ, საშუალებას აძლევს ექიმს, განსაზღვროს ორგანოების, მოცულობითი წარმონაქმნების ზომები, მათი საზღვრებისა და სტრუქტურის ცვლილება და ა.შ., მაგრამ როგორ ფუნქციონირებს ესა თუ ის ორგანო, ულტრაბგერითი გამოკვლევისას ამის დადგენა შეუძლებელია.

უფრო რთული ულტრაბგერითი აპარატით – **დოპლეროგრაფით** – შესაძლებელია ორი განსხვავებული სიმკვრივის ქსოვილის საზღვრის მოძრაობის სიჩქარის, ქსოვილთა სიმკვრივეებს შორის განსხვავების განსაზღვრაც. დოპლეროგრაფების მუშაობის პრინციპი **დოპლერის ეფექტს** ეფუძნება (სურ. 2.7.2): არეკლილი ულტრაბგერის სიხშირე იცვლება, თუ ის ქსოვილის (მაგ., სისხლძარღვის) მოძრავი ზედაპირიდან აირეკლება.

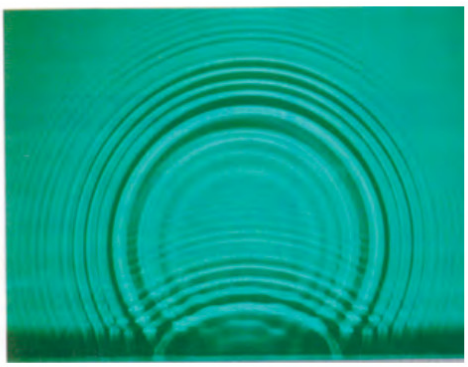
დოპლეროგრაფია – თანამედროვე, მაღალეფექტური, სწრაფი და უსაფრთხო კვლევის მეთოდია, რომლის დროსაც შესაძლებელია სისხლძარღვების მდგომარეობისა და სისხლის მიმოქცევის შეფასება.

ტალღურ მოვლენებს, როგორიცაა არეკვლა, დიფრაქცია, დოპლერის ეფექტი ამ და მომდევნო პარაგრაფებში გაეცნობი.

2.7.1 ექო

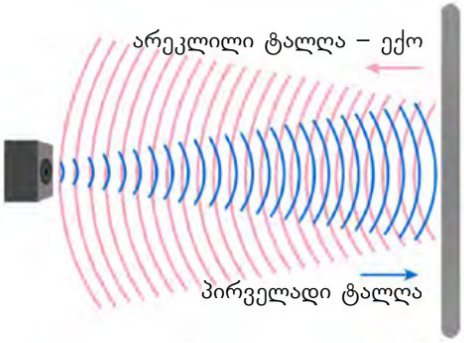
ტალღების გავრცელება გარკვეულ კანონზომიერებებს ემორჩილება. გაიხსენე §2.5-ის II და III ცდები: ტალღამ ზონრისა და ზამბარის გასწვრივ გაირბინა, მათი დამაგრების ადგილამდე მივიდა და უკან დაბრუნდა.

თუ ტალღას გავრცელებისას დაბრკოლება გადაეღობება (რომლის ზომები გაცილებით აღემატება ტალღის სიგრძეს), ის დაბრკოლებიდან აირეკლება და საწინააღმდეგო მიმართულებით გავრცელდება ისე, თითქოს ახალი ტალღა ვრცელდება იმ ადგილიდან, სადაც დაბრკოლება მდებარეობს (სურ. 2.7.3).


სურ. 2.7.3

დაბრკოლებებიდან არეკვლის უნარი ბგერით ტალღებსაც ახასიათებს. გაიხსენე, რა ხდება იმ დროს, როცა ღრმა ჭაში ჩასძახებ ან როცა ტყესთან, მთის ფერდობთან ახლოს ხმამაღლა დაიყვირებ?

ამ მოვლენას შენ კარგად იცნობ. ეს **ექოა – ბგერითი ტალღა, რომელიც დაბრკოლებიდან** (შენობიდან, ფერდობიდან, ტყიდან და ა. შ.) **აირეკლა** და შენთან, **ბგერის წყაროსთან, დაბრუნდა** (სურ. 2.7.4).



სურ. 2.7.4

ჭექა-ქუხილის დროს ჩვენამდე პირველად პირდაპირ გავრცელებული ბგერა აღწევს, ხოლო მოგვიანებით, დედამიწის ზედაპირიდან, ღრუბლებიდან, მთის ფერდობებიდან და შენობებიდან არეკლილი ბგერები, ექო გვესმის. ბგერას კარგად ირეკლავს მაგარი და სწორი ზედაპირის მქონე სხეულები, მაგ., კედლები, იატაკი, ჭერი. სწორედ ამის გამოა, რომ

Don't copy

ექო ცარიელ ოთახში კარგად ისმის. რბილი და უსწორმასწორო ზედაპირებიდან (რბილი ავეჯიდან, ხალიჩიდან, შპალიერიდან) კი ბგერები ცუდად აირეკლება. ასეთი ზედაპირები **ბგერებს შთანთქავენ**.

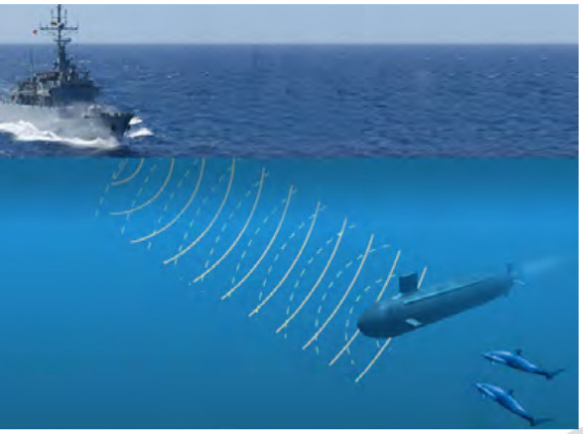
რატომ არ ისმის ექო ყოველთვის?

იმისათვის, რომ ადამიანმა პირველადი ბგერა არეკლილისგან გაარჩიოს, ანუ ისინი ცალ-ცალკე აღიქვას, **ბგერის გაგზავნისა და მიღების მომენტს შორის ≈ 0,07 წმ (1/15 წმ) უნდა იყოს გასული**. ეს იმას ნიშნავს, რომ მანძილი ბგერის წყაროდან დაბრკოლებამდე და უკან, დაბრკოლებიდან ბგერის წყარომდე (ანუ მთლიანობაში 2s), ბგერამ, სულ მცირე, t = 1/15 წმ-ში უნდა დაფაროს.

ჰაერში ბგერის სიჩქარე ცნობილია ($v \approx 340$ მ/წმ) და, შესაბამისად, შეგვიძლია, გამოვთვალოთ ის მინიმალური მანძილი (s), წყაროსა და დაბრკოლებას შორის, რომლის დროსაც ექო ისმის: $2s \geq vt$; $s \geq vt / 2 \approx 11$ მ.

დიახ, **იმისათვის, რომ ექო გავიგოთ, დაბრკოლებამდე** (კედლამდე, ტყემდე, მთის ფერდობამდე), **სულ მცირე, 11 მ უნდა გვაშორებდეს.**

ულტრაბგერების არეკვლის მოვლენა, საფუძვლად დაედო ისეთი მოწყობილობების მოქმედების პრინციპს, როგორიცაა **ჰიდროლოკატორი** (გამოიყენება წყალქვეშა ობიექტების აღმოსაჩენად), **რადარი** (გამოიყენება ჰაერში, ხმელეთზე და ზღვის ზედაპირზე ობიექტების აღმოსაჩენად), **ლიდარი** (თანამედროვე ტექნოლოგია, რომლის დახმარებითაც ტყის მასივებით ან მიწის საფარით დაფარული არქეოლოგიური ობიექტების აღმოჩენა ხდება).



სურ. 2.7.5

სხვადასხვა ობიექტის ადგილმდებარეობის განსაზღვრის მეთოდს, რომელიც დაბრკოლებიდან ულტრაბგერის არეკვლის მოვლენას ეფუძნება, **ექოლოკაცია** ჰქვია. **ექოლოკატორი** მოწყობილობაა, რომელიც **ულტრაბგერის წყაროსა** და **მიმღებისგან** შედგება. მას გემის ფსკერზე ამაგრებენ. ის ულტრაბგერას ჯერ გარკვეული მიმართულებით აგზავნის (სურ. 2.7.5), ხოლო შემდეგ დაბრკოლებიდან არეკლილ სიგნალს აფიქსირებს. დაგვიანების დროის მიხედვით კი, რომელიც ულტრაბგერის გაგზავნისა და მიღების მომენტს შორის გავიდა, ექოლოკატორი დაბრკოლებამდე მანძილს განსაზღვრავს. ჰიდროლოკატორებში ექოლოკაციას იყენებენ ზღვის სიღრმეების გამოკვლევისას, აისბერგების, წყალქვეშა ნავების, რიფების, თევზების თავმოყრის ადგილის დასადგენად, ნისლიან ამინდში ან ღამით შემხვედრი გემის ადგილმდებარეობის განსაზღვრისას და ა.შ.

2.7.2 დიფრაქცია

თუ ტალღას გავრცელებისას გადაეღობება დაბრკოლება, რომლის ზომები გაცილებით აღემატება ტალღის სიგრძეს, ტალღა დაბრკოლებიდან აირეკლება. **მაგრამ რა ხდება მაშინ, როცა დაბრკოლების ზომები მცირეა?**

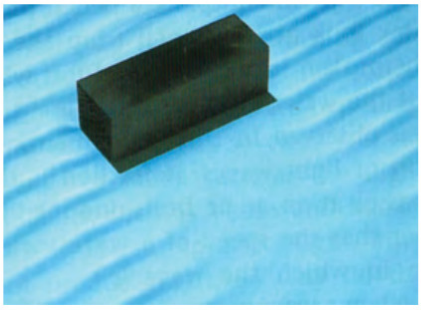
გაიხსენე, როგორ იქცევა წყლის ზედაპირზე ტალღა, როცა მას გავრცელების გზაზე დაბრკოლება, კლდის პატარა ქიმი ან პატარა ქვა ხვდება. ის შემოუვლის წყლიდან ამოშვერილ პატარა ქიმს, ქვას...

ტალღის მიერ დაბრკოლების შემოვლის (წრფივი გავრცელების მიმართულებიდან გადახვევის) მოვლენას **დიფრაქცია** ჰქვია. თუ დაბრკოლების ზომები ძალიან მცირეა, მაშინ დიფრაქცია მკვეთრადაა გამოხატული: ტალღა ისე შემოუვლის დაბრკოლებას, რომ

Don't copy

მის არსებობას ვერც კი „იგრძნობს“ და მის მიღმა ისე გავრცელდება, თითქოს არაფერს შეუშლია ხელი.

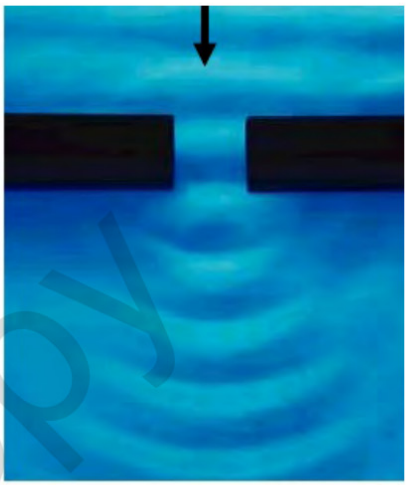
თუ დაბრკოლების ზომები შედარებით დიდია, მაშინ მის მიღმა „ჩრდილი“ ჩნდება (სურ. 2.7.6), ანუ ისეთი ადგილი, სადაც ტალღა ვერ აღწევს (გაიხსენე, როგორ შემოუვლის ზღვის ტალღა დიდ ლოდს).



სურ. 2.7.6

... მანქანის სიგნალი მაშინაც გესმის, როცა მას შენობა ეფარება. როცა მეგობარი შენობის კუთხეს მოეფარება, მას მაინც იმ იმედით ეძახი, რომ შენს ხმას აუცილებლად გაიგებს. ასე რომ, დაბრკოლებათა შემოვლის უნარი, ანუ **დიფრაქცია, ბგერით ტალღებსაც ახასიათებს.**

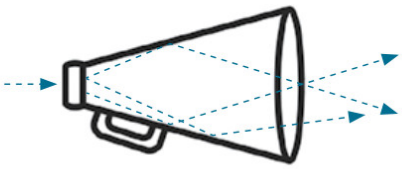
დიფრაქცია ტალღური მოვლენაა, რომელიც ნებისმიერი ტალღისთვისაა დამახასიათებელი და მკვეთრადაა გამოხატული მაშინ, როცა დაბრკოლების ზომები ტალღის სიგრძეზე ნაკლებია ან მისი რიგისაა (სურ. 2.7.7).



სურ. 2.7.7

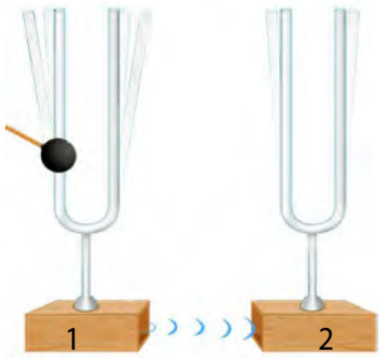
2.7.3 ბგერითი რეზონანსი

გაიხსენე, როგორ იქცევი, როცა გინდა, რომ შორს მყოფ ადამიანს ხმა მიაწვდინო – ძახილისას პირზე რკალისებურად იფარებ ხელისგულებს. ასეთ დროს **ბგერის ენერგია კონცენტრირდება და ერთი განსაზღვრული მიმართულებით ვრცელდება**. სწორედ ამ მოვლენაზეა დაფუძნებული **რუპორის** მოქმედებაც (სურ. 2.7.8): რუპორი კონუსური ფორმის მილია, რომლის ვიწრო ბოლოს ბგერის წყაროსთან ათავსებენ (პირთან ახლოს მიაქვთ).



სურ. 2.7.8

გარდა იმისა, რომ რუპორი ბგერის ენერგიას ერთი განსაზღვრული მიმართულებით მიმართავს (ბგერა რუპორის შიდა კედლებიდან აირეკლება), მას კიდევ უფრო მნიშვნელოვანი როლია აკისრია – ის **ბგერას აძლიერებს**. ბგერითი ტალღა, რომელიც წყაროდან ვრცელდება, რუპორის შიგნით ჰაერის ნაწილაკების იძულებით რხევას იწვევს. თუ ბგერის წყაროს სიხშირე იძულებითი რხევის სიხშირეს დაემთხვევა, ჰაერის ნაწილაკების რხევის ამპლიტუდა მკვეთრად იზრდება და ჰაერის სვეტი რუპორში თავად ხდება ბგერის მეორეული წყარო, რომელიც უფრო ხმამაღალ ბგერებს გამოსცემს, ვიდრე თავად წყარო. ეს **ბგერითი (აკუსტიკური) რეზონანსია** – ერთ-ერთი მიზეზი იმისა, თუ რატომ ძლიერდება ხმა რუპორით. ბგერით რეზონანსს შეგვიძლია კამერტონების გამოყენებითაც დავაკვირდეთ.



სურ. 2.7.9

ცდა I

1. მოათავსე მაგიდაზე ერთმანეთთან ახლოს ორი ერთნაირი (რხევის საკუთარი სიხშირეები ერთნაირია) კამერტონი ისე, რომ მათი სადგამი ყუთების ღია მხარეები ერთმანეთისკენ იყოს მიქცეული (სურ. 2.7.9).

შენიშვნა: საკუთარი რხევის სიხშირე, ხშირად, მითითებულია კამერტონზე.

2. დაარტყი ჩაქუჩი ერთ-ერთ კამერტონს (1) და მას შემდეგ, რაც ის ბგერას გამოსცემს, შეეხე ხელით: კამერტონი ჟღერას შეწყვეტს. **დააკვირდი:** მას შემდეგ, რაც 1-ელის ჟღერა შეწყდება, ბგერას მე-2 კამერტონი გამოსცემს.

Don't copy

რატომ გამოსცემს მე-2 კამერტონი ბგერას? რეზონანსის მოვლენა, რომელსაც ჩვენ ქანქარას რხევისას ვაკვირდებოდით, ბგერასაც ახასიათებს. 1-ელი კამერტონის რხევისას ირხევა ჰაერი მისი სადგამის შიგნით. რხევა გარემომცველ მიდამოში გავრცელდება და მას შემდეგ, რაც მე-2 კამერტონის სადგამის შიგნით ჰაერის ნაწილაკებს გადაეცემა, მე-2 კამერტონი იძულებით რხევას დაიწყებს.

იმ შემთხვევაში, თუ იძულებითი რხევის სიხშირე მე-2 კამერტონის საკუთარი რხევის სიხშირეს დაემთხვევა, მე-2 კამერტონის რხევის ამპლიტუდა მკვეთრად გაიზრდება და ის ბგერას გამოსცემს (ბგერა ისმის მაშინაც, როცა 1-ელის რხევა შეწყდება).

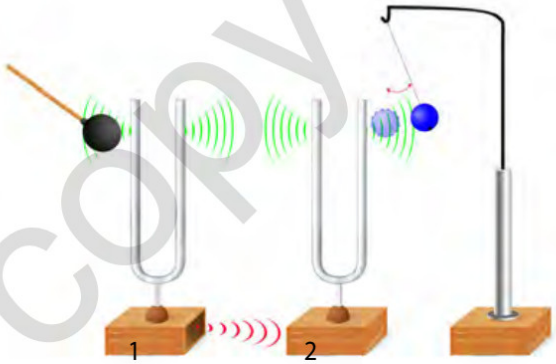
თუ ცდას გაიმეორებ და მეორე კამერტონის შტოზე ცდის დაწყებამდე სპეციალურ სამაგრს (ან პლასტილინის ბურთულას) მიამაგრებ, მაშინ მე-2 კამერტონის საკუთარი რხევის სიხშირე არ დაემთხვევა იძულებითი რხევის სიხშირეს და ბგერითი რეზონანსი არ დამყარდება. ასეთ შემთხვევაში მე-2 კამერტონი ბგერას აღარ გამოსცემს.

ხშირად, მე-2 კამერტონის ბგერა იმდენად ხმადაბალია, რომ ძლივს ისმის. თუ I ცდას გარკვეული სახეცვლილებით ჩაატარებ, რეზონანსის მოვლენა უფრო თვალსაჩინო გახდება

ცდა II



1. კვლავ მოათავსე მაგიდაზე ერთმანეთთან ახლოს ორი ერთნაირი კამერტონი ისე, რომ მათი ყუთების ღია მხარეები ერთმანეთისკენ იყოს მიქცეული (სურ. 2.7.10).



სურ. 2.7.10

2. მე-2 კამერტონის შტოსთან ახლოს (ისე რომ თითქმის ეხებოდეს), შტატივზე ძაფით მსუბუქი ბურთულა დაკიდე (დაამზადე ბურთულა ფოლგისგან ან გამოიყენე პინგ-პონგის ბურთი);

3. დაარტყი ჩაქუჩი 1-ელ კამერტონს და **დააკვირდი** ბურთულას – ის რხევას დაიწყებს.

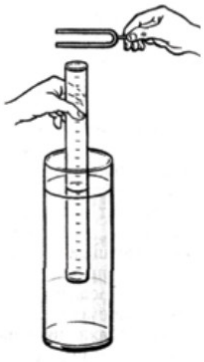
ახსენი ცდის შედეგი.

ჩაატარე ცდა და დააკვირდი, როგორ „ეხმიანება“ კამერტონის ჟღერას ჰაერის სვეტი.

ცდა III



ნახე ვიდეო: http://bitly.ws/zNH7



სურ. 2.7.11

1. ჩაუშვი წყლიან ჭურჭელში ორივე ბოლოდან ღია, თხელკედლიანი მილი (მილი შეიძლება იყოს მინის, ლითონის, პლასტმასის) ნახევრად (სურ. 2.7.11);



2. დაირტყი კამერტონი ხელის გულზე და მიიტანე ახლოს მილის პირთან;



შენიშვნა: კამერტონის ნაცვლად შეგიძლია გამოიყენო ბგერითი ტალღების მარტივი გენერატორი, რომელსაც მობილურ ტელეფონში აპლიკაციის სახით გადმოწერ.

3. ცვალე მილში ჰაერის სვეტის სიმაღლე. მილი წყლიდან ჯერ ნელ-ნელა ამოსწიე, ხოლო შემდეგ ისევ წყალში ჩაუშვი.



დააკვირდი: როცა მილში ჰაერის სვეტს გარკვეული სიმაღლე აქვს, ჰაერის სვეტი ბგერას გამოსცემს. ეს **ბგერითი რეზონანსის შედეგია**.

Don't copy



წყალში ჩაშვებული მილის ერთი ბოლო წყლითაა დახშული. მილში ჰაერის სვეტს გარკვეული სიმაღლე და, შესაბამისად, რხევის საკუთარი სიხშირე აქვს. მილის ზევით-ქვევით მოძრაობისას იცვლება მილში **ჰაერის სვეტის სიმაღლე და მისი რხევის საკუთარი სიხშირე**.

ჰაერის სვეტის საკუთარი სიხშირე:

ა) **მცირდება**, როცა მილს წყლიდან ზემოთ **ამოსწევ (როცა ჰაერის სვეტის სიმაღლე იზრდება)**;

ბ) **იზრდება**, როცა მილს ქვევით დასწევ, წყალში ღრმად **ჩაუშვებ (როცა ჰაერის სვეტის სიმაღლე მცირდება)**.

კამერტონის მერხევი შტო ბგერით ტალღას ქმნის, რომელიც მილის შიგნით ჰაერის ნაწილაკების იძულებით რხევას იწვევს. რეზონანსი მყარდება მაშინ, როცა კამერტონის რხევის სიხშირე ჰაერის სვეტის საკუთარ სიხშირეს დაემთხვევა. ასეთ დროს ჰაერის სვეტის რხევის ამპლიტუდა იზრდება და ის ხმამაღალ ბგერას გამოსცემს.



მილი, რომლის ერთი ბოლო დახურულია (ჩვენ შემთხვევაში, წყლითაა დახშული), **რეზონატორია** – ჰაერიანი რეზერვუარი, რომელშიც რეზონანსის პირობები იქმნება.

სწორედ რეზონატორის ფუნქცია აკისრია ხის ერთი ბოლოდან ღია ყუთს, რომელზეც კამერტონს ამაგრებენ; გიტარის კორპუსს, რომელზედაც სიმებია გადაჭიმული (თუ სიმს შტატივის ორ თათს შორის გააბამ, მას მკვეთრი ჟღერადობა არ ექნება); ჩასაბერი ინსტრუმენტების ლითონისა თუ ხის მილებს, ორღანის მილებს და ა.შ. რეზონატორის ზომებს ისე არჩევენ, რომ მასში ჰაერის რხევის სიხშირე და მერხევი სხეულის (მაგ., გიტარის სიმის) სიხშირე ერთმანეთს დაემთხვეს. რეზონატორია ნიჟარაც – როცა მას ყურზე მიიდებ, ხმაური გესმის: ეს ის ბგერითი ტალღებია, რომელიც შენ გარშემოა და, ჩვეულებრივ, არ გესმის... ისინი აირეკლება ნიჟარის კედლებიდან და ნიჟარა, როგორც ერთგვარი რეზონატორი, მათ აძლიერებს (სურ. 2.7.12).



სურ. 2.7.12

ადამიანსაც აქვს რეზონატორები: ყელი, პირისა და ცხვირის ღრუ. ისინი ხმის იოგების მიერ გამოცემულ ბგერებს აძლიერებს და არა მარტო – მათ დამახასიათებელ ტემბრსაც ანიჭებს.

ბგერითი რეზონანსით აიხსნება ცოცხალ ორგანიზმზე ბგერების ფიზიოლოგიური ზემოქმედება. ორგანიზმში უჯრედების მემბრანები ბგერითი სიხშირეებით იწყებს რხევას, რაც, შესაძლოა, დადებითად აისახოს ორგანიზმზე ან, პირიქით – დამაზიანებელი გავლენა ჰქონდეს.

ცნობილია, რომ ადამიანის ორგანიზმზე არასასურველი გავლენა აქვს დაბალი სიხშირის ტალღებს – ინფრაბგერებს, რადგან მათი ზემოქმედებით ადამიანის შინაგანი ორგანოები რეზონირებს (ორგანოების საკუთარი რხევის სიხშირე ინფრაბგერების სიხშირის დიაპაზონს მიეკუთვნება). იზრდება მათი რხევის ამპლიტუდა, რაც ადამიანში უჩვეულო შეგრძნებებს (თავბრუსხვევას, აღგზნებას, წონასწორობის დაკარგვას, პირღებინებას) იწვევს და ზოგ შემთხვევაში (მაგ., დიდი ამპლიტუდის ინფრაბგერების ხანგრძლივი ზემოქმედებისას), შესაძლოა, შედეგი გაცილებით დრამატულიც იყოს. გარკვეული სიხშირის ტალღებს კი, ცხადია, სრულიად საპირისპირო შეგრძნებების გამოწვევაც შეუძლია, მაგ., სწორად შერჩეული მუსიკა დადებითად მოქმედებს ადამიანის გულ-სისხლძარღვთა და ნერვულ სისტემაზე, რაც, შესაბამისად, მის ფსიქოემოციურ განწყობასა და, ზოგადად, ჯანმრთელობაზე აისახება.

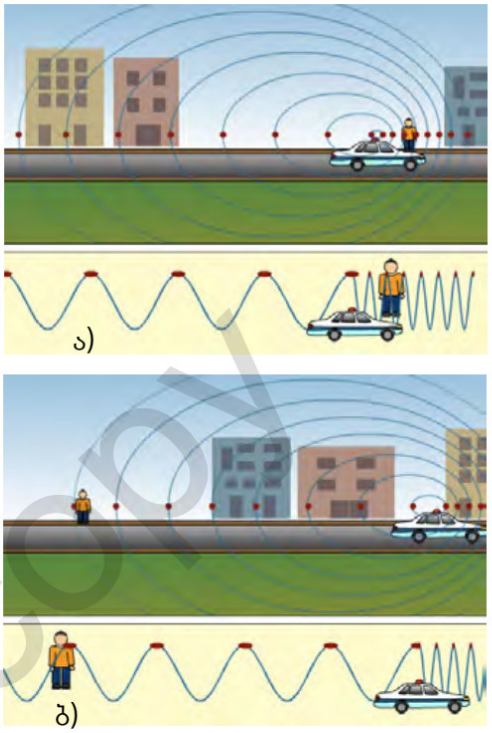
Don't copy

2.8 ფიზიკა ამოცანებში: დოპლერის ეფექტი

გზის პირას მდგარს, ალბათ, შეგიმჩნევია, როგორ იცვლება ავტომანქანის სიგნალი, როცა ის გვერდით ჩაგიქროლებს. **მოუსმინე ავტომობილის გაბმულ სიგნალს და დააკვირდი:** როგორ იცვლება ის, როცა გიახლოვდება და როცა გშორდება:

http://bitly.ws/zNIM http://bitly.ws/zNIP

მანამ, სანამ ავტომობილი გიახლოვდება, სიგნალის ტონი უფრო და უფრო მაღალი გეჩვენება (ანუ, შენ მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე იზრდება) (სურ. 2.8.1, ა). მას შემდეგ კი, რაც მანქანა ჩაგიქროლებს და გაგცდება, ბგერის მაღალი ტონალობა დაბლით იცვლება (შენ მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე იკლებს) (სურ. 2.8.1,ბ).



სურ. 2.8.1

მოვლენას, რომლის დროსაც ბგერის მიმღების მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე იცვლება, როცა ბგერის წყარო და მიმღები ერთმანეთის მიმართ მოძრაობს, **დოპლერის ეფექტი** ჰქვია.

მოვლენა პირველად 1842 წელს ვენის უნივერსიტეტის პროფესორმა, ფიზიკოსმა – **ქრისტიან დოპლერმა** აღწერა და სახელიც მის პატივსაცემად უწოდეს.

იმისათვის, რომ დავადგინოთ კანონზომიერება, როდის და როგორ იცვლება ბგერის მიმღების (ადამიანის) მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე, რამდენიმე სიტუაცია განვიხილოთ. **ვთქვათ,**

I. ბგერის წყარო და ბგერის მიმღები ერთმანეთის მიმართ უძრავია;

II. ბგერის წყარო უახლოვდება ან შორდება ბგერის უძრავ მიმღებს;

III. ბგერის მიმღები უახლოვდება ან შორდება ბგერის უძრავ წყაროს.

შემოვიტანოთ აღნიშვნები. აღვნიშნოთ:

ა) ბგერის გავრცელების სიჩქარის მოდული (ჰაერის მიმართ) c-თი;

ბ) წყაროს მოძრაობის სიჩქარის მოდული – $v_წ$-თი, ხოლო მიმღების მოძრაობის სიჩქარისა – $v_მ$-ით.

გაითვალისწინე: ბგერის გავრცელების სიჩქარე მოცემულ ერთგვაროვან გარემოში არ იცვლება (ანუ, ბგერა თანაბრად მოძრაობს).

ჩავთვალოთ, რომ წყარო და მიმღები განსახილველ სიტუაციებში წრფივად და თანაბრად მოძრაობს და მათი მოძრაობის სიჩქარე ბგერის სიჩქარეზე ნაკლებია ($v_წ < c$, $v_მ < c$). ბგერის წყაროდან ბგერითი ტალღები ყველა მიმართულებით (მათ შორის მიმღებისკენაც) ვრცელდება. წყარო ბგერით ტალღებს გარკვეული სიხშირით (პერიოდით) გამოსცემს. აღვნიშნოთ წყაროს სიხშირე და, შესაბამისად, მისგან გავრცელებული ბგერითი ტალღის სიხშირე ν -თი, პერიოდი კი T-თი.

განვიხილოთ I სიტუაცია. ვთქვათ, ბგერის წყარო და ბგერის მიმღები ერთმანეთის მიმართ უძრავია.

1. ვთქვათ, A წერტილში მოთავსებული ბგერის წყაროდან საწყის მომენტში ბგერითი ტალღის 1-ელი ბორცვი გავრცელდა (სურ. 2.8.2): პერიოდის განმავლობაში ის ტალღის სიგრძის (λ-ს) ტოლ მანძილს გაივლის და B წერტილში აღმოჩნდება:

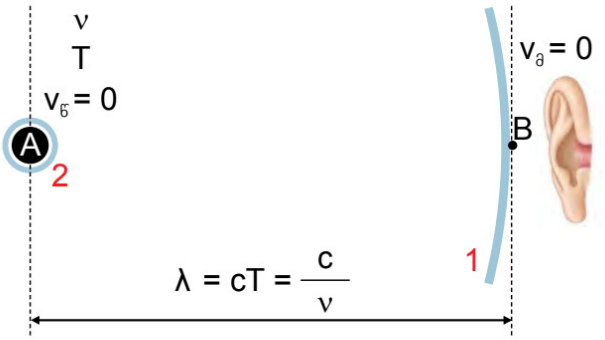
$$AB = \lambda = cT = \frac{c}{\nu}$$

Don't copy

ზუსტად ამ დროს, წყაროდან ბგერითი ტალღის მე-2 ბორცვი დაიწყებს გავრცელებას.

2. დავუშვათ, რომ B წერტილში ბგერის მიმღები (ადამიანი) იმყოფება, რომელსაც ბგერა ესმის. ის აღიქვამს ბგერით ტალღას, რომლის სიხშირეა ν:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad (1)$$

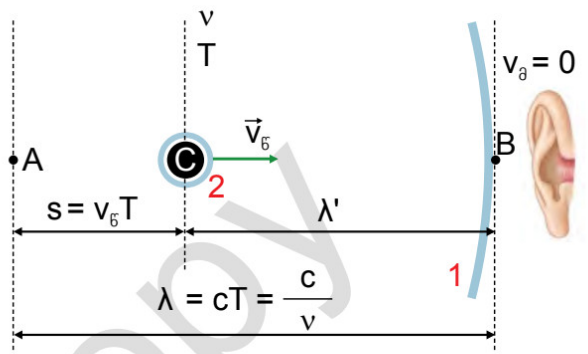


სურ. 2.8.2

განვიხილოთ II სიტუაცია. ბგერის წყარო უახლოვდება ან შორდება ბგერის უძრავ მიმღებს.

განვიხილოთ შემთხვევა, როცა **ბგერის წყარო უძრავ მიმღებს მოდულით $v_წ$ სიჩქარით უახლოვდება** (სურ. 2.8.3).

1. ვთქვათ, საწყის მომენტში A წერტილში მოთავსებული ბგერის წყაროდან ბგერითი ტალღის 1-ელი ბორცვი გავრცელდა. პერიოდის განმავლობაში ის ტალღის სიგრძის (λ-ს) ტოლ მანძილს გაივლის და B წერტილში აღმოჩნდება:



სურ. 2.8.3

$$AB = \lambda = cT = \frac{c}{\nu} \qquad (2)$$

2. იმ დროში (T პერიოდის განმავლობაში), სანამ 1-ელი ბორცვი B წერტილში აღმოჩნდება, ბგერის წყარო მიმღების მიმართულებით (ტალღის გავრცელების მიმართულებით) s მანძილს გაივლის და C წერტილში აღმოჩნდება:

$$AC = s = v_წ T \qquad (3)$$

3. სწორედ ამ მომენტში C წერტილში მყოფი წყაროდან ბგერითი ტალღის მე-2 ბორცვი c სიჩქარით დაიწყებს გავრცელებას. ამ დროისთვის:

ა)1-ელი ბორცვი B წერტილში იმყოფება, ხოლო მე-2 ბორცვი – C წერტილში;

ბ)1-ელ და მე-2 ბორცვებს შორის ამჟამად მანძილი CB-ს ტოლია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ბგერის წყაროს მოძრაობის გამო, **ბორცვებს შორის მანძილი, ანუ ტალღის სიგრძე. შემცირდა** და ის ახლა λ' -ის ტოლია.

ნახაზიდან (სურ. 2.8.3) ჩანს, რომ $CB = \lambda' = AB - AC;$ (4)

თუ მე-2-სა და მე-3-ს ტოლობებს გაითვალისწინებ, მიიღებ, რომ

$$\lambda' = cT - v_წ T = T(c - v_წ) \qquad (5)$$

რადგან $T = \frac{1}{\nu}$, მე-5-დან მივიღებთ, იმ ბგერითი ტალღის სიგრძე (λ'), რომელიც მიმღების მიმართ $v_წ$ სიჩქარით მოძრავი ბგერის წყაროდან ვრცელდება, ასე გამოითვლება:

$$\lambda' = \frac{c - v_წ}{\nu} \qquad (6)$$

4. დავუშვათ, რომ B წერტილში **უძრავი** ბგერის მიმღები (ადამიანი) იმყოფება, რომელსაც ბგერა ესმის. ის აღიქვამს ბგერით ტალღას, რომელიც მის მიმართ $v_წ$ სიჩქარით მოძრავი ბგერის წყაროდან ვრცელდება და რომლის სიხშირეა ν':

$$\nu' = \frac{c}{\lambda'} \qquad (7)$$

Don't copy

მე-6-ს გათვალისწინებით, მე-7-დან მივიღებთ, რომ

$$\nu' = \nu \frac{c}{c - v_წ} \qquad (8)$$

5. დააკვირდი მე-8 გამოსახულებას: $c > c - v_წ$, ანუ $\nu' > \nu$. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **როცა ბგერის წყარო უძრავ მიმღებს უახლოვდება**, მიმღები წყაროდან გავრცელებულ ბგერას **უფრო მეტი სიხშირის ბგერად აღიქვამს,** ვიდრე აღიქვამდა იმ შემთხვევაში, როცა წყარო მის მიმართ უძრავი იყო. მას ეჩვენება, რომ **წყაროდან გავრცელებული ბგერა უფრო მაღალი ტონალობისაა**.

თუ მე-8 ტოლობას გარდაქმნი (მრიცხველსა და მნიშვნელს c-ზე გაყოფ), მიიღებ, რომ **უძრავი მიმღების მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე, როცა მას ბგერის წყარო უახლოვდება ასე გამოითვლება:**

$$\nu' = \nu \frac{1}{1 - \frac{v_წ}{c}} \qquad (9)$$

6. ანალოგიური მსჯელობით მივიღებთ, რომ **უძრავი მიმღების მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე, როცა მას ბგერის წყარო შორდება, ასე გამოითვლება:**

$$\nu' = \nu \frac{1}{1 + \frac{v_წ}{c}} \qquad (10)$$

მე-10-დან ჩანს, რომ **როცა ბგერის წყარო უძრავ მიმღებს შორდება**, მიმღები წყაროდან გავრცელებულ ბგერას **უფრო ნაკლები სიხშირის ბგერად აღიქვამს,** ვიდრე აღიქვამდა იმ შემთხვევაში, როცა წყარო მის მიმართ უძრავი იყო. მას ეჩვენება, რომ **წყაროდან გავრცელებული ბგერა უფრო დაბალი ტონალობისაა.**

მე-9 და მე-10 ტოლობების გაერთიანებით, მივიღებთ: **უძრავი მიმღების მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე, როცა ბგერის წყარო უახლოვდება ან შორდება მას, ასე გამოითვლება:**

$$\boxed{\nu' = \nu \frac{1}{1 \pm \frac{v_წ}{c}}} \qquad (2.8.1)$$

„–“ ნიშანი იწერება მაშინ, როცა ბგერის წყარო უძრავ მიმღებს უახლოვდება, ხოლო „+“ იწერება მაშინ, როცა ბგერის წყარო უძრავ მიმღებს შორდება.

2.8.1 ფორმულა გამოხატავს სწორედ დოპლერის ეფექტის არსს.

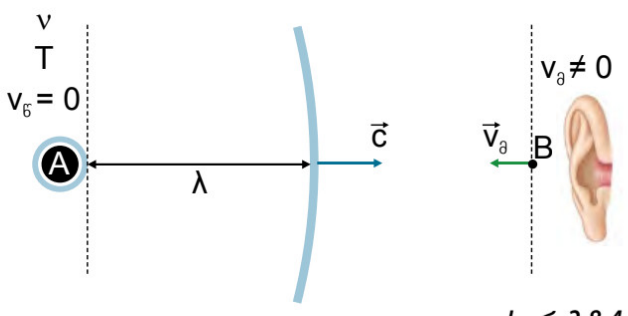
განვიხილოთ III სიტუაცია. ბგერის მიმღები უახლოვდება ან შორდება ბგერის უძრავ წყაროს.

განვიხილოთ შემთხვევა, როცა **ბგერის მიმღები მოდულით $v_მ$ სიჩქარით უახლოვდება უძრავ წყაროს** (სურ. 2.8.4):

1. ვთქვათ, A წერტილში მოთავსებული უძრავი ბგერის წყაროდან ვრცელდება ბგერითი ტალღები, რომელთა სიხშირეა ν, პერიოდია T და ტალღის სიგრძეა λ;

2. დავუშვათ, B წერტილში იმყოფება ბგერის მიმღები (ადამიანი), რომელიც ბგერითი ტალღების შემხვედრი მიმართულებით მოდულით $v_მ$ სიჩქარით მოძრაობს.

ტალღა ჰაერის მიმართ c სიჩქარით ვრცელდება, მაგრამ მიმღების მიმართ



სურ. 2.8.4

Don't Copy

მისი ფარდობითი სიჩქარის მოდულია $(c + v_გ)$, ანუ მიმღებს ტალღა $(c + v_გ)$ სიჩქარით უახლოვდება.

მიმღები აღიქვამს ბგერას, რომლის ტალღის სიგრძეა λ, ხოლო სიჩქარეა c' :

$$c' = c + v_გ \qquad (11)$$

შესაბამისად, მიმღები აღიქვამს ბგერას, რომლის სიხშირეა:

$$\nu' = \frac{c'}{\lambda} \qquad (12)$$

დააკვირდი:

ა) როცა **წყარო უძრავი მიმღების მიმართ მოძრაობს** (II სიტუაცია), **მიმღების მიმართ ბგერის სიჩქარე (c) არ იცვლება, მაგრამ იცვლება ტალღის სიგრძე** (იხ. მე-6 ტოლობა) იმ შემთხვევასთან შედარებით, როცა წყაროც უძრავია;

ბ) როცა მიმღები უძრავი წყაროს მიმართ მოძრაობს (III სიტუაცია), **მაშინ მიმღებისთვის ტალღის სიგრძე არ იცვლება (წყარო უძრავია), მაგრამ იცვლება ბგერის სიჩქარე მის მიმართ:** $c' = c + v_გ$.

3. თუ გაითვალისწინებ, რომ $\lambda = \frac{c}{\nu}$ და $c' = c + v_გ$, მე-12 ტოლობიდან მიიღებ:

$$\nu' = \frac{(c + v_გ)\,\nu}{c} \qquad (13)$$

მე-13-დან ჩანს, რომ **მიმღების მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე, როცა მიმღები უძრავ ბგერის წყაროს უახლოვდება, ასე გამოითვლება:**

$$\nu' = \nu\,(1 + \frac{v_გ}{c}) \qquad (14)$$

4. დააკვირდი მე-14 გამოსახულებას: $\nu' > \nu$. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **როცა მიმღები უძრავ წყაროს უახლოვდება**, მიმღები წყაროდან გავრცელებულ ბგერას **უფრო მეტი სიხშირის ბგერად აღიქვამს,** ვიდრე აღიქვამდა იმ შემთხვევაში, როცა წყარო და მიმღები ერთმანეთის მიმართ უძრავი იყო. მას ეჩვენება, რომ **წყაროდან გავრცელებული ბგერა უფრო მაღალი ტონალობისაა**.

5. ანალოგიური მსჯელობით მივიღებთ, რომ **მიმღების მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე, როცა ის უძრავი ბგერის წყაროს შორდება, ასე გამოითვლება:**

$$\nu' = \nu\,(1 - \frac{v_გ}{c}) \qquad (15)$$

მე-14 და მე-15 ტოლობების გაერთიანებით კი მივიღებთ, რომ **მიმღების მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე, როცა ის უძრავი ბგერის წყაროს უახლოვდება ან შორდება, ასე გამოითვლება;**

$$\boxed{\nu' = \nu\,(1 \pm \frac{v_გ}{c})} \qquad (2.8.2)$$

„+“ ნიშანი იწერება მაშინ, როცა მიმღები უძრავ წყაროს უახლოვდება, ხოლო „–“ იწერება მაშინ, როცა მიმღები უძრავ წყაროს შორდება.

2.8.1

1. გამოთვალე, როგორია მიმღების მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე, თუ:

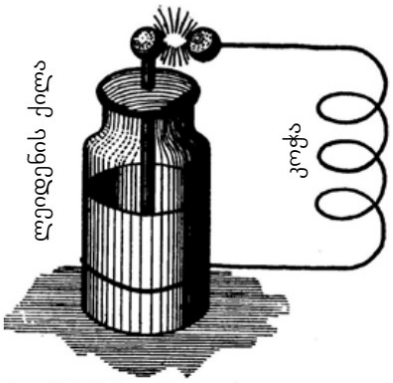
ა) **მიმღები ბგერის უძრავ წყაროს უახლოვდება სიჩქარით:** $v_გ = 0{,}9\ c$.

ბ) **ბგერის წყარო უძრავ მიმღებს უახლოვდება სიჩქარით:** $v_წ = 0{,}9\ c$.

2. შეადარე, რომელ შემთხვევაშია უფრო შესამჩნევი მიმღების მიერ აღქმული ბგერის სიხშირის ცვლილება.

Don't copy

2.9 თავისუფალი ელექტრული რხევები



სურ. 2.9.1

XIX საუკუნეში ელექტრომაგნეტიზმის განვითარებამ ტექნიკასა და სამრეწველო სფეროში რევოლუციურ პროცესებს დაუდო დასაბამი. ერსტედის, ამპერის ცნობილი ცდების შემდეგ, მეცნიერები ცდილობდნენ შეექმნათ ძლიერი ელექტრომაგნიტი, რომელიც ელექტროძრავის, ტელეგრაფის, რელეს, ტელეფონის ელექტრულ სქემაში ძირითადი დეტალი იყო. ეს მოგვიანებით. მანამდე კი უამრავი მეცნიერი ცდილობდა გამოეძებნა საშუალება, რომ კოჭას შიგნით მოთავსებული გულარი, რაც შეიძლება, ძლიერად დაემაგნიტებინა.

...კოჭაზე გამტარს ახვევდნენ, კოჭას შიგნით ფერომაგნიტური მასალისგან დამზადებულ გულარს ათავსებდნენ და ხვიების ბოლოებს მუდმივი დენის წყაროს გამოსასვლელებს უერთებდნენ. მათ იცოდნენ, რომ ძლიერი მაგნიტის შექმნა ხვიებში გამავალ დენის ძალაზე იყო დამოკიდებული და ცდილობდნენ, რაც შეიძლება დიდი დენი გაეტარებინათ კოჭაში.

მუდმივი დენის წყაროდ გალვანურ ელემენტს ან ვოლტას სვეტს იყენებდნენ, რომელთა ემძ 10 ვოლტს არ აღემატებოდა ($\varepsilon = 10$ ვ) და შიდა წინაღობა მნიშვნელოვნად დიდი იყო ($r = 1$ ომი).

იმისათვის, რომ კოჭას ხვიებში დენის ძალა გაეზარდათ, კოჭას წინაღობას ამცირებდნენ: მასზე საკმაოდ დიდი განივკვეთის მქონე მსხვილ მავთულს ახვევდნენ (გახსოვს, ალბათ, $R = \rho\frac{\ell}{S}$) და კოჭას წინაღობას $R = 0{,}01$ ომამდე მცირდებოდა.

კოჭას ვოლტას სვეტს უერთებდნენ და ხვიებში, ფაქტობრივად, მოკლე ჩართვის დიდი დენი გადიოდა:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} = \frac{10\text{ ვ}}{(0{,}01+1)\text{ ომი}} \approx 10\text{ ამპერი}$$

10 ამპერი იყო ის მაქსიმალური დენის ძალა, რისი მიღებაც იმდროინდელ მეცნიერსა თუ ინჟინერს შეეძლო. ისინი ცდილობდნენ, კიდევ უფრო გაეზარდათ დენის ძალა და გზას ეძებდნენ (გაითვალისწინე, ეს არის ის პერიოდი, როცა ჯერ კიდევ არავინ იცის რა არის კოჭას ინდუქციურობა, თვითინდუქციის მოვლენა).

1926 წელს ფრანგმა ასტრონომმა **ფელიქს სავარმა** (1797 – 1841) შეამჩნია, რომ დამუხტული ლეიდენის ქილა (კონდენსატორი), როცა მას რკინის ნემსზე დახვეულ მავთულს უერთებდა, განიმუხტებოდა და ნემსი ხან ერთი მიმართულებით, ხან კიდევ მის საპირისპიროდ მაგნიტდებოდა. მეცნიერებმა ვერ ახსნეს კონდენსატორის „უცნაური“ ქცევა, მაგრამ კონდენსატორის გამოყენება თავიანთი მიზნისთვის გადაწყვიტეს. ისინი, ფიქრობდნენ, რომ თუ ლეიდენის ქილას ვოლტას სვეტით წინასწარ $U = 10$ ვ-მდე დამუხტავდნენ და დამუხტულ კონდენსატორს, როგორც დენის წყაროს, ისე გამოიყენებდნენ, შეეძლოთ დიდი დენის მიღება.

გამოთვალეს კიდეც დენის ძალა, რომელიც, მათი ვარაუდით, კოჭაში ($R = 0{,}01$ ომი) აღიძვრებოდა, თუ მას კონდენსატორს მიუერთებდნენ:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10\text{ ვ}}{0{,}01\text{ ომი}} = 1000\text{ ამპერი!}$$

Don't copy

ეს წარმოუდგენელად კარგი შედეგი იყო. მართალია, ლეიდენის ქილა სწრაფად განიმუხტებოდა და კოჭას გულარი არ მაგნიტდებოდა, მაგრამ დიდი დენის მიღება მაინც წინგადადგმული ნაბიჯი იყო.

დადგა ექსპერიმენტის დროც. ააწყეს წრედი (სურ. 2.9.1), დამუხტულ ლეიდენის ქილას კოჭა მიუერთეს... მაგრამ სამწუხაროდ, იმედგაცრუებულები დარჩნენ. **კოჭაში გამავალი დენი საკმაოდ მცირე იყო.** გულარი კი, არათუ არ დამაგნიტდა, როცა კოჭაში დამაგნიტებული გულარი შეჰქონდათ, ის მაგნიტურ თვისებებს საერთოდ კარგავდა.

1842 წელს, **ჯოზეფ ჰენრიმ** გაიმეორა სავარის ცდები. ლეიდენის დამუხტულ ქილას გალვანომეტრს უერთებდა. გალვანომეტრის ისარი ქილის განმუხტვისას აქეთ-იქეთმოძრაობდა და ძალიან სწრაფად უბრუნდებოდა თავის პირვანდელ მდგომარეობას.

ჰენრი დასკვნამდე მივიდა: ლეიდენის ქილის შემონაფენებზე მუხტის ნიშანი პერიოდულად იცვლებოდა და, შესაბამისად, იცვლებოდა წრედში დენის მიმართულება. ის მიხვდა, რომ კონდენსატორის განმუხტვისას ელექტრული რხევები აღიძვრებოდა, მაგრამ რატომ არ იზრდებოდა წრედში გამავალი დენი, ვერ ახსნა. ჰენრიმ არც იმ კოჭას მიაქცია ყურადღება, რომელიც გალვანომეტრის ძირითადი ნაწილი იყო.



სურ. 2.9.2

1853 წელს ბრიტანელმა მეცნიერმა **უილიამ ტომსონმა** თავისი წინამორბედების ცდები გაიმეორა (სურ. 2.9.2): დამუხტული კონდენსატორის შემონაფენებს კოჭა მიუერთა და კონდესატორის განმუხტვისას ელექტრული რხევების აღძვრა საბოლოოდ დაადასტურა. მან დაასკვნა, რომ **ელექტრული რხევების მიზეზი კონდენსატორია, რადგან ის თავად არის მერხევი სისტემა**. ტომსონმა მოვლენა მათემატიკურად აღწერა და ელექტრული რხევის სიხშირის გამოსათვლელი ფორმულაც დაადგინა:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{AC}}$$

A-ს კონდენსატორის **დინამიკური ტევადობა** უწოდა, ხოლო C-ს – **სტატიკური**. რატომ არ იზრდებოდა კოჭაში გამავალი დენი მანაც ვერ ახსნა და ვერც კოჭას როლი შეაფასა ელექტრული რხევების აღძვრის მოვლენაში (ეს მოგვიანებით, მაქსველის ელექტრომაგნიტური თეორიის საფუძველზე შეძლეს).

დრომ აჩვენა, რომ ტომსონის წარმოდგენა კონდენსატორზე სიმართლეს არ შეესაბამებოდა, თუმცა მისი ფორმულა დღესაც გამოიყენება ელექტრული რხევების შესწავლისას.

რატომ არ იზრდებოდა დენი კონდენსატორის განმუხტვისას, რა არის ელექტრული რხევა, რა როლი ეკისრა კოჭას ტომსონის სქემაში და რისთვის იყენებენ ტომსონის ფორმულას, ამ პარაგრაფში შეიტყობ.

მანამდე კი გაიხსენე: **რხევა** ნებისმიერი პროცესის მახასიათებლების ცვლილებაა, რომელიც გარკვეული დროის შემდეგ ზუსტად ან მიახლოებით მეორდება.

მექანიკური რხევის დროს ზოგიერთი ფიზიკური სიდიდის (კოორდინატის, სიჩქარის, აჩქარების) ცვლილება ისეთივე რაოდენობრივი კანონებით აღიწერება, როგორითაც ელექტრომაგნიტური მოვლენების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების (მუხტის, დენის ძალის, ძაბვის) რხევები. **მექანიკური და ელექტრომაგნიტური რხევები ერთნაირი კანონზომიერებით მიმდინარეობს** და სწორედ იმიტომ, რომ ელექტრომაგნიტური რხევების ფიზიკური ბუნება უფრო თვალსაჩინო ყოფილიყო, ჯერ მექანიკური რხევები შევისწავლეთ, ახლა კვლავ ელექტროდინამიკას ვუბრუნდებით და ელექტრომაგნიტურ რხევებს განვიხილავთ.

Don't copy

2.9.1. ელექტრული რხევები

გაიხსენე: ელექტრულ ველს აქვს ენერგია და ეს ენერგია შეიძლება სხვა სახის ენერგიად გარდაიქმნას. მაგ., თუ დამუხტულ კონდენსატორს ნათურას მივუერთებთ, კონდენსატორის განმუხტვისას მისი ელექტრული ველის ენერგია ნათურის სითბურ და სინათლის ენერგიად გარდაიქმნება.

გაიხსენე: თუ ნათურას პარალელურად ინდუქციურობის კოჭას მივუერთებთ, წრედის განრთვისას ნათურა მყისიერად კაშკაშა სინათლით განათდება, რაც იმაზე მიანიშნებს, რომ **კოჭას მაგნიტური ენერგიაც** შეიძლება სხვა სახის (სინათლის, სითბურ) ენერგიად გარდაიქმნას.

თავისუფალი მექანიკური რხევების დროს მერხევი სისტემის პოტენციური ენერგია კინეტიკურად გარდაიქმნება და – პირიქით. შესაძლებელია თუ არა, რომ თავისუფალი რხევები ელექტრულ წრედშიც აღიძრას და ელექტრული ველის ენერგია მაგნიტური ველის ენერგიად გარდაიქმნას (ან – პირიქით)?

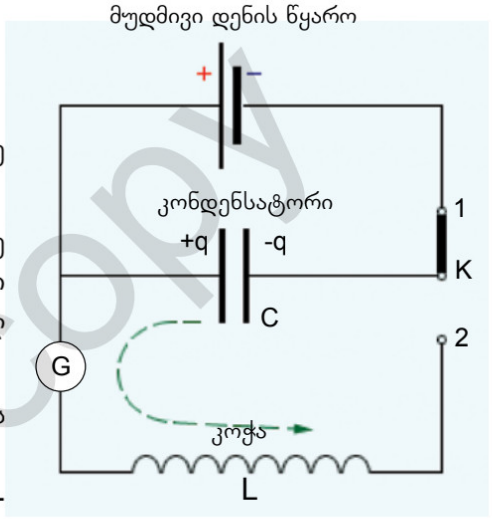
ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად ჩაატარე ცდა:

ცდა I

1. ააწყე ელექტრული წრედი 2.9.3 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით;

2. დამუხტე კონდენსატორი: მიუერთე კონდენსატორის შემონაფენები მუდმივი დენის წყაროს (გადართე ჩამრთველი **1**-ელ წერტილში);

3. ჩახსენი დამუხტული კონდენსატორის შემონაფენები მუდმივი დენის წყაროდან. მიუერთე შემონაფენები დიდი ინდუქციურობის კოჭასა და გალვანომეტრს. გადართე ჩამრთველი მე-**2** წერტილში (სურ.2.9.3).



სურ. 2.9.3

დააკვირდი გალვანომეტრის ისარს იმ დროს, როცა ჩამრთველს მე-2 წერტილში გადართავ: რას ამჩნევ? როგორ მოძრაობას ასრულებს ის (დაახლოებით ასეთ ცდას ატარებდა ჯოზეფ ჰენრიც)?

გამოთქვი ვარაუდი: რაზე მიგანიშნებს გალვანომეტრის „ქცევა“?

I ცდაში გალვანომეტრის ისარი ჯერ ერთ მხარეს გადაიხრება, შემდეგ კვლავ სკალის ნულოვან დანაყოფზე დაბრუნდება, გაივლის მას და საწინააღმდეგო მხარეს გადაიხრება და ა.შ. **გალვანომეტრის ისარი რამდენიმე რხევას შეასრულებს**.

გალვანომეტრის **ისრის რხევა გვიჩვენებს**, რომ კონდენსატორის განმუხტვისას კოჭაში გამავალი **დენის ძალა და დენის მიმართულება პერიოდულად იცვლება**. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **პერიოდულად იცვლება კონდენსატორის მუხტი და ძაბვა შემონაფენებს შორის.**

ელექტრულ წრედში, ისევე როგორც მექანიკურ სისტემაში (მაგ., ზამბარიან და მათემატიკურ ქანქარაში), შესაძლებელია, აღიძრას **ელექტრული რხევები, ანუ მუხტის, დენის ძალისა და ძაბვის პერიოდული (ან თითქმის პერიოდული) ცვლილებები.**

ელექტრული რხევების მიღება ისევე მარტივია, როგორც ქანქარას რხევის გამოწვევა, მაგრამ მათზე უშუალო დაკვირვება შეუძლებელია, რადგან კონდენსატორის გადამუხტვას, კოჭაში გამავალ დენს ვერ ვხედავთ და ამასთან, ელექტრული რხევების სიხშირე ძალიან მაღალია.

დააკვირდი ელექტრულ რხევებს ვირტუალურ ლაბორატორიაში:
http://bitly.ws/zZbu

Don't copy

2.9.2. რხევითი კონტური

როგორ აღიძვრება ელექტრული რხევები ელექტრულ წრედში? უმარტივესი სისტემა, რომელშიც ელექტრული რხევები აღიძვრება, კონდენსატორისა და მის შემონაფენებთან მიერთებული კოჭასაგან შედგება. ასეთ სისტემას **რხევითი კონტური ჰქვია** (რხევითი კონტურია სწორედ ის წრედი, რომელსაც ტომსონი თავის ცდებში იყენებდა) (სურ. 2.9.3).

როცა ჩამრთველი **1**-ელ წერტილშია გადართული (სურ. 2.9.3), კონდენსატორი მუდმივი დენის წყაროსთანაა მიერთებული და იმუხტება. კონდენსატორს სისტემის წონასწორობის მდგომარეობიდან გამომყვანი მუხტი (q_0) გადაეცემა (კონდენსატორის დამუხტვა ქანქარას წონასწორობის მდგომარეობიდან მაქსიმალურად გადახრის ეკვივალენტურია). გაიხსენე: **დამუხტული კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგია გამოითვლება ფორმულით:**

$$W_{ელ} = \frac{q_0^2}{2C} \qquad (2.9.1)$$

რომელშიც C კონდენსატორის ელექტროტევადობაა, ხოლო q_0 – ის მაქსიმალური მუხტია, რომელიც კონდენსატორს დამუხტვისას გადაეცა.

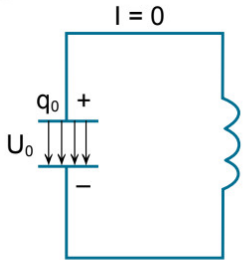
ვთქვათ, კონდენსატორი დაიმუხტა და ჩამრთველი მე-**2** წერტილში გადავრთეთ (სურ. 2.9.3).

1. საწყისი მომენტი (t = 0) (სურ. 2.9.4, ა):

ა) კონდენსატორის მუხტი და, შესაბამისად, კონდენსატორის ელექტრული ენერგია მაქსიმალურია: $q = max = q_0$, $W_{ელ} = max$ (ელექტრული რხევების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების ცვლილება ასახულია 2.9.1 ცხრილში);

ბ) ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის მაქსიმალურია:

$$U = \frac{q_0}{C} = max = U_0.$$



სურ. 2.9.4, ა) t = 0

გ) დენის ძალა წრედში (I) და, შესაბამისად, კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია ($W_მ$) ნულის ტოლია:

$$I = 0,\ W_მ = \frac{LI^2}{2} = 0 \ (L – კოჭას ინდუქციურობაა).$$

დააკვირდი: ელექტრული რხევითი სისტემის 1-ელი მდგომარეობა (ანუ, როცა კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგია მაქსიმალურია) ზამბარიანი ქანქარას იმ მდგომარეობის ანალოგიურია, როცა ზამბარა მაქსიმალურადაა შეკუმშული ($x = |A|$) (სურ. 2.1.5). **გაიხსენე:** ამ მომენტში ზამბარის პოტენციური ენერგია მაქსიმალურია, ხოლო ზამბარის ბოლოზე მიმაგრებული სხეულის კინეტიკური ენერგია ნულის ტოლია:

$$E_{პოტ} = \frac{kA^2}{2};\ E_{კინ} = 0.$$

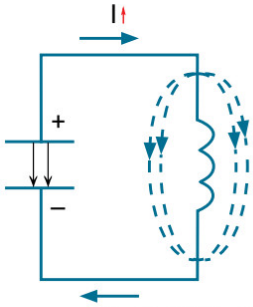
2.9.1

მოძებნე ანალოგები ელექტრული და მექანიკური რხევების მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეებს შორის. რომელია ელექტრული ველის ენერგიის ანალოგიური სიდიდე? მაგნიტური ველის ენერგიის? მუხტის? ძაბვის? დენის ძალის?

2. კონდენსატორი განმუხტვას იწყებს (სურ. 2.9.4, ბ):

ა) კონდენსატორის მუხტი და, შესაბამისად, კონდენსატორის ელექტრული ენერგია მცირდება: $q \downarrow$, $W_{ელ} \downarrow$;

ბ) ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის მცირდება, $U \downarrow$;



სურ. 2.9.4, ბ

Don't copy

გ) წრედში ელექტრული დენი აღიძვრება, რომელიც თვითინდუქციის მოვლენის გამო მაქსიმალურ მნიშვნელობას მყისიერად ვერ აღწევს. დენი კოჭაში თანდათან იზრდება ($I\uparrow$) და, შესაბამისად, თანდათან იზრდება კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია ($W_მ\uparrow$).

2.9.2

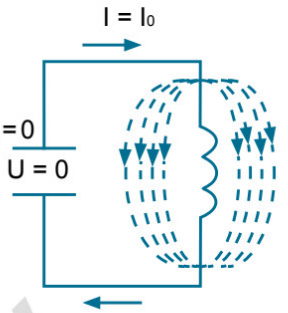
გამოიყენე ანალოგია და დაფიქრდი: ზამბარიანი ქანქარას რხევის რომელ ეტაპს შეესაბამება რხევითი კონტურის **მე-2** მდგომარეობა?

3. კონდენსატორი სრულად განიმუხტა (სურ. 2.9.4, გ):

ა) კონდენსატორის მუხტი და, შესაბამისად, კონდენსატორის ელექტრული ენერგია ნულის ტოლია: $q = 0$, $W_ელ = 0$;

ბ) ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ნულის ტოლია:

$$U = \frac{q}{C} = 0;$$



სურ. 2.9.4, გ) t = T/4

გ) დენის ძალა კოჭაში და, შესაბამისად, კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია კი თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს:

$$I = max = I_0 \ , \ W_მ = max = \frac{LI_0^2}{2}.$$

2.9.3

გამოიყენე ანალოგია და დაფიქრდი: ზამბარიანი ქანქარას რხევის რომელ ეტაპს შეესაბამება რხევითი კონტურის **მე-3** მდგომარეობა?

მიუხედავად იმისა, რომ ამ მომენტისთვის ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებზე ნულის ტოლია, ელექტრული დენი, თვითინდუქციის მოვლენის გამო, მყისვე არ წყდება: როგორც კი დენი კოჭაში და, შესაბამისად, მისი მაგნიტური ველი შემცირებას დაიწყებს, კოჭაში თვითინდუქციის ემძ და ინდუქციური დენი აღიძვრება, რომლის მიმართულება ძირითადი დენის მიმართულებას დაემთხვევა და მის შემცირებას ეწინააღმდეგება. კოჭაში აღძრული ინდუქციური დენით კონდენსატორი ხელახლა იმუხტება (გადამუხტვას იწყებს).

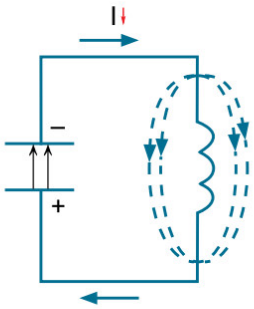
4. კონდენსატორი ხელახლა იმუხტება (სურ. 2.9.4, დ):

ა) დენი კოჭაში თანდათან მცირდება ($I\downarrow$) და, შესაბამისად, მცირდება კოჭას მაგნიტური ველის ენერგიაც ($W_მ\downarrow$);

ბ) მუხტის მოდული კონდენსატორების შემონაფენებზე იზრდება და შემონაფენებზე საპირისპირო ნიშნის მუხტი გროვდება: $q\uparrow$;

გ) კონდენსატორის ელექტრული ენერგია თანდათან იზრდება: $W_ელ\uparrow$;

დ) ძაბვის მოდული კონდენსატორის ფირფიტებს შორის იზრდება ($U\uparrow$) და ძაბვის ნიშანი საპირისპიროთი იცვლება.



სურ. 2.9.4, დ

2.9.4

1. გამოიყენე ანალოგია და დაფიქრდი: ზამბარიანი ქანქარას რხევის რომელ ეტაპს შეესაბამება რხევითი კონტურის **მე-4** მდგომარეობა?

2. დაფიქრდი: რომელი მოვლენის ანალოგიურია თვითინდუქციის მოვლენა?

5. კონდენსატორი მაქსიმალურადაა დამუხტული (სურ. 2.9.4, ე):

ა) კონდენსატორის შემონაფენები, საწყის მდგომარეობასთან (როცა $t = 0$) შედარებით, **საპირისპირო ნიშნის მაქსიმალური მუხტითაა დამუხტული:** $|q| = max = q_0$;

Don't copy

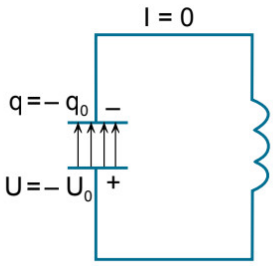
ბ) კონდენსატორის ელექტრული ენერგია მაქსიმალურია:

$$W_{ელ} = max;$$

გ) ძაბვა კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მაქსიმალურია:

$$|U| = \frac{q_0}{C} = max = U_0$$

დ) კოჭაში გამავალი გამავალი დენის ძალა და, შესაბამისად, კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია ნულის ტოლია: $I = 0$, $W_მ = 0$.

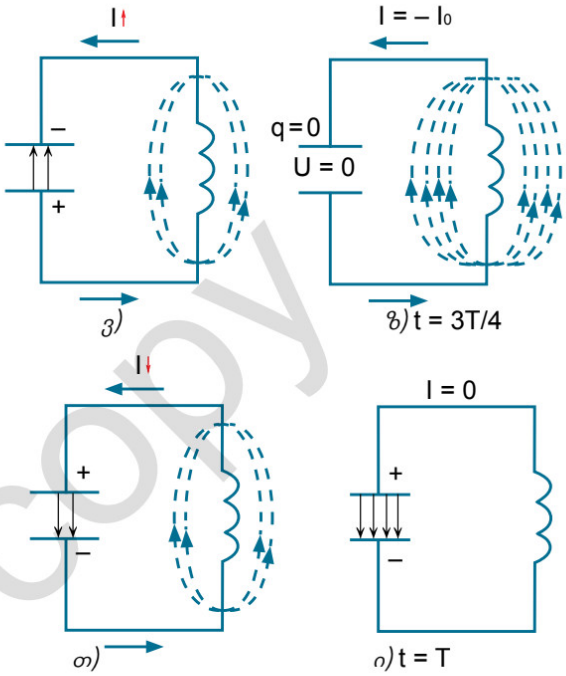


სურ. 2.9.4, ე) t = T/2

2.9.5

გამოიყენე ანალოგია და დაფიქრდი: ზამბარიანი ქანქარას რხევის რომელ ეტაპს შეესაბამება რხევითი კონტურის **მე-5** მდგომარეობა?

კონდენსატორის ხელახლა დამუხტვა იმ მომენტისათვის დასრულდება, როცა მუხტის სიდიდე კონდენსატორის შემონაფენებზე და ძაბვა შემონაფენებს შორის საწყის მნიშვნელობას მიაღწევს (მაგრამ ნიშანს შეიცვლის). ამის შემდეგ პროცესი განმეორდება. კონდენსატორის განმუხტვისას რხევით კონტურში საპირისპირო მიმართულების დენი გაივლის. კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგია კოჭას მაგნიტური ველის ენერგიად გარდაიქმნება (სურ. 2.9.4, ვ,ზ). მაგნიტური ველის ენერგიის ხარჯზე კი კონდენსატორი ხელახლა დაიმუხტება და სისტემა საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდება (სურ. 2.9.4, თ, ი), ანუ რხევით კონტურში **ერთი სრული რხევა** შესრულდება.



სურ. 2.9.4

2.9.6

გადაიხაზე 2.9.1 ცხრილი სამუშაო რვეულში და აღწერე, როგორ იცვლება ელექტრული რხევის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეები **პერიოდის მეორე ნახევარში.**

ცხრილი 2.9.1 თავისუფალი ელექტრული რხევის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების ცვლილება პერიოდის პირველი ნახევრის განმავლობაში.

	კონდენსატორის მუხტი, q	კონდენსატორის ელექტრული ენერგია $W_{ელ}$	ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის, U	დენის ძალა წრედში I	კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია $W_მ$
1. საწყისი მომენტი (t = 0) :	max; $q = q_0$	max	max	0	0
2. კონდენსატორი დაიწყებს განმუხტვას :	q ↓	$W_{ელ}$ ↓	U ↓	I ↑	$W_მ$ ↑
3. კონდენსატორი სრულად განიმუხტა (t = T/4):	0	0	0	max; $I = I_0$	max
4. კონდენსატორი ხელახლა იმუხტება:	q ↑	$W_{ელ}$ ↑	U ↑	I ↓	$W_მ$ ↓
5. კონდენსატორის შემონაფენები საპირისპირო ნიშნის მაქსიმალური მუხტით დაიმუხტა:	max; $q = q_0$	max	max	0	0

Don't copy

2.9.3. ენერგიის გარდაქმნა რხევით კონტურში

მაშ ასე, **რხევით კონტურში ელექტრული** (უფრო სწორედ კი, **ელექტრომაგნიტური**) **რხევები აღიძვრება.** მუხტი კონდენსატორის შემონაფენებზე, პოტენციალთა სხვაობა შემონაფენებს შორის და წრედში გამავალი დენი პერიოდულად იცვლება. ელექტრული რხევა თავისთავად, დამატებითი ენერგიის გარეშე მიმდინარეობს. სისტემას მხოლოდ ერთხელ, საწყის მომენტში გადავეცით ენერგია იმისათვის, რომ ის წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოგვეყვანა (დავმუხტეთ კონდენსატორი). ელექტრული რხევების შენარჩუნებას სისტემაში ენერგიის ურთიერთგარდაქმნა უზრუნველყოფს. პერიოდულად, ელექტრული ველის ენერგია მაგნიტური ველის ენერგიად გარდაიქმნება და – პირიქით.

ელექტრულ რხევებს, რომელიც დამატებითი ენერგიის გადაცემის გარეშე მიმდინარეობს, **თავისუფალი ელექტრული რხევები** ჰქვია.

თუ კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგია მთლიანად კოჭას მაგნიტური ველის ენერგიად გარდაიქმნება (და – პირიქით), მაშინ ყოველი ნახევარი პერიოდის შემდეგ კოჭას მაგნიტური ენერგიის ხარჯზე კონდენსატორი ხელახლა დაიმუხტება ისე, რომ მის შემონაფენებს შორის ძაბვა აბსოლუტური სიდიდით თავის თავდაპირველ მნიშვნელობას გაუტოლდება. პერიოდულად კონდენსატორი განიმუხტება და თავისუფალი ელექტრული რხევა უსასრულოდ დიდხანს გაგრძელდება.

იდეალურ რხევით კონტურში, როცა კონტურის R წინაღობა ნულის ტოლია (ან იმდენად მცირეა, რომ მისი უგულებელყოფა შეიძლება, $R \to 0$), წრედში ენერგიის კარგვა არ ხდება და ელექტრული რხევები **არამილევადია.**

რეალურ რხევით კონტურში თავისუფალი ელექტრული რხევები მილევადია, რადგან ენერგიის დანაკარგი გარდაუვალია. კოჭას, კონდენსატორსა და შემაერთებელ გამტარებს ყოველთვის აქვს წინაღობა და ამის გამო ენერგიის ნაწილი მათ შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება (თბება გამტარები, დიელექტრიკი). ამასთან, რაც მეტია კონტურის წინაღობა, მით უფრო სწრაფად მიილევა რხევები. საკმარისად დიდი წინაღობის დროს კი რხევები საერთოდ არ აღიძვრება. კონდენსატორი განიმუხტება და ხელახლა აღარ დაიმუხტება.

თუ რხევით კონტურში ენერგიის კარგვა არ ხდება (ანუ თუ წრედის წინაღობა ნულის ტოლია), ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად:

ა) კონდენსატორის ელექტრული და კოჭას მაგნიტური ველის ენერგიების მაქსიმალური მნიშვნელობები ტოლია:

$$W_{\text{ელ. max}} = W_{\text{მაგ. max}} \qquad \text{ანუ,} \qquad \frac{q_0^2}{2C} = \frac{LI_0^2}{2} \qquad (2.9.2)$$

ბ) დროის ნებისმიერ მომენტში რხევითი კონტურის სრული ენერგია (მაგნიტური და ელექტრული ველების ენერგიათა ჯამი) **მუდმივი სიდიდეა:**

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \text{const} \qquad \text{ან} \qquad \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \text{const} \qquad (2.9.3)$$

2.9.4. ანალოგია მექანიკურ და ელექტრულ რხევებს შორის

მიუხედავად იმისა, რომ ელექტრულ რხევას მექანიკურისაგან განსხვავებული ფიზიკური ბუნება აქვს, ისინი მსგავსი კანონზომიერებებით ხასიათდება. მაგ., ზამბარიანი ქანქარას რხევა ნიუტონის კანონებით აღიწერება, ელექტრული რხევებისა კი – ელექტროდინამიკის კანონებით, მაგრამ მათემატიკური განტოლებები, რომლებიც მექანიკურ და ელექტრულ რხევებს აღწერს, ანალოგიურია.

ელექტრული რხევების შესწავლისას ხშირად მიმართავენ პარალელებს, რომლებიც მათ მექანიკურ რხევებთან აკავშირებს. ზამბარაზე მიმაგრებული სხეულის თავისუფალ რხევასა და ელექტრულ რხევით კონტურში მიმდინარე პროცესს შორის არსებული მსგავსება საშუალებას გვაძლევს, რომ ელექტრული და მექანიკური რხევის მახასიათე-

Don't copy

ბელ ფიზიკურ სიდიდეებს შორის ანალოგიურები მოვნახოთ. სწორედ ასეთი ანალოგიებია წარმოდგენილი 2.9.2 ცხრილში:

ცხრილი 2.9.2. **ანალოგები ელექტრული და მექანიკური რხევის მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეებს შორის**

მექანიკური რხევა		ელექტრული რხევა	
კოორდინატი	x (t)	კონდენსატორის მუხტი	q (t)
სიჩქარე	$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$	დენის ძალა წრედში	$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$
მასა	m	ინდუქციურობა	L
სიხისტე	k	ელექტროტევადობის შებრუნებული სიდიდე	$\frac{1}{C}$
დრეკადობის ძალა	k x	ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებზე	$U = \frac{q}{C}$
ზამბარის პოტენციური ენერგია	$E_პ = \frac{kx^2}{2}$	კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგია	$W_ელ = \frac{q^2}{2C}$
კინეტიკური ენერგია	$E_კ = \frac{mv^2}{2}$	კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია	$W_მ = \frac{LI^2}{2}$
იმპულსი	m v	მაგნიტური ნაკადი	L I

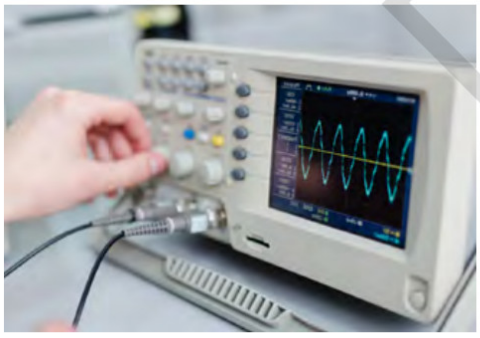
2.9.5. ოსცილოგრაფი

ელექტრულ რხევებზე დაკვირვებისა და მათი შესწავლის მიზნით, **ოსცილოგრაფს** იყენებენ (სურ. 2.9.5). ოსცილოგრაფის დახმარებით შესაძლებელია დროის მიხედვით სწრაფად ცვლადი პერიოდული პროცესების, მაგ. ელექტრული რხევების ჩაწერა (ოსცილოგრაფით მექანიკურ რხევებსაც იწერენ).

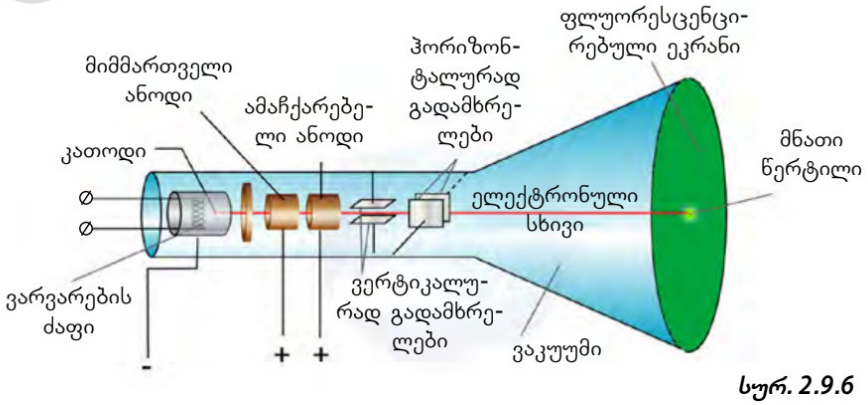
ოსცილოგრაფი ელექტრონული მოწყობილობაა, რომლის მთავარი ნაწილი **ელექტრონულ-სხივური მილაკია** (სურ. 2.9.6):

1. ოსცილოგრაფის (ელექტრონულ-სხივური მილაკის) ჩართვისას ეკრანზე **მნათი წერტილი** ჩანს: ელექტრონულ-სხივურ მილაკში ელექტრონების ვიწრო კონა (ელექტრონული სხივი) ეკრანის ცენტრს ეცემა (სურ. 2.9.7, ა);

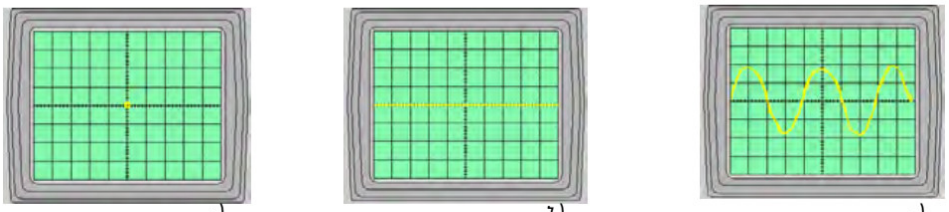
2. მას შემდეგ, რაც ოსცილოგრაფის ჰორიზონტალურად გადამხრელ ფირფიტებს შორის ცვლად, გამშლელ ძაბვას მოვდებთ, მნათი წერტილი ეკრანზე ჰორიზონტალურად, აქეთ-იქეთ იმოძრავებს. ეკრანზე ამ დროს მნათი ჰორიზონტალური ხაზი ჩანს (სურ. 2.9.7, ბ);



სურ. 2.9.5



სურ. 2.9.6



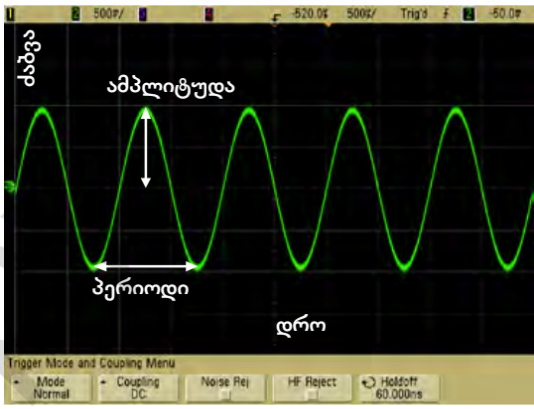
სურ.2.9.7 ა) ბ) გ)

Don't copy

3. თუ ოსცილოგრაფის ვერტიკალურად გადამხრელ ფირფიტებს დამუხტული კონდენსატორის შემონაფენებს მიუერთებთ, კონდენსატორის განმუხტვისას, მის შემონაფენებს შორის ძაბვის რხევა აღიძვრება: მნათი წერტილი (გარდა იმისა, რომ ჰორიზონტალურად ირხევა) ვერტიკალური მიმართულებითაც დაიწყებს რხევას. ასე რომ, მნათი წერტილი ორი სახის მოძრაობას ასრულებს: მოძრაობს ჰორიზონტალურად, აქეთ-იქეთ და იმავდროულად, ირხევა ვერტიკალური მიმართულებითაც. შედეგად, წერტილის (და, შესაბამისად, კონდენსატორის შემონაფენებზე ძაბვის) **რხევა დროში გაიშლება და ეკრანზე სინუსოიდა გამოჩნდება** (სურ. 2.9.7, გ).

ნახე ანიმაცია: http://bitly.ws/zUuZ http://bitly.ws/zUva

ოსცილოგრაფის ეკრანზე მიღებული სინუსოიდა ერთგვარი გრაფიკია, რომელიც ასახავს, თუ როგორ იცვლება რხევისას ძაბვა (ელექტრული სიგნალი) დროის მიხედვით (სურ. 2.9.8).



სურ. 2.9.8

ოსცილოგრაფი ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი მოწყობილობაა, რომელსაც როგორც სამეცნიერო-კვლევით დაწესებულებებში, ასევე გამოყენებით დარგებში (მედიცინაში, მანქანათმშენებლობაში, ტელესაკომუნიკაციო სისტემებში) იყენებენ. სპეციალურ ოსცილოგრაფებს იყენებენ მაგ., ავტომობილის აალების სისტემის მონიტორინგისთვის, გულისცემის რხევების ჩასაწერად ე.წ. ელექტროკარდიოგრაფებში და ა.შ.

2.9.6. ჰარმონიული ელექტული რხევები

ოსცილოგრაფის საშუალებით (გარდა იმისა, რომ მათემატიკური ანალიზითაა შესაძლებელი) მტკიცდება, რომ **იდეალურ რხევით კონტურში, რომლის წინაღობა შეიძლება უგულებელვყოთ** (სრული ენერგია ინახება), აღძრული თავისუფალი ელექტრული რხევისას ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებს შორის დროის მიხედვით კოსინუსის (ან სინუსის) კანონით იცვლება.

გაიხსენე: დროის მიხედვით ფიზიკური სიდიდის პერიოდულ ცვლილებას, რომელიც სინუსის ან კოსინუსის კანონით მიმდინარეობს, **ჰარმონიული რხევა** ჰქვია.

ასე რომ, **იდეალურ რხევით კონტურში აღძრული თავისუფალი ელექტრული რხევისას ძაბვა ჰარმონიულ რხევას ასრულებს** და მისი მნიშვნელობა დროის ნებისმიერ t მომენტში ასე გამოითვლება:

$$u(t) = U_0 \cos \omega_0 t \qquad (2.9.4)$$

სადაც U_0 კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობაა (ძაბვის რხევის ამპლიტუდაა), ხოლო ω_0 ძაბვის თავისუფალი რხევის **საკუთარი ციკლური სიხშირეა** (ანუ, რხევით კონტურში აღძრული **თავისუფალი ელექტრული რხევის საკუთარი ციკლური სიხშირეა**).

თუ გაითვალისწინებ, რომ $q = UC$ და 2.9.4 ტოლობის ორივე მხარეს C-ზე გაამრავლებ, მიიღებ, რომ **იდეალურ რხევით კონტურში აღძრული თავისუფალი რხევისას მუხტი ჰარმონიულ რხევას ასრულებს, რომელიც დროის მიხედვით ასე აღიწერება:**

$$q(t) = q_0 \cos \omega_0 t \qquad (2.9.5)$$

სადაც q_0 მუხტის რხევის ამპლიტუდაა (მაქსიმალური მუხტია, რომელიც კონდენსატორს წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოსაყვანად გადაეცა), $q(t)$ დენის ძალის მნიშვნელობა დროის ნებისმიერ t მომენტში, ხოლო ω_0 რხევით კონტურში აღძრული თავისუფალი ელექტრული რხევის (მუხტის რხევის) საკუთარი ციკლური სიხშირეა.

Don't co

იდეალურ რხევით კონტურში თავისუფალი რხევისას დროის მიხედვით დენის ძალაც ჰარმონიულად იცვლება და მისი რხევა შემდეგი კანონის შესაბამისად მიმდინარეობს:

$$i(t) = I_0 \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (2.9.6)$$

სადაც $i(t)$ დენის ძალის მნიშვნელობაა დროის ნებისმიერ t მომენტში (მყისი მნიშვნელობაა), ხოლო I_0 დენის ძალის რხევის ამპლიტუდაა, ხოლო ω_0 რხევით კონტურში აღძრული თავისუფალი ელექტრული რხევის (დენის ძალის რხევის) საკუთარი ციკლური სიხშირეა).

დააკვირდი 2.9.4 – 2.9.6 ფორმულებს: წრედში დენის ძალის რხევა $\pi/2$ ფაზით უსწრებს მუხტისა და ძაბვის რხევებს (კონდენსატორის განმუხტვისას აღძრული დენი მიზეზია, რის გამოც კონდენსატორის შემონაფენებზე მუხტი გროვდება. მიზეზი, ცხადია, შედეგს წინ უსწრებს).

ელექტრული რხევისას ძაბვის, მუხტის და დენის ძალის ამპლიტუდა საწყისი პირობებით განისაზღვრება (ანუ, შესაბამისად, ძაბვის, მუხტის და დენის ძალის მნიშვნელობით საწყის მომენტში, როცა $t = 0$).

საწყის პირობებზეა დამოკიდებული ასევე საწყისი ფაზაც. 2.9.4 და 2.9.5 ფორმულებში იგულისხმება, რომ $\varphi_0 = 0$ (გაიხსენე: ყოველთვის შეიძლება ისე შეარჩიო დაკვირვების დაწყების მომენტი, რომ საწყისი ფაზა ნულის ტოლი იყოს).

2.9.7. თავისუფალი ელექტრული რხევების სიხშირე და პერიოდი

გაიხსენე, როგორ გამოითვლება ზამბარიანი ქანქარას რხევის პერიოდი. თუ ანალოგიების 2.9.2 ცხრილს გამოიყენებ, მიიღებ, რომ **იდეალურ რხევით კონტურში თავისუფალი ელექტრული რხევების პერიოდი ასე გამოითვლება:**

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \qquad (2.9.7)$$

სწორედ 2.9.7 ფორმულაა **ტომსონის ფორმულა,** რომელსაც სახელი უილიამ ტომსონის პატივსაცემად დაარქვეს.

ელექტრული რხევების (მაგ., დენის ძალის, მუხტის, ძაბვის რხევის) **პერიოდი ის უმცირესი დროა,** რომლის შემდეგაც ელექტრული რხევების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების მოდული და მიმართულება (ნიშანი) მეორდება (როცა სისტემა (ფიზიკური სიდიდე), თავის საწყის მდგომარეობას (მნიშვნელობას) უბრუნდება).

გაიხსენე: პერიოდის შებრუნებულ სიდიდეს **რხევის სიხშირე** ჰქვია ($\nu = 1/T$). **რხევის სიხშირე 1 ჰერცია (1 ჰც)** თუ 1 წმ-ში 1 რხევა სრულდება.

იდეალურ რხევით კონტურში თავისუფალი რხევების სიხშირე ასე გამოითვლება:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (2.9.8)$$

სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს, რამდენი რხევა სრულდება 2π წამის განმავლობაში, **რხევის საკუთარი ციკლური სიხშირე** ჰქვია: $\omega_0 = 2\pi\nu$.

იდეალურ რხევით კონტურში თავისუფალი რხევების საკუთარი ციკლური სიხშირე ასე გამოითვლება:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (2.9.9)$$

2.9.9 ფორმულიდან ჩანს, რომ თავისუფალი ელექტრული რხევის საკუთარი ციკლური სიხშირე რხევითი კონტურის პარამეტრებით (კოჭას ინდუქციურობითა და კონდენსატორის ელექტროტევადობით) განისაზღვრება.

Don't copy

2.10 ცვლადი დენის გენერატორი



სურ. 2.10.1. *ნიკოლა ტესლა*

მას მოიხსენიებდნენ როგორც „გენიას“, „ელვის მბრძანებელს“, „ელექტრობის ღმერთს“... უამრავი ეპითეტით ამკობდნენ ადამიანს, რომელიც კაცობრიობის ისტორიაში თავისი საოცარი გამოგონებების რაოდენობითა და შინაარსით არქიმედესა და ლეონარდო და ვინჩის გვერდით ღირსეულ ადგილს იკავებს. **ნიკოლა ტესლა** (1856 - 1943) – ადამიანი, „რომელმაც დროს გაუსწრო“... რომელმაც „ XX საუკუნე შექმნა “... – ასე ამბობდნენ მასზე.

ტესლას ინტერესის სფერო მეტწილად რადიო– და ელექტროტექნიკა იყო. ის განუწყვეტლივ კითხულობდა თავისი წინამორბედების შრომებს, იძიებდა, სწავლობდა, ხელახლა იკვლევდა უკვე აღმოჩენილს და ახალს იგონებდა. ელექტრომაგნეტიზმი მისი ისედაც მდიდარი წარმოსახვისთვის შთაგონების წყარო იყო. მას სჯეროდა, რომ ტექნოლოგიური პროგრესი **ცვლადი დენის** გარეშე შეუძლებელი იყო. მისი ძირითადი გამოგონებები იმ ელექტრულ მანქანებს უკავშირდება, რომლებიც ცვლად დენზე მუშაობს.

ცვლადი დენის შესახებ ფიზიკოსებმა ტესლამდეც დიდი ხნით ადრე იცოდნენ, თუმცა თვლიდნენ, რომ ცვლადი დენი „უსარგებლო რამ“ იყო და მისი გამოყენების პერსპექტივას ვერავინ ხედავდა.

ტესლას განსხვავებული აზრი ჰქონდა, ის უზარმაზარი პოტენციალს ხედავდა ცვლად დენში. ყველგან და ყველას უმტკიცებდა, უხსნიდა, სთხოვდა თანამშრომლობას, პარტნიორობას, ხმამაღლა აცხადებდა:

„... მუდმივი დენი ერთი მიმართულებით გადის გამტარში, ცვლადი კი წამში 50-60-ჯერ იცვლის მიმართულებას...

– მუდმივი ძაბვის ამაღლება შეუძლებელია, ცვლადი ძაბვის ამაღლება კი საკმაოდ მაღალ ნიშნულამდეა შესაძლებელი, რაც საშუალებას იძლევა, რომ ელექტროენერგია დიდ მანძილებზე სიმძლავრის მინიმალური დანაკარგით გადავცეთ...

– შეგვიძლია, მაღალი ცვლადი ძაბვა, სურვილისამებრ, ისევ დავადაბლოთ იმისათვის, რომ ფაბრიკა-ქარხნებს მივაწოდოთ...“

ტესლა თვლიდა, რომ ტექნოლოგიური პროგრესი მხოლოდ ცვლადი დენის შემთხვევაში იქნებოდა შესაძლებელი, მისი ოცნება იყო უსადენო განათების სისტემის შექმნა.

ტესლა ერთნაირად ძლიერი იყო როგორც თეორიულ, ისე საინჟინრო მიმართულების ფიზიკაში. მის სახელს უკავშირდება კვლევები ცვლად დენზე, ცვლადი დენის გენერატორის, ძრავას, ელექტრომომარაგების მრავალფაზიანი სისტემის, ტრანსფორმატორის (ე.წ. ტესლას კოჭას) შექმნა, რადიოკავშირის პრინციპების ჩამოყალიბება, პირველი რადიოგადამცემის შექმნა და კიდევ უამრავი რამ.

300 საავტორო გამოგონება აქვს დაპატენტებული და უამრავი ისეთი, რომელთა პატენტისთვის ან აღარ იბრძოლა ან საჭიროდ არ მიიჩნია, რადგან დიდი მნიშვნელობა არ მიანიჭა (ასე იყო უცნობი სხივების აღმოჩენისას, როცა ჩათვალა, რომ „დიდი არაფერი“ იყო და ყურადღება არ მიაქცია. ეს რენტგენის სხივები იყო, რომელმაც მომავალში მის აღმომჩენს ნობელის პრემია მოუტანა).

1888 წელს ამერიკის ინჟინერ-ელექტრიკოსთა ინსტიტუტის მიერ ორგანიზებულ კონფერენციაზე ტესლა საზოგადოების წინაშე წარდგა და მათ **ალტერნატორი** (ცვლადი დენის გე-

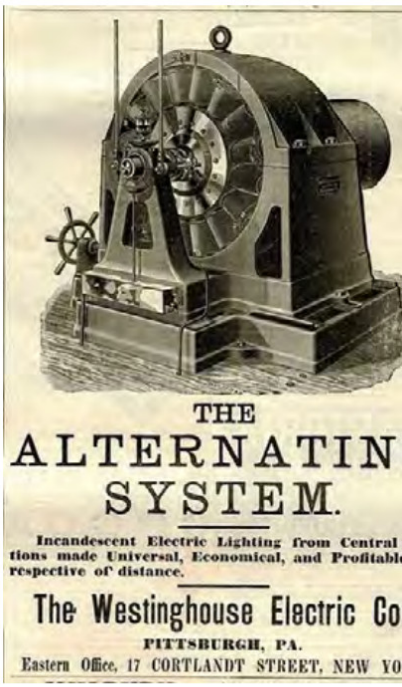
Demo copy

ნერატორი, რომელიც 1891 წელს დააპატენტა) (სურ. 2.10.2) და ტრანსფორმატორის ახალი სისტემა გააცნო.

სწორედ მაშინ შეამჩნია ტესლა ამერიკელმა გამომგონებელმა და მეწარმემ **ჯორჯ ვესტინგჰაუზ - უმცროსმა** და მისით დაინტერესდა. ვესტინგჰაუსი ტესლას ლაბორატორიაში ეწვია და ნანახმა ყოველგვარ მოლოდინს გადააჭარბა. ტესლას ლაბორატორია და მისი მიმდებარე ტერიტორია სავსე იყო ცვლად დენზე მომუშავე სისტემებით: სხვადასხვა გენერატორებით, ტრანსფორმერებითა და ძრავებით.

ვესტინგჰაუსმა ტესლას პარტნიორობა შეთავაზა...

... დავუშვათ გვაქვს ცვლადი დენი. რაში უნდა გამოვიყენოთ? ჩვენ ხომ არ გვაქვს მანქანები, რომლებიც ცვლად დენს იყენებენ – ამბობდნენ ცვლადი დენის მოწინააღმდეგეები. ტესლა ადგა და ცვლადი დენის ძრავა (ასინქრონული მანქანა) შექმნა.



სურ. 2.10.2

ძირითადი მიზეზი, რის გამოც ცვლადი დენის ძრავას გამოყენება შეუძლებლად მიაჩნდათ, იყო ის, რომ ის ერთფაზიანი იყო. მოგვიანებით ტესლამ შექმნა და დააპატენტა კიდეც მოდიფიცირებული მრავალფაზიანი ძრავები, ცვლადი დენის გენერატორები და ყველა პატენტი ვესტინგჰაუზს მიჰყიდა.

ტესლა ხმამაღლა ამბობდა:

– თომას ედისონის მუდმივი დენის ელექტრული სადგურები არაეფექტურია...

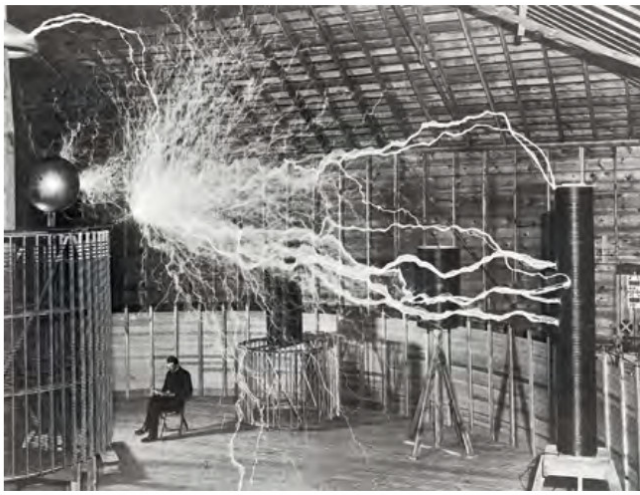
(არადა ედისონის მუდმივი დენის ელექტროსადგურები მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე, ყოველ 3 კმ-ში, შენდებოდა. მუდმივი დენის გადაცემა 3 კმ-ზე უფრო შორ მანძილზე არ შეეძლოთ, შეუძლებელი იყო მუდმივი ძაბვის ამაღლება, რაც მნიშვნელოვანია ელექტროენერგიის დიდ მანძილზე გადასაცემად).

– ედისონის ნათურები სუსტი ნათებითა და არაეკონომიურობით გამოირჩევა...

ედისონი მიხვდა, რომ სერიოზული კონკურენტი გამოუჩნდა და შეიძლებოდა, თავისი მუდმივი დენის იმპერია დაეკარგა. დაიწყო ომი ტესლა-ვესტინგჰაუზსა და ედისონს შორის, რომელიც **დენების ომის** სახელითაა ცნობილი.

ედისონი ამტკიცებდა, რომ ცვლადი დენი გაცილებით სახიფათო იყო, ვიდრე მუდმივი. არც ტესლა იჯდა უსაქმოდ: ედისონის ყველა მცდელობას, ცვლადი დენის სახელი შეელახა, ახალი გამოგონებით პასუხობდა. სწორედ მაშინ ჩაატარა მან თავისი ცნობილი ექსპერიმენტი და თავისივე ტრანსფორმატორისგენერირებული მილიონობით ვოლტი ძაბვის ქვეშ მიმდინარე მრისხანე ელექტრული განმუხტვების ფონზე გამოჩნდა (სურ. 2.10.3).

საბოლოოდ ტესლამ და ვესტინგჰაუსმა გაიმარჯვეს. მიუხედავად იმისა, რომ ამ გამარჯვებას დაძაბული ეკონომიკური თუ იურიდიული ბრძოლების ფონზე მიაღწიეს, მათი დამსახურებაა ის, რომ ჯერ ამერიკის შეერთებული შტატები, შემდეგ კი მთელი მსოფლიო ცვლად დენზე მომუშავე უფრო პროგრესული ელექტრული მანქანების გამოყენებაზე გადავიდა.

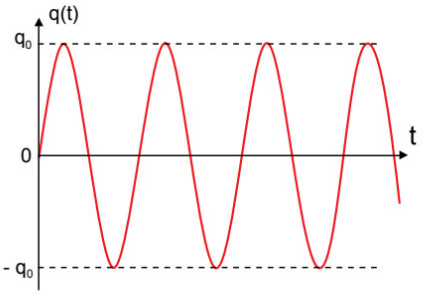


სურ. 2.10.3

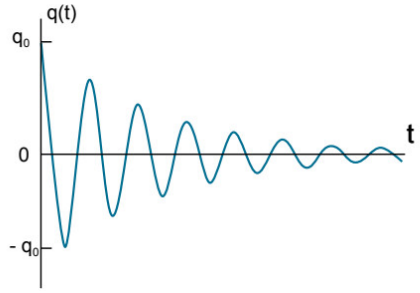
რა არის ცვლადი დენის გენერატორი, როგორია მისი მოქმედების პრინციპი, როგორ ხდება ცვლადი დენის გენერირება და რა მახასიათებლები აქვს მას, ამ და მომდევნო პარაგრაფში გაეცნობი.

Don't copy

2.10.1 იძულებითი ელექტრული რხევები



სურ. 2.10.4



სურ. 2.10.5

შენ იცი, რომ თუ იდეალურ რხევით კონტურში (კონტურის R წინაღობა ნულის ტოლია ან იმდენად მცირეა, რომ მისი უგულებელყოფა შეიძლება, $R \to 0$) მიულევადი **თავისუფალი ელექტრული რხევა** აღიძვრება, რომელიც ჰარმონიული კანონით აღიწერება (სურ. 2.10.4).

რეალურ რხევით კონტურში კი **თავისუფალი ელექტრული რხევები მილევადია**, რადგან ენერგიის დანაკარგი გარდაუვალია. კოჭას, კონდენსატორსა და შემაერთებელ სადენებს ყოველთვის აქვთ წინაღობა და ამის გამო ენერგიის ნაწილი მათ შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება. მილევადი რხევები ჰარმონიული კანონით არ აღიწერება და, შესაბამისად, მუხტის, ძაბვისა და დენის ძალის ცვლილება დროის მიხედვით სინუსოიდით (ან კოსინუსოიდით) არ გამოისახება. **დააკვირდი** 2.10.5 სურათს. მასზე გამოსახული მრუდი მილევადი რხევისას დროის მიხედვით მუხტის ცვლილებას ასახავს: რხევით კონტურში მუხტის რხევის ამპლიტუდა მუდმივი არ არის – ის დროის მიხედვით თანდათან მცირდება.

დააკვირდი ელექტრულ რხევებს ვირტუალურ ლაბორატორიაში:

http://bitly.ws/zZab
http://bitly.ws/zZbu

თავისუფალი ელექტრული რხევები პრაქტიკაში თითქმის არ გამოიყენება სწორედ იმიტომ, რომ ისინი სწრაფად მიილევა. უფრო მნიშვნელოვანია **არამილევადი რხევები**, რომლებიც შეიძლება უსასრულოდ დიდხანს გაგრძელდეს.

მექანიკური რხევების შესწავლისას ჩვენ გავეცანით ქანქარას **იძულებით რხევებს:** როცა გარე ძალის პერიოდული ზემოქმედების შედეგად ქანქარას მექანიკური ენერგიის შევსება ხდება და, მიუხედავად ხახუნის ძალების არსებობისა, ქანქარას რხევები არ მიილევა. სწორედ ასევე, იმისათვის, რომ რხევით კონტურში **იძულებითი არამილევადი რხევები** აღიძრას (ანუ ელექტრული რხევები განუსაზღვრელად დიდხანს შენარჩუნდეს), აუცილებელია, გარე ძალების პერიოდული ზემოქმედების შედეგად კონტურის ენერგიის მარაგი პერიოდულად შეივსოს.

გაიხსენე **ომის კანონი სრული წრედისთვის:** დენის ძალა წრედში პირდაპირპროპორციულია დენის წყაროს ემძ-ისა. **თუ დენის წყაროს ემძ დროის მიხედვით არ იცვლება** და წრედის (რომელშიც დენის წყაროა ჩართული) პარამეტრები უცვლელია, წრედის შეკვრის შემდეგ გარკვეულ დროში წრედში **მუდმივი დენი** (რომლის მნიშვნელობა და მიმართულება დროის მიხედვით უცვლელია) გაივლის.

თუ დენის წყაროს ემძ დროის მიხედვით პერიოდულად იცვლება, წრედში მისი ჩართვისას აღიძვრება **იძულებითი ელექტრული რხევები.**

იძულებითი ელექტრული (ელექტრომაგნიტური) **რხევები** ეწოდება დენის ძალისა და ძაბვის პერიოდულ ცვლილებას წრედში, რომელიც დენის წყაროს ცვლადი ემძ-ის მოქმედებითაა გამოწვეული.

სწორედ იძულებითი ელექტრომაგნიტური რხევები უზრუნველყოფს ელექტრული ძრავების, გამნათებელი სისტემების მუშაობას, როგორც საყოფაცხოვრებო, ისე სამრეწველო და ტექნოლოგიურ სფეროში.

DO NOT COPY

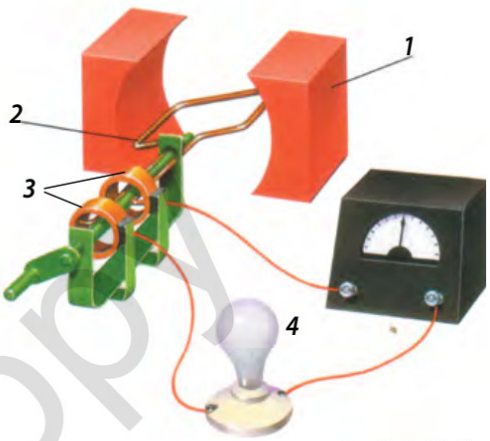
იძულებითი ელექტრული (ელექტრომაგნიტური) **რხევების აღძვრის მიზნით** ელექტროსადგურებში **ცვლადი დენის გენერატორებს** იყენებენ.

2.10.2. ცვლადი დენის გენერატორი

ცვლადი დენის გენერატორი მოწყობილობაა, რომელშიც მექანიკური ენერგია ცვლადი დენის ელექტრულ ენერგიად გარდაიქმნება. ცვლადი დენის გენერატორის მოქმედების პრინციპის ასახსნელად განვიხილოთ გენერატორის გამარტივებული სქემა, რომელშიც ხვიების გრაგნილი (ჩარჩო) მუდმივ მაგნიტურ ველში ბრუნავს (სურ. 2.10.6).

დააკვირდი ცვლადი დენის გენერატორის მუშაობის პრინციპს ვირტუალურ ლაბორატორიაში:

http://bitly.ws/zZum
http://bitly.ws/zZur



სურ. 2.10.6

გენერატორი ორი ძირითადი ნაწილისაგან შედგება (სურ. 2.10.6). ესენია:

1. ინდუქტორი (1) – ელექტრომაგნიტი ან მუდმივი მაგნიტი, რომელიც მაგნიტურ ველს ქმნის;

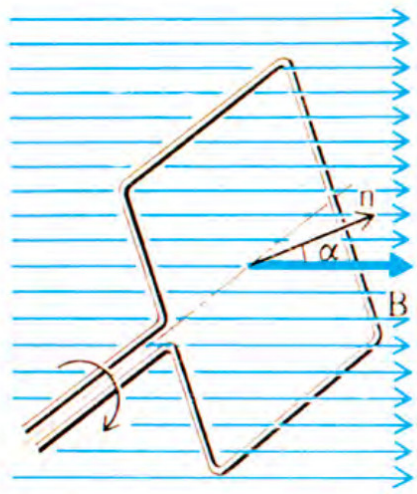
2. ღუზა (2) – გამტარი ხვიების გრაგნილი (ჩარჩო), რომელშიც ცვლადი ემ ძალა აღიძვრება.

ცვლადი დენის გენერატორის მოქმედება ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენას ემყარება.

ვთქვათ, გამტარი ჩარჩო (ხვიების გრაგნილი), რომლის მიერ შემოსაზღვრული ზედაპირის ფართობია S, მუდმივი მაგნიტის პოლუსებს შორის **ერთგვაროვან** მაგნიტურ ველში თანაბრად ბრუნავს;

ვთქვათ, ჩარჩოს ბრუნვისას მაგნიტური ველის ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორი ჩარჩოს დადებით $\vec{n}$ ნორმალთან α კუთხეს ქმნის (სურ. 2.10.7);

დავუშვათ, რომ საწყის მომენტში $\alpha = \varphi_0$;



სურ. 2.10.7

ჩარჩოს ბრუნვისას მაგნიტურ ველში, ჩარჩოს მიერ შემოსაზღვრულ S ფართობს მაგნიტური Φ ნაკადი განჭოლავს, რომელიც ასე განისაზღვრება:

$$\Phi = BS\cos\alpha, \qquad (2.10.1)$$

ჩარჩოს თანაბარი ბრუნვისას α კუთხე დროის მიხედვით წრფივად შეიცვლება:

$$\alpha = 2\pi nt + \varphi_0 \qquad (2.10.2)$$

სადაც n ჩარჩოს ბრუნვის სიხშირეა (1 წმ-ში ბრუნვათა რიცხვი), $2\pi n$ კი ჩარჩოს ბრუნვათა რიცხვია 2π წამში (ჩარჩოს ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა). მაგნიტური ნაკადის ცვლილების (რხევის) ციკლური სიხშირე (ω) ასე გამოითვლება:

$$\omega = 2\pi n$$

2.10.2 ტოლობა ასე ჩაიწერება:

$$\alpha = \omega t + \varphi_0 \qquad (2.10.3)$$

2.10.3-ის გათვალისწინებით კი 2.10.1 ტოლობა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\Phi = BS\cos(\omega t + \varphi_0) \qquad (2.10.4)$$

Don't copy

მაგნიტური ნაკადის ცვლილების შედეგად გამტარ ჩარჩოში ინდუქციის ემძ აღიძვრება, რომელიც, ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის თანახმად, საპირისპირო ნიშნით აღებული მაგნიტური ინდუქციის ნაკადის ცვლილების სიჩქარის ტოლია:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \qquad (2.10.5)$$

2.10.1 და 2.10.5 ფორმულებისა და მათემატიკური ანალიზის გამოყენებით მტკიცდება, რომ **გამტარ ჩარჩოში აღძრული ინდუქციის ემ ძალა ასე გამოითვლება:**

$$\varepsilon = BS\omega\sin(\omega t + \varphi_0) \qquad (2.10.6)$$

სადაც $BS\omega$ ინდუქციის **ემძ-ს რხევის ამპლიტუდაა** (ε_0):

$$\varepsilon_0 = BS\omega \qquad (2.10.7)$$

დავუშვათ, რომ დაკვირვების დაწყების მომენტში ჩარჩოს ორიენტაცია მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართ ისეთია, რომ $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$, მაშინ 2.10.6 გამოსახულება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\varepsilon = BS\omega\sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = BS\omega\cos\omega t \qquad (2.10.8)$$

შენიშვნა: სინუსის კოსინუსით ჩანაცვლება საწყისი ფაზის ცვლილებას ნიშნავს, რასაც იძულებითი რხევებისას არსებითი მნიშვნელობა არ აქვს, მაგრამ 2.10.7 სახით ინდუქციის ემძ-ის გამოსახვა შემდგომში მსჯელობას გაგვიმარტივებს.

მაშ ასე, ელექტროსადგურების **ცვლადი დენის გენერატორში** აღიძვრება ელექტრომამოძრავებელი ძალა, რომელიც დროის მიხედვით ჰარმონიულად, კოსინუსის (ან სინუსის) კანონის მიხედვით იცვლება:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0\cos\omega t \qquad (2.10.9)$$

სადაც $\varepsilon(t)$ გენერატორის ემძ-ს მყისი მნიშვნელობაა დროის ნებისმიერ t მომენტში,
ε_0 ემძ-ს რხევის ამპლიტუდაა: $\varepsilon_0 = BS\omega$,
ω – ემძ-ს რხევის საკუთარი ციკლური სიხშირე.

2.10.9. ფორმულა გამოყვანილია იმ შემთხვევისთვის, როცა ჩარჩო ერთი ხვიისგან შედგება. **თუ ჩარჩოზე N რაოდენობის ხვიაა, მაშინ ემძ-ს რხევის ამპლიტუდა ასე გამოითვლება:**

$$\varepsilon_0 = NBS\omega \qquad (2.10.10)$$

ასე რომ, **ინდუქციის ემ ძალის რხევის ამპლიტუდა პირდაპირპროპორციულია :**
ა) ხვიების რაოდენობის (N);
ბ) ხვიებით შემოსაზღვრული ზედაპირის ფართობის(S);
გ) რხევის საკუთარი ციკლური სიხშირისა (ω);
დ) იმ მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდულის (B), რომელშიც ღუზა ბრუნავს.

თუ გენერატორის შიდა წინაღობა (ხვიების წინაღობა) მცირეა და მისი უგულებელყოფა შესაძლებელია, მაშინ **გენერატორის გამოსასვლელზე ძაბვა დროის მიხედვით ისეთივე კანონით შეიცვლება, როგორითაც გენერატორის ემძ:**

$$u(t) = U_0\cos\omega t \qquad (2.10.11)$$

სადაც $u(t)$ გენერატორის გამოსასვლელზე ძაბვის მყისი მნიშვნელობაა დროის ნებისმიერ t მომენტში;

U_0 ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობაა, რომელიც N რაოდენობის ხვიის შემთხვევაში ასე გამოითვლება:

$$U_0 = NBS\omega. \qquad (2.9.12)$$

Don't copy

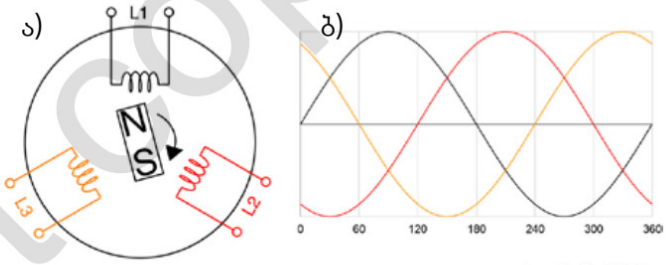
თუ მოსრიალე კონტაქტების (სურ. 2.10.6, 3) დახმარებით გამტარი ხვიების გრაგნილის (ჩარჩოს) ბოლოებს ელექტრომომხმარებელს (4), მივუერთებთ, დროის მიხედვით ჰარმონიულად ცვლადი ინდუქციის ემძ-ს მოქმედების შედეგად წრედში **დენის ძალის იძულებითი ჰარმონიული რხევა**, ანუ **ცვლადი დენი** აღიძვრება.

ელექტრულ დენს, რომლის სიდიდე და მიმართულება დროის მიხედვით იცვლება, **ცვლადი დენი** ჰქვია, ამასთან, თუ ცვლადი დენის ძალა პერიოდულად იცვლება, მას **პერიოდულად ცვლად (ან პერიოდულ) დენს** უწოდებენ.

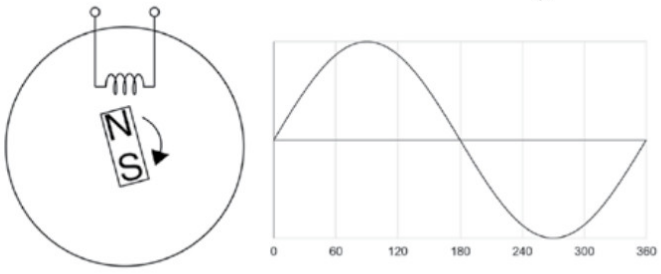
მრეწველობაში მეტწილად ჰარმონიულად ცვლად დენს იყენებენ. სამრეწველო ელექტროდანადგარები გათვლილია სინუსოიდურ ცვლად დენზე, რომლის სიხშირე 50 ჰერცია (დენი 1 წმ-ში 50 რხევას ასრულებს).

ჩვენ მიერ განხილულ მოდელში **გენერატორის მბრუნავი ნაწილი (როტორი)** ხვიების გრაგნილია (გამტარი ჩარჩოა), ხოლო **უძრავი ნაწილი (სტატორი)** – მუდმივი მაგნიტი ან ელექტრომაგნიტია. პრაქტიკაში, უმეტესად, განსხვავებული კონსტრუქციის გენერატორებს იყენებენ, რომელშიც **როტორი ელექტრომაგნიტია, სტატორი კი – გენერატორის ღუზა** (ხვიების გრაგნილი). სამრეწველო გენერატორებში ელექტრომაგნიტი იმ დენით იკვებება, რომელსაც გენერატორი გამოიმუშავებს.

2.10.8, ა სურათზე გამოსახულია **ცვლადი დენის სამფაზიანი გენერატორის** გამარტივებული სქემა. გენერატორში **როტორი მაგნიტია** (მუდმივი ან ელექტრომაგნიტი), ხოლო **სტატორების** როლში სამი, ერთმანეთისადმი 120^0-იანი კუთხით განლაგებული **კოჭაა** (ხვიათა სამი გრაგნილია).



სურ. 2.10.8



სურ. 2.10.9

მაგნიტის ბრუნვისას თითოეულ კოჭაში ცვლადი დენი ინდუცირდება. სამფაზიან გენერატორში ერთდროულად სამი ცვლადი დენი მიიღება, რომელთა ფაზები წანაცვლებულია (სურ. 2.10.8, ბ): როცა ერთი კოჭას ხვიებში ცვლადი დენი თავის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას ერთი მიმართულებით აღწევს, მეორე კოჭაში ამ დროს საპირისპირო მიმართულების მაქსიმალური დენი გადის. მესამე კოჭაში კი ცვლადი დენის მყისი მნიშვნელობა ამ დროს ნულის ტოლია. ერთფაზიანი გენერატორისგან (სურ. 2.10.9) განსხვავებით, სამფაზიანში პერიოდის განმავლობაში ერთი მიმართულების დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობა სამჯერ მიიღწევა და მის მიერ გამომუშავებული სიმძლავრე პრაქტიკულად უცვლელია (ნულამდე არასდროს ეცემა).

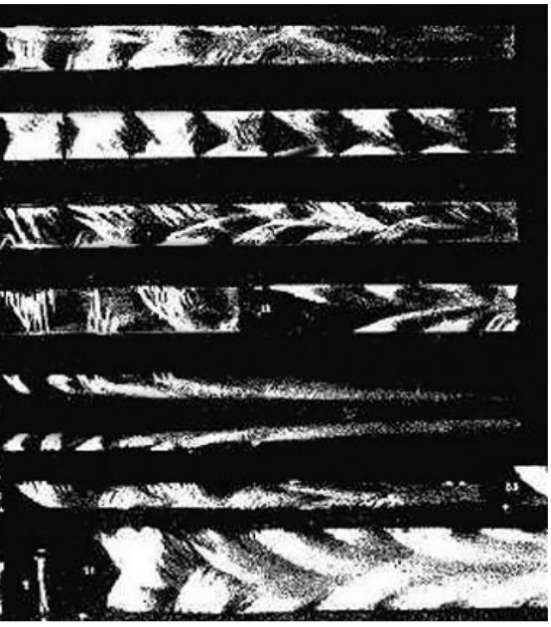
დააკვირდი სამფაზიანი გენერატორის მოქმედების პრინციპს
ვირტუალურ ლაბორატორიაში: http://bitly.ws/zZuz
ვიდეოში: http://bitly.ws/zZra

Don't copy

2.11 ცვლადი დენის წრედი



სურ. 2.11.1



სურ. 2.11.2

როგორ გაგრძელდა ისტორია, რომელიც XIX საუკუნის დასაწყისში ფიზიკოსების ოცნებას ეხებოდა – მიეღოთ, რაც შეიძლება, დიდი დენი წრედში, რომელიც კონდენსატორისა და კოჭასგან შედგებოდა.

ელექტრული რხევები, რომელიც სავარმა და ჰენრიმ შეამჩნიეს, ტომსონმა კი მათემატიკურად აღწერა, ბოლომდე შესწავლილი მაინც არ იყო. ვერც ერთმა მათგანმა ვერ ახსნა კოჭას როლი რხევით კონტურში და მიზეზი, რის გამოც მასში დიდი დენი არ მიიღებოდა.

1859 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა **ბერენდ უილიამ ფედერსენმა** (1832 – 1918) კვლავ გაიმეორა ექსპერიმენტები ლეიდენის ქილის განმუხტვაზე და შეძლო განმუხტვისას მიღებული ნაპერწკლის ფოტოგრაფირება, ნაპერწკლისა, რომლის ხანგრძლივობა 0,000025 წმ-ს შეადგენდა (სურ.2.11.1).

ფედერსენმა აღმოაჩინა, რომ ნაპერწკლის ხანმოკლე „ბიოგრაფია“ კიდევ უფრო საინტერესო იყო, ვიდრე ის ერთი შეხედვით ჩანდა. ნაპერწკლის მნათი კვალი წყვეტილი იყო. ის რამდენიმე ნათელი ლაქისგან შედგებოდა, რომლებიც ერთმანეთისგან ბნელი უბნებით იყო გამოყოფილი (სურ. 2.11.2). ეს იმას ნიშნავდა, რომ ლეიდენის ქილის ბურთულებს შორის ნაპერწკლები 0,000025 წმ-ის განმავლობაში ერთი მეორის მიყოლებით ჩნდებოდა. **ფედერსენმა ფოტოზე ამ დროის განმავლობაში რვა ნაპერწკალი დათვალა!**

ფედერსენი უამრავ ცდას ატარებდა: ის ცდებში ხან ერთ ლეიდენის ქილას, ხანაც მთელ ბატარეას იყენებდა, ხან უახლოებდა ერთმანეთს ქილის ბურთულებს (კონდენსატორის შემონაფენებს), ხანაც აშორებდა. ცვლიდა თავად ბურთულებსაც, შემაერთებელ სადენებად ხან მსხვილსა და მოკლე მავთულის იყენებდა, ხანაც – წვრილსა და გრძელს. ლეიდენის ქილას ხან მხოლოდ კოჭას უერთებდა, ხანაც – მხოლოდ დატვირთვას (წინაღობას) და ყოველ ჯერზე ნაპერკალს ფოტოს უღებდა.

ნაპერწკალი სხვადასხვა დროს სხვადასხვა სიკაშკაშის, განსხვავებული სიგრძისა და ხანგრძლივობის მიიღებოდა. ყველა ფოტოზე ნათელი ლაქები, სერიებად, ერთმანეთის მიყოლებით ჩანს. რატომ იყო ნაპერწკალი წყვეტილი, რატომ არ იკვალავდა ელექტრული მუხტი ბურთულებს შორის გზას უწყვეტად?

ფედერსენმა გაიხსენა 1853 წელს გამოქვეყნებული სტატია, რომელშიც ლეიდენის ქილის განმუხტვა იყო აღწერილი, თუმცა სტატიის ავტორი ექსპერიმენტის შედეგებს არ ეყრდნობოდა. მას განმუხტვის პროცესი რაოდენობრივად ჰქონდა აღწერილი. სტატია **უილიამ ტომსონს** ეკუთვნოდა. ტომსონი მათემატიკური ანალიზით აღწერდა, როგორ იცვლება ელექტრული მუხტი ლეიდენის ქილის განმუხტვისას.

„...აი, თურმე, რაში ყოფილა საქმე, – გაიფიქრა ფედერსენმა – კონდენსატორის ბურთულებს შორის განმუხტვისას დენი ხან ერთი და ხან მეორე მიმართულებით გადის. დენის ყოველი გასვლისას ბურთულებს შორის ნაპერწკალი ჩნდება. დენი პერიოდულად ნულამდე ეცემა (და ბნელი უბნები ფოტოზე სწორედ ამის მანიშნებელია) და მერე ისევ

Don't copy

იზრდება. კონდენსატორი პერიოდულად გადაიმუხტება და ბურთულების (შემონაფენების) მუხტის ნიშანი იცვლება. ასე გრძელდება მანამ, სანამ კონდენსატორი მთლიანად არ განიმუხტება, სანამ მის ბურთულებზე მუხტი ნულის ტოლი არ გახდება... “

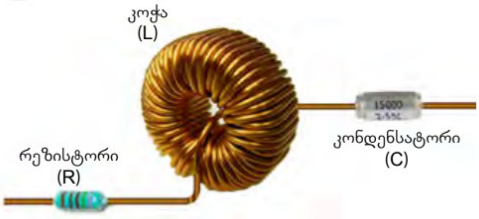
ფედერსენმა ექსპერიმენტულად დაადასტურა ტომსონის ვარაუდი, რომ ელექტრული ნაპერწკალი განმუხტვის რამდენიმე სერიისგან შედგება და თითოეული სერიის დროს ლეიდენის ქილის ბურთულებს შორის ცვლადი დენი გადის, რომელიც მიმართულებას ყოველი მომდევნო სერიის დროს იცვლის.

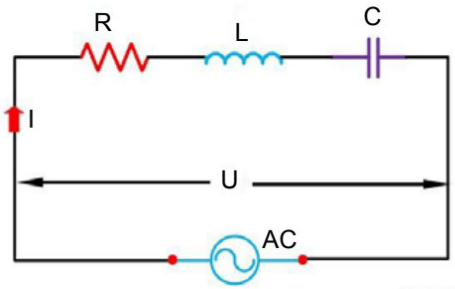
ფედერსენმა პირველმა აღწერა კონდენსატორის, კოჭასა და წინაღობის (დატვირთვის) როლი ელექტრული რხევების აღძვრისას. ის იმ მიზეზსაც მიხვდა, რატომ არ იზრდებოდა დენი მნიშვნელოვნად რხევით კონტურში.

ფედერსენის ელექტრული ნაპერწკლის ფოტოები იმდენად შთამბეჭდავი იყო და სრულიად სამეცნიერო საზოგადოება ისე აღაფრთოვანა, რომ მეცნიერებს მთავარი გამორჩათ: არავინ იფიქრა, რა ხდებოდა იმ ადგილის მიმდებარე სივრცეში, სადაც ელექტრული ნაპერწკალი ჩნდებოდა. ამაზე მოგვიანებით, **ჰენრიხ ჰერცი** დაფიქრდა და მეცნიერების ისტორიაში პირველად ელექტრომაგნიტური ტალღების არსებობა ექსპერიმენტულად დაადასტურა.

რა როლი აქვს ცვლადი დენის (ელექტრული რხევების) აღძვრის პროცესში დატვირთვას, რომლის წინაღობაა R; კოჭას, რომლის ინდუქციურობაა L და კონდენსატორს, რომლის ელექტროტევადობაა C. რატომ არ იზრდება დენი მნიშვნელოვნად რხევით კონტურში (ცვლადი დენის წრედში), ამ პარაგრაფში გაეცნობი.

2.11.1 წინაღობა ცვლადი დენის წრედში





სურ. 2.11.3

უმარტივესი **ცვლადი დენის წრედი** შედგება: **რეზისტორის** (R), **კოჭას** (L), **კონდენსატორისა (C)** და **ცვლადი დენის წყაროსგან** (AC).

წრედის შემადგენელი ელემენტები (რეზისტორი, კოჭა, კონდენსატორი) ერთმანეთთან შეიძლება მიმდევრობით ან პარალელურად იყოს ჩართული.

ცვლადი დენის წრედს **RLC წრედსაც** უწოდებენ, სადაც ლათინური ასოები წრედის ელემენტების აღსანიშნავად გამოიყენება და მათ თანმიმდევრობაზე არ მიანიშნებს (სურ. 2.11.3).

აღმოჩნდა, რომ ელექტრული **წრედი მასში გამავალ დენს განსხვავებულ წინააღმდეგობას უწევს იმის მიხედვით, დენი ცვლადია თუ მუდმივი.**

ცვლადი დენის წრედში, განსხვავებით მუდმივი დენის წრედისგან, **ორი სახის წინაღობაა:**

1. აქტიური R წინაღობა – წრედის იმ ელემენტების წინაღობაა, რომლებშიც ელექტრული ენერგია შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება: აქტიურ წინაღობაზე სითბო გამოიყოფა.

2. რეაქტიული X წინაღობა – წრედის იმ ელემენტების წინაღობაა, რომლებშიც ელექტრული ენერგია შინაგანად არ გარდაიქმნება.

მუდმივი დენის შესწავლისას რეზისტორის (წრედში ჩართული დატვირთვის) წინაღობას **ელექტრულ წინაღობას** (R_0), ან უბრალოდ, **წინაღობას (ომურ წინაღობას)** ვუწოდებთ: $R_0 = \rho\ell/S$.

ცვლადი დენის წრედში ჩართული რეზისტორის R წინაღობა **აქტიური წინაღობაა,** რომელიც აღემატება იმავე რეზისტორის წინაღობას (R_0), როცა ის მუდმივი დენის წრედშია ჩართული: $R > R_0$.

Don't copy

მაგ., გამოთვლები აჩვენებს, რომ 10^6 ჰც სიხშირის ცვლადი დენის წრედში 2 მმ დიამეტრის სპილენძის გამტარის წინაღობა 7-ჯერ აღემატება იმავე გამტარის წინაღობას მუდმივი დენის წრედში. მრეწველობასა და ყოფა-ცხოვრებაში გამოყენებული ცვლადი დენის (რომლის სიხშირე 50 ჰც-ია) შემთხვევაში კი წინაღობის ნაზრდი 0,0003%-ს არ აღემატება, ამიტომ სტანდარტული სიხშირის ცვლადი დენის შემთხვევაში წვრილი, სწორი გამტარების აქტიური წინაღობა მიახლოებით მათი „ომური“ წინაღობის ტოლად შეიძლება ჩავთვალოთ.

კონდენსატორი და **ინდუქციურობის კოჭა** ცვლადი დენის წრედის ის ელემენტებია, რომლებშიც, პრაქტიკულად, ელექტრული ენერგია შინაგანად არ გარდაიქმნება. მათ წინაღობებს, შესაბამისად, **ტევადობით** (X_C) და **ინდუქციურ** (X_L) წინაღობებს უწოდებენ. **ტევადობითი და ინდუქციური წინაღობა ცვლადი დენის წრედში რეაქტიულ წინაღობას ქმნის.**

აღსანიშნავია, რომ ელექტრულ წრედში არ არსებობს ისეთი ელემენტი, რომლის წინაღობა მხოლოდ აქტიური, მხოლოდ ტევადობითი ან მხოლოდ ინდუქციურია.

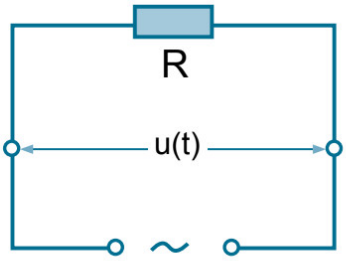
მაგ., ინდუქციურობის კოჭას ხვიები მასში დენის გავლისას თბება, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ კოჭას აქვს როგორც ინდუქციური, ისე აქტიური წინაღობა.

კონდენსატორის დიელექტრიკის გათბობა კი იმაზე მიანიშნებს, რომ კონდენსატორს, გარდა ტევადობითისა, აქტიური წინაღობაც აქვს. გარდა ამისა, ნებისმიერ გამტარს აქვს გარკვეული ტევადობა და ინდუქციურობა და, შესაბამისად, მისი წინაღობა მხოლოდ აქტიური არ არის.

ხშირად პრაქტიკაში წრედის ისეთ ელემენტებს იყენებენ, რომლებსაც აქტიური, ტევადობითი და ინდუქციური წინაღობებიდან მხოლოდ ერთ-ერთი აქვს მკვეთრად გამოხატული. ამ ელემენტის დანარჩენი ორი სახის წინაღობა კი შედარებით უმნიშვნელოა და შეიძლება უგულებელვყოთ. სწორედ ასეთ იდეალიზებულ შემთხვევებში შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ რეზისტორს მხოლოდ აქტიური წინაღობა აქვს, კონდენსატორს მხოლოდ – ტევადობითი, კოჭას კი – მხოლოდ ინდუქციური.

2.11.2.აქტიური წინაღობა ცვლადი დენის წრედში

თუ ცვლადი დენის წრედში ძაბვა ω სიხშირით ირხევა, მაშინ წრედში დენის ძალაც იმავე სიხშირით შეიცვლება. დენის რხევის ფაზა შეიძლება ემთხვეოდეს ძაბვის რხევის ფაზას, თუმცა ეს აუცილებელი არ არის. განვიხილოთ სხვადასხვა შემთხვევები და ვნახოთ, **როგორ გამოითვლება დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა, დავადგინოთ მისი რხევის ფაზის წანაცვლება ძაბვის რხევის ფაზასთან შედარებით.**



სურ. 2.11.4

ვთქვათ, ცვლადი დენის წრედში **მხოლოდ აქტიური R წინაღობის რეზისტორია ჩართული** (იგულისხმება, რომ რეზისტორის ინდუქციურობა, შემაერთებელი გამტარების აქტიური და ინდუქციური წინაღობა უგულებელყოფილია) (სურ. 2.11.4).

რეზისტორის ბოლოებზე ჰარმონიული კანონით ცვლადი ძაბვაა მოდებული, რომლის მნიშვნელობა დროის ნებისმიერ მომენტში (მყისი ძაბვა) ასე განისაზღვრება:

$$u(t) = U_0 \cos\omega t \qquad (2.11.1)$$

ისევე, როგორც მუდმივი დენის შემთხვევაში, **ცვლადი დენის ძალის მყისი მნიშვნელობაც ძაბვის მყისი მნიშვნელობის პირდაპირპროპორციულია**. რეზისტორში გამავალი დენის მყისი მნიშვნელობის გასაგებად შეგვიძლია ერთგვაროვანი წრედისთვის **ომის კანონი** გამოვიყენოთ:

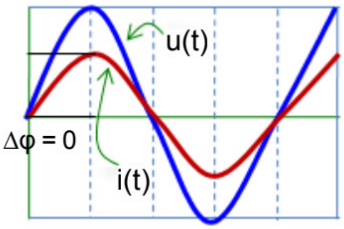
$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{U_0 \cos\omega t}{R} = I_0 \cos\omega t \qquad (2.11.2)$$

Don't copy

ასე რომ **ცვლადი დენის წრედში, რომელშიც მხოლოდ აქტიური R წინაღობაა ჩართული, დენის ძალის ამპლიტუდა განისაზღვრება ფორმულით:**

$$I_0 = \frac{U_0}{R} \qquad (2.11.3)$$

2.11.1 და 2.11.2 ფორმულებიდან ჩანს, რომ **თუ ცვლადი დენის წრედში მხოლოდ აქტიური R წინაღობაა ჩართული, ძაბვისა და დენის ძალის რხევა ერთნაირი სიხშირითა და ერთნაირ ფაზაში მიმდინარეობს** (ფაზათა სხვაობა 0-ის ტოლია, $\Delta\varphi = 0$) (სურ. 2.11.5).



სურ. 2.11.5

2.11.3. დენის ძალისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა

გაიხსენე: მუდმივი დენის წრედში R წინაღობის მქონე უბანზე გამოყოფილი სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულებით:

$$P = IU \qquad (2.11.4)$$

$$P = I^2R \qquad (2.11.5)$$

$$P = \frac{U^2}{R} \qquad (2.11.6)$$

დროის ძალიან მცირე შუალედში ცვლადი დენი შეიძლება მუდმივად ჩაითვალოს, ამიტომ R აქტიური წინაღობის მქონე ცვლადი დენის უბანზე გამოყოფილი მყისი სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულებით:

$$p(t) = i(t) \cdot u(t) \qquad (2.11.7)$$

$$p(t) = i^2(t)\ R \qquad (2.11.8)$$

$$p(t) = \frac{u^2(t)}{R} \qquad (2.11.9)$$

დააკვირდი:

ა) 2.11.7 – 2.11.8 ფორმულებს. **წრედის უბანზე გამოყოფილი ცვლადი დენის სიმძლავრე, მუდმივისგან განსხვავებით, დროზეა დამოკიდებული;**

ბ) 2.11.7 ფორმულას. თუ ძაბვა და დენის ძალა ერთნაირ ფაზაში ირხევა (სურ. 2.11.5), მაშინ ცვლადი დენის უბანზე გამოყოფილი **სიმძლავრე დროის ნებისმიერ მომენტში დადებითია:** ძაბვასა და დენის ძალას დროის ნებისმიერ მომენტში ერთნაირი ნიშანი აქვს (სურ. 2.11.5), რაც იმას ნიშნავს, რომ კონკრეტული უბანი დროის ნებისმიერ მომენტში ცვლადი დენის სიმძლავრეს მოიხმარს (სიმძლავრის აქტიური მომხმარებელია). სწორედ ასეთი უბნის წინაღობას ჰქვია **აქტიური წინაღობა. აქტიური წინაღობის უბანი თბება - მასში სითბო გამოიყოფა.**

განვიხილოთ, **როგორ იცვლება დროის მიხედვით ჰარმონიულად ცვლადი დენის წრედში აქტიურ წინაღობაზე გამოყოფილი სიმძლავრე.**

მაგალითისთვის განვიხილოთ ფორმულა 2.11.8. თუ გაითვალისწინებ 2.11.2 ტოლობას, მიიღებ:

$$p(t) = i^2(t)\ R = (I_0\cos\omega t)^2R = I_0^2R\cos^2\omega t \qquad (2.11.10)$$

გაიხსენე: $\cos^2\alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$.

2.11.10-დან მიიღებ, რომ

$$p(t) = I_0^2R\cos^2\omega t = I_0^2R\,\frac{1 + \cos 2\omega t}{2} = \frac{I_0^2R}{2} + \frac{I_0^2R}{2}\cos 2\omega t \qquad (2.11.11)$$

Don't copy

$\cos 2\omega t \in [-1; 1] \Rightarrow p(t) \in [0; I_0^2R]$, ანუ, ცვლადი დენის წრედში აქტიურ R წინაღობაზე გამოყოფილი სიმძლავრე 0-დან I_0^2R -მდე შუალედში ორჯერ მეტი სიხშირით (2ω) ირხევა, ვიდრე დენის ძალა (სიმძლავრე თავის მაქსიმუმს T/2-ზე აღწევს) (სურ. 2.11.6, ბ).

დააკვირდი:

1. სურათ 2.11.6, ა-ზე გამოსახულ გრაფიკს:

ა) გრაფიკი ასახავს მუდმივი დენის წრედში R წინაღობაზე გამოყოფილი სიმძლავრის დროზე დამოკიდებულებას: სიმძლავრე I^2R-ის ტოლია და **მისი მნიშვნელობა დროის მიხედვით არ იცვლება.**

ბ) თუ t = T, მაშინ პერიოდის ტოლ დროში **მუდმივი დენის წრედში R წინაღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა,** რიცხვობრივად, OABC მართკუთხედის ფართობის (S_{OABC}) ტოლია:

$$Q_{მუდ} = Pt = PT = I^2RT = S_{OABC} \text{ (რიცხვ.)} \qquad (2.11.12)$$

2. სურათ 2.11.6, ბ-ზე გამოსახულ გრაფიკს:

გრაფიკი ასახავს ცვლადი დენის წრედში **R აქტიურ წინაღობაზე** გამოყოფილი სიმძლავრის დროზე დამოკიდებულებას: **წრედის უბანზე გამოყოფილი ცვლადი დენის სიმძლავრე, მუდმივისგან განსხვავებით, დროზეა დამოკიდებული:**

$$p(t) > 0, \qquad p(t) \in [0; I_0^2R]$$

3. სურათ 2.11.6, გ-ზე გამოსახულ გრაფიკს:

ვთქვათ, დროთა ღერძი დაყოფილია დროის მცირე ინტერვალებად ($\Delta t \to 0$).

დროის მცირე Δt ინტერვალში (როცა Δt→0) :

ა) ცვლადი დენი ცვლილებას ვერ ასწრებს და შეიძლება მუდმივად ჩაითვალოს;

ბ) სიმძლავრის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი მიახლოებით დროთა ღერძის პარალელური, ჰორიზონტალური მონაკვეთია;

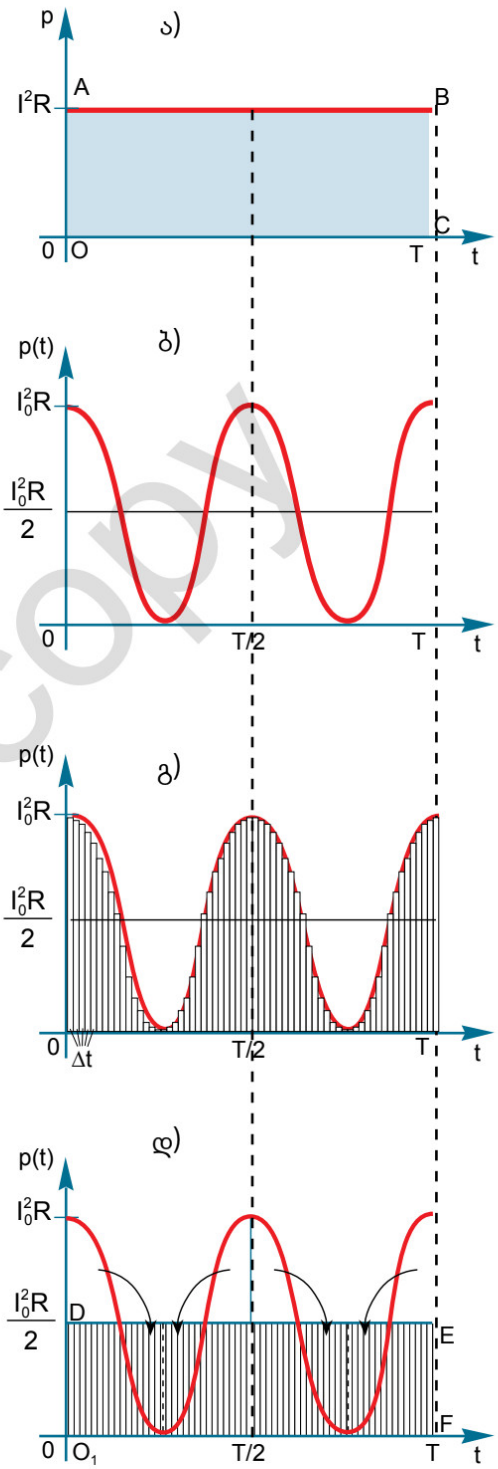
გ) R წინაღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა რიცხობრივად იმ მართკუთხედის ფართობის ტოლია, რომლის სიგანე რიცხვობრივად Δt-ს ტოლია, ხოლო სიმაღლე – p (t)-სი.

ანალოგიური მსჯელობით მივიღებთ (სურ. 2.11.6, გ), რომ T პერიოდის განმავლობაში ცვლადი დენის წრედში **R აქტიურ წინაღობაზე** გამოყოფილი მთელი სითბოს რაოდენობა რიცხვობრივად იმ **მრუდწირული ფიგურის ფართობის ტოლია, რომელიც შემოსაზღვრულია:**

ა) p(t) გრაფიკის მრუდით (კოსინუსოიდით);

ბ) Ot დროთა ღერძით;

გ) t = 0 და t = T წრფეებით.



სურ. 2.11.6

4. სურათ 2.11.6, დ-ზე გამოსახული ნახაზიდან ჩანს, რომ **მრუდწირული ფიგურის ფართობი O_1DEF მართკუთხედის ფართობის ტოლია.**

Don't copy

ასე რომ, T პერიოდის განმავლობაში ცვლადი დენის წრედში **R აქტიურ წინაღობაზე** გამოყოფილი მთელი სითბოს რაოდენობა რიცხვობრივად O_1DEF მართკუთხედის ფართობის (S_{O1DEF}) ტოლია (სურ. 2.11.6, დ):

$$Q_{ცვ} = \frac{I_0^2RT}{2} = S_{O1DEF} \text{ (რიცხვ.)} \qquad (2.11.13)$$

შევარჩიოთ მუდმივი დენის წრედში დენის ძალა ისე, რომ პერიოდის ტოლ დროში მუდმივი დენის წრედში R წინაღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ($Q_{მუდ} = I^2RT$), ტოლი იყოს სითბოს იმ რაოდენობისა, რომელიც T პერიოდის განმავლობაში ცვლადი დენის წრედში R აქტიურ წინაღობაზე გამოიყო:

$$Q_{მუდ} = Q_{ცვ}$$

მივიღებთ:

$$I^2RT = \frac{I_0^2RT}{2} \Rightarrow I = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \qquad (2.11.14)$$

2.11.14 ფორმულით გამოსახულ მუდმივი დენის ძალის მნიშვნელობას ცვლადი დენის ძალის **მოქმედი მნიშვნელობა** ჰქვია.

ცვლადი დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობა ეწოდება ისეთი მუდმივი დენის ძალის მნიშვნელობას, რომელიც გამტარში იმავე სითბოს რაოდენობას გამოყოფს, რასაც მოცემული ცვლადი დენი იმავე დროში (აღნიშნული დროის შუალედი პერიოდის ჯერადია).

ცვლადი დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობა ასე გამოითვლება:

$$\boxed{I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}} \qquad (2.11.15)$$

თუ გამოვიყენებთ $p(t) = \frac{u^2(t)}{R}$ ფორმულას, ანალოგიური მსჯელობით მივიღებთ, რომ

ცვლადი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ისეთი მუდმივი ძაბვის ტოლია, რომელიც გამტარში იმავე სითბოს რაოდენობის გამოყოფას იწვევს, რასაც მოცემული ცვლადი ძაბვა იმავე დროში (აღნიშნული დროის შუალედი პერიოდის ჯერადია).

ცვლადი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ასე გამოითვლება:

$$\boxed{U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}} \qquad (2.11.16)$$

რა არის დენის ძალის (ძაბვის) მოქმედი მნიშვნელობის ფიზიკური აზრი? ყოველთვის შეიძლება შევარჩიოთ მუდმივი დენის ძალის (ძაბვის) ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც R წინაღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, ცვლადი დენის წრედში იმავე დროში იმავე წინაღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ტოლი იქნება. ამისათვის საჭიროა მუდმივი დენის ძალა (ძაბვა) ცვლადი დენის ძალის (ძაბვის) მოქმედი მნიშვნელობის ტოლი იყოს.

ხშირად გაგიგია, ალბათ, რომ **განათების ქსელში ძაბვა 220 ვ-ია: 220 ვ ცვლადი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობაა.** თუ ძაბვის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას (U_0-ს) გამოთვლი, მიიღებ რომ: $U_0 = \sqrt{2}\,U \approx 311$ ვ. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ჩამრთველში (როზეტში) გამომყვანებს შორის ძაბვის მნიშვნელობა პერიოდის განმავლობაში (1/50 წმ-ის განმავლობაში) იცვლება (– 311) ვოლტიდან 311 ვოლტამდე.

თუ 2.11.15 და 2.11.16 ფორმულებიდან დენის ძალისა და ძაბვის ამპლიტუდურ მნიშვნელობებს მათი მოქმედი მნიშვნელობებით გამოსახავ და 2.11.3 ფორმულაში ჩასვამ, მიიღებ **ომის კანონს ცვლადი დენის წრედის უბნისათვის, როცა ამ უბანზე მხოლოდ R აქტიური წინაღობაა ჩართული:** $I = \frac{U}{R}$ (2.11.17)

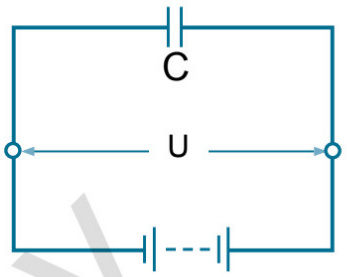
Don't copy

დააკვირდი: 2.11.17 გამოსახულება ემთხვევა ომის კანონს მუდმივი დენის წრედის უბნისთვის.

2.11.11-ის თანახმად, $p(t) \in [0; I_0^2R]$. თუ დენის ძალის ამპლიტუდურ მნიშვნელობებს მისი მოქმედი მნიშვნელობით გამოსახავ, მიიღებ, რომ **საშუალო სიმძლავრე, რომელიც ცვლადი დენის წრედში R აქტიურ წინაღობაზე პერიოდის განმავლობაში გამოიყოფა, ასე გამოითვლება :**

$$\bar{p} = \frac{I_0^2R}{2} = I^2R \qquad (2.11.18)$$

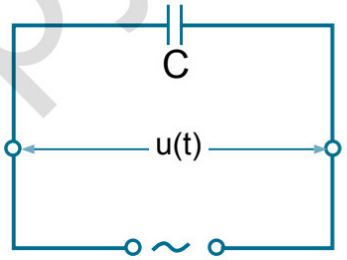
2.11.4.კონდენსატორი ცვლადი დენის წრედში



სურ. 2.11.7

განვიხილოთ ელექტრულ წრედში მიმდინარე პროცესი იმ შემთხვევაში, თუ წრედში **მხოლოდ კონდენსატორია ჩართული** (შემაერთებელი სადენებისა და შემონაფენების აქტიური წინაღობა უგულებელყოფილია).

თუ დაუმუხტავი **კონდენსატორის** (მის შემონაფენებს შორის ძაბვა ნულის ტოლია) **შემონაფენებს მუდმივი დენის წყაროს მივუერთებთ** (სურ. 2.11.7), წრედში **ხანმოკლე** დენი გაივლის, რომელიც კონდენსატორს მუხტავს მანამდე, სანამ მის შემონაფენებზე ძაბვა დენის წყაროს პოლუსებს შორის ძაბვას არ გაუტოლდება. დაახლოებით, 10^{-7} წმ-ის განმავლობაში კონდენსატორის შემონაფენებს შორის მუდმივი ძაბვა და, შესაბამისად, დროის მიხედვით უცვლელი მუხტი აღიძვრება. **წრედში დენი შეწყდება: მუდმივი დენის წრედში, რომელშიც კონდენსატორია ჩართული, დენი არ გაივლის, რადგან კონდენსატორის ფირფიტებს შორის დიელექტრიკის ფენაა და წრედი, ფაქტობრივად, განრთულია.** თუ დამუხტულ კონდენსატორს დენის წყაროდან მოვხსნით და ნათურას მივუერთებთ, კონდენსატორი განიმუხტება და ნათურა მყისიერად კაშკაშა სინათლით გაანათებს.



სურ. 2.11.8

ვთქვათ, **დაუმუხტავი კონდენსატორი ცვლადი დენის წყაროსთანაა მიერთებული**, რომლის გამოსასვლელზე ძაბვა დროის მიხედვით ჰარმონიულად ირხევა (სურ. 2.11.8). **კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ცვლადი ძაბვა აღიძვრება:**

$$u(t) = U_0\cos\omega t \qquad (2.11.19)$$

შესაბამისად, **მუხტი კონდენსატორის შემონაფენებზე შეიცვლება შემდეგი კანონით:**

$$q(t) = C\,u\,(t) = CU_0\cos\omega t = q_0\cos\omega t \qquad (2.11.20)$$

სადაც **q_0 მუხტის რხევის ამპლიტუდაა:** $q_0 = CU_0$

კონდენსატორის შემონაფენებზე მუხტის ცვლილების შედეგად, წრედში დენი აღიძვრება. **თუ ცვლადი დენის წრედში მხოლოდ კონდენსატორია ჩართული, მაშინ დენის ძალა დროის მიხედვით შეიცვლება შემდეგი კანონით** (გამოყვანის გარეშე):

$$i\,(t) = I_0\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (2.11.21)$$

სადაც $I_0 = \omega CU_0$ – **დენის ძალის ამპლიტუდაა.**

მაშ ასე, **ცვლადი დენის წრედში, რომელშიც კონდენსატორია ჩართული, კონდენსატორის დამუხტვა-განმუხტვის პერიოდულად განმეორებადი პროცესის გამო შემონაფენების შემაერთებელ გამტარ წრედში დენი გადის.**

დააკვირდი: 2.11.19 და 2.11.21 ფორმულებიდან ჩანს, რომ თუ ცვლადი დენის წრედში მხოლოდ კონდენსატორია ჩართული, მაშინ ძაბვისა და დენის ძალის რხევა ერთნაირი

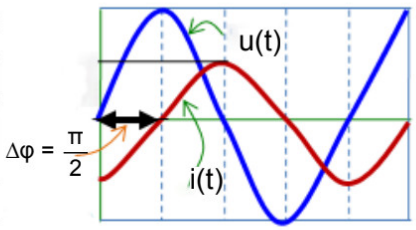
Don't copy

სიხშირით მიმდინარეობს, მაგრამ **წრედში დენის ძალის რხევა $\frac{\pi}{2}$ ფაზით უსწრებს კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ძაბვის რხევას** (სურ. 2.11.9).

ეს იმას ნიშნავს, რომ:

ა) იმისათვის, რომ შემონაფენებს შორის პერიოდულად ძაბვა (და, შესაბამისად, მუხტი) აღიძრას, წრედში დენი უნდა გადიოდეს (იგულისხმება კონდენსატორის გადამუხტვის პროცესი);

ბ) იმ მომენტში, როცა კონდენსატორი გადამუხტვას იწყებს, დენის ძალა მაქსიმალურია, ძაბვა კი ნულის ტოლია, ხოლო როცა ძაბვა თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს, დენის ძალა წრედში ნულის ტოლი ხდება და ა. შ.



სურ. 2.11.9

$I_0 = \omega C U_0$ **დენის ძალის ამპლიტუდაა,** რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ **ცვლადი დენის წრედში მხოლოდ კონდენსატორია ჩართული, დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობის პირდაპირპროპორციულია:** $\frac{U_0}{I_0}$ შეფარდება დამოკიდებული არ არის I_0-სა და U_0-ზე, დამოკიდებულია წრედში მიმდინარე ელექტრული რხევების საკუთარ ციკლურ სიხშირესა და კონდენსატორის ტევადობაზე. ამ შეფარდებას კონდენსატორის **ტევადობითი წინაღობა** ჰქვია, იზომება **ომებით** და აღინიშნება X_C-თი:

$$X_C = \frac{U_0}{I_0} = \frac{1}{\omega C} \qquad (2.11.22)$$

დააკვირდი 2.11.22 ფორმულას:

ა) მუდმივი დენის წრედში, როცა $\omega = 0$, **ტევადობითი წინაღობა** უსასრულოდ იზრდება: $X_C \to \infty$, რაც იმას ნიშნავს, რომ **წრედში, რომელშიც კონდენსატორია ჩართული, მუდმივი დენი არ გაივლის;**

ბ) როცა $\omega \to \infty$, **ტევადობითი წინაღობა** უსასრულოდ მცირდება: $X_C \to 0$, რაც იმას ნიშნავს, რომ **წრედში კონდენსატორის ჩართვა ამ წრედში ცვლადი დენის არსებობას ხელს არ უშლის. რაც უფრო მეტია ცვლადი დენის სიხშირე, მით ნაკლებ წინააღმდეგობას უწევს მას წრედში ჩართული კონდენსატორი.**

2.11.1.

დაფიქრდი: როგორ შეიცვლება ცვლადი დენის წრედში კონდენსატორთან მიმდევრობით ჩართული ნათურის ნათება თუ კონდენსატორის ტევადობას გავზრდით? პასუხი ახსენი.

2.11.22 ფორმულიდან ჩანს, რომ **წრედში, რომელშიც მხოლოდ კონდენსატორია ჩართული, ცვლადი დენის ძალის ამპლიტუდა განისაზღვრება ფორმულით:**

$$I_0 = \frac{U_0}{X_C} \qquad (2.11.23)$$

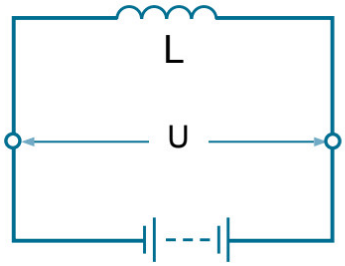
2.11.23 გამოსახავს **ომის კანონს** ცვლადი დენის იმ უბნისთვის, რომელზედაც მხოლოდ კონდენსატორია ჩართული: **დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობის პირდაპირპროპორციულია და უკუპროპორციულია ტევადობითი წინაღობისა.**

თუ **დენის ძალისა და ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობების ნაცვლად მათ მოქმედ მნიშვნელობებს გამოვიყენებთ**, 2.11.23 ფორმულით გამოსახული **ომის კანონი** ასე ჩაიწერება:

$$I = \frac{U}{X_C} \qquad (2.11.24)$$

Don't copy

2.11.5. ინდუქციურობის კოჭა ცვლადი დენის წრედში



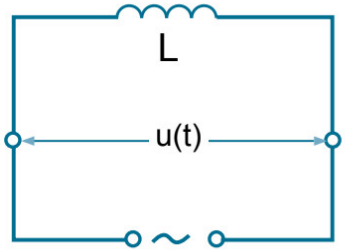
სურ. 2.11.10

განვიხილოთ, ელექტრულ წრედში მიმდინარე პროცესი იმ შემთხვევაში, თუ წრედში **მხოლოდ ინდუქციურობის კოჭაა ჩართული.** კოჭას (და შემაერთებელი სადენების) აქტიური წინაღობა უგულებელყოფილია. ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ **კოჭა იდეალურია.**

შენ იცი, რომ თუ ინდუქციურობის კოჭას **მუდმივი დენის წყაროსთან მივაერთებთ** (სურ. 2.11.10), დენის ძალა წრედში თანდათან გაიზრდება და **მხოლოდ გარკვეული დროის შემდეგ მიაღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას**. ეს **თვითინდუქციის მოვლენით** აიხსნება: კოჭაში დენის ზრდისას აღიძვრება თვითინდუქციის ემძ, რომელიც დენის ზრდას ეწინააღმდეგება.

ვთქვათ, კოჭა გამოვრთეთ მუდმივი დენის წყაროდან და ცვლადი დენის წყაროსთან მივაერთეთ (დავუშვათ, რომ მუდმივი ძაბვა და ცვლადი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ერთმანეთის ტოლია). ძაბვის სწრაფად ცვლილებისას დენის ძალა ვერ ასწრებს, მიაღწიოს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას – მნიშვნელობას, რომელსაც დენის ძალა მუდმივი დენის წრედში აღწევდა (ამაში მარტივად დარწმუნდები, თუ მიმდევრობით შეერთებულ ნათურასა და დიდი ინდუქციურობის კოჭას ჯერ მუდმივი დენის წრედში ჩართავ, ხოლო შემდეგ – ცვლადი დენის წრედში. ნათურას ნათება მუდმივი ძაბვის დროს უფრო კაშკაშაა).

ასე რომ, **ცვლადი დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობა წრედის ინდუქციურობითაა შემოსაზღვრული და მით უფრო ნაკლები იქნება, რაც უფრო მეტია ინდუქციურობა და რაც უფრო მეტია ძაბვის სიხშირე** (სწორედ ეს იყო მიზეზი, რის გამოც XIX საუკუნეში ფიზიკოსებს რხევითი კონტურში დიდი დენის მიღების მოლოდინი გაუცრუვდათ).



სურ. 2.11.11

თუ ცვლადი დენის წრედში ჩართულია მხოლოდ იდეალური, L ინდუქციურობის კოჭა (სურ. 2.11.11), რომლის ბოლოებს შორის ძაბვა ჰარმონიული კანონით იცვლება:

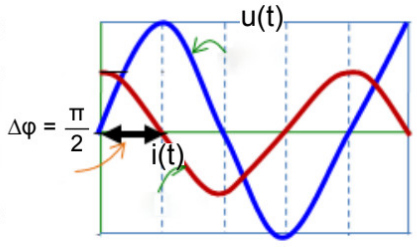
$$u(t) = U_0 \cos \omega t \qquad (2.11.25)$$

მაშინ წრედში აღიძვრება ცვლადი დენი, რომლის რხევა აღიწერება კანონით (გამოყვანის გარეშე):

$$i(t) = I_0 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \qquad (2.11.26)$$

სადაც I_0 დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობაა წრედში: $I_0 = \frac{U_0}{\omega L}$

დააკვირდი: 2.11.25 და 2.11.26 ფორმულებიდან ჩანს, რომ **თუ ცვლადი დენის წრედში მხოლოდ ინდუქციურობის კოჭაა ჩართული, მაშინ ძაბვისა და დენის ძალის რხევა ერთნაირი სიხშირით მიმდინარეობს**, მაგრამ **წრედში დენის ძალის რხევა π/2 ფაზით ჩამორჩება კოჭას ბოლოებს შორის არსებული ძაბვის რხევას.** ეს იმას ნიშნავს, როცა ძაბვაა კოჭაზე მაქსიმალური, მასში გამავალი დენის ძალა ნულის ტოლია, ხოლო როცა დენის ძალის სიდიდე თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს, ძაბვა კოჭაზე ნულის ტოლი ხდება და ა. შ. (სურ. 2.11.12).



სურ. 2.11.12

$I_0 = \frac{U_0}{\omega L}$ **დენის ძალის ამპლიტუდაა,** რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ **ცვლადი დენის წრედში მხოლოდ ინდუქციურობის კოჭაა ჩართული, დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა**

Don't copy

ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობის პირდაპირპროპორციულია: $\frac{U_0}{I_0}$ შეფარდება დამოკიდებული არ არის I_0-სა და U_0-ზე, დამოკიდებულია წრედში მიმდინარე ელექტრული რხევების საკუთარ ციკლურ სიხშირესა და კოჭას ინდუქციურობაზე. ამ შეფარდებას **ინდუქციური წინაღობა** ჰქვია, იზომება **ომებით** და აღინიშნება X_L-ით:

$$X_L = \frac{U_0}{I_0} = \omega L \qquad (2.11.27)$$

დააკვირდი 2.11.27 ფორმულას:

ა) მუდმივი დენის წრედში, როცა $\omega = 0$, **ინდუქციური წინაღობა** 0-ის ტოლია ($X_C = 0$), რაც იმას ნიშნავს, რომ **კოჭა მუდმივ დენს წინააღმდეგობას არ უწევს.** თუ კოჭას (რომლის ომური წინაღობა ძალიან მცირეა) მუდმივი დენის წყაროსთან პირდაპირ მივაერთებთ, წრედში დენი ძალიან გაიზრდება (ფაქტობრივად, მოკლე ჩართვა ხდება).

მაგრამ ელექტრომაგნიტს (კოჭას რკინის გულარით) ხომ უერთებენ მუდმივი დენის წყაროს? ასეთ შემთხვევაში მოკლე ჩართვა არ ხდება, რადგან დენის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა შემოსაზღვრულია დენის წყაროს შიდა წინაღობითა და რეალური გულარიანი კოჭას წინაღობით. ელექტრომაგნიტი ასეთ დროს თბება.

ბ) როცა $\omega \to \infty$, **ინდუქციური წინაღობა** უსასრულოდ იზრდება: $X_C \to \infty$, რაც იმას ნიშნავს, რომ **რაც უფრო მეტია ცვლადი დენის სიხშირე, მით უფრო მეტ წინააღმდეგობას უწევს დენს წრედში ჩართული ინდუქციურობის კოჭა.**

2.11.2

დაფიქრდი: როგორ შეიცვლება ცვლადი დენის წრედში ინდუქციურობის კოჭასთან მიმდევრობით ჩართული ნათურის ნათება, თუ კოჭას ინდუქციურობას გავზრდით? პასუხი ახსენი.

2.11.27 ფორმულიდან ჩანს, რომ **წრედში, რომელშიც მხოლოდ ინდუქციურობის კოჭაა ჩართული, ცვლადი დენის ძალის ამპლიტუდა განისაზღვრება ფორმულით:**

$$I_0 = \frac{U_0}{X_L} \qquad (2.11.28)$$

2.11.18 ტოლობა გამოსახავს **ომის კანონს** ცვლადი დენის იმ უბნისთვის, რომელზედაც მხოლოდ ინდუქციურობის კოჭაა ჩართული: **დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობის პირდაპირპროპორციულია და უკუპროპორციულია ინდუქციური წინაღობისა.**

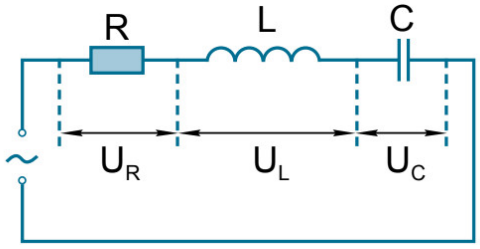
თუ **დენის ძალისა და ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობების ნაცვლად მათ მოქმედ მნიშვნელობებს გამოვიყენებთ**, 2.11.28 ფორმულით გამოსახული **ომის კანონი** ასე ჩაიწერება:

$$I = \frac{U}{X_L} \qquad (2.11.29)$$

2.11.6. ომის კანონი ცვლადი დენის წრედისთვის

თუ ცვლადი დენის წრედში მიმდევრობითაა ჩართული აქტიური (R), ტევადობითი (X_C) და ინდუქციური (X_L) წინაღობები (სურ. 2.11.13), მაშინ **ცვლადი დენის წრედის სრული ელექტრული წინაღობა** (ე.წ. **ელექტრული იმპედანსი**) გამოითვლება ფორმულით (გამოყვანის გარეშე):

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} \qquad (2.11.30)$$



სურ. 2.11.13

თუ ცვლადი დენის წრედში მიმდევრობითაა ჩართული რეზისტორი, კოჭა და კონდენსატორი, მაშინ

Don't copy

წრედში გამავალი **ცვლადი დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:**

$$I_0 = \frac{U_0}{Z} \qquad (2.11.31)$$

სადაც U_0 ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობაა, ხოლო Z – ცვლადი დენის წრედის სრული წინაღობაა. თუ 2.11.31 ფორმულაში დენის ძალისა და ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობების ნაცვლად, მათ მოქმედ მნიშვნელობებს გამოვიყენებთ, **ომის კანონი ცვლადი დენის წრედისთვის** ასეთ სახეს მიიღებს:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}} \qquad (2.11.32)$$

დააკვირდი 2.11.31 და 2.11.32 ფორმულებს:

1. დენის ძალის ამპლიტუდური (მოქმედი) მნიშვნელობა პირდაპირპროპორციული ძაბვის ამპლიტუდური (მოქმედი) მნიშვნელობისა;

2. დენის ძალის ამპლიტუდური (მოქმედი) მნიშვნელობა დამოკიდებულია წრედში ელექტრული რხევების საკუთარ ციკლურ სიხშირესა (ω) და წრედის პარამეტრებზე (R-ზე, X_C-ზე, X_L-ზე):

ა) თუ $\omega \to \infty$, მაშინ $I_0 \to 0$; ბ) თუ $\omega \to 0$, მაშინ $I_0 \to 0$.

3. ა) და ბ) პირობებიდან ჩანს, რომ დენის ძალა მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს, გარკვეულს ω_0-ზე: $I_0 = \max$, თუ $Z = \min$.

Z კი უმცირესია მაშინ, როცა $L\omega = \frac{1}{C\omega}$, ანუ როცა $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

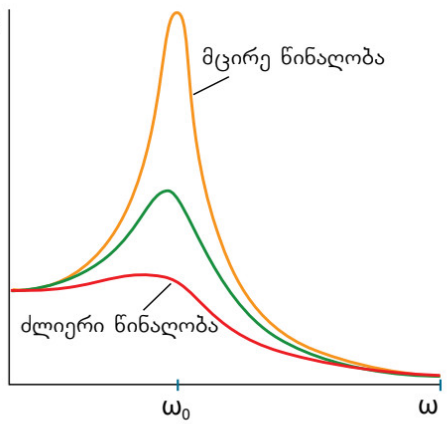
$\frac{1}{\sqrt{LC}}$ კი რხევით კონტურში **თავისუფალი ელექტრული რხევების საკუთარი ციკლური სიხშირეა** (იხ. ტომსონის ფორმულა). ასე რომ, თუ ცვლადი დენის წყაროს წრედში ძაბვის იძულებითი რხევის ციკლური სიხშირე რხევით კონტურში **თავისუფალი რხევების საკუთარ ციკლურ სიხშირეს ემთხვევა**, რომ დენის ძალის ამპლიტუდა მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს. ეს მოვლენა **ელექტრული რეზონანსის** სახელითაა ცნობილი.

დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა რეზონანსის დროს, 2.11.32 ფორმულის თანახმად, ასე გამოითვლება:

$$I_0 = \frac{U_0}{R} \qquad (2.11.32)$$

თუ $R \to 0$, მაშინ დენის ძალის რეზონანსული მნიშვნელობა უსასრულოდ იზრდება: $I_{რეზ} \to \infty$.

თუ R იზრდება, მაშინ დენის ძალის რეზონანსული მნიშვნელობა მცირდება. რეზონანსის დროს დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობის ციკლურ სიხშირეზე დამოკიდებულების გრაფიკი (რეზონანსული მრუდი) გამოსახულია 2.11.14 სურათზე.



სურ. 2.11.14

რეზონანსის დროს დენის ძალის ზრდასთან ერთად მკვეთრად იზრდება ძაბვები კონდენსატორისა და ინდუქციურობის კოჭაზე. ეს ძაბვები ერთმანეთს უტოლდება და შეიძლება მრავალჯერ გადააჭარბოს გარე ძაბვას. ელექტრული რეზონანსის მოვლენას ფართოდ იყენებენ რადიოტექნიკაში, რადიომიმღებების, გამაძლიერებლების სქემაში, მაღალსიხშირულ გენერატორებში. რეზონანსი შეიძლება ზოგ შემთხვევაში ავარიული სიტუაციების გამომწვევი მიზეზიც გახდეს, დენისა და ძაბვის მკვეთრად გაზრდის გამო.

Don't copy

2.12 ტრანსფორმატორი



სურ. 2.12.1. ტრანსფორმატორი

დიდხანს, ძალიან დიდხანს, ცვლადი დენის ღირსებები ჯეროვნად ვერ შეაფასეს. ბრძოლა მუდმივი და ცვლადი დენის მომხრეებს შორის 1891 წლამდე, მანამდე გრძელდებოდა, სანამ მაინის ფრანკფურტში ელექტროტექნიკის მსოფლიო გამოფენა არ ჩატარდა. გამოფენაზე ცვლადი დენის გამოყენებით ელექტროენერგია 175 კმ-ზე წარმატებით გადაიცა.

ელექტროენერგიის დიდ მანძილზე გადაცემის დემონსტრირებას მაღალი შეფასება მოჰყვა საკმაოდ ავტორიტეტული კომისიის მხრიდან, რომელსაც პრუსიის აკადემიისა და ლონდონის სამეფო საზოგადოების წევრი, გერმანელი ფიზიკოსი, ექიმი და ფსიქოლოგი – **ჰერმან ფონ ჰელმჰოლცი** (1821 – 1894) ხელმძღვანელობდა. **ცვლადი დენის უპირატესობა ელექტროენერგიის გადაცემისა და განაწილების თვალსაზრისით ცხადი გახდა.**

თუმცა ელექტროენერგიის გადაცემა ვერ ხერხდებოდა, რადგან სერიოზული პრობლემა წარმოიქმნა: ელექტროენერგიის დიდ მანძილებზე, ასობითა და ათასობით კილომეტრზე, გადაცემისას **წყაროდან** (ელექტროსადგურის გენერატორიდან) **მომხმარებლამდე** (ქალაქამდე, ფაბრიკა-ქარხნებამდე და ა. შ.) დენის სითბური მოქმედების გამო, ენერგია დიდი რაოდენობით იკარგებოდა (ელექტროგადამცემი ხაზები ხურდება და შედეგად ელექტროენერგიის ნაწილი იკარგება). მეცნიერებს პრობლემის გადაჭრის ორი შესაძლებლობა, ორი გზა ჰქონდათ. ჯოულ-ლენცის კანონიდან ($Q = I^2Rt$) ჩანს, რომ ელექტროგადამცემ ხაზებში ენერგიის დანაკარგის შესამცირებლად ან ელექტროგადამცემი ხაზების წინაღობა უნდა შეემცირებინათ, ან – მათში გამავალი დენის ძალა. სწორედ აქ ჩნდებოდა პრობლემა. მოდი, განვიხილოთ ორივე გზა და ვნახოთ, როგორ გადაჭრეს მეცნიერებმა პრობლემა.

2.12.1. ელექტროენერგიის გადაცემა

განვიხილოთ პირველი გზა. გამტარის წინაღობა ნივთიერების გვარობასა და გამტარის გეომეტრიულ ზომებზეა დამოკიდებული: $R = \rho \frac{\ell}{S}$.

ელექტროგადამცემი ხაზების წინაღობის შესამცირებლად საჭიროა:

ა) ხაზები მცირე კუთრი წინაღობის ნივთიერებისგან დამზადდეს.

ხაზებს სპილენძის ან ალუმინისგან ამზადებენ. მათზე უფრო მცირე კუთრი წინაღობის მქონე და ხელმისაწვდომი მასალა ბუნებაში იშვიათად გვხვდება;

ბ) ხაზების სიგრძე შემცირდეს.

ხაზების სიგრძე (მანძილი ელექტროსადგურიდან მომხმარებლამდე) მოცემული სიდიდეა და მისი შემცირება შეუძლებელია;

გ) ხაზების განივკვეთის ფართობი გაიზარდოს.

განივკვეთის ფართობის ძალიან გაზრდა მასალების არაეკონომიურ ხარჯვას გამოიწვევს. გარდა ამისა, გაზრდის ხაზების მასას და მათი დამაგრება საყრდენ ანძებზე შეუძლებელი გახდება;

Don't copy



სურ. 2.12.2.ელექტროგადამცემი ხაზები

ასე რომ, ენერგიის დანაკარგის შემცირება ელექტროგადამცემი ხაზების წინაღობის შემცირების ხარჯზე ნაკლებად ეფექტური გზაა.

გავიხილოთ მეორე გზა – ხაზებში გამავალი დენის ძალის შემცირება.

ჯოულ-ლენცის კანონიდან ჩანს, რომ ამ დროს გამტარის მიერ გამოყოფილი სითბო დენის ძალის კვადრატის პირდაპირპროპორციულად შემცირდება. მაგრამ როგორ შევამციროთ დენის ძალა ხაზებში ისე, რომ გადასაცემი სიმძლავრე არ შემცირდეს?

თუ P სიმძლავრეა, რომელიც ელექტროსადგურიდან მომხმარებელს გადაეცემა, ხოლო U ძაბვაა ელექტროგადამცემ ხაზებს შორის დასაწყისში (ელექტროსადგურთან), მაშინ I დენის ძალა ელექტროგადამცემ ხაზებში ასე გამოითვლება:

$$I = \frac{P}{U}$$

გადასაცემი სიმძლავრე (P) მოცემული, უცვლელი სიდიდეა და მხოლოდ ელექტროსადგურის მახასიათებლებით განისაზღვრება. ჩანს, რომ უცვლელი სიმძლავრის შემთხვევაში **ელექტროგადამცემ ხაზებში დენის ძალის შემცირება შესაძლებელია ძაბვის გაზრდის ხარჯზე და, რაც უფრო დიდია ძაბვა, მით უფრო ნაკლებია ხაზებში დენის ძალა, შესაბამისად, მით მცირეა ენერგიის დანაკარგი**.

თუ ძაბვას ელექტროსადგურის გამოსასვლელზე 20 კვ-დან 500 კვ-მდე, ანუ 25-ჯერ გავზრდით, დენის ძალა იმდენჯერვე შემცირდება ისე, რომ გადასაცემი სიმძლავრე არ შეიცვლება. ენერგიის დანაკარგი კი ელექტროგადამცემ ხაზებში, ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად, 25^2-ჯერ, ანუ 625-ჯერ შემცირდება.

მეცნიერები მიხვდნენ, რომ **ელექტროენერგიის გადასაცემად უფრო ეფექტური გზა ძაბვის ამაღლებაა,** მაგრამ პრობლემა აქაც ჩნდებოდა. ერთი მხრივ, ელექტროსადგურებში, ელექტრული გენერატორების გამოსავალზე ძაბვა არცთუ ისე მაღალი იყო (თანამედროვე გენერატორებშიც, ხშირად, 20 კვ-ს არ აღემატება). მეორე მხრივ, ელექტროგადამცემ ხაზებში ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა შემოსაზღვრულია საიზოლაციო მასალების შესაძლებლობებით და იმითაც, რომ მაღალ ძაბვაზე ხაზებში გვირგვინისებრი განმუხტვა იწყება, რასაც ენერგიის კარგვა მოსდევს. გამოსავალი მოიძებნა – ძაბვის ასამაღლებლად **ტრანსფორმატორი** გამოიყენეს და ცვლადი დენი დიდ მანძილებზე მინიმალური დანაკარგების გარეშე გადასცეს. ქვესადგურებში, გენერატორების გამოსავალს **ამამაღლებელ ტრანსფორმატორთან** აერთებენ (ძაბვას ამაღლებენ, მაგ., 20-დან 500 ვ-მდე), ხოლო ელექტროგადამცემი ხაზების ბოლოს, უკვე მომხმარებელთან ახლოს განთავსებული **დამადაბლებელი ტრანსფორმატორი** კი ძაბვას სამომხმარებლო ნიშნულამდე შემაცირებს და ისე მიაწვდის სხვადასხვა სფეროს: სამრეწველოს (380 ვ-ს), საყოფაცხოვრებოს (220 ვ-ს), სატრანსპორტოს (550 ვ-ს) და ა.შ.

2.12.2. ტრანსფორმატორი

ტრანსფორმატორი, მოწყობილობაა, რომლის დახმარებითაც შესაძლებელია ცვლადი ძაბვის ამაღლება და დადაბლება ისე, რომ ცვლადი დენის სიხშირე უცვლელი დარჩეს. ტრანსფორმატორის მოქმედება ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენას ეფუძნება.

უმარტივესი ტრანსფორმატორი, რომლის გამარტივებული სქემა 2.12.3 სურათზეა გამოსახული, შედგება:

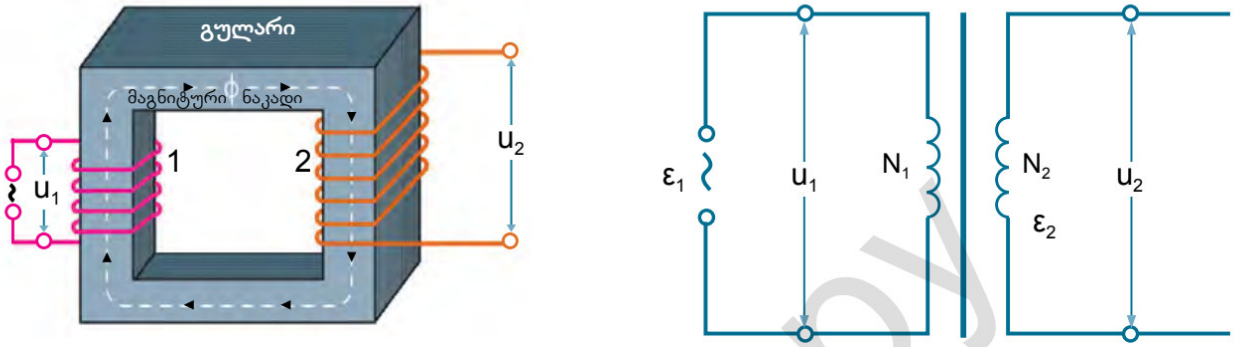
Don't copy

1. ჩარჩოს ფორმის გულარისაგან, რომელსაც დიდი მაგნიტური შეღწევადობის ფერომაგნიტური მასალისგან (ტრანსფორმატორის ფოლადისგან) ამზადებენ;

2. გამტარი ხვიების ორი გრაგნილისგან (კოჭასგან), რომლებიც გულარზეა ჩამოცმული.

ერთ-ერთ გრაგნილს ცვლადი დენის გენერატორის გამოსასვლელებს უერთებენ – მას **პირველადი გრაგნილი** (1) ჰქვია. მეორე გრაგნილის ბოლოებს კი – „დატვირთვასთან“ (ელექტროენერგიის მომხმარებელთან) აერთებენ – მას **მეორადი გრაგნილი** (2) ჰქვია (ტრანსფორმატორში შეიძლება რამდენიმე მეორადი გრაგნილი იყოს).

ვთქვათ, პირველად გრაგნილში ხვიათა რიცხვია N_1, მეორადში კი – N_2.



სურ. 2.12.3

ტრანსფორმატორის უქმი სვლა

განვიხილოთ ტრანსფორმატორის მუშაობა **უქმი სვლის** რეჟიმში, ანუ როცა **მეორადი კოჭა დატვირთვასთან მიერთებული არ არის**, განრთულია. პირველადი გრაგნილის ბოლოები ცვლადი დენის გენერატორთანაა მიერთებული, რომლის გამოსასვლელზე ცვლადი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობაა u_1 (სურ. 2.12.3).

პირველადი გრაგნილი **ინდუქციურობის კოჭაა,** რომელშიც ხვიების დიდი რაოდენობაა და ამასთან, ის დიდი მაგნიტური შეღწევადობის გულარზეა დახვეული. შესაბამისად, **პირველადი კოჭას ინდუქციური წინაღობა საკმაოდ დიდია, ამიტომ მის ხვიებში უქმი სვლის დროს უმნიშვნელო ცვლადი დენი გადის**. ცვლადი დენი პირველად გრაგნილში ცვლად მაგნიტურ ველს ქმნის. გულარის დიდი მაგნიტური შეღწევადობის გამო, **მაგნიტური ველი გულარის შიგნით კონცენტრირდება** (მაგნიტური ველის ინდუქცია გულარის შიგნით გაცილებით აღემატება მაგნიტურ ინდუქციას მის გარეთ. შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ გულარის გარეთ მაგნიტური ველი არ არის).

ცვლადი მაგნიტური ველი ცვლად მაგნიტურ ნაკადს (Φ) ქმნის. მაგნიტური ნაკადი, რომელიც ტრანსფორმატორის გულარში ცირკულირებს (სურ. 2.12.3), განჭოლავს როგორც პირველადი, ისე მეორადი გრაგნილის ხვიებს. შედეგად, **ორივე გრაგნილის თითოეულ ხვიაში ინდუქციის ერთნაირი ემძ (ε) აღიძვრება.**

იმის გათვალისწინებით, რომ პირველად გრაგნილში ხვიათა რიცხვია N_1, მეორადში კი – N_2, **თითოეულ გრაგნილში აღძრული ინდუქციის სრული ემძ ასე გამოითვლება:**

ა) პირველად გრაგნილში: $\varepsilon_1 = N_1 \varepsilon$ (2.12.1)

ბ) მეორად გრაგნილში: $\varepsilon_2 = N_2 \varepsilon$ (2.12.2)

2.12.1 და 2.12.2 ტოლობებიდან ჩანს, რომ:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (2.12.3)$$

Don't copy

ტრანსფორმატორის მუშაობისას **უქმი სვლის** რეჟიმში (როცა, მეორადი გრაგნილი დატვირთვასთან მიერთებული არ არის) ძაბვა მეორადი გრაგნილის ბოლოებს შორის (u_2) დროის ნებისმიერ მომენტში მოდულით გრაგნილში აღძრული ინდუქციის ემძ-ის (ε_2-ს) ტოლია:

$$|u_2| = |\varepsilon_2| \qquad (2.12.4)$$

ჩვეულებრივ, ტრანსფორმატორის გრაგნილების აქტიური წინაღობა, ინდუქციური წინაღობისაგან განსხვავებით, ძალიან მცირეა და შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ **ძაბვა პირველი გრაგნილის ბოლოებს შორის დროის ნებისმიერ მომენტში, დაახლოებით, გრაგნილში აღძრული ინდუქციის ემძ-ს ტოლია:**

$$|u_1| \approx |\varepsilon_1| \qquad (2.12.5)$$

2.12.4 და 2.12.5 ფორმულების გათვალისწინებით, 2.12.3 -დან მივიღებთ, რომ:

$$\frac{u_1}{u_2} \approx \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (2.12.6)$$

თუ ძაბვის მყისი მნიშვნელობების ნაცვლად მათ მოქმედ მნიშვნელობებს გამოვიყენებთ, 2.12.3 ტოლობიდან მივიღებთ:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} \qquad (2.12.7)$$

2.12.7 ტოლობიდან ჩანს, რომ **მეორადი გრაგნილის ბოლოებს შორის ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ასე გამოითვლება:**

$$U_2 = U_1 \frac{N_2}{N_1} \qquad (2.12.8)$$

აღვნიშნოთ $\frac{N_1}{N_2}$ შეფარდება K-თი: $K = \frac{N_1}{N_2}$

K-ს ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს უწოდებენ.

K აღნიშვნის გათვალისწინებით, 2.12.8 ტოლობიდან მივიღებთ, რომ **მეორადი გრაგნილის ბოლოებს შორის ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ასე გამოითვლება:**

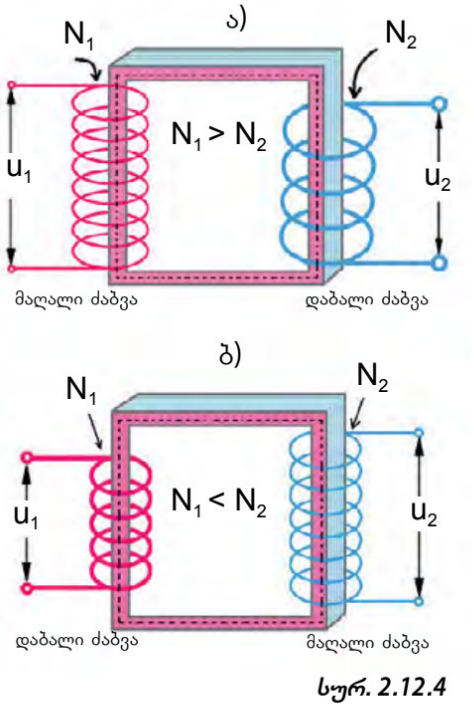
$$U_2 = \frac{U_1}{K} \qquad (2.12.9)$$

ვთქვათ, $K = \frac{N_1}{N_2} > 1$,

ანუ ხვიათა რიცხვი პირველ გრაგნილში მეტია, ვიდრე მეორე გრაგნილში ($N_1 > N_2$) და $U_1 > U_2$. ასეთი ტრანსფორმატორი **დამადაბლებელია** (მისი საშუალებით ძაბვის დადაბლება ხდება) (სურ. 2.12.4, ა).

ვთქვათ, $K = \frac{N_1}{N_2} < 1$,

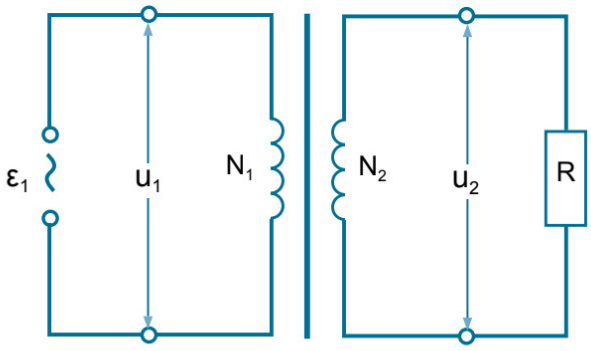
ანუ ხვიათა რიცხვი პირველ გრაგნილში ნაკლებია, ვიდრე მეორე გრაგნილში ($N_1 < N_2$) და $U_1 > U_2$. ასეთი ტრანსფორმატორი **ამამაღლებელია** (მისი საშუალებით ძაბვის ამაღლება ხდება) (სურ. 2.12.4, ბ).



სურ. 2.12.4

Don't copy

ტრანსფორმატორი დატვირთვის რეჟიმში



სურ. 2.12.5

თუ ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის წრედში ელექტრომომხმარებელია ჩართული (სურ. 2.12.5), ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ **ტრანსფორმატორი დატვირთულია, დატვირთვის რეჟიმში მუშაობს**.

დატვირთვის რეჟიმში ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილში ცვლადი დენი (i_2) აღიძვრება, რომელიც, თავის მხრივ, მეორად გრაგნილში ცვლად მაგნიტურ ნაკადს (Φ_2-ს) წარმოქმნის. ლენცის წესის თანახმად, Φ_2 მაგნიტური ნაკადი მიმართულია იმ მაგნიტური ნაკადის (Φ_1-ის) საპირისპიროდ, რომელსაც პირველად გრაგნილში გამავალი ცვლადი დენი (i_1) ქმნის. ეს იმას ნიშნავს, რომ ჯამური მაგნიტური ნაკადი უნდა შემცირდეს, თუმცა ასე არ ხდება.

ჯამური მაგნიტური ნაკადის შემცირება პირველად გრაგნილში ინდუქციის ემ ძალის მოდულის შემცირებას გამოიწვევს, რაც შეუძლებელია: 2.12.5-ის თანახმად, პირველადი გრაგნილის ბოლოებზე არსებული ძაბვა მოდულით, დაახლოებით, მასში აღძრული ინდუქციის ემ ძალის ტოლია: $|u_1| \approx |\varepsilon_1|$

ძაბვის მნიშვნელობა კი პირველადი გრაგნილის ბოლოებზე (u_1) როგორც უქმი სვლისას, ისე დატვირთვის რეჟიმში მუშაობისას ერთნაირია: პირველადი გრაგნილის ბოლოები ცვლადი დენის გენერატორთანაა მიერთებული.

ასე რომ, ჯამური მაგნიტური ნაკადი დატვირთვისას ისეთივე უნდა იყოს, როგორიც უქმი სვლის დროს იყო. ამიტომ მეორადი გრაგნილის წრედის შეკვრისას პირველად გრაგნილში **დენი ავტომატურად ისე იზრდება**, რომ მაჯამებელი მაგნიტური ნაკადის რხევების ამპლიტუდა პირველად გრაგნილში საწყის მნიშვნელობამდე აღდგება.

თუ ტრანსფორმატორის გრაგნილების აქტიურ წინაღობას სიმცირის გამო უგულებელვყოფთ, ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, დენის სიმძლავრე პირველად გრაგნილში, პრაქტიკულად იგივეა, რაც მეორად გრაგნილში:

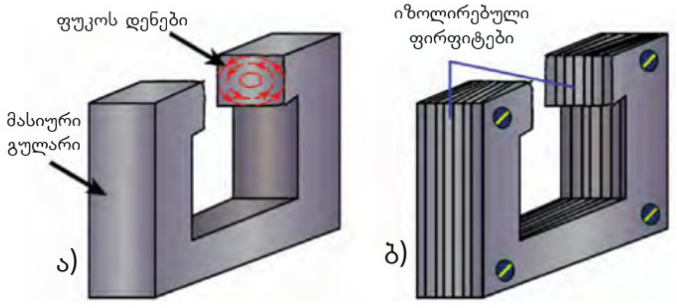
$$P_1 \approx P_2, \quad \text{ანუ} \quad I_1 U_1 \approx I_2 U_2 \qquad (2.12.10)$$

2.12.10-იდან ჩანს, რომ:

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{U_2}{U_1} \qquad (2.12.11)$$

ეს კი ნიშნავს, რომ **რამდენჯერაც ამაღლდება ძაბვა ტრანსფორმატორით, იმდენჯერ შემცირდება დენის ძალა** (და – პირიქით).

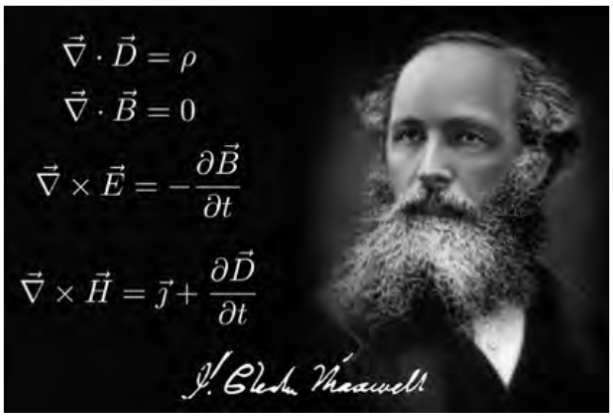
ტრანსფორმატორებში ენერგიის უმნიშვნელო (2 - 3 %-ის) კარგვის ერთ-ერთი მიზეზი გულარში აღძრული **ფუკოს დენებია**, რომლებიც გულარისა და ხვიების გათბობას იწვევს (სურ. 2.12.6, ა). იმისათვის, რომ ენერგიის დანაკარგი მინიმალურამდე შეამცირონ, ტრანსფორმატორის გულარი მასიური არ არის. მას ერთმანეთისგან იზოლირებული თხელი ფირფიტებით ამზადებენ. ამასთან, გულარებს ფერიტებისგან ამზადებენ, რომელთაც მცირე ელექტრული გამტარობა და მკვეთრად გამოხატული ფერომაგნიტური თვისებები აქვს (სურ. 2.12.6, ბ).



სურ. 2.12.6

Don't copy

2.13 ელექტრომაგნიტური ტალღები



სურ. 2.13.1

„შეკითხვაზე, რა არის მაქსველის თეორია, მე უფრო მოკლე და ნათელი პასუხი არ ვიცი... მაქსველის თეორია – ეს მაქსველის განტოლებათა სისტემაა," – ეს სიტყვები ჰენრიხ ჰერცს ეკუთვნის, ადამიანს, რომელმაც ექსპერიმენტულად დაადასტურა მაქსველის ჰიპოთეზა, რომელიც მან 20 წლით ადრე ივარაუდა.

მაქსველმა **ელექტრომაგნიტური ტალღების არსებობა ივარაუდა** და ელექტროდინამიკის მთელი თეორია სულ ოთხ განტოლებაში მოაქცია.

„ძნელია გათავისუფლდე იმ გრძნობისაგან, რომ ეს მათემატიკური განტოლებები საკუთარი დამოუკიდებელი ცხოვრებით ცხოვრობენ და იმდენად დიდი ინტელექტის მატარებლები არიან, რომ გაცილებით ბრძენნი ჩანან, ვიდრე ჩვენ, ადამიანები, ვიდრე თავად მათი ავტორი. გაივლის დრო და ისინი გაცილებით მეტს მოგვცემენ, ვიდრე მათში თავიდან იყო ნაგულისხმევი", – ამბობდა ჰერცი და, მიუხედავად ამისა, ალბათ, მაინც ვერ წარმოედგინა, რა როლს შეასრულებდა მაქსველის ჰიპოთეზა და მისი (ჰერცის) ექსპერიმენტები, რომლებმაც ჰიპოთეზის ჭეშმარიტება დაადასტურა.

დღეს არავის უკვირს ინფორმაციის გადაცემა პლანეტის ნებისმიერ წერტილში ელექტრომაგნიტური ტალღების (რადიოტალღების) საშუალებით. რადიო, ტელევიზია, უსადენო და მობილური კავშირები, თანამგზავრული საკომუნიკაციო სისტემები იმდენად ჩვეულებრივი რამ გახდა, რომ ადამიანებმა დაკარგეს „სასწაულის" შეგრძნება, რომელიც ელექტრომაგნიტური ტალღების მეშვეობით ყოველდღე ხდება ჩვენს ცხოვრებაში.

ელექტროდინამიკაში მაქსველის განტოლებებს ისეთივე მნიშვნელოვანი როლი აქვს, როგორც მექანიკაში – ნიუტონისას. მაქსველის განტოლებები (ლორენცის ძალის აღმწერ განტოლებასთან ერთად) ელექტრომაგნეტიზმის მოვლენების იმ ფუნდამენტურ კანონზომიერებებს აღწერს მათემატიკურად, რომელიც სხვადასხვა დროს სხვადასხვა მეცნიერმა დაადგინა და მათთან ერთად **მაქსველის ჰიპოთეზასაც** მოიცავს.

შენთვის უცნობი უმაღლესი მათემატიკის სიმბოლოებით ჩაწერილი მაქსველის განტოლებების მიღმა ის ელექტრომაგნიტური მოვლენები „იმალება", რომლებსაც სასკოლო ფიზიკის კურსიდან კარგად იცნობ. **რა არის მაქსველის განტოლებების შინაარსი** (სურ. 2.13.1)?

1-ელი განტოლების თანახმად, **ელექტრული ველის წყარო ელექტრული მუხტებია (უძრავიც და მოძრავიც). ელექტრული ველი პოტენციალურია;**

მე-2 განტოლება „ამბობს", რომ **მაგნიტური მუხტები არ არსებობს. მაგნიტური ველი ყოველთვის გრიგალურია:** ინდუქციის წირები შეკრულია, მათ არც დასაწყისი აქვს და არც – დასასრული;

მე-3 განტოლება ფარადეის ელექტრომაგნიტურ კანონს ასახავს: დროის მიხედვით ცვლადი მაგნიტური ველი გრიგალურ ელექტრულ ველს წარმოშობს;

მე-4 განტოლება ამპერის კანონსა და მაქსველის ჰიპოთეზას აერთიანებს: **გრიგალური მაგნიტური ველის წყარო ან ელექტრული დენია** (ამპერის კანონი) **ან დროის მიხედვით ცვლადი ელექტრული ველი** (მაქსველის ჰიპოთეზა).

Don't copy

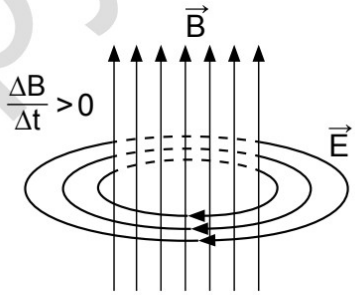
როგორ მივიდა მაქსველი თავის ჰიპოთეზამდე, როგორ აღმოაჩინა მან ელექტრომაგნიტური ტალღები თეორიულად და როგორ დაამტკიცა ჰერცმა მათი არსებობა ექსპერიმენტულად, რა თვისებები აქვს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს, ამ პარაგრაფში გაეცნობი.

2.13.1. მაქსველის ჰიპოთეზა

1831 წელს, როცა მაიკლ ფარადეიმ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა აღმოაჩინა, შოტლანდიაში, ქალაქ ედინბურგში, დაიბადა ადამიანი, რომელმაც მრავალი წლის შემდეგ, 1865 წელს, ამ მოვლენის მათემატიკური თეორია შექმნა.

ეს **ჯეიმს კლარკ მაქსველი** (1831-1879) იყო ადამიანი, რომელმაც ფარადეის შრომები დაწვრილებით შეისწავლა, მისი იდეების სიღრმეს ჩასწვდა და უფრო შორსაც წავიდა. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენის შესწავლისას მისთვის ნათელი გახდა ფუნდამენტური ფაქტი – **მაგნიტური ველის ნებისმიერი ცვლილება გარემომცველ სივრცეში წარმოქმნის გრიგალურ ელექტრულ ველს, რომლის დაძაბულობის ძალწირები შეკრულია** (გრიგალური ელექტრული ველის დაძაბულობის წირები მაგნიტური ინდუქციის წირებს მოიცავს) (სურ. 2.13.2).

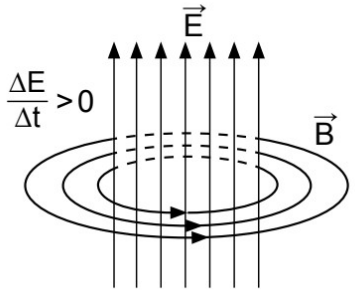
მაქსველის ყურადღება მაგნიტური და ელექტრული მოვლენების ურთიერთკავშირის ასიმეტრიულობამ მიიპყრო და მეცნიერს კითხვა გაუჩნდა – თუ ცვლადი მაგნიტური ველი ელექტრულ ველს წარმოქმნის, ხომ არ შეიძლება პირიქითაც მოხდეს: ცვლადმა ელექტრულმა ველმა მაგნიტური ველი წარმოქმნას?



სურ. 2.13.2

სწორედ ბუნებაში მიმდინარე პროცესებისთვის დამახასიათებელმა სიმეტრიულობამ და ბუნების კანონების შინაგანმა სიმწყობრემ უკარნახა მაქსველს, **გამოეთქვა ჰიპოთეზა** შებრუნებული პროცესის არსებობის შესახებ.

მაქსველის ჰიპოთეზის თანახმად, **დროის მიხედვით ცვლადი ელექტრული ველი გარემომცველ სივრცეში მაგნიტურ ველს წარმოქმნის.** მაგნიტური ინდუქციის წირები შეკრულია და ელექტრული ველის დაძაბულობის წირებს მოიცავს (სურ. 2.13.3).



სურ. 2.13.3

მიუხედავად იმისა, რომ **მაქსველის ჰიპოთეზა მხოლოდ თეორიული ვარაუდი** იყო და მისი ჭეშმარიტება ექსპერიმენტულად მოგვიანებით დამტკიცდა, ამ ჰიპოთეზის საფუძველზე მაქსველმა უმნიშვნელოვანესი დასკვნები გამოიტანა.

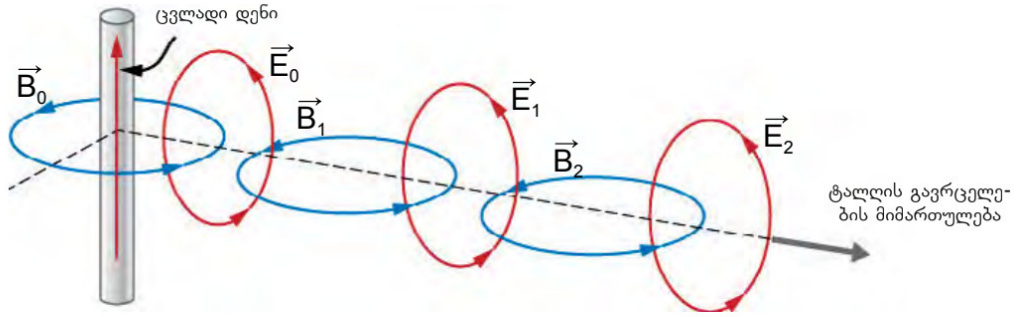
2.13.2. მაქსველის დასკვნები

მაქსველის ჰიპოთეზის თანახმად, ცვლადი მაგნიტური ველი გრიგალურ ელექტრულ ველს ქმნის, ცვლადი ელექტრული ველი კი თავის მხრივ – გრიგალურ მაგნიტურ ველს. წარმოიდგინე: ვთქვათ, გამტარში მუდმივი დენი გადის. დენიანი გამტარი თავის გარშემო მუდმივ მაგნიტურ ველს შექმნის. თუ გამტარში დენი შეიცვლება, შეიცვლება მაგნიტური ველიც მის გარშემო. ცვლადი მაგნიტური ველი, თავის მხრივ, ცვლად ელექტრულ ველს ქმნის, ცვლადი ელექტრული ველი – ცვლად მაგნიტურ ველს და ა.შ (სურ. 2.13.4).

– **ელექტრული და მაგნიტური ველები ერთიან, ელექტრომაგნიტურ, ველს ქმნის** – დაასკვნა მაქსველმა.

ელექტრული და მაგნიტური ველების ურთიერთკავშირის სიმეტრიულობამ ნათელი გახადა ელექტრული და მაგნიტური ველების ერთიანი ბუნება. მაქსველის ჰიპოთე-

Don't copy



სურ. 2.13.4

ზის თანახმად, **ელექტრული და მაგნიტური ველები ერთი მთლიანი ელექტრომაგნიტური ველის კერძო გამოვლინებებია.**

სივრცის რომელიღაც წერტილში ელექტრული (ან მაგნიტური) ველის ერთხელ დაწყებული ცვლილება (ელექტრომაგნიტური ველის შეშფოთება) სივრცეში გავრცელდება და სივრცის სულ უფრო და უფრო ახალ უბნებს მოიცავს, რაც იმას ნიშნავს, რომ სივრცეში **ელექტრომაგნიტური ტალღა გავრცელდება.**

შორსქმედების თეორიის თანახმად, ელექტრულ მუხტზე მოქმედი კულონის ძალა მაშინვე შეიცვლება, როგორც კი მეზობელ მუხტს ადგილიდან დავძრავთ. ერთი მუხტის ქმედება მეორეს მყისიერად გადაეცემა.

მაქსველის ჰიპოთეზამ კი **ახლოქმედების თეორიას** დაუდო საფუძველი: თუ სივრცის რომელიღაც წერტილში მოთავსებული მუხტი გადაადგილდება, მუხტის გარემომცველ სივრცეში ელექტრული ველი შეიცვლება. ცვლადი ელექტრული ველი ცვლად მაგნიტურ ველს ქმნის, ცვლადი მაგნიტური ველი, თავის მხრივ, ცვლად ელექტრულ ველს შექმნის და ა. შ. მუხტის გადაადგილება ელექტრომაგნიტური ტალღის წარმოქმნას გამოიწვევს, რომელიც სივრცეში გავრცელდება და როდესაც მეორე მუხტს მიაღწევს, მასზე გარკვეული ძალით იმოქმედებს. მაგრამ ეს მოხდება არა იმავე მომენტში, როცა პირველი მუხტის წანაცვლება მოხდა, არამედ გარკვეული დროის შემდეგ. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება სასრული სიჩქარით ვრცელდება.** ეს ელექტრომაგნიტური ველის ფუნდამენტური თვისებაა. მაქსველმა მათემატიკურად გამოთვალა, რომ **ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ვაკუუმში სინათლის სიჩქარით, 300 000 კმ/წმ-ით, ვრცელდება.**

მაქსველი ღრმად იყო დარწმუნებული ელექტრომაგნიტური ტალღების არსებობაში, მაგრამ მათ ექსპერიმენტულ აღმოჩენას ვერ მოესწრო. ექსპერიმენტულად ელექტრომაგნიტური ტალღების მიღება გერმანელმა ფიზიკოსმა ჰერმან ჰერცმა მაქსველის გარდაცვალებიდან ათი წლის შემდეგ შეძლო.

2.13.3. ჰერცის ცდები

მაქსველმა ვერ შეძლო თავისი ჰიპოთეზის ექსპერიმენტული დადასტურება, რადგან ელექტრული ველის ცვლილებისას აღძრული მაგნიტური ველი იმდენად სუსტი იყო, რომ მისი რეგისტრაცია (აღმოჩენა) ვერ ხერხდებოდა.

ინტენსიური (ძლიერი) ელექტრომაგნიტური ტალღების მისაღებად საჭიროა, რომ ელექტრული და მაგნიტური ველის **ცვლილების (რხევის) სიხშირე საკმარისად მაღალი იყოს**. რაც უფრო სწრაფად იცვლება დროის მიხედვით მაგნიტური ველის ინდუქცია, მით უფრო მეტია წარმოქმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა და, პირიქით: რაც უფრო სწრაფად იცვლება ელექტრული ველის დაძაბულობა, მით მეტია აღძრული მაგნიტური ველის ინდუქცია.

Don't copy

ისეთი ელექტრომაგნიტური რხევების მიღება, რომელთა სიხშირე სამრეწველო სიხშირეს (50 ჰც-ს) გაცილებით აღემატება, რხევითი კონტურის დახმარებითაა შესაძლებელი.

გაიხსენე – ტომსონის ფორმულის მიხედვით, რხევით კონტურში აღძრული თავისუფალი ელექტრომაგნიტური რხევების სიხშირე ასე გამოითვლება:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (2.13.1)$$

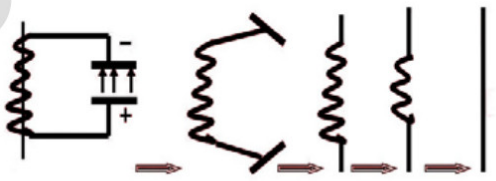
2.13.1 ფორმულიდან ჩანს, რომ რაც უფრო ნაკლებია რხევით კონტურში კოჭას ინდუქციურობა და კონდენსატორის ტევადობა, მით უფრო მეტი სიხშირის ელექტრომაგნიტური რხევების მიღებაა შესაძლებელი.

ჩვეულებრივი რხევითი კონტური, მიუხედავად მასში აღძრული რხევების მაღალი სიხშირისა, ელექტრომაგნიტურ ტალღებს სუსტად ასხივებს (წარმოქმნის): თითქმის მთლიანად ელექტრული ველი კონდენსატორის შემონაფენებს შორისაა კონცენტრირებული, მაგნიტური ველი კი – კოჭას შიგნით. კონტურის გარეთ, როგორც ელექტრული, ისე მაგნიტური ველი, პრაქტიკულად, ნულის ტოლია.

იმისათვის, რომ **რხევით კონტურში დიდი სიხშირის ელექტრომაგნიტური რხევები მიეღო, ჰერცი კონდენსატორის ელექტროტევადობასა და კოჭას ინდუქციურობას მაქსიმალურად ამცირებდა.**

გაიხსენე – კონდენსატორის ელექტროტევადობა გამოითვლება ფორმულით: $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$. იმისათვის, რომ ტევადობა შეემცირებინა, ჰერცი კონდენსატორის შემონაფენებს ერთმანეთს აშორებდა (d-ს ზრდიდა) და მათ ფართობს (S-ს) ამცირებდა (სურ. 2.13.5).

კოჭას ინდუქციურობის შესამცირებლად მისი ხვიების რაოდენობას ამცირებდა. ბოლოს და ბოლოს, უბრალოდ, სწორი წრფივი გამტარი მიიღო (სურ. 2.13.5).



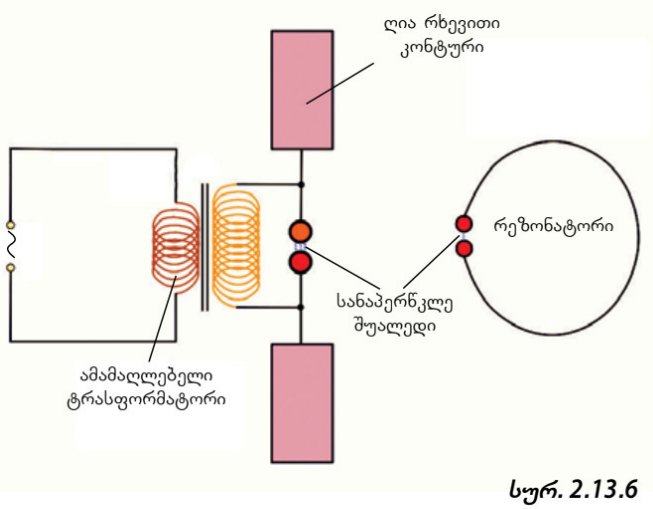
სურ. 2.13.5

ჩვეულებრივი რხევითი კონტურის ელემენტების სახეცვლილებით, ჰერცმა **ღია რხევითი კონტური** მიიღო.

გაშლილ კონტურს შუაში ჭრიდა და ნაწილებს ერთმანეთს ოდნავ აშორებდა: მათ შორის ჰაერის პატარა, ე.წ. **სანაპერწკლე შუალედს** ტოვებდა (სურ. 2.13.6).

კონტურის გადაჭრილ ნაწილებს დენის წყაროსთან ჩართული ამამაღლებელი ტრანსფორმატორის მეორადი ხვიების ბოლოებს უერთებდა (სურ. 2.13.6).

როდესაც კონტურის ნაწილებს შორის ძაბვა გარკვეულ მაღალ ნიშნულს მიაღწევს, სანაპერწკლე შუალედში ნაპერწკალი ჩნდება, წრედი იკვრება და კონტურში მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური რხევები აღიძვრება.



სურ. 2.13.6

იმისათვის, რომ რხევები არ მიილიოს, ჰერცი ღია კონტურს ტრანსფორმატორის საშუალებით ცვლადი დენის წყაროსთან აერთებდა.

გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღების აღმოსაჩენად, ღია კონტურისგან მოშორებით, ჰერცი **რეზონატორს** (მიმღებს) ათავსებდა. რეზონატორი რკალისებურად

Don't copy

მოხრილი გამტარია, რომლის ბოლოებს შორისაც მცირე სანაპერწკლე შუალედია (მილიმეტრზე ნაკლები სიგანის) (სურ. 2.13.6).

ჰერცმა აღმოაჩინა, რომ რეზონატორი ყველა იმ ნაპერწკალს „ეხმიანებოდა“, რომელიც ღია კონტურის სანაპერწკლე შუალედში ჩნდებოდა. მან სიბნელეში ძლივს შესამჩნევი ნაპერწკლები რეზონატორშიც აღმოაჩინა.

მაქსველის ჰიპოთეზის თანახმად, რეზონატორში აღძრული ნაპერწკალი ღია კონტურიდან გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღის მოქმედების შედეგი იყო. ტალღის ელექტრული ველი რეზონატორში იძულებით რხევებს აღძრავს, რომელთა ამპლიტუდა რეზონანსის დროს მკვეთრად იზრდება. რეზონატორის ბოლოებს შორის მაღალი ამპლიტუდური მნიშვნელობის ძაბვა აღიძვრება, სანაპერწკლე შუალედში ჰაერის „გარღვევა“ ხდება და ნაპერწკალი ჩნდება (სურ. 2.13.7).



სურ. 2.13.7

ჰერცი ღია კონტურს ერთ ოთახში ათავსებდა, რეზონატორს კი – მეორეში და აღმოაჩინა, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღა ოთახის კედელშიც აღწევდა. მეორე ოთახში მოთავსებული რეზონატორის ბოლოებს შორის ნაპერწკალი ჩნდებოდა.

ჰერცი რეზონატორში ნაპერწკალს სხვადასხვა პირობებში აკვირდებოდა და მივიდა დასკვნამდე: **მაქსველის თეორიულად ნავარაუდევი ელექტრომაგნიტური ტალღები რეალურად არსებობს!**

მას შემდეგ, რაც ჰერცმა მრავალგზის გაიმეორა თავისი ცდები, 1889 წელს დაბეჯითებით განაცხადა, რომ მაქსველის ჰიპოთეზა ჭეშმარიტია. მეტიც, ჰერცმა არა მარტო მიიღო ელექტრომაგნიტური ტალღები, არამედ ისიც აღმოაჩინა, რომ ისინი, მექანიკური ტალღების მსგავსად, აირეკლება ორი გარემოს გამყოფი საზღვრიდან, გარდატყდება (იცვლის წრფივი გავრცელების მიმართულებას), ქმნის ინტერენფერენციულ სურათს (სურათი მიიღება ტალღების ზედდების შედეგად).

ნახე ჰერცის ცდა: http://bitly.ws/AfsM
http://bitly.ws/AfsP

Demo

2.13.4. ელექტრომაგნიტური ველი

მაქსველის თეორიიდან რამდენიმე მნიშვნელოვანი დასკვნა გამომდინარეობს, რომელიც თავის დროზე მაქსველმა ივარაუდა და ჰერცმა ექსპერიმენტულად დაადასტურა:

1. სივრცის ნებისმიერ წერტილში და დროის ნებისმიერ მომენტში ელექტრომაგნიტური ველის მდგომარეობა ორი ვექტორით ხასიათდება: დაძაბულობის $\vec{E}$ ვექტორითა და ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორით. კერძო შემთხვევებში:

ა) როცა $\vec{E} = 0$ და $\vec{B} \neq 0$, სივრცეში მხოლოდ ელექტრული ველი არსებობს;

ბ) როცა $\vec{E} \neq 0$ და $\vec{B} = 0$, სივრცეში მხოლოდ მაგნიტური ველი არსებობს.

ზოგადად კი, **ელექტრომაგნიტური ველის ორივე ვექტორი ნულისგან განსხვავდება და ერთდროულად იცვლება.** შეუძლებელია ცვლადი მაგნიტური ველის შექმნა ისე, რომ იმავდროულად სივრცეში ცვლადი ელექტრული ველი არ გაჩნდეს და – პირიქით, ცვლადი ელექტრული ველი განცალკევებულად, მაგნიტური ველის გარეშე, არ არსებობს.

ელექტრული და მაგნიტური ველი ცალ-ცალკე კი არ არსებობს (ეს ის შემთხვევა არ

არის, როცა ერთი მოვლენა მეორეს იწვევს), არამედ ეს ერთიანი, **ელექტრომაგნიტური ველია, რომელშიც ელექტრული და მაგნიტური ველების ცალ-ცალკე გამოვლინება ათვლის სისტემაზეა დამოკიდებული.** თუ ერთი დამკვირვებელი მოვლენაში მხოლოდ ელექტრული ველის მოქმედებას ხედავს, იმავე მოვლენაში მეორე, პირველის მიმართ მოძრავი, დამკვირვებელი მაგნიტური ველის გამოვლინებას შეამჩნევს.

ელექტრომაგნიტური ველი მატერიის არსებობის ერთ-ერთი ფორმაა. ელექტრომაგნიტური ველი ურთიერთქმედებს დამუხტულ ნაწილაკებთან, ვლინდება როგორც მიკრო-, ისე მაკროსამყაროში, აღიწერება კლასიკური ელექტროდინამიკის კანონებით – მაქსველის განტოლებებით.

ელექტრომაგნიტური ველი ერთ-ერთია ბუნებაში არსებული ოთხი ფუნდამენტური ურთიერთქმედებიდან (გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ძლიერი და სუსტი). გასული საუკუნის 60-იან წლებში დამტკიცდა ელექტრომაგნიტური და სუსტი ურთიერთქმედების ერთიანი ბუნება (ამ თეორიის ავტორებმა გლეშოუმ, ვაინბერგმა და სალამმა 1979 წელს ნობელის პრემია მიიღეს). მოგვიანებით გამოიკვეთა თეორია (ე.წ. **სტანდარტული მოდელი**), რომლის თანახმადაც მათ ძლიერი ურთიერთქმედებაც შეუერთდა (თუმცა ამ თეორიაში არსებული წინააღმდეგობები დაძლეული დღესაც არ არის).

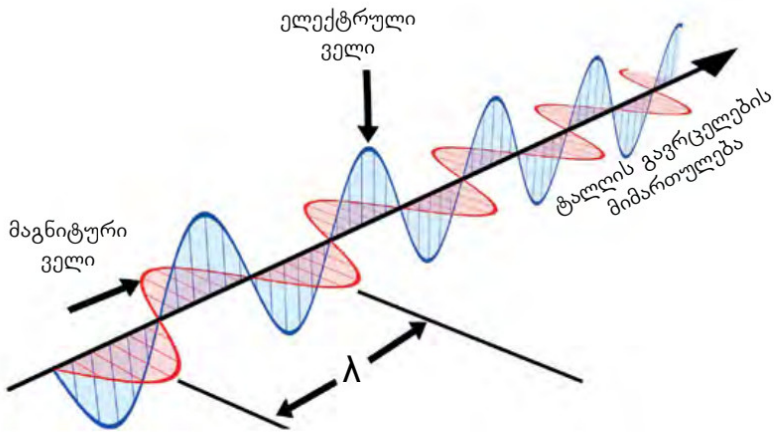
2.13.5 ელექტრომაგნიტური ტალღის ზოგიერთი თვისება

სივრცეში ელექტრომაგნიტური ველის ცვლილების (შეშფოთების) გავრცელებას **ელექტრომაგნიტური ტალღა** ჰქვია.

მაქსველის ნაწინასწარმეტყველებსა და ჰერცის მიერ ექსპერიმენტულად აღმოჩენილ **ელექტრომაგნიტურ ტალღებს მნიშვნელოვანი თვისებები აქვს**. განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი:

1. ელექტრომაგნიტური ტალღას მერხევი მუხტი ასხივებს, თუმცა არსებითია ის, რომ ასეთი მუხტის მოძრაობის სიჩქარე დროის მიხედვით იცვლება, ე.ი. მუხტი **აჩქარებულად** მოძრაობს. ელექტრომაგნიტური ტალღა არა მარტო მუხტის რხევისას წარმოიქმნება (გამოსხივდება), არამედ – ნებისმიერ შემთხვევაში, როცა მუხტის სიჩქარე სწრაფად იცვლება. ასე რომ, **მუხტის აჩქარებული მოძრაობა ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივების მთავარი პირობაა.** უძრავი ან წრფივად და თანაბრად მოძრავი მუხტი ელექტრომაგნიტურ ტალღებს არ ასხივებს;

2. ელექტრომაგნიტურ ტალღაში $\vec{E}$ და $\vec{B}$ **ვექტორები ურთიერთმართობულია და ტალღის გავრცელების მიმართულების მართობულ სიბრტყეში ირხევა.** ასე რომ, **ელექტრომაგნიტური ტალღა განივი ტალღაა** (სურ. 2.13.8).



სურ. 2.13.8

Don't copy

3. ელექტრომაგნიტურ ტალღას გავრცელებისას ენერგია გადააქვს.
ხშირად ელექტრომაგნიტური ტალღის ენერგიას ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც ელექტრომაგნიტური ტალღის **ინტენსივობა** ჰქვია.
ინტენსივობა რიცხობრივად იმ ენერგიის საშუალო მნიშვნელობას გვიჩვენებს, რომელიც ტალღას გადააქვს დროის ერთეულში, გავრცელების მართობული ზედაპირის ერთეულოვან ფართობში.
ელექტრომაგნიტური ტალღის ინტენსივობა და, შესაბამისად, **ტალღის მიერ გადატანილი საშუალო ენერგია ტალღის სიხშირის მეოთხე ხარისხის პროპორციულია:** რაც უფრო მაღალია ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირე, მით მეტია მისი ინტენსივობა, ანუ მით მეტი ენერგია გადააქვს მას დროის ერთეულში.

4. ელექტრომაგნიტური ტალღები შეიძლება ნივთიერებამ შთანთქას. ეს მოვლენა გამოწვეულია რეზონანსით. ტალღის ელექტრული ველის გავლენით დამუხტული ნაწილაკები ნივთიერებაში (ელექტრონები და იონები) იძულებით რხევას ასრულებს. თუ ტალღის სიხშირე მათ საკუთარ სიხშირეს ემთხვევა, რეზონანსი მყარდება და ნაწილაკები ტალღის ენერგიის დიდ ნაწილს შთანთქავენ (იზრდება ნაწილაკების სითბური მოძრაობის ენერგია, ნივთიერება თბება). იმ შემთხვევაში, თუ რეზონანსი არ მყარდება, ელექტრონებისა და იონების მიერ შთანთქმული ენერგია უმნიშვნელოა და ნივთიერება ელექტრომაგნიტური ტალღისთვის **გამჭვირვალეა.**

5. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე ელექტრომაგნიტური ტალღის ნაწილი **აირეკლება** (პირველ გარემოში ბრუნდება), ნაწილი კი მეორე გარემოში გადადის და მიმართულებას იცვლის, **გარდატყდება.** თუ მეორე გარემო ლითონია, გადასული ტალღა სწრაფად მიილევა (ჩაქრება), ტალღის (განსაკუთრებით, დაბალსიხშირული ტალღის) ენერგიის დიდი ნაწილი კი პირველ გარემოში აირეკლება. როგორც წესი, ელექტრომაგნიტური ტალღებისთვის ლითონის თხელი ფენაც კი გაუმჭვირვალეა, არ ატარებს ტალღას, თუმცა ლითონები მაღალსიხშირული ტალღებისთვის შეიძლება გამჭვირვალეც იყოს (მაგ., სპილენძისთვის ეს სიხშირე 10^{16} ჰერცს აღემატება).

6. სიჩქარეს, რომლითაც სივრცეში ელექტრომაგნიტური ველის ცვლილება ვრცელდება, **ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარე** ჰქვია.
ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარე, ზოგადად, **ასე გამოითვლება:**

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}} \qquad (2.13.2)$$

სადაც,
ε ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევადობაა,
μ – მაგნიტური შეღწევადობა;
ε_0 – ელექტრული მუდმივა: $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ ფ/მ;
μ_0 – მაგნიტური მუდმივა: $\mu_0 = 1{,}26 \cdot 10^{-6}$ ჰნ/მ;

7. ელექტრომაგნიტური ტალღები არა მხოლოდ სხვადასხვა დიელექტრიკში ვრცელდება, არამედ (დრეკადი ტალღებისგან განსხვავებით) – ვაკუუმშიც ($\varepsilon = \mu = 1$).

Don't copy

ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარე ვაკუუმში c -თი აღინიშნება. თუ გავითვალისწინებთ 2.13.2 ფორმულას, მივიღებთ, რომ **ვაკუუმში ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარე:**

$$c = 2{,}99792458 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ} \approx 300\ 000 \text{ კმ/წმ}. \qquad (2.13.3)$$

დიელექტრიკში ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარე $\sqrt{\varepsilon\mu}$-ჯერ ნაკლებია ვაკუუმში მის სიჩქარეზე:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \qquad (2.13.4)$$

ელექტრომაგნიტური ტალღის დიელექტრიკში გავრცელებისას ნივთიერების ელექტრონები და იონები იძულებით რხევას ასრულებს ტალღის ელექტრული ველის გავლენით. ამ პროცესს თან ახლავს მათ მიერ ელექტრომაგნიტური ტალღის ენერგიის შთანთქმა და ხელახლა გამოსხივება. სწორედ ამ განუწყვეტელი შთანთქმისა და ხელახლა გამოსხივების გამო მცირდება ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარე დიელექტრიკში.

8. მანძილს, რომელზედაც ელექტრომაგნიტური ტალღა პერიოდის განმავლობაში ვრცელდება, **ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე** ჰქვია. **ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე** (λ) ისევე, როგორც მექანიკური ტალღის შემთხვევაში, **ასე გამოითვლება:**

$$\lambda = v\,T = \frac{v}{\nu} \qquad (2.13.5)$$

სადაც, v ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარეა, T პერიოდი, ν კი სიხშირე (ანუ ელექტრომაგნიტური ველის რხევის სიხშირე).

9. ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირე (პერიოდი) არ იცვლება: იცვლება მხოლოდ ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელების სიჩქარე და ტალღის სიგრძე.

ჰერცის ცდებში ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე რამდენიმე ათეულ სანტიმეტრს შეადგენდა. მან ღია კონტურში თავისუფალი რხევების სიხშირე განსაზღვრა და 2.13.5 ფორმულის დახმარებით გამოთვალა ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარე, რაც მაქსველის თეორიულ გამოთვლებს დაემთხვა.

ჰერცის ცდებმა გადამწყვეტი როლი ითამაშა მაქსველის ელექტრომაგნიტური თეორიის საბოლოოდ დამტკიცებასა და აღიარებაში. ამ ცდებიდან შვიდი წლის შემდეგ კი ე.წ. **ჰერცის ტალღების** (ანუ, **რადიოტალღების**) პრაქტიკულად გამოყენება დაიწყეს: ნიკოლა ტესლა პირველი იყო, ვინც რადიოკავშირის პრინციპი (ელექტრომაგნიტური ტალღების უსადენოდ გადაცემა) აღწერა, საზოგადოების წინაშე წარადგინა კიდეც საკუთარი პროექტი და უკვე 1895 წელს მზად იყო, სიგნალი გადაეცა. თუმცა საბედისწერო ხანძარმა მისი გეგმები შეცვალა: ლაბორატორია და მასთან ერთად უამრავი გამოგონების ამსახველი ჩანაწერები ცეცხლმა შთანთქა.

Don't copy

2.14 ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალა

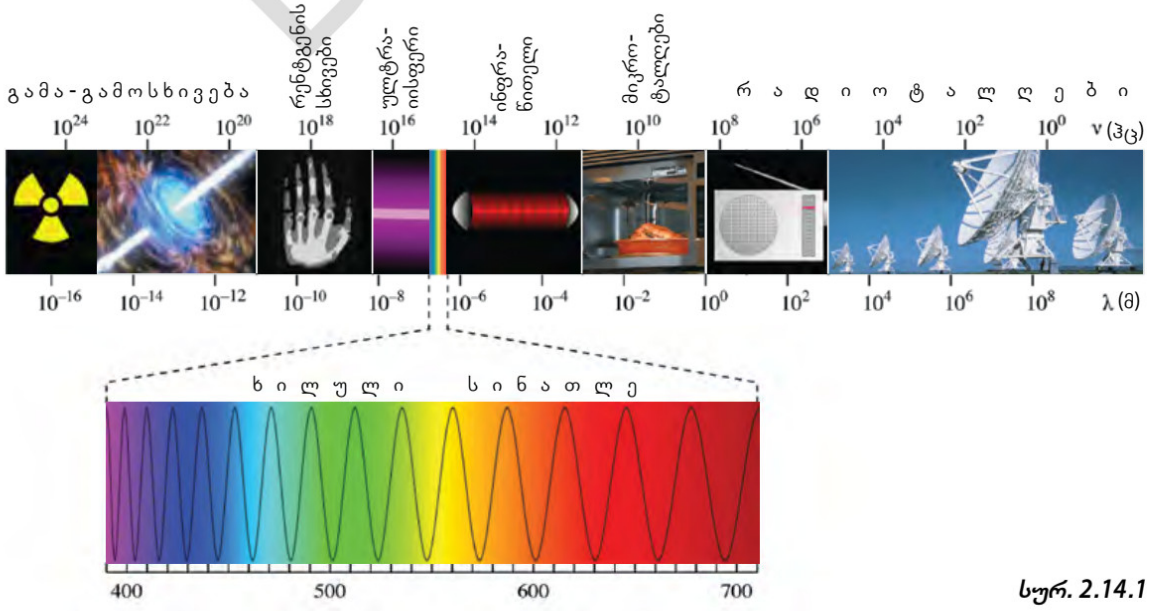
ჩვენ გარშემო უხილავი ელექტრომაგნიტური ტალღების მთელი სამყაროა. შენ იცი, რომ **ელექტრომაგნიტური ტალღის გამოსხივების მთავარი პირობა მუხტის აჩქარებული მოძრაობაა.** ელექტრომაგნიტურ ტალღებს ასხივებს ყველაფერი და ყველგან, სადაც კი გამოსხივების პირობა სრულდება. ელექტრომაგნიტური ტალღა ვრცელდება არა მარტო ნივთიერებაში (რომელიც მის მიმართ გამჭვირვალეა), არამედ ვაკუუმშიც და **ჩვენამდე მოაქვს ინფორმაცია გამომსხივებლის შესახებ.** პრაქტიკულად ყველაფერი, რაც კი კოსმოსის, მიკრო და მაკრო სამყაროს შესახებ ვიცით, ელექტრომაგნიტური ტალღების დამსახურებაა.

ხშირად ვამბობთ, რომ **ვაკუუმში ელექტრომაგნიტური ტალღა სინათლის სიჩქარით ვრცელდება**. ამ დროს პირიქითაა – **სინათლე ვრცელდება ვაკუუმში ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარით.** სინათლე, იმ თვალსაზრისით, რომლითაც ყოველდღიურობაში ვიყენებთ, ე.წ. **ხილული სინათლეა – ელექტრომაგნიტური ტალღაა,** რომელსაც სრულიად განსაზღვრული ფიზიკური მახასიათებლები (სიხშირე, ტალღის სიგრძე) აქვს.

რადიოტალღები, მიკროტალღები, ინფრაწითელი სხივები, ხილული სინათლე, ულტრაიისფერი სხივები, რენტგენის სხივები, გამა-გამოსხივება ელექტრომაგნიტური გამოსხივების (ტალღის) სხვადასხვა სახეა. ყველა მათგანს ერთიანი ელექტრომაგნიტური ბუნება აქვს, ისინი ვაკუუმში ვრცელდება სიჩქარით, რომელიც 300 000 კმ/წმ-ის ტოლია, ყველა მათგანი განივი ტალღაა, ყველა მათგანს ახასიათებს ისეთი მოვლენები, როგორიცაა არეკვლა ორი გარემოს გამყოფი საზღვრიდან, გარდატეხა, დიფრაქცია (ასევე ინტერფერენცია, პოლარიზაციის მოვლენა, დისპერსია – ტალღური მოვლენები, რომლებსაც ჩვენ არ განვიხილავთ).

სხვადასხვა სახის ელექტრომაგნიტურ ტალღას განსხვავებული წყარო ასხივებს: ეს არის ელექტრომაგნიტური რხევების გენერატორები და მათთან დაკავშირებული გადამცემი ანტენები, გახურებული სხეულები, ხილული სინათლის სხვადასხვა წყარო, სპეციალური ნათურები, რომლებიც ულტრაიისფერ სინათლეს ასხივებენ, რენტგენის მილები, კოსმოსური ობიექტები (გალაქტიკები, პულსარები, ვარსკვლავები, მათ შორის მზეც).

ელექტრომაგნიტური ტალღების სხვადასხვა სახე განსხვავებულად ურთიერთქმედებს ნივთიერებასთან, განსხვავებულად აირეკლება, გარდატყდება და შთაინთქმება, იწვევს ქიმიურ გარდაქმნებს და სხვ. შესაბამისად, განსხვავდება ელექტრომაგნიტური ტალღების მიღების (რეგისტრაციის) ხერხებიც: ეს შეიძლება იყოს სხვადასხვა რადიო-



სურ. 2.14.1

DRAFT COPY

სადგურისა და რადიოტელესკოპის მიმღები ანტენები, სპეციალური ფირები, რომლებიც მგრძნობიარე არიან მაგ., ინფრაწითელი ან ულტრაიისფერი სხივების მიმართ და ა. შ.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სხვადასხვა სახეს შორის განსხვავება მათი სხვადასხვა სიხშირითაა (ტალღის სიგრძითაა) განპირობებული.

თუ გამოსხივების განსხვავებულ სახეებს სიხშირის ზრდის ან კლების მიხედვით დავალაგებთ, მივიღებთ საკმაოდ ფართო, უწყვეტ სპექტრს (სხვადასხვა სიხშირის ერთობლიობას), რომელშიც **სხვადასხვა ტალღის სიხშირის დიაპაზონებს შორის მკვეთრი საზღვარი არ არის.**

2.14.1 სურათზე გამოსახულია **ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალა. სკალაზე მარჯვნიდან მარცხნივ ტალღები სიხშირის ზრდის, ანუ, შესაბამისად, ტალღის სიგრძის კლების მიხედვითაა დალაგებული** (გაიხსენე: ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე უკუპროპორციულია სიხშირისა: $\lambda = \frac{v}{\nu}$).

1. რადიოტალღები

რადიოტალღებს ელექტრომაგნიტურ სკალაზე სპექტრის ყველაზე დიდი უბანი უკავია. **რადიოტალღები ყველაზე დაბალი სიხშირისა და ყველაზე გრძელი** (10^{-6} მ-დან 50 კმ) **ტალღის სიგრძის მქონე ელექტრომაგნიტური ტალღებია** (სურ. 2.14.1).

რადიოტალღები, თავის მხრივ, იყოფა:
გრძელ ($\lambda \geq 1$ კმ),
საშუალო (100 მ $\leq \lambda <$ 1 კმ),
მოკლე (10 მ $\leq \lambda <$ 100 მ),
ულტრამოკლე ($\lambda <$ 10 მ) ტალღებად.



სურ. 2.14.2

სწორედ რადიოტალღების მეშვეობით ხორციელდება რადიო და სატელევიზიო კომუნიკაციები, რომლებიც უდიდეს როლს თამაშობს თანამედროვე ადამიანის ცხოვრებაში. აღმოჩნდა, რომ ციური სხეულები – ვარსკვლავები, კომეტები, თვით გალაქტიკებიც კი, გარდა ხილული სინათლისა, რადიოტალღებსაც ასხივებს. კოსმოსიდან მოსულ რადიოგამოსხივებას რადიოტელესკოპების მთელი ქსელი აკვირდება (2.14.2), რადგან სწორედ ამ ტალღების შესწავლით გახდა შესაძლებელი ჩვენი გარემომცველი სამყაროს აგებულების შესახებ ცოდნის გაფართოება.

2. მიკროტალღები

მიკროტალღებს რადიოტალღებთან შედარებით მეტი სიხშირე, ანუ ტალღის ნაკლები სიგრძე აქვს. შესაბამისად, ამ ტალღების ენერგიაც მეტია (სიხშირის მე-4 ხარისხის პროპორციულია). მიკროტალღოვანი დიაპაზონი ძირითადად შორეული სატელეფონო, სატელევიზიო კავშირებისა და ასევე რადარების მუშაობისათვის გამოიყენება.

რადარს ხშირად იყენებენ ავიაციაში, როცა შორს მყოფი სხეულების აღმოჩენა და სხეულებამდე მანძილის განსაზღვრაა საჭირო. მიკროტალღოვანი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გადამცემით რადარი მოკლე იმპულსს გზავნის, რომელიც დაბრკოლებიდან (სხეულიდან) აირეკლება და არეკლილ ტალღას ისევ რადარი იღებს. სწორედ გადაცემულ და მიღებულ იმპულსებს შორის დროის ინტერვალის სიდიდით შეიძლება სხეულის ადგილმდებარეობის განსაზღვრა. არეკლილი ტალღის სიხშირით შესაძლებელია მოძრავი ობიექტის სიჩქარის განსაზღვრაც (დოპლერის ეფექტი). სწორედ ასე მუშაობს საგზაო პოლიციის რადარი (სურ. 2.14.3).

Don't copy



სურ. 2.14.3

ყველაზე გრძელ მიკროტალღებზე მუშაობს მიკროტალღოვანი ღუმელი: მიკროტალღების ელექტრული ველი საკვებში შემავალი წყლის (ცხიმის, შაქრის) მოლეკულების ტალღის სიხშირით (მილიონი ბრუნვა წამში) ბრუნვას იწვევს.

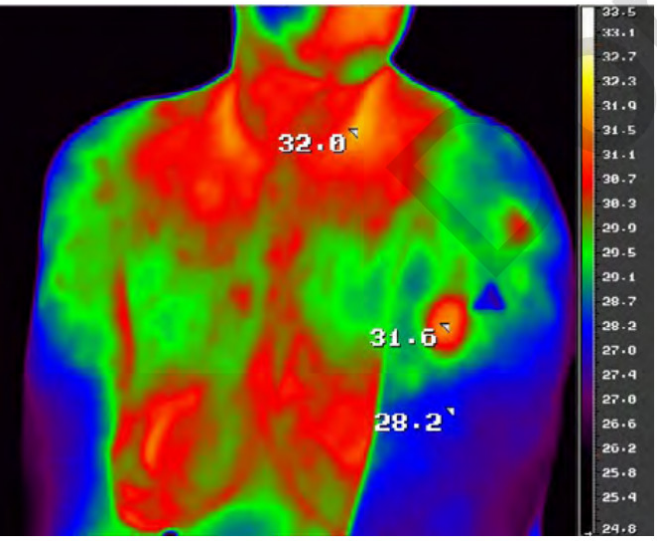
ელექტრული ველის ენერგიის ნაწილი გადაეცემა მოლეკულებს, მბრუნავი მოლეკულები ურთიერთქმედებს სხვა მოლეკულებთან (ეჯახება მათ) და მოლეკულების სითბური მოძრაობის ენერგია იმატებს. ეს კი, საბოლოოდ, საკვების შინაგანი ენერგიის ზრდასა და, შესაბამისად, მის გათბობას იწვევს. მინაში, პლასტმასსა და ქაღალდში წყლის მოლეკულები არ არის და, შესაბამისად, მიკროტალღოვან ღუმელში ამ მასალისაგან დამზადებული ჭურჭელი არ ცხელდება.

3. ინფრაწითელი გამოსხივება

ინფრაწითელი გამოსხივება 1800 წელს ინგლისელმა ასტრონომმა **უილიამ ჰერშელმა** აღმოაჩინა. თავდაპირველად ამ უხილავ სხივებს **სითბური სხივები** უწოდეს, რადგან მას **სხეულების გათბობის განსაკუთრებული უნარი** აღმოაჩნდა. მოგვიანებით კი სხივებს **ინფრაწითელი სხივები** უწოდეს, რადგან გამოსხივების სპექტრში ადგილს ხილული სინათლის გვერდით, წითელ სხივებამდე იკავებს.

მზის გამოსხივების დაახლოებით 50% ინფრაწითელი გამოსხივებაა. **ინფრაწითელი გამოსხივება ადამიანისთვის უხილავია**, მაგრამ ზოგიერთი ბიოლოგიური სახეობა მას ჩვეულებრივ აღიქვამს, მაგ., ზოგიერთი გველი ინფრაწითელი გამოსხივების დიაპაზონში ხედავს და თბილსისხლიან მსხვერპლზე ღამითაც წარმატებით ნადირობს.

მწერებს შორის ინფრაწითელი ხედვის უნარით კოღოები არიან დაჯილდოებული, რაც მათ საშუალებას აძლევს, დიდი სიზუსტით ორიენტირდნენ მსხვერპლის სხეულის იმ უბნებისკენ, რომლებიც მდიდარია სისხლძარღვებით (ამ უბნებზე ინფრაწითელი გამოსხივება უფრო ძლიერია) და ამაში მათ სიბნელე ხელს სრულებით არ უშლის.



სურ. 2.14.4

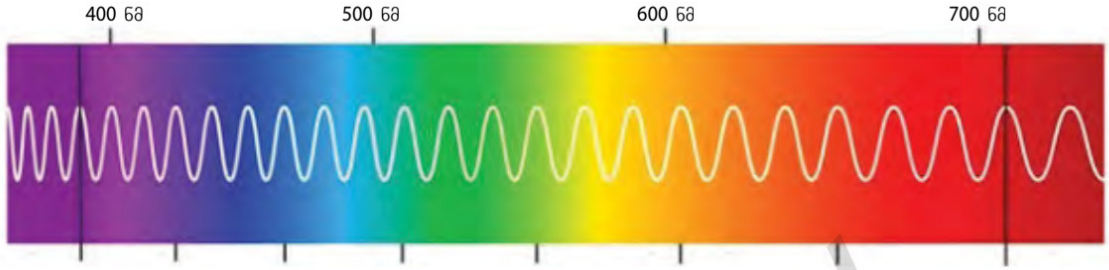
სხვადასხვა დიაპაზონში ინფრაწითელი გამოსხივების რეგისტრაციისთვის სხვადასხვა მეთოდს იყენებენ: მაგ., **თერმოგრაფიას** – მეთოდს, რომლის დახმარებითაც იღებენ ინფრაწითელი გამოსხივების გამოსახულებას – **თერმოგრამას.** თერმოგრამაზე (სურ. 2.14.4) ჩანს მაგ., ადამიანის ორგანიზმში რომელი უბანი რა ინტენსივობით ასხივებს ინფრაწითელ ტალღებს. თერმოგრამებით სითბოს „ხედვას“ დიდი მნიშვნელობა აქვს მედიცინაში. დაავადებული ორგანო, ჯანმრთელისგან განსხვავებით, თერმოგრამაზე სხვა ფერით გამოისახება. თერმოგრამების სათანადო დამუშავების შემდეგ კი შესაძლებელია დაავადების დიაგნოსტიკა.

4. ხილული სინათლე

ადამიანში მხედველობით შეგრძნებას (სინათლის შეგრძნებას) მხოლოდ ის ელექტრომაგნიტური ტალღა იწვევს, რომლის სიხშირე 400-იდან 790 ტჰც-მდე (1 ტჰც = 10^{12} ჰც) იცვლება. ასეთი სიხშირის ელექტრომაგნიტურ ტალღებს **ხილულ სინათლეს** უწოდებენ. ხილული სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღების სიხშირეთა სრულ სპექტრში საკმაოდ ვიწრო უბანს იკავებს (სურ. 2.14.1).

Free Copy

ხილული სინათლის დიაპაზონი (სპექტრი), თავის მხრივ, სხვადასხვა სიხშირის (ტალღის სიგრძის) ელექტრომაგნიტურ ტალღებს მოიცავს (ტალღის სიგრძეები 750 ნმ-იდან 380 ნმ-მდე დიაპაზონშია მოქცეული), რომელთაგან, ძირითადად, **შვიდ ან ექვს ელექტრომაგნიტურ ტალღას,** ე.წ. **ერთი ფერის სინათლეს**, გამოყოფენ. ესენია: **წითელი, ნარინჯისფერი, ყვითელი, მწვანე, ცისფერი, ლურჯი, იისფერი სინათლე** (სურ. 2.14.5) თითოეულ მათგანს სიხშირის (ტალღის სიგრძის) შესაბამისი დიაპაზონი აქვს და მათი დასახელებები იმ მხედველობითი შეგრძნებების შესაბამისია, რომელსაც თითოეული მათგანი ადამიანში იწვევს (იხ. ცხრილი 2.14.1).



სურ. 2.14.5. *ხილული სინათლის სპექტრი*

ცხრილი 2.14.1. ხილული სპექტრის შემადგენელი ელექტრომაგნიტური ტალღები

სინათლე:	სიხშირე, ტჰც (10^{12} ჰც)	ტალღის სიგრძე, ნმ (10^{-9} მ)
იისფერი	670 – 790	380 – 450
ლურჯი	620 – 770	450 – 485
ცისფერი	600 – 620	485 – 500
მწვანე	530 – 600	500 – 565
ყვითელი	510 – 530	565 – 590
ნარინჯისფერი	480 – 510	590 – 625
წითელი	400 – 480	625 – 750

ხილული სინათლის დიაპაზონში 7 ძირითადი ფერის გამოყოფა მხედველობის ფიზიოლოგიურ თავისებურებას უკავშირდება (თვალი ყველაზე მკვეთრად ამ ფერებს აღიქვამს ხილული სინათლის სპექტრში), თუმცა იმის თქმა, რომ ხილული სინათლე 7 ფერისგან შედგება, არასწორია. ხილული სინათლის სპექტრი, ისევე როგორც მთლიანი ელექტრომაგნიტური ტალღისა, უწყვეტია და „ფერების“ რაოდენობა უსასრულოდ ბევრია.

დააკვირდი 2.14.1 ცხრილს. **ხილული სინათლის დიაპაზონში:**

ა) **წითელი სინათლის სიხშირე** ყველა დანარჩენთან შედარებით **დაბალია.** შესაბამისად, **წითელი ტალღები ყველაზე გრძელი ტალღებია (ყველაზე დაბალი ენერგიის) ხილული სინათლის დიაპაზონში.**

ბ) **იისფერი სინათლის სიხშირე** ყველა დანარჩენთან შედარებით **მაღალია.** შესაბამისად, **იისფერი ტალღები ყველაზე მოკლე ტალღებია (ყველაზე მაღალი ენერგიის) ხილული სინათლის დიაპაზონში.**

ხილული სინათლის შემადგენელი სხვადასხვა „ფერის“ ტალღები, მსგავსად სხვა ელექტრომაგნიტური ტალღებისა, განსხვავდება არეკვლის, გარდატეხის, შთანთქმის უნარით.

ინფრაწითელ სხივებს ხშირად „სითბურ გამოსხივებასაც“ უწოდებენ, თუმცა ნებისმიერი სიხშირის ელექტრომაგნიტურ ტალღას (მათ შორის ხილულ სინათლესაც) შეუძ-

Don't copy

ლია ზედაპირის გათბობა (ზედაპირი შთანთქამს ტალღის ენერგიას). ხილული სინათლის მძლავრ წყაროს, მაგ., ლაზერს, შეუძლია ქაღალდის ფურცლის დაწვაც.

ოპტიკა ფიზიკის დარგია, რომელიც ხილულ სინათლესთან დაკავშირებულ მოვლენებს (**სინათლის მოვლენებს**) შეისწავლის – მოვლენებს, რომლებიც მოიცავს სინათლის გავრცელების კანონზომიერებებს, სინათლის თვისებებს, მათ შორის, სინათლის ურთიერთქმედებას ნივთიერებასთან. **ოპტიკაში** შეისწავლიან ოპტიკურ ხელსაწყოებსაც, რომელთა მოქმედების პრინციპი სინათლის მოვლენებს ეფუძნება და რომელთა დახმარებითაც სინათლის დეტექტირებაა (აღმოჩენაა) შესაძლებელი. ჩვეულებრივ, ოპტიკა აღწერს არა მარტო ხილულ, არამედ ულტრაიისფერი და ინფრაწითელი სინათლის თვისებებსაც. იმის გამო, რომ სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღაა, ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სხვა ფორმებსაც (რენტგენის გამოსხივებას, რადიოტალღებს, მიკროტალღებს) მისი მსგავსი თვისებები აქვს და, ხშირად, მათი თვისებებიც ოპტიკის კანონებით აღიწერება.

5. ულტრაიისფერი გამოსხივება

1801 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა **იოჰან ვილჰელმ რიტერმა** კვლევების ჩატარება ხილული სპექტრის იისფერი სინათლის მიღმა უბანზე გადაწყვიტა და აღმოაჩინა სხივები, რომელსაც **ულტრაიისფერი** („იისფერის მიღმა“) სხივები უწოდა. იისფერი სხივების ტალღის სიგრძე ხილულ სინათლესთან შედარებით მოკლეა (10 – 380 ნმ). მისი ბუნებრივი წყარო არის მზე (მზის გამოსხივების დაახლოებით 10% ულტრაიისფერი სხივებია), ვარსკვლავები. ულტრაიისფერ სინათლეს ასხივებს 3000^{0}C-მდე გახურებული სხეული, მაღალტემპერატურული პლაზმა (მაგ., ელექტრული რკალი), ვერცხლისწყლიანი, სოლარიუმის ნათურები.

უმეტესობა სხეულებისა, რომლებიც ხილული სინათლის მიმართ გამჭვირვალეა, ულტრაიისფერ სხივებს არ ატარებს, მაგრამ ეს დამოკიდებულია ულტრაიისფერი ტალღის სიგრძეზე. არასწორია წარმოდგენა, რომ ჩვეულებრივი მინა შთანთქავს ულტრაიისფერ გამოსხივებას – **ჩვეულებრივი მინა შთანთქავს ულტრაიისფერ სხივებს 280 – 320 ნმ დიაპაზონში.** ულტრაიისფერი სხივები ტალღის სიგრძის მიხედვით რამდენიმე კატეგორიად იყოფა. 2.14.2. ცხრილში წარმოდგენილია თითოეული კატეგორიის სხივების მოკლე დახასიათება.

ულტრაიისფერი გამოსხივების კატეგორია	ტალღის სიგრძე, ნმ (10^{-9} მ)	სიხშირე	აღწერა
UVA	315 – 400	**750 ტჰც**	**რბილი გამოსხივება** (გრძელ ტალღოვანი): არ შთანთქავს ოზონის შრე. „ხედავენ“ ჩიტები, მწერები და თევზები. არ ახასიათებს რადიაციული მოქმედება, იწვევს ქიმიურ გარდაქმნებს, ფლუორესცენციური ნივთიერება ანათებს მისი ზემოქმედების შედეგად, აქვს ბიოლოგიური ზემოქმედების უნარი (იწვევს ნამზეურს). გამოსხივების 90%-ს მინა ატარებს.
UVB	280 – 315		**ზომიერი გამოსხივება:** დიდი ნაწილი შთაინთქმება ოზონის შრის მიერ. არ ატარებს ჩვეულებრივი მინა (შთანთქავს 90 %-ს).

Don't copy

UVC	100 – 280		**ხისტი გამოსხივება** (მოკლე ტალღოვანი): ახასიათებს იონიზაციის უნარი, ბაქტერიოციდული მოქმედება (კლავს ბაქტერიებს). მთლიანად შთაინთქმევა ოზონის შრისა და ატმოსფეროს მიერ. ატარებს კვარცის მინა.
ექსტრემალური	10 – 121	30 ფემტოჰერცი	ახასიათებს ძლიერი იონიზაციის უნარი. აზიანებს დნკ-ს. მთლიანად შთაინთქმება ატმოსფეროს მიერ.

ულტრაიისფერი გამოსხივება ადამიანისთვის შეიძლება იყოს როგორც სასარგებლო (D ვიტამინის წყაროა), ისე ზიანის მომტანი. გადამეტებული ზემოქმედება იწვევს მზის დამწვრობას, მხედველობის დაზიანებას, კანის დაავადებებს, ამიტომ ყოველთვის საჭიროა გარკვეული თავდაცვითი ზომების მიღება.

6. რენტგენის გამოსხივება

1895 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა ვილჰელმ კონრად რენტგენმა აღმოაჩინა გასაოცარი თვისებების გამოსხივება, რომელსაც მან **X-სხივები** უწოდა. გამოსხივება მოქმედებს ფოტოფირზე, იწვევს ჰაერის იონიზაციას, აღწევს გაუმჭვირვალე სხეულებშიც (ტყვიაში და ზოგიერთ მძიმე ლითონში), მისი საშუალებით შესაძლებელია ადამიანის შინაგანი ორგანოების ფოტოგრაფირება. აღმოჩენისთანავე ცხადი გახდა, რომ ამ სხივებს უდიდესი გამოყენება ექნებოდა მედიცინაში. მართლაც, რენტგენის მიერ აღმოჩენილი სხივები (რომელსაც შემდგომში **რენტგენის სხივები** ეწოდა) სხვადასხვა ავადმყოფობის დიაგნოსტიკის ერთ-ერთი მძლავრი საშუალებაა, ფართოდ გამოიყენება სტომატოლოგიაში, ტრავმატოლოგიაში და ა. შ.



სურ. 2 *რენტგენის მეუღლის ხელის მტევნის რენტგენოგრამა პირველი რენტგენოგრამაა მსოფლიოში.*

1901 წელს რენტგენის სხივების (102 –10^{-3} ნმ) აღმოჩენისთვის ვილჰელმ რენტგენს ნობელის პრემია მიანიჭეს (და კიდევ: X-სხივები რენტგენზე ერთი წლით ადრე ნიკოლა ტესლამ აღმოაჩინა, თუმცა მას აღმოჩენისთვის დიდი მნიშვნელობა არ მიუნიჭებია. ტესლა მიხვდა იმასაც, რომ ადამიანის ორგანიზზე სხივების ხანგრძლივი ზემოქმედება სიცოცხლისთვის საშიში იყო).

7. გამა-გამოსხივება

გამა-გამოსხივება რადიოაქტიური ნივთიერებების დაშლისა და ბირთვული რეაქციების დროს მიიღება. იგი ყველაზე მოკლე ($\lambda < 10^{-10}$ მ), მაგრამ ყველაზე დიდი ენერგიის გადამტანი ტალღაა. გამა-გამოსხივება წარმოიქმნება რადიოაქტიური ნივთიერებების დაშლისას როგორც დედამიწაზე, ასევე – კოსმოსში. მისი წყარო კოსმოსის ყველაზე ცხელი უბნებია, სადაც ზეახალი ვარსკვლავები იბადება. დედამიწის ატმოსფერო კოსმოსიდან გამოსხივებული გამა-სხივების მხოლოდ მცირე ნაწილს ატარებს, რაც დედამიწაზე სიცოცხლის შესაძლებლობას ქმნის. გამა-გამოსხივება შთაინთქმება ოზონის შრის მიერ და სწორედ ამიტომაცაა **ოზონის შრის შენარჩუნება უმთავრესი ეკოლოგიური ამოცანაა დედამიწელებისთვის.**

Don't copy

ტესტი №2

გაითვალისწინე: თითოეულ დავალებას, სირთულის მიხედვით, გარკვეული ფერი და ქულა შეესაბამება:

უმარტივესი – 1 ქულა; **მარტივი** – 2 ქულა;

საშუალო სირთულის – 3 ქულა; **რთული** – 4 ქულა.

1. როგორ შეიცვლება ზამბარაზე დაკიდებული სხეულის (ქანქარას) რხევის პერიოდი, თუ რხევის ამპლიტუდას 2-ჯერ გავზრდით?
ა) 2-ჯერ გაიზრდება; ბ) 2-ჯერ შემცირდება;
გ) არ შეიცვლება; დ) არც ერთი პასუხი არ არის სწორი

2. როგორ შეიცვლება ძაფზე დაკიდებული სხეულის (ქანქარას) რხევის პერიოდი, თუ სხეულის მასას 2-ჯერ გავზრდით?
ა) 2-ჯერ გაიზრდება; ბ) 2-ჯერ შემცირდება;
გ) არ შეიცვლება; დ) არც ერთი პასუხი არ არის სწორი.

3. ადამიანის პულსის გაზომვისას 2 წუთში 140 პულსაცია დაფიქსირდა. განსაზღვრე გულის კუნთის შეკუმშვის სიხშირე:
ა) ≈ 0,86 ჰც; ბ) ≈ 1,17 ჰც; გ) ≈ 0,014 ჰც; დ) 70 ჰც.

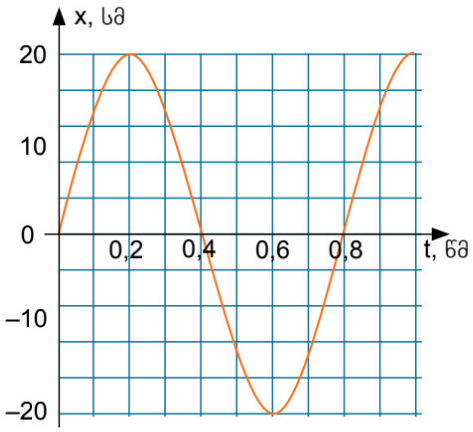
1-ელ სურათზე მერხევი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკია გამოსახული. გრაფიკის მიხედვით, № 4 – 8 ამოცანებში განსაზღვრე:

4. მერხევი სხეულის რხევის ამპლიტუდა:
ა) 20 სმ; ბ) 20 მ; გ) 0,4 სმ; დ) 0,4 მ.

5. მერხევი სხეულის რხევის პერიოდი:
ა) 1 წმ ბ) 0,8 წმ; გ) 0,6 წმ; დ) 0,4 წმ;

6. მერხევი სხეულის რხევის სიხშირე;
ა) 1 ჰც; ბ) 1,25 ჰც; გ) 1,7 ჰც; დ) 2,5 ჰც.

7. მეოთხედი პერიოდის განმავლობაში მერხევი სხეულის მიერ გავლილი მანძილი:
ა) 80 სმ; ბ) 60 სმ; გ) 40 სმ; დ) 20 სმ.



სურ. 1

8. იმ ტალღის სიგრძე, რომლის წყარო მერხევი სხეულია. თუ ცნობილია, რომ ტალღა გარემოში 3 მ/წმ სიჩქარით ვრცელდება.
ა) 3 მ; ბ) 2,4 მ; გ) 1,8 მ; დ) 1,2 მ.

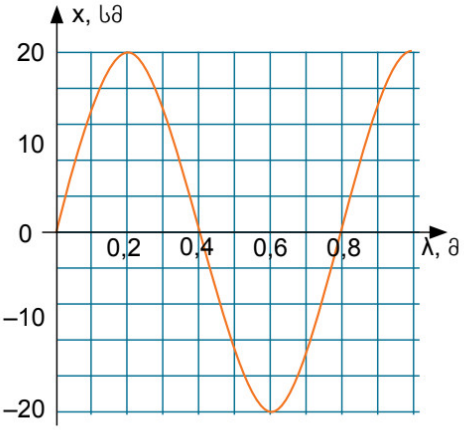
მე-2 სურათზე მერხევი სხეულის წანაცვლებისა და გარემოში ტალღის გავრცელების მანძილს შორის დამოკიდებულება გრაფიკულადაა გამოსახული. გრაფიკის მიხედვით, № 9 – 15 ამოცანებში განსაზღვრე:

Don't copy

9. ტალღაში ნაწილაკების რხევის ამპლიტუდა:
ა) 20 სმ; ბ) 20 მ; გ) 0,4 სმ; დ) 0,4 მ.

10. პერიოდის განმავლობაში ტალღის წყაროს (მერხევი სხეულის) გავლილი მანძილი:
ა) 80 სმ; ბ) 60 სმ; გ) 40 სმ; დ) 20 სმ.

11. პერიოდის განმავლობაში მერხევი სხეულის გადაადგილება:
ა) 0 სმ; ბ) 20 სმ; გ) 40 სმ; დ) 60 სმ.



სურ. 2

12. მანძილი, რომელზედაც გარემოში რხევა პერიოდის განმავლობაში გავრცელდა:
ა) 1 მ ბ) 0,8 მ; გ) 0,6 მ; დ) 0,4 მ;

13. გარემოში გავრცელებული იმ ტალღის სიგრძე, რომლის წყარო მერხევი სხეულია:
ა) 1 მ ბ) 0,8 მ; გ) 0,6 მ; დ) 0,4 მ;

14. ტალღის წყაროს რხევის სიხშირე:
ა) 1 ჰც; ბ) 1,25 ჰც; გ) 1,7 ჰც; დ) შეუძლებელია განსაზღვრა.

15. ტალღის წყაროს რხევის პერიოდი, თუ ცნობილია, რომ ტალღა გარემოში 2 მ/წმ სიჩქარით ვრცელდება:
ა) 0,2 წმ; ბ) 0,4 წმ; გ) 0,6 წმ; დ) 0,8 წმ.

16. კამერტონის რხევისას გარემოში 2 მ სიგრძის ბგერითი ტალღა ვრცელდება. ბგერის სიჩქარე 340 მ/წმ-ია. რა სიხშირით ირხევა კამერტონი?
ა) 680 ჰც; ბ) 170 ჰც; გ) 17 ჰც; დ) 340 ჰც.

17. რისი ტოლია ზღვის სიღრმე, თუ გემზე მოთავსებული ექოლოკატორიდან ფსკერისკენ გაგზავნილი ულტრაბგერა უკან 1,5 წმ-ში დაბრუნდა. ცნობილია, რომ წყალში ულტრაბგერისგავრცელების სიჩქარეა 1500 მ/წმ.
ა) 1500 მ; ბ) 2250 მ; გ) 1125 მ; დ) 4500 მ.

18. უქარო ამინდში ტბაში ნავიდან ღუზა გადააგდეს. შედეგად, წარმოიქმნა ტალღები, რომლებმაც 100 მ-ით დაშორებულ ნაპირამდე გარკვეულ დროში მიაღწია. ადამიანი, რომელიც ტბის ნაპირზე დგას, ამჩნევს, რომ ნაპირს 50 წმ-ში ტალღის 20 ბორცვი დაეჯახა და ყოველ ორ ბოცვს შორის მანძილი 5 მ-ია.

განსაზღვრე:
1) ტალღის გავრცელების სიჩქარე;
2) რა დროში მიაღწია პირველმა ტალღამ ნავიდან ნაპირამდე?

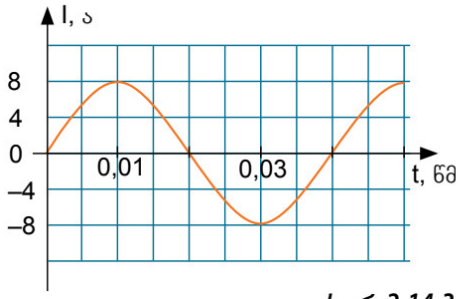
შემოხაზე სწორი პასუხი:
ა) 20 მ/წმ, 5 წმ; ბ) 5 მ/წმ, 20 წმ; გ) 2 მ/წმ, 50 წმ; დ) 0,1 მ/წმ, ≈ 16,7 წთ.

მე-3 სურათზე ცვლადი დენის წრედში დენის ძალის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკია გამოსახული. გრაფიკის მიხედვით, № 19 – 15 ამოცანებში განსაზღვრე:

Don't copy

19. დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა წრედში:

ა) 4 ა; ბ) 8 ა; გ) ≈ 5,7 ა; დ) ≈ 2,9 ა.



სურ. 2.14.3

20. დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობა წრედში:

ა) 4 ა; ბ) 8 ა; გ) ≈ 5,7 ა; დ) ≈ 2,9 ა.

21. დენის ძალის რხევის პერიოდი:

ა) 0,01 წმ; ბ) 0,02 წმ; გ) 0,03 წმ; დ) 0,04 წმ.

22. ძაბვის რხევის სიხშირე:

ა)100 ჰც; ბ) 50 ჰც; გ) 30 ჰც; დ) 25 ჰც.

23. გამოთვალე, რისი ტოლია კოჭას წინაღობა 50 ჰც სიხშირის ცვლადი დენის წრედში, თუ ცნობილია, რომ კოჭას ინდუქციურობაა 20 მჰნ:

ა) 1000 ომი; ბ) 1ომი; გ) 0,1ომი; დ) 6,28 ომი

24. ცვლადი დენის წრედში მიმდევრობითაა ჩართული ელექტრული ნათურა, კონდენსატორი (C = 2 მკფ) და კოჭა (L = 5 მჰნ). ცვლადი დენის რა სიხშირეზე იქნება ნათურის ნათება მაქსიმალური?

ა)1,6 კჰც; ბ) 10 ჰც; გ) 10 კჰც; დ) 16 მგჰვ.

ტესტში დაგროვილი ქულების მიხედვით საკუთარი ცოდნის შეფასებას შეძლებ:

დაგროვილი ქულები	შედეგის აღწერა	შეფასება
1 - 5	იმ დავალებებიდან, რომლებიც მართებულად გაქვს შესრულებული, ჩანს, რომ ზოგიერთმა საკითხმა დაგაინტერესა. ვფიქრობ, კარგი იქნება, თუ გავლილ მასალას ხელახლა გადახედავ.	1
6 - 9		2
10 - 13		3
14 - 17		4
18 - 21	ბევრი დავალება მართებულად გაქვს შესრულებული. შედეგის გასაუმჯობესებლად აუცილებლად გააანალიზე, რა ტიპის შეცდომები დაუშვი და რამ განაპირობა ეს შეცდომები. ხელახლა გადახედე გავლილ მასალას და მისი უკეთ გააზრებისთვის დამატებითი სავარჯიშოები გამოიყენე.	5
22 - 25		6
26 - 29	საკმაოდ ბევრი დავალება მართებულად გაქვს შესრულებული. ჩანს, რომ მიმდინარე დავალებებს ყურადღებას აქცევდი. გადახედე დაშვებულ შეცდომებს და გააანალიზე, რა ტიპის შეცდომებს უშვებ ძირითადად და რატომ. გააკეთე დამატებითი სავარჯიშოები და ამოცანები იმ კატეგორიიდან, რომელშიც უფრო მეტი შეცდომა გაქვს დაშვებული.	7
30 - 32		8
33 - 36	შედეგი კარგია. აუცილებლად გააანალიზე მცირე ხარვეზები, რომლებიც ტესტის შესრულებისას დაუშვი. ეს სხვა დროს წვრილმანებზე ყურადღების კონცენტრირებაში დაგეხმარება.	9
37 - 39	გილოცავ! შედეგი ძალიან კარგია. ჩანს, რომ დამოუკიდებლად მუშაობდი, საკლასო და საშინაო დავალებებს სისტემატურად და გააზრებულად ასრულებდი.	10

Don't copy

II თემის დამატებითი კითხვები, ამოცანები

გაითვალისწინე: თითოეულ დავალებას, სირთულის მიხედვით, გარკვეული ფერი შეესაბამება:

უმარტივესი ; **მარტივი** ; **საშუალო სირთულის** .

მითითება: II თემის დამატებით ამოცანებში, თუ სპეციალური მითითება არ არის, ჩათვალეთ, რომ:

ა) რხევითი მოძრაობა მოცემულია $x = x_0 \cos \omega t$ განტოლებით;

ბ) ყველა ერთეული SI სისტემაშია მოცემული;

გ) მოძრაობა ერთი პერიოდის საზღვრებში განიხილება.

2.1. მექანიკური რხევა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 11 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. ზოგადად,
   ა) როგორი მოვლენაა რხევა?
   ბ) რა არის პერიოდი და როგორ ცვლილებებს ჰქვია პერიოდული?
   დაასახელე რხევის მაგალითები.
2. როგორ მოძრაობას ჰქვია მექანიკური რხევა? რა თავისებურება ახასიათებს მას?
3. როგორ მოძრაობას ჰქვია პერიოდული?
4. რა არის ზამბარიანი ქანქარა? მათემატიკური ქანქარა?
5. რა შემთხვევაში ვამბობთ, რომ მერხევმა სისტემამ „ერთი სრული რხევა შეასრულა“?
6. როგორ რხევას ჰქვია თავისუფალი? იძულებითი?
7. რა არის საჭირო იმისათვის, რომ სისტემაში თავისუფალი რხევები აღიძრას?
8. რას ეწოდება რხევის ამპლიტუდა? რისი ტოლია მერხევი სხეულის მიერ ერთი სრული რხევის დროს გავლილი მანძილი?
9. რას ეწოდება რხევის პერიოდი? როგორ გამოითვლება და რა არის მისი ერთეული SI-ში?
10. რას ეწოდება რხევის სიხშირე? როგორ გამოითვლება და რა არის მისი ერთეული SI-ში?
11. რა დამოკიდებულება არსებობს რხევის პერიოდსა და სიხშირეს შორის?

12. საათის ქანქარას რხევის ამპლიტუდა 2 სმ-ია. რა მანძილს გაივლის ქანქარა ორი პერიოდის განმავლობაში?
13. ქანქარამ რხევისას 20 წამის განმავლობაში გაიარა 48 სმ. რას უდრის მისი რხევის ამპლიტუდა, თუ ქანქარას რხევის პერიოდია 5 წმ?
14. რას უდრის რხევის პერიოდი, თუ სხეული 5 წმ-ში ასრულებს 10 რხევას?
15. პნევმატური ჩაქუჩი წუთში ასრულებს 180 რხევას. რისი ტოლია ჩაქუჩის რხევის სიხშირე?
16. რას უდრის რხევის სიხშირე, თუ სხეულმა 1 წუთში 90 რხევის შესრულება მოასწრო?
17. რას უდრის ქანქარების რხევის პერიოდების შეფარდება, თუ ერთი ქანქარა 1 წუთში 30 რხევას ასრულებს, მეორე კი – იმავე დროში 120 რხევას?
18. ერთი საკერავი მანქანის ნემსი 300 დარტყმას ასრულებს 1 წუთში, მეორისა კი – 1,5 წუთში. შეადარე ნემსების რხევის სიხშირეები.
19. მათემატიკური ქანქარას რხევის პერიოდია 3,6 წმ. რამდენ ხანს მოანდომებს ბურთულა წონასწორობის მდებარეობიდან ამპლიტუდის ნახევრით გადახრას?

Don't copy

20. ზამბარის ბოლოზე მიმაგრებული ტვირთის რხევის ამპლიტუდაა 10 მმ, სიხშირე – 10 ჰც. რა მანძილს გაივლის ტვირთი ნახევარ წუთში?

21. სიმის რომელიღაც წერტილის არამილევადი რხევის ამპლიტუდა 1 მმ-ია, სიხშირე კი 1 კჰც. იპოვე წერტილის მიერ 0,2 წამში განვლილი მანძილი.

2.2. ჰარმონიული რხევა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 9 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. როგორი სახე აქვს თავისუფალი რხევის განტოლებას (თუ ხახუნი უგულებელყოფილია);
ა) ზამბარიანი ქანქარასთვის; ბ) მათემატიკური ქანქარასთვის.

2. რას ეწოდება ჰარმონიული რხევა? რა შემთხვევაში ჩაითვლება თავისუფალი რხევა ჰარმონიულად?

3. როგორ ჩაიწერება ჰარმონიულად მერხევი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების განტოლება?

4. რა არის ციკლური სიხშირე?

5. რა არის რხევის ფაზა, რა ერთეულებში იზომება ის და რას გვიჩვენებს?

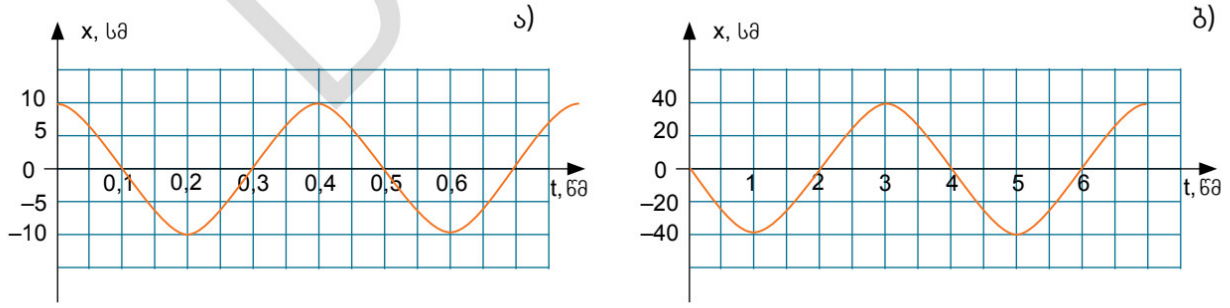
6. რა შემთხვევაში ვიტყვით, რომ ორი სხეულის რხევა
ა) ერთნაირ ფაზაში მიმდინარეობს; ბ) საწინააღმდეგო ფაზაში მიმდინარეობს;
გ) წანაცვლებულია ფაზაში.

7. როგორ გამოითვლება თავისუფალი რხევის პერიოდი ზამბარიანი ქანქარას შემთხვევაში? მათემატიკური ქანქარას შემთხვევაში (განმარტე პერიოდის გამოსათვლელ ფორმულებში შემავალი სიდიდეები)?

8. რაზეა დამოკიდებული თავისუფალი რხევის პერიოდი ზამბარიანი ქანქარას შემთხვევაში? მათემატიკური ქანქარას შემთხვევაში? ახსენი, ამ დამოკიდებულების ხასიათი.

9. არის თუ არა ჰარმონიული რხევის პერიოდი რხევის ამპლიტუდაზე დამოკიდებული (მცირე ამპლიტუდით რხევისას)? რატომ? პასუხი ახსენი.

10. 2.1 სურათზე გამოსახულია ჰარმონიულად მერხევი სხეულის წანაცვლების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. დაადგინე გრაფიკის მიხედვით :
ა) რხევის ამპლიტუდა; ბ) რხევის პერიოდი;
გ) რხევის სიხშირე; დ) მოძრაობის განტოლება: $x = x(t)$.
განსაზღვრე მერხევი სხეულის კოორდინატი 10 წმ-ის შემდეგ.



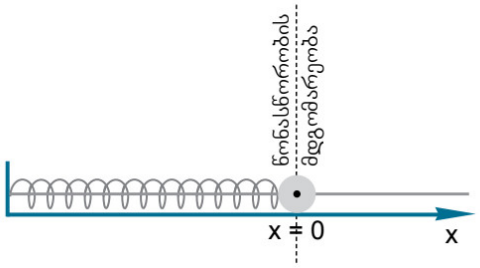
სურ. 2.1

11. 0,2 კნ/მ სიხისტის ზამბარაზე დამაგრებული 200 გ მასის ბურთულა ირხევა (სურ. 2.2). ჩაწერე აჩქარების წანაცვლებაზე დამოკიდებულების განტოლება: $a = a_x(x)$. იპოვე უდიდესი აჩქარების მოდული, თუ რხევის ამპლიტუდა 1 სმ-ია.

12. იპოვე ბურთულას აჩქარების გეგმილი (სურ. 2.2) მდებარეობაში, რომლის კოორდინატებია 2 სმ, 0 და 0,5 სმ, თუ ბურთულას მასაა 100 გ, ზამბარას სიხისტე კი – 400 ნ/მ. რომელ წერტილში მოძრაობს ბურთულა აჩქარებით, რომლის გეგმილია 10 მ/წმ²?

Don't copy

13. ზამბარაზე მიბმული ბურთულა ირხევა ჰარმონიულად (სურ. 2.2.). გამოთვალე აჩქარება წონასწორობის მდგომარეობიდან ბურთულას 4 სმ-ით წანაცვლებისას, თუ მისი მასაა 100 გ, ზამბარას სიხისტე კი – 100 ნ/მ.



სურ. 2.2

14. იპოვე რხევის ამპლიტუდა, სიხშირე და პერიოდი, თუ რხევითი მოძრაობის განტოლება ასეთი სახე აქვს: $x = 0{,}06 \cos 100 \pi t$.

15. 2,5 მ სიგრძის მათემატიკური ქანქარა ირხევა 10 სმ-ის ტოლი ამპლიტუდით. დაწერე მოძრაობის განტოლება $x = x(t)$.

16. ჰარმონიული რხევის მოძრაობის განტოლება ასეთია: $x = 0{,}02 \cos \pi t$. იპოვე წანაცვლება 0,25 წამის შემდეგ; 1,25 წამის შემდეგ.

17. 100 ნ/მ სიხისტის ზამბარაზე დაკიდებული 1 კგ მასის ტვირთი ასრულებს რხევას, რომლის ამპლიტუდა 10 სმ-ია. დაწერე ტვირთის მოძრაობის განტოლება: $x = x(t)$. დაწერე ფორმულა, რომელიც დრეკადობის ძალის დროზე დამოკიდებულებას გამოსახავს. იპოვე დრეკადობის ძალის უდიდესი მნიშვნელობა და მისი მნიშვნელობა 1/6 პერიოდის შემდეგ.

18. ფაზის რა მნიშვნელობისთვისაა წანაცვლების მოდული ამპლიტუდის ნახევარი?

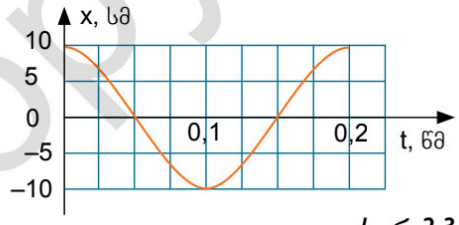
19. 2.3 სურათზე ნაჩვენები გრაფიკის მიხედვით:

ა) იპოვე რხევის ამპლიტუდა, პერიოდი, სიხშირე და ციკლური სიხშირე;

ბ) დაწერე $x = x(t)$ დამოკიდებულების განტოლება;

გ) იპოვე მერხევი წერტილის წანაცვლება $\frac{\pi}{2}$ და $\frac{2\pi}{3}$ რად ფაზისთვის;

დ) იპოვე წანაცვლება ათვლის დაწყებიდან 0,1 და 0,15 წამის შემდეგ.



სურ. 2.3

20. რხევის ამპლიტუდაა 10 სმ, სიხშირე კი 0,5 ჰც. დაწერე $x = x(t)$ დამოკიდებულების განტოლება. იპოვე ფაზა და წანაცვლება 1,5 წამის შემდეგ. განსაზღვრე, რა დროის შემდეგ იქნება წანაცვლება 7,1 სმ.

21. $\frac{\pi}{3}$ რად ფაზის დროს წანაცვლება იყო 1 სმ. იპოვე რხევის ამპლიტუდა და წანაცვლება $\frac{3\pi}{4}$ რად ფაზისთვის.

22. ჰარმონიული რხევისას წონასწორობის მდებარეობიდან 1 სმ-ით წანაცვლების შესაბამისი ფაზა არის $\pi/6$. იპოვე რხევის ამპლიტუდა.

23. ქანქარამ 1 წუთსა და 40 წამში შეასრულა 50 რხევა. იპოვე რხევის პერიოდი, სიხშირე და ციკლური სიხშირე.

24. იპოვე 160 ნ/მ სიხისტის ზამბარაზე დაკიდებული 400 გ მასის ტვირთის რხევის სიხშირე.

25. იპოვე ტვირთის მასა, რომელიც 250 ნ/მ სიხისტის ზამბარაზე 16 წამში 20 რხევას შეასრულებს.

26. ახსენი, როგორ და რამდენჯერ შეიცვლება რესორებიანი ავტომობილის რხევის სიხშირე, თუ მასზე დავდებთ ტვირთს, რომლის მასა ცარიელი ავტომობილის მასის ტოლია?

27. რეზინის გრძელ ზონარზე დაკიდებული ტვირთი ირხევა T პერიოდით. ახსენი, როგორ და რამდენჯერ შეიცვლება რხევის პერიოდი, თუ ზონარს მთელი სიგრძის $\frac{3}{4}$ ჩამოვჭრით და დარჩენილ ნაწილზე ჩამოვკიდებთ იმავე ტვირთს? პასუხი ცდით შეამოწმე.

28. თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მოდულის გამოთვლისას რა პასუხი მიიღო მოსწავლემ

Don't copy

ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების დროს, თუ ცდის მსვლელობისას 80 სმ სიგრძის ქანქარამ 3 წუთში 100 რხევა შეასრულა?

29. 1 მ სიგრძის მათემატიკური ქანქარა წუთში ასრულებს 30 რხევას. გამოთვალე სიმძიმის ძალის აჩქარება.

30. რა სიგრძის უნდა იყოს მათემატიკური ქანქარა, რომ მისი რხევის პერიოდი მთვარეზე (სადაც სიმძიმის ძალა 6-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე დედამიწაზე) იყოს 2 წმ?

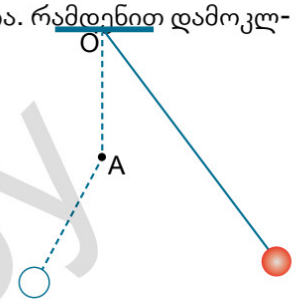
31. როგორ შეეფარდება ერთმანეთს ორი მათემატიკური ქანქარას სიგრძეები, თუ ერთსა და იმავე დროში ერთმა მათგანმა შეასრულა 10 რხევა, მეორემ კი – 30?

32. ერთსა და იმავე დროში ერთი მათემატიკური ქანქარა ასრულებს 50 რხევას, მეორე კი – 30-ს. იპოვე მათი სიგრძეები, თუ ერთი მათგანი 32 სმ-ით მოკლეა მეორეზე.

33. ერთსა და იმავე დროში ერთი ქანქარა ასრულებს 40, მეორე – 30 რხევას. ქანქარების სიგრძეთა სხვაობა 7 სმ-ია. გამოთვალე ეს სიგრძეები.

34. ზამბარაზე ჩამოკიდებული ტვირთის რხევის პერიოდი ნახევარი წამია. რამდენით დამოკლდება ზამბარა, თუ ტვირთს მოვხსნით?

35. ახსენი, რატომ და როგორ შეიცვლება მათემატიკური ქანქარას რხევის პერიოდი, თუ საკიდის O წერტილზე (სურ. 2.4) გამავალ შვეულზე A წერტილში დავასობთ ლურსმანს ისე, რომ OA იყოს ქანქარას სიგრძის ნახევარი?



სურ. 2.4

36. მათემატიკური ქანქარა ასრულებს თავისუფალ რხევებს. რამდენი ხანი სჭირდება გადახრის მაქსიმალური კუთხის ორჯერ შემცირებას, თუ ძაფის სიგრძე 90 სმ-ია?

37. ახსენი, რატომ და როგორ შეიცვლება ქანქარიანი საათის სვლა: ა) ტემპერატურის აწევისას; ბ) მთაზე ატანისას; გ) პოლუსიდან ეკვატორზე გადატანისას? ცნობილია, რომ ქანქარას ღერო ლითონისაა.

38. ახსენი, რატომ და რამდენით ჩამორჩება დღე-ღამეში ქანქარიანი საათი, თუ მას დედამიწის რადიუსის ტოლ სიმაღლეზე ავიტანთ?

39. გაჩერებულ ლიფტში ირხევა მათემატიკური ქანქარა. ლიფტის ვერტიკალურად ქვევით აჩქარებულად ამოძრავებისას ქანქარას რხევის პერიოდი გაიზარდა 1,5-ჯერ. გამოთვალე ლიფტის აჩქარება. ახსენი, რატომ იზრდება ამ დროს ქანქარას რხევის პერიოდი.

40. როგორ შეიცვლება მათემატიკური ქანქარას პერიოდი, თუ მასზე დაკიდებული რკინის ბურთულას ქვეშ მაგნიტს მოვათავსებთ? პასუხი ახსენი.

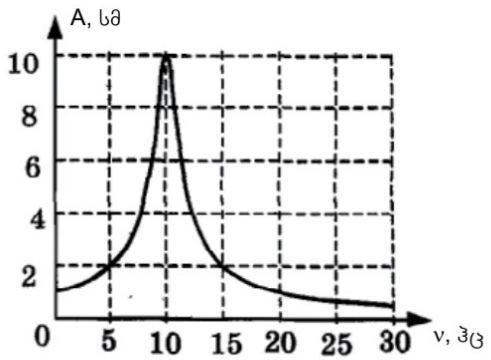
2.3. რეზონანსი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 6 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. როგორ გამოითვლება მერხევი სისტემის სრული მექანიკური ენერგია (თუ სისტემაზე ხახუნის ძალები არ მოქმედებს)?
2. როგორ გამოითვლება მაქსიმალური სიჩქარის მოდული, რომლითაც მერხევი სხეული წონასწორობის მდგომარეობას გადის ზამბარიანი ქანქარას შემთხვევაში? მათემატიკური ქანქარას შემთხვევაში (თუ სისტემაზე ხახუნის ძალები არ მოქმედებს)?
3. როგორ რხევებს ეწოდება მილევადი? მიულევადი? იძულებითი რხევები?
4. რას ეწოდება რეზონანსი? რა შემთხვევაში მყარდება მერხევ სისტემაში რეზონანსი?
5. რა გავლენას ახდენს ხახუნი რეზონანსზე მერხევი სისტემის მოძრაობაზე? ახსენი, რატომ?
6. დაასახელე რეზონანსის სასარგებლო და საზიანო გამოვლინებების მაგალითები.
7. 400 გ მასის ტვირთი ასრულებს რხევებს 250 ნ/მ სიხისტის ზამბარაზე. რხევის ამპლიტუდა 15 სმ-ია. იპოვე რხევის სრული მექანიკური ენერგია და ტვირთის მოძრაობის უდიდესი სიჩქარის მოდული.

Don't copy

8. ახსენი, რატომ და რამდენჯერ შეიცვლება მერხევი ქანქარას სრული მექანიკური ენერგია, თუ მის სიგრძეს 3-ჯერ შევამცირებთ, ხოლო ამპლიტუდას 2-ჯერ გავზრდით?
9. განსაზღვრე 2.5 სურათზე გამოსახული გრაფიკის მიხედვით, იძულებითი რხევის სიხშირე, როცა მერხევ სისტემაში რეზონანსი მყარდება. ახსენი, რატომ და როგორ შეიცვლება რეზონანსული მრუდის სახე, თუ სისტემაზე მოქმედი ხახუნი გაიზრდება?



სურ. 2.5

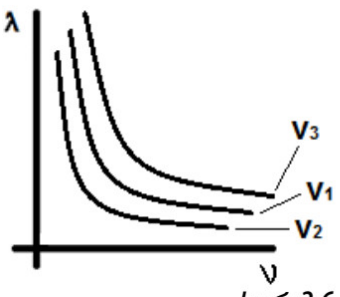
10. 80 კგ მასის ადამიანი ქანაობს საქანელაზე. მისი რხევის ამპლიტუდა 1 მ-ია. იგი ერთი წუთის განმავლობაში 15 რხევას ასრულებს. იპოვე პოტენციური და კინეტიკური ენერგიები 1/12 პერიოდის შემდეგ.
11. საქანელას რხევის სიხშირეა 0,25 ჰც. დროის რა შუალედებით უნდა ვუბიძგოთ მას, რომ რხევის ამპლიტუდა მკვეთრად გაიზარდოს? ახსენი, რატომ იზრდება ამ დროს რხევის ამპლიტუდა.
12. ბიჭს მხარზე გადაკიდებულ ჯოხზე მიაქვს წყლით სავსე ვედროები, რომელთა საკუთარი რხევების პერიოდია 1,6 წმ. რა სიჩქარით მოძრაობისას დაეღვრება მას მეტი წყალი, თუ ბიჭის ნაბიჯის სიგრძე 60 სმ-ია? ახსენი, რატომ იღვრება ამ დროს წყალი მეტი რაოდენობით?
13. მათემატიკური ქანქარას სიგრძე 40 სმ-ია, რხევის ამპლიტუდა – 8 მმ. გამოთვალე ბურთულას საშუალო სიჩქარე პერიოდის განმავლობაში.
14. მათემატიკური ქანქარას სიგრძე 60 სმ-ია. მასა — 100 გ. გამოთვალე ქანქარას ენერგია, თუ წონასწორული მდებარეობიდან მაქსიმალური გადახრის შესაბამისი კუთხე 30^0-ია.
15. მათემატიკური ქანქარა 10 წამში 8 რხევას ასრულებს, გამოთვალე ბურთულას სიჩქარე წონასწორული მდებარეობის გავლისას, თუ ძაფის გადახრის მაქსიმალური კუთხე 30^0-ია. როგორ ტრაექტორიაზე იმოძრავებს ბურთულა, თუ ძაფი იმ მომენტში გაწყდება, როცა ბურთულა წონასწორობის მდგომარეობას გადის? პასუხი დაასაბუთე.
16. ზამბარაზე მიბმული ტვირთი ირხევა ჰარმონიულად, რხევის ამპლიტუდა 3 სმ-ია, ტვირთის მასა – 140 გ, რხევის ენერგია – 45 ჯ. გამოთვალე ზამბარას სიხისტე და ტვირთის უდიდესი სიჩქარის მოდული.
17. ახსენი, რატომ და როგორ შეიცვლება მათემატიკური ქანქარას სრული მექანიკური ენერგია, თუ ქანქარას სიგრძეს ორჯერ გავზრდით, ამპლიტუდას კი უცვლელად დავტოვებთ?

2.5. მექანიკური ტალღა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 6 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

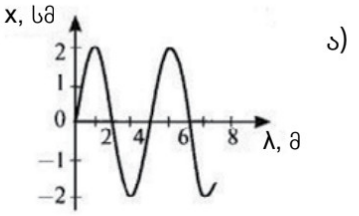
1. რა არის ტალღა და როგორი სახის ტალღები არსებობს?
2. ახსენი, როგორია დრეკადი ტალღების წარმოშობის მექანიზმი.
3. როგორ ტალღას ჰქვია განივი? გრძივი? დრეკადი?
4. როგორ გარემოში აღიძვრება განივი ტალღა? გრძივი? რატომ?
5. რაზეა დამოკიდებული ტალღის მიერ გადატანილი ენერგია? რა თავისებურებით ხასიათდება გარემოში ტალღის მიერ ენერგიის გადატანის პროცესი?
6. რა არის ტალღის სიგრძე? პერიოდი? როგორ განისაზღვრება ტალღის სიჩქარე? როგორ გამოითვლება თითოეული მათგანი?

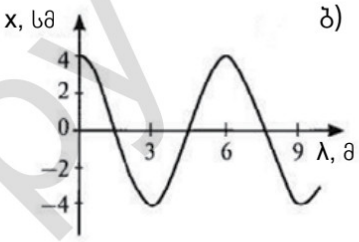
Don't copy



სურ. 2.6

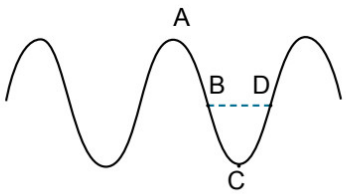
7. განსაზღვრე 3 მ სიგრძის ტალღაში გარემოს ნაწილაკების რხევის პერიოდი, თუ მისი გავრცელების სიჩქარეა 12 მ/წმ.
8. განსაზღვრე ტალღის რხევის პერიოდი, თუ 2 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ტალღის იმ ორ ბორცვს შორის მანძილი, რომელთა შორის კიდევ ორი ბორცვი ეტევა, 2 მეტრია.
9. ზღვაზე ღელვისას ნავს 30 წმ-ში ხუთმა ზვირთმა (ბორცვმა) გადაუარა. განსაზღვრე ტალღის რხევის პერიოდი.
10. 4 წმ-ის განმავლობაში ტალღა სამი ტალღის სიგრძის ტოლ მანძილზე გადაადგილდა. განსაზღვრე ტალღაში გარემოს ნაწილაკების რხევის სიხშირე.
11. განსაზღვრე ტალღის სიგრძე, თუ ის 40 მ მანძილზე გავრცელდა იმ დროში, რომელშიც ტალღის წყარომ 8 რხევა შეასრულა.
12. ნახაზზე (სურ. 2.6) მოცემულია ტალღის სიგრძის რხევის სიხშირეზე დამოკიდებულების გრაფიკი სამი სხვადასხვა ტალღისათვის. როგორ თანაფარდობაშია ამ ტალღების გავრცელების სიჩქარეები? პასუხი ახსენი.
13. 2.7 სურათზე მოცემულია იმ გრძივ ტალღაში ნაწილაკების წანაცვლების გარემოში გავრცელების მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკი, რომლის პერიოდი 6 წმ-ია. განსაზღვრე:
    ა) პერიოდი; ბ) სიხშირე;
    გ) სიგრძე; დ) ამპლიტუდა.





სურ. 2.7

14. განსაზღვრე განივ ტალღაში გარემოს ნაწილაკების რხევის სიხშირე, თუ მისი გავრცელების სიჩქარეა 30 სმ/წმ, ხოლო მანძილი ტალღის მე-2 და მე-5 ბორცვებს შორის 1,8 მ-ია.
15. 4/3 წმ-ის განმავლობაში ტალღა ტალღის სიგრძის ტოლ მანძილზე გავრცელდა. განსაზღვრე ამ ტალღის რხევის სიხშირე.
16. გემზე მყოფმა მგზავრმა დაითვალა, რომ 24 წმ-ში გემს დაეჯახა 4 ზვირთი (ბორცვი). განსაზღვრე ტალღის რხევის სიხშირე.



სურ. 2.8

17. დრეკად გარემოში მარცხნიდან მარჯვნივ, განივი ტალღა ჰორიზონტალურად ვრცელდება (სურ. 2.8). საითაა მიმართული ტალღის იმ წერტილების სიჩქარე, რომლებიც ნახაზზეა გამოსახული? პასუხი ახსენი.
18. ტბაში, წყლის ზედაპირზე, ტალღა 6 მ/წმ სიჩქარით ვრცელდება. იპოვე წყლის ზედაპირზე მოთავსებული ტივტივას რხევის პერიოდი და სიხშირე, თუ ტალღის სიგრძე 3 მ-ია.
19. ტივტივამ 10 წამის განმავლობაში ტალღებზე 20 რხევა შეასრულა. მანძილი ტალღის მეზობელ თხემებს (ბორცვებს) შორის 1,2 მ-ია. იპოვე ტალღის გავრცელების სიჩქარე.
20. ანკესის ტივტივამ 3 წამში 6 რხევა შეასრულა. წყლის ზედაპირზე გავრცელებული ტალღის მეზობელ ბურცობებს შორის მანძილი 1,2 მ-ია. გამოთვალე ტალღის გავრცელების სიჩქარე.
21. ტბაზე უქარო ამინდში ნავიდან გადააგდეს მძიმე ღუზა. მისი ჩაგდების ადგილიდან აღიძვრა ტალღები. ნაპირზე მდგომმა დამკვირვებელმა შეამჩნია, რომ ტალღამ ნაპირს 50 წამის შემდეგ მიაღწია, ტალღის მეზობელ თხემებს (ბორცვებს) შორის მანძილი 0,5 მ იყო და 5 წამის განმავლობაში ნაპირზე 20 ტალღა გამოვიდა. ნაპირიდან რა მანძილით იყო დაშორებული ნავი?
22. წყლის ზედაპირზე 2 ჰც სიხშირის ტალღა 2,4 მ/წმ სიჩქარით ვრცელდება. როგორია იმ ორი წერტილის ფაზათა სხვაობა, რომელთა შორის მანძილი ტალღის გავრცელების მიმართულებით 10 სმ-ია?

DO NOT COPY

23. გამოთვალეთ მანძილი ტალღის გავრცელების მიმართულებით იმ ორ უახლოეს წერტილს შორის, რომლებიც ერთნაირ ფაზაში ირხევიან, თუ ტალღის გავრცელების სიჩქარეა 340 მ/წმ, სიხშირე კი – 200 ჰც.

2.6. ბგერითი ტალღები

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 10 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა არის ბგერის წყარო და როგორ წარმოიქმნება ბგერა?
2. რას ეწოდება ბგერითი ტალღა?
3. როგორია ბგერითი სიხშირეების დიაპაზონი?
4. რა არის ულტრაბგერა? ინფრაბგერა?
5. დაახასიათე ბგერა სხვადასხვა (აირად, თხევად, მყარ) გარემოში გავრცელების სიჩქარის მიხედვით. რით აიხსნება სხვადასხვა გარემოში ბგერის განსხვავებული სიჩქარე?
6. როგორ გამოითვლება ბგერის სიჩქარე?
7. როგორ განისაზღვრება ბგერის სიმაღლე? ხმამაღლობა?
8. რა არის მუსიკალური ტონი? ბგერა?
9. რა არის ტემბრი?
10. რით განსხვავდება მუსიკალური ბგერა ხმაურისგან?

11. როიალის სიხშირის დიაპაზონია 90-დან 9000 ჰ-მდე. იპოვე ბგერითი ტალღების სიგრძეთა დიაპაზონი ჰაერში.

12. ქუხილის ხმა ადამიანმა გაიგონა გაელვებიდან 15 წამის შემდეგ. ადამიანიდან რა მანძილზე მომხდარა განმუხტვა?

13. წრფივ გზატკეცილზე მოძრაობისას მოტოციკლისტმა დაინახა, რომ გზის პირას მდგომა ადამიანმა რკინის ღერო შემოჰკრა დაკიდებულ რელსს. 2 წამის შემდეგ დარტყმის ხმა გაიგონა, 36 წამის შემდეგ კი ჩაუარა მას. რა სიჩქარით მოძრაობდა მოტოციკლისტი?

2.7. ტალღური მოვლენები

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 5 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა არის ექო? როგორი უნდა იყოს დაბრკოლების ზომები, რომ ბგერა (ტალღა) მისგან აირეკლოს?
2. რა პირობებში გვესმის ექო?
3. რა არის დიფრაქცია და რა პირობებშია ის მკვეთრად გამოხატული?
4. ახსენი ბგერითი რეზონანსის მოვლენა მაგალითის საფუძველზე;
5. დაასახელე ბგერითი რეზონანსის სასარგებლო და საზიანო გამოვლინებები.

6. ბგერის ამრეკლ წინაღობამდე მანძილი 68 მ-ია. რა დროის შემდეგ გაიგონებს ადამიანი ექოს?

7. ექოლოტით ზღვის სიღრმის განსაზღვრისას აღმოჩნდა, რომ ულტრაბგერის გაგზავნის მომენტიდან მიღებამდე 0,6 წმ გავიდა. რა სიღრმის ყოფილა ზღვა ამ ადგილას?

8. ერთი კატარღიდან გაგზავნილი ექოლოტის ბგერითი სიგნალი მეორე კატარღაზე ორჯერ მიიღეს. პირველად პირდაპირი, ხოლო მეორედ – ფსკერიდან არეკლილი – 2 წამის დაგვიანებით. იპოვე ზღვის სიღრმე, თუ კატარღებს შორის მანძილი 3 კმ-ია, ხოლო ბგერის გავრცელების სიჩქარე წყალში – 1500 მ/წმ.

9. რკინიგზის წრფივ მონაკვეთზე დამკვირვებელმა დაინახა ორთქლმავლის საყვირის ორთქლი, 3 წამის შემდეგ საყვირის ხმა გაიგო. თავად ორთქლმავალმა კი მას 1 წუთის შემდეგ ჩაუარა. რა სიჩქარით მოძრაობდა ორთქლმავალი (ბგერის სიჩქარე 340 მ/წმ-ია)?

Don't copy

10. ორი გემი მოძრაობს ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით მუდმივი v სიჩქარით. ერთი გემი ყოველი T დროის შემდეგ გამოსცემს სიგნალს. რა τ დროის შუალედით მიიღებს მეორე გემი ამ სიგნალს, თუ ჰაერში ბგერის გავრცელების სიჩქარეა c?
11. ორი მატარებელი ერთმანეთის შესახვედრად 72 და 54 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობს. პირველი მატარებელი სიგნალს 440 ჰც სიხშირით გამოსცემს. განსაზღვრე იმ ბგერის სიხშირე, რომელსაც მეორე მატარებლის მგზავრი პირველის სიგნალის შემდეგ აღიქვამს:
ა) სანამ მატარებლები ერთმანეთს შეხვდება;
ბ) მას შემდეგ, რაც მატარებლები ერთმანეთს ჩაუვლის.
ახსენი, რატომ იცვლება ბგერის სიხშირე თითოეულ შემთხვევაში.

2.9. თავისუფალი ელექტრული რხევები

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 9 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა არის რხევითი კონტური?
2. რა არის ელექტრული რხევები?
3. აღწერე, როგორ აღიძვრება ელექტრული რხევები რხევით კონტურში.
4. რას ეწოდება თავისუფალი ელექტრული რხევები?
5. რა შემთხვევაში აღიძვრება რხევით კონტურში მიულევადი ელექტრული რხევები? მილევადი?
6. აღწერე იდეალურ რხევით კონტურში ენერგიის გარდაქმნის პროცესი.
7. რა არის ოსცილოგრაფი და რა მიზნით იყენებენ მას?
8. რა განტოლებებით აღიწერება ჰარმონიული ელექტრული რხევისას მუხტის, ძაბვისა და დენის ძალის დროზე დამოკიდებულება?
9. როგორ გამოითვლება იდეალურ რხევით კონტურში თავისუფალი ელექტრული რხევების პერიოდი? სიხშირე? ციკლური სიხშირე?

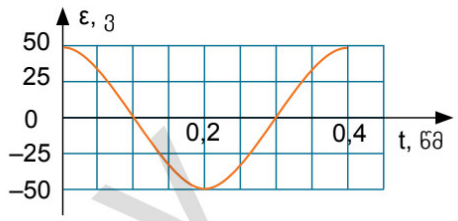
10. რხევითი კონტური შედგება 2 მკჰნ ინდუქციურობის კოჭასა და 800 პფ ტევადობის კონდენსატორისგან. იპოვე კონტურის საკუთარი რხევის პერიოდი.
11. რას უდრის კონტურის საკუთარი რხევების სიხშირეთა დიაპაზონი, თუ მისი ინდუქციურობა შეგვიძლია 0,1-დან 10 მკჰნ-მდე ვცვალოთ, ხოლო ტევადობა – 50-დან 5000 პფ-მდე?
12. როგორ შეიცვლება რხევების სიხშირე, თუ რხევითი კონტურის კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მანძილს ორჯერ გავზრდით?
13. რა ფარგლებში უნდა იცვლებოდეს რხევითი კონტურის კოჭას ინდუქციურობა, რომ რხევის სიხშირე იცვლებოდეს 400-დან 500 ჰერცამდე. კონდენსატორის ტევადობაა 10 მკფ.
14. რა სიდიდის ინდუქციურობის კოჭა უნდა ჩავრთოთ რხევითს კონტურში 10 მგჰც სიხშირის თავისუფალი რხევების მისაღებად? კონდენსატორის ტევადობა 50 პფ-ია.
15. რამდენჯერ შეიცვლება რხევითი კონტურის საკუთარი რხევების სიხშირე, თუ კონდენსატორის ტევადობას 25-ჯერ გავზრდით, ინდუქციურობას კი 16-ჯერ შევამცირებთ?
16. რხევით კონტურში კოჭას ინდუქციურობა 0,2 ჰნ-ია, დენის ძალის ამპლიტუდა კი 40 მა. იპოვე კონდენსატორის ელექტრული ველისა და კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია, როდესაც დენის ძალის მყისი მნიშვნელობა 2-ჯერ ნაკლებია ამპლიტუდურზე.
17. რხევითი კონტური შედგება C = 400 პფ ტევადობის კონდენსატორისა და L = 10 მჰნ ინდუქციურობის კოჭასგან. იპოვე დენის ძალის I_m ამპლიტუდური მნიშვნელობა, თუ ძაბვის ამპლიტუდა U_m = 500 ვ-ია.

Don't copy

2.10. ცვლადი დენის გენერატორი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 3 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რას ეწოდება იძულებითი ელექტრული რხევა და რა შემთხვევაში აღიძვრება რხევით კონტურში იძულებითი ელექტრული რხევები?
2. როგორ დენს ჰქვია ცვლადი დენი?
3. აღწერე ცვლადი დენის გენერატორის მუშაობის პრინციპი.
4. რამდენი ხვია უნდა ჰქონდეს 500 სმ² ფართობის ჩარჩოს, თუ 0,1 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში 20 წმ$^{-1}$ სიხშირით ბრუნვისას მასში ემ ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა 63 ვ-ია?
5. იპოვე გრაფიკის მიხედვით (სურ. 2.9) ცვლადი ემ ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა, მისი პერიოდი და სიხშირე. დაწერე ემ ძალის დროის მიხედვით ცვლილების განტოლება.



სურ. 2.9

6. დენის ძალის დროზე დამოკიდებულება $i = 5\cos 200\pi t$ განტოლებითაა მოცემული. იპოვე რხევის სიხშირე, პერიოდი, დენის ძალის ამპლიტუდა, დენის ძალის მნიშვნელობა $\frac{\pi}{3}$ რად ფაზის დროს.
7. იპოვე ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში 50 ბრ/წმ სიჩქარით მბრუნავ ჩარჩოში აღძრული ემ ძალის ამპლიტუდა, თუ ჩარჩოს ფართობია 100 სმ², მაგნიტური ველის ინდუქცია – 0,2 ტლ.
8. ცვლადი დენის ემ ძალის მყისი მნიშვნელობა შემდეგი განტოლებით განისაზღვრება: $\varepsilon = 100 \sin 800\pi t$. განსაზღვრე რხევის ამპლიტუდა, სიხშირე, პერიოდი და საწყისი ფაზა.
9. ემ ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ჩარჩოს თანაბარი ბრუნვისას 10 ვოლტია. განსაზღვრე ემ ძალის მყისი მნიშვნელობა, რომელიც $t = T/12$ დროის მომენტს შეესაბამება (T ბრუნვის პერიოდია).
10. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ბრუნავს 100 ხვიისაგან შემდგარი ჩარჩო, რომლის ფართობი 400 სმ²-ია, ველის ინდუქცია 10^2 ტესლაა, ბრუნვის პერიოდი – 0,1 წამი. იპოვე ჩარჩოში აღძრული ემ ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა (ბრუნვის ღერძი მაგნიტური ინდუქციის წირების მართობულია).
11. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომლის ინდუქცია 0,1 ტესლაა, ბრუნავს 20 × 30 სმ² ზომის 100 ხვიისაგან შემდგარი მართკუთხა ჩარჩო. იპოვე ემ ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა, თუ ჩარჩოს ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა 4π რად/წმ.
12. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ბრუნავს 200 ხვიისგან შემდგარი ჩარჩო, რომლის ფართობი 300 სმ²-ია. ველის ინდუქცია 0,15 ტესლაა. იპოვე ჩარჩოს ბრუნვის ციკლური სიხშირე, თუ ემ ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა 27 ვოლტია.
13. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ბრუნავს 200 ხვიისაგან შემდგარი ჩარჩო, რომლის ფართობი 300 სმ²-ია. ველის ინდუქცია $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ ტესლაა. იპოვე ინდუქციის ემ ძალის მყისი მნიშვნელობა, როცა $t = 0{,}01$ წმ, თუ მისი ამპლიტუდა 7,2 ვოლტია.
14. განსაზღვრე მაგნიტური ინდუქციის მაქსიმალური ნაკადი მართკუთხა ჩარჩოში, რომელიც მაგნიტურ ველში 10 ბრ/წმ სიჩქარით ბრუნავს. ჩარჩოში აღძრული ემ ძალის ამპლიტუდა 3 ვოლტია.
15. ცვლადი დენის წრედის უბნის ბოლოზე ძაბვა იცვლება შემდეგი კანონით: $U=\sin(\omega t+\pi/6)$. დროის $t = T/12$ მომენტში (T პერიოდია) მყისი ძაბვა 10 ვოლტია. განსაზღვრე ძაბვის ამპლიტუდა.

Don't copy

2.11. ცვლადი დენის წრედი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 12 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რისგან შედგება უმარტივესი ცვლადი დენის წრედი?
2. რა არის აქტიური წინაღობა? რეაქტიული?
3. რა არის ტევადობითი წინაღობა და რაზეა ის დამოკიდებული (აღწერე ამ დამოკიდებულების ხასიათი)?
4. რა არის ინდუქციური წინაღობა და რაზეა ის დამოკიდებული (აღწერე ამ დამოკიდებულების ხასიათი)?
5. როგორ გამოითვლება დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა ცვლადი დენის წრედში, თუ მასში ჩართულია მხოლოდ: ა) აქტიური წინაღობა? ბ) კონდენსატორი? გ) კოჭა?
6. როგორია დენის ძალის რხევის ფაზის წანაცვლება ძაბვის რხევის ფაზასთან შედარებით ცვლადი დენის წრედში, თუ მასში ჩართულია მხოლოდ:
   ა) აქტიური წინაღობა? ბ)კონდენსატორი? გ)კოჭა?
7. რისი ტოლია ცვლადი დენის წრედში დენის ძალის სიხშირე, თუ ძაბვა ω სიხშირით ირხევა და წრედში ჩართულია მხოლოდ:
   ა) აქტიური წინაღობა? ბ) კონდენსატორი? გ) კოჭა?
8. როგორ გამოითვლება საშუალო სიმძლავრე, რომელიც ცვლადი დენის წრედში R აქტიურ წინაღობაზე პერიოდის განმავლობაში გამოიყოფა?
9. რას ეწოდება დენის ძალის (ძაბვის) მოქმედი მნიშვნელობა და რა არის მისი ფიზიკური აზრი?
10. როგორ გამოითვლება ცვლადი დენის წრედის სრული ელექტრული წინაღობა (ე.წ. ელექტრული იმპედანსი), თუ მასში აქტიური, ტევადობითი და ინდუქციური წინაღობები მიმდევრობითაა ჩართული?
11. როგორ გამოისახება ომის კანონი ცვლადი დენის სრული წრედისთვის?
12. რა არის ელექტრული რეზონანსი და რა შემთხვევაში მყარდება ის ცვლადი დენის წრედში?

13. რას უდრის 4 მკფ ტევადობის კონდენსატორის წინაღობა 50 და 400 ჰც სიხშირის ცვლადი დენის წრედში?
14. კონდენსატორი ჩართულია სტანდარტული სიხშირის 220 ვ ძაბვის ცვლადი დენის წრედში. კონდენსატორის წრედში დენის ძალა 2,5 ა-ია. იპოვე კონდენსატორის ტევადობა.
15. იპოვე 0,2 ჰნ ინდუქციურობის კოჭას ინდუქციური წინაღობა, თუ დენის სიხშირეა 50 ჰც; 400 ჰც.
16. 400 ჰც სიხშირის ცვლადი დენის წრედში ჩართულია 0,1 ჰნ ინდუქციურობის კოჭა. რა ტევადობის კონდენსატორი უნდა ჩავრთოთ წრედში, რომ დამყარდეს რეზონანსი?
17. წრედში ჩართულია 2 მკფ ტევადობის კონდენსატორი და 0,5 ჰნ ინდუქციურობის კოჭა. დენის რა სიხშირის დროს დამყარდება წრედში რეზონანსი?
18. ნეონის ნათურას ანთების ძაბვაა 150 ვ. რატომ ინთება ეს ნათურა 127 ვ ცვლადი ძაბვის ქსელში ჩართვისას?
19. წრედში, რომელშიც ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობაა 120 ვოლტი, ჩართულია 30 ომი წინაღობა. განსაზღვრე დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა.
20. ქსელში ძაბვა იცვლება $U=180\sin\omega t$ კანონით. რა სითბოს რაოდენობა გამოიყოფა ერთ წუთში ამ ქსელში ჩართულ ელექტროქურაში, რომლის აქტიური წინაღობა 30 ომია?

Don't copy

2.12. ტრანსფორმატორი

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 4 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა პრობლემა ჩნდება ელექტროენერგიის დიდ მანძილებზე გადაცემისას წყაროდან მომხმარებლამდე და რა გზით შეიძლება პრობლემის გადაჭრა?
2. რა არის ტრანსფორმატორი? რა მიზნით იყენებენ მას?
3. აღწერე ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპი (მისი უქმი სვლა და მუშაობა დატვირთვის რეჟიმში);
4. რა შემთხვევაშია ტრანსფორმატორი ამამაღლებელი? დამადაბლებელი?

5. **I.** გამოთვალე ალუმინის სადენის განივკვეთის ფართობი, რომლის საშუალებითაც ელექტროენერგია $I = 1000$ კმ მანძილზე გადაიცემა:
ა) $U = 500$ კვ ძაბვით; ბ) $U = 250$ ვ ძაბვით.
ცნობილია, რომ ელექტროსადგურის გენერატორის მიერ გამომუშავებული სიმძლავრე 1 გვტ-ია, ენერგიის დანაკარგი კი 8%-ს შეადგენს.
II. გამოთვალე სადენების განივკვეთის ფართობი იმ შემთხვევაში, თუ ელექტროენერგია $U = 200$ ვ ძაბვით გადაეცემა. შესაძლებელია თუ არა ასეთი ძაბვით ელექტროენერგიის გადაცემა? რატომ?
III. ახსენი, რატომაა აუცილებელი ელექტროენერგიის დიდ მანძილებზე გადაცემა მაღალი ძაბვით.
6. მცირე სიმძლავრის ელექტროსადგურის გენერატორში ძაბვა 300 ვ-ია. ელექტროენერგიის 10 კმ მანძილზე გადაცემისას ძაბვას 6 კვ-მდე ამაღლებენ. ახსენი, რატომ მცირდება ამ დროს ენერგიის დანაკარგი და გამოთვალე რამდენჯერ მცირდება?
7. ტრანსფორმატორი, რომლის პირველადი კოჭა 840 ხვიას შეიცავს, ძაბვას 220-დან 660 ვ-მდე ამაღლებს. იპოვე ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი და გამოთვალე, რამდენი ხვიაა მეორეულ კოჭაში. დაფიქრდი: რომელი კოჭას ხვიებია მეტი განივკვეთის ფართობის მქონე?
8. ტრანსფორმატორი ჩართულია 120 ვ ძაბვის ქსელში. პირველად გრაგნილში 302 ხვიაა. რამდენი ხვია უნდა ჰქონდეს მეორეულ გრაგნილს, რომ მის ბოლოებზე ძაბვა 6,4 ვ იყოს?
9. რადიოწრედის საკვებად გამოყენებული დამადაბლებელი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის 1200 ხვია ჩართულია 120 ვ ძაბვის ქსელში. რამდენი ხვია უნდა ჰქონდეს მეორეულ გრაგნილს, თუ რადიომილაკის ვარვარების ძაფის საკვებად საჭირო დენია 1 ა, ძაბვა – 3,5 ვ. ცნობილია, რომ მეორადი გრაგნილის წინაღობა 0,1 ომია?
10. დამადაბლებელი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი ჩართულია 223 ვ ძაბვის ქსელში. მეორეული გრაგნილის წინაღობა 2 ომია, მასში გამავალი დენის ძალა – 3 ამპერი. განსაზღვრე ძაბვა მეორადი გრაგნილის მომჭერებზე, თუ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტია 8. ენერგიის დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებ.
11. რა განივკვეთის სპილენძის სადენი იქნება საჭირო 220 ვ ძაბვით 220 კვტ სიმძლავრის დენის გადასაცემად 10 კმ-ზე ისე, რომ სითბური დანაკარგები 10 %-ს არ აღემატებოდეს?

2.13. ელექტრომაგნიტური ტალღები

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 3 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა შინაარსისაა მაქსველის ჰიპოთეზა? რა დასკვნების გამოტანაა შესაძლებელი მაქსველის ჰიპოთეზაზე დაყრდნობით?
2. აღწერე ჰერცის ცდა, რომლითაც ელექტრომაგნიტური ტალღების არსებობა ექსპერიმენტულად დადასტურდა;
3. რა არის ელექტრომაგნიტური ველი და რა ძირითადი თვისებები აქვს მას:

Don't copy

ა) რა არის ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივების მთავარი პირობაა;
ბ) როგორ ირხევა ელექტრომაგნიტურ ტალღაში $\vec{E}$ და $\vec{B}$ ვექტორები?
გ) როგორი ტალღაა ელექტრომაგნიტური ტალღა?
დ) რა არის ტალღის ინტენსივობა?
ე) როგორ გამოითვლება ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარე და რისი ტოლია მისი მნიშვნელობა ვაკუუმში? გარემოში (ნივთიერებაში)?
ვ) დრეკადი ტალღებისგან განსხვავებით, სჭირდება თუ არა ელექტრომაგნიტურ ტალღას გავრცელებისთვის გარემო (ნივთიერება)?
ზ) როგორ გამოითვლება ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე?
თ) იცვლება თუ არა ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირე (პერიოდი)? როგორ იცვლება ამ დროს ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელების სიჩქარე და ტალღის სიგრძე?

4. რამდენი რხევა შესრულდება ელექტრომაგნიტურ ტალღაში, რომლის ტალღის სიგრძეა 30 მ, იმ ბგერითი ტალღის ერთი პერიოდის განმავლობაში, რომლის სიხშირეა 200 ჰც?
5. ელექტრომაგნიტური ტალღა მინაში $2 \cdot 10^8$ მ/წმ სიჩქარით ვრცელდება. რა სიგრძისაა ტალღა, თუ ცნობილია, რომ ტალღის სიხშირე 10^6 ჰც-ია?

2.14. ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 3 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა სახის ელექტრომაგნიტური ტალღები არსებობს და რითია განპირობებული გამოსხივების სხვადასხვა სახეს შორის განსხვავება?
2. რა პრინციპით შეიქმნა ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალა?
3. დაახასიათე ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სხვადასხვა სახე (რადიოტალღები, ინფრაწითელი გამოსხივება, ხილული სინათლე, ულტრაიისფერი, რენტგენისა და გამა გამოსხივება) ტალღის სიგრძისა (სიხშირის) და თვისებების მიხედვით;

Don't copy

II თემის მოკლე შინაარსი

2.1. მექანიკური რხევა

მექანიკური რხევა

მექანიკური რხევა მექანიკური მოძრაობის ერთ-ერთი სახეა, რომელსაც **განმეორებადობა, პერიოდულობა ახასიათებს** – მერხევი სხეულის მოძრაობა დროის ერთსა და იმავე შუალედის შემდეგ ზუსტად ან მიახლოებით მეორდება (ანუ, მეორდება მოძრაობის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეები: კოორდინატი, სიჩქარე, აჩქარება, ძალა, ენერგია).

თუ სხეული რხევით მოძრაობას ასრულებს, ეს იმას ნიშნავს, რომ არსებობს მდებარეობა, რომლის მახლობლადაც მერხევი სხეული მოძრაობის მთელი დროის განმავლობაში იმყოფება: ის ამ მდებარეობიდან ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს გადაიხრება. ზოგ შემთხვევაში ამ მდებარეობაში სხეული **მდგრადი წონასწორობის მდგომარეობაში იმყოფება და მას წონასწორობის მდებარეობას** უწოდებენ.

მოძრაობას, როცა სხეული ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს გადაიხრება და დროის ერთნაირი შუალედების შემდეგ ზუსტად ან მიახლოებით მეორდება, მექანიკური რხევა ჰქვია.

რხევითი მოძრაობის შესწავლისას ხშირად **ზამბარიან** და **მათემატიკურ ქანქარას** იყენებენ.

თუ სისტემა წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოყვანის შემდეგ **მხოლოდ შიდა ძალების მოქმედებით ასრულებს რხევით მოძრაობას**, მაშინ სისტემაში აღძრულ რხევებს **თავისუფალი რხევები** ჰქვია.

სისტემაში თავისუფალი რხევების აღსაძრავად საჭიროა:

1. წონასწორობიდან გამოყვანის შემდეგ, სისტემაში წარმოიქმნას წონასწორობის მდებარეობისკენ მიმართული ძალა, რომელიც ცდილობს სისტემა ამ მდებარეობაში დააბრუნოს;

2. სისტემაში წინააღმდეგობის ძალები (ხახუნი) საკმარისად მცირე უნდა იყოს (იმ ძალასთან შედარებით, რომელიც ცდილობს სისტემა წონასწორობის მდებარეობაში დააბრუნოს), რადგან წინააღმდეგ შემთხვევაში, რხევები სწრაფად **მიილევა** და, შესაძლოა, რომ არც კი აღიძრას. **არამილევადი რხევა** შესაძლებელია მხოლოდ ხახუნის არარსებობის შემთხვევაში.

მაგ., თავისუფალ რხევებს ასრულებს ზამბარიანი და მათემატიკური ქანქარა. წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოყვანის შემდეგ, ორივე სისტემა გარე ზემოქმედების გარეშე, მხოლოდ შიდა ძალების მოქმედებით ირხევა: ზამბარიან ქანქარაში შიდა ძალა ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალაა, მათემატიკურ ქანქარაში კი – ძაფზე დაკიდებული სხეულის სიმძიმის ძალის ტანგენციალური მდგენელი.

რხევითი მოძრაობის ზოგიერთი მახასიათებელი

რხევის ამპლიტუდა

რხევის ამპლიტუდა წონასწორობის მდებარეობიდან მერხევი სხეულის უდიდესი გადახრის (წანაცვლების) მოდულია (სურ. 2.1.10). **ამპლიტუდას A -თი (ან x_0-ით, x_m -ით) აღნიშნავენ** (ზოგადად, ამპლიტუდა იმ ფიზიკური სიდიდის (წანაცვლების, სიჩქარის, აჩქარების, დენის ძალის, ძაბვის და ა.შ.) მაქსიმალური მნიშვნელობაა (მოდულით), რომლის რხევასაც ვაკვირდებით).

რხევის პერიოდი

დროის იმ მინიმალურ შუალედს, რომლის შემდეგაც მერხევი სხეულის მოძრაობა მეორდება, **რხევის პერიოდი** ჰქვია. პერიოდის განმავლობაში სისტემა **ერთ სრულ რხევას** ასრუ-

Don't copy

ლებს (ანუ, სისტემა თავის საწყის მდგომარეობას უბრუნდება). რხევის პერიოდს T ასოთი აღნიშნავენ. **რხევის პერიოდის ერთეული SI-ში 1 წამია.**

თუ t დროის განმავლობაში სისტემა N სრულ რხევას ასრულებს, მაშინ რხევის პერიოდი ასე გამოითვლება:

$$T = \frac{t}{N} \qquad (2.1.5)$$

ზამბარიანი ქანქარას თავისუფალი რხევის პერიოდი გამოითვლება ფორმულით:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (2.2.20)$$

(m ზამბარის ერთ ბოლოზე მიმაგრებული სხეულის მასაა, ხოლო k – ზამბარას სიხისტე).

მათემატიკური ქანქარას თავისუფალი რხევის პერიოდი ასე გამოითვლება:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad (2.2.21)$$

(ℓ ძაფის სიგრძეა, ხოლო g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება).

რხევის სიხშირე

რხევის სიხშირე გვიჩვენებს,თუ რამდენ რხევას ასრულებს სისტემა დროის ერთეულში (1 წმ-ში, 1 წთ-ში ...). სიხშირეს ν ასოთი აღნიშნავენ. **სიხშირის ერთეული SI-ში 1 ჰერცია (ჰც) .**

თუ t დროის განმავლობაში სისტემა N სრულ რხევას ასრულებს, მაშინ რხევის სიხშირე ასე გამოითვლება:

$$\nu = \frac{N}{t} \qquad (2.1.6)$$

დააკვირდი 2.1.5 და 2.1.6 ფორმულებს: **პერიოდი და სიხშირე ურთიერთშებრუნებული სიდიდეებია:**

$$\nu = \frac{1}{T} \qquad (2.1.7)$$

1 ჰერცი $= \frac{1}{\text{წმ}} = \text{წმ}^{-1}$.

ციკლური სიხშირე

ფიზიკური სიდიდე, რომელიც გვიჩვენებს 2π წამში (≈ 6,28 წმ-ში) **შესრულებულ რხევათა რიცხვს, ციკლური სიხშირე** (ω) ჰქვია. **ციკლური სიხშირის ერთეული SI-ში 1/წმ-ია** ან **1 რად/წმ.**

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad (2.2.13)$$

$$\omega = 2\pi\nu \qquad (2.2.14)$$

2.2. ჰარმონიული რხევა

ფიზიკური სიდიდის (მაგ., კოორდინატის, სიჩქარის, აჩქარების) **დროზე დამოკიდებულების პერიოდულ ცვლილებას, რომელიც სინუსის ან კოსინუსის კანონით მიმდინარეობს, ჰარმონიული რხევა ჰქვია.**

Don't copy

რეალურად, თავისუფალი რხევა ჰარმონიული რხევა არ არის, რადგან **ჰარმონიული რხევისას ამპლიტუდა უცვლელია,** თავისუფალი რხევა კი მილევადია. თუ ხახუნი უმნიშვნელოა, მაშინ მცირე დროის განმავლობაში (სანამ ამპლიტუდა მნიშვნელოვნად შემცირდება) თავისუფალი რხევა შეიძლება პრაქტიკულად ჰარმონიულად ჩავთვალოთ.

ზამბარიანი და მათემატიკური ქანქარას თავისუფალი რხევა (როცა ხახუნის ძალები უგულებელყოფილია) ჰარმონიულია და ერთნაირი კანონზომიერებით მიმდინარეობს, მიუხედავად იმისა, რომ მათი რხევის გამომწვევ ძალებს განსხვავებული ფიზიკური ბუნება აქვს: ერთ შემთხვევაში რხევას ზამბარის დრეკადობის ძალა იწვევს, მეორე შემთხვევაში კი – სიმძიმის ძალის მდგენელი.

ჰარმონიული რხევისას სისტემაში აღიძვრება წონასწორობის მდგომარეობაში დამაბრუნებელი ძალა, რომლის მოდული გადახრის პროპორციულია.

ანალოგიები ზამბარიანი და მათემატიკური ქანქარას ჰარმონიული რხევის მახასიათებელ სიდიდეებს შორის:

	ჰარმონიულად მერხევი სისტემა:	
	ზამბარიანი ქანქარა	**მათემატიკური ქანქარა**
ძალის გეგმილი, რომელიც წონასწორობის მდგომარეობაში აბრუნებს მერხევ სისტემას პირდაპირპროპორციულია x კოორდინატისა (გადახრის, წანაცვლების):	$(F_{დრ})_x = -kx$	$(F_{სიმ})_x = -mg\sin\alpha$, $\sin\alpha = \frac{x}{\ell}$ ე.ი. $(F_{სიმ})_x = -\frac{mg}{\ell}x$
მოძრაობის განტოლება:	$-kx = ma_x$	$-\frac{mg}{\ell}x = ma_x$
აჩქარების გეგმილი პირდაპირპროპორციულია x კოორდინატისა:	$a_x = -\frac{k}{m}x$	$a_x = -\frac{g}{\ell}x$

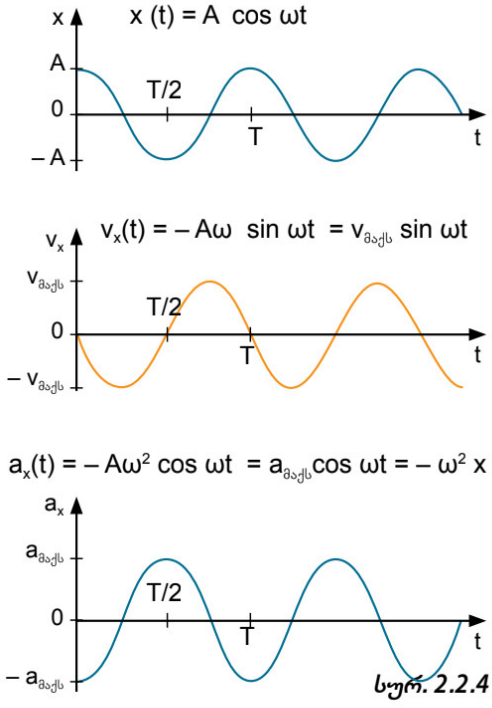
ჰარმონიული რხევის გრაფიკები და განტოლებები

თუ ჰარმონიული რხევა **კოსინუსის კანონით** აღიწერება, მაშინ კოორდინატის, სიჩქარისა და აჩქარების გეგმილების დროზე დამოკიდებულების განტოლებებს ასეთი სახე აქვს:

$$x(t) = A\cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$v_x(t) = -A\omega\sin(\omega t + \varphi_0) = A\omega\cos(\omega t + \varphi_0 + \pi/2)$$

$$a_x(t) = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x = A\omega^2\cos(\omega t + \varphi_0 + \pi)$$



სურ. 2.2.4

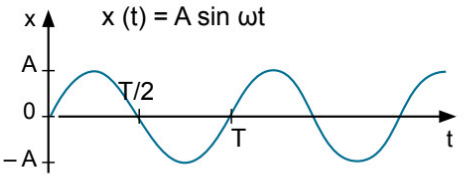
Don't copy

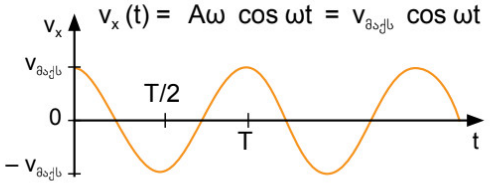
თუ ჰარმონიული რხევა **სინუსის კანონით** აღიწერება, მაშინ კოორდინატის, სიჩქარისა და აჩქარების გეგმილების დროზე დამოკიდებულების განტოლებებს ასეთი სახე აქვს:

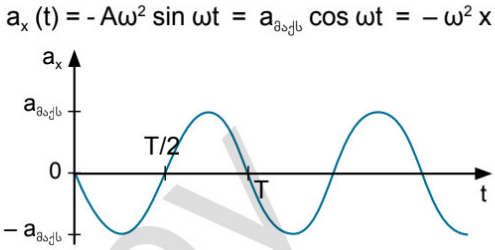
$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$v_x(t) = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0) = A\omega \sin(\omega t + \varphi_0 + \pi/2)$$

$$a_x(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x = A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0 + \pi)$$







განტოლებები, რომლებიც დაგჭირდება ამოცანების ამოხსნისას:

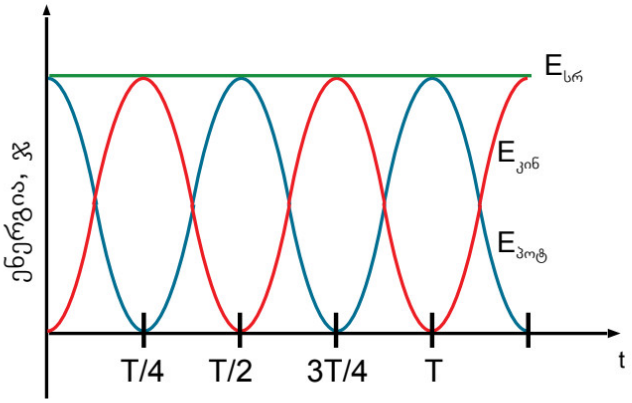
მერხევი სხეულის კოორდინატი დროის ნებისმიერ t მომენტში	$x(t) = A \cos \omega t$
სიჩქარის გეგმილი დროის ნებისმიერ t მომენტში	$v_x(t) = -A\omega \sin \omega t$
აჩქარების გეგმილი დროის ნებისმიერ t მომენტში	$a_x(t) = -A\omega^2 \cos \omega t = -\omega^2 x$
სიჩქარის მოდული დროის ნებისმიერ t მომენტში	$v = \pm \omega\sqrt{A^2 - x^2}$
მაქსიმალური სიჩქარის მოდული	$v_{მაქს} = \omega A$
მაქსიმალური აჩქარების მოდული	$a_{მაქს} = \omega^2 A$
რხევის ციკლური სიხშირე	ზამბარიანი ქანქარას შემთხვევაში: $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ მათემატიკური ქანქარას შემთხვევაში: $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$

2.3. რეზონანსი

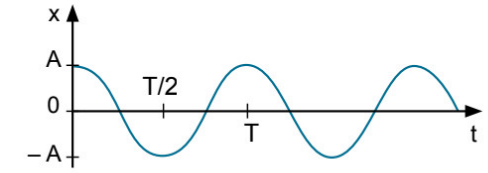
ენერგიის გარდაქმნა მერხევ სისტემაში

თავისუფალი რხევისას მერხევის სისტემის **პოტენციური და კინეტიკური ენერგიები პერიოდულად იცვლება**. სისტემის პოტენციური ენერგია გარდაიქმნება კინეტიკურად, კინეტიკური პოტენციურად, პოტენციური – კვლავ კინეტიკურად და ა.შ. ენერგიის გარდაქმნის პროცესი ისე მიმდინარეობს, რომ თუ სისტემაზე ხახუნის ძალები არ მოქმედებს, **მერხევი სისტემის სრული მექანიკური ენერგია არ იცვლება** (იხ.ენერგიის გრაფიკი).

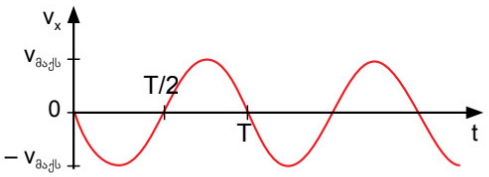
Don't copy



ენერგიის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი



კოორდინატის გრაფიკი



სიჩქარის გრაფიკი

სისტემის სრული მექანიკური ენერგია მაქსიმალური პოტენციური ან მაქსიმალური კინეტიკური ენერგიით განისაზღვრება (თუ სისტემაზე ხახუნის ძალები არ მოქმედებს):

ა) **ზამბარიანი ქანქარას შემთხვევაში:**

$$E_{სრ} = \frac{kA^2}{2} = \frac{mv^2_{max}}{2}; \qquad (2.3.6)$$

სადაც A რხევის ამპლიტუდაა (მაქსიმალური წანაცვლების მოდული), ხოლო v_{max} ბურთულას მაქსიმალური სიჩქარეა წონაწორობის მდგომარეობის გავლის მომენტში;

ბ) **მათემატიკური ქანქარას შემთხვევაში**

$$E_{სრ} = mgh_{max} = \frac{mv^2_{max}}{2}; \qquad (2.3.7)$$

სადაც h_{max} ბურთულას სიმძიმის ცენტრის აწევის მაქსიმალური სიმაღლეა ნულოვანი დონიდან, ხოლო v_{max} ბურთულას სიჩქარეა წონასწორობის მდებარეობის გავლის მომენტში.

2.3.6. და 2.3.7 ტოლობების თანახმად, **მაქსიმალური სიჩქარე, რომლითაც მერხევი სხეული წონასწორობის მდგომარეობას გადის, ასე გამოითვლება:**

ა) **ზამბარიანი ქანქარას შემთხვევაში** $v_{max} = A\sqrt{\frac{k}{m}}$ (2.3.8)

ბ) **მათემატიკური ქანქარას შემთხვევაში** $v_{max} = \sqrt{2gh_{max}}$ (2.3.9)

რეზონანსი

იმისათვის, რომ რხევა მიულევადი იყოს, მერხევ სისტემას, რომელზედაც წინააღმდეგობის ძალები მოქმედებს, პერიოდულად დამატებითი ენერგია უნდა გადავცეთ, რათა მისი ენერგიის დანაკარგი შევავსოთ. **ამისათვის სისტემაზე გარე ძალამ პერიოდულად უნდა იმოქმედოს.**

რხევას, რომელიც გარე პერიოდული ძალის მოქმედებით მიმდინარეობს, **იძულებითი რხევა** ჰქვია.

თუ გარე პერიოდული ძალის სიხშირე მერხევი სისტემის საკუთარ სიხშირეს ემთხვევა ($\nu = \nu_0$) (ანუ გარე ძალა ტაქტში, რიტმულად მოქმედებს სისტემაზე) და ამასთან, გარე ძალა ყოველთვის მერხევი სხეულის მოძრაობის მიმართულებით მოქმედებს, მაშინ ის პერიოდის განმავლობაში მხოლოდ დადებით მუშაობას ასრულებს. სისტემისთვის გადაცემული ენერგია მნიშვნელოვნად იზრდება და, შესაბამისად, იძულებითი რხევის ამპლიტუდა მკვეთრად გაიზრდება.

Don't copy

მოვლენას, რომლის დროსაც იძულებითი რხევის ამპლიტუდა მკვეთრად იზრდება მაშინ, როცა გარე პერიოდული ძალის სიხშირე სისტემის საკუთარ სიხშირეს ემთხვევა, რეზონანსი ჰქვია.

2.4.მექანიკური ტალღა

მოვლენას, რომლის დროსაც რხევითი მოძრაობა სივრცეში ვრცელდება, ტალღა ჰქვია მექანიკური ტალღებია, მაგ., **სითხის ზედაპირზე წარმოქმნილი ტალღები** და **დრეკადი ტალღები.**

მექანიკური დრეკადი ტალღები - ეს არის რხევის (წონასწორობის მდებარეობიდან ნებისმიერი გადახრის) **გავრცელება დრეკად გარემოში.**

დრეკადია გარემო, თუ მისი ნებისმიერი დეფორმაციისას გარემოს შემადგენელ ნაწილაკებს შორის დრეკადობის ძალები აღიძვრება, რომლებიც ამ დეფორმაციას ეწინააღმდეგება.

დრეკადი მექანიკური ტალღები ორგვარია – განივი და გრძივი.

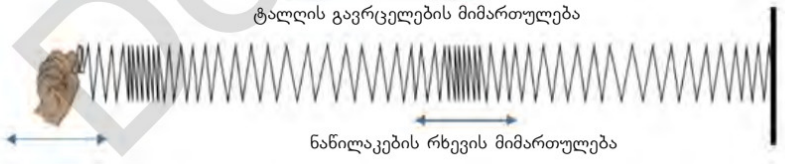
ტალღას, რომელშიც გარემოს შემადგენელი ნაწილაკები ტალღის გავრცელების მიმართულების მართობულად ირხევა, განივი ტალღა ჰქვია (სურ. 2.5.10).



სურ. 2.5.10

განივი მექანიკური ტალღა მხოლოდ ისეთ გარემოში ვრცელდება, რომელშიც ცალკეული ფენები ერთმანეთის მიმართ წანაცვლდება, ანუ ისეთ გარემოში, რომელშიც შესაძლებელია **ძვრის დეფორმაცია**. ამის გამო **განივი მექანიკური ტალღა მხოლოდ მყარ გარემოში აღიძვრება,** რადგან მხოლოდ მყარ გარემოში ხდება ძვრის დეფორმაცია.

ტალღას, რომელშიც გარემოს შემადგენელი ნაწილაკები ტალღის გავრცელების მიმართულების გასწვრივ ირხევა, გრძივი ტალღა ჰქვია (სურ. 2.5.9).



სურ. 2.5.9

გრძივი ტალღის გარემოში გავრცელებას თან სდევს გარემოს შეკუმშვა და გაფართოება (ანუ გარემოში წარმოიქმნება **კუმშვის** დეფორმაცია). შესაბამისად, **გრძივი ტალღები მყარ გარემოშიც ვრცელდება, თხევადშიც და აირადშიც**.

ნებისმიერი სითხის ზედაპირზე წარმოქმნილი ტალღები არც განივია და არც გრძივი. ისინი ორივე სახის ტალღის კომბინაციაა და ნაწილაკების მოძრაობას ასეთ ტალღაში საკმაოდ რთული ხასიათი აქვს.

ტალღის ენერგია

ნებისმიერი ტალღის გავრცელებისას გარემოს ერთი უბნიდან მეორეს ნაწილაკების მოძრაობის კინეტიკური ენერგია და დრეკადი დეფორმაციის პოტენციური ენერგია გადაეცემა.

Don't copy

ტალღას გარემოს ყველა წერტილში გადააქვს ენერგია, თუმცა ამ ენერგიის მატარებელი მერხევი ნაწილაკები არ გადააქვს: **ტალღას გადააქვს ენერგია ნივთიერების გადატანის გარეშე**.

მექანიკური ტალღების წარმოქმნის მიზეზი გარემოში აღძრული რხევაა (გარემოს შეშფოთებაა), რომელსაც მერხევი სხეული (ტალღის წყარო) ასრულებს. **მერხევი სხეულის (ტალღის წყაროს) ენერგია წყაროს რხევის ამპლიტუდაზეა დამოკიდებული.**

ტალღის სიჩქარე

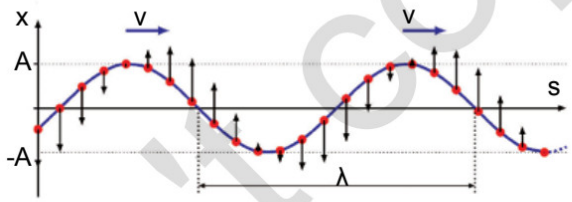
გარემოში ტალღის გავრცელება გარკვეული სიჩქარით ხასიათდება. ტალღის სიჩქარე იმ გარემოს თვისებებზეა დამოკიდებული, რომელშიც ტალღა ვრცელდება – **მყარ გარემოში გრძივი ტალღა უფრო სწრაფად ვრცელდება, ვიდრე განივი.**

ტალღის სიჩქარე მოცემულ ერთგვაროვან გარემოში არ იცვლება – მუდმივია, მაგრამ არაერთგვაროვან გარემოში (მაგ., თხევადიდან მყარ გარემოში გადასვლისას) – იცვლება.

ტალღის სიგრძე

მანძილს, რა მანძილზეც ვრცელდება ტალღა იმ დროში, რა დროშიც ტალღის წყარო ერთ სრულ რხევას შეასრულებს, **ტალღის სიგრძე (λ), ჰქვია.**

დროს, რომელშიც რხევა გარემოში ტალღის სიგრძის ტოლ მანძილზე ვრცელდება, ტალღის **პერიოდი** (T) ეწოდება.



სურ. 2.5.16

მოცემული გარემოში ტალღის სიჩქარე (v) მუდმივი სიდიდეა, **ტალღის სიგრძე (λ),** ანუ ტალღის მიერ პერიოდის (T-ს) განმავლობაში გავლილი მანძილი**, ასე გამოითვლება:**

$$\lambda = v\,T \qquad (2.5.1)$$

თუ რხევის პერიოდს ტალღის წყაროს რხევის სიხშირის საშუალებით გამოსახავ, მაშინ **ტალღის სიჩქარე ასე გამოითვლება:**

$$\mathbf{v = \lambda}\,\nu \qquad (2.5.2)$$

სადაც λ ტალღის სიგრძეა, ხოლო ν – ტალღის წყაროს რხევის სიხშირეა, იმავე გარემოს ნაწილაკების იძულებითი რხევის სიხშირე.

2.5. ბგერითი ტალღები

მექანიკურ ტალღებს, რომლებიც სმენით შეგრძნებას იწვევს, **ბგერითი ტალღა** ან უბრალოდ, **ბგერა** ჰქვია. **ბგერითი ტალღა მექანიკური დრეკადი ტალღაა**, რომლის გავრცელებისთვის აუცილებელი პირობაა, რომ ბგერის წყაროსა და მიმღებს (ყურს) შორის არსებობდეს **დრეკადი გარემო**, რომლის შემადგენელი ნაწილაკები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებს.

ბგერა, ისევე როგორც ყველა მექანიკური გრძივი ტალღა, ვრცელდება დრეკადი გარემოს ცალკეული უბნების პერიოდული შეკუმშვა-გაფართოების სახით **როგორც აირად, ისე თხევად გარემოში**. მყარ სხეულში (რომელიც ეწინააღმდეგება როგორც მოცულობის, ასევე ფორმის ცვლილებასაც) შეიძლება გავრცელდეს როგორც გრძივი, ასევე განივი

Don't copy

ბგერითი ტალღაც, რომელიც მყარი გარემოს ფენების ერთმანეთის მიმართ წანაცვლების, ძვრის დეფორმაციის შედეგად აღიძვრება. გარდა გრძივისა და განივისა, მყარ სხეულში შესაძლოა, ბგერა ზედაპირული ტალღის სახითაც გავრცელდეს.

ვაკუუმში (იქ, სადაც ნივთიერება არ არის ან ძალიან გაიშვიათებულია) **ბგერა არ ვრცელდება**

ბგერის წყარო მერხევი სხეულია, მაგრამ – არა ყოველთვის. **სმენით შეგრძნებას მხოლოდ ის ტალღები იწვევს, რომელთა წყარო 16 ჰც-იდან 20 000 ჰც-მდე სიხშირით ირხევა**.

16 ჰც-იდან 20 000 ჰც-მდე დიაპაზონში მოქცეულ სიხშირეებს **ბგერითი (აკუსტიკური) სიხშირეები ჰქვია. ბგერის წყარო შეიძლება იყოს ნებისმიერი მერხევი სხეული** (მყარი, თხევადი, აირადი)**, თუ ის ბგერითი სიხშირით ირხევა.**

ტალღებს, რომელთა სიხშირე 20 000 ჰც-ს აღემატება, **ულტრაბგერები** ჰქვია, ხოლო 16 ჰც-ზე ნაკლები სიხშირის ტალღებს – **ინფრაბგერები** (გაითვალისწინე: ტალღების სიხშირე მათი წყაროს რხევის სიხშირის ტოლია).

თუ ბგერითი ტალღის სიხშირე (ν) და გარემოში ბგერის გავრცელების სიჩქარე (v) გვეცოდინება, შევძლებთ, გამოვთვალოთ **ბგერითი ტალღის სიგრძე (λ)**:

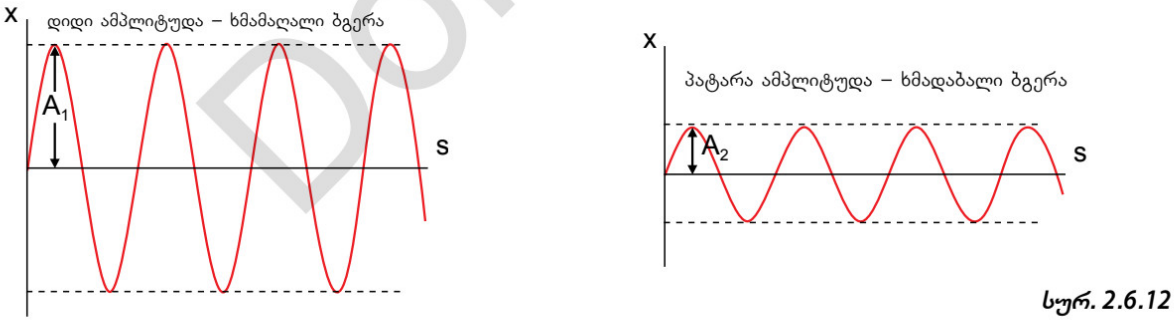
$$\lambda = \frac{v}{\nu} \qquad (2.6.1)$$

ბგერის ხმამაღლობა და სიმაღლე

ამპლიტუდა და სიხშირე ბგერითი ტალღის ფიზიკური მახასიათებლებია, რომლებიც, თავის მხრივ, **ბგერის ფიზიოლოგიურ მახასიათებლებს განსაზღვრავს**. ბგერის ფიზიოლოგიური მახასიათებლები ჩვენ მიერ ბგერის სუბიექტურ აღქმასთანაა დაკავშირებული. ასეთი **ფიზიოლოგიური მახასიათებლებია: ბგერის სიმაღლე და ხმამაღლობა.**

ბგერის ხმამაღლობა

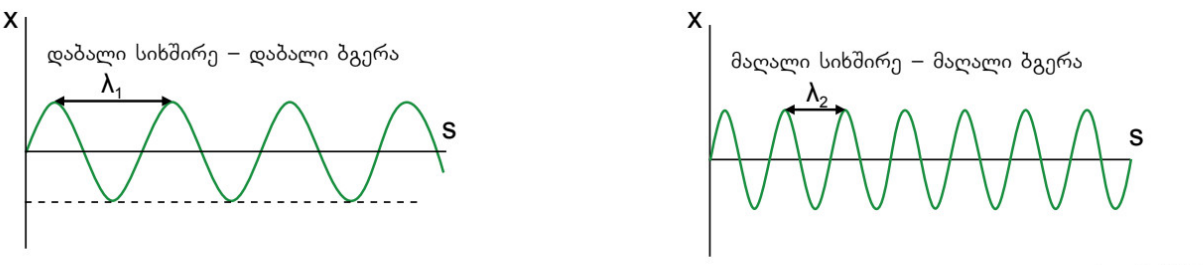
ბგერის ხმამაღლობა ბგერის წყაროს რხევის ამპლიტუდაზე და, შესაბამისად, **რხევის ენერგიაზეა დამოკიდებული** (სურ. 2.6.12).



სურ. 2.6.12

ბგერის სიმაღლე

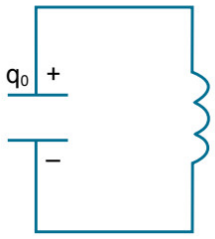
რაც უფრო მეტია რხევის სიხშირე ბგერით ტალღაში, მით უფრო მაღალია ბგერა. რხევის პატარა სიხშირეებს დაბალი ბგერები შეესაბამება (სურ. 2.6.13).



სურ. 2.6.13

Don't copy

2.9. თავისუფალი ელექტრული რხევები



რხევითი კონტური

ელექტრულ წრედში, ისევე როგორც მექანიკურ სისტემაში (მაგ., ზამბარიან და მათემატიკურ ქანქარაში), შესაძლებელია, აღიძრას **ელექტრული რხევები, ანუ მუხტის, დენის ძალისა და ძაბვის პერიოდული (ან თითქმის პერიოდული) ცვლილებები.**

უმარტივესი სისტემა, რომელშიც ელექტრული რხევები აღიძვრება, კონდენსატორისა და მის შემონაფენებთან მიერთებული კოჭისაგან შედგება. ასეთ სისტემას **რხევითი კონტური ჰქვია.**

რხევით კონტურში ელექტრული (უფრო სწორედ კი, **ელექტრომაგნიტური**) **რხევები აღიძვრება.**

ელექტრულ რხევებს, რომელიც დამატებითი ენერგიის გადაცემის გარეშე მიმდინარეობს, **თავისუფალი ელექტრული რხევები** ჰქვია.

იდეალურ რხევით კონტურში, როცა კონტურის R წინაღობა ნულის ტოლია (ან იმდენად მცირეა, რომ მისი უგულებელყოფა შეიძლება, $R \to 0$), წრედში ენერგიის კარგვა არ ხდება და ელექტრული რხევები **არამილევადია.**

რეალურ რხევით კონტურში თავისუფალი ელექტრული რხევები მილევადია, რადგან ენერგიის დანაკარგი გარდაუვალია.

იდეალურ რხევით კონტურში აღძრული თავისუფალი ელექტრული რხევისას ჰარმონიულ რხევას ასრულებს

ა) ძაბვა და მისი მნიშვნელობა დროის ნებისმიერ t მომენტში ასე გამოითვლება:

$$u(t) = U_0 \cos \omega_0 t \qquad (2.9.4)$$

U_0 კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობაა (ძაბვის რხევის ამპლიტუდაა), ხოლო ω_0 ძაბვის თავისუფალი რხევის **საკუთარი ციკლური სიხშირეა** (ანუ, რხევით კონტურში აღძრული **თავისუფალი ელექტრული რხევის საკუთარი ციკლური სიხშირეა**).

ბ) მუხტი, რომლის მნიშვნელობა დროის ნებისმიერ t მომენტში (მყისი მნიშვნელობა) ასე გამოითვლება:

$$q(t) = q_0 \cos \omega_0 t \qquad (2.9.5)$$

q_0 მუხტის რხევის ამპლიტუდაა (მაქსიმალური მუხტია, რომელიც კონდენსატორს წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოსაყვანად გადაეცა);

გ) დენის ძალა, რომლის მყისი მნიშვნელობა ასე გამოითვლება:

$$i(t) = I_0 \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (2.9.6)$$

I_0 დენის ძალის რხევის ამპლიტუდაა.

თავისუფალი ელექტრული რხევების სიხშირე და პერიოდი

იდეალურ რხევით კონტურში თავისუფალი ელექტრული რხევების პერიოდი ასე გამოითვლება:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \qquad (2.9.7)$$

2.9.7 ფორმულას **ტომსონის ფორმულა** ჰქვია.

იდეალურ რხევით კონტურში თავისუფალი რხევების სიხშირე ასე გამოითვლება:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (2.9.8)$$

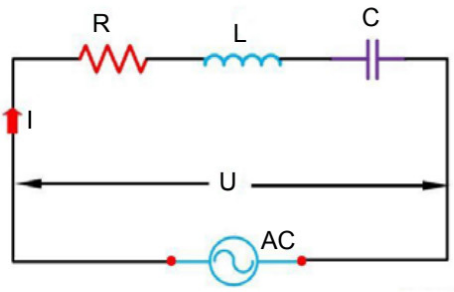
იდეალურ რხევით კონტურში თავისუფალი რხევების საკუთარი ციკლური სიხშირე ასე გამოითვლება:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (2.9.9)$$

Don't copy

2.11. ცვლადი დენის წრედი

წინაღობა ცვლადი დენის წრედში



სურ. 2.11.3

უმარტივესი **ცვლადი დენის წრედი** შედგება: **რეზისტორის** (R), **კოჭას** (L), **კონდენსატორისა (C)** და **ცვლადი დენის წყაროსგან** (AC) (სურ.2.11.3).

წრედის შემადგენელი ელემენტები (რეზისტორი, კოჭა, კონდენსატორი) ერთმანეთთან შეიძლება მიმდევრობით ან პარალელურად იყოს ჩართული. ცვლადი დენის წრედს **RLC წრედსაც** უწოდებენ.

ელექტრული **წრედი მასში გამავალ დენს განსხვავებულ წინააღმდეგობას უწევს იმის მიხედვით, დენი ცვლადია თუ მუდმივი.**

ცვლადი დენის წრედში, განსხვავებით მუდმივი დენის წრედისგან, **ორი სახის წინაღობაა:**

1. **აქტიური R წინაღობა** – წრედის იმ ელემენტების წინაღობაა, რომლებშიც ელექტრული ენერგია შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება: აქტიურ წინაღობაზე სითბო გამოიყოფა.
2. **რეაქტიული X წინაღობა** – წრედის იმ ელემენტების წინაღობაა, რომლებშიც ელექტრული ენერგია შინაგანად არ გარდაიქმნება.

მუდმივი დენის შესწავლისას რეზისტორის (წრედში ჩართული დატვირთვის) წინაღობას **ელექტრულ წინაღობას** (R_0), ან უბრალოდ, **წინაღობას (ომურ წინაღობას)** ვუწოდებთ: $R_0 = \rho\ell/S$.

ცვლადი დენის წრედში ჩართული რეზისტორის R წინაღობა **აქტიური წინაღობაა,** რომელიც აღემატება იმავე რეზისტორის წინაღობას (R_0), როცა ის მუდმივი დენის წრედშია ჩართული: $R > R_0$.

კონდენსატორი და **ინდუქციურობის კოჭა** ცვლადი დენის წრედის ის ელემენტებია, რომლებშიც, პრაქტიკულად, ელექტრული ენერგია შინაგანად არ გარდაიქმნება. მათ წინაღობებს, შესაბამისად, **ტევადობით** (X_C) და **ინდუქციურ** (X_L) წინაღობებს უწოდებენ. **ტევადობითი და ინდუქციური წინაღობა ცვლადი დენის წრედში რეაქტიულ წინაღობას ქმნის.**

თუ ცვლადი დენის წრედში ჩართულია მხოლოდ:	ძაბვის მყისი მნიშვნელობა	დენის ძალის მყისი მნიშვნელობა	დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა	**ომის კანონი** ცვლადი დენის **წრედის უბნისთვის.** (I და U, შესაბამისად, დენის ძალისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობებია)
აქტიური R წინაღობა	$u(t) = U_0\cos\omega t$	$i(t) = I_0\cos\omega t$	$I_0 = \frac{U_0}{R}$	$I = \frac{U}{R}$
C ტევადობის კონდენსატორი		$i(t) = I_0\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$	$I_0 = \frac{U_0}{X_C}$ X_c ტევადობითი წინაღობაა: $X_c = \frac{1}{\omega C}$	$I = \frac{U}{X_C}$
L ინდუქციურობის კოჭაა ჩართული		$i(t) = I_0\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$	$I_0 = \frac{U_0}{X_L}$ X_L ტევადობითი წინაღობაა: $X_L = \omega L$	$I = \frac{U}{X_L}$

Don't copy

დენის ძალისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა

ცვლადი დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობა ეწოდება ისეთი მუდმივი დენის ძალის მნიშვნელობას, რომელიც გამტარში იმავე სითბოს რაოდენობას გამოყოფს, რასაც მოცემული ცვლადი დენი იმავე დროში (აღნიშნული დროის შუალედი პერიოდის ჯერადია).

ცვლადი დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობა ასე გამოითვლება:

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \qquad (2.11.15)$$

ცვლადი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ისეთი მუდმივი ძაბვის ტოლია, რომელიც გამტარში იმავე სითბოს რაოდენობის გამოყოფას იწვევს, რასაც მოცემული ცვლადი ძაბვა იმავე დროში (აღნიშნული დროის შუალედი პერიოდის ჯერადია).

ცვლადი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ასე გამოითვლება:

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \qquad (2.11.16)$$

რა არის დენის ძალის (ძაბვის) მოქმედი მნიშვნელობის ფიზიკური აზრი? ყოველთვის შეიძლება შევარჩიოთ მუდმივი დენის ძალის (ძაბვის) ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც R წინაღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, ცვლადი დენის წრედში იმავე დროში იმავე წინაღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ტოლი იქნება. ამისათვის საჭიროა მუდმივი დენის ძალა (ძაბვა) ცვლადი დენის ძალის (ძაბვის) მოქმედი მნიშვნელობის ტოლი იყოს.

ომის კანონი ცვლადი დენის წრედისთვის

თუ ცვლადი დენის წრედში მიმდევრობითაა ჩართული აქტიური (R), ტევადობითი (X_C) და ინდუქციური (X_L) წინაღობები (სურ. 2.11.13), მაშინ **ცვლადი დენის წრედის სრული ელექტრული წინაღობა** (ე.წ. **ელექტრული იმპედანსი**) გამოითვლება ფორმულით (გამოყვანის გარეშე):

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} \qquad (2.11.30)$$

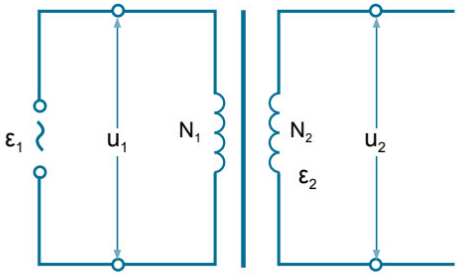
ომის კანონი ცვლადი დენის წრედისთვის ასეთ სახეს მიიღებს:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}} \qquad (2.11.32)$$

(I და U, შესაბამისად, დენის ძალისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობებია)

2.12. ტრანსფორმატორი

ტრანსფორმატორი, მოწყობილობაა, რომლის დახმარებითაც შესაძლებელია ცვლადი ძაბვის ამაღლება და დადაბლება ისე, რომ ცვლადი დენის სიხშირე უცვლელი დარჩეს. ტრანსფორმატორის მოქმედება ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენას ეფუძნება.



სურ. 2.12.3

უმარტივესი ტრანსფორმატორი, რომლის გამარტივებული სქემა 2.12.3 სურათზეა გამოსახული, შედგება:

1. ჩარჩოს ფორმის გულარისაგან, რომელსაც დიდი მაგნიტური შეღწევადობის ფერომაგნიტური მასალისგან (ტრანსფორმატორის ფოლადისგან) ამზადებენ;

2. გამტარი ხვიების ორი გრაგნილისგან (კოჭასგან), რომლებიც გულარზეა ჩამოცმული.

Don't copy

ერთ-ერთ გრაგნილს ცვლადი დენის გენერატორის გამოსასვლელებს უერთებენ – მას **პირველადი გრაგნილი** (1) ჰქვია. მეორე გრაგნილის ბოლოებს კი – „დატვირთვასთან“ (ელექტროენერგიის მომხმარებელთან) აერთებენ – მას **მეორადი გრაგნილი** (2) ჰქვია (ტრანსფორმატორში შეიძლება რამდენიმე მეორადი გრაგნილი იყოს).

ვთქვათ, პირველად გრაგნილში ხვიათა რიცხვია N_1, მეორადში კი – N_2.

ტრანსფორმატორის უქმი სვლა

ვამბობთ, რომ ტრანსფორმატორის მუშაობს **უქმი სვლის** რეჟიმში, თუ **მეორადი კოჭა დატვირთვასთან მიერთებული არ არის**, განრთულია. პირველადი გრაგნილის ბოლოები ცვლადი დენის გენერატორთანაა მიერთებული, რომლის გამოსასვლელზე ცვლადი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობაა u_1 (სურ. 2.12.3).

ძაბვა პირველი გრაგნილის ბოლოებს შორის დროის ნებისმიერ მომენტში, დაახლოებით, გრაგნილში აღძრული ინდუქციის ემძ-ს ტოლია:

$$|u_1| \approx |\varepsilon_1| \qquad (2.12.5)$$

თუ ძაბვის მყისი მნიშვნელობების ნაცვლად მათ მოქმედ მნიშვნელობებს გამოვიყენებთ, მივიღებთ, რომ

მეორადი გრაგნილის ბოლოებს შორის ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ასე გამოითვლება:

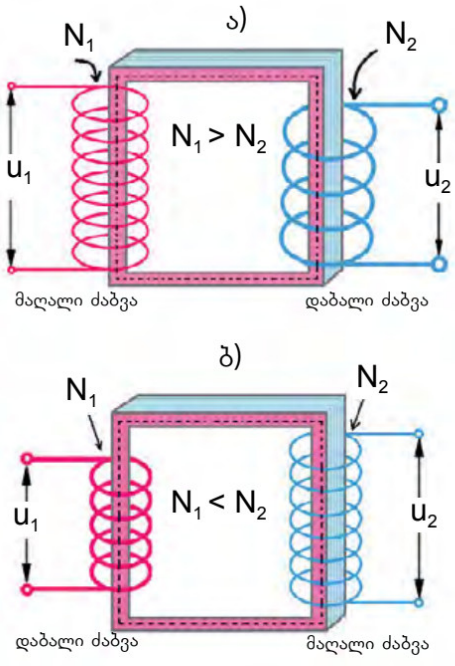
$$U_2 = U_1 \frac{N_2}{N_1} \qquad (2.12.8)$$

$K = \frac{N_1}{N_2}$, **K-ს ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს** უწოდებენ. K აღნიშვნის გათვალისწინებით, მივიღებთ, რომ **მეორადი გრაგნილის ბოლოებს შორის ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ასე გამოითვლება:**

$$U_2 = \frac{U_1}{K} \qquad (2.12.9)$$

თუ $K = \frac{N_1}{N_2} > 1$ (ხვიათა რიცხვი პირველ გრაგნილში მეტია, ვიდრე მეორე გრაგნილში), მაშინ $U_1 > U_2$. ასეთი ტრანსფორმატორი **დამადაბლებელია** (მისი საშუალებით ძაბვის დადაბლება ხდება) (სურ. 2.12.14,ა).

თუ $K = \frac{N_1}{N_2} < 1$ (ხვიათა რიცხვი პირველ გრაგნილში ნაკლებია, ვიდრე მეორე გრაგნილში), მაშინ $U_1 > U_2$. ასეთი ტრანსფორმატორი **ამამაღლებელია** (მისი საშუალებით ძაბვის ამაღლება ხდება) (სურ. 2.12.14,ბ).



სურ. 2.12.4

ტრანსფორმატორი დატვირთვის რეჟიმში

თუ ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის წრედში ელექტრომომხმარებელია ჩართული, ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ **ტრანსფორმატორი დატვირთულია, დატვირთვის რეჟიმში მუშაობს**.

დატვირთვის რეჟიმში **რამდენჯერაც ამაღლდება ძაბვა ტრანსფორმატორით, იმდენჯერ შემცირდება დენის ძალა** (და – პირიქით):

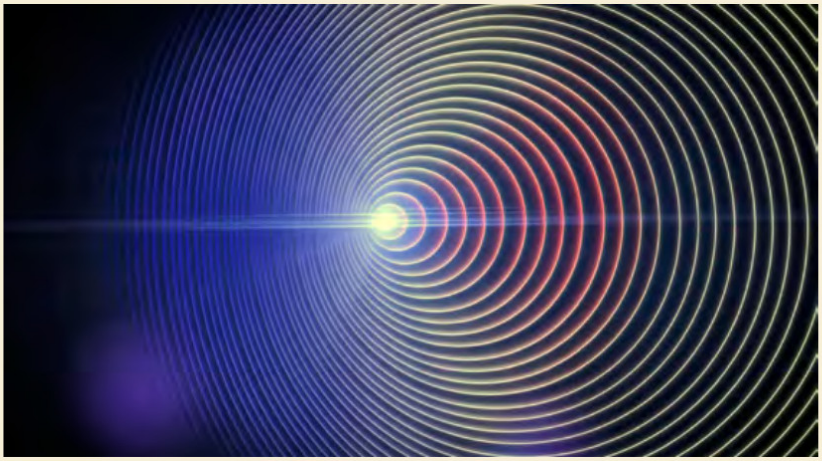
$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{U_2}{U_1} \qquad (2.12.11)$$

Don't copy

თემა III

გეომეტრიული ოპტიკა

„წითელი წანაცვლება“



სურ. 1

ამბობენ, ამერიკელი ფიზიკოსი და გამომგონებელი **რობერტ უილიამს ვუდი** (1868 –1955), რომელმაც მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა სინათლის ბუნების კვლევასა და ოპტიკის განვითარებაში, ერთხელ მოძრაობის წესების დარღვევისთვის, საგზაო პოლიციამ გააჩერა. ავტომობილით სწრაფად მიმავალი ვუდი შუქნიშნის წითელ სიგნალს არ დაემორჩილა და გზა განაგრძო. პოლიციელმა ურჩი მძღოლი მაინც გააჩერა და ჯარიმის გამოწერა დააპირა.

ვუდმა უხერხული მდგომარეობიდან გამოსვლა სცადა:

„... მომიტევეთ სერ, მაგრამ ჩემი ბრალი არ არის, – მიმართა მან პოლიციელს – მოძრაობისას შუქნიშნის წითელი სიგნალი მწვანედ აღვიქვი და ამაში მე დამნაშავე არ ვარ. ეს დოპლერის ეფექტია...“

იმასაც ამბობენ, რომ ვუდმა სცადა, კიდევ უფრო დაწვრილებით აეხსნა დოპლერის ეფექტის „დანაშაული“, მაგრამ აღმოჩნდა, რომ პოლიციელიც საკმაოდ კარგად ერკვეოდა ფიზიკაში და რობერტ ვუდს ჯარიმა **სიჩქარის გადაჭარბებისთვის გამოუწერა.**

რამდენად შეესაბამება ეს ამბავი სიმართლეს, არავინ იცის, მაგრამ **დოპლერის ეფექტის გავლენა სინათლის ფერზე, სინამდვილეა,** ოღონდ ერთი შესწორებით – ავტომობილი, რომლის მძღოლს შეიძლება წითელი ფერი მწვანედ მოეჩვენოს, სულ მცირე, 37 500 კმ/წმ სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს.

სხვათა შორის, ეს ფაქტი არც დოპლერმა გაითვალისწინა, როცა 1842 წელს ბგერითი ტალღის სიხშირის ცვლილება შეამჩნია და აღმოჩენით აღფრთოვანებულმა დაუფიქრებლად განაცხადა:

– რადგან ბგერის სიხშირე იცვლება, როცა ბგერის წყარო და მიმღები ერთმანეთის მიმართ მოძრაობს, ცხადია, ელექტრომაგნიტური ტალღების სიხშირეც შეიცვლება, თუ ტალღების წყარო და დამკვირვებელი ერთმანეთის მიმართ მოძრაობს. სწორედ ამაში იმალება საიდუმლო, თუ რატომ ანათებენ ვარსკვლავები სხვადასხვაფრად. ყველა მათგანის გამოსხივებული სინათლე თეთრი ფერისაა და მხოლოდ იმიტომ, რომ ისინი ჩვენ მიმართ სწრაფად მოძრაობენ, მათ სინათლეს სხვადასხვაფრად აღვიქ-

Don't copy

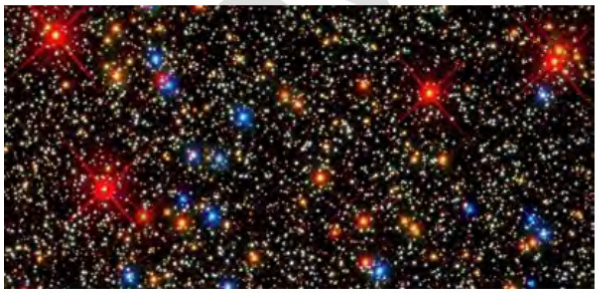
ვამთ: იმ ვარსკვლავების სინათლის ტალღის სიგრძე, რომლებიც გვიახლოვდება, მოკლდება (სიხშირე იზრდება) და მათ სინათლეს მწვანე, ლურჯად და იისფრად აღვიქვამთ, იმ ვარსკვლავების სინათლე კი, რომლებიც გვშორდება, წითლად გვეჩვენება.

დოპლერის ეს მოსაზრება სიმართლეს არ შეესაბამება. იმისათვის, რომ ადამიანის თვალმა ვარსკვლავის შეფერილობის ცვლილება (რომელიც ვარსკვლავის მოძრაობის შედეგადაა გამოწვეული) აღიქვას, ვარსკვლავი ჩვენ მიმართ უზარმაზარი სიჩქარით (დაახლოებით, ათეულ ათასობით კმ/წმ-ში) უნდა მოძრაობდეს, თუმცა საკმარისი არც ეს არ არის.

საქმე იმაშია, რომ ვარსკვლავის მოახლოებისას, თუ, მაგ., მწვანე სინათლე ცისფრად, ცისფერი იისფრად გარდაიქმნება, ეს იმას ნიშნავს, რომ ხილული სინათლის მთელი სპექტრი იისფერი ბოლოსკენ წაინაცვლებს: იისფერი ულტრაიისფერის ადგილს დაიკავებს, ინფრაწითელი – წითლისას და ა.შ. ყველა ეს „ფერი“ სპექტრში ისევ დარჩება და მიუხედავად, „საყოველთაო“ გადანაცვლებისა, თვალი ვარსკვლავის სინათლეში ცვლილებას ვერ დაინახავს, მას მაინც თეთრი ფერის სინათლედ აღიქვამს.

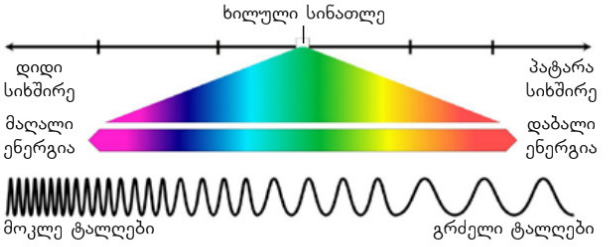
ადამიანის თვალით დანახული ვარსკვლავის ფერი (სურ. 2) ვარსკვლავის ტემპერატურითაა განპირობებული და დოპლერის ეფექტს არ უკავშირდება.

სულ სხვა საქმეა, თუ მოძრავი ვარსკვლავის მიერ გამოსხივებული სინათლის **სპექტრალურ ანალიზს** ჩაატარებ. **სპექტროსკოპს** შეუძლია სინათლის „ფერის“ სულ ოდნავი ცვლილებაც კი აღრიცხოს მოძრავი ვარსკვლავის გამოსხივების სპექტრში. დაადგინოს, უფრო „გაწითლდა“ (სპექტრის წითელი ბოლოსკენ წანაცვლდა) თუ უფრო იისფერი გახდა (სპექტრის იისფერი ბოლოსკენ წანაცვლდა) ვარსკვლავის გამოსხივება.



სურ. 2

„ფერის“ ცვლილება გამოსხივების სიხშირის (ტალღის სიგრძის) ცვლილებას უკავშირდება. სიხშირის (ტალღის სიგრძის) მიხედვით, შესაძლებელია იმ სიჩქარის გაზომვა, რა სიჩქარითაც ვარსკვლავი გვშორდება (ან გვიახლოვდება). სიჩქარის ცოდნა კი მეცნიერებს საშუალებას აძლევს, ვარსკვლავებამდე მანძილები გამოთვალონ.



სურ. 3

წითელი წანაცვლება – ასე ჰქვია მოვლენას, როცა ელექტრომაგნიტური ტალღის (სინათლის) სიგრძე იზრდება და, შესაბამისად, მისი სიხშირე მცირდება.

გაიხსენე: ხილული სინათლის სპექტრში წითელი ბოლოსკენ ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირე მცირდება და, შესაბამისად, ტალღის სიგრძე იზრდება (სურ.3).

წითელი წანაცვლების საპირისპირო მოვლენა **იისფერი წანაცვლებაა**: ელექტრომაგნიტური ტალღის (სინათლის) სიგრძე მცირდება და, შესაბამისად, მისი სიხშირე იზრდება.

რა არის **წითელი** და **იისფერი** წანაცვლების გამომწვევი მიზეზი? მეცნიერებაში **წითელი** და **იისფერი** წანაცვლების გამომწვევი სამი მიზეზია ცნობილი და ამ მიზეზებს სახელები შინაარსის შესაბამისად ჰქვია:

1. **დოპლერის წითელი წანაცვლება;**
2. **კოსმოლოგიური წითელი წანაცვლება;**
3. **გრავიტაციული წითელი წანაცვლება.**

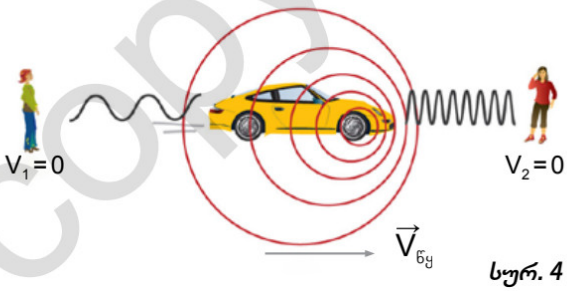
დოპლერის წითელი წანაცვლება

არცთუ ისე იშვიათად ხდება, რომ აღმოჩენა ერთსა და იმავე მეცნიერების (მაგ., ფიზიკის) სხვადასხვა დარგში (მექანიკაში, ელექტრომაგნეტიზმში, ოპტიკაში და ა.შ.), მეტიც, სხვადასხვა სამეცნიერო სფეროში (ფიზიკაში, მათემატიკაში, ასტრონომიაში, ბიოლოგიაში, ქიმიაში და ა.შ.), სრულიად მოულოდნელად, განსხვავებული დარგისა თუ სფეროს წარმომადგენლებს ახალი, მათთვის გაუგებარი მოვლენის ახსნაში ეხმარება. ასე მოხდა ამჯერადაც...

სანამ უშუალოდ მოვლენას განვიხილავთ, კიდევ ერთხელ დავაზუსტოთ: როცა საუბარია ვარსკვლავის ფერზე, ეს სპექტრალური ანალიზის შედეგად დგინდება და არა ადამიანის თვალით. ზოგჯერ შეიძლება მეტაფორულად გამოვიყენოთ კიდეც **ადამიანი – დამკვირვებელი**, მაგრამ ვგულისხმობთ მხოლოდ **სპექტროსკოპის მიერ აღქმულ სინათლეს**.

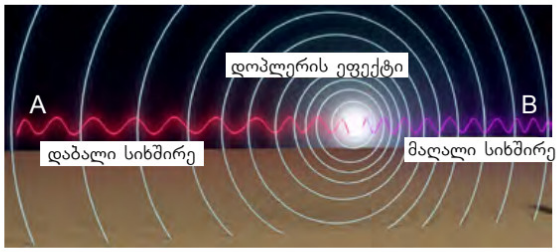
ვარსკვლავები (მათ შორის ჩვენი მზეც) სინათლეს უწყვეტ სპექტრში, იისფერიდან წითელი სინათლის ჩათვლით, გამოასხივებს, თუმცა აღმოჩნდა, რომ **რაც უფრო შორსაა ვარსკვლავი, მით უფრო „წითელია“ მისი სინათლე,** მით უფრო წანაცვლებულია სპექტრის წითელი ბოლოსკენ; **რაც უფრო ახლოსაა, მისი სინათლე – უფრო „იისფერია“ .**

გაიხსენე (სურ. 4): გზის პირას მდგომს გეჩვენება, რომ იმ მანქანის სიგნალი, რომელიც თანდათან გიახლოვდება, სხვადასხვა ტონალობისაა: რაც უფრო შორსაა მანქანა, მის სიგნალს უფრო დაბალი სიხშირის ბგერად აღიქვამ და მანქანის მოახლოებასთან ერთად შენ მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე იზრდება.



სურ. 4

სწორედ დოპლერის ეფექტი დაეხმარა ასტროფიზიკოსებს **წითელი წანაცვლების** მოვლენის ახსნაში – ეფექტი, რომელიც თავად დოპლერმა ერთ ჩვეულებრივ დღეს თევზაობისას აღმოაჩინა, როცა წყლის ზედაპირზე ტალღების გავრცელებას აკვირდებოდა.



სურ. 5

წარმოიდგინე (სურ. 5): შენ უძრავი დამკვირვებელი ხარ და A წერტილში იმყოფები. ვარსკვლავი გშორდება. დოპლერის ეფექტის თანახმად, შენ მიერ (სპექტრალური ანალიზით!) აღქმული ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირე იკლებს (სიგრძე იზრდება). ვარსკვლავის სინათლეს ასეთ შემთხვევაში, თანდათან უფრო „წითლად “ აღიქვამ.

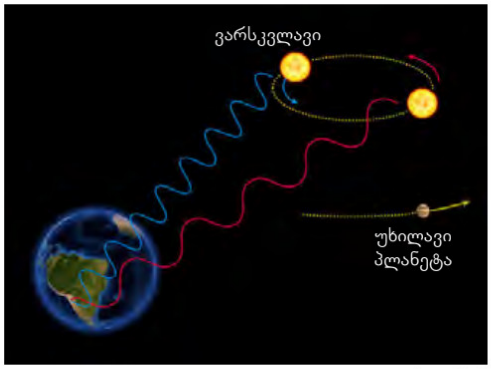
B წერტილში მყოფი დამკვირვებელი კი იმავე ვარსკვლავის სინათლეს უფრო „იისფრად“ აღიქვამს: მას უახლოვდება ვარსკვლავი და მის მიერ აღქმული ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირე იმატებს (სიგრძე იკლებს).

ნახე ანიმაცია: http://bitly.ws/AieB

ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძის გაზრდას (შემცირებას), როცა ვარსკვლავი გვშორდება (გვიახლოვდება), **დოპლერის წითელი (იისფერი) წანაცვლება** ჰქვია. **დოპლერის წანაცვლების მიზეზი დამკვირვებლის მიმართ კოსმოსური ობიექტების მოძრაობაა.**

მაგ., ანდრომედას გალაქტიკა დედამიწას 310 კმ/წმ სიჩქარით უახლოვდება. მისგან გამოსხივებული სინათლე სპექტრის იისფერი ბოლოსკენაა წანაცვლებული (მოკლე ტალღოვანია და მაღალი სიხშირის, ანუ მეტი ენერგია გადააქვს). **ეს დოპლერის იისფერი წანაცვლებაა.**

Don't copy



სურ. 6

ასტრონომების ყურადღების ქვეშ მოექცა ჩვენი გალაქტიკის (ირმის ნახტომის) ერთ-ერთი ვარსკვლავი. სპექტრალური ანალიზით დადგინდა, რომ ვარსკვლავის სინათლე ზოგჯერ წითლისკენაა წანაცვლებული, ზოგჯერ კი – იისფრისკენ. ანუ, ვარსკვლავი პერიოდულად გვშორდება და გვიახლოვდება (ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ „ვარსკვლავი ირხევა“) (სურ. 6). ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ვარსკვლავის ახლოს უხილავი კოსმოსური ობიექტია (პლანეტაა), რომელიც ვარსკვლავთან ურთიერთქმედებს, მაგრამ ასტრონომების დაკვირვების არეში არ ჩანს. სწორედ დოპლერის წანაცვლების მიხედვით განსაზღვრეს ასტრონომებმა უხილავი პლანეტის მასა და მისი დაშორება ვარსკვლავიდან.

კოსმოლოგიური წითელი წანაცვლება

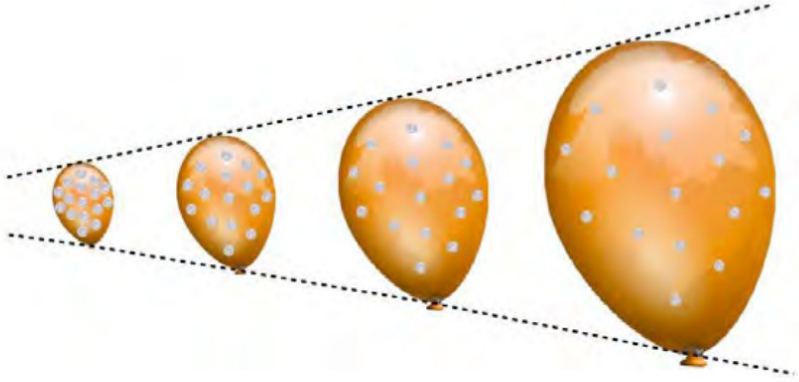
1912 წელს, ლოუელის ობსერვატორიის ასტრონომებმა აღმოაჩინეს, რომ თითქმის ყველა ხილული გალაქტიკის სინათლე სპექტრის წითელი ბოლოსკენაა წანაცვლებული, რაც იმას ნიშნავს, რომ გალაქტიკების უმრავლესობა ჩვენგან „გარბის“... (გამონაკლისი იყო მაგ., ანდრომედას გალაქტიკა, რომელიც გვიახლოვდება). ასტრონომებმა გამაოგნებელი განცხადება გააკეთეს: **სამყარო ფართოვდება!**

1929 წელს ამერიკელმა ასტრონომმა **ედვინ ჰაბლმა** გალაქტიკების წითელი წანაცვლება შეაფასა და აღმოაჩინა, რომ **რაც უფრო შორსაა გალაქტიკა, მით სწრაფად გვშორდება**. ამ დამოკიდებულებას **ჰაბლის კანონი** ჰქვია.

ჰაბლის კანონის თანახმად, თუ გვეცოდინება წითელი წანაცვლების სიდიდე, შევძლებთ გამოვთვალოთ მანძილი ყველაზე შორეულ და, შესაბამისად, ყველაზე ხანდაზმულ გალაქტიკებამდე. შედეგად კი, სამყაროს თეორიული ასაკი გვეცოდინება. სწორედ ამიტომ, **წითელ წანაცვლებას, რომელიც სამყაროს გაფართოების შედეგია, კოსმოლოგიურ წითელ წანაცვლებას უწოდებენ** (კოსმოლოგია მეცნიერებაა სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების შესახებ).

გაითვალისწინე: დოპლერის წანაცვლების დროს ციური ობიექტები ერთმანეთის მიმართ მოძრაობს. კოსმოლოგიური წითელი წანაცვლების დროს კი ისინი არ მოძრაობენ, **ერთმანეთს შორდებიან, რადგან სამყარო ფართოვდება**.

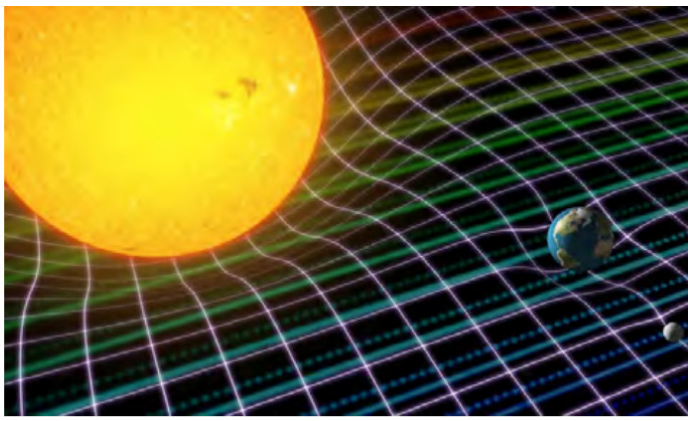
წარმოიდგინე: საჰაერო ბუშტი, რომელზედაც მონეტებია (გალაქტიკებია) მიმაგრებული. ბუშტი თუ მოცულობაში გაიზრდება, თითოეულ მონეტაზე მყოფი დამკვირვებელი დაინახავს, რომ დანარჩენი მონეტები (გალაქტიკები) მას დაშორდება (სურ. 7), მაგრამ არა იმიტომ, რომ მონეტები მოძრაობს, არამედ იმიტომ რომ „ქსოვილი“, რომელზედაც მონეტებია დამაგრებული, გაიწელა, გაფართოვდა. ასეა სამყაროშიც.



სურ. 7

Don't copy

გრავიტაციული წითელი წანაცვლება



სურ. 8

წარმოიდგინე: ღრმა ორმოში ხარ. იმისათვის, რომ ორმოდან ამოხვიდე, შენ ენერგია უნდა დახარჯო. ორმოში ჩავარდნისას კი ენერგიას არ ხარჯავ, პირიქით – შეიძენ ვარდნისას.

თუ სინათლე მასიური კოსმოსული ობიექტის ძლიერ გრავიტაციულ ველს ტოვებს („ორმოდან“ ამოდის) და უფრო სუსტი ველისკენ ვრცელდება, მაშინ მისი ენერგია შემცირდება (სიხშირე შემცირდება, ტალღის სიგრძე გაიზრდება) (სურ.8).

შედარებით სუსტ გრავიტაციულ ველში მყოფი „დამკვირვებელი“ ასეთ დროს სინათლეს უფრო „წითლად“ აღიქვამს. ეს **გრავიტაციული წითელი წანაცვლებაა.**

თუ სინათლე სუსტი გრავიტაციული ველიდან ძლიერისკენ ვრცელდება („ორმოში“ ვარდება), მაშინ მისი ენერგია იმატებს (იმატებს სიხშირე, იკლებს ტალღის სიგრძე). უფრო ძლიერ გრავიტაციულ ველში მყოფი „დამკვირვებელი“ კი ასეთ დროს სინათლეს უფრო „იისფრად“ აღიქვამს (სინათლის ფერი სპექტრის იისფერი ბოლოსკენ იქნება წანაცვლებული). ეს **გრავიტაციული იისფერი წანაცვლებაა**

გრავიტაციული ველის სინათლეზე გავლენა 1911 წელს ალბერტ აინშტაინმა აღწერა თავის სტატიაში, თუმცა ამ მოვლენის შესაძლებლობას მანამდეც არაერთი მეცნიერი განიხილავდა (გრავიტაციული ველი არა მარტო ხილულ სინათლეზე, არამედ გამოსხივების სხვა ფორმებზეც მოქმედებს).

აინშატინის მიერ ნავარაუდევი გრავიტაციული ველის ზემოქმედება სინათლეზე 2020 წელს აღმოაჩინა კანარის კუნძულების ასტროფიზიკის ინსტიტუტის მეცნიერთა საერთაშორისო ჯგუფმა: მთვარის ზედაპირიდან არეკლილი მზის სინათლის სპექტრალურმა ანალიზმა გრავიტაციული წითელი წანაცვლება დაადასტურა...

გრავიტაციული წითელი წანაცვლების მიხედვით ასტრონომები იკვლევენ **თეთრი ჯუჯების** სტრუქტურას (თეთრი ჯუჯები ისეთი ვარსკვლავებია, რომლებმაც თავიანთი ენერგიის მარაგი ამოწურეს, ანათებენ სითბური ენერგიის ხარჯზე. მასით ჩვენს მზეს უტოლდებიან, მაგრამ მათი რადიუსი, დაახლოებით, 100-ჯერ ნაკლებია მზის რადიუსზე), შავი ხვრელების გრავიტაციას და ა.შ.



სურ. 9

„ჩანდრა“ ნასას რენტგენის ობსერვატორიაა, რომელიც დედამიწის გარშემო ორბიტაზე მოძრაობს და შორეული კოსმოსური ობიექტების გამოსხივებას იკვლევს (სურ. 9). მისი დახმარებით ასტრონომებმა ჩვენგან 29 000 სინათლის წელიწადის მანძილზე (სინათლის წელიწადი მანძილია, რომელსაც სინათლე წელიწადის განმავლობაში გადის) ორი, ერთმანეთის ირგვლივ მბრუნავი, ვარსკვლავი შეამჩნიეს და მათ სინათლეში გრავიტაციული წითელი წანაცვლება აღმოაჩინეს. რატომაა დედამიწელებისთვის საინტერესო ეს შორეული ვარსკვლავები? აღმოჩნდა, რომ მათი გრავიტაციული წითელი წანაცვლება GPS-ის მუშაობაზე საგრძნობ გავლენას ახდენს.

Don't copy

3.1 შესავალი: სინათლე – ელექტრომაგნიტური ტალღა

3.1.1. წარმოდგენები სინათლის ბუნების შესახებ

შენ იცი, რომ გარემომცველი სამყაროს შესახებ ინფორმაციას ადამიანი გრძნობათა ორგანოებით აღიქვამს და, თუ გაითვალისწინებ, რომ ამ ინფორმაციის 90%-ს ის მხედველობითი აღქმის შედეგად იღებს, მაშინ, ალბათ, გასაგებია, რატომ უჭირავს ფიზიკის ისტორიაში ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ადგილი სინათლის ბუნების კვლევას – **სხეულებს ხომ მათგან არეკლილი სინათლის მეშვეობით ვხედავთ.**

სინათლის ბუნების კვლევას ჯერ კიდევ ძველი ბერძენი ფილოსოფოსები (არისტოტელე, პითაგორა, ევკლიდე, ემპედოკლე) ცდილობდნენ და თითქმის ყველა იზიარებდა აზრს, რომ სინათლე თვალში წარმოიქმნება და თვალიდან საცეცების მსგავსად გამოსული, გარემოში წრფივად ვრცელდება. როცა სხივი რაიმე სხეულს ხვდება, თვალი შეიგრძნობს – დაინახავს მას ისევე, როგორც შეხებით შევიგრძნობთ სხეულებს.



სურ. 3.1.1.

სინათლის ბუნების მეცნიერული, ექსპერიმენტის შედეგებზე დაფუძნებული კვლევები კი მხოლოდ XVII საუკუნეში იწყება, როცა თითქმის ერთდროულად წარმოიქმნა და პარალელურად ვითარდებოდა ორი მეცნიერული თეორია. ერთი მათგანი ნიუტონის სახელთანაა დაკავშირებული, მეორე კი – ჰიუგენსთან.

ნიუტონის თეორიის მიხედვით, სინათლე უმცირესი ნაწილაკების – კორპუსკულების ნაკადია, რომელიც წყაროდან ყველა მიმართულებით წრფივად ვრცელდება (სურ.3.1.1).

ინერციის კანონის (ნიუტონის I კანონის) დადგენის შემდეგ ნიუტონი სინათლის წრფივ გავრცელებას განიხილავდა, როგორც კორპუსკულების ინერციით მოძრაობას.

ნიუტონის კორპუსკულური თეორია იმ დროისათვის ცნობილ ბევრ ექსპერიმენტულ ფაქტს ხსნიდა. მაგ., სინათლის არეკვლა, ნიუტონის თეორიის მიხედვით, განიხილებოდა, როგორც დრეკადი ბურთულის არეკვლა დაბრკოლებიდან.

თუმცა იყო მოვლენები, რომლებსაც ნიუტონი სინათლის კორპუსკულური ბუნებით ვერ ხსნიდა, მაგ., სინათლის ორი კონა გადაკვეთისას ერთმანეთზე არ მოქმედებდა, არადა თუ სინათლე კორპუსკულების ნაკადია, მაშინ სინათლის ნაწილაკები ერთმანეთს უნდა ეჯახებოდეს და განიბნეოდეს.

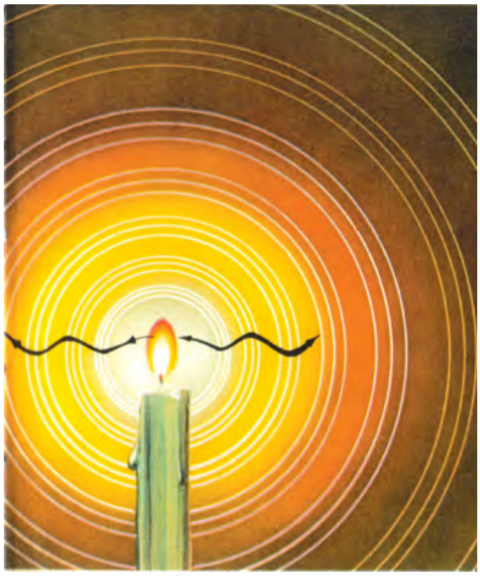
ნიუტონის თანამედროვემ, ჰოლანდიელმა ასტრონომმა და ფიზიკოსმა **კრისტიან ჰიუგენსმა** კორპუსკულური თეორიის პარალელურად წარმოადგინა **სინათლის ტალღური თეორია**. მისი თეორიის თანახმად, სინათლე სფერული ტალღაა, რომელსაც სინათლის წყარო ასხივებს (სურ. 3.1.2) და ყველა მიმართულებით წრფივად ვრცელდება.

იმ დროს წარმოუდგენლად ეჩვენებოდათ ისეთი ტალღის არსებობა, რომელიც რაიმე გარემოში (იქ სადაც ნივთიერებაა) არ ვრცელდება, ამიტომ ჰიუგენსმა დაუშვა, რომ არსებობს ნივთიერება – **მსოფლიო ეთერი,** რომელიც სამყაროს მთლიანად ავსებს, ყველა სხეულში აღწევს და სინათლის ტალღაც ამ ეთერში ვრცელდება.

უკვე XIX საუკუნის დასაწყისში, სინათლის ტალღური თეორია **იუნგისა** და **ფრენელის** ძალზე საინტერესო ექსპერიმენტული კვლევებით შეივსო და ტალღური თეო-

Don't copy

რიის სასარგებლოდ უამრავი ახალი არგუმენტი გაჩნდა. ასე რომ, ამ დროისათვის ფიზიკაში უპირატესობა სინათლის ტალღურ თეორიას ენიჭებოდა, მაგრამ მომხრეები ჰყავდა კორპუსკულურ თეორიასაც და საკითხი სინათლის ბუნების შესახებ კვლავ გადაუჭრელი რჩებოდა.



სურ. 3.1.2.

3.1.2. კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმი

XIX საუკუნის მეორე ნახევარში მაქსველმა სინათლის ელექტრომაგნიტურ თეორიას ჩაუყარა საფუძველი, რომლის თანახმადაც, **სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღაა,** ხოლო ჰერცის მიერ ელექტრომაგნიტური ტალღების ექსპერიმენტული აღმოჩენის შემდეგ ეჭვიც არ დარჩა იმის შესახებ, რომ სინათლეს ტალღური ბუნება აქვს. ის ფაქტი, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღა ვაკუუმში სინათლის სიჩქარით, 300 000 კმ/წმ-ში, ვრცელდება, სინათლის ტალღური ბუნების შესახებ მაქსველის წინასწარმეტყველებას ამტკიცებდა.

XX საუკუნის დასაწყისში კი სინათლის ბუნების შესახებ წარმოდგენები ძირფესვიანად შეიცვალა. მოულოდნელად აღმოჩნდა, რომ უარყოფილი კორპუსკულური თეორია ისევე შეესაბამება სინამდვილეს, როგორც – ტალღური.

სინათლის ბუნებაზე წარმოდგენების განვითარებაში მნიშვნელოვანი ნაბიჯი 1887 წელს გადაიდგა, როცა ჰერცმა აღმოაჩინა მოვლენა, რომლის დროსაც სინათლის მოქმედებით ნივთიერებიდან ელექტრონების „ამოგლეჯა“ ხდება. ამ მოვლენას **ფოტოელექტრული ეფექტი** (ან უბრალოდ **ფოტოეფექტი**) ეწოდა.

თეორიულად ფოტოეფექტის მოვლენა 1905 წელს XX საუკუნის ერთ-ერთმა უდიდესმა მეცნიერმა ალბერტ აინშტაინმა ახსნა. აინშტაინი იყო პირველი, ვისთვისაც ცხადი გახდა, რომ ფოტოეფექტის ახსნა მხოლოდ **კვანტური თეორიის** პოზიციიდან იყო შესაძლებელი.

აინშტაინის თეორია ეყრდობოდა მაქს პლანკის მიერ 1900 წელს გამოთქმულ ჰიპოთეზას, რომლის თანახმადაც, გახურებული სხეულის ატომები **ელექტრომაგნიტურ ენერგიას ასხივებენ არა უწყვეტად** (როგორც ამას მაქსველის თეორია ამტკიცებდა), **არამედ – ცალკეული ულუფებით.** ენერგიის ამ ულუფებს პლანკმა **კვანტები** (ლათ. „რაოდენობა“) უწოდა. მისი ჰიპოთეზის თანახმად, თითოეული ასეთი ულუფის, **კვანტის, ენერგია გამოსხივების სიხშირის პირდაპირპროპორციულია:**

$$e = h\nu \qquad (3.1.1)$$

პროპორციულობის h კოეფიციენტს შემდგომში **პლანკის მუდმივა** უწოდეს:

$$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{ჯ} \cdot \text{წმ}.$$

აინშტაინი თანდათან რწმუნდებოდა, რომ სინათლის კვანტები ძალიან მსგავსია იმისა, რასაც სინათლის **კორპუსკულას** (ნაწილაკს) უწოდებდნენ. მან სინათლის კვანტებს **ფოტონი** უწოდა. ფოტოეფექტის ექსპერიმენტულად დადგენილ კანონებში მეცნიერმა იმის დამაჯერებელი დადასტურება დაინახა, რომ **სინათლე გამოსხივებისას და შთანთქმისას სწორედ ისე იქცევა, როგორც კორპუსკულების ნაკადი.** ეს მოულოდნელი შემობრუნება იყო ნიუტონის კორპუსკულური თეორიის სასარგებლოდ, რადგან სინათლის ტალღური ბუნება ექსპერიმენტულად დადასტურებული იყო და მეცნიერებში ეჭვს აღარ იწვევდა. აინშტაინის კვანტური თეორიის თანახმად, **სინათლეს წყვეტილი სტრუქტურა აქვს. ის**

Don't copy

არა მარტო გამოსხივდება ცალკეული ულუფების (ფოტონების) სახით, არამედ ვრცელდება და შთაინთქმება კიდეც ცალკეულ ულუფებად. ამასთან, **შთანთქმა შესაძლებელია მხოლოდ მთელი ფოტონის,** რომლის ენერგია 3.1.1 ფორმულით განისაზღვრება.

რა არის სინათლე? ტალღაა თუ ნაწილაკების ნაკადი? თანამედროვე ფიზიკა ამ კითხვაზე ასე პასუხობს: **სინათლე ფოტონების ნაკადია, ხოლო ფოტონი – ელექტრომაგნიტური გამოსხივების კვანტია, რომელსაც ერთდროულად აქვს როგორც ტალღური, ისე კორპუსკულური თვისებები.**

ფოტონების კიდევ უფრო თვალსაჩინოდ წარმოდგენა შეუძლებელია, რადგან ჩვენი ყოველდღიური გამოცდილება და თუნდაც ძალიან მდიდარი წარმოსახვა მაკროსკოპული სხეულების აღქმაზეა დაფუძნებული, რომელთა შორის ფოტონების ანალოგი არ მოიძებნება.

ფოტონი განსაკუთრებული ნაწილაკია. ფოტონს არ აქვს მუხტი, არ აქვს **მასა** და ვაკუუმში მისი მოძრაობის სიჩქარეა 300 000 კმ/წმ. აქვს ენერგია ($e = hv = h\frac{c}{\lambda}$) და იმპულსი ($p = \frac{h}{\lambda}$), რომლებიც ჩვეულებრივი მატერიალური ნაწილაკისგან განსხვავებით, ტალღური მახასიათებლებით, **სიხშირით** ან **ტალღის სიგრძით** განისაზღვრება.

ის ფაქტი, რომ ფოტონებს ერთდროულად ტალღისა და კორპუსკულების თვისებები ახასიათებს, ნიშნავს, რომ სინათლეს ორმაგი ბუნება აქვს, ანუ, როგორც ამბობენ, მას **კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმი** ახსიათებს.

სინათლის გავრცელებისას მისი ტალღური ბუნება იჩენს თავს (სწორედ ამის დამადასტურებელია სინათლის არეკვლა, გარდატეხა, დიფრაქცია, წითელი წანაცვლება), ხოლო გამოსხივებისას და შთანთქმისას – კორპუსკულური (რასაც ადასტურებს ფოტოეფექტის მოვლენა, რომელსაც მომავალ წელს გაცნობი).

3.1.3. სინათლის სიჩქარე

გალილეის ცდა

„ჩვენი თვალიდან გამოსული მხედველობის სხივები უსასრულო სიჩქარით მოძრაობს. ეს რომ ნამდვილად ასეა, ადვილად მიხვდები. თუ თვალებს ჯერ დახუჭავ, ხოლო შემდეგ გაახელ და ცას შეხედავ, სულ მცირე დროც კი არ გჭირდება იმისათვის, რომ მხედველობის სხივებმა ცას მიაღწიოს და ცა ისევ დაინახო. ვარსკვლავებსაც ხომ მაშინვე ვხედავთ, როგორც კი ზევით ავიხედავთ, არადა, მანძილი იქამდე უსასრულოა...“ – ამას ჰერონ ალექსანდრიელი I საუკუნეში წერდა.

ადამიანები თანდათან მიხვდნენ, რომ არავითარი მხედველობის სხივები არ არსებობს და იმიტომ კი არ ვხედავთ, რომ ჩვენი თვალებიდან მხედველობის სხივები გამოდის, არამედ, პირიქით, **სხეულთა ზედაპირიდან არეკლილი სინათლე თვალში ხვდება და მხედველობის ნერვს აღიზიანებს. გაღიზიანება ტვინს გადაეცემა და ადამიანი მხედველობით შეგრძნებას იღებს.**



სურ. 3.1.3

როგორია სინათლის გავრცელების სიჩქარე, სასრული თუ უსასრულო? ეს კითხვა საუკუნეების განმავლობაში არ ასვენებდა ადამიანებს. ისევე, როგორც უძველესი დროის ბევრი სწავლული, არისტოტელეც თვლიდა, რომ სინათლის სიჩქარე უსასრულოა. 900 წლის წინათ კი არაბმა მეცნიერმა – ავიცენამ გამოთქვა მოსაზრება, რომ სინათლის სიჩქარე ძალიან დიდია, თუმცა ის მაინც სასრული უნდა იყოს.

Don't copy

ასეთივე იყო მისი თანამედროვე ალ-ხაზენის მოსაზრებაც, თუმცა მათ არ ჰქონდათ საშუალება, რომ თავიანთი მოსაზრება ექსპერიმენტულად შეემოწმებინათ.

სინათლის გავრცელების ექსპერიმენტული შესწავლა პირველად გალილეო გალილეიმ სცადა:

„უნდა ჩავთვალოთ, რომ სინათლე მყისიერად ვრცელდება, თუ მისი გავრცელება ისევე ხდება დროში, როგორც ყველა სხვა მოძრაობა? ნუთუ არ შეიძლება ცდით დავრწმუნდეთ, სინამდვილეში როგორია მისი სიჩქარე?“ – დასვა შეკითხვა გალილეიმ და ასეთი ცდა ჩაატარა:

ღამეა. ორი ადამიანი, პირობითად, „მეცნიერი“ და „ასისტენტი“, ერთმანეთისაგან რამდენიმე კილომეტრით დაშორებულ შემაღლებულ ადგილებზე (ბორცვებზე) დგანან და ხელში ფანრები უჭირავთ (სურ.3.1.3).

ფანარს ჯერ „მეცნიერი“ ანთებს, „ასისტენტი“ კი მხოლოდ მას შემდეგ ანთებს თავის ფანარს, როცა „მეცნიერის“ ფანრის შუქს დაინახავს. თუ „მეცნიერი“ გაზომავს იმ დროს, რომელიც თავისი ფანრის ანთებიდან „ასისტენტის“ ფანრის ანთებამდე გავიდა და ბორცვებს შორის მანძილს, მაშინ სინათლის სიჩქარის გამოთვლაც შეეძლება.

„მე შევძელი ამ ცდის ჩატარება მხოლოდ მცირე, ერთ მილზე ნაკლებ მანძილზე და ამიტომაც ვერ შევძელი იმაში დარწმუნება, სინათლე საწინააღმდეგო მხრიდან მართლაც მყისიერად გამოჩნდა თუ არა“, – ამბობდა გალილეი.

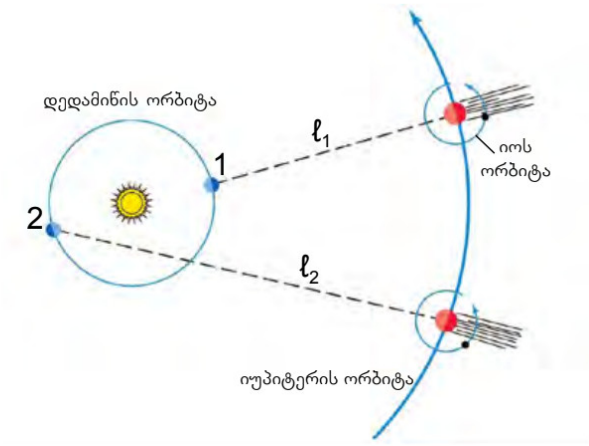
„მაგრამ თუ სინათლე მყისიერად არ ვრცელდება, მაშინ მისი სიჩქარე მეტისმეტად დიდია“, – ეს იყო ერთადერთი, რაც მან ცდის შედეგად დაასკვნა.

სინათლის სიჩქარის გაზომვის ასტრონომიული მეთოდი

სინათლის სიჩქარე პირველად 1676 წელს დანიელმა, ასტრონომმა **ოლე რიომერმა** გაზომა. რიომერი ტელესკოპით მზის სისტემის ყველაზე დიდი პლანეტის – იუპიტერისა და მისი 13 თანამგზავრის მოძრაობას აკვირდებოდა. ასტრონომის ყურადღება იუპიტერის უახლოესმა თანამგზავრმა, იომ მიიქცია. პერიოდულად, როცა იო იუპიტერის ჩრდილში ექცევა, მისი დაბნელება ხდება იუპიტერით და დედამიწიდან იგი არ ჩანს.

რიომერი ხედავდა, როგორ გადიოდა იო პლანეტის წინ, შემდეგ მის ჩრდილში შედიოდა და მეცნიერის თვალთახედვიდან იკარგებოდა. გარკვეული დროის შემდეგ იო ისევ ჩნდებოდა და ა. შ. იოს გამოჩენიდან გამოჩენამდე დროის შუალედი 42 საათი და 28 წუთი აღმოჩნდა (ანუ ეს არის იუპიტერის გარშემო იოს მიმოქცევის პერიოდი, დრო, რომელშიც იო იუპიტერის გარშემო ერთ სრულ ბრუნს აკეთებს).

თავდაპირველად გაზომვები ტარდებოდა მაშინ, როცა დედამიწა მზის გარშემო ორბიტაზე მოძრაობისას ყველაზე ახლოს იყო იუპიტერთან (სურ.3.1.4 (1)). ექვსი თვის შემდეგ, როცა დედამიწა თავის ორბიტაზე საპირისპირო მხარეს აღმოჩნდა და იუპიტერს დაშორდა (სურ.3.1.4 (2)), რიომერმა განმეორებითი გაზომვები ჩაატარა და მოულოდნელად აღმოაჩინა, რომ იომ იუპიტერის ჩრდილიდან გამოსვლა 22 წთ-ით (1320 წმ-ით) დააგვიანა. რიომერი მიხვდა დაგვიანების მიზეზს. ეს გამოწვეული იყო იმით, რომ სინათლეს, **რომელსაც სასრული სიჩქარე აქვს,** იუპიტერსა და დედამიწას შორის გაზრდილი მანძილის ($\ell_2 > \ell_1$) დასაფარად დამატებითი დრო დასჭირდა!



სურ. 3.1.4

რიომერის დროს მზის გარშემო დედამიწის ორბიტის დიამეტრი 292 000 000 კმ-ის ტოლად

Don't copy

ითვლებოდა (ეს სწორედ ის დამატებითი მანძილია, რომლის გავლაც სინათლეს „მოუწია“ მაშინ, როცა დედამიწა იუპიტერს დაშორდა).

სინათლის სიჩქარის ის მნიშვნელობა, რომელიც რიომერმა მიიღო, ასე გამოითვლება:

$$v = 292\ 000\ 000 \text{ კმ} / 1320 \text{ წმ} \approx 221\ 000 \text{ კმ/წმ}.$$

ერთი შეხედვით შეიძლება მოგეჩვენოს, რომ ასეთი ცდომილება (≈ 26 %) არცთუ ისე კარგი შედეგია, მაგრამ ეს უმნიშვნელოვანესი მიღწევა იყო. კაცობრიობის ისტორიაში პირველად დამტკიცდა, რომ სინათლის სიჩქარე, მიუხედავად იმისა, რომ ძალიან დიდია, სასრულია და მისი გაზომვაც შესაძლებელია.

რიომერი საკუთარი დაკვირვებებისა და გაზომვების შედეგებით პარიზის მეცნიერებათა აკადემიაში მოხსენებით წარდგა. მისმა გამოსვლამ იქ მყოფი საზოგადოების პროტესტი გამოიწვია, რადგან დამსწრენი თვლიდნენ, რომ სინათლის სიჩქარე უსასრულოდ დიდია და მისი გაზომვა შეუძლებელია. რიომერის შედეგები ექსპერიმენტით უნდა შემოწმებულიყო, მაგრამ ასეთი ექსპერიმენტის ჩატარება მეცნიერებს შეუძლებლად მიაჩნდათ: არ არსებობდა ხელსაწყო, რომელიც თუნდაც რამდენიმე კილომეტრზე სინათლის გავრცელების დროს აღრიცხავდა. ეს დრო ხომ წამის მეათასედ ნაწილზე კიდევ უფრო მცირე იყო.

სინათლის სიჩქარის გაზომვის ლაბორატორიული მეთოდი

პირველი, ვინც სინათლის სიჩქარე ლაბორატორიულ პირობებში გაზომა, ფრანგი მეცნიერი **არმან იპოლიტ ფიზო** იყო. 1849 წელს ფიზომ საკმაოდ გონებამახვილური ხერხი გამოიყენა სინათლის სიჩქარის გასაზომად.

დააკვირდი 3.1.5 სურათს. მასზე ფიზოს ცდის გამარტივებული სქემაა გამოსახული. ფიზო სინათლის გავრცელებას პარიზის გარეუბან **სიურენსა** და მისგან რამდენიმე კილომეტრით დაშორებულ **მონმარტრს** შორის აკვირდებოდა.

სიურენში მოთავსებული სინათლის წყაროდან გამოსხივებული სინათლის სხივი **ნახევრად გამჭვირვალე ფირფიტას** (1) ეცემოდა და მისგან არეკლილი იმ **კბილანა ბორბალს** ხვდებოდა, რომელსაც ფიზო სხივის გავრცელების გზაზე ათავსებდა. სხივი „კბილებს“ შორის ჭრილში გადიოდა და **მონმარტრზე** დადგმულ **სარკეს** ეცემოდა. სარკიდან არეკლილი სხივი უკან ბრუნდებოდა, ისევ „კბილებს“ შორის გაივლიდა და **დამკვირვებლის (ფიზოს) თვალში** ხვდებოდა.



ნახე ვიდეო: http://bitly.ws/AisF

თუ ბორბალი უძრავი იყო, ფიზო სარკიდან არეკლილ სხივს მუდმივად ხედავდა. როცა კბილანა ბორბალი დაბალი სიჩქარით ბრუნვას იწყებდა, ფიზო ხან ხედავდა სინათლეს (როცა სარკიდან არეკლილი სხივი ბორბლის „კბილებს“ შორის ჭრილში ხვდებოდა), ხანაც – სინათლეს ბორბლის „კბილი“ ეფარებოდა და ფიზო სინათლეს ვეღარ ხედავდა.

კბილანა ბორბლის სიჩქარის თანდათან გაზრდისას, როცა ბრუნვის სიხშირე გარკვეულ მნიშვნელობას აღწევდა, ფიზო არეკლილ სინათლეს საერთოდ ვერ ხედავდა. სიჩქარის მომატებისას კი სინათლე ისევ პერიოდულად ჩნდებოდა.

უამრავი ექსპერიმენტის შედეგად, ფიზომ ზუსტად დაადგინა ბორბლის ბრუნვის ის სიხშირე, რომლის დროსაც სინათლეს ვერ ხედავდა: $n = 12{,}6$ ბრ/წმ.

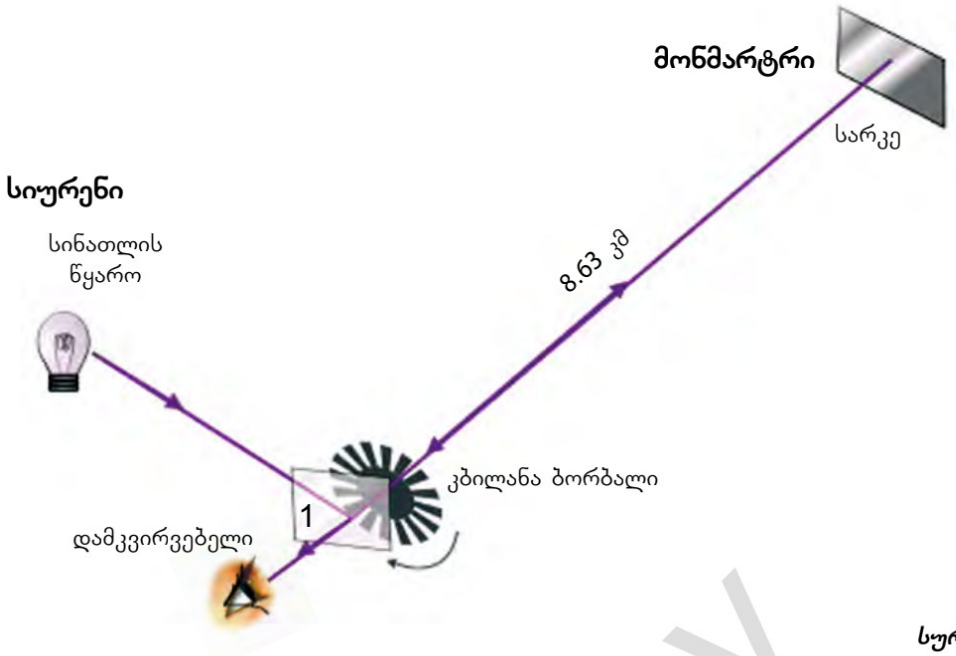
სინათლის სიჩქარის გამოთვლას მარტივი გამოთვლებიღა სჭირდებოდა.

1. ფიზოს ცდაში, მანძილი (L) სარკიდან დამკვირვებლამდე ≈ 8,63 კმ-ის ტოლი იყო: $L = 8{,}63 \cdot 10^3$ მ.

2. სინათლის სხივი, რომელიც კბილანა ბორბლის ჭრილში გადის და უკან ბრუნდება, 2L მანძილს გადის t დროში, რომელიც ასე გამოითვლება:

$$t = \frac{2L}{c},$$ სადაც c სინათლის სიჩქარეა.

Don't copy



სურ. 3.1.5

3. კბილანა ბორბალს 720 „კბილი“ ჰქონდა (ანუ, 720 ჭრილი) დავუშვათ, რომ ჭრილისა და „კბილის“ სიგანე ერთნაირია. მაშინ დრო, რომელიც დასჭირდება ბორბლის ისე შემობრუნებას, რომ:

ა) „კბილის“ ადგილი მომდევნო ჭრილმა დაიკავოს, ტოლია: $t_0 = \frac{T}{N} = \frac{1}{nN}$ (ასეთ შემთხვევაში დამკვირვებელი სინათლეს დაინახავს);

ბ) „კბილის“ ადგილი მომდევნო „კბილმა“ დაიკავოს, ტოლია: $t_1 = \frac{T}{2N} = \frac{1}{2nN}$ (ასეთ შემთხვევაში დამკვირვებელი სინათლეს ვეღარ ხედავს);

n კბილანა ბორბლის ბრუნვის სიხშირეა ($n = 12{,}6$ ბრ/წმ), ხოლო N ბორბალში „კბილების“ რაოდენობაა ($N = 720$);

4. იმისათვის, რომ დამკვირვებელმა სინათლე ვერ დაინახოს, აუცილებელია, რომ იმ დროში რომელიც სინათლეს $2L$ მანძილის გასავლელად სჭირდება, ერთი „კბილის“ ადგილი მომდევნო „კბილმა“ დაიკავოს, ანუ

$$t_1 = \frac{1}{2nN} = \frac{2L}{c}$$

აქედან ჩანს, რომ სინათლის სიჩქარე ასე გამოითვლება:

$$c = 4LNn$$

5. თუ ფიზოს ცდის მონაცემებს გაითვალისწინებ, მიიღებ სინათლის სიჩქარის იმ მნიშვნელობას, რომელიც თავის დროზე ფიზომ მიიღო:

$$c = 4LNn = 4 \cdot 8{,}63 \cdot 10^3 \text{მ} \cdot 720 \cdot 12{,}6 \text{ბრ/წმ} \approx 313\,165\,000 \text{მ/წმ} \approx 3{,}13 \cdot 10^8 \text{კმ/წმ}.$$

ფიზოს მიერ მიღებული სინათლის სიჩქარის ცდომილება დღესდღეობით ექსპერიმენტულად დადგენილ მნიშვნელობასთან შედარებით 4,5%-ია.

1983 წელს ზომა-წონის გენერალურმა კონფერენციამ ვაკუუმში სინათლის სიჩქარის ზუსტი მნიშვნელობა დაადგინა:

$$c = 299\,792{,}458 \text{ კმ/წმ}.$$

Don't copy

სინათლის სიჩქარით კი სიგრძის საერთაშორისო ერთეული **მეტრი** განსაზღვრა:

1 მეტრი არის მანძილი, რომელსაც სინათლე $\frac{1}{299\,792{,}458}$ წმ-ში გადის.

სინათლის სიჩქარე – ეს არის სიჩქარე, რომლითაც ელექტრომაგნიტური ტალღები ვაკუუმში ვრცელდება. სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში არ არის დამოკიდებული ათვლის სისტემის არჩევაზე.

სინათლის მოვლენების შესწავლისას მივიჩნევთ, რომ სინათლის სიჩქარის მნიშვნელობაა:

$$c \approx 300\,000 \text{ კმ/წმ} = 3 \cdot 10^8 \text{ მ/წმ}$$

3.1.4. სინათლის სიჩქარე გარემოში

ფიზოს ცდა და მისი გაზომვის შედეგები შემდგომში სხვა მეცნიერებმა, ლეონ ფუკომ და ალბერტ მაიკელსონმა გააუმჯობესეს. 1850 წელს ფუკომ სინათლის სიჩქარე წყალშიც გაზომა და აღმოჩნდა, რომ **წყალში სინათლის სიჩქარე ნაკლებია, ვიდრე – ჰაერში.**

გამჭვირვალე გარემოში სინათლის გავრცელებას უგანზომილებო ფიზიკური სიდიდით ახასიათებენ, რომელსაც **გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი** ჰქვია.

სინათლის გავრცელების სიჩქარე (v) გამჭვირვალე გარემოში (ნივთიერებაში) ყოველთვის ნაკლებია სინათლის გავრცელების სიჩქარეზე ვაკუუმში (c):

$$v < c$$

სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს, რამდენჯერ მეტია სინათლის გავრცელების სიჩქარე ვაკუუმში, მის სიჩქარეზე მოცემულ გამჭვირვალე ერთგვაროვან გარემოში, **გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი** ჰქვია და ის n-ით აღინიშნება:

$$n = \frac{c}{v} \qquad (3.1.2)$$

გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი მოცემული გარემოსთვის მუდმივი სიდიდეა და დამოკიდებულია გარემოს ფიზიკურ მახასიათებლებზე (ტემპერატურაზე, სიმკვრივესა და გარემოს დრეკადობაზე). 3.1.1 ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი.

ცხრილი 3.1.1. ზოგიერთი ნივთიერების გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი.

გარემო	გარდატეხის მაჩვენებელი ვაკუუმის მიმართ
ჰაერი	1,00029
ყინული	1,31
წყალი (20°C-ზე)	1,33
გლიცერინი	1,47
სხვადასხვა სახის მინა	1,47-დან 2,04-მდე ($n_{საშ} = 1{,}5$)
პლექსიგლასი	1,5
კვარცი	1,54
ლალი	1,76
ალმასი	2,42

Don't copy

ორი გარემოდან **ოპტიკურად უფრო მკვრივი** ეწოდება იმ გარემოს, რომლის **გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი უფრო მეტია:** რაც უფრო ოპტიკურად მკვრივია გარემო, მით უფრო ნაკლებია სინათლის გავრცელების სიჩქარე ამ გარემოში ვაკუუმთან შედარებით.

ვაკუუმის გარდატეხის მაჩვენებელი 1-ის ტოლია. ჰაერის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი 1,00029-ია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ვაკუუმიდან ჰაერში გადასვლისას სინათლის სიჩქარე 1,00029-ჯერ, ანუ უმნიშვნელოდ მცირდება. შესაბამისად, მივიჩნევთ, რომ **ჰაერის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი 1-ის ტოლია.**

გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი დამოკიდებულია სინათლის მახასიათებლებზეც (სიხშირეზე). მაგ., **წითელი სინათლისთვის გარდატეხის მაჩვენებელი ყველაზე ნაკლებია, ვიდრე ხილული სინათლის სპექტრში სხვა ფერის სინათლეებისა**. ეს იმას ნიშნავს, რომ მაგ., ვაკუუმიდან წყალში გადასვლისას წითელი ფერის სინათლის სიჩქარე უფრო ნაკლებად შემცირდება, ვიდრე დანარჩენი ფერის სინათლეების.

ხილული სინათლის დიაპაზონიდან **ყველაზე მეტი გარდატეხის მაჩვენებელი იისფერ სინათლეს აქვს.**

(გაითვალისწინე: გარდატეხის მაჩვენებლების ცხრილებზე, ჩვეულებრივ, მითითებულია რომელი სინათლისთვისაა გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობები მოცემული და რა ფიზიკურ მდგომარეობაშია გარემო. თუ ცხრილს მითითება არ ახლავს, ნიშნავს, რომ n-ის დამოკიდებულება აღნიშნულ ფაქტორებზე უგულებელყოფილია. როგორც წესი, ცხრილებში n-ის მნიშვნელობები ჰაერის მიმართაა მოცემული, რადგან $n_{\text{ჰაერი}} \approx n_{\text{ვაკუუმი}}$).

უმეტეს შემთხვევაში, გვხვდება მოვლენები, როცა **სინათლე ვაკუუმიდან კი არ გადადის გარემოში, არამედ ერთი გარემოდან მეორე გარემოში გადადის**, მაგ., ჰაერიდან წყალში (აირიდან თხევად გარემოში), ჰაერიდან მინაში (აირიდან გამჭვირვალე მყარ სხეულში).

ვთქვათ, ერთი გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია n_1, ხოლო მეორე გარემოსი – n_2.

$\frac{n_2}{n_1}$ შეფარდებას ეწოდება **მეორე გარემოს გარდატეხის ფარდობითი მაჩვენებელი პირველი გარემოს მიმართ.** მას, ხშირად, ასე აღნიშნავენ: $n_{2,1}$

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (3.1.3)$$

თუ 3.1.2-ს გავითვალისწინებთ, 3.1.3- დან მივიღებთ, რომ

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \qquad (3.1.4)$$

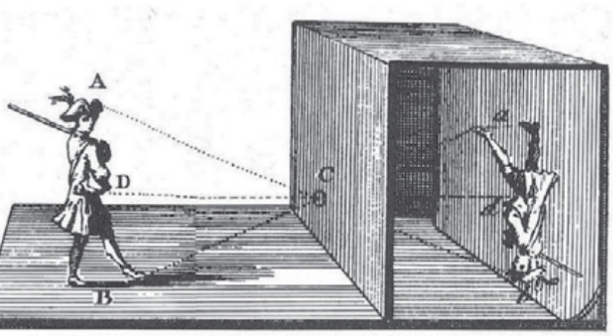
ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **თუ სინათლე ერთი გამჭვირვალე გარემოდან მეორეში გადადის, მისი სიჩქარე:**

ა) შემცირდება ($v_2 < v_1$), თუ $n_2 > n_1$, ანუ თუ ოპტიკურად ნაკლებ მკვრივიდან მეტად მკვრივ გარემოში გადადის (მაგ., ყინულიდან წყალში გადასვლისას სინათლის სიჩქარე შემცირდება. იხ. 3.1.1 ცხრილი);

ბ) გაიზრდება ($v_2 > v_1$), თუ $n_2 < n_1$, ანუ თუ ოპტიკურად მეტად მკვრივიდან ნაკლებად მკვრივ გარემოში გადადის (მაგ., ალმასიდან კვარცში გადასვლისას სინათლის სიჩქარე გაიზრდება. იხ. 3.1.1 ცხრილი).

გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელს, ანუ სინათლის სიჩქარის ცვლილებას ძალიან საინტერესო მოვლენები უკავშირდება, რომლებსაც მომდევნო გაკვეთილებზე განვიხილავთ.

Don't copy



სურ. 1

...შუა საუკუნეების ევროპული ქალაქის ხალხით სავსე პატარა მოედანზე თეთრწვერიან კაცს დიდი შავი ყუთი შემოაქვს.შეკრებილები ყუთს ყურადღებით ათვალიერებენ: ჩვეულებრივი ყუთია, რომლის ერთ-ერთ კედელზე პატარა ნახვრეტია გაკეთებული. ნახვრეტის მოპირდაპირე მხარეს კედლის მაგივრად ყუთს ნახევრად გამჭვირვალე პერგამენტი აქვს გადაკრული.

... ნახვრეტის წინ ფერად ტანსაცმელში გამოწყობილი ჯამბაზი დგება (სურ. 1). მაყურებლებს რიგრიგობით ეპატიჟებიან, რათა ახლოდან დაათვალიერონ პერგამენტი. მათ თავზე შავ გადასაფარებელსაც აფარებენ, რომ მზის სხივები პერგამენტს არ მოხვდეს. შავი ყუთი **კამერა-ობსკურაა („camera obscura“)**, რაც ლათინურად „ბნელ ოთახს“ ნიშნავს.



სურ. 2

ადამიანებს, რომლებიც კამერა-ობსკურას პერგამენტის მხრიდან აკვირდებიან, სხვადასხვანაირი გრძნობა უჩნდებათ: ზოგი აღფრთოვანებულია, ზოგი – გაოცებული, ზოგი შეშინებულია და არც ყუთს და არც ჯამბაზს სიახლოვეს არ ეკარება...

რას ხედავდნენ ადამიანები პერგამენტზე? თუ შენს ოთახს ფანჯარა მზის მხარეს აქვს, შეგიძლია ის კამერა-ობსკურად გადააკეთო და ძალიან საინტერესო სანახაობის მომსწრე გახდები: დააბნელე ფანჯარა მუქი ფერის შირმით და შირმაში პატარა ნახვრეტი გააკეთე.

ფანჯრის მოპირდაპირე კედელზე თეთრი ფერის ზეწარი ან ქაღალდი გააკარი და იმ პეიზაჟის გამოსახულებით დატკბები, რომელსაც ფანჯარა გადაჰყურებს... ოღონდ გამოსახულება ამოყირავებული იქნება: ქუჩის სავალი ნაწილი კედლის ზედა ნაწილში გამოისახება, ხოლო გამვლელები თავდაყირა ივლიან ზეწრით დაფარულ „ეკრანზე“ (სურ. 2). **ნახე ვიდეო:** http://bitly.ws/AsT9

მეათე საუკუნის არაბმა სწავლულმა **იბნ ალ ხაიტანმა** (რომელსაც ევროპაში **ალხაზენის** სახელით იცნობდნენ) კამერა-ობსკურაზე დაკვირვების შედეგად დაასკვნა, რომ **ერთგვაროვან გარემოში სინათლე წრფივად ვრცელდება** (თუმცა ეს ფაქტი ჯერ კიდევ ევკლიდესთვის იყო ცნობილი).

ევროპაში კამერა-ობსკურა პირველად **ლეონარდო და ვინჩიმ** გამოიყენა ნატურიდან ხატვისთვის (სურ. 3) და იგი თავის „ ფერწერის ტრაქტატში“ დაწვრილებით აღწერა. კამერა-ობსკურათი აკვირდებოდა გერმანელი ასტრონომი **იოჰან კეპლერი** მზის დაბნელებას.



სურ. 3

კამერა-ობსკურა უმარტივესი ხელსაწყოა, რომლითაც სხეულის გამოსახულების მიღებაა შესაძლებელი. შუქგაუმტარი ყუთის ერთ კედელზე პატარა ნახვრეტია გაკეთებული. ნახვრეტის მოპირდაპირე მხარეს კი კამერა-ობსკურას ეკრანია – ნახევრადგამჭვირვალე მინა ან თხელი პერ-

Don't copy

გამენტი. ეკრანზე იმ სხეულის გამოსახულება ჩანს, რომელიც ნახვრეტის წინა არის მოთავსებული და სინათლითაა განათებული.

დავალება 1. დაამზადე კამერა-ობსკურა.

კამერის მაგივრობას ნებისმიერი ყუთი (მაგ. ფეხსაცმლის შესანახი მუყაოს ყუთი, ყავის ჩასაყრელი თუნუქის ქილა, „ჩიპსების„ გრძელი ცილინდრული კონტეინერი) გაგიწევს.

1. გახვრიტე ყუთის ერთი კედელი წვრილი ლურსმნით ან მსხვილი ნემსით ისე, რომ ნახვრეტის დიამეტრი დაახლოებით 0,5 – 1 მმ-ის ტოლი იყოს;



სურ. 4

2. გახვრეტილი კედლის მოპირდაპირე მხარეს, ყუთის კედელი ამოჭერი და მის მაგივრად პერგამენტი (ან თეთრი ფერის თხელი ცელოფანი) გადააკარი – ეს კამერა-ობსკურას ეკრანია (სურ. 4);

3. ეკრანზე გამოსახულების მისაღებად საჭიროა, რომ გადასაღები ობიექტი კაშკაშა შუქით იყოს განათებული, ხოლო ეკრანი სიბნელეში მოათავსო. აირჩიე ცდისთვის მზიანი დღე (ან ობიექტი სანათით გაანათე):

კამერა შტატივზე დაამაგრე, გადააფარე მუქი ფერის სქელი ნაჭერი ისე, რომ ნახვრეტი სინათლისკენ იყოს მიქცეული, ხოლო ეკრანი ნაჭრის ქვეშ სიბნელეში აღმოჩნდეს (სურ. 5);



სურ. 5

4. ნახვრეტის წინ, 1 – 2 მ-ის მოშორებით, კაშკაშა სინათლით განათებული რაიმე სხეული მოათავსე (ან, უბრალოდ, გადასაღებ ობიექტად სინათლით განათებული ნებისმიერი შენობა, ხე, მანქანა შეარჩიე): თუ „ეკრანს“ ჩაბნელებული მხრიდან, ნაჭრის ქვეშიდან შეხედავ, მასზე სხეულის ამობრუნებულ გამოსახულებას დაინახავ (სურ.6);

5. გაიმეორე ცდა რამდენჯერმე: მიიღე ეკრანზე გამოსახულება სხვადასხვა ზომის ნახვრეტის გამოყენებით.

შენიშვნა: ყუთის კედელზე თავიდანვე რამდენიმე ზომის ნახვრეტი გააკეთე. დაფარე მუქი საიზოლაციო ლენტით ყველა ნახვრეტი, ერთის გარდა. განმეორებით ცდაში გამოსახულების მიღება სხვა ნახვრეტიდან სცადე, წინა კი დაფარე ისე, რომ მასში სინათლე არ შედიოდეს;



სურ. 6

6. დააკვირდი თითოეულ შემთხვევაში, როგორ იცვლება გამოსახულება:

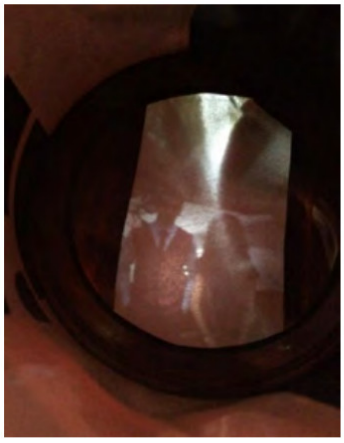
ა) ნახვრეტის ზომის ცვლილებასთან ერთად;

ბ) ნახვრეტიდან „გადასაღები“ ობიექტის დაშორების მიხედვით;

გ) ნახვრეტიდან ეკრანის დაშორების მიხედვით (ამისათვის სხვადასხვა ზომის კამერა-ობსკურას დამზადება მოგიწევს).

DRAFT copy

თითოეულ შემთხვევაში გადაიღე გამოსახულების სურათი (სურ.7);



სურ. 7

დავალება 2.

1. წარმოადგინე ნახაზზე სხივთა სვლის დიაგრამა კამერა-ობსკურაში და ახსენი, როგორ მიიღება სხეულის გამოსახულება მასში;

2. გაარკვიე, რატომაა დამოკიდებული გამოსახულების სიმკვეთრე:

ა) ნახვრეტის ზომაზე;

ბ) ნახვრეტიდან სხეულის დაშორებაზე;

გ) ნახვრეტიდან ეკრანის დაშორებაზე.

(თითოეულ შემთხვევაში ახსენი მიზეზები, რის გამოც გამოსახულების სიმკვეთრე იცვლება).

XIX საუკუნის 30-იან წლებში ფრანგმა მხატვარმა და გამომგონებელმა **ლუი ჟაკ დაგერმა** კამერა-ობსკურას ხვრელში ლინზა მოათავსა, ეკრანის ადგილას კი – სინათლისადმი მგრძნობიარე ფირფიტა, რომელიც იოდიანი ვერცხლის ფენით იყო დაფარული.

სინათლის ზემოქმედებით ფირფიტაზე გადასაღები ობიექტის გამოსახულება აღიბეჭდა და ფირფიტის ქიმიურად დამუშავების შედეგად დაგერმა მსოფლიოში პირველი ფოტო – **დაგეროტიპი** მიიღო (სურ. 8). თავისი აღმოჩენის შესახებ სტატია დაგერმა პირველად 1839 წელს გამოაქვეყნა და სწორედ ეს წელი ითვლება **ფოტოგრაფიის** დაბადების წლად.



სურ. 8

დავალება 3.

1. მოიძიე ინფორმაცია, როგორ მიიღება გამოსახულება ფოტოაპარატში;

2. წარმოადგინე ფოტოაპარატის გამარტივებული სქემა და სხივთა სვლის დიაგრამა მასში.

წარმოადგინე შენ მიერ დამზადებული კამერა-ობსკურა, კამერით მიღებული გამოსახულებების ფოტოები და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. კამერა-ობსკურას მოდელის დამზადების ეტაპების დაწვრილებითი აღწერა;

2. მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის (რა მიზეზითაა გამოწვეული, რა შედეგი მოჰყვება), რომლებსაც კამერა-ობსკურას მოქმედება ეფუძნება:

ა) რატომ მიიღება გამოსახულება კამერის ეკრანზე, რატომ არის ის ამობრუნებული;

ბ) რაზეა დამოკიდებული გამოსახულების სიმკვეთრე, ზომა და რატომ;

3. თანამედროვე ფოტოაპარატის მუშაობის პრინციპი.

პროექტზე მუშაობისას დაგეხმარება ინფორმაცია, რომელსაც შემდეგ მისამართებზე მოძებნი: http://bitly.ws/AsUn http://bitly.ws/AsUp http://bitly.ws/AsUr http://bitly.ws/AsUs

Don't copy

3.2 სინათლის წრფივი გავრცელება



სურ. 3.2.1



სურ. 3.2.2

ჯორჯ სტეინმეცი ამერიკელი ფოტოგრაფია, რომელიც სამეცნიერო ჟურნალ „National Geographic“- თან მუდმივად თანამშრომლობს. 3.2.1 სურათზე მის მიერ ომანის უდაბნოში გადაღებული ფოტოა გამოსახული, რომელიც 2005 წლის საუკეთესო ფოტოდ აღიარეს. მასზე შავი აქლემები ჩანს...

კიდევ ერთი ფოტო (სურ. 3.2.2), რომელიც ამავე ჟურნალის თანამშრომელს, ველური ბუნების ამსახველ ფოტო და კინო დოკუმენტალისტს – **ბევერლი ჟუბერს** ეკუთვნის, ასევე უდაბნოშია გადაღებული და მასზე შავი ცხენები ჩანს...

ფოტოებზე შავ აქლემებსა და ცხენებს მხოლოდ ერთი შეხედვით მიღებული შთაბეჭდილებით აღიქვამ. სინამდვილეში ფოტოებზე არც შავი აქლემებია გამოსახული და არც შავი ცხენები. **დააკვირდი:** ეს ზემოდან გადაღებული სურათებია და შავად მხოლოდ აქლემებისა და ზებრების (და არა ცხენების) ჩრდილი ჩანს. თვითონ ისინი იქვე (ჩრდილის „ფეხებთან“), თავიანთ ჩვეულ ფერებში „გადაწყვეტილები“, მშვიდად მიუყვებიან გზას.

ჩვენ მივეჩიეთ, რომ, ჩვეულებრივ, ჩრდილი შავია. თუმცა ჩრდილი შეიძლება ფერადიც იყოს (სურ. 3.2.3).

რა არის ჩრდილი, როგორ წარმოიქმნება და რა შემთხვევაშია ის ფერადი, ამ პარაგრაფის გაცნობისას შეიტყობ.



სურ. 3.2.3

3.2.1. სინათლის წყაროები

სინათლე ადამიანის ცხოვრებაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს. ერთი მხრივ, **მხედველობის ორგანოთი – თვალით** ჩვენ გარემომცველ სამყაროს **ვხედავთ.** მეორე მხრივ, სწორედ მზიდან დედამიწაზე მოღწეული სინათლე ქმნის ჩვენს პლანეტაზე სიცოცხლისთვის აუცილებელ პირობებს.

გარემომცველი სამყაროს შესახებ ინფორმაციის 90%-ს ადამიანი სინათლის დამსახურებით იღებს. მხედველობით გაცილებით მეტ ინფორმაციას აღვიქვამთ, ვიდრე ერთად აღებული, ყველა დანარჩენი გრძნობათა ორგანოებით.

მზე ჩვენი პლანეტისთვის სინათლის მთავარი წყაროა (სინათლე მზის ბირთვში მიმდინარე ბირთვული რეაქციების შედეგად გამოსხივდება).

შენ იცი, რომ მზე ყველა შესაძლო სიხშირის ელექტრომაგნიტურ ტალღას ასხივებს, მათი უმეტესი ნაწილი ადამიანში მხედველობით შეგრძნებას არ იწვევს და მათ **უხილავ გამოსხივებას** ვუწოდებთ. მხედველობით შეგრძნებას ადამიანში მხოლოდ ხილული სინათლე – ის ელექტრომაგნიტური ტალღები იწვევს, რომელთა სიხშირის დიაპაზონი

Don't copy

400-დან 790 ტჰც-ია (თემის შესწავლისას, როცა სინათლის შესახებ ვისაუბრებთ, ძირითადად, ხილულ სინათლეს ვიგულისხმებთ).

მზის გამოსხივება **სითბურ გამოსხივებას** მიეკუთვნება. ხილული სინათლის **სითბური გამოსხივების წყარო გახურებული სხეულია:** რაც უფრო მაღალია სხეულის ტემპერატურა, მით უფრო მეტია გამოსხივებული სინათლის ენერგია. **სითბური გამოსხივების წყაროებია:** ვარსკვლავები, ანთებული ნათურა, ცეცხლი და ა.შ.

სითბური გამოსხივების გარდა, შესაძლებელია, სინათლე **ლუმინესცენციის** შედეგად გამოსხივდეს. მაგ., **ელექტროლუმინესცენციის** შედეგად გამოსხივდება ხილული სინათლე ჩრდილოეთის ციალისას, მზიდან წამოსული დამუხტული ნაწილაკების ნაკადს დედამიწის მაგნიტური ველი ჩაიჭერს და ატმოსფეროს ზედა ფენებში სხვადასხვა აირების შემადგენელ ნაწილაკებთან შეჯახებისას სინათლე გამოსხივდება.

ქემილუმინესცენცია კი მოვლენაა, როცა ხილული სინათლე ქიმიური რეაქციის შედეგად გამოსხივდება. მაგ., სწორედ ასეთ სინათლეს ასხივებს ციცინათელა, ღრმა წყლების ბინადარი ბაქტერიები, მწერები და თევზები.

სინათლის წყარო შეიძლება იყოს როგორც **ბუნებრივი,** ასევე **ხელოვნურიც** (სურ.3.2.4). სინათლის **ბუნებრივი წყაროებია**: ვარსკვლავები, პოლარული ნათება, ელვა, მანათობელი მწერები და ა.შ.

ხელოვნური წყაროებია: ანთებული ნათურა და სანთელი, მუშა მდგომარეობაში ტელევიზორის, კომპიუტერის, მობილური ტელეფონის ეკრანი, ლაზერის მაჩვენებელი (ზოგიერთ მაჩვენებელში გამოსხივებული სინათლე არ ჩანს, ზოგის სინათლეს კი ვიწრო სხივის სახით ვხედავთ) და ა.შ.



სურ. 3.2.4

3.2.2. სინათლის სხივი

ხილული სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღაა, რომელსაც სხვა ტალღების მსგავსად, გავრცელებისას ენერგია გადააქვს. სწორედ ხილული სინათლის მეშვეობით აღწევს მზიდან დედამიწამდე მზის მიერ გამოსხივებული ენერგიის ნაწილი (ატმოსფეროში შემოღწეული ენერგიის თითქმის ნახევარი): ცნობილია, რომ მზიდან ჩვენს პლანეტამდე 1 წმ-ის განმავლობაში სინათლეს იმდენივე ენერგია მოაქვს, რამდენიც 40 მლნ ტონა ქვანახშირის სრულად დაწვისას გამოიყოფა.

ნებისმიერი ტალღის და, მათ შორის, ხილული სინათლის გავრცელების მიმართულება განისაზღვრება **სხივით – წირი, რომელიც სინათლის ენერგიის გავრცელების მიმართულებას უჩვენებს.**

სინათლის ენერგიის გავრცელების მიმართულების, სხივის განსაზღვრისთვის ასე იქცევიან: სინათლეს გავრცელების გზაზე ისეთ გაუმჭვირვალე ეკრანს უხვედრებენ, რომელსაც პატარა ხვრელი აქვს.

DRAFT COPY



სურ. 3.2.5

თუ ხვრელიდან გამოსული სინათლის გავრცელების გზაზე აეროზოლს გავასხურებთ, ან ბოლს გავუშვებთ, დავინახავთ **სინათლის ვიწრო კონას** (კონა კვამლის, აეროზოლიდან გასხურებული სითხის ნაწილაკებზე გაბნევის გამო ხილული ხდება).

ეკრანზე ხვრელის დიამეტრის შემცირებით სინათლის კონა მანამდე დავიწროვდება, სანამ ხვრელის დიამეტრი სინათლის ტალღის სიგრძეზე მნიშვნელოვნად დიდია. მას შემდეგ, რაც დაპატარავებული ხვრელის დიამეტრი ტალღის სიგრძის რიგის გახდება, ხვრელში გასული სინათლის კონა დიფრაქციის გამო გაფართოვდება. ასე რომ, სინათლის ნებისმიერად ვიწრო კონის მიღება ჩვენ არ შეგვიძლია. შემდგომ გაკვეთილებზე სინათლის ვიწრო კონის მისაღებად ლაზერის მაჩვენებელს გამოვიყენებთ (სურ. 3.2.5). წარმოიდგინე წრფე, რომელიც სინათლის ვიწრო კონის სიმეტრიის ღერძია. სწორედ ეს **წრფე გამოსახავს სინათლის სხივს.**

სინათლის სხივის ცნების შემოტანა საშუალებას გვაძლევს, სინათლის გავრცელების კანონზომიერებები გეომეტრიის დახმარებით შევისწავლოთ.

ოპტიკის იმ ნაწილს, რომელშიც გამჭვირვალე გარემოში სინათლის ენერგიის გავრცელების კანონზომიერებები სინათლის სხივის გამოყენებით შეისწავლება, **გეომეტრიული ოპტიკა** ჰქვია.

სინათლის ტალღურ ბუნებას და მის ურთიერთქმედებასთან ნივთიერებასთან **ფიზიკურ ოპტიკაში** შეისწავლიან.

ზოგადად, გეომეტრიულ ოპტიკაში სინათლის ტალღური ბუნების გამოვლინებები არ განიხილება (თუმცა ჩვენ ზოგიერთი ოპტიკური მოვლენის ახსნისას სინათლის ტალღურ ბუნებას გვერდს მაინც ვერ ავუვლით და ძალიან მსუბუქად შევეხებით).

გეომეტრიული ოპტიკის შესწავლისას მიჩნეულია, რომ სინათლის ტალღის სიგრძე ბევრად ნაკლებია იმ დაბრკოლებების წრფივ ზომებთან შედარებით, რომლებიც სინათლეს გავრცელების გზაზე ხვდება. გეომეტრიული ოპტიკის კანონები, სინათლის მოვლენებით დაინტერესებულმა სხვადასხვა დროის მეცნიერებმა გაცილებით ადრე, ექსპერიმენტულად დაადგინეს, ვიდრე სინათლის ბუნების შესახებ მეცნიერულად დასაბუთებული თეორიები შეიქმნებოდა. ამ კანონებს იყენებდა ჯერ კიდევ არქიმედე (თავისი ცნობილი ჩაზნექილი სარკეების შექმნისას, რომლითაც მტრის ხომალდები დაწვა), გალილეო გალილეი (ტელესკოპის დამზადებისას), ჰუკი პირველი მიკროსკოპის შექმნისას და ა.შ. გეომეტრიული ოპტიკის კანონებზეა დაფუძნებული მრავალი ოპტიკური ხელსაწყოს (ლუპის, ფოტოაპარატის, მიკროსკოპის, ტელესკოპის და ა.შ.) მუშაობის პრინციპი. გეომეტრიული ოპტიკა საშუალებას გვაძლევს, ავხსნათ თვალის, როგორც ერთგვარი ოპტიკური მოწყობილობის, მოქმედება.

3.2.3. როგორ ვხედავთ სხეულებს

ძველი ბერძენი ფილოსოფოსი **ევკლიდე** (ძვ. წ. 325 – 265.) თვლიდა, რომ ადამიანის თვალიდან გამოდის მხედველობის სხივები და ადამიანი ნებისმიერ სხეულს იმ შემთხვევაში ხედავს, თუ მისი თვალიდან გამოსული სხივები მას ხვდება.

არისტოტელემ (ძვ. წ. 384 – 322) დასვა კითხვა: თუ სხეულის დანახვა დამოკიდებულია თვალიდან გამოსულ სხივზე და არა ფანარზე, მაშინ რატომ ვერ ვხედავთ სხეულებს სიბნელეში?

ამ შეკითხვის პასუხი ევკლიდეს თეორიაში არ მოიძებნებოდა, რაც, ცხადია, თეორიის უსაფუძვლობას ამტკიცებდა.

ცხადია, არავითარი „მხედველობის სხივი“ არ არსებობს. **სინათლის წყაროს მისგან გამოსხივებული სინათლის „დამსახურებით“ ვხედავთ.** სინათლე, რომელიც თვალში

Don't copy

ხვდება, მხედველობის ნერვს აღიზიანებს, გაღიზიანება ტვინს გადაეცემა და ადამიანი **მხედველობით შეგრძნებას** იღებს.

რა არის იმის მიზეზი, რომ ადამიანი იმ სხეულებსაც ხედავს, რომლებიც სინათლის წყაროს არ წარმოადგენს (მაგ., სხვა ადამიანს, ხეს, სახლს, მანქანას)?

ჩვენ სხეულებს მხოლოდ მაშინ ვხედავთ, როცა ისინი სინათლითაა განათებული. **სინათლე მათი ზედაპირიდან აირეკლება და ყველა შესაძლო მიმართულებით განიბნევა. თუ არეკლილი სინათლე თვალში ხვდება, ჩვენ სხეულს ვხედავთ.**

სწორედ ამ მიზეზით ვხედავთ **მთვარესაც, რომელიც საკუთარი სინათლით არ ანათებს: ის მზის სინათლეს ირეკლავს** (ამას ჯერ კიდევ ძვ.წ-ით IV საუკუნეში მიხვდა ძველი ბერძენი ფილოსოფოსი დემოკრიტე).

გაიხსენე – თვის განმავლობაში ცაზე მთვარეს სხვადასხვა ფორმით ვხედავთ (სურ. 3.2.6): ხან ნამგლისებრია, ხანაც – ბადროსებრი (ასეთ დროს ამბობენ, რომ **მთვარის ფაზები იცვლება**). ეს იმიტომ ხდება, რომ მთვარის მდებარეობა მზისა და დედამიწის მიმართ განუწყვეტლივ იცვლება და, შესაბამისად, იცვლება დედამიწიდან დანახული მთვარის ის ნაწილი, რომელიც მზის სინათლითაა განათებული.



სურ. 3.2.6

სწორედ მთვარის ფაზებზე დაკვირვებით დაასკვნა პითაგორამ (ძვ.წ. 570-490), რომ მთვარე ბრტყელი დისკო კი არ არის, არამედ მრგვალი, ბირთვისმაგვარი სხეულია (უმრავლეს შემთხვევაში მთვარის განათებული ნაწილი ბნელისგან გამოიყოფა არა წრფივი, არამედ რკალისებური საზღვრით).

3.2.4. სინათლის წრფივი გავრცელების კანონი

დაკვირვებიხარ, როგორ წრფივად ვრცელდება დაბურულ ტყეში შემოჭრილი მზის სხივი ან მაშინ, როცა ის ღრუბლებიდან გამოსხლტება? ან წყალში თუ ჩაგიყვინთავს, იქნებ შეგიმჩნევია, ჰაერიდან წყალში გადასული სინათლის წრფივი გავრცელება (სურ. 3.2.7)?

სინათლის წრფივი გავრცელება ევკლიდესთვისაც ცნობილი იყო და სწორედ მის სახელს უკავშირდება **სინათლის წრფივი გავრცელების კანონის** თავდაპირველი ფორმულირება. **სინათლის წრფივი გავრცელების კანონის** თანახმად, **ერთგვაროვან გამჭვირვალე გარემოში სინათლე წრფივად ვრცელდება.**

(სინათლის გავრცელებაში წარმოსახვითი სინათლის სხივის გავრცელება იგულისხმება, ერთგვაროვან გარმოში კი მხოლოდ ჰაერი, მხოლოდ წყალი და ა.შ.)



სურ. 3.2.7

Don't

3.2.5. ჩრდილი და ნახევარჩრდილი

სინათლის წრფივი გავრცელებით აიხსნება **ჩრდილის** წარმოქმნა. **ჩრდილი ის ადგილია, სადაც სინათლის წყაროდან გამოსხივებული სინათლე ვერ აღწევს.**

ჩრდილის, ანუ იმ ადგილის წარმოქმნა, სადაც სინათლე არ ხვდება (გაიხსენე, როგორ ჩნდება ხეების, შენობების ჩრდილი), სწორედ სინათლის წრფივი გავრცელებით აიხსნება.

ჩრდილი შეიძლება იყოს **მკვეთრი მოხაზულობის** და შეიძლება იყოს არამკვეთრი საზღვრებით – **ნახევარჩრდილიც.**

ჩაატარე ცდა და დააკვირდი ორივე ტიპის ჩრდილის წარმოქმნას.

ცდა I

ცდისთვის საჭიროა: საშუალო ზომის ბურთი (ან ნებისმიერი გაუმჭვირვალე სხეული), თეთრი ეკრანი (კედელი), ნათურა (მაგ., მობილური ტელეფონის ფანრის), რომლის ზომები გაცილებით პატარაა ბურთთან შედარებით, დიდი ზომის სადგამიანი ნათურა (მაგ., მაგიდის სანათი);

ცდის მსვლელობა:

1. ჩააბნელე ოთახი, სადაც ცდას ატარებ: მოათავსე ეკრანის (კედლის) წინ ბურთი დაახლოებით 1 – 1,5 მ-ის დაშორებით.

2. მიანათე ბურთს:

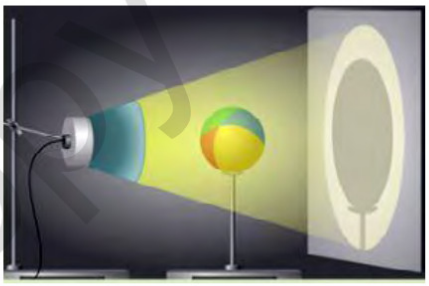
ა) პატარა ნათურა (ტელეფონის ფანარი);

ბ) მაგიდის სადგამიანი დიდი სანათი.

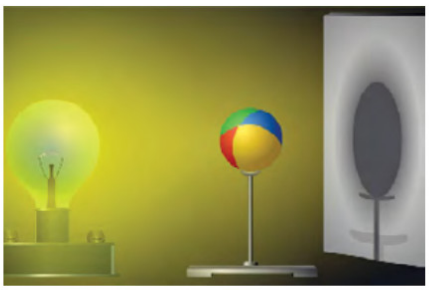
3. ამოძრავე ნათურა ბურთის მიმართ: მიუახლოვე და დააშორე. **დააკვირდი** კედელზე ბურთის ჩრდილს: ჩრდილი

ა) პატარა ნათურის შემთხვევაში უმეტესად მკვეთრი მოხაზულობის ბნელი ლაქაა (სურ. 3.2.8);

ბ) დიდი სანათის შემთხვევაში კი კედელზე არაერთგვაროვან ჩრდილსაც მიიღებ (სურ. 3.2.9): ზუსტად ბურთის უკან, ცენტრში მუქი ფერის მკვეთრი ჩრდილია, რომლის გარშემო მიდამო შედარებით განათებულია.



სურ. 3.2.8



სურ. 3.2.9

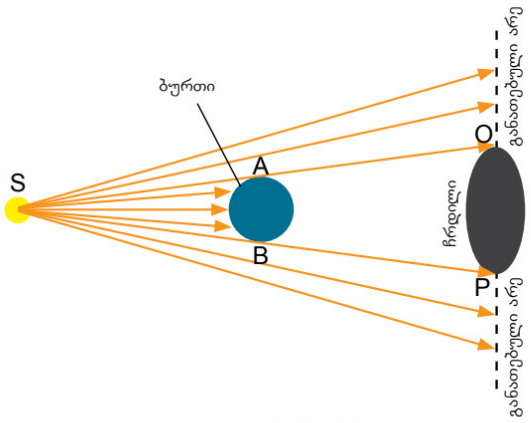
იმისათვის, რომ ცდის შედეგები ავხსნათ, ავაგოთ ორივე შემთხვევაში წყაროდან ეკრანამდე სინათლის სხივის გავრცელების დიაგრამა.

1. ვთქვათ, სხეული, რომლის ჩრდილსაც კედელზე ვაკვირდებით, განათებულია **სინათლის წერტილოვანი წყაროთი,** ანუ ისეთი წყაროთი, რომლის ზომები გაცილებით მცირეა სხეულის ზომებთან შედარებით ან იმ მანძილთან შედარებით, რა მანძილითაც სხეულია დაშორებული მისგან.

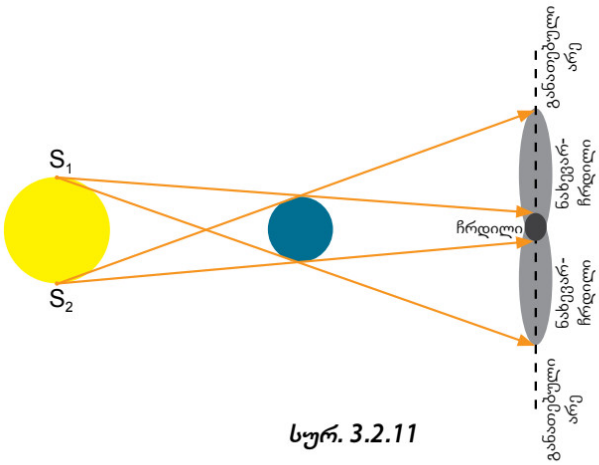
სინათლის სხივები წერტილოვანი წყაროდან (S) ყველა მიმართულებით წრფივად ვრცელდება, თუმცა დაბრკოლებას (ბურთს) ვერ შემოუვლის. კედელზე, იმ ადგილას, სადაც სინათლე ვერ აღწევს, სხეულის (ბურთის) მოხაზულობის მუქი ლაქა მიიღება (სურ. 3.2.10).

იმ შემთხვევაში, თუ სინათლე წრფივად არ გავრცელდებოდა, O და P წერტილი, შესაბამისად, SA და SB წრფეზე არ აღმოჩნდებოდა, ჩრდილის ფორმა კი სხეულის ფორმას არ გაიმეორებდა (ან საერთოდ არ მიიღებოდა ჩრდილი);

Don't copy



სურ. 3.2.10



სურ. 3.2.11

2. ვთქვათ, სხეული, რომლის ჩრდილსაც კედელზე ვაკვირდებით, განათებულია **სინათლის არაწერტილოვანი** (სხეულთან შედარებით დიდი ზომის წყაროთი და წყარო ახლოსაა სხეულთან) **სინათლით.**

შეიძლება ითქვას, რომ ამჯერად სინათლის დიდი ზომის წყარო უამრავი წერტილოვანი წყაროსაგან შედგება.

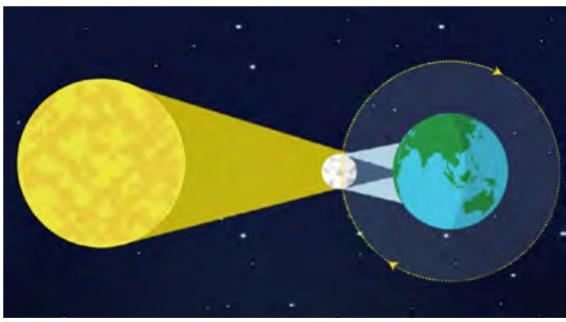
სიმარტივისათვის, განვიხილოთ წყაროს უკიდურეს ზედა და ქვედა წერტილებში „მოთავსებული“ წერტილოვანი S_1 და S_2 წყაროსგან გამოსხივებული სინათლის გავრცელება. თითოეული მათგანისგან გამოსხივებული სინათლე „საკუთარ“ ჩრდილს შექმნის ეკრანზე (სურ. 3.2.11).

ორი ჩრდილის გადაკვეთის ადგილას (იქ, სადაც არც ერთი წყაროს სინათლე არ ხვდება) მუქი ბნელი ლაქა მიიღება, იმ ადგილებში კი სადაც ჩრდილები ერთმანეთს არ კვეთს – ნახევარჩრდილები (იქ, სადაც ერთი წყაროს სინათლე მაინც აღწევს).

3.2.6. ჩრდილი და ნახევარჩრდილი ბუნებაში

ბუნებაში გრანდიოზული მასშტაბის ჩრდილი და ნახევარჩრდილი მზისა და მთვარის დაბნელების დროს მიიღება.

მზის დაბნელება ასტრონომიული მოვლენაა, რომლის დროსაც მთვარე დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლისთვის მზეს მთლიანად ან ნაწილობრივ დაფარავს (სურ. 3.2.12). ეს მაშინ ხდება, როცა მთვარე დედამიწის გარშემო მოძრაობისას დედამიწასა და მზეს შორის აღმოჩნდება და ამასთან, ახალ მთვარეობის ფაზაშია. დედამიწისკენ მიქცეული მთვარის მხარე მზის სინათლით განათებული არ არის და ასეთ დროს დედამიწიდან მთვარე არ ჩანს.



სურ. 3.2.12

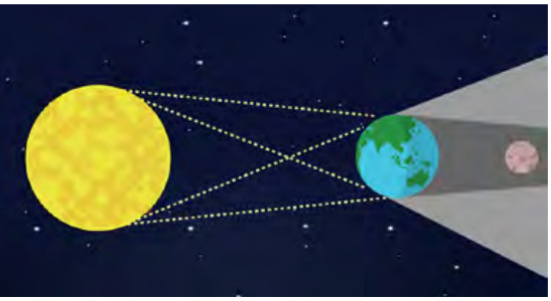
როგორც კი მთვარე მზეს დაფარავს, მთვარის ჩაბნელებული დისკოს გარშემო ოქროსფრად მოელვარე მზის გვირგვინი ჩნდება (სურ. 3.2.13). ეს მზის ატმოსფეროს განაპირა გავარვარებული ზოლია, რომელზედაც, ჩვეულებრივ, შეუძლებელია დაკვირვება გამოსხივების გამო. სწორედ ამიტომ მთელი მსოფლიოს მეცნიერები მზის დაბნელების რამდენიმე წუთს მოუთმენლად ელიან, რათა უკეთ შეისწავლონ მისი გვირგვინი.



სურ. 3.2.13

თუ ოდესმე ამ იშვიათი მოვლენის მომსწრე გახდი, **გახსოვდეს,** რომ **მზეს შეუიარაღებული თვალით არ შეხედო.** ამისთვის გამურული მინა ან სპეციალური სათვალე

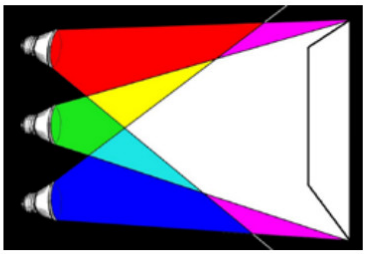
Don't copy



სურ. 3.2.14



სურ. 3.2.15



სურ. 3.2.16



სურ. 3.2.17

უნდა გამოიყენო, რადგან მზის გამოსხივებამ შესაძლოა, თვალის სერიოზული დაზიანება გამოიწვიოს.

მზის სრული დაბნელება დედამიწის სხვადასხვა ადგილას შეიძლება წელიწად-ნახევარში ერთხელ მოხდეს, ერთსა და იმავე ადგილას კი – 200-300 წელიწადში ერთხელ.

თუ დედამიწის გარშემო მთვარის მოძრაობისას მთვარესა და მზეს შორის დედამიწა აღმოჩნდება, მაშინ მთვარე დედამიწის ჩრდილში ექცევა. ეს ასტრონომიული მოვლენა **მთვარის დაბნელების** სახელითაა ცნობილი (სურ. 3.2.14).

დაბნელების ამ დროს მთვარე ჩანს და თანაც მეწამული წითელი დისკოს სახით (სურ. 3.2.15). რატომ? ამის მიზეზს მოგვიანებით თავად მიხვდები.

3.2.7. ფერადი ჩრდილები

ფერადი ჩრდილების მისაღებად დაგჭირდება: სამი სხვადასხვა ფერის (წითელი, მწვანე, ლურჯი) ნათურა და თეთრი ეკრანი (კედელი).

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ჩააბნელე ოთახი და სამივე ფერის ნათურა თეთრ კედელზე მიანათე ისე, რომ სამივე მათგანის სინათლე კედლის ერთ ადგილს ეცემოდეს;

2. ნათურები კედლისგან დაახლოებით ერთნაირი მანძილით უნდა იყოს დაშორებული (უკეთესი შედეგის მისაღებად მწვანე ნათურა წითელსა და ლურჯს შორის მოათავსე);

3. არეგულირე ნათურების მდებარეობა ის, რომ ეკრანზე „ყველაზე თეთრი“ ფერის განათება მიიღო (სურ. 3.2.16);

4. მოათავსე ეკრანთან ახლოს გაუმჭვირვალე სხეული (მაგ., ფანქარი) და შეარჩიე მისი მდებარეობა ისე, რომ ეკრანზე სამი მკვეთრი ფერადი ჩრდილი მიიღო (სურ. 3.2.17);

5. გამორთე ერთი რომელიმე ფერის ნათურა: ფანქარი კვლავ ამოძრავე ეკრანის მიმართ და დააკვირდი, როგორ იცვლება ჩრდილების ფერები.

როცა ეკრანი სამივე ფერის სინათლითაა განათებული, მას თეთრად აღვიქვამთ (ეს მხედველობის ფიზიოლოგიური თავისებურებაა და ამ მოვლენას ბიოლოგია ხსნის).

თუ ეკრანის რომელიმე უბანზე „სითეთრეს“ ერთ-ერთი ფერი დააკლდება:

ა) მთლიანად – როცა შესაბამისი ფერის ნათურას გამორთავ;

ბ) ნაწილობრივ – როცა სხეული (ფანქარი) ჩამოეფარება რომელიმე ფერის სინათლეს და მის გარკვეულ ნაწილს არ გაატარებს;

მაშინ ეკრანის მოცემული უბანი „სითეთრეს“ დაკარგავს და ეკრანზე ფერადი უბანი ჩნდება – ეს **ჩრდილია,** ადგილი, სადაც სინათლის გარკვეული ნაწილი არ მიდის.

თუ კედლის რომელიმე ადგილას წითელი სინათლე ვერ აღწევს, იმ ადგილას ჩრდილის ფერი ცისფერისა და მწვანე ფერის ნაზავია. იქ სადაც მწვანე სინათლე არ ეცემა, „თეთრს ფერს “ მწვანე გამოაკლდება და ჩრდილის ფერი წითლისა და ლურჯის ნაზავი იქნება და ა.შ... **ფერების შერევას შეგიძლია დააკვირდე ვირტუალურ ლაბორატორიაში:**

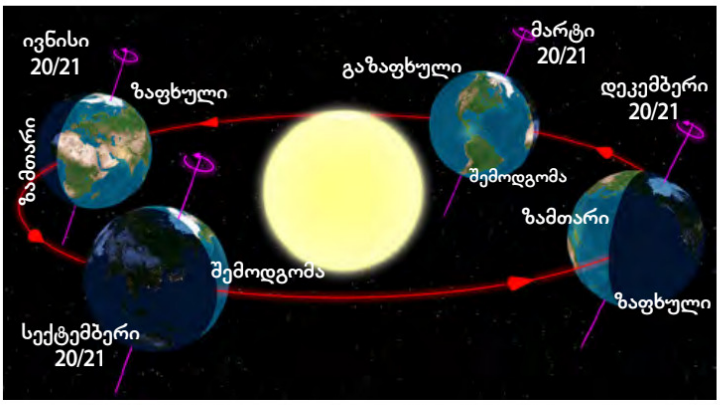
http://bitly.ws/AiGi

http://bitly.ws/AiGb

Do not copy

3.3 სინათლის არეკვლა

დედამიწელებისთვის ყველაზე მნიშვნელოვანი ვარსკვლავი **მზეა** – ის ჩვენს პლანეტას სიცოცხლისთვის აუცილებელი სინათლითა და სითბოთი ამარაგებს. მზის მოძრაობა ცაზე იწვევს დღისა და ღამის, წელიწადის დროების (სეზონების) პერიოდულ მონაცვლეობასა და კლიმატის ცვლილებას.



სურ. 3.3.1. *წელიწადის სეზონები ჩრდ. ნახევარსფეროში*

გაზაფხულის, ზაფხულის, შემოდგომისა და ზამთრის პერიოდული მონაცვლეობა ბუნების მუდმივად განმეორებადი მოვლენაა. წელიწადის თითოეული დრო (სეზონი) განსაკუთრებული კლიმატური პირობებითა და დღე-ღამის განსხვავებული ხანგრძლივობით ხასიათდება. ამასთან, დედამიწის სხვადასხვა კუთხეში თითოეული სეზონი სხვადასხვა დროს იწყება (სურ. 3.3.1). მაგ., ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ზამთარი **ზამთრის მზებუდობისას** (21-22 დეკემბერს, როცა დღე ყველაზე ხანმოკლეა) იწყება, ზაფხული კი – **ზაფხულის მზებუდობისას** (20-21 ივნისს, როცა დღე ყველაზე ხანგრძლივია).

გაზაფხული და შემოდგომა კი იმ დროს იწყება, როცა დღისა და ღამის ხანგრძლივობა ერთმანეთს უტოლდება, ანუ შესაბამისად, გაზაფხულისა (20-21 მარტი) და შემოდგომის (22-23 სექტემბერი) **ბუნიობის** დროს.

სამხრეთ ნახევარსფეროში კი პირიქითაა. მაგ., ავსტრალიაში ზამთარი 20-21 ივნისს იწყება, ხოლო ზაფხული – 21-22 დეკემბერს.

რა არის წელიწადის სეზონების ცვლილების მიზეზი? შენ იცი, რომ დედამიწა მზის გარშემო ოდნავ გაწელილ წრიულ ორბიტაზე, **ელიფსზე,** მოძრაობს. მზე ელიფსის ერთერთ ფოკუსშია (და არა მის ცენტრში) და ამის გამო დედამიწიდან მზემდე დაშორება პერიოდულად იცვლება: იანვრის დასაწყისში მათ შორის 147,1 მლნ. კმ-ია, ხოლო ივლისის დასაწყისში მანძილი 152,1 მლნ.კმ-მდე იზრდება. ასე რომ, **წელიწადის თბილი სეზონიდან ცივზე გადასვლა (ან პირიქით) დამოკიდებული არ არის იმაზე, დედამიწა შორდება თუ უახლოვდება მზეს:** დედამიწა მზესთან ყველაზე ახლოს იანვარშია და ყველაზე დაშორებული – ივნისში.

გარდა იმისა, რომ დედამიწა მზის გარშემო ორბიტაზე მოძრაობს, ის საკუთარი ღერძის გარშემოც მოძრაობს. დედამიწის ღერძი წარმოსახვითი წრფეა, რომელიც მის პოლუსებზე გადის და მზის გარშემო ორბიტის სიბრტყისადმი დახრილია (ვერტიკალიდან $23{,}27^0$-ითაა გადახრილი). **დედამიწის ღერძი მუდმივად პოლარული ვარსკვლავისკენაა მიმართული და და მისი დახრილობა მზის გარშემო მოძრაობისას არ იცვლება.**

დააკვირდი 3.3.1 სურათს: მასზე გამოსახული **დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფერო:**

ა) **ივნისში მზისკენაა გადახრილი.** ის მეტად თბება, ვიდრე ამ დროს სამხრეთ ნახევარსფერო. დღის განმავლობაში მზის სინათლით გაცილებით დიდხანსაა განათებული, ვიდრე ზამთრის სეზონზე (დღე ივნისში უფრო ხანგრძლივია);

ბ) **დეკემბერში მზიდან საპირისპირო მხარესაა გადახრილი.** ის ნაკლებად თბება, ვიდრე ამ დროს სამხრეთ ნახევარსფერო. დღის განმავლობაში ჩრდილოეთ ნახევარსფერო მზის სინათლით შედარებით ხანმოკლე დროის განმავლობაშია განათებული (დღე დეკემბერში უფრო ხანმოკლეა) (სამხრეთ ნახევარსფეროსთვის კი პირიქითაა).

ნახე ვიდეო: http://bitly.ws/AiHL

Don't copy

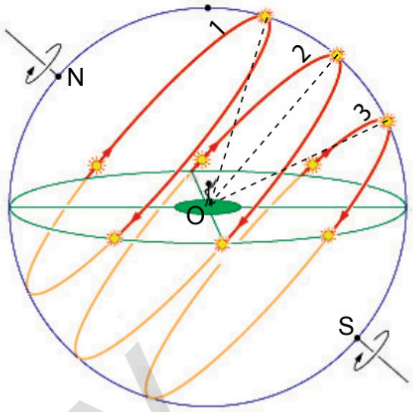
რატომ განსხვავდება დღის ხანგრძლივობა წელიწადის სხვადასხვა დროს? ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს მაცხოვრებლები (მათ შორის ჩვენც) მზის ყოველდღიურ მოძრაობას ცის თაღზე ზუსტად ისე აღვიქვამთ, როგორც ეს 3.3.2 სურათზეა გამოსახული: მზე აღმოსავლეთიდან ამოდის და დასავლეთით ჩადის, მაგრამ წელიწადის სხვადასხვა დროს, ცაზე ჩვენგან დანახული **მზის გზა** განსხვავებულია.

3.3.2 სურათზე გამოსახულია მზის სამი გზა ცის თაღზე:

1 – ივნისის მზებუდობისას;

2 – ბუნიობის დროს;

3 – დეკემბრის მზებუდობისას.



სურ. 3.3.2

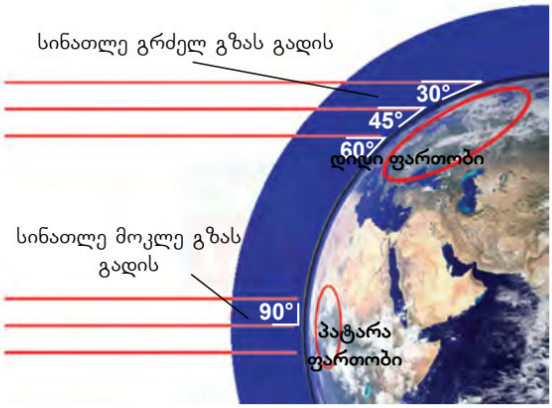
ბუნიობის დროს მზე თავისი გზის (2) ნახევარს ჰორიზონტის ზევით გადის, ანუ ამ დროს ჩრდილოეთისა და სამხრეთის ნახევარსფეროებზე დღის ხანგრძლივობა ერთნაირია.

ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ზაფხულში მზე გზის დიდ ნაწილს ჰორიზონტის ზევით გადის (1). ამ დროს ჩრდილოეთ ნაწილში დღე უფრო გრძელია, ვიდრე სამხრეთ ნახევარსფეროზე. ზამთარში კი – პირიქითაა (3).

დედამიწის ზედაპირი მზისგან ენერგიას მხოლოდ დღისით იღებს. ასე რომ, **დღის ხანგრძლივობაზეა დამოკიდებული წელიწადის განსხვავებულ დროს დედამიწის გათბობა.**

გარდა ამისა...

დღის ხანგრძლივობის დამატებითი საათები ერთ-ერთი მიზეზია იმისა, თუ რატომაა მეტი სითბო ზაფხულში, ვიდრე – ზამთარში. არსებობს მეორე, გაცილებით მნიშვნელოვანი მიზეზი – ეს **დედამიწის ზედაპირზე მზის სხივების დაცემის კუთხეა.** გეოგრაფიაში მზის სინათლის **დაცემის კუთხედ** იმ კუთხეს მიიჩნევენ, რომელსაც მზის სხივები დედამიწის ზედაპირთან ქმნის (სურ. 3.3.3).



სურ. 3.3.3

დააკვირდი 3.3.2 სურათს: შუადღისას მზე ივნისში გაცილებით მაღლაა, ვიდრე დეკემბერში. ივნისში მზის სხივები დედამიწის ზედაპირს (O წერტილს) თითქმის პირდაპირ ეცემა ($\alpha \approx 90°$), დეკემბერში კი სინათლის დაცემის კუთხე ნაკლებია ($\alpha < 90°$).

დააკვირდი 3.3.3 სურათს: როცა დედამიწის ზედაპირს სინათლე თითქმის პირდაპირ ეცემა (ატმოსფეროში ნაკლებ გზას გადის და ნაკლებად შთაინთქმევა), სინათლის ენერგია გაცილებით მცირე ფართობზე გადანაწილდება, ვიდრე მაშინ, რომ სინათლე პატარა კუთხით ეცემა (იგულისხმება, რომ ორივე შემთხვევაში დაცემული სინათლის ენერგია ერთნაირია). ეს კი იმას ნიშნავს, რომ დიდი კუთხით დაცემისას დედამიწის ზედაპირი მეტად თბება.

როცა წელიწადის სხვადასხვა დროს, ღერძის დახრილობის გამო, ჩრდილოეთ (ან სამხრეთ) ნახევარსფერო მზისკენ მიქცეული აღმოჩნდება, მზის სინათლე ასეთ შემთხვევაში დედამიწის ზედაპირის ცალკეულ უბნებს მაქსიმალურად შესაძლო კუთხით ეცემა. ცხადია, ეკვატორთან ახლოს დაცემის კუთხე მეტია და თანდათან მცირდება პოლუსებისკენ.

Don't copy

ჩვენი პლანეტის სფერული ფორმის გამო, წელიწადის ერთსა და იმავე დროს ერთსა და იმავე ნახევარსფეროზე, სინათლის დაცემის კუთხე სხვადასხვა განედზე განსხვავებულია: ეკვატორზე წელიწადის ნებისმიერ დროს, მზის სხივები 90^0-იანი კუთხით ეცემა. შესაბამისად, ეკვატორზე დედამიწის ზედაპირი მთელი წლის განმავლობაში ძალიან თბება და, ფაქტობრივად, იქ სულ ზაფხულია (ერთმანეთს მხოლოდ მშრალი და სველი სეზონები ენაცვლება).

მზის სინათლის დაცემის კუთხე ეკვატორზე მაქსიმალურია და ეკვატორიდან პოლუსებისკენ თანდათან იკლებს. თუ სინათლის დაცემის კუთხე 0^0-ის ტოლია, ეს იმას ნიშნავს, რომ სხივი დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ გასრიალდება და მას თითქმის არ გაათბობს. სწორედ ასეთი კუთხით ეცემა მზის სინათლე ჩრდილო და სამხრეთ პოლუსს.

დედამიწის ზედაპირის მზის სინათლით განათება და გათბობა პროპორციულადაა დამოკიდებულია არა მარტო დღის ხანგრძლივობაზე, არამედ მზის **სინათლის სხივების დაცემის კუთხეზე**.

ფიზიკაში სინათლის სხივის დაცემის კუთხე სხვაგვარად განისაზღვრება, თუმცა ეს ხელს არ უშლის, რომ შევაფასოთ მზის სხივების დახრის კუთხის მნიშვნელობა წელიწადის სეზონების ცვლილებისას სინათლისა და სითბოს განაწილებაში. რა არის სინათლის დაცემის კუთხე, როგორ არის მასზე დამოკიდებული სინათლის ზოგიერთი მოვლენა, ამ და მომდევნო პარაგრაფებში გაეცნობი.

3.3.1. ზოგიერთი ტერმინი გეომეტრიულ ოპტიკაში

შენ იცი, რომ **ერთგვაროვან გარემოში სინათლის სხივი წრფივად ვრცელდება**. მას შემდეგ, რაც მოცემული გარემოსა (მაგ., ჰაერისა) და სხვა გარემოს (მაგ., წყლის) **გამყოფ საზღვარს** მიაღწევს, **სინათლის სხივი ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე მიმართულებას იცვლის** (სურ.3.3.4): სინათლის ნაწილი (ან მთლიანად) ბრუნდება ისევ I გარემოში (ამ მოვლენას **სინათლის არეკვლა** ჰქვია), ნაწილი კი II გარემოში გადადის და გავრცელების მიმართულებას იცვლის – **გარდატყდება** (ამ მოვლენას **სინათლის გარდატეხა** ჰქვია). შესაბამისად, გვექნება სინათლის სამი სხივი: **დაცემული**, **არეკლილი** და **გარდატეხილი.**

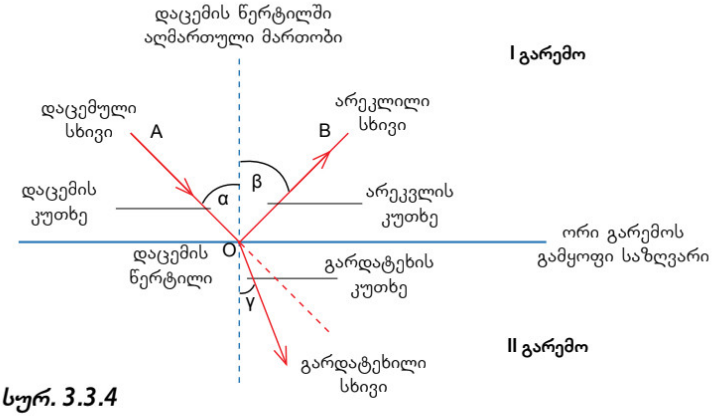
დააკვირდი 3.3.4 სურათს:

კუთხეს (α), დაცემულ სხივსა და ორი გარემოს გამყოფი საზღვრისადმი დაცემის წერტილში აღმართულ მართობს შორის, სინათლის სხივის **დაცემის კუთხე** ჰქვია.

კუთხეს (β), არეკლილ სხივსა და ორი გარემოს გამყოფი საზღვრისადმი დაცემის წერტილში აღმართულ მართობს შორის, სინათლის სხივის **არეკვლის კუთხე** ჰქვია.

კუთხეს (γ), გარდატეხილ სინათლის სხივსა და ორი გარემოს გამყოფი საზღვრისადმი დაცემის წერტილში აღმართულ მართობს შორის, სინათლის სხივის **გარდატეხის კუთხე** ჰქვია.

გეომეტრიულ ოპტიკაში სინათლის გავრცელებას აკვირდებიან ხელსაწყოთი, რომელსაც **ოპტიკური დისკო** ჰქვია (სურ. 3.3.5).



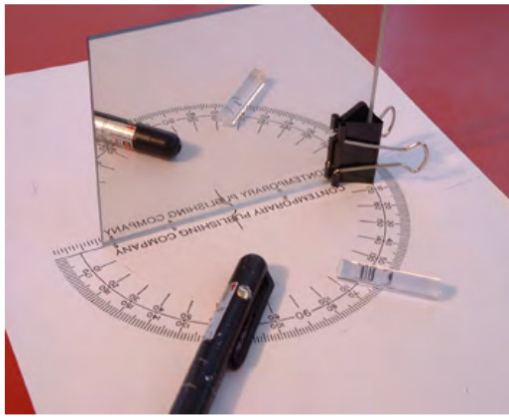
სურ. 3.3.4



სურ. 3.3.5

Don't copy

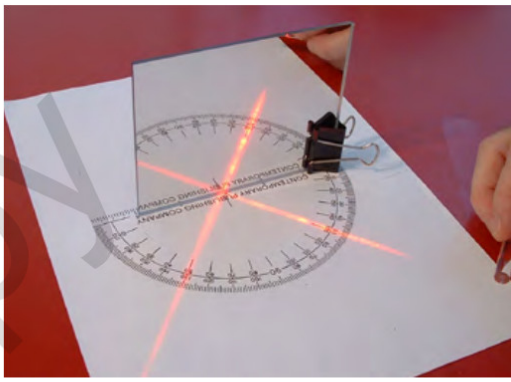
ოპტიკური დისკო დაგრადუირებული თეთრი ფერის დისკოა, რომლის კიდეზე მოძრავი სინათლის წყაროა დამაგრებული. წყაროდან სინათლის ვიწრო კონა დისკოს ცენტრში დამაგრებულ სარკეს (ან ლინზას) ეცემა. ოპტიკური დისკოს დამზადება მარტივადაა შესაძლებელი: ამისთვის მხოლოდ ტრანსპორტირი, სარკე (ან ლინზა) და სინათლის წყარო (ლაზერის მაჩვენებელი) დაგჭირდება (სურ. 3.3.6).



სურ. 3.3.6

3.3.2. სინათლის არეკვლის კანონები

სინათლის არეკვლის მოვლენა გარკვეული კანონზომიერებებით ხასიათდება. ჩაატარე ცდა და დააკვირდი, როგორ აირეკლება სინათლე ორი გარემოს გამყოფი საზღვრიდან.



სურ. 3.3.7

ცდა I

1 . მიმართე ლაზერის სხივი ოპტიკური დისკოს ცენტრში (ან ფურცელზე) დამაგრებული სარკის ცენტრისკენ ისე, რომ

ა) დაცემული სხივი დისკოს (ფურცლის) სიბრტყეში მდებარეობდეს (სურ. 3.3.7);

ბ) სხივის სარკეზე დაცემის α კუთხე 3.3.1 ცხრილში მოცემულ მნიშვნელობებს უტოლდებოდეს;

2. დააკვირდი სარკიდან არეკლილ სხივს:

ა) როგორ ფიქრობ, გამოჩნდებოდა თუ არა არეკლილი სხივის კვალი დისკოზე (ფურცელზე), თუ სინათლის სხივის დაცემა და არეკვლა სხვადასხვა სიბრტყეში მოხდებოდა (და არა დისკოს ან ფურცლის სიბრტყეში)?

ბ) გაზომე დაცემის კუთხის თითოეული მნიშვნელობისთვის არეკვლის β კუთხე;

ცხრილი 3.3.1

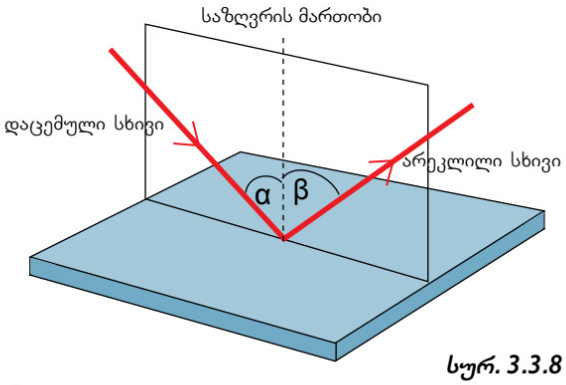
α	0°	15°	30°	45°	60°	90°
β						

3. გადაიხაზე სამუშაო რვეულში 3.3.1 ცხრილი და შეავსე

4. გამოიტანე დასკვნა: რა დამოკიდებულება არსებობს დაცემისა და არეკვლის კუთხეებს შორის?

Don't copy
არ ჩაწერო წიგნში

სინათლის არეკვლის კანონი, ისევე როგორც წრფივი გავრცელების, **ევკლიდეს** მიერ იყო დადგენილი. ექსპერიმენტების საფუძველზე შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ **სინათლის არეკვლის კანონი,** რომელიც სამართლიანია ნებისმიერი (მექანიკური, ელექტრომაგნიტური) ტალღისთვის და მას ნებისმიერი ზედაპირიდან სინათლის (ტალღის) არეკვლა ემორჩილება (სურ.3.3.8):



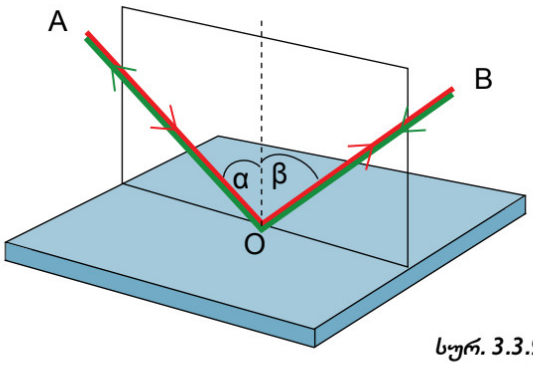
სურ. 3.3.8

1. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემული სხივი, არეკლილი სხივი და დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობს (არეკვლის I კანონი);

2. არეკვლის კუთხე დაცემის კუთხე ტოლია (არეკვლის II კანონი):

$$\alpha = \beta$$

დაცემული და არეკლილი სხივები შექცევადია (სურ. 3.3.9): თუ ლაზერის სხივს „არეკლილი“ სხივის გასწვრივ, მის საპირისპიროდ (BO მიმართულებით) მივმართავთ, მაშინ ის „დაცემული“ სხივის გასწვრივ აირეკლება (OA მიმართულებით).



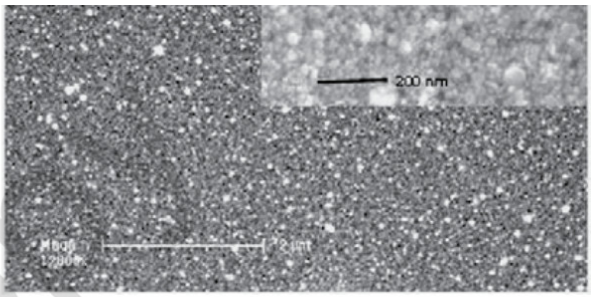
სურ. 3.3.9

დააკვირდი:

1. როცა სინათლის სხივის დაცემის კუთხე ნულის ტოლია, არეკვლის კუთხეც ნულს უტოლდება: თუ $\alpha = 0$, მაშინ $\beta = 0$;

2. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემის წერტილში აღმართული მართობი დაცემულსა და არეკლილ სხივებს შორის კუთხის ბისექტრისაა.

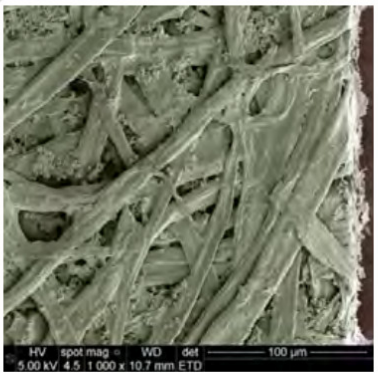
3.3.3. სარკული და დიფუზიური არეკვლა



სურ. 3.3.10

ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე სინათლის არეკვლას განსხვავებული ხასიათი აქვს, იმის მიხედვით, თუ როგორია თავად ზედაპირი – **სარკულია** (გლუვია) თუ **მქისეა** (არაგლუვია).

თუ ელექტრონული მიკროსკოპით სხეულების ზედაპირებს დაათვალიერებ, აღმოაჩენ, რომ გლუვი, ე.წ. სარკული ზედაპირებიც კი უსწორმასწოროა. თუმცა ცხადია, სხვადასხვა ზედაპირების უსწორმასწოროობათა ზომები განსხვავებულია. 3.3.10 სურათზე ელექტრონულ მიკროსკოპში გადაღებული ვერცხლის სარკის ზედაპირი ჩანს, 3.3.11 სურათზე კი იმავე მიკროსკოპში ისეთივე გადიდების დროს დანახული ჩვეულებრივი ფურცლის ზედაპირია გამოსახული.



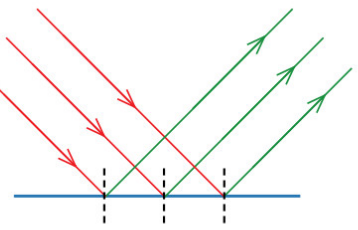
სურ. 3.3.11

გაიხსენე: ხილული სინათლის ტალღის სიგრძე 380-დან 780 ნმ-დე დიაპაზონშია.

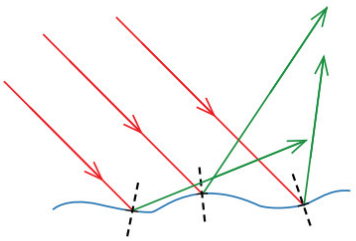
თუ ზედაპირზე უსწორმასწოროობათა ზომები სინათლის ტალღის სიგრძეზე ნაკლებია, ასეთ ზედაპირს **გლუვი** ან **სარკული ზედაპირი** ჰქვია. მაგ., სარკული ზედაპირები აქვს ვერცხლისწყლის წვეთს, სარკეს, მინას, ზედმიწევნით გაპრიალებულ ლითონს და ა.შ.

თუ ზედაპირზე უსწორმასწოროობათა ზომები სინათლის ტალღის სიგრძეზე მეტია, ასეთ ზედაპირს **არაგლუვი** ან **მქისე ზედაპირი** ჰქვია. მქისე ზედაპირი აქვს ჩვენ გარშემო სხეულების აბსოლუტურ უმრავლესობას (ყველა იმ სხეულს, რომელსაც არ აქვს სარკული ზედაპირი).

ა)



ბ)

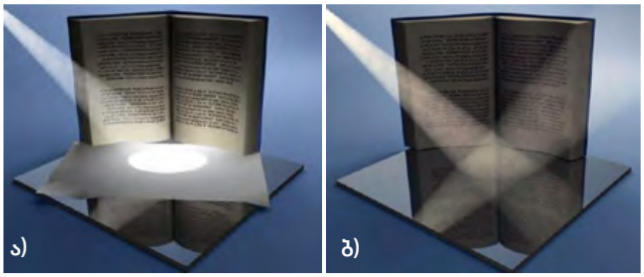

სურ. 3.3.12

თუ სინათლის პარალელური სხივთა კონა ეცემა ბრტყელ ზედაპირს, რომელიც:

ა) სარკულია, მაშინ მისგან არეკლილი სხივები კვლავ ერთმანეთის პარალელურად გავრცელდება. ასეთ არეკვლას **სარკული არეკვლა** ჰქვია (სურ.3.3.12, ა);

ბ) მქისეა (არაგლუვია), მაშინ მისგან არეკლილი სხივები ერთმანეთის პარალელური არ იქნება. უსწორმასწორო ზედაპირი მათ გააბნევს: არეკლილი სხივები ყველა მიმართულებით გავრცელდება. ეს **გაბნეული (დიფუზიური) არეკვლაა** (სურ.3.3.12, ბ).

Don't copy



სურ. 3.3.13. გაბნეული (ა) და სარკული (ბ) არეკვლა



სურ. 3.3.14. გაბნეული (ა), სარკული (ბ) არეკვლა

(3.3.12 სურათზე არეკლილი სხივები არეკვლის კანონის გათვალისწინებითაა აგებული). სწორედ **გაბნეული (დიფუზიური) არეკვლის დამსახურებაა ის, რომ ჩვენ ვხედავთ სხეულებს,** რომლებიც სინათლეს თავად არ ასხივებს: მაგ., ფურცელს (სურ. 3.3.13, ა), წყლის ზედაპირს (სურ.3.3.14, ა). მცირე გაბნევას მაშინაც კი აქვს ადგილი, როცა არეკვლა, თუნდაც ყველაზე გლუვი ზედაპირიდან (მაგ., სარკიდან, წყლის ზედაპირიდან), ხდება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ჩვენ სარკის და წყლის ზედაპირს ვერ დავინახავდით (სურ. 3.3.13, ბ; 3.3.14, ბ).

რა მოხდებოდა მაშინ თუ ყველა ზედაპირი სარკული იქნებოდა? ყველა მათგანში საკუთარ და სხვა სხეულების **ანარეკლს, გამოსახულებას** დავინახავდით, რაც სულ მცირე, სივრცეში ჩვენს ორიენტირებას ძალიან გაართულებდა.

უქარო ამინდში ტბის წყალში სხეულების **ანარეკლს, გამოსახულებას** ვხედავთ (სურ.3.3.14, ბ). რატომ ვერ ვხედავთ სხეულთა ანარეკლს თოვლში, ქაღალდსა ან ასფალტზე? ამის ერთ-ერთ მიზეზად შეიძლება ისიც მივიჩნიოთ, რომ სარკე დაცემულ სინათლეს კარგად აირეკლავს. თუმცა თოვლი და თეთრი ქაღალდიც აირეკლავს დაცემული სინათლის საკმაოდ მნიშვნელოვან ნაწილს (85%-მდე). მაშ რატომ ვერ ვხედავთ სხეულების გამოსახულებებს მათში?

ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად ჯერ გავარკვიოთ, როგორ მიიღება სხეულის გამოსახულება **ბრტყელ სარკეში,** ანუ სარკეში, რომლის ზედაპირი სიბრტყეს წარმოადგენს.

3.3.4. გამოსახულება ბრტყელ სარკეში

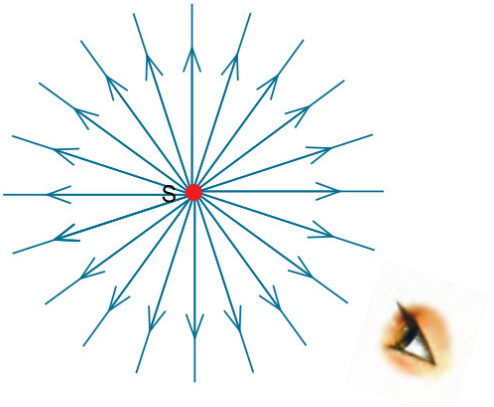
განვიხილოთ, **როგორ ვხედავთ სხეულს, რომელიც სინათლითაა განათებული** (ან თავადაა სინათლის წყარო). გაითვალისწინე:

1. ნებისმიერი ხილული სხეული შეიძლება განვიხილოთ, როგორც **უამრავი წერტილოვანი სინათლის წყაროს ერთობლიობა,** რომელთაგან თითოეული საკუთარ ან არეკლილ სინათლეს ასხივებს;

2. თითოეული წერტილოვანი წყაროდან სინათლე **განშლადი კონის** სახით ვრცელდება: სინათლის სხივები წყაროდან ყველა მიმართულებით ვრცელდება (სურ.3.3.15).

3. სხივების ნაწილი ხვდება თვალში და **ჩვენ წერტილოვან წყაროს იმ ადგილას აღვიქვამთ,** საიდანაც სხივები გამოდის, ანუ იმ წერტილში, **რომელშიც ჩვენს თვალში მოხვედრილი სხივები იკვეთება;**

4. ჩვენ მიერ აღქმული ცალკეული **წერტილების ერთობლიობა** თვალში **მთლიანი სხეულის გამოსახულებას ქმნის (** ანუ ჩვენ მთლიან სხეულს ვხედავთ).



სურ. 3.3.15

გავარკვიოთ, რატომ ხედავს თვალი სხეულს სარკეში, იქ, სადაც სხეული სინამდვილეში არ არის, ანუ **როგორ მიიღება სხეულის გამოსახულება**

Don't copy

სარკეში? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად განვიხილოთ, როგორ მიიღება სხეულის გამოსახულება **ბრტყელ სარკეში.**

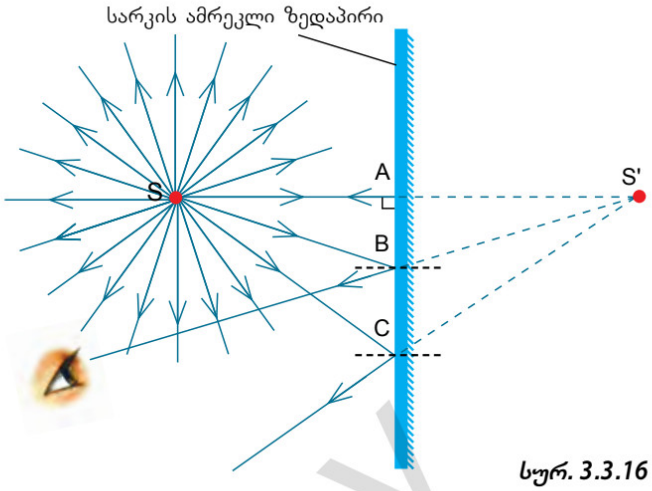
განვიხილოთ, როგორ მიიღება ერთი წერტილის (წერტილოვანი სინათლის S წყაროს) **გამოსახულება ბრტყელ სარკეში** (სურ. 3.3.16):

S-წერტილოვანი წყაროდან სინათლის სხივები ყველა მიმართულებით ვრცელდება და მათი ნაწილი სარკის ამრეკლ ზედაპირსაც ეცემა;

გამოვყოთ მათგან ნებისმიერი სამი SA, SB, SC სხივი.

თითოეული მათგანი სარკიდან არეკვლის კანონის თანახმად აირეკლება (დაცემის კუთხე არეკვლის კუთხის ტოლია).

არეკვლის შემდეგ სხივები განშლადი კონის სახით გავრცელდება და ხვდება დამკვირვებლის თვალშიც.



სურ. 3.3.16

არეკლილი სხივების გაგრძელებები სარკის მეორე (წარმოსახვით) მხარეს **ერთ წერტილში** (S') გადაიკვეთება.

დამკვირვებელი აღიქვამს, რომ **განშლადი სხივები, რომლებიც მის თვალში ხვდება, S' წერტილიდან გამოდის და, შედეგად, სინათლის წყაროს (S წერტილს) იმ ადგილას ხედავს, სადაც ის სინამდვილეში არ არსებობს** – ეს მხედველობის „შეცდომაა“, მხედველობითი, ანუ **ოპტიკური ილუზიაა.**

S' წერტილი S წერტილის წარმოსახვითი გამოსახულებაა: S' წერტილში იკვეთება არა რეალური სხივები, არამედ მათი წარმოსახვითი გაგრძელებები (წარმოსახვით წერტილებში სინათლის ენერგია არ მიდის).

სარკეში მიღებული წარმოსახვითი წერტილების ერთობლიობა მთლიანობაში სხეულის წარმოსახვით გამოსახულებას ქმნის. თუ გამოსახულება რეალური სხივების გადაკვეთის შედეგად მიიღება, მაშინ **გამოსახულება ნამდვილია:** ნამდვილ წერტილებში სინათლის ენერგია კონცენტრირდება.

ცდა II

1. მოათავსე მინის ფირფიტის წინ ანთებული სანთელი და დააკვირდი მინაში სანთლის გამოსახულებას (სურ. 3.3.17);

2. სთხოვე მეგობარს, რომ მინის მეორე მხარეს, იქ, სადაც სანთლის ალი ჩანს, ალის გამოსახულებასთან თითი მიიტანოს (შენ მინას ანთებული სანთლის მხრიდან უყურებ და მეგობარს კარნახობ, რა მიმართულებით გადაადგილოს თითი, რომ მისი მდებარეობა ალის გამოსახულებას დაემთხვეს);

ცხადია, მეგობარი სითბოს ოდნავაც ვერ იგრძნობს: **სანთლის ალის გამოსახულება წარმოსახვითია, იქ სინათლის ენერგია არ მიდის.**

3. სთხოვე მეგობარს, მინის მეორე მხარეს ისეთივე, ოღონდ ჩამქრალი სანთელი ისე მოათავსოს, რომ მისი მდებარეობა ანთებული სანთლის გამოსახულებას დაემთხვეს;

გაზომე და შეადარე ერთმანეთს მანძილები, ანთებული სანთლიდან მინამდე და მინიდან – ჩამქრალ სანთლამდე (ანუ გამოსახულებამდე).



სურ. 3.3.17

Don't copy

დააკვირდი 3.3.16 სურათს:

ASB და AS'B მართკუთხა სამკუთხედებში AB კათეტი საერთოა და < ASB = < AS'B

ე.ი. ΔASB = ΔAS'B) ⇒ AS = AS', ანუ **S' და S წერტილები AC წრფის (სარკის სიბრტყის) მიმართ სიმეტრიული წერტილებია** (ანალოგიურად მტკიცდება, სხვა სხივების შემთხვევაშიც).

შეგვიძლია დავასკვნათ:

1. სინათლის S წყაროდან ბრტყელ სარკეზე დაცემული ნებისმიერი სინათლის სხივი არეკვლის შემდეგ ისე ვრცელდება, რომ მისი წარმოსახვითი გაგრძელება აუცილებლად S' წერტილში გაივლის (ანუ სარკიდან არეკლილი ყველა სხივის წარმოსახვითი გაგრძელება ერთ წერტილში იკვეთება);

2. იმისთვის, რომ ბრტყელ სარკეში სხეულის გამოსახულება ავაგოთ, აუცილებელი არ არის არეკლილი სხივების აგება და მათი გაგრძელებების გადაკვეთის წერტილის პოვნა.

ბრტყელ სარკეში გამოსახულების ასაგებად საკმარისია, რომ სხეულის ზოგიერთი წერტილი სარკის მიმართ სიმეტრიულად გადაიტანო.

ბრტყელ სარკეში სიმეტრიულად მიღებული წერტილების ერთობლიობა ქმნის **სხეულის გამოსახულებას**, რომელიც ისეთივე ზომისაა, როგორც თავად სხეული (სურ. 3.3.18).

შევაჯამოთ:

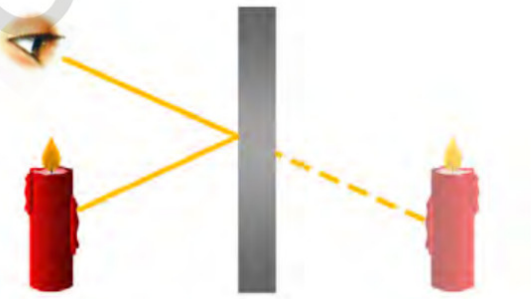
სხეულის გამოსახულება ბრტყელ სარკეში (სურ. 3.3.18):

1. წარმოსახვითია;

2. პირდაპირია (შებრუნებული არ არის);

3. ზომით ზუსტად ისეთივეა, როგორც თავად სხეული (ნატურალური ზომისაა);

4. მიიღება სარკიდან იმავე მანძილზე, რა მანძილზეც სხეულია სარკიდან დაშორებული.



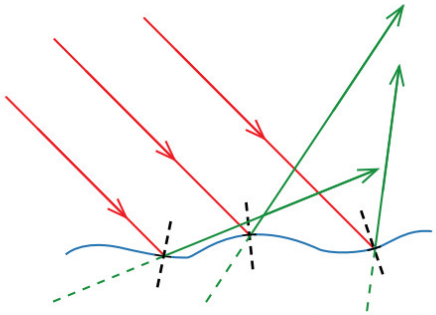
სურ. 3.3.18

დააკვირდი საკუთარ გამოსახულებას ბრტყელ სარკეში: ის **თითქმის** ისეთივეა, როგორიც თავად შენ ხარ და **თითქმის** ისე „იქცევა“, როგორც შენ. რატომ **თითქმის**? თუ შენ მარჯვენა ხელს მაღლა აწევ, სარკეში გამოსახულება მარცხენას „აწევს“. ასეთ გამოსახულებას **სარკული ანარეკლი** ჰქვია. **სარკული არეკვლისას: მარცხენა – მარჯვენა გადანაცვლებულია.**

ახლა კი დავუბრუნდეთ კითხვას: **რატომ ვერ ვხედავთ გამოსახულებებს თოვლში, ქაღალდზე ან ასფალტზე?** არასარკულ ზედაპირზე სინათლის დაცემისას ზედაპირის უსწორმასწორობებიდან სხივები ისე აირეკლება, რომ ყველა მათგანის წარმოსახვითი გაგრძელებები ერთ წერტილში არ გადაიკვეთება (სურ.3.3.19) და, შესაბამისად, არასარკულ ზედაპირში გამოსახულება არ მიიღება. **გაბნეული არეკვლის დამსახურებით ჩვენ ვხედავთ თოვლს, ქაღალდს (ან ნებისმიერ არასარკულ ზედაპირს) და არა – სხვა სხეულების ანარეკლს მათში.**

3.3.5. ხედვის არე

ზოგჯერ სარკეში საკუთარ გამოსახულებას მთლიანად ვხედავთ, ზოგჯერ ნაწილობრივ, ზოგჯერ კი შეიძლება გამოსახულება ვერც დავინახოთ. **ხედვის არე, ანუ სივრცის ის ნაწილი, საიდანაც წყაროს გამოსახულება მთლიანად ჩანს სარკეში,** დამოკიდებულია ჩვენ მიმართ სარკის მდებარეობაზე, სარკის ზომაზე.



სურ. 3.3.19

Don't copy

როგორ ავაგოთ ხედვის არე? ვთქვათ, მაგიდაზე მოცემული სიგრძის KL სარკე დევს და მისგან გარკვეულ მანძილზე სინათლის წერტილოვანი S წყარო მდებარეობს (სურ. 3.3.20).

1. ავაგოთ S წერტილის გამოსახულება სარკეში: მოვძებნოთ მისი სიმეტრიული S' წერტილი სარკის სიბრტყის მიმართ. ამისათვის:

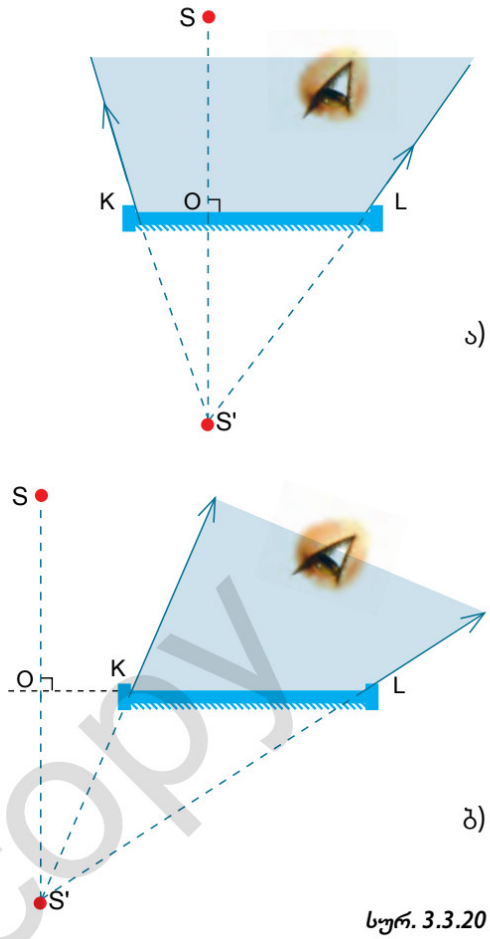
ა) დავუშვათ S წერტილიდან KL სარკეზე SO მართობი;

ბ) გავაგრძელოთ მართობი სარკის „მეორე მხარეს“;

გ) გადავზომოთ მართობის გაგრძელებაზე SO-ს ტოლი OS' მონაკვეთი: SO = OS' (სურ. 3.2.20, ა).

დ) იმ შემთხვევაში, თუ სარკეზე S წერტილიდან მართობი არ დაეშვება, დაუშვი SO მართობი KL წრფეზე (სურ.3.2.20, ბ).

2. მხედველობის არის ასაგებად, შეაერთე S' წერტილი სარკის კიდეებთან და გააგრძელე (სურ.3.2.20). ნახაზზე გაფერადებული არე **ხედვის არეა** – სივრცის ის ნაწილი, რომლის ნებისმიერი წერტილიდან დამკვირვებელი S წერტილის გამოსახულებას (S') სარკეში დაინახავს.



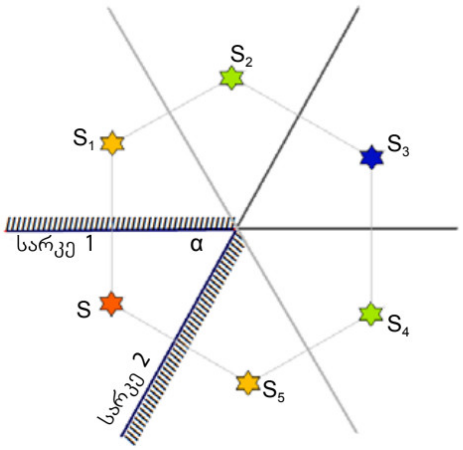
სურ. 3.3.20

3.3.6. გამოსახულება ორ სარკეში

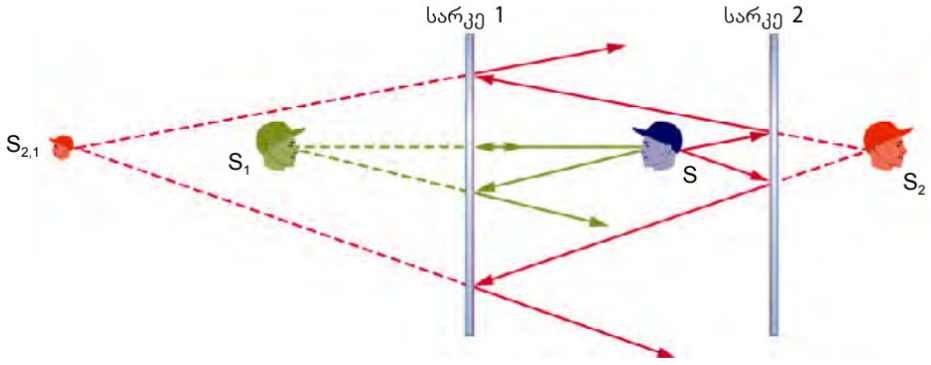
თუ სინათლის წყარო ორ სარკეს შორისაა მოთავსებული, მაშინ სარკეებში **მრავალჯერადი გამოსახულებები** მიიღება (სურ.3.3.23; 3.3.24). **დააკვირდი** 3.3.21 და 3.3.22 სურათებს: ნახაზებზე ჩანს, თუ როგორ მიიღება სხეულის გამოსახულებები ორ სარკეში, როცა სარკეები

ა) ერთმანეთთან α კუთხეს ადგენს (სურ. 3.3.21);

ბ) ერთმანეთის პარალელურია (სურ. 3.3.22).



სურ. 3.3.21



სურ. 3.3.22

Don't copy

თუ ორი სარკე ერთმანეთთან α კუთხეს ქმნის, მაშინ მათ შორის სივრცეში მოთავსებული სინათლის წყაროს (სხეულის) გამოსახულებების რაოდენობა (N) ასე გამოითვლება:

$$N = \frac{360}{\alpha} - 1$$

ამ ფორმულის გამოყენებით შეიძლება გამოთვალო კუთხე, რომელსაც ორი სარკე ერთმანეთთან ქმნის. მაგ., 3.3.23 სურათზე კატის რვა გამოსახულება ჩანს (N = 8). ე.ი. სარკეებს შორის α კუთხე 40°-ია.



სურ. 3.3.23

ორ ან რამდენიმე სარკეში მრავალჯერად არეკვლას ხშირად იყენებენ ინტერიერის დიზაინში და სხვადასხვა მხატვრული კომპოზიციის შექმნისას (სურ.3.3.24).



„უსასრულო“ სარკე



იაიოი კუსამა. „უსასრულო“ სარკეები

სურ. 3.3.24

3.3.7. რა არის ფერი

ფერი – მხედველობითი შეგრძნებაა, რომელსაც ადამიანი მას მერე იღებს, რაც მის თვალში გარკვეული სიხშირის ხილული სინათლე ხვდება. ფერი დამოკიდებულია არა მარტო ელექტრომაგნიტური ტალღის ფიზიკურ მახასიათებელზე (სიხშირეზე), არამედ მხედველობის ფიზიოლოგიურ თავისებურებებსა და ფსიქოემოციურ ფაქტორზეც.

ფერის აღქმა ინდივიდუალურია და მისი ზუსტად განსაზღვრა მხოლოდ იმ შემთხვევაში შეიძლება, თუ ცნობილია იმ ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირე, რომელიც ფერის შეგრძნებას იწვევს.

ხილული სინათლის შემადგენელი სხვადასხვა „ფერის“ ტალღები, მსგავსად სხვა ელექტრომაგნიტური ტალღებისა, განსხვავდება არეკვლის, გარდატეხის, ზედაპირის მიერ მათი შთანთქმის უნარით.

სხეულის ზედაპირი დაცემული სინათლის ნაწილს შთანთქავს, ნაწილს კი აირეკლავს. **სხეულის ზედაპირის ფერი დამოკიდებულია იმაზე, თუ ხილული სინათლის რა ნაწილს შთანთქავს და რა ნაწილს აირეკლავს ზედაპირი.**

გამჭვირვალე სხეულები თითქმის მთელ სინათლეს ატარებს (თითქმის არ შთანთქავს და არ აირეკლავს), ამიტომ მათზე ამბობენ, რომ ის **უფეროა.**

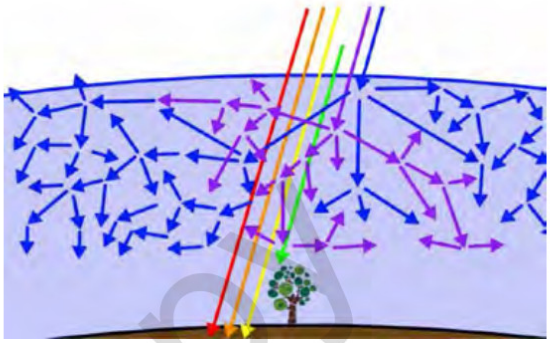
ნახევრადგამჭვირვალე სხეულები ატარებს სინათლის უმეტეს ნაწილს და შეფერადებულად აღვიქვამთ მაშინ, თუ ის გარკვეული სიხშირის სინათლეს გააბნევს.

რატომაა ცა ცისფერი? 1871 წელს, ინგლისელმა ფიზიკოსმა **ჯონ რელეიმ** დაადგინა, რომ **გაბნეული სინათლის ენერგია (ინტენსივობა) პროპორციულია სინათლის სიხშირის მეოთხე ხარისხისა.**

Don't Copy

რელეის კანონის თანახმად, რაც უფრო მეტია სინათლის ტალღის სიხშირე (მაგ., ხილული სპექტრის ცისფერი, ლურჯი და იისფერი სხივების შემთხვევაში), მით უფრო მეტად განიბნევა ის. მას შემდეგ, რაც მზის სინათლე დედამიწის ატმოსფეროში შემოიჭრება, ყველა ფერის სინათლე განიბნევა (აირეკლება ატმოსფეროს შემადგენელი აირების მოლეკულებიდან, მტვრის ნაწილაკებიდან, წყლის წვეთებიდან, ყინულის კრისტალებიდან და ა. შ. და ყველა შესაძლო მიმართულებით გავრცელდება), მაგრამ მოკლეტალღოვანი ხილული სინათლის (ცისფერი, ლურჯი, იისფერი სხივების) შემთხვევაში გაბნეული სინათლის ინტენსივობა მეტია და ამიტომ ცას, ძირითადად, ცისფერი ფერის სხვადასხვა ტონში ვხედავთ (სურ.3.3.25).





სურ. 3.3.25

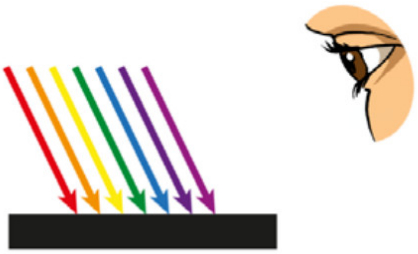
თეთრი ფერის ზედაპირები მთლიანად აირეკლავენ და განაბნევენ ხილული სინათლის დიაპაზონში შემავალ ყველა სიგრძის ტალღას (სურ. 3.2.26). თუ ზედაპირი ნაწილობრივ შთანთქავს მასზე დაცემული ხილული სინათლის შემადგენელ ყველა ფერს, მაშინ მას **ნაცრისფრად აღვიქვამთ**.



სურ. 3.3.26

თუ სხეულის ზედაპირი მთლიანად შთანთქავს ყველა სპექტრულ ფერს (ყველა სიხშირის ელექტრომაგნიტურ ტალღას, რომელსაც ხილული სინათლე მოიცავს), მაშინ მას თვალი **შავ ფერად** აღიქვამს (სურ. 3.2.27).

თუ ზედაპირი უმეტესად წითელი ფერის სინათლეს (ელექტრომაგნიტურ ტალღას, რომლის სიხშირე 400 – 480ტჰც-ია) აირეკლავს, მას წითელ ფერად აღვიქვამთ (სურ. 3.3.28), თუ მხოლოდ მწვანე ფერის სინათლეს (ელექტრომაგნიტურ ტალღას, რომლის სიხშირე 530 – 600 ტჰც-ია) აირეკლავს, მაშინ ზედაპირის ფერს მწვანედ აღვიქვამთ. თუ გარკვეული პროპორციით წითელსა და ყვითელ ფერებს აირეკლავს, მაშინ ზედაპირის ფერს ნარინჯისფრად აღვიქვამთ და ა.შ.



სურ. 3.3.27



სურ. 3.3.28

Don't copy

პროექტი №7: ატმოსფერული მირაჟი

1744 წლის 23 ივნისს, შოტლანდიაში ოცდაშვიდი ადამიანი მოწმე იყო, როგორ მიადგა მათ ქალაქს მტრის ჯარი. ორი საათის განმავლობაში ისინი შორიდან აკვირდებოდნენ მთის ფერდობზე მტერს და ქალაქის მოსახლეობას გახიზვნისკენ მოუწოდებდნენ.



სურ. 1

განგაში ცრუ აღმოჩნდა. ქალაქის შემოგარენში ჯარი ვერსად აღმოაჩინეს. სასამართლოზე ოცდაშვიდივე მოწმემ დაიფიცა, რომ ნამდვილად ხედავდა მოახლოებულ მტერს მანამ, სანამ სრულად არ დაბნელდა.



სურ. 2

1897 წელს ალიასკაზე სამეცნიერო ექსპედიციის წევრებმა ყინულის უდაბნოში, წმინდა ილის მთასთან, შორს, ჰორიზონტზე ქალაქი შენიშნეს. ექსპედიციის წევრები, რომლებიც მკაფიოდ ხედავდნენ სახლებს, ქუჩებს, ხეებს, ირწმუნებოდნენ, რომ ეს ქალაქი **ბრისტოლი** იყო– ბრისტოლი, რომელიც იმ ადგილიდან 2500 მილის მოშორებით, ინგლისში მდებარეობს. ორივე შემთხვევაში ადამიანები **ატმოსფერულ მირაჟს, ოპტიკურ ილუზიას** ხედავდნენ.



სურ. 3

დააკვირდი 1-ელ სურათს: ეს ატმოსფერული მირაჟია. ჰორიზონტზე, ცის ფონზე, ოაზისი ჩანს. ასეთ მირაჟს **ზედა მირაჟს** უწოდებენ. ზედა მირაჟი იშვიათი მოვლენაა და მისი გაჩენა დილაობით ან ცხელი დღის დასასრულს, წყნარ ამინდშია მოსალოდნელი.

არსებობს **ქვედა მირაჟიც**. ის შენც არაერთხელ გინახავს: როცა მშვიდ, უქარო ამინდში თაკარა მზით გავარვარებულ გზაზე მანქანით მგზავრობ, ხშირად შეგინიშნავს, ალბათ, გზაზე სისველე – თითქოს წყალია მასზე დასხმული, მაგრამ მიახლოებისას აღმოაჩენ, რომ სინამდვილეში გზის ის მონაკვეთი მშრალია და სისველე მხოლოდ **მირაჟია.** მე-2 სურათზე სწორედ ასეთი შემთხვევაა გამოსახული: ავტომობილი ნამდვილია, სველი ზედაპირი და მასში არეკლილი ავტომობილები კი მირაჟია – **წარმოსახვითი გამოსახულებაა.**

როცა ატმოსფერული მირაჟი წყლის ზედაპირის ზევით ჩნდება, მას **ფატა მორგანას** უწოდებენ (სურ. 3): ფატა მორგანა („Morgan Le Fay“) კამელოტის მეფის, არტურთან დაკავშირებულ ლეგენდებშია მოხსენიებული „ჯადოქრის“ სახელია (ცხადია, შორეულ წარსულში ატმოსფერულ მირაჟებს ჯადოსნურ ძალებს მიაწერდნენ).

სწორედ ფატა მორგანა უდევს საფუძვლად ლეგენდას ხომალდ-მოჩვენებაზე, რომელსაც „მფრინავ ჰოლანდიელს“ უწოდებენ: გადმოცემის თანახმად, ადამიანები დრო და დრო ჰორიზონტზე, ზღვის ზედაპირის ზევით, აფრებიან ხომალდს ხედავდნენ, რომელიც ნაპირს არასდროს უახლოვდებოდა...

ნახე ვიდეო: http://bitly.ws/AweJ

როგორ წარმოიქმნება ატმოსფერული მირაჟები? სწორედ ამ კითხვაზე მოგიწევს პასუხის გაცემა პროექტის ფარგლებში.

დავალება 1. ჩაატარე ცდა და დააკვირდი მოვლენას, რომელიც ატმოსფეროში მირაჟის წარმოქმნას უდევს საფუძვლად.

Don't copy

ცდა

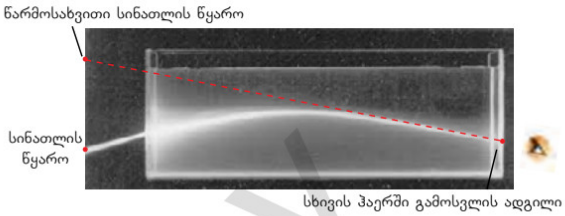


სურ. 4

1. შეავსე აკვარიუმის მეოთხედი სუფთა წყლით და დაამატე წყალში ჭურჭლის სარეცხი სითხე (მცირე რაოდენობით);

2. ჩაუშვი გრძელცხვირიანი ძაბრი აკვარიუმის ფსკერამდე და მისი დახმარებით აკვარიუმის ფსკერზე მარილიანი წყალი (იმავე რაოდენობის, რაც სუფთა წყალია) ფრთხილად დაამატე (სურ. 4);

3. მიმართე ლაზერის სინათლის სხივი აკვარიუმში ქვემოდან ზემოთ, წყალი-ჰაერის გამყოფი საზღვრისკენ. დააკვირდი სხივის სვლას. აღწერე, როგორია მისი ტრაექტორია (სურ. 5);



სურ. 5

4. გახედე სხივს აკვარიუმის იმ ადგილიდან, საიდანაც ჰაერში გამოვიდა. სად ხედავ სინათლის წყაროს? ესეც მირაჟია. ეს ცდა და მისი შედეგი პირდაპირ კავშირშია ზემოთ ატმოსფერული მირაჟების გამომწვევ მიზეზთან.

დავალება 2. გაარკვიე:

1. რომელი მოვლენა (მოვლენები) იწვევს მირაჟებს ატმოსფეროში, რა შემთხვევაში ჩნდება ზედა და ქვედა მირაჟი;

2. წარმოადგინე სხივთა სვლის დიაგრამა და ახსენი მირაჟის წარმოქმნის მექანიზმი.

წარმოადგინე პოსტერი და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. მირაჟის წარმოქმნის მექანიზმის დაწვრილებითი აღწერა;

2. მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის (რა მიზეზითაა გამოწვეული, რა შედეგი მოჰყვება), რომლებსაც მირაჟის წარმოქმნა ეფუძნება (მაგ., რატომ მიიღება ზედა და ქვედა მირაჟი, რა არის მირაჟის წარმოქმნის ხელისშემწყობი პირობები);

3. მატერიის რომელი სახეები გვხვდება განსახილველ მოვლენაში, რა დამოკიდებულება არსებობს წარმოდგენილ ნივთიერების თვისებებსა და მასში სინათლის გავრცელების კანონზომიერებას შორის;

4. რომელი ფიზიკური სიდიდეებით ხასიათდება მოვლენა, რომელსაც პროექტის ფარგლებში განიხილავ.

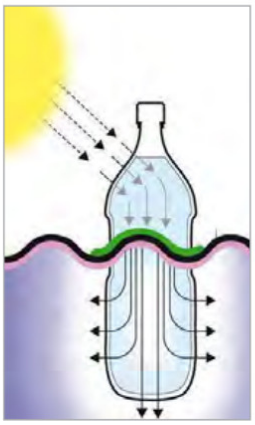
პროექტზე მუშაობისას დაგეხმარება მასალები, რომლებიც მითითებულ მისამართებზეა განთავსებული:

http://bitly.ws/AsWN http://bitly.ws/AsWS
http://bitly.ws/AsWW http://bitly.ws/AsWY
http://bitly.ws/AsWZ

Don't copy

3.4 სინათლის გარდატეხა





სურ. 3.4.1

„ერთი ლიტრი სინათლე“– ასე ჰქვია პროექტს, რომელმაც ბრაზილიელი **ალფრედო მოზერას** გამოგონება მილიონობით სოციალურად დაუცველი ადამიანისთვის ხსნად აქცია, ადამიანებისთვის, რომლებსაც ელექტროენერგიის გადასახადი საკმაოდ მძიმე ტვირთად აწვება.

2002 წელს მოზერამ ალტერნატიული „ნათურა“ შექმნა – უფასო, ეკოლოგიურად სუფთა, ძალიან უბრალო და მოსახერხებელი, რომელსაც სულაც არ სჭირდება ელექტრობა იმისათვის, რომ გაანათოს და ამასთან, თავისი განათებულობით ჩვეულებრივ, 40-60-ვატიან, ვარვარების ნათურას გაუტოლდეს.

ნათურის დასამზადებლად საჭიროა მხოლოდ გამჭვირვალე პლასტმასის ლიტრიანი ბოთლი, ჩვეულებრივი წყალი და... მზე. აბსოლუტურად უსაფრთხოა და ექსპლოატაციის ვადა 5 წელია!

მოზერას უნიკალური „ნათურის“ იდეა შემდგომში საქველმოქმედო ორგანიზაციებმა აიტაცეს და არა მარტო ბრაზილიის, არამედ ტანზანიის, ფიჯის, არგენტინის, ინდოეთის, ფილიპინების მთელ ტერიტორიაზე ღარიბთა კვარტლებში უფანჯრო, ერთმანეთზე მიწყობილი, ჩაბნელებული ქოხმახები უფასო შუქით განათდა.

პლასტმასის ბოთლს ჩვეულებრივი ონკანის წყლით ავსებენ და მჭიდროდ თავდახურულს საცხოვრებლის სახურავში (რომელიც, როგორც წესი, ფიცრის, ფიქალის ან თუნუქის თხელი ფირფიტაა) ვერტიკალურად ამაგრებენ. ბოთლის ნაწილი ოთახის ჭერშია დაკიდული, ნაწილი კი ოთახის გარეთ, ღია სივრცეშია – მას მზის შუქი უნდა ხვდებოდეს, რომ ბოთლის მეორე ნახევარი ოთახში „ნათურის“ როლს ასრულებდეს (სურ. 3.4.1). მოზერა წყალს მცირეოდენ ქლორს უმატებდა, რათა მაღალ ტემპერატურაზე მასში ხავსი არ გაჩენილიყო და გამჭვირვალობა დიდხანს შენარჩუნებულიყო.

მასაჩუსეტის ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტებმა მოზერას ნათურა კვლევითი პროექტის საგნად აქციეს. ისინი იყენებდნენ ქიმიურად სუფთასა და მინარევებიან წყალს (წყალში ამატებდნენ ლიმონის წვენს, ჭურჭლის სარეცხ სითხეს და ა.შ.), ცვლიდნენ ბოთლის ფორმას და აკვირდებოდნენ, როდის ანათებდა წყლიანი ბოთლი უკეთ. პროექტის ფარგლებში სტუდენტების დახმარებით უამრავ ადამიანს „უფასო“ შუქი გაუჩნდა.

ნათურას ნაკლი აქვს – ის მხოლოდ დღისით მუშაობს, ამიტომ სტუდენტებს სამომავლო საფიქრელიც აქვთ, ისინი ცდილობენ მოზერას „ნათურები“ საღამოს საათებშიც მოქმედი გახადონ.

მოვლენა, რომელიც მოზერას „ნათურის“ ნათებას უდევს საფუძვლად, **სინათლის გარდატეხაა.** ჰაერიდან წყალში გადასული მზის სხივები მიმართულებას იცვლის – გარდატყდება და ყველა მიმართულებით გაიბნევა. ასეთი „ნათურა“ შენც შეგიძლია

Don't copy

წარმატებით გამოიყენო მაგ., ავტოფარეხის გასანათებლად. ეს საშუალებას მოგცემს, დღის განმავლობაში ელექტროენერგია დაზოგო. კანონზომიერებას კი, რომლის მიხედვითაც სინათლე ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას მიმართულებას იცვლის, ამ პარაგრაფში გაეცნობი.

ნახე ვიდეო:
http://bitly.ws/ApsI
http://bitly.ws/ApsN



სურ. 3.4.2

3.4.1. სინათლის გარდატეხის ექსპერიმენტული შესწავლა

თუ წყლიან ჭიქაში ფანქარს მოათავსებ და ჭიქას გვერდიდან (ზემოდან) შეხედავ, ფანქარი გადატეხილი მოგეჩვენება (სურ. 3.4.2).

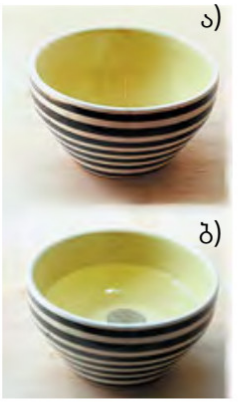


სურ. 3.4.3

თუ წყალში ჩადგები და ფეხის ტერფებს ზემოდან დახედავ, ისინი წყლის ზედაპირთან უფრო ახლოს ჩანს, ვიდრე სინამდვილეშია და შთაბეჭდილება შეგექმნება, რომ წვივი დამოკლდა (სურ. 3.4.3). ეს **ოპტიკური ილუზიებია**.

ძვ. წ. III საუკუნეში ევკლიდე ერთ ძალიან მარტივ და საინტერესო ცდას ატარებდა, რომელზე დაკვირვებამაც ის სინათლის გავრცელების კიდევ ერთ კანონზომიერებამდე მიიყვანა. ჩაატარე ევკლიდეს ცდა:

ცდა I



სურ. 3.4.4

1. მოათავსე ცარიელი გაუმჭვირვალე ფიალის ფსკერზე მონეტა;

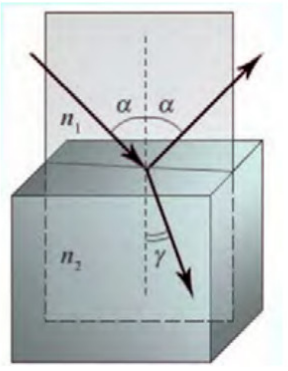
2. დაშორდი ფიალას ისეთ მანძილზე, რომ მისმა კიდემ მონეტა მთლიანად დაფაროს (სურ. 3.4.4, ა);

3. სთხოვე მეგობარს, რომ ფიალა წყლით შეავსოს (შენ ამ დროს უძრავად იმ ადგილას იმყოფები, საიდანაც ფიალის ფსკერზე მონეტა არ ჩანს);

4. დააკვირდი: როცა ფიალა გარკვეული რაოდენობის წყლით შეივსება, ზუსტად იმ ადგილიდან, საიდანაც ფიალის ფსკერზე მონეტას ვერ ხედავდი, ამჯერად მონეტა გამოჩნდება (სურ. 3.4.4, ბ).

I ცდის შედეგის ახსნას მოგვიანებით შეძლებ, მანამდე კი ჩაატარე სხვა ცდებიც და დააკვირდი, **როგორ ვრცელდება სინათლე არაერთგვაროვან გარემოში,** მაგ., როცა სინათლე ჰაერიდან წყალში გადადის ან – პირიქით.

ცდა II



სურ. 3.4.5

1. მოათავსე წყლით ნახევრად სავსე ჭურჭელში თეთრი ფერის პლასტიკატის ფირფიტა (სურ.3.4.5);

2. მიმართე სინათლის სხივი ლაზერის მაჩვენებლიდან წყლის ზედაპირისკენ, ფირფიტის გასწვრივ, ისე, რომ სხივის კვალი ფირფიტაზე ჩანდეს (დაცემის კუთხე ნულისგან განსხვავებულია, $\alpha \neq 0$);

3. დააკვირდი: ფირფიტაზე წყლის ზედაპირიდან არეკლილი სხივიც ჩანს, ხოლო წყალში გარდატეხილი სხივი – სხივი, რომელიც წყალში გავრცელდა;

Don't copy

შენიშვნა: იმისათვის, რომ წყალში გარდატეხილი სხივი კარგად ჩანდეს, დაუმატე წყალს ჭურჭლის სარეცხი ცოტაოდენი სითხე ან რძე (ეს დანამატები უზრუნველყოფს სინათლის უკეთ გაბნევას).

4. წარმოიდგინე წყლის ზედაპირზე დაცემის წერტილში აღმართული მართობი და შეაფასე თვალით – მიუახლოვდა თუ დაშორდა გარდატეხილი სხივი დაცემის წერტილში აღმართულ წარმოსახვით მართობს? დაცემის კუთხე მეტია თუ გარდატეხის?

5. გაიმეორე ცდა რამდენჯერმე და ყოველ ჯერზე შეადარე ერთმანეთს დაცემისა და გარდატეხის კუთხეები.

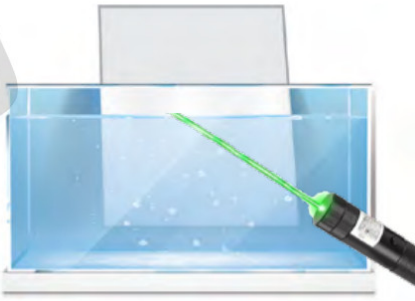
ცდების დროს ცვალე:

ა) დაცემის კუთხე წყალში (გამოიკვლიე ის შემთხვევაც, როცა $\alpha = 0$);

ბ) სითხე, რომლითაც ჭურჭელია სავსე (მაგ., წყლის მაგივრად მცენარეული ზეთი გამოიყენე);

6. გამოიტანე დასკვნა: დაცემის კუთხეა მეტია თუ გარდატეხის, როცა სხივი ოპტიკურად ნაკლებად მკვრივი გარემოდან მეტად მკვრივში გადადის?

ცდა III



სურ. 3.4.6

1. გაიმეორე II ცდა, ოღონდ ამჯერად სინათლის სხივი ლაზერის მაჩვენებლიდან **წყლის ზედაპირისკენ ქვემოდან ზემოთ** ისე მიმართე, რომ სხივი ჯერ წყალში, ხოლო შემდეგ ჰაერში ვრცელდებოდეს (სხივის კვალი ფირფიტაზე უნდა ჩანდეს. დაცემის კუთხე $\alpha \neq 0$) (სურ. 3.4.6).

2. დააკვირდი: მიუახლოვდა თუ დაშორდა გარდატეხილი სხივი დაცემის წერტილში აღმართულ წარმოსახვით მართობს? დაცემის კუთხე მეტია თუ გარდატეხის?

3. გაიმეორე ცდა რამდენჯერმე და ყოველ ჯერზე შეადარე ერთმანეთს დაცემისა და გარდატეხის კუთხეები.

ცდების დროს ცვალე:

ა) დაცემის კუთხე წყალში (გამოიკვლიე ის შემთხვევაც, როცა $\alpha = 0$); ;

ბ) სითხე, რომლითაც ჭურჭელია სავსე (მაგ., წყლის მაგივრად მცენარეული ზეთი გამოიყენე);

4. გამოიტანე დასკვნა: დაცემის კუთხეა მეტია თუ გარდატეხის, როცა სხივი ოპტიკურად მეტად მკვრივი გარემოდან ნაკლებად მკვრივში გადადის?

Don't copy

3.4.2. სინათლის გარდატეხის კანონი

ერთი გამჭვირვალე გარემოდან მეორეში გადასვლისას სინათლის გავრცელების მიმართულების შეცვლას სინათლის გარდატეხა ეწოდება.

სხივს, რომელიც გარდატეხის შემდეგ მეორე გარემოში ვრცელდება, **გარდატეხილი სხივი** ჰქვია (სურ. 3.4.7).

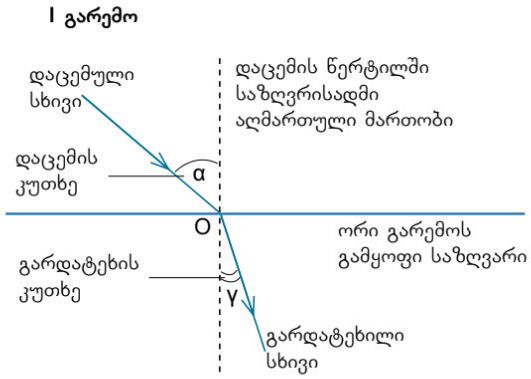
ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე სხივის დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართულ მართობსა და გარდატეხილ სხივს შორის კუთხეს **გარდატეხის კუთხე (γ)** ეწოდება (სურ. 3.4.7).

ერთი გამჭვირვალე გარემოდან მეორეში გადასული სინათლის გავრცელება ყოველთვის გარკვეულ კანონზომიერებას ემორჩილება, რომელსაც **სინათლის გარდატეხის კანონი** ჰქვია.სინათლის გარდატეხის კანონი სამართლიანია ნებისმიერი (მექანიკური, ელექტრომაგნიტური) ტალღისთვის.

სინათლის გარდატეხის კანონის თანახმად,

1. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემული სხივი, გარდატეხილი სხივი და დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობს (გარდატეხის I კანონი);

2. დაცემის კუთხის სინუსის შეფარდება გარდატეხის კუთხის სინუსთან მოცემული ორი გარემოსთვის მუდმივი სიდიდეა (გარდატეხის II კანონი):



სურ. 3.4.7

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n \qquad (3.4.1)$$

სადაც α დაცემის კუთხეა, **γ** – გარდატეხის კუთხე, ხოლო **n – მეორე გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელია პირველი გარემოს მიმართ** (გაიხსენე ფორმულა 3.1.3 და 3.1.4).

იმის გათვალისწინებით, რომ: $n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$, 3.4.1. ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \qquad (3.4.2)$$

დააკვირდი 3.4.2 ტოლობას. მისი გაანალიზების შედეგად მივიღებთ, რომ:

1. გარდატეხის კუთხე დაცემის კუთხეზეა დამოკიდებული.

სინუსი ზრდადი ფუნქციაა, როცა კუთხე 0-დან 90^0-მდე იცვლება. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **რაც მეტია (ნაკლებია) ორი გარემოს საზღვარზე სინათლის სხივის დაცემის კუთხე, მით მეტია (ნაკლებია) გარდატეხის კუთხე.**

2. თუ სინათლის სხივი ოპტიკურად ნაკლებად მკვრივი გარემოდან მეტად მკვრივ გარემოში გადადის ($n_1 < n_2$) (სურ. 3.4.8):

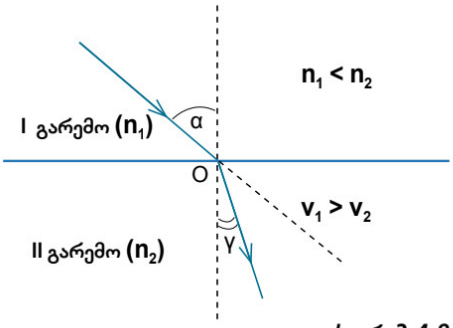
ა) გარდატეხის კუთხე ნაკლებია დაცემის კუთხეზე:

$n_1 < n_2) \Rightarrow \sin\alpha > \sin\gamma) \Rightarrow \alpha > \gamma$;

ბ) გარდატეხილი სხივი ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართულ მართობს უახლოვდება;

გ) სინათლის სიჩქარე მცირდება:

$n_1 < n_2) \Rightarrow v_1 > v_2$;



სურ. 3.4.8

3. თუ სინათლის სხივი ოპტიკურად მეტად მკვრივი გარემოდან ნაკლებად მკვრივ გარემოში გადადის ($n_1 > n_2$) (სურ. 3.4.9):

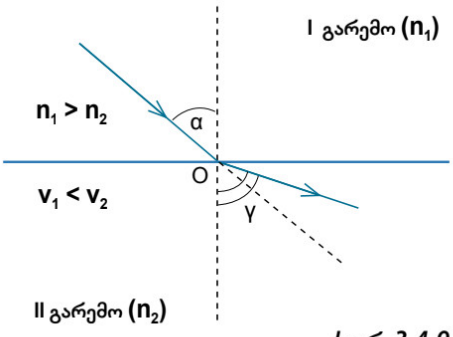
ა) გარდატეხის კუთხე მეტია დაცემის კუთხეზე:

$n_1 > n_2) \Rightarrow \sin\alpha < \sin\gamma) \Rightarrow \alpha < \gamma$;

ბ) გარდატეხილი სხივი ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართულ მართობს შორდება;

გ) სინათლის სიჩქარე იზრდება:

$n_1 > n_2) \Rightarrow v_2 > v_1$;



სურ. 3.4.9

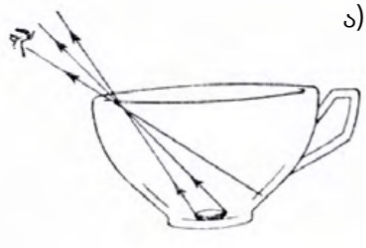
4. თუ სინათლის სხივი ორი გარემოს გამყოფ საზღვარს მართობულად ეცემა (α = 0), მაშინ ის არ გარდატყდება (**γ = 0**) და მეორე გარემოში გადასვლისას დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართული მართობის გასწვრივ გავრცელდება.

Don't copy

5. დაცემული და გარდატეხილი სხივები შექცევადია: თუ ლაზერის სინათლეს „გარდატეხილი“ სხივის გასწვრივ, ორი გარემოს საზღვრისაკენ მიმართავ, ის „დაცემული “ სხივის გასწვრივ გავრცელდება.

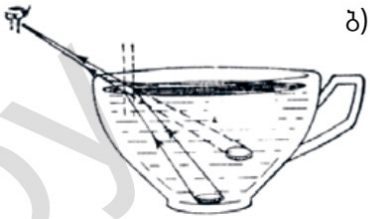
როგორ აიხსნება ევკლიდეს ცდის შედეგი? **დააკვირდი** 3.4.10 სურათზე სხივთა სვლას: როცა ფიალაში წყალი არ ასხია (სურ. 3.4.10, ა), მონეტიდან არეკლილი სხივი ჰაერში (ერთგვაროვან გარემოში) წრფივად ვრცელდება. ფინჯნის კიდე ფარავს მონეტას: „თვალი“ ხედვის არეში არ არის (მონეტიდან არეკლილი სინათლის სხივები თვალში არ ხვდება და თვალი მას ვერ ხედავს).

ა)



მას შემდეგ, რაც ფიალაში წყალი ჩაასხეს (სურ.3.4.10, ბ), მონეტიდან არეკლილი სხივები წყლიდან ჰაერში გადასვლისას გარდატყდება და დამკვირვებლის თვალი ხედვის არეში აღმოჩნდება.

ბ)



სურ. 3.4.10

თვალმა „იცის“, რომ სინათლე წრფივად ვრცელდება, ამიტომ მონეტას ხედავს თვალში მოხვედრილი სხივების წარმოსახვითი გაგრძელებების გასწვრივ – იქ სადაც, სინამდვილეში მონეტა არ არის (ხედავს უფრო ზევით) (სურ.3.4.10, ბ). **გარდატეხის მოვლენის გამო წყალსატევებში (მდინარეში, ტბაში, ზღვაში) სიღრმე იმაზე ნაკლები გვეჩვენება, ვიდრე ის სინამდვილეშია.**

ახლა შენ შეგიძლია გაკვეთილის დასაწყისში დასმულ კითხვასაც გასცე პასუხი: რატომ იქმნება ოპტიკური ილუზიები – რატომ გვეჩვენება წყალში ფანქარი გადატეხილი ან ტერფები წყლის ზედაპირთან უფრო ახლოს, ვიდრე სინამდვილეშია?

(გააკეთე სქემატური ნახაზი თითოეულ შემთხვევაში. ააგე ფანქრის ბოლოდან და ტერფიდან არეკლილი სხივის სვლა და შენ ამ ილუზიების წარმოშობის მიზეზს მიაგნებ).

3.4.3. სხივთა სვლა ბრტყელ პარალელურგვერდებიან გამჭვირვალე ფირფიტაში

პრაქტიკული თვალსაზრისით, ძალიან საინტერესოა სინათლის გარდატეხა ჰაერში მოთავსებულ მინის ლინზაში, სამკუთხა პრიზმასა და ბრტყელ პარალელურგვერდებიან გამჭვირვალე ფირფიტაში. ლინზაში გარდატეხას მომდევნო გაკვეთილებზე განვიხილავთ. ახლა კი დააკვირდი, როგორ ვრცელდება სინათლე **ბრტყელ პარალელურგვერდებიან გამჭვირვალე ფირფიტაში**.

ცდა IV

1. მოათავსე ქაღალდის ფურცელზე მინის ბრტყელი პარალელურგვერდებიანი ფირფიტა (სურ.3.4.11) და შემოხაზე ფურცელზე მისი კონტური;

2. მიმართე ლაზერის მაჩვენებლიდან სინათლის სხივი ფირფიტის ერთ-ერთი წახნაგისკენ ისე, რომ დაცემის კუთხე ნულისგან განსხვავებული იყოს ($\alpha \neq 0$). **დააკვირდი სხივის გავრცელებას:**

ა) ჰაერიდან მინაში გადასვლისას; ბ) მინიდან ჰაერში გადასვლისას.

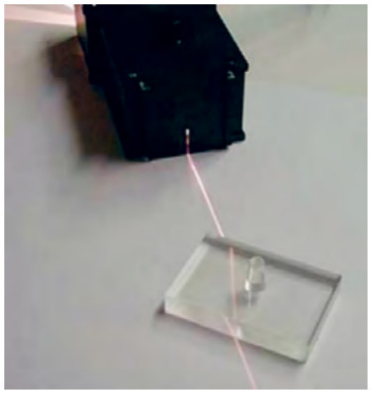
3. მონიშნე ფურცელზე ფანქრით:

ა) ფირფიტის წახნაგზე სხივის დაცემისა და ფირფიტიდან გამოსვლის წერტილი;

ბ) წახნაგზე დაცემული სხივისა და ფირფიტიდან გამოსული სხივის კვალი;

4. აიღე ფირფიტა ქაღალდიდან და შეაერთე სხივის დაცემისა და გამოსვლის წერტილები. მიღებული მონაკვეთი მინაში სხივის გავრცელების გზას გიჩვენებს.

Don't copy



სურ. 3.4.11

დააკვირდი: მინაზე დაცემული და მინიდან გამოსული სხივები პარალელური და ერთმანეთის მიმართ წანაცვლებულია.

5. აღმართე ჰაერი-მინა და მინა-ჰაერის საზღვარზე, სხივის დაცემისა და გამოსვლის წერტილებში, საზღვრისადმი მართობები.

დააკვირდი: როგორ ვრცელდება სინათლის სხივი ჰაერიდან მინაში და მინიდან ჰაერში გადასვლისას? როდის უფრო უახლოვდება /შორდება სხივი მართობს?

6. ფურცელზე მიღებული ნახაზის მიხედვით,

ა) გაზომე დაცემისა და გარდატეხის კუთხეები ჰაერი-მინა და მინა ჰაერის საზღვარზე;

ბ) გამოთვალე ორივე შემთხვევაში, გარდატეხის კანონის გამოყენებით, მინის გარდატეხის მაჩვენებელი. შეადარე შედეგები ერთმანეთს ($n_3 = 1$);

7. მინის ფირფიტა კვლავ მოათავსე ქაღალდზე და ფანქრით მონიშნულ კონტურს შეუთავსე. ლაზერის მაჩვენებლით სინათლის სხივი მინიდან გამოსული სხივის გასწვრივ, ფირფიტის წახნაგისკენ მიმართე და დააკვირდი, როგორ გავრცელდება ის.

გამოიტანე დასკვნა: შექცევადია თუ არა გარდატეხილი და დაცემული სინათლის სხივები?

8. დააკვირდი სინათლის სხივის გავრცელებას მინის ფირფიტაში, როცა დაცემის კუთხე ნულის ტოლია ($\alpha = 0$). მიმართე ლაზერის სხივი ფირფიტის წახნაგის მართობულად.

დააკვირდი: რისი ტოლია გარდატეხის კუთხე ჰაერი-მინა და მინა-ჰაერის საზღვრაზე?

თუ IV ცდა სწორად ჩაატარე და ნახაზიც შესაბამისად ააგე, ის, დაახლოებით, ისეთი უნდა მიგეღო, როგორიც 3.4.12 სურათზეა გამოსახული. ნახაზზე ნაჩვენებია სხივთა სავარაუდო სვლა ბრტყელ პარალელურგვერდებიან გამჭვირვალე ფირფიტაში.

ვთქვათ, (სურ. 3.4.12),

ა) მასალის, რომლისგანაც ფირფიტაა დამზადებული, გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია n_2;

ბ) ფირფიტა მოთავსებულია გარემოში, რომლის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია n_1;

გ) $n_2 > n_1$.

1. სხივი (1) ოპტიკურად ნაკლებად მკვრივი გარემოდან მეტად მკვრივ გარემოში გადადის ($n_1 < n_2$). გარდატეხის კუთხე ნაკლებია დაცემის კუთხეზე: $\beta < \alpha$.

გარდატეხის კანონის თანახმად,

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (3.4.3)$$

2. გარდატეხილი II სხივი ფირფიტაში წრფივად გავრცელდება მანამ, სანამ ორი გარემოს (მინა-ჰაერის) გამყოფ საზღვარს არ მიაღწევს (იგულისხმება, რომ მასალა, რისგანაც ფირფიტაა დამზადებული ერთგვაროვანია).

3. სხივი (2) ოპტიკურად მეტად მკვრივი გარემოდან ნაკლებად მკვრივ გარემოში გადადის ($n_2 > n_1$). გარდატეხის კუთხე მეტია დაცემის კუთხეზე: $\gamma > \beta$.

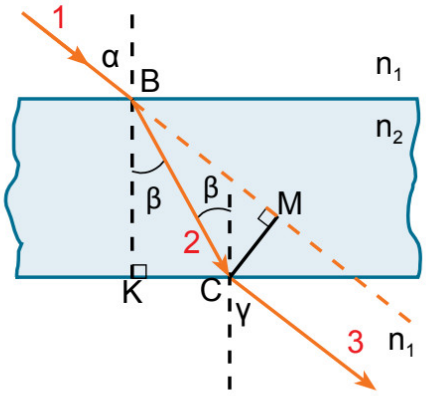
Don't copy

გარდატეხის კანონის თანახმად,

$$\frac{\sin\beta}{\sin\gamma} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (3.4.4)$$

(ორი გარემოს გამყოფ ორივე საზღვარზე სინათლის არეკვლას მხედველობაში არ ვიღებთ)

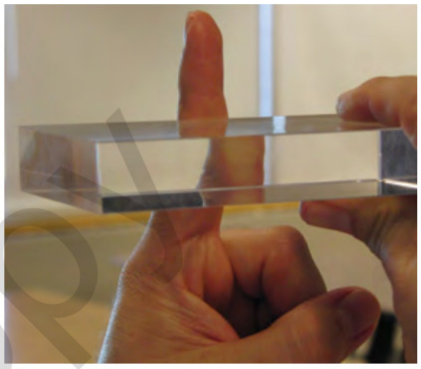
4. 3.4.3 და 3.4.4 ტოლობების შედარებით მივიღებთ, რომ: $\alpha = \gamma$ (იმის გათვალისწინებით, რომ ორივე კუთხე მახვილია).



სურ. 3.4.12

ასე რომ, **ბრტყელ პარალელურგვერდებიან გამჭვირვალე ფირფიტაში სინათლის სხივის გავრცელებისას:**

1. დაცემული სხივი ფირფიტიდან გამოსვლის შემდეგ თავდაპირველი გავრცელების მიმართულებას ინარჩუნებს: ფირფიტიდან გამოსული სხივი პარალელურია დაცემული სხივის, ოღონდ წანაცვლებულია მისგან გარკვეული მანძილით (დააკვირდი ნახაზს (სურ. 3.4.12): ფირფიტიდან გამოსული სხივი (3) თავდაპირველი გავრცელების მიმართულებიდან CM მანძილითაა წანაცვლებული);



სურ. 3.4.13

2. დაცემის მოცემული კუთხისთვის სხივის წანაცვლება ფირფიტის სისქეზეა დამოკიდებული: რაც უფრო თხელია ფირფიტა, მით უფრო ნაკლებია წანაცვლება. სწორედ ამიტომ ფანჯრის თხელ მინებში გამოსახულების წანაცვლება შეუმჩნეველია, მაგრამ თუ ფირფიტის სისქე მნიშვნელოვანია, მაშინ გამოსახულების წანაცვლება თვალსაჩინოა (სურ.3.4.13);

3. სხივი ფირფიტაში გადასვლისას და ფირფიტიდან გამოსვლის შემდეგ არ გარდატყდება, თუ ფირფიტას სხივი მართობულად ეცემა (თუ დაცემის კუთხე ნულის ტოლია).

დააკვირდი ვირტუალურ ლაბორატორიაში სხივთა სვლას ბრტყელ პარალელურგვერდებიან ფირფიტაში:

http://bitly.ws/ApA9

3.4.4. სხივთა სვლა სამკუთხა გამჭვირვალე პრიზმაში

სინათლის გარდატეხის კანონი საშუალებას გვაძლევს, წინასწარ (ცდის ჩატარების გარეშე) განვსაზღვროთ სხივთა სავარაუდო სვლა სხვადასხვა ოპტიკურ მოწყობილობაში, მაგ., სპექტროსკოპში, რომლის მთავარი დეტალია მინის სამკუთხა პრიზმა (სურ. 3.4.14)



სურ. 3.4.14

ნახაზზე (სურ. 3.4.15) გამოსახულია სამკუთხა გამჭვირვალე პრიზმის კვეთა სამკუთხა წახნაგის პარალელური სიბრტყით და ნაჩვენებია სხივთა სვლა სამკუთხა პრიზმაში.

ვთქვათ (სურ. 3.4.15),

ა) მასალის, რომლისგანაც პრიზმაა დამზადებული, გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია n_2;

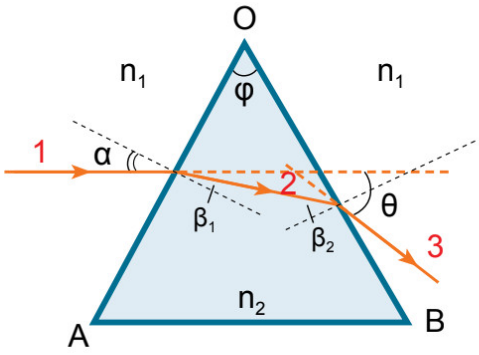
ბ) პრიზმა მოთავსებულია გარემოში, რომლის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია n_1;

გ) $n_2 > n_1$.

1. პრიზმის გვერდითა AO წახნაგზე დაცემული სხივი (1) გარდატყდება და პრიზმის ფუძისკენ დაიხრება: სხივის გარდატეხის კუთხე ნაკლებია დაცემის კუთხეზე, $\beta_1 < \alpha$;

Don't copy!

2. გარდატეხილი სხივი (2) პრიზმაში წრფივად გავრცელდება და პრიზმიდან გარემოში გადასვლისას OB წახნაგზე გარდატყდება: სხივის გარდატეხის კუთხე მეტია დაცემის კუთხეზე: $\beta_2 < \gamma$, ანუ **სხივი ისევ პრიზმის ფუძისკენ დაიხრება**.



სურ. 3.4.15

ასე რომ, **გამჭვირვალე პრიზმაზე დაცემული სხივი პრიზმაში გავლისას ორჯერ გარდატყდება და თავდაპირველი გავრცელების მიმართულებიდან პრიზმის ფუძისკენ θ კუთხით დაიხრება** (სურ. 3.4.15).

სხივის დახრის θ კუთხე დამოკიდებულია:

ა) პრიზმის გარდამტეხ წახნაგებს შორის φ კუთხეზე, რომელსაც **პრიზმის გარდამტეხი კუთხე** ჰქვია. სხივის დახრის კუთხე მით უფრო მეტია, რაც მეტია პრიზმის გარდამტეხი კუთხე;

ბ) პრიზმის მასალის გარემოს მიმართ გარდატეხის ფარდობით მაჩვენებელზე: რაც უფრო მეტია მასალის გარდატეხის ფარდობითი მაჩვენებელი გარემოს მიმართ, მით მეტია სხივის დახრის კუთხე (თუ $n_2 = n_1$ სხივი მიმართულებას არ შეიცვლის).

გ) დაცემის α კუთხეზე.

სხივის დახრის θ კუთხის გამოთვლა შესაძლებელია გარდატეხის კანონის გამოყენებითა და მარტივი მათემატიკური გათვლებით. **დააკვირდი ვირტუალურ ლაბორატორიაში** სამკუთხა პრიზმაში სხივთა სვლას:

http://bitly.ws/ApAE
http://bitly.ws/ApA9

3.4.5 სრული არეკვლა

სინათლის გარდატეხის კანონი საშუალებას გვაძლევს, ისეთი მოვლენა ავხსნათ, როგორიცაა **სინათლის სრული არეკვლა**. ჩაატარე ცდა და დააკვირდი ამ მოვლენას.



ცდა V

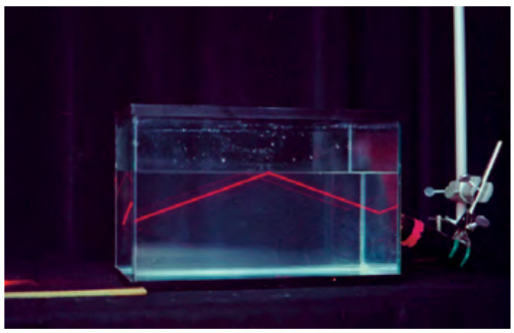


1. შეავსე ჭურჭელი (აკვარიუმი, ჭიქა, მენზურა) წყლით ნახევრად. წყალში ჩაასხი ჭურჭლის სარეცხი ცოტაოდენი სითხე (იმისათვის, რომ სხივთა სხვა უფრო თვალსაჩინო იყოს);



2. მიმართე ლაზერის სხივი ქვემოდან ზემოთ წყლისა და ჰაერის გამყოფი საზღვრისადმი (ისე, რომ სხივი ჯერ წყალში, ხოლო შემდეგ ჰაერში ვრცელდებოდეს) (სურ. 3.4.16).





სურ. 3.4.16



3. გაზარდე სხივის დაცემის კუთხე წყალი-ჰაერის საზღვარზე და დააკვირდი, როგორ იცვლება სხივის გარდატეხის კუთხე.

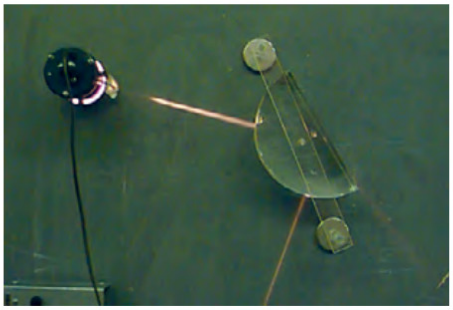
დააკვირდი: დაცემის კუთხის თანდათან გაზრდისას, რაღაც მომენტში, სხივი ჰაერში აღარ გადავა და წყლის ზედაპირზე გასრიალდება.

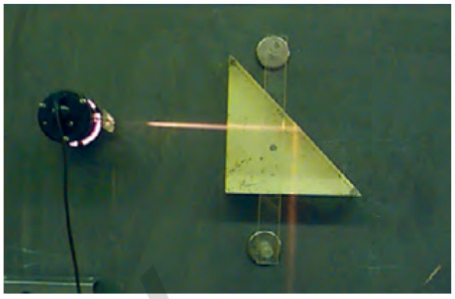
4. გაზარდე კვლავ დაცემის კუთხე და **დააკვირდი:** წყალი-ჰაერის საზღვარზე წყლიდან დაცემული სხივი ჰაერში აღარ გადავა და მეტიც, ის მთლიანად წყალში აირეკლება. ეს მოვლენა **სრული შინაგანი არეკვლის** სახელითაა ცნობილი (სურ. 3.4.16).

Don't copy

სრული შინაგანი არეკვლის მოვლენას მინის სხვადასხვა ფორმის პრიზმებშიც შეგიძლია დააკვირდე (სურ. 3.4.17). **დააკვირდი** სრულ შინაგან არეკვლას ვირტუალურ ლაბორატორიაში:

http://bitly.ws/ApA9





სურ. 3.4.17

სრული შინაგანი არეკვლა თითქოს ეწინააღმდეგება ჩვენს შეხედულებას გამჭვირვალე სხეულებზე. მიუხედავად იმისა, რომ ჰაერი, მინა, წყალი გამჭვირვალეა, დგება მომენტი, როცა ისინი სინათლეს არ ატარებს. **რა კანონზომიერებას ემორჩილება სრული შინაგანი არეკვლის მოვლენა?** ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად, მაგალითისთვის, განვიხილოთ სინათლის სხივის გადასვლა **წყლიდან ჰაერში** (სურ.3.4.18).

ვთქვათ, I გარემოს (წყლის) გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია n_1, ხოლო II გარემოსი (ჰაერის) – n_2 . **სხივი ოპტიკურად უფრო მკვრივი გარემოდან (წყლიდან) ნაკლებად მკვრივ გარემოში (ჰაერში) გადადის** ($n_1 > n_2$).

აღვნიშნოთ სხივის დაცემის კუთხე α -თი, გარდატეხისა კი – β -თი.

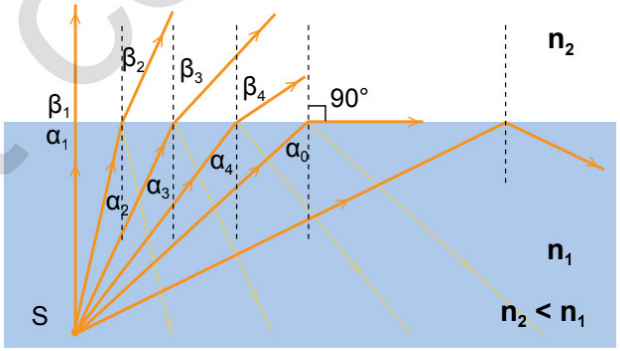
ვთქვათ, **სინათლის სხივი ორი გარემოს (წყალი-ჰაერის) გამყოფ საზღვარს ეცემა** (სურ. 3.4.18):

1. მართობულად ($\alpha_1 = 0$). ასეთ შემთხვევაში სხივი საზღვარზე არ გარდატყდება, II გარემოში (ჰაერში გადავა) და მიმართულების შეუცვლელად გავრცელდება: $\beta_1 = 0$;

2. α_2 კუთხით ($\alpha_2 \neq 0$). ასეთ შემთხვევაში სხივი საზღვარზე გარდატყდება: $\beta_2 \neq 0$;

3. α_3 კუთხით ($\alpha_3 > \alpha_2$). სხივი საზღვარზე გარდატყდება: $\beta_3 > \beta_2$;

3. α_4 კუთხით ($\alpha_4 > \alpha_3$); სხივი საზღვარზე გარდატყდება: $\beta_4 > \beta_3$.



სურ. 3.4.18

და ა.შ. **დაცემის კუთხის ზრდასთან ერთად, გარდატეხის კუთხეც იზრდება და ის თანდათან 90^0-ს უახლოვდება.**

ყველა ამ შემთხვევაში, გარდა იმისა, რომ სინათლის ნაწილი II გარემოში გადადის – გარდატყდება, სინათლის ნაწილი I გარემოში აირეკლება.

როცა დაცემის კუთხე გარკვეულ **ზღვრულ α_0 მნიშვნელობას** მიაღწევს, გარდატეხის კუთხე 90^0-ის ტოლი გახდება ($\beta_0 = 90^0$). ეს იმას ნიშნავს, რომ ორი გარემოს (წყალი-ჰაერის) გამყოფ საზღვარზე I გარემოდან (წყლიდან) დაცემული სინათლის სხივი II გარემოში (ჰაერში) აღარ გადავა (გარდატეხილი სხივი გაქრება), ნაწილი სინათლისა საზღვრის გასწვრივ გასრიალდება და ნაწილი I გარემოში აირეკლება (სურ. 3.4.18).

თუ დაცემის კუთხეს კვლავ გავზრდით, **სინათლე ორი გარემოს (ჰაერი-წყლის) გამყოფი საზღვრიდან მთლიანად აირეკლება პირველ გარემოში (წყალში)**, ანუ **სინათლის სრული შინაგანი არეკვლა** ხდება.

დაცემის **ზღვრულ** α_0 კუთხეს, რომელსაც 90^0-ის ტოლი გარდატეხის კუთხე შეესაბამება, **სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე ჰქვია.** გარდატეხის კანონის თანახმად,

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{ე.ი.} \quad \sin\alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} \qquad (3.4.5)$$

Don't copy

რაც იმას ნიშნავს, რომ **სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე ასე გამოითვლება:**

$$\alpha_0 = \arcsin\frac{n_2}{n_1} \qquad (3.4.6)$$

იმ შემთხვევაში, თუ სხივი ოპტიკურად უფრო მკვრივი გარემოდან (რომლის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი n-ის ტოლია) **ჰაერში გადადის**, სრული შინაგანი არეკვლის კუთხე ასე გამოითვლება:

$$\frac{\sin\alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_3}{n} = \frac{1}{n} \qquad \alpha_0 = \arcsin\frac{1}{n} \qquad (3.4.7)$$

ასე რომ, **სრული შინაგანი არეკვლისთვის აუცილებელია, სრულდებოდეს პირობები:**

1. სინათლე ოპტიკურად უფრო მკვრივი გარემოდან ნაკლებად მკვრივ გარემოში უნდა გადადიოდეს: $n_1 < n_2$;

2. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე სხივის დაცემის კუთხე მეტი უნდა იყოს **სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრულ კუთხეზე:** $\alpha > \alpha_0$.

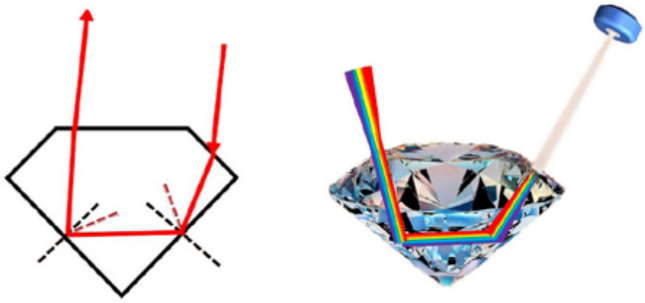
(3.4.7) ტოლობიდან შესაძლებელია, სრული არეკვლის კუთხის მნიშვნელობა ნებისმიერი გამჭვირვალე გარემოსთვის (თუ სხივი ჰაერში გადადის) განვსაზღვროთ. ასე, მაგ., წყლისთვის $\alpha_0 = 48^0 35'$, მინის ზოგიერთი სახეობისთვის $\alpha_0 = 41^0 50'$, ალმასისთვის $\alpha_0 = 24^0 40'$



სურ. 3.4.19

თუ წყალში ჩაგიყვინთავს, ზოგჯერ, ალბათ, შეამჩნევდი, რომ შენ ზემოთ წყლის ზედაპირი სარკისებური ხდება. მასში საკუთარი გამოსახულების დანახვაც შეგიძლია, მაგრამ „სარკის“ მიღმა, ჰაერში, რა ხდება, ვეღარ ხედავ. სინათლე ჰაერში არ გადადის – ეს სინათლის სრული შინაგანი არეკვლაა წყალში (სურ. 3.4.19). სრული შინაგანი არეკვლა უდევს საფუძვლად ატმოსფერული მირაჟების წარმოქმნას.

ბრილიანტისთვის დამახასიათებელი ბრწყინვალებაც სრული შინაგანი არეკვლის დამსახურებაა. ალმასის (რომლის სათანადო დამუშავების შედეგად მიიღება ბრილიანტი) გარდატეხის მაჩვენებელი ჰაერის მიმართ საკმაოდ მაღალია (2,42), მისი შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე კი – საკმაოდ მცირე ($24{,}4^0$). იმისათვის, რომ ბრილიანტი რაც შეიძლება, მეტი ბრწყინვალებით გამოირჩეოდეს, იუველირები ალმასის კრისტალს ისე აწახნაგებენ, რომ მასზე ნებისმიერი მიმართულებით დაცემული სინათლე კრისტალის შიგნით მრავალჯერად შინაგან არეკვლას განიცდის (სურ. 3.4.20).



სურ. 3.4.20

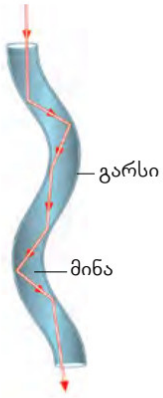
სვაროვსკის ბროლის კრისტალები, რომლებიც ხელოვნების ნიმუშებადაა აღიარებული და ზოგჯერ თავისი ღირებულებით ნამდვილ ალმასებსაც არ ჩამოუვარდება, სწორედ სრული შინაგანი არეკვლის შედეგად ბრწყინავს. ბროლის წარმოებისას მინას მცირეოდენ ტყვიას უმატებენ, რაც მინის გარდატეხის მაჩვენებელს ზრდის.

სრული შინაგანი არეკვლა გამოყენებულია **ბოჭკოვან ოპტიკაში:** სიგნალის (ინფორმაციის, ელექტრომაგნიტური ტალღის ენერგიის) გადასაცემად მინის გადასაცემად გამჭვირვალე ბოჭკოების კონას, ე.წ. **შუქგამტარებს** იყენებენ.

შუქგამტარები ცილინდრული ფორმის მინის უწვრილესი, მოქნილი ღეროებია (ძაფებია, რომლებიც ძუას წააგავს). ისინი გარედან გამჭვირვალე გარსითაა დაფარული. გარსის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი ნაკლებია ბოჭკოს (ძაფის) გარდატეხის მაჩვენებელზე (რომელიც საკმაოდ მაღალია) (სურ.3.4.21).

Don't copy

სურთ 3.4.21-ზე ნაჩვენებია, როგორ ვრცელდება სინათლე ასეთ ბოჭკოებში: თუ სინათლე ბოჭკოს ერთ ბოლოში (1) მოხვდება, გარსიდან მრავალჯერადი სრული შინაგანი არეკვლის შედეგად სინათლე ბოჭკოს მეორე მხარეს (2) ენერგიის დანაკარგის გარეშე გამოდის.





სურ. 3.4.21

ოპტიკურ ბოჭკოებს ფართოდ იყენებენ მედიცინაში, მაგ., ენდოსკოპში, მოწყობილობაში, რომელიც ექიმს საშუალებას აძლევს, უშუალოდ დაათვალიეროს პაციენტის შინაგანი ორგანოები (მაგ., კუჭის შიდა გარსი). ოპტიკური ბოჭკოებისგან დამზადებული წვრილი გვარლი საყლაპავი მილიდან ავადმყოფის კუჭში შეჰყავთ. გვარლის ზოგიერთი ბოჭკოს საშუალებით წყაროდან სინათლე კუჭის გარსამდე მიდის და ანათებს მას. გარსიდან არეკლილი სინათლე კი სხვა ბოჭკოებში მრავალჯერადი სრული არეკვლის შედეგად უკან ბრუნდება და მიკროსკოპის ოკულარიდან ექიმის თვალში ხვდება.

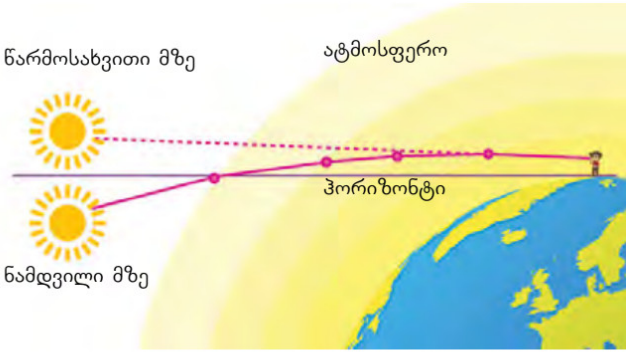


სურ. 3.4.22

ექიმს ისევე შეუძლია, „წაიკითხოს“ კუჭის გარსზე არსებული ინფორმაცია, როგორც ოპტიკური ღეროს საშუალებითაა შესაძლებელი იმ ტექსტის ამოკითხვა, რომელსაც ღეროს მეორე ბოლო ფარავს (სურ. 3.4.22).

3.4.6. სინათლის გარდატეხა ბუნებაში

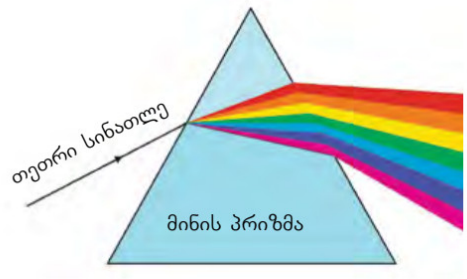
ატმოსფეროში სინათლის გარდატეხის გამო ციური სხეულები ყოველთვის იმაზე მაღლა გვეჩვენება, ვიდრე სინამდვილეშია. მაგ., მზეს ჩვენ მაშინაც ვხედავთ, როცა ის ≈ 2 წთ-ის ჩასულია ჰორიზონტს მიღმა და, პირიქით, ამომავალ მზეს რამდენიმე წუთით ადრე ვხედავთ, ვიდრე, რეალურად, მზე ჰორიზონტს ზემოთ გამოჩნდება (სურ. 3.4.23).



სურ. 3.4.23

სინათლის შემადგენელი სხვადასხვა „ფერის“ ტალღები, მსგავსად სხვა ელექტრომაგნიტური ტალღებისა, განსხვავდება როგორც არეკვლის ხასიათითა და ზედაპირის მიერ მათი შთანთქმის ინტენსივობით, ისე – გარდატეხის უნარითაც.

გაიხსენე (§ 3.1): გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი დამოკიდებულია სინათლის სიხშირეზეც. ეს იმას ნიშნავს, რომ **თუ ხილული სინათლე ერთი გამჭვირვალე გარემოდან მეორეში გადადის** (მაგ., ჰაერიდან წყალში, წყლიდან მინაში), **მისი შემადგენელი სხვადასხვა სიხშირის (სხვადასხვა „ფერის“) ელექტრომაგნიტური ტალღები სხვადასხვანაირად გარდატყდება**: თუ ვაკუუმში ეს ტალღები ერთნაირი სიჩქარით მოძრაობს, გარემოში გადასვლისას ყველა მათგანის სიჩქარე განსხვავებულია. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ თუ ვაკუუმში ხილული სპექტრის ყველა სიხშირის ტალღებს ერთიანად „თეთრ“ ფერად აღვიქვამთ, გარემოში გადასვლისას (იმის გამო, რომ ერთი ფერი „ჩამორჩება“ მეორეს) შეიძლება ხილული სინათლე ფერებად დაიშალოს, ანუ მივიღოთ **ფერადი**

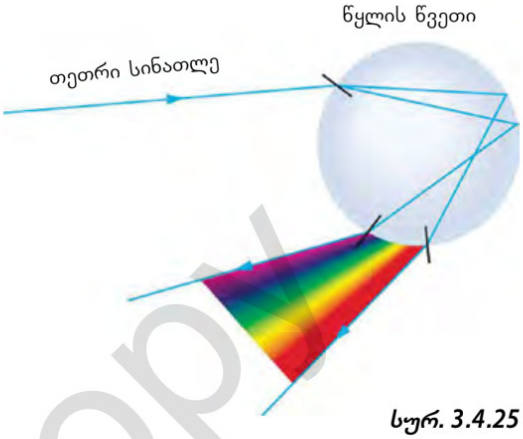


სურ. 3.4.24

სპექტრი, სადაც თითოეული ფერის ხილულ სინათლეს თავისი განსაზღვრული ადგილი აქვს (სურ. 3.4.24).

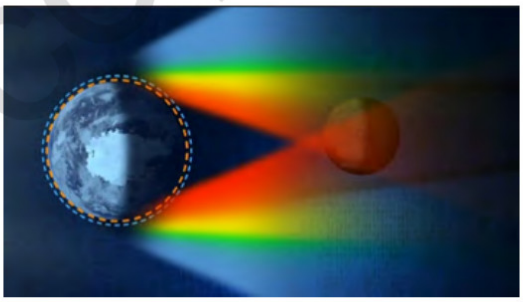
მაგ., **წითელი სინათლისთვის** (რომლის სიხშირე ყველაზე ნაკლებია, ვიდრე დანარჩენი „ფერების“ სიხშირე) **გარდატეხის მაჩვენებელი ყველაზე ნაკლებია, ვიდრე ხილული სინათლის სპექტრში სხვა დანარჩენი ტალღებისა** („ფერებისა“). ერთი გამჭვირვალე გარემოდან მეორეში გადასვლისას (მაგ., ჰაერიდან მინაში, ჰაერიდან წყალში და ა.შ.) წითელი ფერის სინათლის სიჩქარე უფრო ნაკლებად შემცირდება, ვიდრე დანარჩენი ფერის სინათლეების – წითელი სინათლე ყველაზე ნაკლებად გარდატყდება.

ხილული სინათლის დიაპაზონიდან **ყველაზე მეტი გარდატეხის მაჩვენებელი იისფერ სინათლეს** (რომლის სიხშირე ყველაზე მეტია, ვიდრე დანარჩენი „ფერების“ სიხშირე) **აქვს. ის ყველაზე მეტად გარდატყდება.**



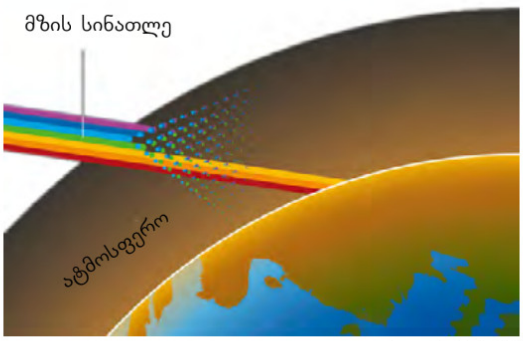
სურ. 3.4.25

სწორედ სინათლის გარდატეხის მაჩვენებლის სიხშირეზე დამოკიდებულებაა იმის მიზეზი, რომ გარკვეულ პირობებში თეთრი სინათლე შეიძლება ფერებად დაიშალოს. სიხშირეზე დამოკიდებულება უდევს საფუძვლად თეთრი სინათლის ფერებად დაშლას, მაგ., როცა სინათლე ჰაერიდან მინის პრიზმაში გადის, ან როცა წვიმის შემდეგ ცაზე ცისარტყელა ჩნდება (სინათლე ატმოსფეროდან წყლის წვეთებში გადასვლისას გარდატყდება და სრულად აირეკლება წვეთის შიდა ზედაპირიდან) (სურ. 3.4.25);


სურ. 3.4.26

გაიგე მეტი, როგორ წარმოიქმნება ცისარტყელა მინის პრიზმასა და ატმოსფეროში:
http://bitly.ws/ArcA

მთვარის სრული დაბნელებისას, როცა მთვარე დედამიწის ჩრდილში აღმოჩნდება, მთვარე მეწამული წითელი ფერისაა. დედამიწის ატმოსფეროში მზის სინათლის წითელი სხივები ყველაზე ნაკლებად გარდატყდება და მთვარეს „სისხლისფრად“ ღებავს (სპექტრის მოკლეტალღოვანი ფერები (იისფერი, ლურჯი, ცისფერი) კი ატმოსფეროში მეტად გარდატყდება და გაიბნევა) (სურ. 3.4.26).



სურ. 3.4.27

მზის ჩასვლისას (ან ამოსვლისას) ცა წითელია. ეს ჰორიზონტს ქვევით მყოფი მზის სინათლის ატმოსფეროში გარდატეხის შედეგია: ჩასვლისას (ან ამოსვლისას) მზის სინათლეს მეტი გზა აქვს ატმოსფეროში გასავლელი (ვიდრე მაშინ, როცა ზენიტშია). ხილული სინათლის მოკლეტალღოვანი გამოსხივება ატმოსფეროში მეტად გარდატყდება და გაიბნევა. წითელი სხივები კი ყველაზე ნაკლებად გარდატყდება და მათი დამსახურებით ცა ჰორიზონტზე წითლად „იღებება“ (სურ. 3.4.27).

Don't copy

3.5 ლინზები



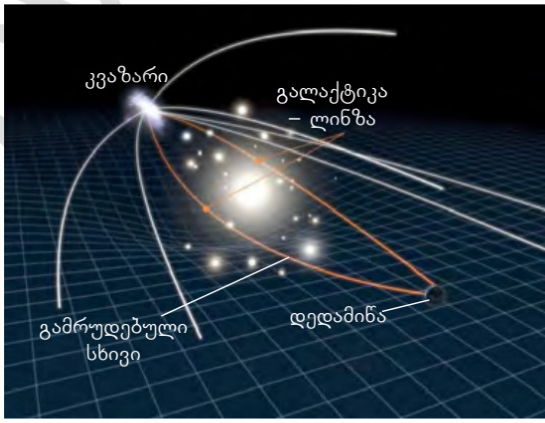
სურ. 3.5.1

ფანჯრიდან შემოსულ სინათლეს მოპირდაპირე კედელთან ლინზა დაუხვედრე (ან ლუპა – გამადიდებელი მინა ან უბრალოდ, წყლით სავსე მინის ჭურჭელი): კედელზე ფანჯრის შემცირებულ და ამობრუნებულ გამოსახულებას მიიღებ (სურ.3.5.1). ამოძრავე ლინზა კედლის მიმართ: მიუახლოვე, დააშორე და ეცადე, რომ გამოსახულება მკვეთრი იყოს.

ლინზამ ფანჯრიდან შემოსული სინათლე შეკრიბა და კედელზე შთამბეჭდავი სანახაობა შექმნა – დაპატარავებული რეალური სამყარო, ყველა თავისი დეტალით...

წარმოიდგინე: კედელზე, იმ ადგილას, სადაც გამოსახულება მიიღე, მინიატურული „ობსერვატორიაა“, რომლის „ტელესკოპები“ ნამდვილი ფანჯრისკენაა მიმართული.

„ტელესკოპებით“ შეგიძლია, ნამდვილი ფანჯარაც დაინახო და მისი გამოსახულებაც, რომელიც ლინზამ შექმნა (გამოსახულება კედლის ნაცვლად „ტელესკოპის“ ობიექტივში გამოჩნდება).



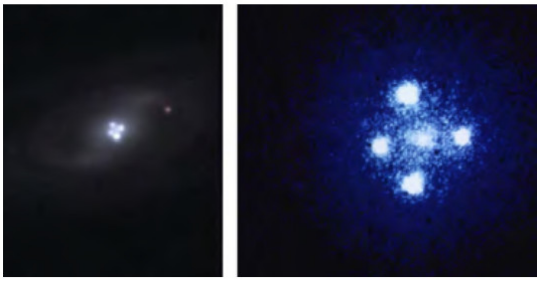
სურ. 3.5.2

გამოსახულება შეიძლება რამდენიმეც იყოს: სხივები რეალური ფანჯრიდან ყველა მიმართულებით ვრცელდება და სფერულმა ლინზამ შეიძლება სხვადასხვა ადგილას შეკრიბოს სინათლე (ანუ, გამოსახულება მოგცეს). ეს იმას ნიშნავს, რომ შენი კედლის „ობსერვატორიის“, „ტელესკოპებში“ შეიძლება ერთი რეალური სამყარო და მისი რამდენიმე გამოსახულებაც დაინახო. ისიც შესაძლებელია, რომ „ტელესკოპებში“ მხოლოდ გამოსახულებების დანახვა შეძლო (მაგ., იმ შემთხვევაში, თუ ლინზა ფანჯარას ჩამოეფარება).

ახლა ეს ყველაფერი გრანდიოზულ მასშტაბებში წარმოიდგინე: ვთქვათ, „ფანჯარა“– სინათლის წყარო რომელიმე შორეული ვარსკვლავი, გალაქტიკა ან კვაზარია. დედამიწელებს იმის მოლოდინი გვაქვს, რომ მათი გამოსხივებული სინათლე ჩვენამდე წრფივად გავრცელდება და სინათლის წყაროს დავინახავთ (ტელესკოპებით ან შეუიარაღებელი თვალით), მაგრამ რა მოხდება, თუ სინათლის წყარო მართლაც ძალიან შორსაა და მისი სინათლე ჩვენამდე ვერ აღწევს ან ჩვენსა და მას შორის მასიური კოსმოსური ობიექტი (მაგ., სხვა გალაქტიკა, ვარსკვლავი, შავი ხვრელი) აღმოჩნდება და ის სინათლის წყაროს გადაეფარება? დავინახავთ თუ არა სინათლის წყაროს ასეთ შემთხვევაში? აღმოჩნდა, რომ მისი დანახვა შესაძლებელია.

თუ ობიექტი-დაბრკოლება საკმარისად დიდი მასისაა, ის ლინზის როლს ასრულებს. მას შემდეგ, რაც, სინათლის წყაროდან წრფივად გავრცელებული სინათლე კოსმოსური ობიექტის (დაბრკოლების) ძლიერ გრავიტაციულ ველში მოხვდება, ველის გავლენით სხივები გავრცელების მიმართულებას შეიცვლის (სურ. 3.5.2): სინათლის კონა დავიწროვდება და ერთ წერტილში შეიკრიბება (ფოკუსირდება). თუ დედამიწა ამ წერტილში აღმოჩნდება, დამკვირვებელი დაინახავს სინათლის წყაროს გამოსახულებას ისე, რომ შეიძლება თავად სინათლის წყარო არც ჩანდეს (ეს მაშინ ხდება თუ სინათლის წყაროს ლინზა – დაბრკოლება ეფარება). გამოსახულება კი საშუალებას მოგვცემს, შორეული სინათლის წყარო ახლოდან „დავათვალიეროთ“.

Don't copy



სურ. 3.5.3

კოსმოსურ ობიექტს (დაბრკოლებას) ასეთ შემთხვევაში **გრავიტაციულ ლინზას** უწოდებენ. გრავიტაციული ლინზირების მეთოდს კი შორეული ვარსკვლავებისა თუ გალაქტიკების კვლევისთვის იყენებენ.

მაგ., ასტრონომები, რომლებიც დედამიწის მსგავს პლანეტებს (ეგზოპლანეტებს) კოსმოსურ ლაბირინთებში ეძებენ, მზეს, როგორც გრავიტაციულ ლინზას ისე განიხილავენ და მისი გრავიტაციული ველის გავლენით გამრუდებულ სინათლის სხივებს შეისწავლიან.

იმის გამო, რომ სინათლე გრავიტაციულ ლინზას (მასიურ კოსმოსურ ობიექტს) ყველა მხრიდან შემოუვლის, ჩვენ შეგვიძლია სინათლის წყაროს რამდენიმე გამოსახულებაც კი დავინახოთ.

1985 წელს ამერიკელმა ასტრონომმა **ჯონ ჰუკრამ** და მისმა კოლეგებმა დედამიწიდან 400 მილიონი სინათლის წლით დაშორებული გალაქტიკა (ZW 2237+030) აღმოაჩინეს. მოგვიანებით ჰუკრა მიხვდა, რომ მის მიერ აღმოჩენილი გალაქტიკის „უკან“ 8 მილიარდი სინათლის წლით დაშორებული კვაზარი (Q2237+030) იმყოფებოდა (კვაზარი გალაქტიკის აქტიური ბირთვია, რომლის გამოსხივება ძალიან ძლიერია). კვაზარიდან გამოსხივებულ სინათლის სხივებს ჰუკრას აღმოჩენილი გალაქტიკის გრავიტაციული ველი ამრუდებდა და დედამიწისკენ მიმართავდა. გალაქტიკას **ჰუკრას ლინზა** უწოდეს. გარდა იმისა, რომ ჰუკრას გალაქტიკის სინათლეში წითელი წანაცვლება კვაზარის არსებობას ადასტურებდა, ასტრონომებმა ჰუკრას ლინზის გარშემო კვაზარის ოთხი გამოსახულებაც შეამჩნიეს (მეხუთეცაა, რომელიც მკვეთრი არ არის) (სურ. 3.5.3). გამოსახულებების ჯვრისებური განლაგების გამო ამ ასტრონომიურ მირაჟს **აინშტაინის ჯვარი** უწოდეს, **ალბერტ აინშტაინის** პატივსაცემად, რომელმაც 1912 წელს გამოთქვა ვარაუდი, რომ სინათლის გავრცელებაზე მასიური ობიექტების გრავიტაციული ველი გავლენას ახდენს.

გაიგე მეტი:
http://bitly.ws/ArdM
http://bitly.ws/ArdQ

რა არის ლინზა, რა თვისებები აქვს მას და როგორ მიიღება გამოსახულება ლინზაში, ამ და მომდევნო პარაგრაფებში გაეცნობი.

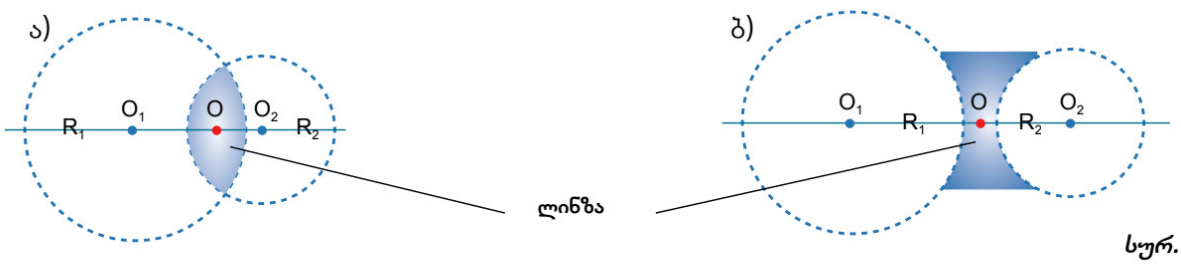
3.5.1. ლინზა



სურ. 3.5.4

ლინზა გამჭვირვალე ერთგვაროვანი სხეულია, რომელიც ორივე მხრიდან სფერული ზედაპირებითაა შემოსაზღვრული (ან ერთი მხრიდან სფერული ზედაპირითაა შემოსაზღვრული, მეორიდან კი – სიბრტყით) (სურ. 3.5.4). ლინზებს, ჩვეულებრივ, მინისა ან გამჭვირვალე პლასტმასისგან ამზადებენ.

დააკვირდი, როგორ იქმნება სფერული ზედაპირებით ლინზები (სურ. 3.5.5).



სურ. 3.5.5

Don't copy

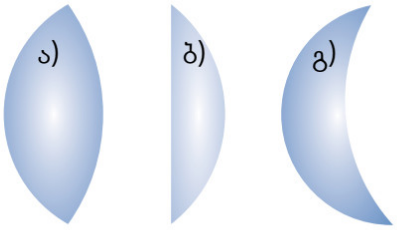
ლინზები ორგვარია: ამოზნექილი და ჩაზნექილი.

ამოზნექილი ლინზა, თავის მხრივ, შეიძლება იყოს:

ა) **ორმხრივამოზნექილი,** თუ ლინზის ორივე მხარე ამოზნექილი სფერული ზედაპირებითაა შემოსაზღვრული (სურ. 3.5.6, ა);

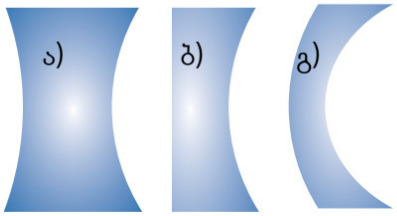
ბ) **ბრტყელამოზნექილი,** თუ ლინზის ერთი მხარე ამოზნექილია, ხოლო მეორე – ბრტყელი (სურ. 3.5.6, ბ);

გ) **ჩაზნექილ-ამოზნექილი:** ერთი მხარე ჩაზნექილია, მეორე – ამოზნექილი (სურ. 3.5.6, გ);



სურ. 3.5.6

ჩაზნექილი ლინზაც, თავის მხრივ, შეიძლება იყოს: **ორმხრივჩაზნექილი** (სურ. 3.5.7, ა), **ბრტყელჩაზნექილი** (სურ. 3.5.7, ბ), **ჩაზნექილ-ამოზნექილი** (სურ. 3.5.7, გ).



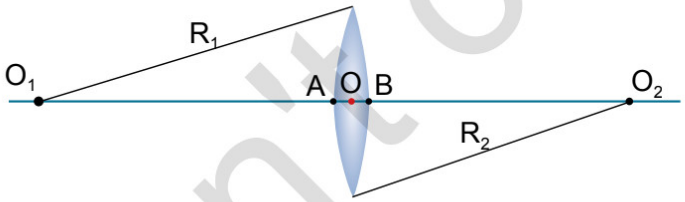
სურ. 3.5.7

დააკვირდი: **ამოზნექილ ლინზებს** შუა ნაწილი უფრო განიერი აქვს, ვიდრე კიდეები (სურ.3.5.6), **ჩაზნექილ ლინზებს** კი კიდეები უფრო განიერი აქვს, ვიდრე შუა ნაწილი (სურ.3.5.7).

3.5.2. თხელი ლინზა

შემდგომში ჩვენ ყოველთვის **თხელ ლინზებზე** ვისაუბრებთ. **ლინზას თხელი ეწოდება, თუ მისი სისქე** (AB) **უმნიშვნელოა** (სურ. 3.5.8)**:**

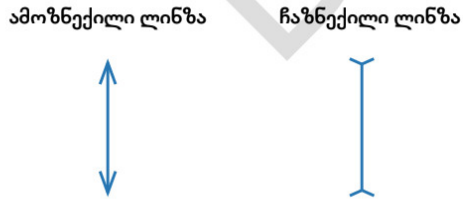
ა) მისი შემომსაზღვრელი სფერული ზედაპირების სიმრუდის რადიუსებთან (R_1 და R_2-თან) შედარებით: $AB << R_1$ და $AB << R_2$;



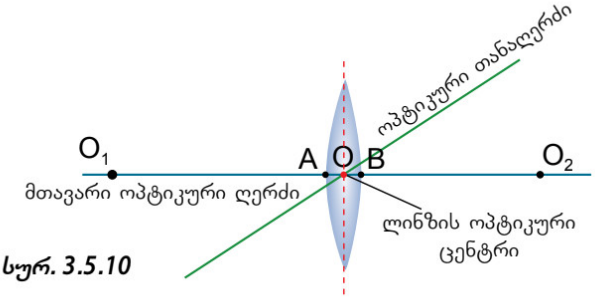
სურ. 3.5.8

ბ) იმ მანძილთან შედარებით, რომლითაც ლინზიდან სინათლის წყაროა დაშორებული.

დააკვირდი, როგორ გამოსახავენ თხელ ლინზებს ნახაზზე სქემატურად (სურ. 3.5.9).



სურ. 3.5.9



სურ. 3.5.10

თხელი ლინზის სფერული ზედაპირების A და B წერტილები (სურ. 3.5.10) იმდენად ახლოსაა ერთმანეთთან, რომ მათ ერთ წერტილად თვლიან, რომელსაც **ლინზის ოპტიკური ცენტრი** ჰქვია (აღინიშნება O ასოთი).

ლინზის ოპტიკურ ცენტრზე გამავალ, სფერული ზედაპირების ცენტრების შემაერთებელ (ლინზის ვერტიკალური ღერძის მართობულ) O_1O_2 წრფეს, **ლინზის მთავარი ოპტიკური ღერძი** ეწოდება.

ლინზის ოპტიკურ ცენტრზე გამავალ ნებისმიერ სხვა წრფეს, უბრალოდ, **ლინზის ოპტიკური ღერძი (თანაღერძი)** ჰქვია (სურ.3.5.10).

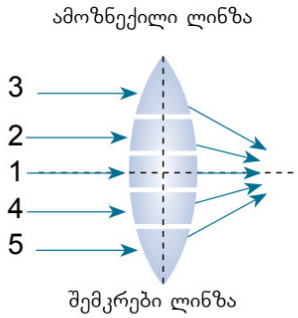
Don't copy

3.5.3. შემკრები და გამბნევი ლინზებში

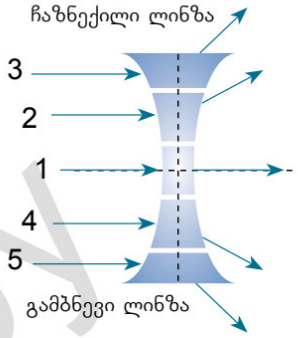
შენ იცი, რომ ერთგვაროვან გარემოში მოთავსებულ

1. ბრტყელ პარალელურგვერდებიან გამჭვირვალე ფირფიტაზე დაცემული სინათლის სხივი ფირფიტაში გადასვლისას და ფირფიტიდან გამოსვლის შემდეგ არ გარდატყდება, თუ ფირფიტას სხივი მართობულად ეცემა (თუ დაცემის კუთხე ნულის ტოლია);

2. პრიზმაში სხივი ორჯერ გარდატყდება და პრიზმის ფუძისკენ (გარდამტეხი კუთხის საპირისპიროდ) იხრება.



3.5.11 სურათზე ორმხრივამოზნექილი და ორმხრივჩაზნექილი ლინზებია გამოსახული. **წარმოიდგინე:** ამოზნექილი და ჩაზნექილი ლინზები რამდენიმე ნაწილადაა დანაწევრებული ისე, როგორც ეს სურათზე ჩანს.



სურ. 3.5.11

დააკვირდი იმ წარმოსახვით ნაწილებს, რომლებადაც ლინზებია დაყოფილი (სურ.3.5.11): ორივე ლინზის

ა) შუა ნაწილი ბრტყელი პარალელურგვერდებიანი ფირფიტაა. მასზე მართობულად დაცემული სხივი (1) არ გარდატყდება;

ბ) კიდეებში წარმოსახვითი პრიზმებია განლაგებული. მათზე დაცემული სხივები (2, 3, 4, 5) პრიზმიდან გამოსვლის შემდეგ ფუძისკენ (გარდამტეხი კუთხის საპირისპიროდ) იქნება დახრილი.

ასე რომ,

1. ამოზნექილ ლინზაში გამავალი ყველა სხივი მთავარი ოპტიკური ღერძისკენ დაიხრება – ამოზნექილი ლინზა სხივებს შეკრებს. შესაბამისად, ამოზნექილ ლინზას **შემკრები ლინზა** ჰქვია.

2. ჩაზნექილ ლინზაში გამავალი ყველა სხივი მთავარი ოპტიკური ღერძიდან განზე გადაიხრება – ჩაზნექილი ლინზა სხივებს გაშლის, გააბნევს. შესაბამისად, ჩაზნექილ ლინზას **გამბნევი ლინზა** ჰქვია;

3.5.4. შემკრები ლინზა

ჩაატარე ცდა და **დააკვირდი სხივთა სვლას შემკრებ ლინზაში.**



სურ. 3.5.12

ცდა I

1. დაამაგრე ოპტიკურ დისკოზე შემკრები (ამოზნექილი) ლინზა (სურ. 3.5.12);

2. მიმართე ლაზერის მაჩვენებლიდან სინათლის სხივი ლინზისკენ ისე, რომ სხივი ლინზის ოპტიკურ ცენტრზე გადიოდეს.

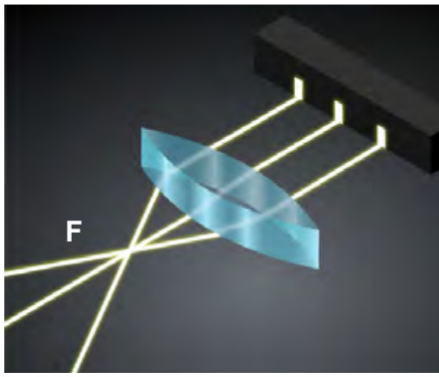
ცვალე დაცემის კუთხე და დააკვირდი: გარდატყდება თუ არა ლინზიდან გამოსული სხივი.

3. მიმართე სინათლის წყაროდან პარალელურ სხივთა კონა ლინზისკენ მთავარი ოპტიკური ღერძისადმი:

ა) პარალელურად; ბ) სხვადასხვა კუთხით.

დააკვირდი: პარალელური სხივები ლინზაში გარდატეხისას ერთ წერტილში იკრიბება (სურ. 3.5.13).

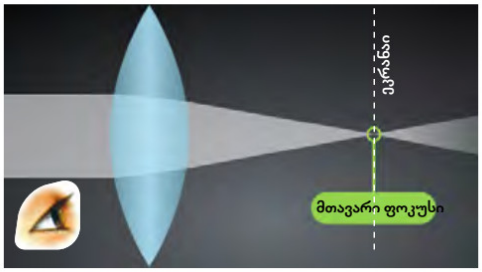
შენიშვნა: სინათლის პარალელურ სხივებს მიიღებ, თუ სინათლეს გავრცელების გზაზე ჩვეულებრივ სავარცხელს დაუხვედრებ.



სურ. 3.5.13

Don't copy

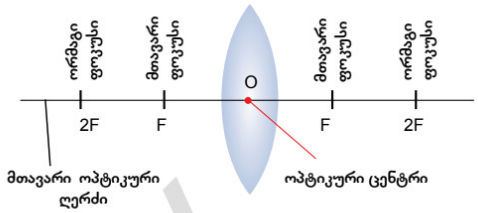
ამოზნექილი ლინზა შემკრებია: პარალელური სხივები შემკრებ ლინზაში გარდატეხისას ერთ წერტილში იკვეთება (იკრიბება).



წერტილს, რომელშიც **მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელური სხივები** იკვეთება, **ლინზის მთავარი ფოკუსი** ჰქვია. მას F ასოთი აღნიშნავენ (სურ.3.5.14).

ლინზას ორი მთავარი ფოკუსი აქვს. თუ ლინზა ერთგვაროვან გარემოშია მოთავსებული, მაშინ მისი ფოკუსები ლინზის ორივე მხარეს, მისგან (ოპტიკური ცენტრისგან) ერთსა და იმავე მანძილზე განლაგდება (სურ.3.5.14).

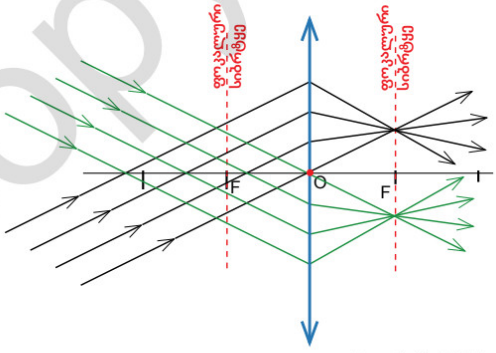
მანძილს, რა მანძილითაც მთავარი ფოკუსი ლინზის ოპტიკური ცენტრიდანაა დაშორებული, **ფოკუსური მანძილი** ჰქვია და ისიც F -ით აღინიშნება.



სურ. 3.5.14

მთავარი ფოკუსების გარდა, მთავარ ოპტიკურ ღერძზე აღნიშნავენ ორმაგ (2F), სამმაგ (3F) და ა.შ. ფოკუსებსაც, რომლებიც ლინზის ოპტიკური ცენტრიდან შესაბამისად, 2F, 3F და ა.შ. მანძილებითაა დაშორებულია (ორმაგი და სამმაგი ფოკუსების დახმარებით ლინზის მიმართ სხეულისა და მისი გამოსახულების მდებარეობას განსაზღვრავენ) (სურ.3.5.14).

თუ ლინზას პარალელური სხივები მთავარი ოპტიკური ღერძისადმი კუთხით ეცემა, გარდატეხისას ისინი მაინც ერთ წერტილში შეიკრიბება, თუმცა ეს წერტილი მთავარ ფოკუსს არ ემთხვევა (სურ. 3.5.15).



სურ. 3.5.15

სხვადასხვა კუთხით დაცემული პარალელური სხივები განსხვავებულ წერტილებში გადაიკვეთება და ამ წერტილების ერთობლიობა სიბრტყეს ქმნის, რომელსაც **ფოკალური სიბრტყე** ჰქვია (სურ.3.5.15). **ფოკალური სიბრტყე მთავარი ოპტიკური ღერძის მართობულია და ლინზის მთავარ ფოკუსებზე გადის.**

ჩაატარე ცდა და დააკვირდი, როგორ მიიღება სინათლის წყაროს გამოსახულება შემკრებ ლინზაში.

ცდა II

ცდისთვის დაგჭირდება: ლუპა (გამადიდებელი მინა, რომელიც ამოზნექილი შემკრები ლინზაა).



სურ. 3.5.16

1. დაუხვედრე შემკრები ლინზა მზის სხივებს (სინათლის პარალელურ სხივთა კონას) და გარდატეხილი სხივები ქაღალდის ფურცლისაკენ მიმართე;

2. ამოძრავე ლინზა: მიუახლოვე ან დააშორე ფურცელს და დააკვირდი, როგორ იცვლება ქაღალდზე განათებული ლაქის ზომები;

3. ეცადე, ქაღალდიდან ლინზის ისეთი დაშორება შეარჩიო, რომ ქაღალდზე რაც შეიძლება პატარა, **მკვეთრი** განათებული წერტილი მიიღო.

სწორედ ეს არის **შემკრები ლინზის ფოკუსი** (სურ. 3.5.16).

Don't copy

4. თუ ქაღალდზე მზის სხივებს მიმართავ და ლუპით ფოკუსირებულს გახდი, ქაღალდი ცოტა ხანში აალებას დაიწყებს (იმისათვის, რომ დიდხანს ლოდინი არ დაგჭირდეს, სხივები შავი ფერის ზედაპირზე, მაგ., შავ ფურცელზე ან თეთრი დაფის საწმენდის მუქ ზედაპირზე მიმართე). აალება კი მიგვანიშნებს იმაზე, რომ **შემკრებ ლინზას ნამდვილი ფოკუსები** აქვს: ფოკუსში სინათლის ნამდვილი სხივები იკრიბება, ფოკუსში სინათლის ენერგია კონცენტრირდება.

5. გაზომე მანძილი ფურცელზე მიღებულ მნათ წერტილსა (ფოკუსსა) და ლინზას შორის. ეს **ლინზის ფოკუსური მანძილია.**

ცდა III

ცდისთვის დაგჭირდება: ლუპა (შემკრები ლინზა), სანთელი, ეკრანი (კედელი).

ჩაატარე ცდა დაბნელებულ ოთახში:



1. ანთებულ სანთელსა და ეკრანს შორის ლუპა (შემკრები ლინზა) მოათავსე;

2. ლუპა ამოძრავე სანთლის/ეკრანის მიმართ: დააშორე ან მიუახლოვე მას;



3. დააკვირდი ეკრანზე სანთლის გამოსახულებას: ეკრანზე **ამობრუნებული** სანთლის ალი ხან მკვეთრად ჩანს, ხანაც ბუნდოვნად, ხან გადიდებულია, ხანაც შემცირებული. ზოგ შემთხვევაში სანთლის გამოსახულება აღარ ჩანს და ეკრანზე განათებული რგოლი (ან წრე) მიიღება.

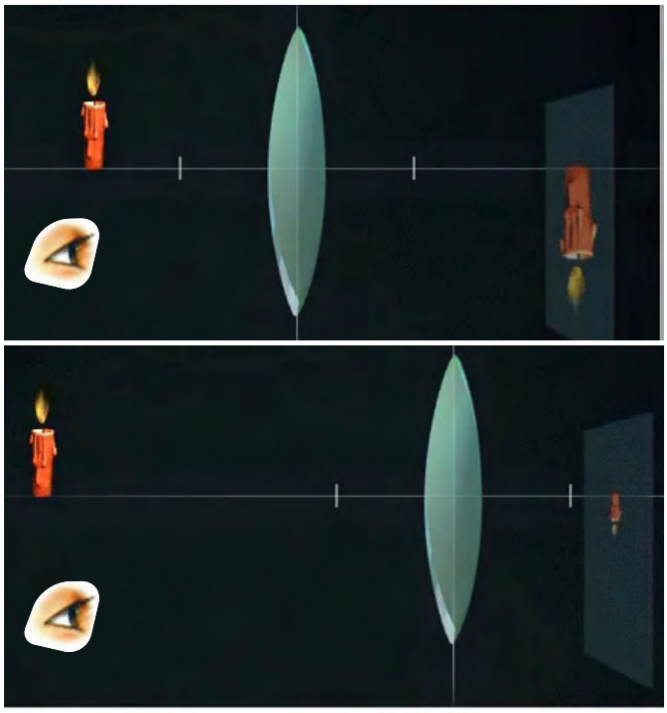
შენ იცი, რომ **სხივებს შექცევადობა ახასიათებს:** თუ მნათ წერტილს (სინათლის წერტილოვან წყაროს) ლინზის ფოკუსში ან ფოკალური სიბრტყის რომელიმე წერტილში მოვათავსებთ, ლინზაში გარდატეხისას პარალელურ სხივთა კონას მივიღებთ (ასეთ დროს ეკრანზე სინათლის წყაროს გამოსახულება არ ჩანს. ჩანს განათებული წრე) .

თუ მნათი წერტილი ლინზიდან დაშორებულია მანძილით, რომელიც

ა) ფოკუსურ მანძილზე მეტია, მაშინ ლინზაში გარდატეხისას სხივები ლინზის მეორე მხარეს შეიკრიბება და წყაროს **ნამდვილ** გამოსახულებას მოგვცემს: ამ დროს ეკრანზე სანთლის ამობრუნებული, ნამდვილი გამოსახულება ჩანს (თუ სინათლის წყაროს ინტენსივობა დიდია, შეიძლება გარკვეული დროის შემდეგ ეკრანი ამოიწვას კიდეც) (სურ. 3.5.17);

ბ) ფოკუსურ მანძილზე ნაკლებია, მაშინ ლინზაში გარდატეხისას განშლადი სხივები მიიღება და მათი წარმოსახვითი გაგრძელებები წყაროს წარმოსახვით გამოსახულებას მოგვცემს (ლინზის იმავე მხარეს, სადაც წყარო იმყოფება). ასეთ დროს ეკრანზე სანთლის გამოსახულება არ ჩანს, ეკრანზე განათებული დიდი რადიუსის რგოლია.

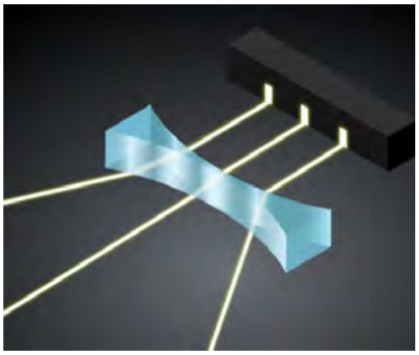
ექსპერიმენტულად ამ მოვლენებს მარტივად დააკვირდები, თუმცა როდის, როგორი გამოსახულება მიიღება ლინზაში, ამის განსაზღვრა შესაძლებელია თეორიულადაც (ფორმულით) და გეომეტრიული აგებებითაც. ამ საკითხს მოგვიანებით განვიხილავთ.



სურ. 3.5.17

Don't copy

3.5.5. გამბნევი ლინზა



სურ. 3.5.18

ჩაატარე ცდა და **დააკვირდი სხივთა სვლას გამბნევ ლინზაში.**

ცდა IV



1. დაამაგრე ოპტიკურ დისკოზე გამბნევი (ჩაზნექილი) ლინზა;



2. მიმართე ლაზერის მაჩვენებლიდან სინათლის სხივი ლინზისკენ ისე, რომ სხივი ლინზის ოპტიკურ ცენტრზე გადიოდეს.



ცვალე დაცემის კუთხე და **დააკვირდი:** გარდატყდება თუ არა ლინზიდან გამოსული სხივი.

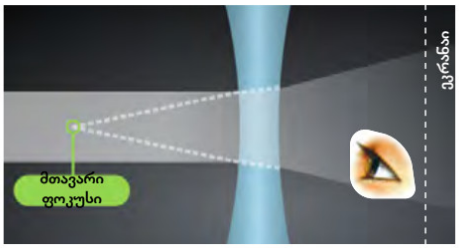


3. მიმართე სინათლის წყაროდან პარალელურ სხივთა კონა ლინზისკენ მთავარი ოპტიკური ღერძისადმი:

ა) პარალელურად; ბ) სხვადასხვა კუთხით.

დააკვირდი: პარალელური სხივები ლინზაში გარდატეხისას განშლად კონას მოგცემს (სურ. 3.5.18).

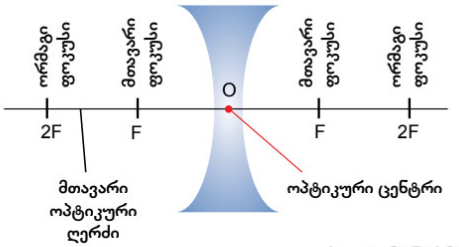
4. გახედე გამბნევი ლინზით სინათლის ვიწრო კონას. შენ მნათ წერტილს დაინახავ, რომელიც ლინზის იმ მხარესაა, რომელ მხარესაც თავად სინათლის წყარო იმყოფება. ეს ილუზიაა. შენ გეჩვენება, რომ სინათლის სხივები მნათი წერტილიდან გამოდის, სადაც სინამდვილეში სინათლის წყარო არ არის. ეს წერტილი **გამბნევი ლინზის წარმოსახვითი ფოკუსია** (იქ სინათლის ენერგია არ მიდის) (სურ. 3.5.19).



ჩაზნექილი ლინზა გამბნევია: პარალელური სხივების გამბნევ ლინზაში გარდატეხისას სინათლის განშლადი კონა მიიღება.

გამბნევი ლინზის მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელური სხივების ლინზაში გარდატეხის შედეგად მივიღებთ განშლად სხივებს, რომელთა **წარმოსახვითი გაგრძელებები** იკვეთება გამბნევი ლინზის **მთავარ ფოკუსში** (სურ. 3.5.19): **ფოკუსი წარმოსახვითია**.

გამბნევის **ლინზის წარმოსახვით ფოკუსს**, შემკრები ლინზის ნამდვილი ფოკუსის მსგავსად, **F ასოთი აღნიშნავენ.**

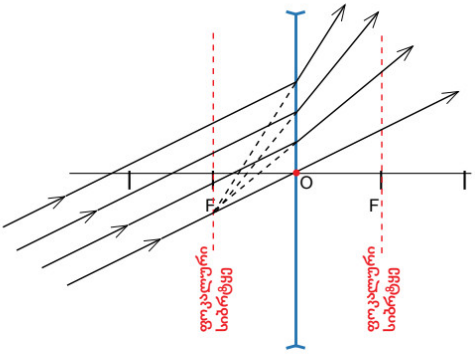


სურ. 3.5.19

გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილი ის მანძილია, რომლითაც მისი მთავარი ფოკუსი ლინზის ოპტიკური ცენტრიდანაა დაშორებული და ისიც F -ით აღინიშნება (სურ. 3.5.19).

გამბნევ ლინზას ორი მთავარი წარმოსახვითი ფოკუსი აქვს. თუ ლინზა ერთგვაროვან გარემოშია მოთავსებული, მაშინ მისი წარმოსახვითი ფოკუსები ლინზის ორივე მხარეს, მისგან (ოპტიკური ცენტრისგან) ერთსა და იმავე მანძილზე განლაგდება (სურ. 3.5.19).

თუ გამბნევ ლინზას პარალელური სხივები მთავარი ოპტიკური ღერძისადმი კუთხით ეცემა, გარდატეხისას ისინი ისე გავრცელდება, რომ მათი წარმოსახვითი



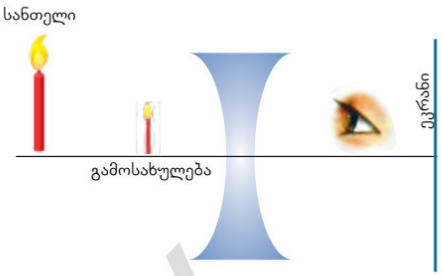
სურ. 3.5.20

Don't copy

გაგრძელებები მაინც ერთ წარმოსახვით წერტილში შეიკრიბება, თუმცა ეს წერტილი მთავარ ფოკუსს არ ემთხვევა (სურ. 3.5.20).

გამბნევ ლინზაზე სხვადასხვა კუთხით დაცემული პარალელური სხივები გარდატეხის შემდეგ ისე გავრცელდება, რომ მათი წარმოსახვითი გაგრძელებები განსხვავებულ წერტილებში გადაიკვეთება. ამ წარმოსახვითი წერტილების ერთობლიობა კი წარმოსახვით სიბრტყეს ქმნის, რომელსაც გამბნევი ლინზის **ფოკალური სიბრტყე** ჰქვია: ფოკალური სიბრტყე მთავარი ოპტიკური ღერძის მართობულია და ლინზის მთავარ წარმოსახვით ფოკუსებზე გადის (სურ. 3.5.20).

ცდა V



სურ. 3.5.21

ცდისთვის დაგჭირდება: გამბნევი ლინზა, სანთელი, ეკრანი.

ჩაატარე ცდა დაბნელებულ ოთახში:

1. ანთებულ სანთელსა და ეკრანს შორის გამბნევი ლინზა მოათავსე;

2. ამოძრავე ლინზა სანთლის მიმართ: დააშორე ან მიუახლოვე;

3. დააკვირდი ეკრანს: ის განათებულია, მაგრამ მასზე სანთლის ალის გამოსახულება არ მიიღება;

4. გახედე ლინზაში ეკრანის მხრიდან სანთლის მხარეს: ლინზაში სანთლის **შემცირებული პირდაპირი** გამოსახულება ჩანს (სურ. 3.5.21).

ეს სანთლის **წარმოსახვითი** გამოსახულებაა, ის მიიღება ლინზის იმავე მხარეს, რომელ მხარესაც სანთელია მოთავსებული.

3.5.6. ლინზის ოპტიკური ძალა

ფოკუსური მანძილის (F-ის) შებრუნებულ სიდიდეს **ლინზის ოპტიკური ძალა** ჰქვია. მას D-თი აღნიშნავენ:

$$D = \frac{1}{F} \qquad (3.5.1)$$

მიჩნეულია, რომ **ლინზის ფოკუსური მანძილი** და, შესაბამისად, **ოპტიკური ძალა:**

ა) დადებითია, თუ ლინზა შემკრებია ($F > 0$; $D > 0$);

ბ) უარყოფითია, თუ ლინზა გამბნევია ($F < 0$; $D < 0$).

რაც უფრო ახლოსაა ლინზასთან ფოკუსები (რაც უფრო ნაკლებია ფოკუსური მანძილის მოდული), მით უფრო მეტია ლინზის ოპტიკური ძალის აბსოლუტური მნიშვნელობა; მით უფრო ძლიერად გარდატეხს (გააბნევს ან შეკრებს) ლინზა სხივებს.

ლინზის ოპტიკური ძალის ერთეული SI-ში 1 დიოპტრია. 1 დიოპტრი ისეთი ლინზის ოპტიკური ძალაა, რომლის ფოკუსური მანძილი 1 მ-ია:

$$1 \text{ დპტრ} = \frac{1}{\text{მ}}$$

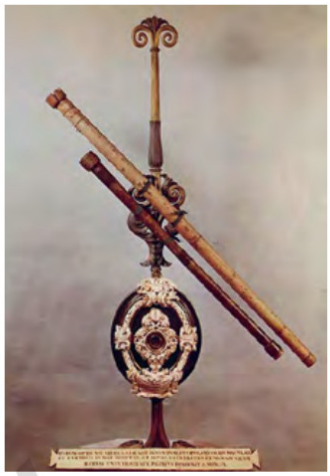
ბევრი ოპტიკური ხელსაწყო (ტელესკოპი, მიკროსკოპი) რამდენიმე ლინზისგან შედგება. **ერთმანეთთან ახლოს განლაგებული ლინზათა სისტემის სრული ოპტიკური ძალა ცალკეული ლინზების ოპტიკურ ძალათა ჯამის ტოლია:**

$$D = D_1 + D_2 \qquad (3.5.2)$$

Don't copy

პროექტი №8: ლინზები – ხიდი შეუცნობლისკენ

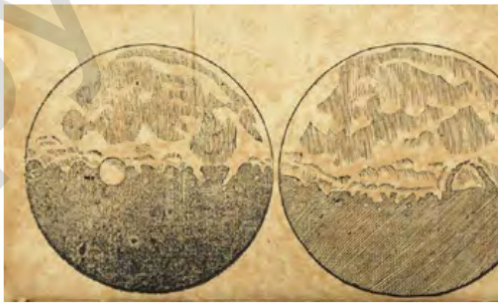
ტელესკოპი



სურ. 1

1610 წელს გალილეო გალილეიმ ტელესკოპი შექმნა (სურ.1) და, მიუხედავად იმისა, რომ ტელესკოპს საკმაოდ მარტივი ოპტიკური სისტემა ჰქონდა, მისი საშუალებით მეცნიერმა იუპიტერის ოთხი თანამგზავრი, ვენერას ფაზები, მზეზე ლაქები, მთვარეზე მთები და დაბლობები აღმოაჩინა.

მე-2 სურათზე გალილეოს მიერ ტელესკოპში დანახული მთვარის ზედაპირის გამოსახულებაა, რომელიც გალილეიმ ფურცელზე ჩანახატების სახით გადაიტანა.



სურ. 2

გალილეიმ ასტრონომიული დაკვირვებების საფუძველზე საბოლოოდ უარყო სამყაროს მოწყობის **გეოცენტრული მოდელი** და კოპერნიკის **ჰელიოცენტრულ მოდელს** (რომლის თანახმადაც სამყაროს ცენტრში არის მზე) მხარი საჯაროდ დაუჭირა. ეს კი აშკარა გამოწვევა იყო იმდროინდელი ეკლესიის მესვეურებისა, რომლებიც კოპერნიკის მიმდევრებს მკრეხელებად ნათლავდნენ. ინკვიზიციამ გალილეის ეს თამამი განცხადება არ აპატია და აიძულა, თავისი თეორია მცდარად გამოეცხადებინა (თუმცა, მიუხედავად ამისა, გალილეი კაცობრიობის ისტორიაში მაინც თავისუფალი აზროვნების სიმბოლოდ რჩება).

გალილეის ტელესკოპი **რეფრაქტორის** ტიპისაა. „რეფრაქცია“ სინათლის გარდატეხას ნიშნავს და სწორედ სინათლის გარდატეხის მოვლენაზეა დაფუძნებული გალილეის **ტელესკოპ-რეფრაქტორის** მოქმედება. გალილეის ტელესკოპის ოპტიკური სისტემა შედგება:

1. ობიექტივისგან – ორმხრივად ამოზნექილი, შემკრები ლინზისაგან, რომელსაც შორეული ციური სხეულიდან არეკლილი სინათლე ეცემა. შემკრები ლინზის ფოკუსური მანძილი დაახლოებით 20 – 24 სმ-ია;

2. ოკულარისგან – გამბნევი ლინზისაგან, რომელშიც დამკვირვებელი შორეული ობიექტის გამოსახულებას ხედავს. გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილი 2-3 სმ-ის ტოლია.

დავალება 1. დაამზადე გალილეის ტელესკოპი.

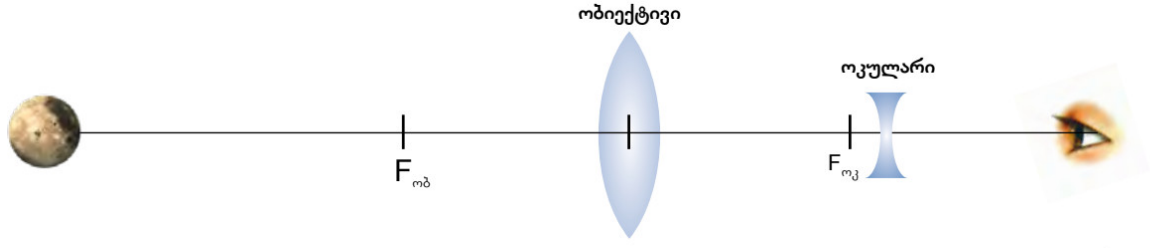
1. ააგე ნახაზზე გალილეის „ტელესკოპში“ „მთვარის“ გამოსახულება (სურ. 3);

2. გაარკვიე:

ა) როგორი მდებარეობა უნდა ჰქონდეს ლინზებს ერთმანეთის მიმართ, რა მანძილით უნდა იყოს ერთმანეთისგან დაშორებული;

ბ) როგორი გამოსახულება მიიღება გალილეოს ტელესკოპში (ნამდვილი, წარმოსახვითი, გადიდებული, შემცირებული, პირდაპირი თუ ამობრუნებული)?

გ) რაზეა დამოკიდებული გამოსახულების სიმკვეთრე ტელესკოპში?



სურ. 3

Don't copy

3. შექმენი გალილეოს ტელესკოპის მოდელი (გამოიყენე ობიექტივისა და ოკულარისთვის სათვალის ლინზები, ხოლო ტელესკოპის კორპუსისთვის – წყალგაყვანილობის მილი) (სურ. 4).





სურ. 4.

გაიგე მეტი გალილეის ტელესკოპზე:
http://bitly.ws/AFtW
http://bitly.ws/AFu2
http://bitly.ws/AFu6
http://bitly.ws/AFu8
http://bitly.ws/AFua

თანამედროვე ტელესკოპ-რეფრაქტორები გამოჩენილი გერმანელი ასტრონომის **იოჰან კეპლერის** მიერ შექმნილი ტელესკოპის სისტემას ეფუძნება. კეპლერმა ტელესკოპის ოპტიკური სისტემა, გალილეისაგან განსხვავებით, **ორი შემკრები ლინზისგან** დაამზადა:

1. **ობიექტივი** – გრძელი ფოკუსური მანძილისა და დიდი დიამეტრის მქონე ლინზაა;
2. **ოკულარი** – მოკლე ფოკუსური მანძილის მქონე ლინზაა.

დავალება 2. დაამზადე კეპლერის ტელესკოპი.

1. ააგე ნახაზზე კეპლერის „ტელესკოპში“ „მთვარის“ გამოსახულება (სურ. 5);

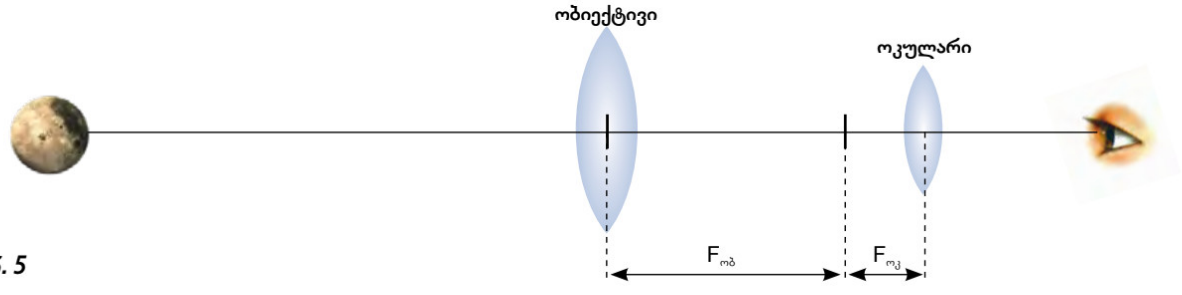
2. გაარკვიე:

ა) როგორი მდებარეობა უნდა ჰქონდეს ლინზებს ერთმანეთის მიმართ, რა მანძილით უნდა იყოს ერთმანეთისგან დაშორებული;

ბ) როგორი გამოსახულება მიიღება კეპლერის ტელესკოპში (ნამდვილი, წარმოსახვითი, გადიდებული, შემცირებული, პირდაპირი თუ ამობრუნებული)?

გ) რაზეა დამოკიდებული გამოსახულების სიმკვეთრე ტელესკოპში?

3. შექმენი კეპლერის ტელესკოპის მოდელი (გამოიყენე ობიექტივისა და ოკულარისთვის სათვალის ლინზები, ხოლო ტელესკოპის კორპუსისთვის – წყალგაყვანილობის მილი).



სურ. 5

Don't copy

გაიგე მეტი კეპლერის ტელესკოპზე:
http://bitly.ws/AFuQ
http://bitly.ws/AFuS
http://bitly.ws/AFuV
http://bitly.ws/AFuX



სურ. 6.

დავალება 3. ტელესკოპ-რეფრაქტორებს ნაკლი აქვს: იმისათვის, რომ გამოსახულება მკვეთრი იყოს, ობიექტივის დიამეტრს ადიდებენ, თუმცა გადიდებისას ხელისშემშლელი მოვლენა იჩენს თავს. ამ ნაკლის გამოსასწორებლად 1668 წელს ისააკ ნიუტონმა სარკიანი ტელესკოპი, **ტელესკოპ-რეფლექტორი** (ამრეკლი) შექმნა (სურ. 6). ტელესკოპ-რეფლექტორს, რეფრაქტორისგან განსხვავებით, საკმაოდ დიდი უპირატესობა აქვს და სწორედ ამიტომ თანამედროვე ობსერვატორიებში ტელესკოპ-რეფლექტორებს იყენებენ.

გაარკვიე:

1. ტელესკოპ-რეფლექტორის მუშაობის პრინციპი და წარმოადგინე ნახაზზე, როგორ მიიღება შორეული ობიექტების გამოსახულება მასში;

2. რა ნაკლი აქვს ტელესკოპ-რეფრაქტორებს და რა უპირატესობა აქვს რეფლექტორებს მათთან შედარებით.

გაიგე მეტი ნიუტონის ტელესკოპზე:
http://bitly.ws/AFxr
http://bitly.ws/AFxs

მიკროსკოპი

თუ გალილეო გალილეი სამყაროს საიდუმლოებებს შორეული ვარსკვლავებისა და პლანეტებისკენ ეძებდა, რობერტ ჰუკი თავის მიერ შექმნილ **მიკროსკოპში** ბაქტერიების, მიკრობების, მწერების ყველასთვის უცნობსა და უხილავ სამყაროს აკვირდებოდა (სურ. 7). მან პირველმა აღმოაჩინა, რომ ცოცხალი ქსოვილი უჯრედებისგან შედგება.



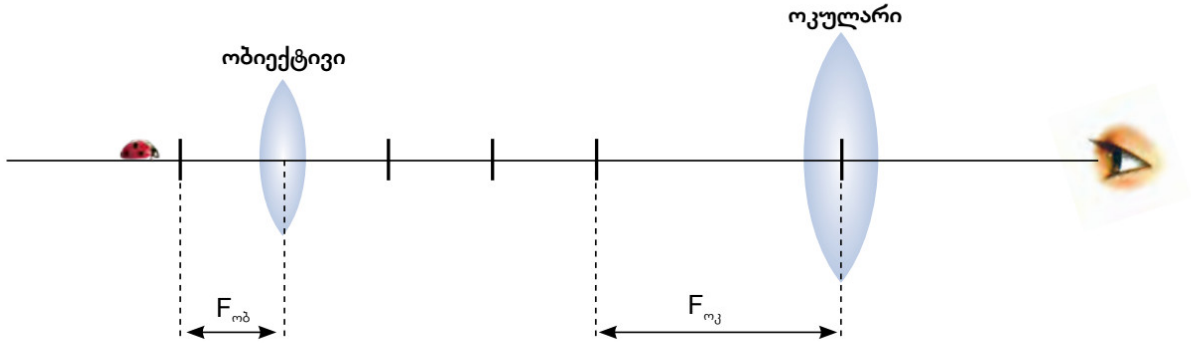
სურ. 7

Don't copy

მიკროსკოპის ოპტიკური სისტემა ორი შემკრები ლინზისგან შედგება:

1. ობიექტივი – მოკლე ფოკუსური მანძილის მქონე შემკრები ლინზაა, რომელსაც ეცემა დაკვირვების ობიექტიდან არეკლილი სინათლე.

2. ოკულარი – გრძელი ფოკუსური მანძილის მქონე შემკრები ლინზაა, რომელიც დამკვირვებლის თვალისკენ მიმართავს ობიექტიდან წამოსულ სინათლის სხივებს.



სურ. 8

დავალება 4.

1. ააგე ნახაზზე მიკროსკოპში „ჭიამაიას“ გამოსახულება (სურ. 8);

2. გაარკვიე:

ა) როგორი მდებარეობა უნდა ჰქონდეს ლინზებს ერთმანეთის მიმართ;

ბ) როგორი გამოსახულება მიიღება მიკროსკოპში (ნამდვილი, წარმოსახვითი, გადიდებული, შემცირებული, პირდაპირი თუ ამობრუნებული).

გაიგე მეტი მიკროსკოპზე:

http://bitly.ws/AFzt
http://bitly.ws/AFzv
http://bitly.ws/AFzw

წარმოადგინე შენ მიერ დამზადებული ტელესკოპი და პრეზენტაცია, რომელშიც უნდა ჩანდეს:

1. ტელესკოპის დამზადების ეტაპების დაწვრილებითი აღწერა;

2. როგორ მიიღება გამოსახულება სხვადასხვა ტიპის ტელესკოპსა და მიკროსკოპში (წარმოადგინე შესაბამისი ნახაზები, სადაც ნაჩვენებია სხივთა სვლა);

3. მიზეზშედეგობრივი კავშირი ყველა იმ ფიზიკურ მოვლენასა და მის თანამდევ პროცესს შორის (რა მიზეზითაა გამოწვეული, რა შედეგი მოჰყვება), რომლებსაც ტელესკოპების/მიკროსკოპის მოქმედება ეფუძნება.

Don't copy

3.6 გამოსახულების აგება ლინზაში

„ტელესკოპი სამყაროს აპატარავებს, მიკროსკოპი კი – აფართოებს,“– ეს სიტყვები ამერიკელ ფიზიკოსს, **რობერტ ოპენჰაიმერს** (1904 –1967) ეკუთვნის. რას გულისხმობდა მეცნიერი? აპატარავებს თუ ადიდებს ტელესკოპი? მიკროსკოპი?

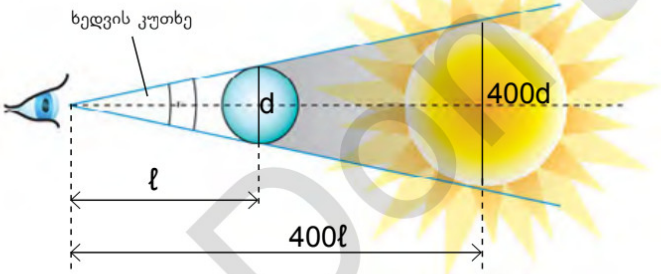
იმისათვის, რომ ამ კითხვაზე პასუხი გავცეთ, ცოტა შორიდან დავიწყოთ:

როცა მთვარე დედამიწასა და მზეს შორის, მათი ცენტრების შემაერთებელ წრფეზე აღმოჩნდება, მზე სრულად დაბნელდება: მთვარის დისკო მთლიანად დაეფარება მზისას (სურ. 3.6.1). არადა, მზის ეკვატორული დიამეტრი თითქმის 1,4 მლნ კმ-ია, რაც დაახლოებით 400-ჯერ აღემატება მთვარისას. როგორ შეიძლება, რომ გაცილებით პატარა დისკო დიდს შეუთავსდეს, მისი „ტოლი“ გახდეს?

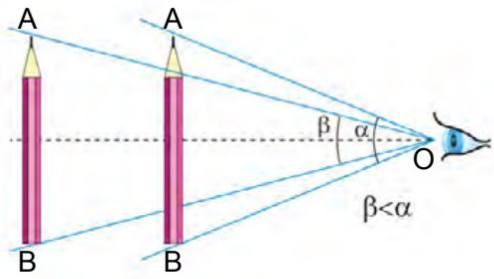


სურ. 3.6.1

დედამიწიდან მზემდე მანძილიც (≈150 მლნ კმ) დაახლოებით 400-ჯერ მეტია, ვიდრე მანძილი დედამიწიდან მთვარემდე. თუ გეომეტრიის დახმარებით და ამ მონაცემების მიხედვით სქემატურ ნახაზს შევქმნით, აღმოვაჩენთ, რომ ეს ჩვეულებრივი ჰომოთეტიაა, ცენტრით დამკვირვებლის თვალში (სურ. 3.6.2). ასეთ დროს ამბობენ, რომ დედამიწიდან მზისა და მთვარის **ხედვის კუთხე** ერთნაირია (სურ. 3.6.2).



სურ. 3.6.2



სურ. 3.6.3

რომ არა ეს საინტერესო მათემატიკური კავშირი მზისა და მთვარის ხაზოვან ზომებსა და დედამიწიდან მათ დაშორებას შორის, იმ უნიკალური მოვლენის ნახვა, რასაც ბუნება მზის დაბნელების სახით გვთავაზობს, შეუძლებელი იქნებოდა (მეცნიერთა აზრით, 600 მილიონი წლის შემდეგ მთვარე ისე დაშორდება დედამიწას, რომ მზის დაბნელება დედამიწაზე აღარ მოხდება).

რა არის ხედვის კუთხე? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად ისევ გეომეტრია დაგვეხმარება. წარმოიდგინე: ხედავ სხეულს (ადამიანს, ხეს, შენობას, ფანქარს და ა.შ.), რომლის ხაზოვანი ზომა AB მონაკვეთის ტოლია (სურ. 3.6.3).

თუ თვალს (O წერტილს) A და B წერტილებთან შევაერთებთ, მივიღებთ ∠AOB -ს, რომელსაც **ხედვის კუთხე** ჰქვია. თუ ხედვის კუთხე 1’-ზე ნაკლებია, თვალს სხეულის დანახვა უჭირს: სხეულის სტრუქტურის შესახებ საკმარის ინფორმაციას ვერ აღვიქვამთ.

სწორედ ამიტომ, როცა სხეული შორსაა და მისი დანახვა გვიჭირს, მას თვალს ვუახლოვებთ, ანუ **ხედვის კუთხეს ვზრდით**.

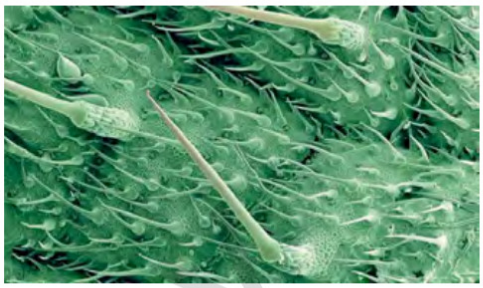
Don't copy

აღმოჩნდა, რომ თვალს ამ შემთხვევაშიც შეზღუდული შესაძლებლობა აქვს: 12 სმ-ზე უფრო ახლოს მიტანილი სხეულის აღქმა თითქმის შეუძლებელია. საჭიროებისას ასეთ დროს **ლუპას** ვიყენებთ – ის ხედვის კუთხეს ზრდის და სხეულის უწვრილესი დეტალების დანახვის შესაძლებლობას გვაძლევს.



სურ. 3.6.4

3.6.4 სურათზე **ტელესკოპ-რეფრაქტორით** გადაღებული დიდი დათვის თანავრსკვლავედია გამოსახული, რომელიც დედამიწიდან 4,5 მილიონი სინათლის წელიწადის ტოლი მანძილითაა დაშორებული. 3.6.5 სურათზე კი **ელექტრონულ მიკროსკოპში** გადაღებული ჭინჭრის ფოთლის გადიდებული ზედაპირი ჩანს.



სურ. 3.6.5

ტელესკოპი შორეული ციური სხეულების გამოსახულებას დამკვირვებელის თვალს უახლოვებს. **მიკროსკოპის** საშუალებით კი მცირე ზომის სხეულებზე ახლო მანძილიდან შეიძლება დაკვირვება: მათი გამოსახულება გადიდებული სახით აღიქმება დამკვირვებლის მიერ.

ტელესკოპი და მიკროსკოპი ოპტიკური ხელსაწყოებია, რომლებიც **ხედვის კუთხეს ზრდის** და შეუიარაღებელი თვალისთვის მიუწვდომელი სამყაროს შეცნობის საშუალებას გვაძლევს (სწორედ ამას გულისხმობდა ოპენჰაიმერი).

ტელესკოპსა და მიკროსკოპშიც სხვადასხვა ლინზათა სისტემას იყენებენ (მიკროსკოპში ობიექტივი მოკლე ფოკუსიანი ლინზაა, okულარი კი – გრძელ ფოკუსიანი, ტელესკოპში პირიქითაა. განსხვავებულია ლინზათა დიამეტრებიც და ა.შ.) და, შესაბამისად, განსხვავებულ გამოსახულებებს იღებენ. ასე რომ, **ლინზების საშუალებით შესაძლებელია, არა მარტო სხივების შეკრება და გაშლა, არამედ სხეულის სხვადასხვაგვარი გამოსახულების მიღებაც.**

3.6.1. წერტილის გამოსახულება ლინზაში

როგორ მიიღება გამოსახულება ლინზაში?

1. ნებისმიერი ხილული სხეული შეიძლება განვიხილოთ, როგორც უამრავი წერტილოვანი სინათლის წყაროს ერთობლიობა, რომელთაგან თითოეული საკუთარ ან არეკლილ სინათლეს ასხივებს;

2. თითოეული წერტილოვანი წყაროდან სინათლის სხივები ყველა მიმართულებით ვრცელდება და მათი ნაწილი ლინზას ეცემა;

3. ლინზაში გარდატეხის შემდეგ სხივები ან მათი გაგრძელებები ისევ ერთ წერტილში გადაიკვეთება და სწორედ ამ წერტილში მიიღება სინათლის წერტილოვანი წყაროს გამოსახულება.

სხეულის ყველა წერტილის გამოსახულება კი ერთიანობაში **ლინზაში სხეულის გამოსახულებას გვაძლევს.**

იმისათვის, რომ ლინზაში წერტილის (წერტილოვანი სინათლის წყაროს) გამოსახულება ააგო, **საკმარისია, იცოდე, თუ როგორ ვრცელდება ამ წერტილიდან წამოსული ნებისმიერი ორი სხივი ლინზაში გარდატეხის შემდეგ** (გარდატეხილი სხივების გადაკვეთა წერტილის გამოსახულებას მოგცემს).

ლინზაში სინათლის წერტილოვანი S წყაროს გამოსახულების ასაგებად, იმ უამრავი სხივიდან, რომლებიც მისგან გამოსხივდება, **სამ, ყველაზე „მოსახერხებელ“ სხივს** ირჩევენ, რომელთა გავრცელება ლინზაში მარტივ წესს ემორჩილება:

DonEcopy

1 -ელი სხივი (სურ.3.6.6):

სხივი, რომელიც სინათლის S წყაროდან გამოსხივდება და ლინზის ოპტიკურ ცენტრზე გადის, მიმართულებას არ იცვლის (მცირედ წანაცვლდება თავის გავრცელების მიმართულებიდან, თუმცა სიმცირის გამო წანაცვლებას უგულებელვყოფთ);

მე-2 სხივი:

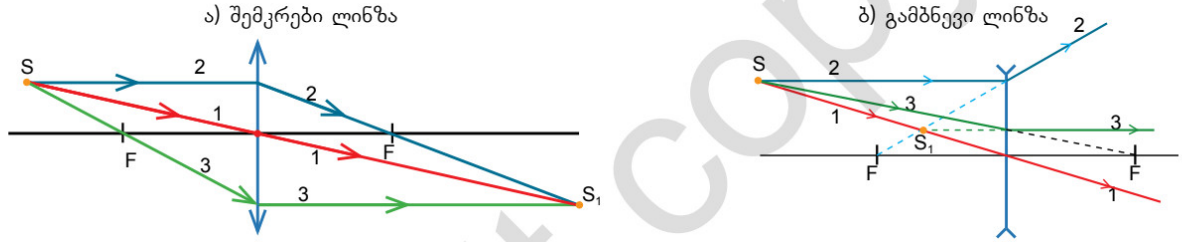
ა) სხივი, რომელიც **შემკრებ ლინზას** მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურად ეცემა, ლინზაში გარდატეხის შემდეგ ლინზის მთავარ ფოკუსში გაივლის (სურ.3.6.6, ა);

ბ) სხივი, რომელიც **გამბნევ ლინზას** მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურად ეცემა, ლინზაში გარდატეხის ისე გავრცელდება, რომ მისი წარმოსახვითი გაგრძელება გამბნევი ლინზის მთავარ ფოკუსში გაივლის (სურ.3.6.6, ბ);

მე-3 სხივი:

ა) სხივი, რომელიც **შემკრები** ლინზის მთავარ ფოკუსში გაივლის, გარდატეხის შემდეგ მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურად გავრცელდება (სურ.3.6.6, ა);

ბ) სხივი, რომელიც **გამბნევ** ლინზას ისე ეცემა, რომ მისი წარმოსახვითი გაგრძელება მთავარ ფოკუსში გადის, ლინზაში გარდატეხის შემდეგ მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურად გავრცელდება (სურ.3.6.6, ბ).



სურ. 3.6.6

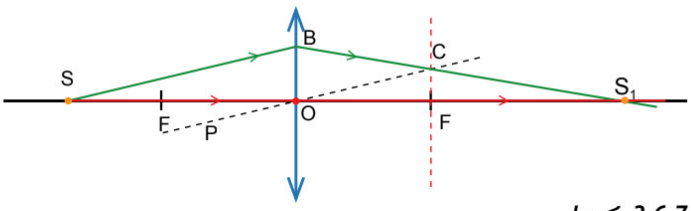
გაითვალისწინე: ლინზაში წერტილის გამოსახულების ასაგებად სამი „მოსახერხებელი“ სხივის ნაცვლად მხოლოდ ორის გამოყენებაა საკმარისი (მათი გადაკვეთისას წერტილის გამოსახულება მიიღება).

როგორ ავაგოთ წერტილის გამოსახულება ლინზაში, თუ წერტილი მთავარ ოპტიკურ ღერძზე მდებარეობს? ასეთ შემთხვევაში სამი „მოსახერხებელი“ სხივი ერთიანდება და მთავარ ოპტიკურ ღერძს ემთხვევა, ანუ მათი გამოყენებით წერტილის გამოსახულებას ვერ ავაგებთ.

განვიხილოთ, **როგორ აიგება შემკრებ ლინზაში ისეთი S-წერტილოვანი წყაროს გამოსახულება, რომელიც ლინზის მთავარ ოპტიკურ ღერძზე ძევს** (სურ. 3.6.7).

1. ვთქვათ, SB სინათლის S წყაროდან გავრცელებული ნებისმიერი სხივია, რომელიც შემკრებ ლინზას ეცემა;

2. SO სხივი მთავარი ოპტიკური ღერძის გასწვრივ ვრცელდება და მიმართულებას არ იცვლის;



სურ. 3.6.7

3. ავაგოთ

ა) ფოკალური სიბრტყე (წითელი წყვეტილი);

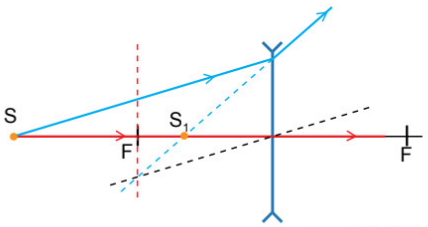
ბ) SB სხივის პარალელური PO ოპტიკური ღერძი და გავაგრძელოთ ფოკალური სიბრტყის გადაკვეთამდე (C წერტილი);

4. SB სხივი ლინზაში გარდატყდება და ფოკალურ სიბრტყეს C წერტილში გადაკვეთს (იქ, სადაც მისი პარალელური ოპტიკური ღერძი ჰკვეთს): BC სხივი გარდატეხილი სხივია;

Don't copy

5. BC და SO სხივების გადაკვეთის წერტილში S წერტილოვანი წყაროს ნამდვილი გამოსახულება (S_1) მიიღება.

გამბნევ ლინზაში ისეთი S-წერტილოვანი წყაროს გამოსახულების აგება, რომელიც ლინზის მთავარ ოპტიკურ ღერძზე ძევს, 3.6.8 სურათზეა გამოსახული.



სურ. 3.6.8

3.6.2. ხაზოვანი სხეულის გამოსახულება ლინზაში

ლინზაში სხეულის გამოსახულება შეიძლება იყოს სხეულთან შედარებით გადიდებული ან შემცირებული, შებრუნებული ან პირდაპირი, ნამდვილი ან წარმოსახვითი – ეს დამოკიდებულია როგორც ლინზაზე, ასევე სხეულისა და ლინზის ურთიერთმდებარეობაზე.

განვიხილოთ, ხაზოვანი სხეულის გამოსახულების აგება **შემკრებ ლინზაში**. სიმარტივისათვის ავიღოთ ლინზის მთავარი ოპტიკური ღერძის მართობული AB ისარი, რომლის ერთი ბოლო ღერძზე ძევს.

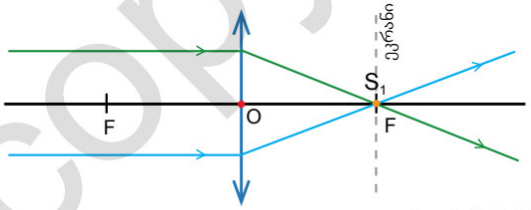
შემოვიტანოთ აღნიშვნები. აღვნიშნოთ:

d -თი ისრიდან (სხეულიდან, სინათლის წყაროდან) ლინზამდე მანძილი;

f - ით სხეულის (ისრის) გამოსახულებიდან ლინზამდე მანძილი;

F - ით ლინზის ფოკუსური მანძილი.

1. ვთქვათ, ისარი უსასრულოდაა დაშორებული ლინზისგან: $d = \infty$, მაშინ ისრის გამოსახულება **მიიღება ეკრანზე** შემკრები ლინზის ფოკუსში ნამდვილი წერტილის (S_1) სახით ($f = F$) (სურ. 3.6.9).

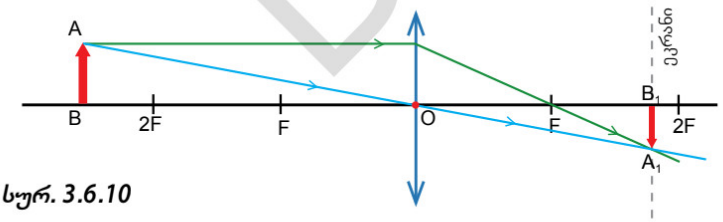


სურ. 3.6.9

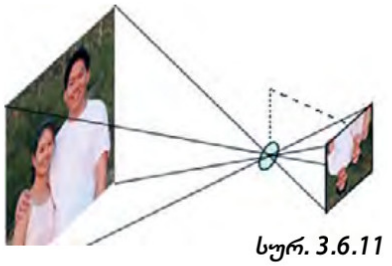
გაიხსენე: ეს ის შემთხვევაა, როცა მზიდან ლუპაზე დაცემული სხივები ერთ წერტილში – ლუპის ფოკუსში ნამდვილი მნათი წერტილის სახით მიიღება (მნათი წერტილი მზის გამოსახულებაა).

2. ვთქვათ, ისარი უსასრულობიდან თანდათან ლინზას უახლოვდება ($d > 2F$), წერტილოვანი გამოსახულება თანდათან იზრდება, თუმცა მისი ზომები ისართან შედარებით შემცირებულია (სურ. 3.6.10).

გამოსახულება შემკრებ ლინზაში ნამდვილია, ამობრუნებულია და **მიიღება ეკრანზე** ლინზის მეორე მხარეს: $F < f < 2F$.



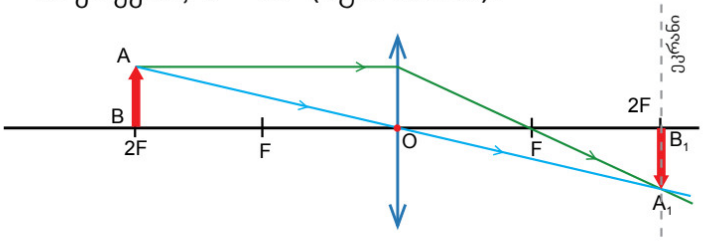
სურ. 3.6.10



სურ. 3.6.11

ასეთი გამოსახულება ფოტოაპარატში, ვიდეო-კამერაში მიიღება: გადასაღები ობიექტი ორმაგი ფოკუსზე მეტი მანძილითაა დაშორებული ფოტოაპარატის ობიექტივიდან, ფოტოფირზე სხეულის გამოსახულება შემცირებული სახით აღიბეჭდება (სურ. 3.6.11).

3. ვთქვათ, $d = 2F$ (სურ. 3.6.12).



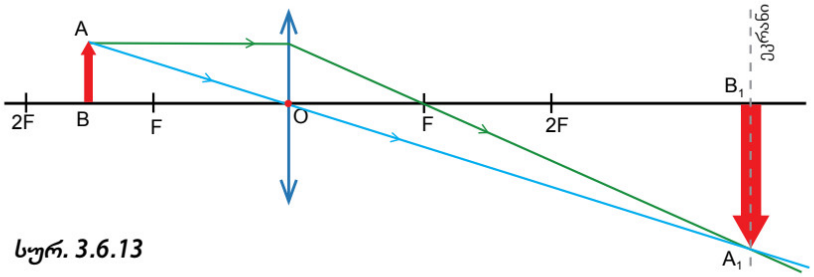
სურ. 3.6.12

Don't copy

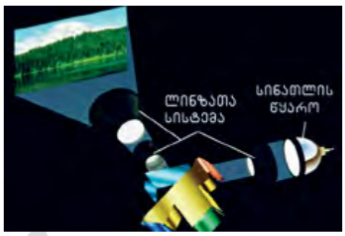
გამოსახულება შემკრებ ლინზაში ნატურალური ზომისაა (ისეთივე ზომისაა, როგორიც სხეული), ნამდვილია, ამობრუნებულია, **მიიღება ეკრანზე** ლინზის მეორე მხარეს ორმაგ ფოკუსში: $f = 2F$.

4. ვთქვათ, $F < d < 2F$ (სურ. 3.6.13).

გამოსახულება შემკრებ ლინზაში გადიდებულია სხეულთან (ისართან) შედარებით, ნამდვილია, ამობრუნებულია და **მიიღება ეკრანზე** ლინზის მეორე მხარეს: $f > 2F$. ასეთი გამოსახულება პროექტორებში, კინოთეატრებში, კინოაპარატში მიიღება (სურ. 3.6.14).



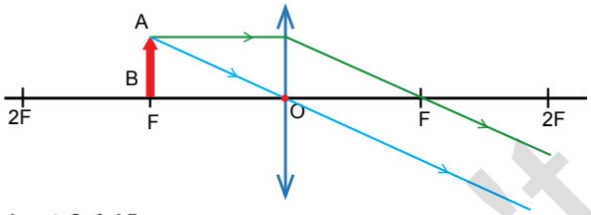
სურ. 3.6.13



სურ. 3.6.14

5. ვთქვათ, $d = F$ (სურ. 3.6.15).

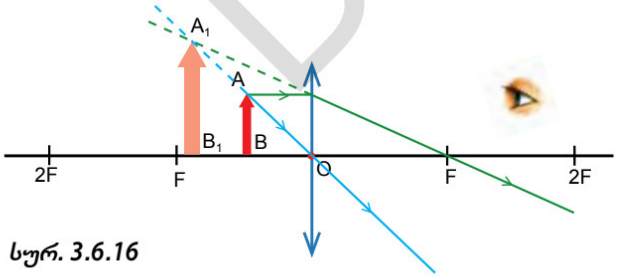
გამოსახულება ლინზაში არ მიიღება: ლინზაში გარდატეხილი სხივები პარალელურად გავრცელდება.



სურ. 3.6.15

6. ვთქვათ, $d < F$ (სურ. 3.6.16).

გამოსახულება შემკრებ ლინზაში გადიდებულია სხეულთან (ისართან) შედარებით, წარმოსახვითია (არ მიიღება ეკრანზე), პირდაპირია, მიიღება ლინზის იმ მხარეს, სადაც თავად სხეული მდებარეობს, უფრო შორს ლინზიდან, ვიდრე სხეულია: $f > d$.



სურ. 3.6.16



სურ. 3.6.17



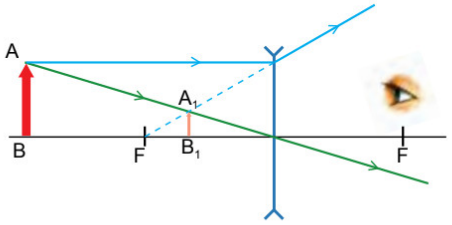
სურ. 3.6.18

ეს სწორედ ის შემთხვევაა, როცა **ლუპას** იყენებ (სურ. 3.6.17): ლუპა მოკლეფოკუსიანი შემკრები ლინზაა. ის ახლოს (ფოკუსურ მანძილზე ახლოს) მიგაქვს ნაწერთან და ლუპაში **ნაწერის გადიდებული პირდაპირი გამოსახულება** ჩანს. ასეთი გამოსახულება ჩანს მესაათის, იუველირის ობიექტში: ის უწვრილეს დეტალებს გადიდებულს და პირდაპირს ხედავს (სურ. 3.6.18).

Don't copy

როგორი გამოსახულება მიიღება გამბნევ ლინზაში?

იმის მიუხედავად, თუ რა მანძილითაა დაშორებული სხეული გამბნევი ლინზიდან, **გამბნევ ლინზაში ნებისმიერ შემთხვევაში გამოსახულება** წარმოსახვითია (არ მიიღება ეკრანზე), შემცირებულია, პირდაპირია, მიიღება ლინზის იმავე მხარეს, რომელ მხარესაც სხეული მდებარეობს, სხეულსა და ლინზას შორის: $f < F$ (სურ. 3.6.19).



სურ. 3.6.19



სურ. 3.6.20. გამოსახულება გამბნევ ლინზაში

გაითვალისწინე:

ა) ეკრანზე მხოლოდ ნამდვილი გამოსახულება მიიღება. წარმოსახვითი გამოსახულება ეკრანზე არ ჩანს (ლინზაში უნდა გახედო იმ მხარეს, საითაც სინათლის წყაროა);

ბ) პირდაპირი გამოსახულება ყოველთვის წარმოსახვითია: შემკრებ ლინზაში გადიდებულია, ხოლო გამბნევში – შემცირებული.

3.6.3. თხელი ლინზის ფორმულა

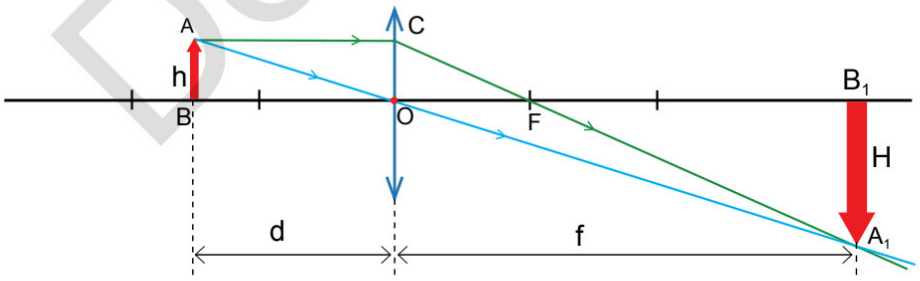
შენ იცი, რომ ლინზით მიღებული გამოსახულების ზომა და ლინზიდან მისი დაშორება დამოკიდებულია სხეულის (სინათლის წყაროს) მდებარეობასა და ლინზის ფოკუსურ მანძილზე. ლინზის ფოკუსურ მანძილს, სხეულიდან ლინზამდე და გამოსახულებიდან ლინზამდე მანძილს შორის კავშირი მათემატიკურად, **თხელი ლინზის ფორმულით** აღიწერება.

დააკვირდი 3.6.21 სურათს:

d სხეულიდან (AB ისრიდან) ლინზამდე მანძილია: $d = BO$;

f გამოსახულებიდან (A_1B_1 ისრიდან) ლინზამდე მანძილია: $f = OB_1$;

F ლინზის ფოკუსური მანძილია.



სურ. 3.6.21

$$\Delta AOB \sim \Delta A_1OB_1 \Rightarrow \frac{BO}{OB_1} = \frac{AB}{A_1B_1} \qquad (3.6.1)$$

$$\Delta COF \sim \Delta FA_1B_1 \Rightarrow \frac{CO}{A_1B_1} = \frac{OF}{FB_1} \qquad (3.6.2)$$

რადგან $AB = CO$, ამიტომ 3.6.2 მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{OF}{FB_1} \qquad (3.6.3)$$

Don't copy

3.6.1-ისა და 3.6.3-ის გათვალისწინებით კი მივიღებთ, რომ

$$\frac{BO}{OB_1} = \frac{OF}{FB_1} \qquad (3.6.4)$$

ჩვენ მიერ შემოტანილი აღნიშვნების გამოყენებით 3.6.4 ტოლობა ასე ჩაიწერება:

$$\frac{d}{f} = \frac{F}{f - F} \qquad (3.6.5)$$

3.6.5 გამოსახულების გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \qquad (3.6.6)$$

ან

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D \qquad (3.6.7)$$

3.6.6 და 3.6.7 ტოლობებს **თხელი ლინზის ფორმულები** ჰქვია.

გაითვალისწინე: მიჩნეულია, რომ:

$F > 0$, თუ ლინზა შემკრებია;
$f > 0$, თუ გამოსახულება ნამდვილია;
$d > 0$, თუ სინათლის წყარო ნამდვილია;

$F < 0$, თუ ლინზა გამბნევია.
$f < 0$, თუ გამოსახუ ლება წარმოსახვითია;
$d < 0$, თუ სინათლის წყარო წარმოსახვითია (ანუ თუ ლინზას ეცემა განშლადი სხივთა კონა, რომელთა წარმოსახვითი გაგრძელებები ერთ წერტილში იკვეთება).

შევთანხმდეთ: თხელი ლინზის ფორმულა ასეთი სახით ჩავწეროთ:

$$\pm\frac{1}{|d|} \pm \frac{1}{|f|} = \pm\frac{1}{|F|} \qquad (3.6.8)$$

თითოეული შესაკრების წინ კი ნიშანი („+“ ან „–“) იმის მიხედვით იწერება, თუ როგორია ლინზის ფოკუსი, სინათლის წყარო და გამოსახულება: ნამდვილია, თუ წარმოსახვითი.

3.6.4. ლინზის გადიდება

ლინზაში მიღებული გამოსახულებისა და სხეულის ხაზოვან ზომებს (სიმაღლეებს) შორის განსხვავებას **წრფივი გადიდებით** ახასიათებენ: წრფივი გადიდება ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ტოლია **გამოსახულებისა და სხეულის წრფივი ზომების** შეფარდებისა.

წრფივი გადიდება გამოითვლება ფორმულით:

$$\Gamma = \frac{H}{h} \qquad (3.6.9)$$

სადაც H გამოსახულების წრფივი ზომაა (სიმაღლე), ხოლო h — საგნის.

დააკვირდი სურათ 3.6.21-ს: ΔAOB-სა და ΔA_1OB_1-ს მსგავსებიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{|f|}{|d|} \qquad (3.6.10)$$

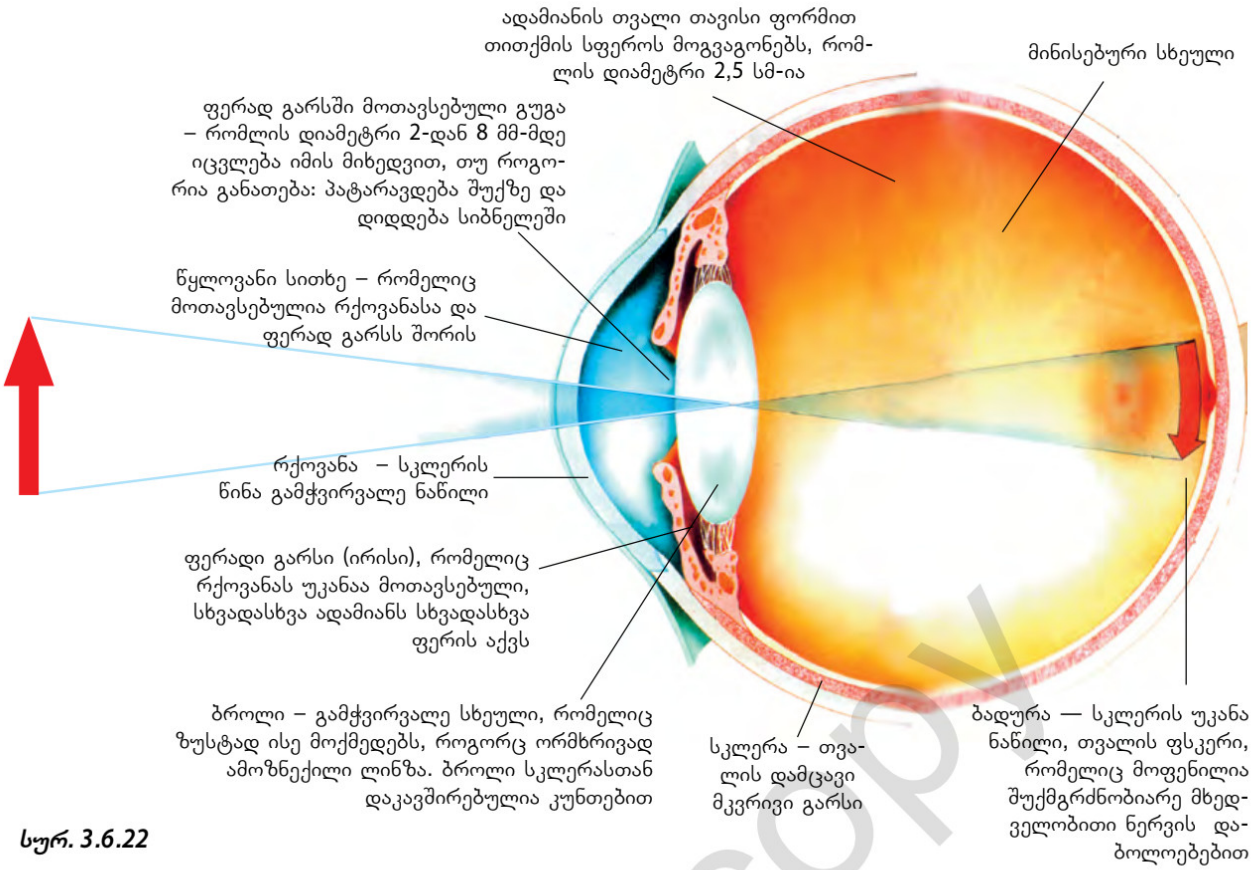
თუ $\Gamma > 1$, მაშინ გამოსახულება გადიდებულია;
თუ $\Gamma < 1$, მაშინ გამოსახულება შემცირებული;
თუ $\Gamma = 1$, მაშინ გამოსახულება ნატურალური ზომისაა.

3.6.5. თვალი – ცოცხალი ოპტიკური სისტემა

როგორ აღიქვამს თვალი სხვადასხვა სხეულის გამოსახულებას?

თვალი ცოცხალი ოპტიკური სისტემაა, რომელსაც ზოგჯერ კამერა-ობსკურას ან ფოტოაპარატსაც ადარებენ. სხეულიდან არეკლილი სინათლე ეცემა თვალს და გარდატყდება **თვალის ოპტიკურ სისტემაში, რომელსაც რქოვანა, ბროლი და მინისებური სხეული ქმნის.** გარდატეხილი სინათლე ეცემა ბადურას და მასზე სხეულის შემცირებული, ამობრუნებული, ნამდვილი გამოსახულება მიიღება (სურ. 3.6.22).

Don't copy



სურ. 3.6.22

ბადურაზე დაცემული სინათლე აღიზიანებს მხედველობითი ნერვის დაბოლოებებს, გაღიზიანება გადაეცემა ტვინს და ადამიანს მხედველობის შეგრძნება უჩნდება: ის ხედავს სხეულს. ამასთან, სხეულს ხედავს პირდაპირს და არა – შებრუნებულს, როგორიც ბადურაზე მიიღება, რადგან მთელი ეს პროცესი ტვინის მიერ განუწყვეტლივ კონტროლდება.

გაიხსენე: ლინზაში სხეულის გამოსახულება დამოკიდებულია ლინზიდან მის დაშორებაზე.

ბადურაზე კი ყოველთვის შემცირებული, ამობრუნებული, ნამდვილი და მკაფიო გამოსახულება მიიღება, მიუხედავად თვალიდან სხეულის დაშორებისა. როგორ ხდება ეს?

თვალს აქვს უნარი, შეეგუოს იმ მანძილის ცვლილებას, რომელიც მას დაკვირვების ობიექტამდე აშორებს. თვალის ამ უნარს **აკომოდაციის უნარი** ეწოდება.

აკომოდაციის გამო თვალის ოპტიკური სისტემა უზრუნველყოფს ბადურაზე მკაფიო გამოსახულების მიღებას სხეულის ნებისმიერი მდებარეობის დროს, ანუ, როგორც ამ დროს ამბობენ, **გამოსახულება ყოველთვის ფოკუსირდება ბადურაზე.**

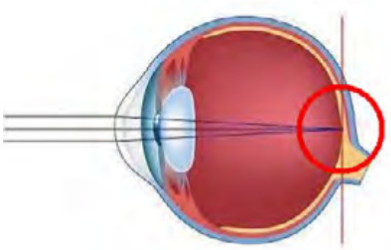
როცა ძალიან შორს მყოფ სხეულებს ვუყურებთ, კუნთები, რომლითაც ბროლი სკლერას უკავშირდება, მოდუნებულია და ამ დროს ბროლის სიმრუდე საკმაოდ მცირეა (ანუ ბროლის, როგორც ორმხრივად ამოზნექილი ლინზის ფოკუსური მანძილი მცირეა).

როცა მზერა უფრო ახლოს მყოფ სხეულებზე გადმოგვაქვს, კუნთები იკუმშება და ბროლის სიმრუდეც იზრდება (ანუ იზრდება ფოკუსური მანძილი).

თუმცა აკომოდაციასაც აქვს ზღვარი: თუ სხეულს ძალიან ახლოს მივიტანთ, კუნთები, რომელთა საშუალებითაც ბროლის სიმრუდე იცვლება, ძალიან იკუმშება, იძაბება და თვალი ამ დროს ძალზე იღლება. 12 სმ-ზე უფრო ახლოს მიტანილი სხეულის აღქმა კი თითქმის შეუძლებელია. სცადე: ნაწერი თვალთან ამ მანძილზე მიიტანე. შეგიძლია თუ არა მისი წაკითხვა?

Don't copy

ნორმალური თვალისთვის კითხვისას ან წერისას საუკეთესო დაშორება 25 სმ-ია. ეს ის მანძილია, რომლის დროსაც თვალი ნაწერს დაუძაბავად აღიქვამს. ამ მანძილს **ხედვის საუკეთესო მანძილს** უწოდებენ (წარმოიდგინე, რომ თვალს არ აქვს აკომოდაციის უნარი. რა მოხდება, თუ მას სხეულს დავაშორებთ ან მივუახლოებთ?).

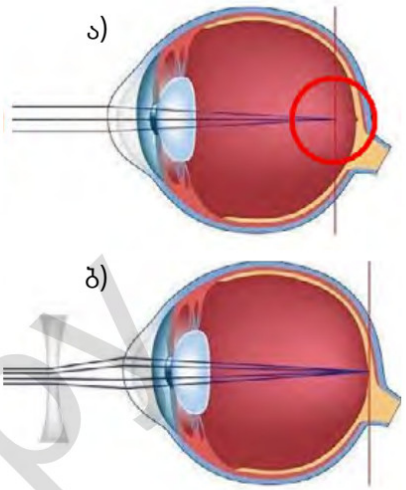


სურ. 3.6.23. ნორმალური თვალი

ნორმალურია თვალი, თუ ის დაუძაბავ მდგომარეობაში მასზე დაცემული სინათლის პარალელურ სხივებს კრებს წერტილში, რომელიც ბადურაზე მდებარეობს, ანუ **ნორმალური თვალის შემთხვევაში სინათლის სხივები ბადურაზე ფოკუსირდება** (სურ. 3.6.23).

ნორმალურ თვალში სხეულის გამოსახულება აკომოდაციის გამო ყოველთვის ბადურაზე მიიღება.

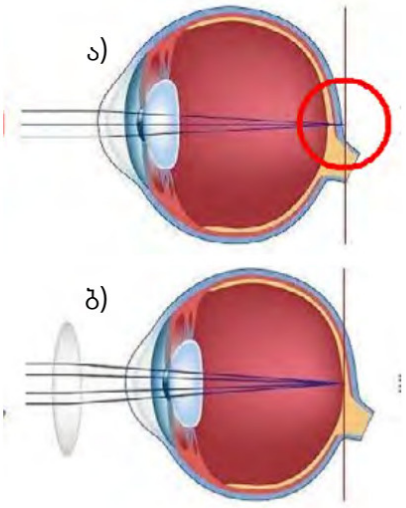
ახლომხედველია თვალი, თუ ის დაუძაბავ მდგომარეობაში მასზე დაცემული სინათლის პარალელურ სხივებს კრებს წერტილში, რომელიც ბადურას წინ მდებარეობს (სურ. 3.6.24, ა).



სურ. 3.6.24. ახლომხედველი თვალი

შორეული სხეულის გამოსახულება ბადურაზე ბუნდოვანი და გაურკვეველია. იმისათვის, რომ ბადურაზე სხეულის მკაფიო გამოსახულება მივიღოთ, სხეული თვალს ძალიან უნდა მივუახლოვოთ. ასეთი თვალისთვის ხედვის საუკეთესო მანძილი 25 სმ-ზე ნაკლებია.

ახლომხედველობის დროს შორს მყოფი სხეულის გამოსახულება თვალის შიგნით ბადურას წინ მიიღება. იმისათვის, რომ გამოსახულებამ ბროლიდან უფრო შორს გადაინაცვლოს და გამოსახულება ბადურაზე აღმოჩნდეს, საჭიროა ისეთი სათვალე, რომელსაც **გამბნევი (ჩაზნექილი)** ლინზა აქვს (სურ. 3.6.24, ბ): ახლომხედველობის დროს ექიი-ოკულისტი პაციენტს გამოუწერს სათვალეს, რომლის ოპტიკური ძალა უარყოფითია (მაგ., – 2 დპტრ).



სურ. 3.6.25. შორსმხედველი თვალი

შორსმხედველია თვალი, თუ ის დაუძაბავ მდგომარეობაში მასზე დაცემული სინათლის პარალელურ სხივებს კრებს წერტილში, რომელიც ბადურას უკან მდებარეობს (სურ. 3.6.25, ა).

შორეული სხეულის გამოსახულება ბადურაზე ამ შემთხვევაშიც ბუნდოვანი და გაურკვეველი მიიღება, რადგან შორსმხედველ თვალს არ შეუძლია ბადურაზე პარალელური სხივების ფოკუსირებაც კი, მით უმეტეს, მას არ ძალუძს ახლოს მყოფი სხეულებიდან არეკლილი განშლადი სხივების ფოკუსირება ბადურაზე. ამიტომ შორსმხედველები ცუდად ხედავენ არა მარტო ახლოს მყოფ საგნებს, არამედ შორეულ სხეულებსაც. ხედვის საუკეთესო მანძილი ასეთი თვალისთვის 25 სმ-ზე მეტია. იმისათვის, რომ ბადურაზე სხეულის მკაფიო გამოსახულება იქნეს მიღებული, სხეული თვალს 25 სმ-ზე მეტად უნდა დავაშოროთ (სწორედ აქედან მოდის სახელწოდება „შორსმხედველი“).

შორსმხედველობის დროს შორს მყოფი სხეულის გამოსახულება თვალის შიგნით ბადურას უკან მიიღება. იმისათვის, რომ გამოსახულებამ წინ გადმოინაცვლოს და ბადურაზე აღმოჩნდეს, საჭიროა ისეთი სათვალე, რომელსაც **შემკრები (ამოზნექილი)** ლინზა აქვს (სურ. 3.6.25, ბ): ასეთი ლინზის ოპტიკური ძალა დადებითია. მაგ., თუ ექიმის დანიშნულებით მიხედვით სათვალის ნომერია +3 დპტრ, ეს იმას ნიშნავს, რომ პაციენტი შორსმხედველია.

DO NOT COPY

ტესტი №3

გაითვალისწინე: თითოეულ დავალებას, სირთულის მიხედვით, გარკვეული ფერი და ქულა შეესაბამება:

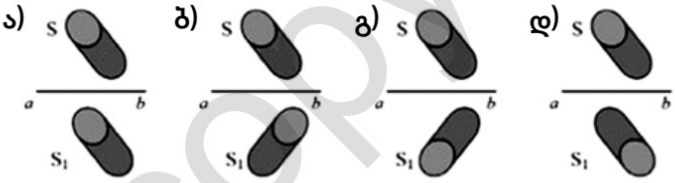
უმარტივესი – 1 ქულა; **მარტივი** – 2 ქულა;

საშუალო სირთულის – 3 ქულა; **რთული** – 4 ქულა;

1. სინათლის წერტილოვანი წყარო გაუმჭვირვალე ტიხარში გაკეთებული 0,2 მ რადიუსის ხვრელიდან ეკრანს ანათებს. მანძილი ნათურიდან ეკრანამდე 4-ჯერ აღემატება მანძილს ნათურიდან ტიხრამდე. რისი ტოლია ეკრანზე მიღებული განათებული ლაქის რადიუსი?

ა) 0,05 მ; ბ) 0,2 მ; გ) 0,8 მ; დ) 20 მ.

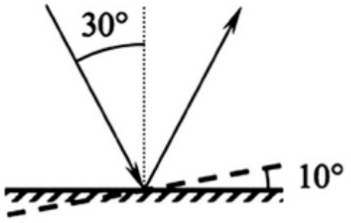
2. S სინათლის წყარო ab ბრტყელ სარკეში აირეკლება (სურ. 1). რომელ შემთხვევაშია სწორად აგებული წყაროს S_1 გამოსახულება?



სურ. 1

3. სინათლე ჰორიზონტალურად მოთავსებულ ბრტყელ სარკეზე 30^0-იანი კუთხით ეცემა (სურ. 2). რისი ტოლი იქნება კუთხე დაცემულ და არეკლილ სხივებს შორის, თუ სარკეს 10^0 -ით მოვაბრუნებთ ისე, როგორც ეს სურათზეა ნაჩვენები?

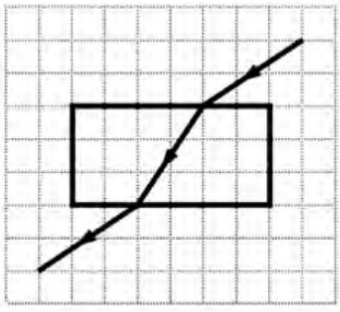
ა) 80^0; ბ) 60^0; გ) 40^0; დ) 20^0.



სურ. 2

4. მე-3 სურათზე ჰაერში მოთავსებულ ბრტყელპარალელურ გვერდებიან ფირფიტაში სხივთა სვლაა ნაჩვენები. იპოვე იმ მასალის გარდატეხის მაჩვენებელი, რომლისგანაც ფირფიტაა დამზადებული (1 უჯრა ერთეულის ტოლად მიიჩნიე):

ა) 0,67; ბ) 1,33; გ) 1,5; დ) 2,0.



სურ. 3

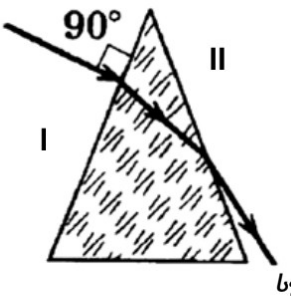
5. მე-4 სურათზე ჰაერში მოთავსებულ სამკუთხა პრიზმაში სხივთა სვლაა გამოსახული. განსაზღვრე, სწორადაა თუ არა ნაჩვენები სხივის გარდატეხა ჰაერი-მინის საზღვარზე (I) და მინა-ჰაერის საზღვარზე (II)?

ა) I – არასწორადაა, II – სწორადაა;

ბ) ორივე საზღვარზე არასწორადაა;

გ) ორივე საზღვარზე სწორადაა;

დ) I – სწორადაა, II – არასწორადაა.



სურ. 4

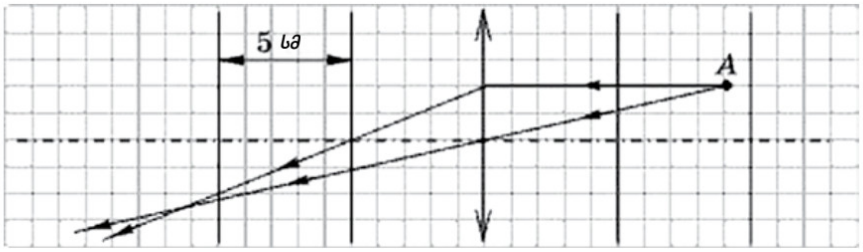
Don't copy

6. გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილი 5 სმ-ია. ლინზიდან რაა მანძილზე მიიღება იმ სხეულის გამოსახულება, რომელიც ლინზის ოპტიკური ღერძის მართობულად მისგან 10 სმ-ზეა მოთავსებული?

ა) 10/3 სმ; ბ) 5 სმ; გ) 10 სმ; დ) 15 სმ.

7. მე-5 სურათზე ნაჩვენებია სინათლის წერტილოვანი წყაროდან გავრცელებული სხივთა სვლა თხელ ლინზაში. როგორია ლინზის ოპტიკური ძალა (1 უჯრა = 1 სმ)?

ა) – 8,7 დპტრ;
ბ) – 20 დპტრ;
გ) 20 დპტრ;
დ) 11,1 დპტრ;



სურ. 5

8. ფოტოაპარატის ობიექტივი შემკრები ლინზაა, რომლის ფოკუსური მანძილი 50 მმ-ია. იმ საგნის გამოსახულება, რომელიც ფოტოაპარატიდან 40 სმ-ითაა დაშორებული, მიიღება მკვეთრი, თუ ფოტოფირი ობიექტივისგან დაშორებულია:

ა) 2F-ზე მეტი მანძილით;
ბ) 2F -ის ტოლი მანძილით;
გ) მანძილით, რომელიც F -სა და 2F -ს შორისაა;
დ) F -ის ტოლი მანძილით.

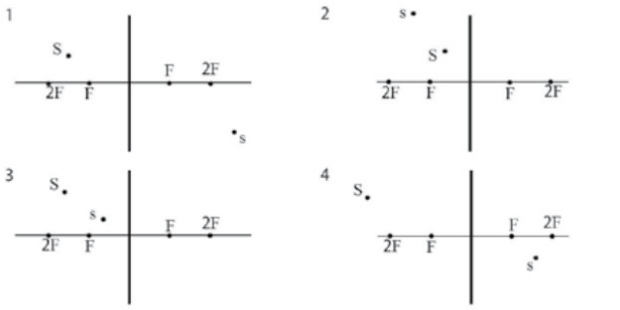
9. შემკრები ლინზის მთავარ ოპტიკურ ღერძზე მდებარე სინათლის წერტილოვანი წყარო ასრულებს რხევით მოძრაობას ღერძის მართობულ სიბრტყეში 10 სმ-ის ტოლი ამპლიტუდით.

გასაზღვრე წყაროს გამოსახულების მიერ სამი პერიოდის განმავლობაში გავლილი მანძილი, თუ ლინზის ოპტიკური ძალაა 2 დპტრ, მანძილი ლინზასა და წყაროს შორის 100 სმ-ია.

ა) 1 მ; ბ) 1,2 მ; გ) 1,8 მ; დ) 2 მ.

10. ნახაზზე (სურ.6) ნაჩვენებ რომელ შემთხვევაში არ არის ლინზა შემკრები (S-სინათლის წყაროა, s კი – გამოსახულება):

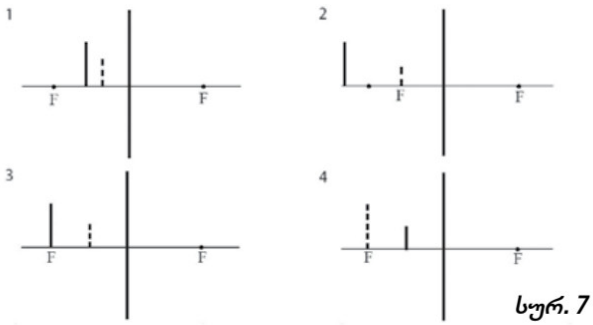
ა) 1-ელ ;
ბ) მე-2 ;
გ) მე-3;
დ) მე-4.



სურ. 6

11. ნახაზზე (სურ.7) ნაჩვენებ რომელ შემთხვევაში არ არის ლინზა გამბნევი (სინათლის წყარო – უწყვეტი ხაზითაა აღნიშნული, გამოსახულება კი – წყვეტილით):

ა) 1-ელ; ბ) მე-2 ;
გ) მე-3; დ) მე-4.

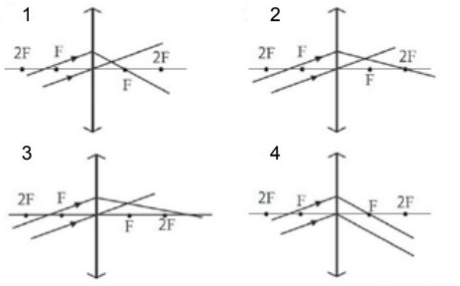


სურ. 7

Don't copy

12. რომელ ნახაზზეა (სურ. 8) სწორად წარმოდგენილი სხივთა სვლა თხელ ლინზაში

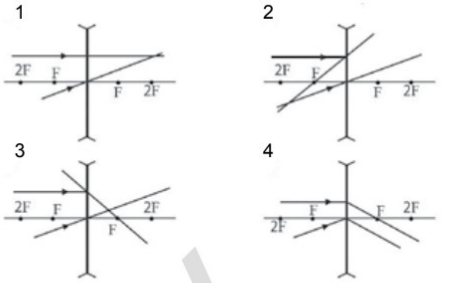
ა) 1-ელ; ბ) მე-2;
გ) მე-3; დ) მე-4.



სურ. 8

13. რომელ ნახაზზეა (სურ. 9) სწორად წარმოდგენილი სხივთა სვლა თხელ ლინზაში

ა) 1-ელ; ბ) მე-2;
გ) მე-3; დ) მე-4.



სურ. 9

14. ეკრანზე, რომელიც სანთლიდან 12 მ-ითაა დაშორებული, სანთლის 4-ჯერ გადიდებული გამოსახულება მიიღეს. განსაზღვრე, რისი ტოლია ლინზის ფოკუსური მანძილი:

ა) 0,19 მ; ბ) 0,53 მ
გ) 5,3 მ; დ) 3,2 მ.

15. სინათლის წყაროსა და შემკრებ ლინზაში მის გამოსახულებას შორის 40 სმ-ია. განსაზღვრე, ამ ლინზის ოპტიკური ძალა, თუ ცნობილია, რომ ის წყაროსა და გამოსახულების შორის, ზუსტად შუაშია მოთავსებული.

ა) 40 დპტრ; ბ) 20 დპტრ; გ) 10 დპტრ; დ) 5 დპტრ.

ტესტში დაგროვილი ქულების მიხედვით საკუთარი ცოდნის შეფასებას შეძლებ:

დაგროვილი ქულები	შედეგის აღწერა	შეფასება
1 - 5	იმ დავალებებიდან, რომლებიც მართებულად გაქვს შესრულებული, ჩანს, რომ ზოგიერთმა საკითხმა დაგაინტერესა. ვფიქრობ, კარგი იქნება, თუ გავლილ მასალას ხელახლა გადახედავ.	1
6 - 9		2
10 - 13		3
14 - 17		4
18 - 21	ბევრი დავალება მართებულად გაქვს შესრულებული. შედეგის გასაუმჯობესებლად აუცილებლად გააანალიზე, რა ტიპის შეცდომები დაუშვი და რამ განაპირობა ეს შეცდომები. ხელახლა გადახედე გავლილ მასალას და მისი უკეთ გააზრებისთვის დამატებითი სავარჯიშოები გამოიყენე.	5
22 - 25		6
26 - 29	საკმაოდ ბევრი დავალება მართებულად გაქვს შესრულებული. ჩანს, რომ მიმდინარე დავალებებს ყურადღებას აქცევდი. გადახედე დაშვებულ შეცდომებს და გააანალიზე, რა ტიპის შეცდომებს უშვებ ძირითადად და რატომ. გააკეთე დამატებითი სავარჯიშოები და ამოცანები იმ კატეგორიიდან, რომელშიც უფრო მეტი შეცდომა გაქვს დაშვებული.	7
30 - 32		8
33 - 36	შედეგი კარგია. აუცილებლად გააანალიზე მცირე ხარვეზები, რომლებიც ტესტის შესრულებისას დაუშვი. ეს სხვა დროს წვრილმანებზე ყურადღების კონცენტრირებაში დაგეხმარება.	9
37 - 39	გილოცავ! შედეგი ძალიან კარგია. ჩანს, რომ დამოუკიდებლად მუშაობდი, საკლასო და საშინაო დავალებებს სისტემატურად და გააზრებულად ასრულებდი.	10

Don't copy

III თემის დამატებითი კითხვები, ამოცანები

გაითვალისწინე: თითოეულ დავალებას, სირთულის მიხედვით, გარკვეული ფერი შეესაბამება:

უმარტივესი ; **მარტივი** ;

საშუალო სირთულის ; **რთული** .

3.1. შესავალი: სინათლე – ელექტრომაგნიტური ტალღა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 6 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა არის გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი? რას გვიჩვენებს ის?
2. რაზეა დამოკიდებული გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი?
3. რას გვიჩვენებს ერთი გარემოს გარდატეხის ფარდობითი მაჩვენებელი მეორის მიმართ?
4. ორი გარემოდან რომელს ეწოდება ოპტიკურად უფრო მკვრივი გარემო?
5. როგორ შეიცვლება სინათლის სიჩქარე, თუ ის ოპტიკურად ნაკლებ მკვრივიდან მეტად მკვრივ გარემოში გადადის?
6. ხილული სინათლის დიაპაზონიდან რომელი ფერის სინათლეს აქვს ყველაზე მეტი გარდატეხის მაჩვენებელი? ყველაზე ნაკლები?
7. რა დროში მოაღწევს სინათლის სხივი მზიდან დედამიწამდე?
8. გამოთვალე სინათლის სიჩქარე წყალსა და მინაში. ახსენი, რატომ იცვლება სინათლის სიჩქარე გარემოში ვაკუუმთან შედარებით?
9. იპოვე სინათლის სიჩქარე წყალში, თუ 440 ტჰც სიხშირის ტალღის სიგრძე 0,51 მკმ-ია.
10. სინათლის სიჩქარის განსაზღვრისას ფიზოს ისტორიულ ცდაში კბილანა თვალსა (კბილანების რიცხვი $N = 720$) და სარკეს შორის მანძილი $l = 8633$ მ-ის ტოლი იყო. სინათლის პირველი ჩაქრობა მოხდა კბილანა თვლის $\nu = 1267$ წმ$^{-1}$ სიხშირით ბრუნვისას. სინათლის სიჩქარის რა მნიშვნელობა მიიღო ფიზომ? რატომ ჩნდება/ქრება პერიოდულად სინათლე ფიზოს ცდაში?
11. რხევის რა სიხშირეები შეესაბამება ხილული სპექტრის წითელ ($\lambda = 0{,}76$ მკმ) და იისფერ ($\lambda = 0{,}4$ მკმ) სხივებს?

3.2. სინათლის წრფივი გავრცელება

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 6 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

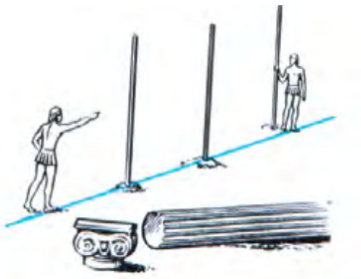
1. რა არის სინათლის სხივი?
2. რას შეისწავლის გეომეტრიული ოპტიკა?
3. ახსენი, როგორ ვხედავთ სხეულებს?
4. ჩამოაყალიბე სინათლის წრფივი გავრცელების კანონი;
5. რა არის ჩრდილი და რატომ წარმოიქმნება ის?
6. ახსენი: როდის მიიღება მკვეთრი მოხაზულობის ჩრდილი და როდის ნახევარჩრდილი?
7. მზე დილით აღმოსავლეთიდან ამოდის, ჯერ სულ ზევით და დასავლეთისკენ იწევს, შუადღისას კი როცა ცაზე უმაღლეს მწვერვალს მიაღწევს, ქვემოთ ჩამოდის და დასავლეთისკენ მიემართება, სანამ ჰორიზონტს არ მიეფარება.



სურ. 3.1

Don't copy

ძველად დროის გასაგებად მზის საათებს იყენებდნენ. მზის საათის დროის მაჩვენებელი, გნომონი (სურ. 3.1), ჩრდილს იძლევა, რომელიც ცაზე მზის მოძრაობას მიჰყვება. მზის საათები საკმაოდ ზუსტია, მაგრამ ერთი ნაკლი აქვს. გაარკვიე, როგორ იგებენ მზის საათების საშუალებით დროს და რა ნაკლი აქვს მათ?



სურ. 3.2

8. ძველად იმისათვის, რომ მშენებლობისას ბოძები ან სვეტები სწორ ხაზზე განელაგებინათ, მშენებლები ბოძებს ისე განალაგებდნენ, როცა გახედავდნენ, ერთის უკან მეორე ბოძი აღარ ჩანდა (სურ. 3.2). როგორ ფიქრობ, რატომ არ ჩანს სწორ ხაზზე განლაგებული ბოძებიდან ერთის უკან მეორე?
9. მთვარის დაბნელებაზე დაკვირვების შედეგად არისტოტელე იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ დედამიწა სფეროსებრია. როგორ ფიქრობ, რა დაინახა არისტოტელემ მთვარის დაბნელების დროს ისეთი, რამაც ის ასეთ დასკვნამდე მიიყვანა?
10. მზის სხივებით განათებული სატელეგრაფო ბოძის ჩრდილი 30 მ სიგრძისაა, 2 მ სიმაღლის ჯოხისა კი 4 მ სიგრძის. გამოთვალე სატელეგრაფო ბოძის სიმაღლე. ახსენი, რას ეფუძნება შენი გამოთვლების მართებულობა.
11. სინათლის წყაროს დიამეტრი 20 სმ-ია, ეკრანიდან დაშორება კი 2 მ. ეკრანიდან რა უმცირეს მანძილზე უნდა მოვათავსოთ 8 სმ დიამეტრის ბურთი, რომ ეკრანზე მივიღოთ არა ჩრდილი, არამედ ნახევარჩრდილი? ახსენი, რა შემთხვევაში მიიღება ნახევარჩრდილი. ჩათვალე, რომ სინათლის წყაროსა და ბურთის ცენტრებზე გამავალი წრფე ეკრანის სიბრტყის მართობია.
12. განსაზღვრე ადამიანის h სიმაღლისა და მისივე ჩრდილის L სიგრძის მეშვეობით მზის α კუთხური სიმაღლე ჰორიზონტიდან მოცემულ მომენტში. ახსენი, რას ეფუძნება შენი გამოთვლების მართებულობა.

3.3. სინათლის არეკვლა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 11 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა შემთხვევაში ხდება სინათლის არეკვლა? გარდატეხა?
2. რა არის სინათლის დაცემის კუთხე? არეკვლის კუთხე? გარდატეხის კუთხე?
3. ჩამოაყალიბე სინათლის არეკვლის კანონები;
4. რისი ტოლია არეკვლის კუთხე, როცა დაცემის კუთხე ნულის ტოლია?
5. ახსენი, რას ნიშნავს დაცემული და არეკლილი სხივების შექცევადობა?
6. რა შემთხვევაში ვუწოდებთ ზედაპირს გლუვს (სარკულს)? არაგლუვს (მქისეს)?
7. რას ეწოდება სარკული არეკვლა? გაბნეული (დიფუზიური)?
8. როგორი სახის არეკვლის დამსახურებაა ის, რომ ჩვენ სხეულებს ვხედავთ? ახსენი, რატომ?
9. ახსენი, როგორ მიიღება სხეულის გამოსახულება ბრტყელ სარკეში და დაახასიათე როგორია ის;
10. როგორ გამოითვლება სინათლის წყაროს (სხეულის) გამოსახულებების რაოდენობა ორი სარკეში, თუ ისინი ერთმანეთთან α კუთხეს ქმნის?
11. ახსენი, როგორ აღვიქვამთ სხვადასხვა ფერს.

12. სხეული ბრტყელი სარკიდან 30 სმ მანძილზეა მოთავსებული. ის კიდევ დააშორეს სარკეს 10 სმ-ით. რამდენჯერ შეიცვალა მანძილი სხეულსა და გამოსახულებას შორის? ახსენი, რას ეფუძნება შენი გამოთვლების მართებულობა.

13. მზის სხივი ჰორიზონტთან 30^0-იან კუთხეს ადგენს. ჰორიზონტისადმი რა კუთხით უნდა

Don't copy

მოვათავსოთ სარკე, რომ მისგან არეკლილი სხივით შესაძლებელი გახდეს ჭის ფსკერის განათება?

14. სინათლის სხივი მაგიდის ზედაპირთან 48^0-იან კუთხეს ადგენს. რა კუთხით უნდა დავაყენოთ ბრტყელი სარკე მაგიდის ზედაპირისადმი, რომ არეკლილი სხივი მაგიდის პარალელურად გავრცელდეს?

15. სხივი სარკეს მართობულად ეცემა. რა კუთხით მოტრიალდება არეკლილი სხივი, თუ სარკეს 15^0-იანი კუთხით მოვაბრუნებთ?

16. 1 მ სიმაღლის ბოძიდან 7 მ მანძილზე დგას 1,9 მ სიმაღლის კაცი. ადამიანიდან რა მანძილზე და როგორ უნდა მოვათავსოთ ბრტყელი სარკე, რომ მან სარკეში ბოძის წვერო დაინახოს?

17. სინათლის არეკვლის კანონი უდევს საფუძვლად ისეთი ხელსაწყოს მოქმედებას, როგორიცაა **პერისკოპი**, რომელიც გამოიყენება, მაგ., იმისათვის, რომ დამკვირვებელმა წყალქვეშა ნავიდან ზღვის ზედაპირი დაინახოს ან სანგრიდან შემოგარენი დაათვალიეროს.





სურ. 3.3

3.3 სურათზე გამოსახულია პერისკოპის სქემა. ახსენი ამ ხელსაწყოს მოქმედების პრინციპი, როგორ ხვდება დაკვირვების ობიექტიდან არეკლილი სხივი დამკვირვებლის თვალში?

ჰორიზონტისადმი რა კუთხით უნდა იყოს (1)-ლი და მე-(2) სარკეები დახრილი, რომ დასამზერი სხეულიდან არეკლილი ჰორიზონტალური სხივი დამკვირვებლის თვალში მოხვდეს?

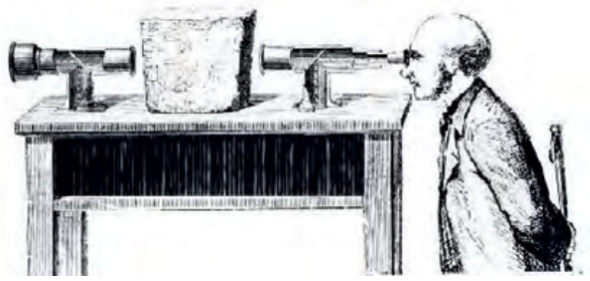
გააკეთე ნახაზი, რომელიც პერისკოპში სინათლის სხივთა სვლას შეესაბამება და დაამზადე პერისკოპის მოდელი.

18. პერისკოპი პირველად **ჯეიმს მილინგტონმა** (1779 –1868) შექმნა. იგი იმ უნივერსიტეტის პროფესორი იყო, რომლის წინაც მას გამვლელები საკმაოდ ხშირად უცნაურ ამპლუაში ხედავდნენ: ის მათ სამზერ მილში ჩახედვას სთავაზობდა (სურ.3.4).

მილს წინა მხარეს უზარმაზარი ლოდი ჰქონდა ჩამოფარებული და, წესით, ლოდის გარდა ადამიანებს ვერაფერი უნდა დაენახათ... მაგრამ ისინი, მათდა გასაოცრად, მილში ჩახედვისას უნივერსიტეტის შენობას ხედავდნენ!

შენ სულ ადვილად შეგიძლია მილინგტონის „ფოკუსის“ საიდუმლო გამოიცნო. მისი ხელსაწყო სინამდვილეში ისეთი იყო, როგორიც 3.5 სურათზეა გამოსახული, ოღონდ ხელსაწყოს ჰორიზონტალური ნაწილი მაგიდის შიგნით იყო ჩამალული და გამვლელები ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად, ცალ-ცალკე აღიქვამდნენ ხელსაწყოს იმ ნაწილებს, რომლებიც მაგიდის ზემოთ ჩანდა.

ალბათ, უკვე თავადაც მიხვდები, როგორ იყო პერისკოპი შიგნიდან მოწყობილი და რატომ ხედავდნენ ადამიანები უნივერსიტეტის შენობას, რომელსაც ლოდი ეფარებოდა. დახაზო მილინგტონის „ფოკუსის“ სქემა და ააწყე მოწყობილობის მოდელი.



სურ. 3.4



სურ. 3.5

Don't copy

19. აღორძინების ხანის დიდ იტალიელ ფერმწერს **ლეონარდო და ვინჩის** სერიოზული კვლევები და გამოგონებები ჰქონდა ოპტიკის, მექანიკის, ასტრონომიის, აერონავტიკის სფეროში. თუმცა მისი აღმოჩენები დიდი ხნის განმავლობაში ყველასათვის უცნობი იყო, რადგან თავისი შრომებისა და კვლევების ჩაწერისას ის უცნაურ და ყველასათვის უცნობ „დამწერლობას“ იყენებდა. მისი ნაწერების გაშიფვრა მხატვრის სიკვდილიდან 200 წლის შემდეგ მაინც მოხერხდა და ამაში მკვლევარებს უბრალო სარკე დაეხმარათ. თუ მიხვდები, როგორ დაიხმარეს მათ სარკე, მაშინ ქვევით მოყვანილი ფრაზის წაკითხვასაც შეძლებ და საკუთარი შესაძლებლობების შეფასებასაც ამოკითხავ:

ვეფხისტყაოსანი ვეღარავინ ჩაიწერს შენგან უკეთეს!

3.4. სინათლის გარდატეხა

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 11 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რას ეწოდება სინათლის გარდატეხა?
2. რა არის სინათლის დაცემის კუთხე? გარდატეხის კუთხე?
3. ჩამოაყალიბე სინათლის გარდატეხის კანონები;
4. რისი ტოლია გარდატეხის კუთხე, როცა დაცემის კუთხე ნულის ტოლია?
5. როგორ იცვლება სინათლის სხივის მიმართულება, თუ სინათლის სხივი ოპტიკურად მეტად (ნაკლებად) მკვრივი გარემოდან ნაკლებად (მეტად) მკვრივ გარემოში გადადის?
6. ახსენი, რას ნიშნავს დაცემული და გარდატეხილი სხივების შექცევადობა?
7. აღწერე, როგორ ვრცელდება სინათლის სხივი ბრტყელ პარალელურგვერდებიან გამჭვირვალე ფირფიტაში;
8. აღწერე, როგორ ვრცელდება სინათლის სხივი სამკუთხა გამჭვირვალე პრიზმაში;
9. როგორ მოვლენას ჰქვია სრული შინაგანი არეკვლა და რა შემთხვევაში ხდება ის?
10. როგორ გამოითვლება სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე?
11. რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს სრული შინაგანი არეკვლის მოვლენას?

12. რა შემთხვევაშია დაცემის კუთხე გარდატეხის კუთხის ტოლი?
13. რა კუთხით უნდა დაეცეს სხივი ჰაერიდან მინის ზედაპირს, რომ გარდატეხის კუთხე დაცემის კუთხეზე ორჯერ ნაკლები იყოს?
14. რა კუთხით უნდა დაეცეს სხივი ჰაერიდან მინაზე, რომ გარდატეხილი სხივი არეკვლილის მართობი იყოს?
15. რისი ტოლი იქნება სინათლის სხივის გარდატეხის კუთხე მინის ფირფიტაში, თუ სხივი ფირფიტის ზედაპირს 45^0-იანი კუთხით ეცემა ჰაერში? წყალში?
16. რა კუთხით გადაიხრება სხივი საწყისი მიმართულებიდან, თუ იგი მინას 45^0-იანი კუთხით ეცემა? თუ ალმასს ეცემა?
17. სხივი წყლის ზედაპირს 40^0-იანი კუთხით ეცემა. რა კუთხით უნდა დაეცეს სხივი მინას, რომ გარდატეხის კუთხე იგივე აღმოჩნდეს?
18. იპოვე სხივის დაცემის კუთხე წყლის ზედაპირზე, თუ ცნობილია, რომ იგი გარდატეხის კუთხეზე 10^0-ით მეტია.
19. სინათლის სხივი ჰაერიდან ეცემა მინას. იპოვე გარდატეხის კუთხე, თუ არეკვლილ და გარდატეხილ სხივებს შორის კუთხე 90^0-ია.
20. სინათლის სხივი ჰაერიდან 45^0-იანი კუთხით ეცემა გამჭვირვალე გარემოს ბრტყელ ზედაპირს. არეკლილი სხივი გარდატეხილ სხივთან ადგენს 105^0-იან კუთხეს. გამოთვალეთ გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი.
21. გამოთვალე სინათლის სხივის მინის ზედაპირზე დაცემის კუთხე, თუ არეკლილ და გარდატეხილ სხივებს შორის კუთხე 120^0-ია.

Don't copy

22. სხივი 60^0-იანი კუთხით ეცემა 2 სმ სისქის მინის ბრტყელპარალელურ ფირფიტას. განსაზღვრე ფირფიტიდან გამოსული სხივის წანაცვლება.

23. სხივი 50^0-იანი კუთხით ეცემა მინის მართ სამკუთხა პრიზმას, რომლის გარდატეხის კუთხე 60^0-ია. იპოვე სხივის გარდატეხის კუთხე პრიზმიდან გამოსვლისას.

24. მინის პრიზმის გარდამტეხი კუთხეა 3^0. გამოთვალე პრიზმის მიერ სინათლის სხივის პირვანდელი მიმართულებიდან გადახრის კუთხე.

25. ადამიანი ცდილობს, შეახოს ჯოხი სხეულს, რომელიც მდინარის ფსკერზე 40 სმ სიღრმეზე დევს და სხეულის გამოსახულებას წყალში ჯოხს უმიზნებს. როგორ ფიქრობ, შეეხება თუ არა ჯოხი სხეულს? რატომ? სხეულიდან რა მანძილზე შეეხება ჯოხი ფსკერს?

26. გამოთვალე ალმასში სინათლის სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე.

27. გამოთვალე სრული არეკვლის ზღვრული კუთხე სხივის დაცემისას მინისა და წყლის საზღვარზე.

28. იპოვე ლალის გარდატეხის მაჩვენებელი, თუ მისი არეკვლის ზღვრული კუთხე 34^0-ია.

29. წყალსატევები ყოველთვის უფრო ღრმაა, ვიდრე გგონია. თუ წყალში ხელს ჩაყოფ ქვის ამოსაღებად, ის სინამდვილეში უფრო ღრმად აღმოჩნდება, ვიდრე წარმოდგენილი გქონდა. გააკეთე სქემატური ნახაზი, აჩვენე სხივთა სვლა და ახსენი, რატომ ხდება ასე.

3.5. ლინზები

ყურადღებით წაიკითხე პარაგრაფი და № 1 – 6 კითხვებზე პასუხი შენი სიტყვებით ჩამოაყალიბე:

1. რა არის ლინზა და როგორი სახის არსებობს ის?
2. ახსენი, რა არის თხელი ლინზა და განმარტე მისი მახასიათებელები (ოპტიკური ცენტრი, მთავარი ოპტიკური ღერძი, თანაღერძი);
3. როგორ ლინზას ჰქვია შემკრები? გამბნევი?
4. რა არის ლინზის ფოკუსი? ფოკალური სიბრტყე?
5. რა თავისებურება ახასიათებს შემკრებ ლინზას? გამბნევს?
6. რა არის ლინზის ოპტიკური ძალა, როგორ გამოითვლება ის და რა არის მისი ერთეული SI-ში?

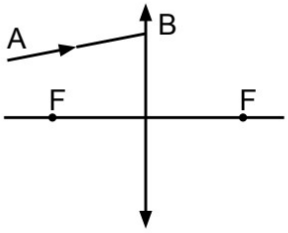
7. რას უდრის ლინზის ოპტიკური ძალა, თუ მისი ფოკუსური მანძილი ტოლია: ა) 20 სმ-ის; ბ) -10 სმ-ის?

8. 3.6 სურათზე ნაჩვენებ რომელ შემთხვევაშია ლინზა გამბნევი და რომელში – შემკრები? რატომ? პასუხი ახსენი.
იპოვე აგებით ლინზების ოპტიკური ცენტრი და ფოკუსი თითოეული შემთხვევაში.



სურ. 3.6

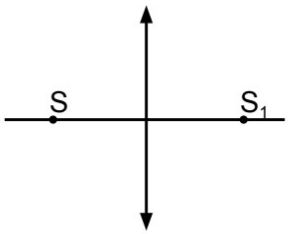
9. 3.7 სურათზე გამოსახულია ლინზა და მისი ფოკუსები. როგორ გავრცელდება ლინზაზე დაცემული სინათლის AB სხივი ლინზაში გარდატეხის შემდეგ? პასუხი დაასაბუთე.



სურ. 3.7

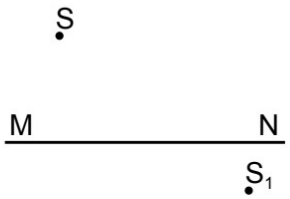
Don't copy

10. შემკრები ლინზა S_1 წერტილში სინათლის S წერტილოვანი წყაროს ნამდვილ გამოსახულებას გვაძლევს (სურ. 3.8) აგებით იპოვე ლინზის მთავარი ფოკუსის მდებარეობა. დაასაბუთე აგების მართებულობა.



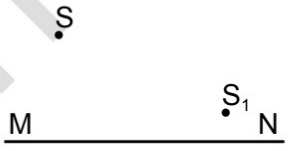
სურ. 3.8

11. 3.9 სურათზე მოცემულია ლინზის მთავარი ოპტიკური MN ღერძი, მნათი S წერტილი და ამ წერტილის გამოსახულება. აგებით იპოვე ლინზის ოპტიკური ცენტრი და მთავარი ფოკუსი. შემკრებია თუ გამბნევი ეს ლინზა? გამოსახულება ნამდვილია თუ წარმოსახვითი? პასუხები დაასაბუთე.



სურ. 3.9

12. 3.10 სურათზე მოცემულია MN მთავარი ოპტიკური ღერძი, S მნათი წერტილი და მისი გამოსახულება. აგებით იპოვე ლინზის ოპტიკური ცენტრი და მთავარი ფოკუსი. შემკრებია თუ გამბნევი ეს ლინზა? გამოსახულება ნამდვილია თუ წარმოსახვითი? პასუხები დაასაბუთე.



სურ. 3.10

13. 10 დიოპტრი ოპტიკური ძალის ლინზის წინ 12,5 სმ მანძილზე მოთავსებულია სანთელი. ლინზიდან რა მანძილზე მიიღება გამოსახულება და როგორი იქნება იგი?

14. 20 სმ ფოკუსური მანძილის მქონე ლინზით მიიღეს საგნის გამოსახულება ლინზიდან 1 მ-ით დაშორებულ ეკრანზე. ლინზიდან რა მანძილზეა საგანი? როგორია გამოსახულება?

15. სხეული ლინზიდან 4F მანძილითაა დაშორებული. რამდენჯერ ნაკლებია მისი გამოსახულების ხაზოვანი ზომა სხეულთან შედარებით? განიხილე ორი შემთხვევა:

ა) ლინზა შემკრებია; ბ) ლინზა გამბნევია.

16. მანძილი სხეულსა და ეკრანს შორის 90 სმ-ია. სად უნდა მოვათავსოთ 20 სმ ფოკუსური მანძილის მქონე ლინზა მათ შორის, რომ ეკრანზე სხეულის მკვეთრი გამოსახულება მივიღოთ.

17. მანძილი სხეულიდან ეკრანამდე 3 მ-ია. რა ოპტიკური ძალის ლინზა უნდა ავიღოთ და სად უნდა მოვათავსოთ იგი, რომ სხეულის 5-ჯერ გადიდებული გამოსახულება მივიღოთ?

18. განსაზღვრე ლუპის ოპტიკური ძალა, თუ იგი ოთხჯერად გადიდებას იძლევა.

19. ლინზაში ნატურალური ზომის გამოსახულების მისაღებად სხეული უნდა მოვათავსოთ მისგან 20 სმ-ზე. რისი ტოლია ლინზის ფოკუსური მანძილი?

Don't copy

20. სხეული მოთავსებულია შემკრები ლინზის მთავარი ფოკუსიდან 10 სმ მანძილზე, ხოლო მისი ნამდვილი გამოსახულება – იმავე ფოკუსიდან 80 სმ მანძილზე. გაიგე ლინზის ოპტიკური ძალა.

21. სხეულის სიმაღლეა 1,2 სმ. რა სიმაღლის გამოსახულება მიიღება ეკრანზე, თუ იგი მოთავსებულია ლინზიდან 1,75 სმ-ზე.

22. შემკრები ლინზის მეშვეობით მიღებულია სხეულის ნამდვილი გამოსახულება. მანძილი სხეულიდან ლინზის ფოკუსამდე 5 სმ-ია, ხოლო მეორე ფოკუსიდან გამოსახულებამდე – 45 სმ. გამოთვალე ლინზის ფოკუსური მანძილი.

23. მანძილი კედელსა და სანთელს შორის 1 მ-ია. სანთლიდან რა მანძილზე უნდა მოვათავსოთ ლინზა, რომლის ფოკუსური მანძილი 9 სმ-ია, რომ კედელზე მივიღოთ სანთლის მკვეთრი გამოსახულება?

24. შემკრები ლინზის ფოკუსური მანძილია 24 სმ. წერტილი მოთავსებულია ლინზიდან 60 სმ და მთავარი ოპტიკური ღერძიდან 20 სმ მანძილზე. მთავარი ოპტიკური ღერძიდან რა მანძილზე მიიღება გამოსახულება?

25. შემკრები ლინზის ფოკუსური მანძილია 12 სმ. მის ოპტიკურ ღერძზე მოთავსებული სხეულის ერთი ბოლო მდებარეობს ლინზიდან 17,9 სმ-ზე, ხოლო მეორე 18,1 სმ-ზე. იპოვე გამადიდებლობა.

26. სხეულს აკვირდებიან შემკრები ლინზით. ლინზას საგნიდან 4 სმ-ზე ათავსებენ და 5-ჯერ გადიდებულ წარმოსახვით გამოსახულებას იღებენ. იპოვე ლინზის ოპტიკური ძალა.

27. რა მანძილზე უნდა მოვათავსოთ სხეული 12 სმ ფოკუსური მანძილის მქონე ლინზიდან, რომ მისი ნამდვილი გამოსახულება 3-ჯერ მეტი იყოს სხეულზე?

28. რა ადგილას უნდა მოვათავსოთ გამბნევი ლინზის წინ საგანი, რომ მისი წარმოსახვითი გამოსახულება ლინზასა და მის წარმოსახვითი ფოკუსის შუაში მივიღოთ?

29. განსაზღვრე გამბნევი ლინზის ოპტიკური ძალა, თუ ცნობილია, რომ მის წინ 40 სმ-ზე მოთავსებული საგნის წარმოსახვითი გამოსახულება 4-ჯერ შემცირებული მიიღება.

30. იპოვე გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილი, თუ მანძილი ლინზიდან საგნამდე არის 12 სმ, ხოლო გამოსახულებამდე 5,5 სმ.

31. გამბნევი ლინზის მთავარი ფოკუსური მანძილი 10 სმ-ია, საგანი ლინზიდან დაშორებულია 12 სმ-ით. რა მანძილია გამოსახულებიდან ლინზამდე?

32. გამბნევი ლინზის ოპტიკური ძალაა 4 დიოპტრი, მისგან რა მანძილზე უნდა მოვათავსოთ საგანი, რომ მისი წარმოსახვითი გამოსახულება 5-ჯერ შემცირდეს?

33. განსაზღვრე გამბნევი ლინზის ოპტიკური ძალა, თუ ცნობილია, რომ ლინზიდან 40 სმ-ზე მოთვსებული საგნის გამოსახულება ოთხჯერაა შემცირებული.

34. გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილია 25 სმ. მისგან 1 მ-ზე მოთავსებულია 40 სმ სიმაღლის საგანი, იპოვე საგნის ლინზაში მიღებული გამოსახულების სიმაღლე.

Don't copy

III თემის მოკლე შინაარსი

3.1.შესავალი: სინათლე – ელექტრომაგნიტური ტალღა

სინათლის სიჩქარე გარემოში – გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი

გამჭვირვალე გარემოში სინათლის გავრცელებას უგანზომილებო ფიზიკური სიდიდით ახასიათებენ, რომელსაც **გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი** ჰქვია.

სინათლის გავრცელების სიჩქარე (v) გამჭვირვალე გარემოში (ნივთიერებაში) ყოველთვის ნაკლებია სინათლის გავრცელების სიჩქარეზე ვაკუუმში (c):

$$v < c$$

სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს, რამდენჯერ მეტია სინათლის გავრცელების სიჩქარე ვაკუუმში, მის სიჩქარეზე მოცემულ გამჭვირვალე ერთგვაროვან გარემოში, **გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი** ჰქვია და ის n-ით აღინიშნება:

$$n = \frac{c}{v} \qquad (3.1.2)$$

გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი მოცემული გარემოსთვის მუდმივი სიდიდეა და დამოკიდებულია გარემოს ფიზიკურ მახასიათებლებზე (ტემპერატურაზე, სიმკვრივესა და გარემოს დრეკადობაზე)

ორი გარემოდან **ოპტიკურად უფრო მკვრივი** ეწოდება იმ გარემოს, რომლის **გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი უფრო მეტია:** რაც უფრო ოპტიკურად მკვრივია გარემო, მით უფრო ნაკლებია სინათლის გავრცელების სიჩქარე ამ გარემოში ვაკუუმთან შედარებით.

ვაკუუმის გარდატეხის მაჩვენებელი 1-ის ტოლია. ჰაერის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი 1,00029-ია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ვაკუუმიდან ჰაერში გადასვლისას სინათლის სიჩქარე 1,00029-ჯერ, ანუ უმნიშვნელოდ მცირდება. შესაბამისად, მივიჩნევთ, რომ **ჰაერის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი 1-ის ტოლია.**

უმეტეს შემთხვევაში, გვხვდება მოვლენები, როცა **სინათლე ვაკუუმიდან კი არ გადადის გარემოში, არამედ ერთი გარემოდან მეორე გარემოში გადადის**, მაგ., ჰაერიდან წყალში (აირიდან თხევად გარემოში), ჰაერიდან მინაში (აირიდან გამჭვირვალე მყარ სხეულში).

ვთქვათ, ერთი გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია n_1, ხოლო მეორე გარემოსი – n_2.

$\frac{n_2}{n_1}$ შეფარდებას ეწოდება **მეორე გარემოს გარდატეხის ფარდობითი მაჩვენებელი პირველი გარემოს მიმართ.** მას, ხშირად, ასე აღნიშნავენ: $n_{2,1}$

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (3.1.3)$$

თუ 3.1.2-ს გავითვალისწინებთ, 3.1.3- დან მივიღებთ, რომ

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \qquad (3.1.4)$$

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ **თუ სინათლე ერთი გამჭვირვალე გარემოდან მეორეში გადადის, მისი სიჩქარე:**

ა) შემცირდება ($v_2 < v_1$), თუ $n_2 > n_1$;

ბ) გაიზრდება ($v_2 > v_1$), თუ $n_2 < n_1$.

Don't copy

3.2. სინათლის წრფივი გავრცელება

ხილული სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღაა, რომელსაც სხვა ტალღების მსგავსად, გავრცელებისას ენერგია გადააქვს. ნებისმიერი ტალღის და, მათ შორის, ხილული სინათლის გავრცელების მიმართულება განისაზღვრება **სხივით – წირი, რომელიც სინათლის ენერგიის გავრცელების მიმართულებას უჩვენებს.**

ოპტიკის იმ ნაწილს, რომელშიც გამჭვირვალე გარემოში სინათლის ენერგიის გავრცელების კანონზომიერებები სინათლის სხივის გამოყენებით შეისწავლება, **გეომეტრიული ოპტიკა** ჰქვია.

ერთგვაროვან გამჭვირვალე გარემოში სინათლე წრფივად ვრცელდება - ეს **სინათლის წრფივი გავრცელების კანონია.**

სინათლის წრფივი გავრცელებით აიხსნება **ჩრდილის** წარმოქმნა. **ჩრდილი ის ადგილია, სადაც სინათლის წყაროდან გამოსხივებული სინათლე ვერ აღწევს.**

ჩრდილი შეიძლება იყოს **მკვეთრი მოხაზულობის** და შეიძლება იყოს არამკვეთრი საზღვრებით – **ნახევარჩრდილიც.**

3.3. სინათლის არეკვლა

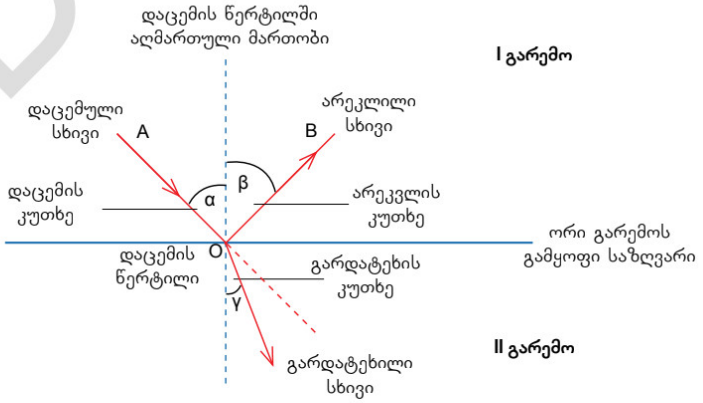
ერთგვაროვან გარემოში სინათლის სხივი წრფივად ვრცელდება. მას შემდეგ, რაც მოცემული გარემოსა (მაგ., ჰაერისა) და სხვა გარემოს (მაგ., წყლის) **გამყოფ საზღვარს** მიაღწევს, **სინათლის სხივი ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე მიმართულებას იცვლის** (სურ.3.3.4): სინათლის ნაწილი (ან მთლიანად) ბრუნდება ისევ I გარემოში (ამ მოვლენას **სინათლის არეკვლა** ჰქვია), ნაწილი კი II გარემოში გადადის და გავრცელების მიმართულებას იცვლის – **გარდატყდება** (ამ მოვლენას **სინათლის გარდატეხა** ჰქვია). შესაბამისად, გვექნება სინათლის სამი სხივი: **დაცემული, არეკლილი** და **გარდატეხილი.**

დააკვირდი 3.3.4 სურათს:

კუთხეს (α), დაცემულ სხივსა და ორი გარემოს გამყოფი საზღვრისადმი დაცემის წერტილში აღმართულ მართობს შორის, სინათლის სხივის **დაცემის კუთხე** ჰქვია.

კუთხეს (β), არეკლილ სხივსა და ორი გარემოს გამყოფი საზღვრისადმი დაცემის წერტილში აღმართულ მართობს შორის, სინათლის სხივის **არეკვლის კუთხე** ჰქვია.

კუთხეს (γ), გარდატეხილ სინათლის სხივსა და ორი გარემოს გამყოფი საზღვრისადმი დაცემის წერტილში აღმართულ მართობს შორის, სინათლის სხივის **გარდატეხის კუთხე** ჰქვია.



სურ. 3.3.4

Don't copy

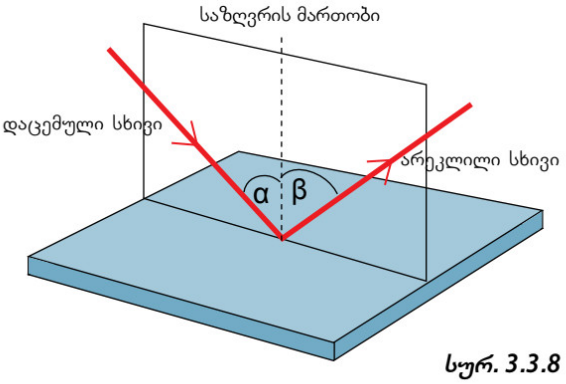
სინათლის არეკვლის კანონები

სინათლის არეკვლის კანონის თანახმად (სურ.3.3.8):

1. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემული სხივი, არეკლილი სხივი და დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობს (არეკვლის I კანონი);

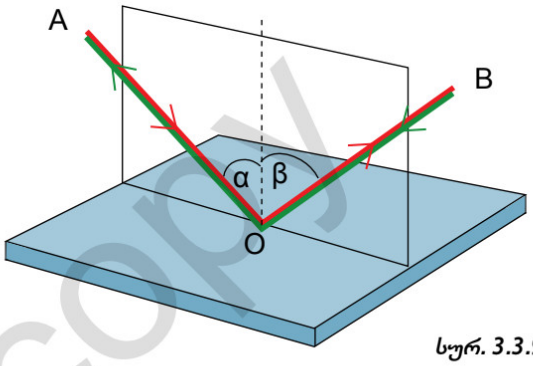
2. არეკვლის კუთხე დაცემის კუთხე ტოლია (არეკვლის II კანონი):

$$\alpha = \beta$$



სურ. 3.3.8

დაცემული და არეკლილი სხივები შექცევადია (სურ. 3.3.9): თუ ლაზერის სხივს „არეკლილი“ სხივის გასწვრივ, მის საპირისპიროდ (BO მიმართულებით) მივმართავთ, მაშინ ის „დაცემული“ სხივის გასწვრივ აირეკლება (OA მიმართულებით).



სურ. 3.3.9

დააკვირდი:

1. როცა სინათლის სხივის დაცემის კუთხე ნულის ტოლია, არეკვლის კუთხეც ნულს უტოლდება: თუ $\alpha = 0$, მაშინ $\beta = 0$;

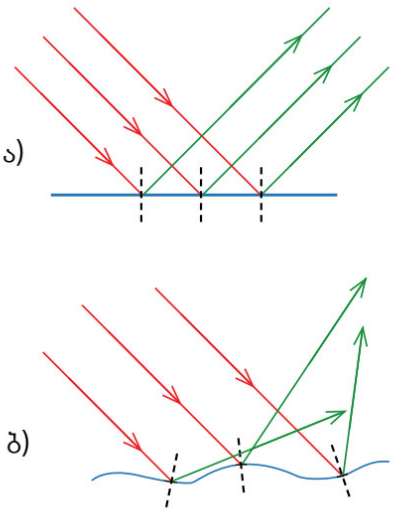
2. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემის წერტილში აღმართული მართობი დაცემულსა და არეკლილ სხივებს შორის კუთხის ბისექტრისაა.

სარკული და დიფუზიური არეკვლა

თუ სინათლის პარალელური სხივთა კონა ეცემა ბრტყელ ზედაპირს, რომელიც:

ა) სარკულია, მაშინ მისგან არეკლილი სხივები კვლავ ერთმანეთის პარალელურად გავრცელდება. ასეთ არეკვლას **სარკული არეკვლა** ჰქვია (სურ.3.3.12, ა);

ბ) მქისეა (არაგლუვია), მაშინ მისგან არეკლილი სხივები ერთმანეთის პარალელური არ იქნება. უსწორმასწორო ზედაპირი მათ გააბნევს: არეკლილი სხივები ყველა მიმართულებით გავრცელდება. ეს **გაბნეული (დიფუზიური) არეკვლაა** (სურ.3.3.12, ბ).

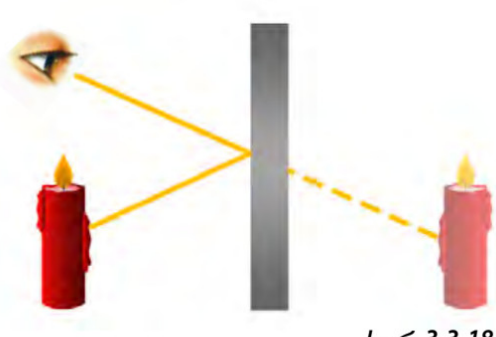


სურ. 3.3.12

სწორედ **გაბნეული (დიფუზიური) არეკვლის დამსახურებაა ის, რომ ჩვენ ვხედავთ სხეულებს,** რომლებიც სინათლეს თავად არ ასხივებს: მაგ., ფურცელს (სურ. 3.3.13, ა), წყლის ზედაპირს (სურ.3.3.14, ა). მცირე გაბნევას მაშინაც კი აქვს ადგილი, როცა არეკვლა, თუნდაც ყველაზე გლუვი ზედაპირიდან (მაგ., სარკიდან, წყლის ზედაპირიდან), ხდება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ჩვენ სარკის და წყლის ზედაპირს ვერ დავინახავდით (სურ. 3.3.13, ბ; 3.3.14, ბ).

Don't copy

გამოსახულება ბრტყელ სარკეში



სურ. 3.3.18

ბრტყელ სარკეში გამოსახულების ასაგებად საკმარისია, რომ სხეულის ზოგიერთი წერტილი სარკის მიმართ სიმეტრიულად გადაიტანო.

ბრტყელ სარკეში სიმეტრიულად მიღებული წერტილების ერთობლიობა ქმნის **სხეულის გამოსახულებას**, რომელიც ისეთივე ზომისაა, როგორც თავად სხეული (სურ. 3.3.18).

შევაჯამოთ:

სხეულის გამოსახულება ბრტყელ სარკეში (სურ. 3.3.18):

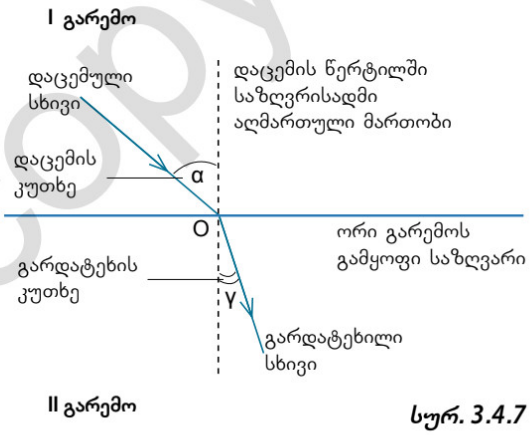
1. წარმოსახვითია;

2. პირდაპირია (შებრუნებული არ არის);

3. ზომით ზუსტად ისეთივეა, როგორც თავად სხეული (ნატურალური ზომისაა);

4. მიიღება სარკიდან იმავე მანძილზე, რა მანძილზეც სხეულია სარკიდან დაშორებული.

3.4. სინათლის გარდატეხა



სურ. 3.4.7

ერთი გამჭვირვალე გარემოდან მეორეში გადასვლისას სინათლის გავრცელების მიმართულების შეცვლას სინათლის გარდატეხა ეწოდება.

სხივს, რომელიც გარდატეხის შემდეგ მეორე გარემოში ვრცელდება, **გარდატეხილი სხივი** ჰქვია (სურ. 3.4.7).

ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე სხივის დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართულ მართობსა და გარდატეხილ სხივს შორის კუთხეს **გარდატეხის კუთხე (γ)** ეწოდება (სურ. 3.4.7).

ერთი გამჭვირვალე გარემოდან მეორეში გადასული სინათლის გავრცელება ყოველთვის გარკვეულ კანონზომიერებას ემორჩილება, რომელსაც **სინათლის გარდატეხის კანონი** ჰქვია. სინათლის გარდატეხის კანონი, ისევე როგორც არეკვლის კანონი, სამართლიანია ნებისმიერი (მექანიკური, ელექტრომაგნიტური) ტალღისთვის.

სინათლის გარდატეხის კანონის თანახმად,

1. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემული სხივი, გარდატეხილი სხივი და დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობს (გარდატეხის I კანონი);

2. დაცემის კუთხის სინუსის შეფარდება გარდატეხის კუთხის სინუსთან მოცემული ორი გარემოსთვის მუდმივი სიდიდეა (გარდატეხის II კანონი)**:**

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n \qquad (3.4.1)$$

სადაც α დაცემის კუთხეა, **γ** – გარდატეხის კუთხე, ხოლო **n** – **მეორე გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელია პირველი გარემოს მიმართ** (გაიხსენე ფორმულა 3.1.3 და 3.1.4).

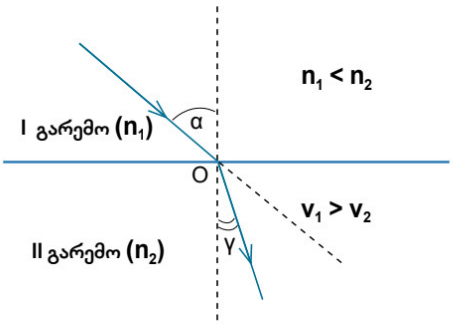
იმის გათვალისწინებით, რომ: $n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$, 3.4.1. ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \qquad (3.4.2)$$

Don't copy

დააკვირდი 3.4.2 ტოლობას:

1. გარდატეხის კუთხე დაცემის კუთხეზეა დამოკიდებული: რაც მეტია (ნაკლებია) ორი გარემოს საზღვარზე სინათლის სხივის დაცემის კუთხე, მით მეტია (ნაკლებია) გარდატეხის კუთხე.



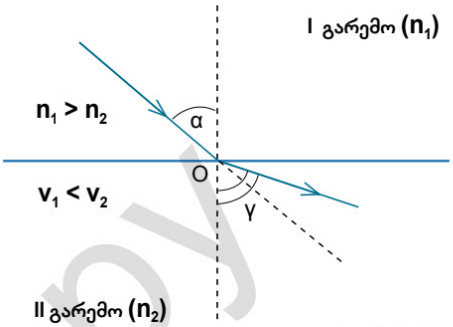
სურ. 3.4.8

2. თუ სინათლის სხივი ოპტიკურად ნაკლებად მკვრივი გარემოდან მეტად მკვრივ გარემოში გადადის ($n_1 < n_2$) (სურ. 3.4.8):

ა) გარდატეხის კუთხე ნაკლებია დაცემის კუთხეზე:

ბ) გარდატეხილი სხივი ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართულ მართობს უახლოვდება;

გ) სინათლის სიჩქარე მცირდება: $n_1 < n_2) \Rightarrow v_1 > v_2$;



სურ. 3.4.9

3. თუ სინათლის სხივი ოპტიკურად მეტად მკვრივი გარემოდან ნაკლებად მკვრივ გარემოში გადადის ($n_1 > n_2$) (სურ. 3.4.9):

ა) გარდატეხის კუთხე მეტია დაცემის კუთხეზე:

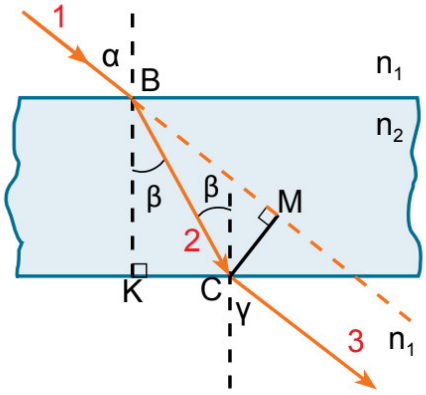
ბ) გარდატეხილი სხივი ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართულ მართობს შორდება;

გ) სინათლის სიჩქარე იზრდება: $n_1 > n_2) \Rightarrow v_2 > v_1$;

4. თუ სინათლის სხივი ორი გარემოს გამყოფ საზღვარს მართობულად ეცემა ($\alpha = 0$), მაშინ ის არ გარდატყდება ($\gamma = 0$) და მეორე გარემოში გადასვლისას დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართული მართობის გასწვრივ გავრცელდება.

5. დაცემული და გარდატეხილი სხივები შექცევადია.

სხივთა სვლა ბრტყელ პარალელურგვერდებიან გამჭვირვალე ფირფიტაში



სურ. 3.4.12

ბრტყელ პარალელურგვერდებიან გამჭვირვალე ფირფიტაში სინათლის სხივის გავრცელებისას:

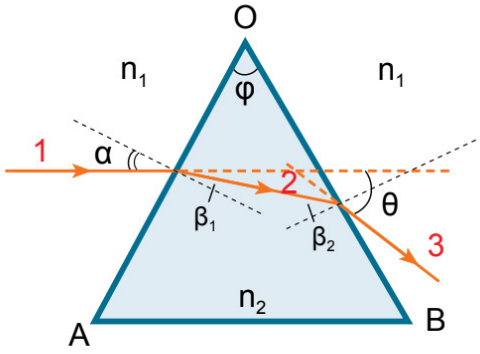
1. დაცემული სხივი ფირფიტიდან გამოსვლის შემდეგ თავდაპირველი გავრცელების მიმართულებას ინარჩუნებს: ფირფიტიდან გამოსული სხივი პარალელურია დაცემული სხივის, ოღონდ წანაცვლებულია მისგან გარკვეული მანძილით (დააკვირდი ნახაზს (სურ. 3.4.12): ფირფიტიდან გამოსული სხივი (3) თავდაპირველი გავრცელების მიმართულებიდან CM მანძილითაა წანაცვლებული);

2. დაცემის მოცემული კუთხისთვის სხივის წანაცვლება ფირფიტის სისქეზეა დამოკიდებული: რაც უფრო თხელია ფირფიტა, მით უფრო ნაკლებია წანაცვლება. სწორედ ამიტომ ფანჯრის თხელ მინებში გამოსახულების წანაცვლება შეუმჩნეველია, მაგრამ თუ ფირფიტის სისქე მნიშვნელოვანია, მაშინ გამოსახულების წანაცვლება თვალსაჩინოა (სურ.3.4.13);

3. სხივი ფირფიტაში გადასვლისას და ფირფიტიდან გამოსვლის შემდეგ არ გარდატყდება, თუ ფირფიტას სხივი მართობულად ეცემა (თუ დაცემის კუთხე ნულის ტოლია).

Don't copy

სხივთა სვლა სამკუთხა გამჭვირვალე პრიზმაში



სურ. 3.4.15

გამჭვირვალე პრიზმაზე დაცემული სხივი პრიზმაში გავლისას ორჯერ გარდატყდება და თავდაპირველი გავრცელების მიმართულებიდან პრიზმის ფუძისკენ θ კუთხით დაიხრება (სურ. 3.4.15).

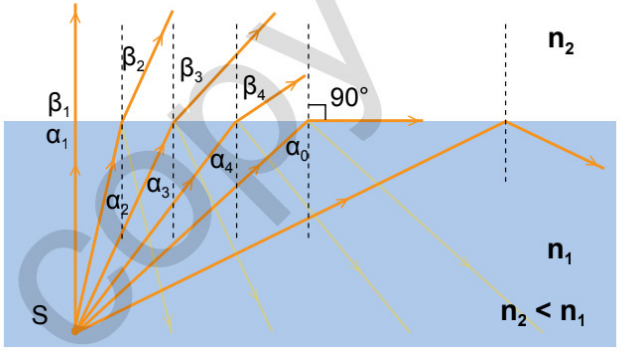
სხივის დახრის θ კუთხე დამოკიდებულია:

ა) პრიზმის გარდამტეხ წახნაგებს შორის φ კუთხეზე, რომელსაც **პრიზმის გარდამტეხი კუთხე** ჰქვია. სხივის დახრის კუთხე მით უფრო მეტია, რაც მეტია პრიზმის გარდამტეხი კუთხე;

ბ) პრიზმის მასალის გარემოს მიმართ გარდატეხის ფარდობით მაჩვენებელზე: რაც უფრო მეტია მასალის გარდატეხის ფარდობითი მაჩვენებელი გარემოს მიმართ, მით მეტია სხივის დახრის კუთხე (თუ $n_2 = n_1$ სხივი მიმართულებას არ შეიცვლის).

გ) დაცემის α კუთხეზე.

სრული არეკვლა



სურ. 3.4.18

ვთქვათ, I გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია n_1, ხოლო II გარემოსი – n_2 . **სხივი ოპტიკურად უფრო მკვრივი გარემოდან ნაკლებად მკვრივ გარემოში გადადის** ($n_1 > n_2$) (სურ. 3.4.18).

დაცემის კუთხის ზრდასთან ერთად, გარდატეხის კუთხეც იზრდება და ის თანდათან 90^0-ს უახლოვდება. ყველა ამ შემთხვევაში, გარდა იმისა, რომ სინათლის ნაწილი II გარემოში გადადის – გარდატყდება, სინათლის ნაწილი I გარემოში აირეკლება.

როცა დაცემის კუთხე გარკვეულ **ზღვრულ $α_0$ მნიშვნელობას** მიაღწევს, გარდატეხის კუთხე 90^0-ის ტოლი გახდება ($β_0 = 90^0$). ეს იმას ნიშნავს, რომ ორი გარემოს (მაგ., წყალი-ჰაერის) გამყოფ საზღვარზე I გარემოდან (წყლიდან) დაცემული სინათლის სხივი II გარემოში (ჰაერში) აღარ გადავა (გარდატეხილი სხივი გაქრება), ნაწილი სინათლისა საზღვრის გასწვრივ გასრიალდება და ნაწილი I გარემოში აირეკლება (სურ. 3.4.18).

თუ დაცემის კუთხეს კვლავ გავზრდით, **სინათლე ორი გარემოს** (მაგ., ჰაერი-წყლის) **გამყოფი საზღვრიდან მთლიანად აირეკლება პირველ გარემოში (წყალში)**, ანუ **სინათლის სრული შინაგანი არეკვლა** ხდება.

დაცემის **ზღვრულ** $α_0$ კუთხეს, რომელსაც 90^0-ის ტოლი გარდატეხის კუთხე შეესაბამება, **სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე ჰქვია.**

სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე ასე გამოითვლება:

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \qquad (3.4.6)$$

იმ შემთხვევაში, თუ სხივი ოპტიკურად უფრო მკვრივი გარემოდან (რომლის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი n-ის ტოლია) **ჰაერში გადადის**, სრული შინაგანი არეკვლის კუთხე ასე გამოითვლება:

$$\frac{\sin\alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_3}{n} = \frac{1}{n} \qquad \alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n} \qquad (3.4.7)$$

ასე რომ, **სრული შინაგანი არეკვლისთვის აუცილებელია, სრულდებოდეს პირობები:**

Don't copy

1. სინათლე ოპტიკურად უფრო მკვრივი გარემოდან ნაკლებად მკვრივ გარემოში უნდა გადადიოდეს: $n_1 < n_2$;

2. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე სხივის დაცემის კუთხე მეტი უნდა იყოს სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრულ კუთხეზე: $\alpha > \alpha_0$.

3.5. ლინზები

ლინზის ოპტიკური ძალა

ფოკუსური მანძილის (F-ის) შებრუნებულ სიდიდეს **ლინზის ოპტიკური ძალა** ჰქვია. მას D-თი აღნიშნავენ:

$$D = \frac{1}{F} \qquad (3.5.1)$$

მიჩნეულია, რომ **ლინზის ფოკუსური მანძილი** და, შესაბამისად, **ოპტიკური ძალა:**

ა) დადებითია, თუ ლინზა შემკრებია ($F > 0$; $D > 0$);

ბ) უარყოფითია, თუ ლინზა გამბნევია ($F < 0$; $D < 0$).

რაც უფრო ახლოსაა ლინზასთან ფოკუსები (რაც უფრო ნაკლებია ფოკუსური მანძილის მოდული), მით უფრო მეტია ლინზის ოპტიკური ძალის აბსოლუტური მნიშვნელობა; მით უფრო ძლიერად გარდატეხს (გააბნევს ან შეკრებს) ლინზა სხივებს.

ლინზის ოპტიკური ძალის ერთეული SI-ში 1 დიოპტრია. 1 დიოპტრი ისეთი ლინზის ოპტიკური ძალაა, რომლის ფოკუსური მანძილი 1 მ-ია:

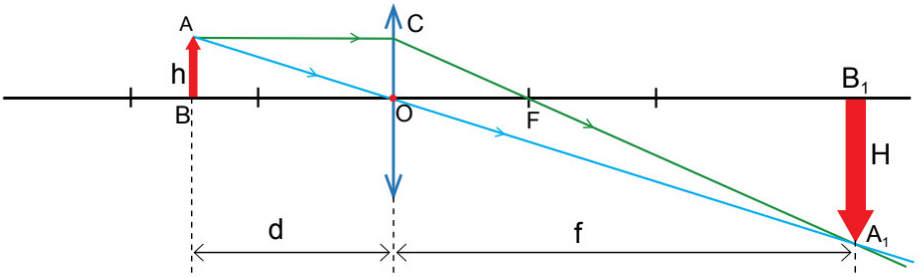
$$1 \text{ დპტრ} = \frac{1}{\text{მ}}$$

ბევრი ოპტიკური ხელსაწყო (ტელესკოპი, მიკროსკოპი) რამდენიმე ლინზისგან შედგება. **ერთმანეთთან ახლოს განლაგებული ლინზათა სისტემის სრული ოპტიკური ძალა ცალკეული ლინზების ოპტიკურ ძალათა ჯამის ტოლია:**

$$D = D_1 + D_2 \qquad (3.5.2)$$

თხელი ლინზის ფორმულა

ლინზას თხელი ეწოდება, თუ მისი სისქე (AB) **უმნიშვნელოა** (სურ. 3.5.8). ლინზით მიღებული გამოსახულების ზომა და ლინზიდან მისი დაშორება დამოკიდებულია სხეულის (სინათლის წყაროს) მდებარეობასა და ლინზის ფოკუსურ მანძილზე. ლინზის ფოკუსურ მანძილს, სხეულიდან ლინზამდე და გამოსახულებიდან ლინზამდე მანძილს შორის კავ-



სურ. 3.6.21

შირი მათემატიკურად, **თხელი ლინზის ფორმულით** აღიწერება.

დააკვირდი 3.6.21 სურათს:

d სხეულიდან (AB ისრიდან) ლინზამდე მანძილია: $d = BO$;

f გამოსახულებიდან (A_1B_1 ისრიდან) ლინზამდე მანძილია: $f = OB_1$;

F ლინზის ფოკუსური მანძილია.

Don't copy

თხელი ლინზის ფორმულებს ასეთი სახე აქვს:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F} \quad (3.6.6) \qquad \text{ან} \qquad \frac{1}{d}+\frac{1}{f}=D \quad (3.6.7)$$

მიჩნეულია, რომ:

$F > 0$, თუ ლინზა შემკრებია;
$f > 0$, თუ გამოსახულება ნამდვილია;
$d > 0$, თუ სინათლის წყარო ნამდვილია;

$F < 0$, თუ ლინზა გამბნევია.
$f < 0$, თუ გამოსახუ ლება წარმოსახვითია;
$d < 0$, თუ სინათლის წყარო წარმოსახვითია (ანუ თუ ლინზას ეცემა განშლადი სხივთა კონა, რომელთა წარმოსახვითი გაგრძელებები ერთ წერტილში იკვეთება).

შევთანხმდეთ: თხელი ლინზის ფორმულა ასეთი სახით ჩავწეროთ:

$$\pm\frac{1}{|d|}\pm\frac{1}{|f|}=\pm\frac{1}{|F|} \quad (3.6.8)$$

თითოეული შესაკრების წინ კი ნიშანი („+“ ან „–“) იმის მიხედვით იწერება, თუ როგორია ლინზის ფოკუსი, სინათლის წყარო და გამოსახულება: ნამდვილია, თუ წარმოსახვითი.

ლინზის გადიდება

ლინზაში მიღებული გამოსახულებისა და სხეულის ხაზოვან ზომებს (სიმაღლეებს) შორის განსხვავებას **წრფივი გადიდებით** ახასიათებენ: წრფივი გადიდება ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ტოლია **გამოსახულებისა და სხეულის წრფივი ზომების** შეფარდებისა.

წრფივი გადიდება გამოითვლება ფორმულით:

$$\boxed{\Gamma=\frac{H}{h}=\frac{|f|}{|d|}} \quad (3.6.10)$$

სადაც H გამოსახულების წრფივი ზომაა (სიმაღლე), ხოლო h — საგნის.

თუ $\Gamma > 1$, მაშინ გამოსახულება გადიდებულია;
თუ $\Gamma < 1$, მაშინ გამოსახულება შემცირებული;
თუ $\Gamma = 1$, მაშინ გამოსახულება ნატურალური ზომისაა.

Don't copy

თემის შემაჯამებელი ტესტების პასუხები

ტესტი №1

1. გ;	**2.** დ;	**3.** ბ;	**4.** ა;	**5.** გ;
6. გ;	**7.** ბ;	**8.** ა;	**9.** ბ;	**10.** გ;
11. დ;	**12.** ბ;	**13.** ბ;	**14.** გ;	**15.** დ;

ტესტი №2

1. გ;	**2.** გ;	**3.** ბ;	**4.** ა;	**5.** ბ;
6. ბ;	**7.** დ;	**8.** ბ;	**9.** ა;	**10.** ა;
11. ა;	**12.** ბ;	**13.** ბ;	**14.** დ;	**15.** ბ;
16. ბ;	**17.** გ;	**18.** გ;	**19.** ბ;	**20.** გ;
21. დ;	**22.** დ;	**23.** დ;	**24.** გ.	

ტესტი №3

1. გ;	**2.** გ;	**3.** გ;	**4.** გ;	**5.** ა;
6. ა;	**7.** გ;	**8.** გ;	**9.** ბ;	**10.** გ;
11. დ;	**12.** გ;	**13.** გ;	**14.** გ;	**15.** გ;

Don't copy

დამატებითი კითხვების, ამოცანების პასუხები

თემა I

§ 1.4.

8. N – სურათის სიბრტყის უკან.

9. ა) განიზიდება; ბ) მიიზიდება; გ) ხვიის მარჯვენა მხარით ჩვენკენ მობრუნდება და მიიზიდება.

10. მობრუნდება ისე, რომ ხვიის სიბრტყეები ერთმანეთს დაემთხვეს, ხოლო დენი ერთნაირადაა მიმართული.

11. მარცხნივ „+“.

12. 0,04 ტლ.

13. 5 ა.

14. 0,1 ნ·მ.

16. მკითხველისკენ სამხრეთი პოლუსი.

17. 40 მტლ.

18. 50 მნ.

19. 20 მტლ.

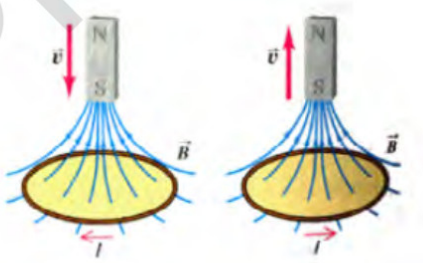
20. 8 მჯ.
21. 1,5/10^{-3} ნ · მ.
22. 5 · 10^3 ტლ.
23. ≈ 45^0-ით.
24. 12 მჯ.
25. 30 ა.

§ 1.7.

6. 0,32 პნ.
7. 5,6 მტლ.
8. 96 კმ/წმ.
9. არა.
10. $T = \frac{2\pi m}{eB}$ = 8,9 ნწმ.
11. $R = \frac{\sqrt{2mW_к}}{eB}$ = 5,8 სმ.
12. 1000 კმ/წმ.
13. R = (mv/qB) sinα; h= (2πmv/qB) cosα.
14. $\frac{r_e}{r_p} = \sqrt{\frac{m_e}{m_p}} \approx 0{,}023$.
15. ≈ 9 · 10^{-31} კგ

§ 1.9.

7. 50 მტლ.
8. 2 მვბ; 1,4 მვბ; 1 მვბ.
9. 1 მვბ.
10. იხ. სურათი 1



სურ. 1

§ 1.10.

7. ა, ბ) არ იქნება; გ) იქნება (გამონაკლისია შემთხვევა, როდესაც ღერძი ინდუქციის წირების პარალელურია).
8. 400 ვ.
9. 60 მვბ/წმ.
10. 100.
11. 5 მვ.
12. 5,8 მ/წმ.
13. 0,7 ა; 0,3 ა; მარცხნივ 10 მ/წმ.

§ 1.12.

8. 1 მჰნ.
9. 0,2 ვბ.
10. 2 მტლ.
11. 0,1 ა.
12. 2,5 მჰნ.
13. 100 ვ.
14. 135 ვ.
15. 0,2 ა.
16. 120 ჯ; 4-ჯერ შემცირდება.
17. 2 ა.
18. 2,5 ჯ.
19. 2 ა; 1 ჯ.

Don't copy

თემა II

§ 2.1.

11. გაიზრდება.
12. 16 სმ.
13. 3 სმ.
14. 0,5 წმ.
15. 3 ჰც.
16. 1,5 ჰც.
17. 1 : 4
18. 3 : 2.
19. 0,3 წმ.
20. 12 მ.
21. 80 სმ.

§ 2.2.

11. $a_1 = -1000x$; 10 მ/წმ.
12. – 80 მ/წმ²; 0; – 20 მ/წმ²; – 0,25 სმ.
13. 40 მ/წმ².
14. 6 სმ; 50ჰც; 20 მწმ.
15. $x = 0{,}1 \cos 2t$.
16. 1,4 სმ; -1,4 სმ.
17. $x = 0{,}1 \cos 10t$;
18. $\frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3}; \frac{4\pi}{3}; \frac{5\pi}{3}$ რად.
19. **ა)** 10 სმ; 0,2 წმ; 5 ჰც; 10 π რად/წმ, **ბ)** $x = 0{,}1 \cos 10\pi t$; **გ)** 0; -5 სმ; **დ)** -10 სმ; 0.
20. $x = 0{,}1 \cos \pi t$; $\frac{3\pi}{2}$ რად; 0; 0,25 და 1,75 წამის შემდეგ.
21. 2 სმ; -1,4 სმ.
22. 2 სმ.
23. 2 წმ; 0,5 ჰც; π წმ$^{-1}$.
24. 3,2 ც.
25. 4 კგ.
26. $\sqrt{2}$-ჯერ შემცირდება.
27. 2-ჯერ შემცირდება.
28. 9,7 მ/წმ².
29. 9,8 მ/წმ.
30. ≈ 17 სმ.
31. 9 : 1.
32. 181 სმ; 50 სმ.
33. 9 სმ, 16 სმ.
34. ≈ 6,2სმ.
35. შემცირდება 1,17-ჯერ.
36. ≈ 0,3 წმ.
37. ჩამორჩება ყველა შემთხვევაში.
38. 12 სთ.
39. ≈ 5,5 მ/წმ².

Don't copy

§ 2.3.

7. 2,8 ჯ; 3,8 მ/წმ.
8. 12-ჯერ გაიზარდა.
10. 25 ჯ; 75.
11. 4 წმ.
12. 2,7 კმ/სთ.
13. 2,5 სმ/წმ.
14. 0,08 ჯ.
15. ≈ 1 მ/წმ.
16. 10 კნ/მ, 8 მ/წმ.
17. შემცირდება 2-ჯერ.

§ 2.5.

7. 1/4 წმ.
8. 0,5 მ/წმ.
9. 1/6 ჰც.
10. 3/4 ჰც.
11. 5 მ.
12. $V_3 > V_1 > V_2$.
14. 0,5 ჰც.
15. 3/4 წმ.
16. 1/6 წმ.
17. A და C წერტილების სიჩქარეები ნულის ტოლია, B წერტილის სიჩქარე მიმართულია ზევით, ხოლო D წერტილის სიჩქარე ქვევით.
18. 0,5 წმ; 2 ჰც.
19. 2,4 მ/წმ.
20. 2,4 მ/წმ.
21. 100 მ.
22. π/6.
23. 1,7 მ.

§ 2.6.

11. 3,8 მ; 3,8 სმ.
12. დაახლოებით 5 კმ.
13. 20 მ/წმ.

§ 2.7.

6. 0,4 წმ.
7. 420 მ.
8. ≈ 2,25კმ.
9. ≈ 60 კმ/სთ.
11. ა) 488 ჰც; ბ) 397 ჰც.

Don't copy

§ 2.9.

10. 0,25 მკწმ.

11. 70 კჰც-დან 71 მგჰც-მდე.

12. გაიზრდება 1,4-ჯერ.

13. 16 – 10 მჰნ.

14. 5,1 მკჰნ.

15. 1,25-ჯერ შემცირდება.

16. 120 მკჯ; 40 მკჯ.

17. $I_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}} = 0{,}1$ ა.

§ 2.10.

4. 100.

5. 50 ვ; 0,4 წმ; 2,5 ჰც; $e = 50\cos 5\pi t$.

6. 100 ჰც; 10 მწმ; 5 ა; 2,5 ა.

7. 0,63 ვ.

8. 100 ვ, 400 ჰც, 2,5 მწმ, $\pi/6$.

9. 5 ვ.

10. 2,5 ვ.

11. 7,5 ვ.

12. 30 რად/წმ.

13. 5,2 ვ.

14. $4{,}8 \cdot 10^{-2}$ ვბ.

15. 11,6 ვ.

§ 2.11.

13. 0,8 კომი; 0,1 კომი.

14. 36 მკფ.

15. 63 ომი; 0,5 კომი.

16. 1,6 მკფ.

17. 0,5 კჰც.

18. ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობა 179 ვ ≥ 150 ვ.

19. 5,6 ა.

20. 3,2 კჯ.

§ 2.12.

7. 1/3; 2520; პირველადში.

8. 16.

9. 36.

10. 21,5 ვ.

11. ≈ 160 სმ².

§ 2.13.

4. $5 \cdot 10^4$.

5. 200 მ.

Don't copy

თემა III

§ 3.1.

7. 8 წთ 20 წმ.
8. 230 მგმ/წმ; 190 კმ/წმ.
9. 224,4 მგმ/წმ.
10. $C = 4lN_ს = 31500$, კმ/წმ.
11. 390 ტჰც; 750 ტჰც.

§ 3.2.

10. 15 მ.
11. 0,8 მ.
12. $\alpha = \text{arctg}\frac{h}{l}$.

§ 3.3.

12. ≈ 1,3-ჯერ.
13. 60^0.
14. 24^0; 66^0.
15. 30^0.
16. ≈ 4,59 მ.

§ 3.4.

12. როცა $n = 1$ ან როცა $\alpha = 0$.
13. 74^0.
14. 58^0.
15. 27^0; 37^0; 57^0.
16. 19^0, 28^0.
17. 52^0.
18. 39^0.
19. ≈ 34^0.
20. ≈ 1,4.
21. ≈ $36,5^0$.
22. 1,2 სმ.
23. 56^0.
24. ≈ $1,5^0$.
25. ≈ 15 სმ.
26. ≈ 25.
27. ≈ 63^0.
28. 1,8.

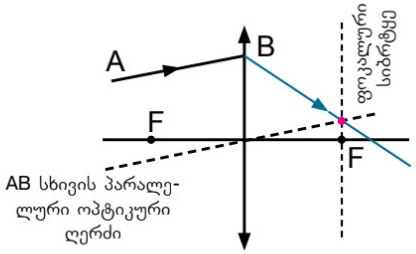
Don't copy

§ 3.5.

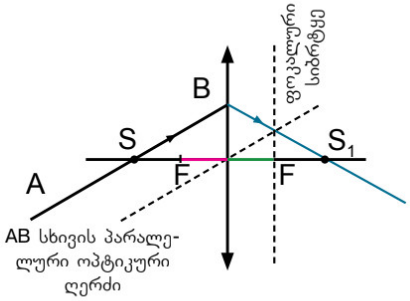
7. 5 დპტრ; -10 დპტრ.

8. ა) შემკრები; ბ) გამბნევი.

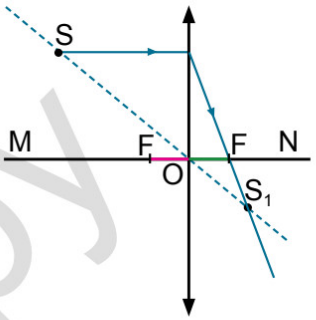
9.



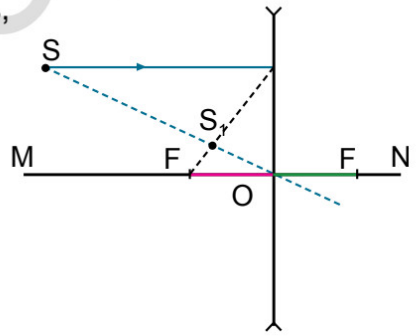
10.



11. ლინზა შემკრებია. გამოსახულება ნამდვილია, შებრუნებული და შემცირებული.



12. ლინზა გამბნევია. გამოსახულება წარმოსახვითია, პირდაპირია და შემცირებული.



13. 50 სმ; 4-ჯერ გადიდებული.

14. 25 სმ; ნამდვილი; შებრუნებული 4-ჯერ გადიდებული.

15. ა) 3-ჯერ; ბ) 5-ჯერ;

16. 30 და 60 სმ ეკრანიდან.

17. 2,4 დპტრ; 0,5 მ.

18. 16 დპტრ. **19.** 10 სმ. **20.** 5 დიოპტრი. **21.** ≈ 1,6 სმ.

22. 15 სმ. **23.** 90 სმ; 10 სმ. **24.** ≈ 10,3 სმ. **25.** 4.

26. 20 დპტრ. **27.** 16 სმ. **28.** ფოკალურ სიბრტყეში.

29. – 7,5 დპტრ. **30.** ≈ -10 სმ.

31. ≈ -5,5 სმ. **32.** 1 მ.

33. – 7,5 დიოპტრი. **34.** 8 სმ.

Don't copy

ნაწილაკი	მუხტი		მასა	მასა ატომურ ერთეულებში (მაე)
ელექტრონი	-1	$-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ	$9{,}11 \cdot 10^{-28}$ გ	0,0005 (1/1840)
პროტონი	+1	$+1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ	$1{,}6726 \cdot 10^{-24}$გ	1
ნეიტრონი	0	0	$1{,}6749 \cdot 10^{-24}$გ	1

ცხრილი 3.1.1. ზოგიერთი ნივთიერების გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი.

გარემო	გარდატეხის მაჩვენებელი ვაკუუმის მიმართ
ჰაერი	1,00029
ყინული	1,31
წყალი (20°C-ზე)	1,33
გლიცერინი	1,47
სხვადასხვა სახის მინა	1,47-დან 2,04-მდე ($n_{საშ} = 1{,}5$)
პლექსიგლასი	1,5
კვარცი	1,54
ლალი	1,76
ალმასი	2,42

Don't copy

ცდომილებების გამოთვლა

ფორმულა	აბსოლუტური ცდომილება	ფარდობითი ცდომილება
$C = A \pm B$	$\Delta C = \Delta A + \Delta B$	
$C = A \cdot B$	$\Delta C = \Delta A \cdot B + A \cdot \Delta B$	$\varepsilon_C = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} = \varepsilon_A + \varepsilon_B$
$C = \frac{A}{B}$	$\Delta C = \frac{\Delta A \cdot B + A \cdot \Delta B}{B^2}$	$\varepsilon_C = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} = \varepsilon_A + \varepsilon_B$

კვლევითი სამუშაოს მიმდინარეობისა და შედეგების ანგარიში

შენიშვნა:
1. კვლევითი სამუშაოების ანგარიშის ფორმა დამოუკიდებლად უნდა შექმნა ტექსტურ რედაქტორში და შეავსო კვლევის დასრულების შემდეგ;
2. კვლევის ანგარიშის ფორმას სარეკომენდაციო ხასიათი აქვს. შეგიძლია, კვლევითი სამუშაოს ეტაპებში სხვა ეტაპიც დაამატო/მოაკლო;
3. თუ კვლევითი სამუშაო რამდენიმე ექსპერიმენტს მოიცავს, ანგარიში თითოეული ექსპერიმენტის მსვლელობისა და შედეგების მიხედვით უნდა დაიწეროს.

მოსწავლის გვარი, სახელი .....
კლასი .....
თარიღი .....
კვლევითი სამუშაო № .....
საკვლევი თემა .....

კვლევის ეტაპები	**ცდა №**
1. **საკვლევი კითხვა**	
2. **საჭირო ინფორმაცია**	
3. **ჰიპოთეზა**	
4. **ცდის მოკლე აღწერა**	
5. **დამოუკიდებელი ცვლადი** – სიდიდე/პირობა, რომელიც იცვლება ცდის ჩატარების პროცესში და იწვევს სხვა სიდიდის/პირობის ცვლილებას	
6. **დამოკიდებული ცვლადი** – სიდიდე/პირობა, რომელიც იცვლება დამოუკიდებელი ცვლადის ცვლილების მიხედვით	
7. **პარამეტრი** – მოცემული ცდის განმავლობაში მუდმივი სიდიდე/უცვლელი პირობა	
8. **აღრიცხული მონაცემები /გაზომვის შედეგები**	
9. **მონაცემების/ შედეგების ანალიზი**, ინტერპრეტაცია და გამოტანილი დასკვნები	
10. **პასუხი საკვლევ კითხვაზე** /საბოლოო დასკვნა	
11. დადასტურდა თუ არა შენი ჰიპოთეზა? თუ არ დადასტურდა, ჩამოაყალიბე ახალი ჰიპოთეზა	
13. **თვითშეფასება:** ა) რა გამოგივიდა ყველაზე კარგად კვლევისას? ბ) რა გამოგივიდა წარუმატებლად? გ) რას შეცვლიდი კვლევის პროცესში, თავიდან რომ ატარებდე კვლევას?	

Don't copy