ფიზიკა

სახელმძღვანელო

11

LAYIHƏ

ფიზიკა
11

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ DÖVLƏT HİMNİ

Musiqisi ***Üzeyir Hacıbəylinin,***

sözləri ***Əhməd Cavadındır.***

Azərbaycan! Azərbaycan!
Ey qəhrəman övladın şanlı Vətəni!
Səndən ötrü can verməyə cümlə hazırız!
Səndən ötrü qan tökməyə cümlə qadiriz!
Üçrəngli bayrağınla məsud yaşa!
Minlərlə can qurban oldu!
Sinən hərbə meydan oldu!
Hüququndan keçən əsgər
Hərə bir qəhrəman oldu!

Sən olasan gülüstan,
Sənə hər an can qurban!
Sənə min bir məhəbbət
Sinəmdə tutmuş məkan!

Namusunu hifz etməyə,
Bayrağını yüksəltməyə
Cümlə gənclər müştaqdır!
Şanlı Vətən! Şanlı Vətən!
Azərbaycan! Azərbaycan!

LAYİHƏ

ჰეიდარ ალიევი

აზერბაიჯანელი ხალხის საერთო ეროვნული ლიდერი

LAYİHƏ

LAYİHƏ

ფიზიკა

რასიმ აბდურაზაგოვი
როვშან ალიევი
გალიბ შარიფოვი

11

სახელმძღვანელო
ფიზიკა 11
ზოგადსაგანმანათლებლო სკოლებისთვის

LAYİHƏ

ამ გამოცემასთან დაკავშირებული შენიშვნები და წინადადებები გთხოვთ,
გამოაგზავნოთ შემდეგ ელექტრონულ ფოსტაზე:
bn@bakineshr.az და derslik@edu.gov.az
წინასწარ გიხდით მადლობას თანამშრომლობისთვის!

BAKI NƏŞR

ბაქო – 2018

ფიზიკა 11

სარჩევი

თავი I

• ელექტრომაგნიტური ველი •

1.1. ელექტრული მუხტი. ელექტრომაგნიტური ველი 10
1.2. ელექტროსტატიკური ველი. ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობა 14
1.3. ერთგვაროვანი ელექტრული ველის მუშაობა. პოტენციალი. ძაბვა . 18
1.4. კონდენსატორი. ელექტრული ტევადობა 23
1.5. კონდენსატორების შეერთება 27
1.6. დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობა მაგნიტურ ველში. ლორენცის ძალა 31
1.7. მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარზე. ამპერის ძალა . . 34
1.8. მაგნიტური ნაკადი. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა . . 38
1.9. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი. მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარებში აღძრული ინდუქციის ემძ 42
1.10. თვითინდუქციის ემძ. მაგნიტური ველის ენერგია 46
• ამოცანები I თავისთვის 50

თავი II

• მუდმივი დენის კანონები სხვადასხვა გარემოში •

2.1. მეტალების გამტარობის ელექტრონული თეორიის ელემენტები . . 54
2.2. ომის კანონი წრედის უბნისათვის. წინაღობა. ზეგამტარობა . . . 58
2.3. ელექტრომამოძრავებელი ძალა. ომის კანონი სრული წრედისათვის . 62
2.4. ელექტრული დენი ვაკუუმში 66
2.5. ელექტრული დენი აირებში 70
2.6. ელექტრული დენი ელექტროლიტის ხსნარებში. ელექტროლიზის კანონი. 74
2.7. ელექტრული დენი ნახევარგამტარებში 78
2.8. ნახევარგამტარული დიოდი. ტრანზისტორი 82
2.9. ნახევარგამტარული ხელსაწყოები: მათი გამოყენება მეცნიერებაში, ტექნიკასა და წარმოებაში (გაკვეთილი-პრეზენტაცია) 86
• ამოცანები II თავისთვის 87

LAYING

თავი III

ელექტრომაგნიტური რხევები და ტალღები

3.1. თავისუფალი ელექტრომაგნიტური რხევები 92
3.2. ენერგიის გარდაქმნა ელექტრომაგნიტური რხევებისას (გაკვეთილი-პრეზენტაცია) 97
3.3. იძულებითი ელექტრომაგნიტური რხევები: ცვლადი დენი 99
3.4. რეზისტორის, კონდენსატორისა და კოჭას შემცველი ცვლადი დენის წრედი 104
3.5. ომის კანონი ცვლადი დენის წრედისთვის მიმდევრობით ჩართული აქტიური, ინდუქციური და ტევადობითი წინაღობებით 109
3.6. ელექტროენერგიის გადაცემა. ტრანსფორმატორი 113
3.7. ელექტრომაგნიტური ტალღები 117
3.8. ელექტრომაგნიტური ტალღების ენერგია. ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალა (გაკვეთილი-პრეზენტაცია) 122
3.9. რადიოკავშირის პრინციპები 124
3.10. სინათლის ტალღური ბუნება. სინათლის დისპერსია 128
3.11. ტალღების ინტერფერენცია. სინათლის ინტერფერენცია 132
3.12. ტალღების დიფრაქცია. სინათლის დიფრაქცია 136
3.13. სინათლის პოლარიზაცია 140
• ამოცანები III თავისთვის 144

თავი IV

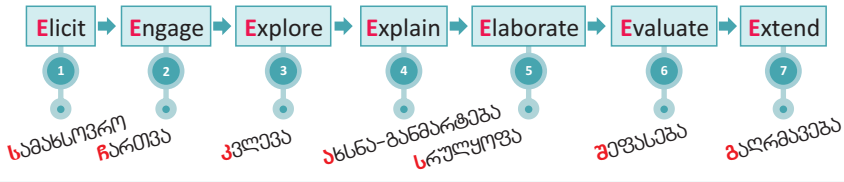
ატომური ფიზიკა

4.1. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების კვანტური ბუნება. ფოტონი . . 148
4.2. ფოტოეფექტი. ფოტოეფექტის თეორია 152
4.3. ეფექტი და დე ბროილის ტალღები (გაკვეთილი-პრეზენტაცია) . . 157
4.4. ბორის კვანტური პოსტულატები ატომის აგებულების შესახებ. ატომის ენერგეტიკული დონეები. 159
4.5. გამოსხივების სახეები და მათი გამოყენება (გაკვეთილი-პრეზენტაცია) 163
4.6. ატომის ბირთვი. ატომის ბირთვის აგებულება 167
4.7. ბირთვის ბმის ენერგია 171
4.8. რადიოაქტიურობა. ბირთვების რადიოაქტიური გარდაქმნები . . 174
4.9. რადიოაქტიური დაშლის კანონი 178
4.10. ბირთვული რეაქცია 181
4.11. ურანის ბირთვის გაყოფა. ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია 184
4.12. თერმობირთვული რეაქცია 189
4.13. ელემენტარული ნაწილაკები და მათი რეგისტრაციის მეთოდები . 192
4.14. ფიზიკა და თანამედროვე ყოფა-ცხოვრება (გაკვეთილი-პრეზენტაცია). 187
• ამოცანები IV თავისთვის 201
• ამოცანების პასუხები 204

LAYOUT

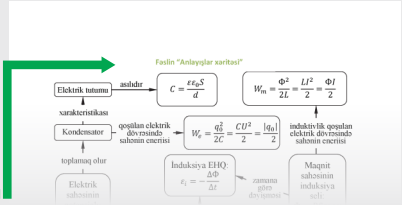
მოდელი 7E ბუნებისმეტყველების სწავლებისას

სახელმძღვანელოს ყველა თემა აგებულია საბუნებისმეტყველო საგნების სწვლების მოდელ 7E-ის საფუძველზე. ეს მოდელი მსოფლიოში ყველაზე პროგრესულ საგანმანათლებლო მოდელად ითვლება.
მოდელ 7E-ის განხორციელების თანმიმდევრობა გაკვეთილის მსვლელობისას:

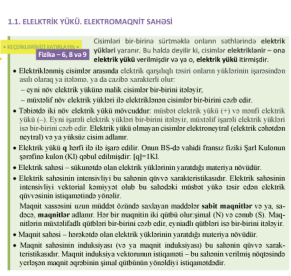


გაეცანით სახელმძღვანელოს!

ცნებების რუკა. თავში განხილული ცნებების სისტემატიკა (მათი ურთიერთკავშირების თანმიმდევრობა).

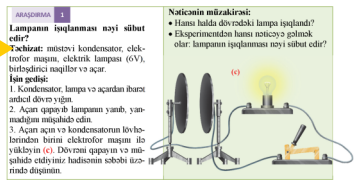


განვლილი მასალის გახსენება. (Elicit) – განვლილი მასალის გასახსენებელი კითხვები, რომლებიც უშუალოდ თუ არაუშუალოდ დაკავშირებულია თემასთან.

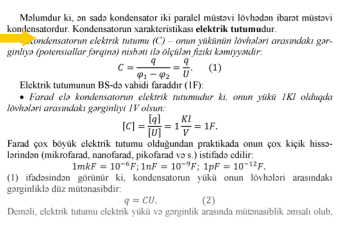


მოტივაცია. (Engage) – მონაცემები და განსახილველი საკითხები, რომლებიც მოსწავლეებს უღვიძებს ინტერესს გაკვეთილის თემისადმი.

კვლევითი სამუშაო. (Explore) – გაკვეთილის თემასთან დაკავშირებული თეორიული თუ პრაქტიკული დავალების დამოუკიდებლად შესრულება.



ახსნა-განმარტება. (Explain) – გაკვეთილის ძირითადი შინაარსი: ახალი ცნებები, წესები და განმარტებები.



LAYTHO

შესწავლილი მასალის განმტკიცება. (Elaborate) – დავალებები, რომლებიც უფრო მეტად სრულყოფს გაკვეთილზე შეძენილ ცოდნასა და უნარებს.

ყოველდღიურობასთან კავშირი. ექსპერიმენტული დავალებები, რომელთა შე-სასრულებლად შესაძლებე-ლია სხვადასხვა რესურსის გამოყენება.

ცოდნის შეფასება. გაკვეთილის დამამთავრებელი ნაწილი. დავალებები, რომლებიც მიმართულია მასალის ათვისების ხარისხის განსაზღვრისკენ. შედგება 3 ნაწილისაგან: 1. დავალებები თვითშეფასებისთვის, რომლებიც ემყარება ტექსტს. 2. კითხვები სწავლების პროცესში ინდივიდუალური მოქმედებების შეფასებისთვის. 3. სხვადასხვა (A, B, C, D) სირთულის დავალებები.

რა შეიტყვეთ? (Extend) – პროექტები, კვლევითი სამუშაოები, შემოქმედებითი დავალებები, რომლებსაც ღრმა ანალიზი სჭირდება, ახალი ცოდნის შესაძენად.

TƏTBİQETMƏ ARAŞDIRMA 2

Qapalı konturda dəyişən cərəyanın alınmasını izah edin

Məsələ. Bircins maqnit sahəsində fırlanan konturda dəyişən induksiya cərəyanının alınmasını verilən sxemə əsasən izah edin (*bax: sxem d*).

Nəticənin müzakirəsi:

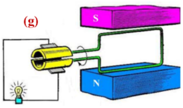
- Bircins maqnit sahəsində fırlanan konturun hansı halında onda yaranan induksiya cərəyanı maksimal qiymətə malik olar? Niyə?
- Kontur 2 və 4 vəziyyətində olduqda onun C və D tərəfindən keçən induksiya cərəyanın istiqaməti haqqında nə deyə bilərsiniz?

Həyatla əlaqələndirin.

HƏYATLA ƏLAQƏLƏNDİRİN

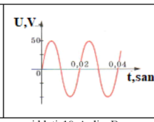
...generatorunun sadələşdiril-...şdir (g). Onu dəyişən cərəyan generatorunun sadələşdirilmiş sxemi (*bax:* c *və ya* d) ilə müqayisə edin.

- Bu generatorların quruluşları arasında fərq nədədir?
- Necə olur ki, generatorların birində sabit, digərində dəyişən cərəyan alınır?



Özünüzü qiymətləndirin:

ÖZÜNÜZÜ QİYMƏTLƏNDİRİN

№	Suallar	bilirəm		
		Zəif	Orta	Yaxşı
1	...elektromaqnit rəqslərinin alınması necə təmin olunur?			
2	Dəyişən cərəyan generatorunun işini hansı təcrübə ilə modelləşdirmək olar?			
3	EHQ-nin zamana görə dəyişməsi $\varepsilon = 120 sin\, 80\pi t$ qanunu ilə verilmişdir. EHQ-nin rəqslərinin amplitudunu, period və tezliyini təyin edin.			
4	Verilən qrafikə görə: a) gərginliyin rəqslərinin amplitud qiymətini təyin edin; b) bu rəqslərin period və tezliyini təyin edin; c) gərginliyin zamandan asılılıq tənliyini yazın. 			
5	İşıqlandırma dövrəsində cərəyan şiddəti 10 A-dir. Bu zaman onun amplitud qiyməti nəyə bərabərdir?			

NƏ ÖYRƏNDİNİZ? İş vərəqində "Dəyişən cərəyan"ın anlayış xəritəsini qurun.

Layihə. "Cərəyanların müharibəsi". Elektron resurslarından istifadə etməklə ABŞ ixtiraçıları Tomas Edisonun "sabit cərəyanın istehsalı və istismarı sistemi" və Nikola Teslanın "dəyişən cərəyanın istehsalı və istismarı sistemi" adlı kəşfləri arasında 100 ildən çox davam edən rəqabət haqqında referat hazırlayın.

პროექტი. (Extend) – პროექტი, კვლევა, შემოქმედებითი დავალება, რომელიც ღრმა ცოდნას მოითხოვს, ახალი ცოდნის მიღების მიზნით.

Radioaktiv nüvənin β-çevrilməsinin (5) və (6) reaksiyalarındakı **ν** və **ν̃** simvolları nəyi bildirir?

1934-cü ildə italiya əsilli ABŞ fiziki Enriko Fermi (1901-1954) β-çevrilmənin kvant nəzəriyyəsini işlədi. Bu nəzəriyyə görə nüvənin β^-- çevrilməsində – nüvə daxilində bir neytronun protona çevrilmə prosesi baş verir. Həmin proses elektrik yükünün və enerjinin saxlanması qanununa görə iki zərrəciyin – elektron və yük ədədi ilə kütlə ədədi sıfıra bərabər olan zərrəciyin buraxılması ilə müşaiyət olunur. Fermi həmin zərrəciyi **neytrino** (ital.: neytrino – neytral) adlandırdı:

$${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^{0}e + \nu. \quad (7)$$

Analoji olaraq nüvənin β^+- çevrilməsində – nüvə daxilində bir protonun neytrona çevril... prosesi baş verir və pozitronla yanaşı, yük ədədi ilə kütlə ədədi sıfıra bərabər **antineytrinonun** buraxılması ilə müşaiyət olunur:

$${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_{+1}^{0}e + \tilde{\nu}. \quad (8)$$

• ... *şüalanma – çox böyük tezlikli* ($10^{18} \div 10^{20}$ *Hs*) ***foton*** *selindən ibar... maqn... şüalanmasıdır. O, çox böyük nüfuzetmə qabiliyyətinə malikdir ... ...ntimetr olan qurğuşun divardan keçə bilir.* Bu şüalar elektrik yükünə ...

ცოდნის გაღრმავება. თემაში განხილული საკითხების ამსახველი ამოცანების ან თეორიული დავალებების შესრულების ნიმუში. ბოლოში შემოთავაზებულია მსგავსი დავალების დამოუკიდებლად შესრულება.

...əyin edin:

...atom kütlə ədədləri,

${}_{56}^{142}Ba$ və

...rin xüsusi

IV fəslə aid məsələlər

ამოცანები. მოცემული თავის შესწავლილი თემების განმაზოგადებელი თეზისები.

ამოცანების **პასუხები** გვ. 204-207

LAYİHƏ

თავი I

ელექტრომაგნიტური ველი

- ძლიერი ელექტრომაგნიტური ველი უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის ორგანიზმზე – აზიანებს მის ცენტრალურ ნერვულ სისტემას, შეიძლება გამოიწვიოს თავის ტვინის სიმსივნე, ადამიანს უმცირდება სისხლში ჰემოგლობინის შემცველობა, უქვეითდება მეხსიერება და ყურადღება.

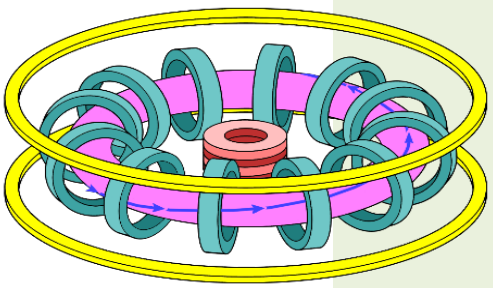
- ***რა არის ელექტრომაგნიტური ველი?***
- ***როგორ არის შესაძლებელი მისი აღმოჩენა?***
- ***ძლიერი ელექტრომაგნიტური ველის რომელი წყაროებია ჩვენ ირგვლივ? როგორ დავიცვათ თავი მათი ზემოქმედებისგან?***
- ***რა იცით ადამიანის ორგანიზმზე ელექტრომაგნიტური ველის დადებითი ზემოქმედების შესახებ?***

- 2004 წლის 1 იანვარს შანხაის (ჩინეთი) საერთაშორისო აეროპორტ პუდუნიდან მეტროს სადგურ ლუნიან-ლუმდე ამოქმედდა პირველი სარკინიგზო ხაზი „მაგნიტურ ბალიშზე“. მატარებელმა სახელწოდებით „შანხაი მაგლევი“ (მაგლევი – მაგნიტური ლევიტაცია) 30 კმ მანძილი 431 $\frac{კმ}{სთ}$ სიჩქარით 7,5 წთ-ში გაიარა, რისთვისაც ჩვეულებრივ მატარებელს 40 წთ სჭირდება.

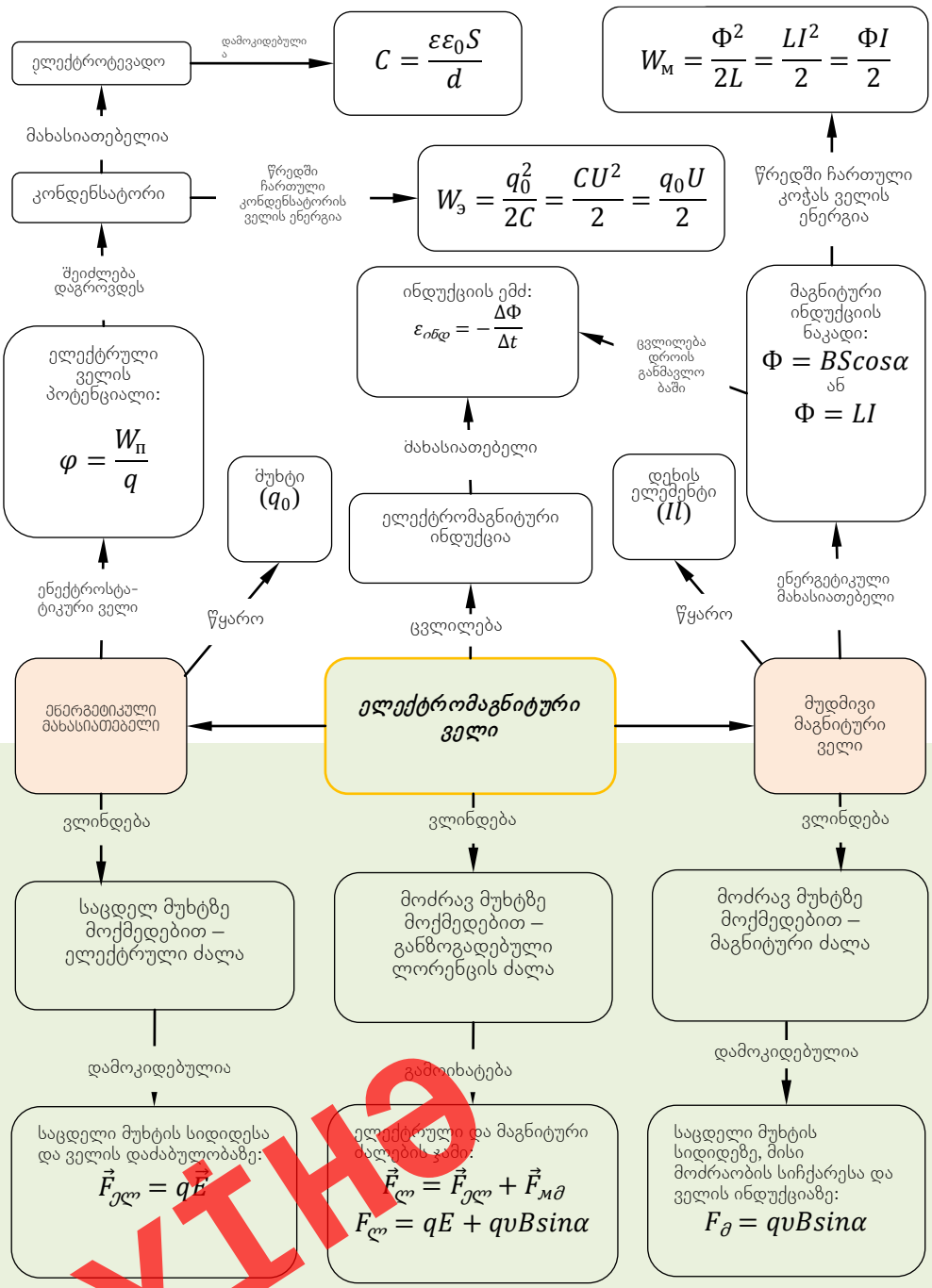
  - ***სისტემა „მაგლევის“ მშენებლობა ძალიან ძვირად ღირებულია (ამ გზის ყოველი კილომეტრის მშენებლობა დაახლოებით 43 მილიონი დოლარი ჯდება). ამას გარდა, სისტემა „მაგლევს“ რთული სტრუქტურა აქვს, რომელიც გამოუსადეგარია ჩვეულებრივი მატარებლებისთვის, თუმცა მისი მუშაობის პრინციპი მარტივ ფიზიკურ მოვლენას ეფუძნება. რომელ მოვლენაზეა აქ ლაპარაკი?***

- მეცნიერები ცდილობენ, დედამიწაზე შექმნან ხელოვნური მზე – შექმნან უჩვეულო „კამერა“, რომელშიც შესაძლებელი იქნება რამდენიმე მილიონი გრადუსი ტემპერატურის მქონე პლაზმის შენარჩუნება. ამ „კამერის“, რომელსაც „ტოკამაკი“ (ტოროიდული კამერა მაგნიტური კოჭებით) ეწოდება, უჩვეულობა იმაში გამოიხატება, რომ მასში მაღალტემპერატურული პლაზმა კამერის კედლებს არ ეხება.

  - ***როგორ მიღწევა ეს?***



LAYİHƏ


ელექტროტევადო
დამოკიდებულია
$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$
$W_м = \frac{\Phi^2}{2L} = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi I}{2}$
მახასიათებელია
კონდენსატორი
წრედში ჩართული კონდენსატორის ველის ენერგია
$W_э = \frac{q_0^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q_0 U}{2}$
წრედში ჩართული კოჭას ველის ენერგია
შეიძლება დაგროვდეს
ინდუქციის ემძ: $\varepsilon_{ინდ} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
ცვლილება დროის განმავლობაში
მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი: $\Phi = BScos\alpha$ ან $\Phi = LI$
ელექტრული ველის პოტენციალი: $\varphi = \frac{W_п}{q}$
ძახასიათებელი
ძუხტი (q_0)
ელექტრომაგნიტური ინდუქცია
დენის ელემენტი (Il)
ენერგეტიკული მახასიათებელი
ენექტროსტა-ტიკური ველი
წყარო
ცვლილება
წყარო
ენერგეტიკული მახასიათებელი
ელექტრომაგნიტური ველი
ვლინდება
ვლინდება
ვლინდება
საცდელ მუხტზე მოქმედებით – ელექტრული ძალა
მოძრავ მუხტზე მოქმედებით – განზოგადებული ლორენცის ძალა
მოძრავ მუხტზე მოქმედებით – მაგნიტური ძალა
დამოკიდებულია
გამოიხატება
დამოკიდებულია
საცდელი მუხტის სიდიდესა და ველის დაძაბულობაზე: $\vec{F}_{ელ} = q\vec{E}$
ელექტრული და მაგნიტური ძალების ჯამი: $\vec{F}_{ლ} = \vec{F}_{ელ} + \vec{F}_{მ∂}$ $F_{ლ} = qE + qvBsin\alpha$
საცდელი მუხტის სიდიდეზე, მისი მოძრაობის სიჩქარესა და ველის ინდუქციაზე: $F_{∂} = qvBsin\alpha$

LAYTHO

1.1. ელექტრული მუხტი. ელექტრომაგნიტური ველი

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 6, 8 და 9

სხეულების ერთმანეთთან ხახუნის დროს მათზე ***ელექტრული მუხტები*** წარმოიქმნება. ამ დროს ამბობენ, რომ სხეული ***დაიმუხტა,*** ანუ სხეულმა შეიძინა ან დაკარგა ***ელექტრული მუხტი.***

- დამუხტულ სხეულებს შორის ელექტრული ურთიერთქმედების ხასიათი დამოკიდებულია მათზე არსებული მუხტების ნიშანზე. სხეულები ან მიიზიდავს, ან განიზიდავს ერთმანეთს:
  – სხეულები, რომლებსაც ერთნაირი ნიშნის მუხტი აქვთ ერთმანეთს განიზიდავენ;
  – სხეულები, რომლებსაც სხვადასხვა ნიშნის მუხტი აქვთ ერთმანეთს იზიდავენ.
- ბუნებაში ორი სახის მუხტი არსებობს: დადებითი ელექტრული მუხტი (+) და უარყოფითი ელექტრული მუხტი (–). ერთნაირი ნიშნის მუხტები ერთმანეთისგან განიზიდება, ხოლო სხვადასხვა ნიშნის მუხტები ერთმანეთთან მიიზიდება. სხეულებს, რომლებსაც ჭარბი ელექტრული მუხტი არ აქვთ, ელექტრულად ნეიტრალური ან დაუმუხტავი სხეულები ეწოდება.
- ელექტრული მუხტი აღინიშნება q ასოთი. SI სისტემაში ელექტრული მუხტის საზომ ერთეულად მიღებულია 1 კულონი, რომელიც ამ ერთეულს ფრანგი მეცნიერის შარლ კულონის პატივსაცემად ეწოდა: $[q] = 1$ კ.
- ელექტრული ველი არის მატერიის სახეობა, რომელიც უძრავი ელექტრული მუხტის ირგვლივ წარმოიქმნება.
- ელექტრული ველის დაძაბულობა ელექტრული ველის ძალური მახასიათებელია. ის ვექტორული სიდიდეა და მიმართულია იმ ძალის მიმართულებით, რომლითაც ეს ველი დადებით მუხტზე მოქმედებს.
- ნივთიერებებს (სხეულებს), რომლებიც მაგნიტურ თვისებებს ხანგრძლივად ინარჩუნებენ, ***მუდმივი მაგნიტები*** ან უბრალოდ ***მაგნიტები*** ეწოდება. ყოველ მაგნიტს ორი პოლუსი აქვს: ჩრდილოეთი (N) და სამხრეთი (S). მაგნიტების ერთსახელიანი პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავს, სხვადასხვასახელიანები – მიიზიდავს.
- მაგნიტური ველი მატერიის სახეობაა, რომელიც მოძრავი მუხტი ირგვლივ წარმოიქმნება.
- მაგნიტური ველის ინდუქცია (ან მაგნიტური ინდუქცია) არის მაგნიტური ველის ძალური მახასიათებელი. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება, ველის მოცემულ წერტილში, ემთხვევა ველის ამ წერტილში შეტანილი მაგნიტური ისრის ჩრდილოეთი პოლუსის მიმართულებას.

სამეცნიერო დაკვირვებების შედეგად აღმოჩნდა, რომ ფრენის დროს ფუტკარი დადებითად იმუხტება, ხოლო ყვავილები ურყოფითადაა დამუხტული. ამიტომ, როდესაც ფუტკარი ყვა-ვილზე ჯდება, ყვავილის მტვერი ფუტკარს „ეწებება“. ყველაზე საინტერესოა, რომ ფუტკრისა და ყვავილის კონტაქტის შემდეგ მცენარის ირგვლივ ელექტრული ველი იცვლება. ეს ცვლილება გარკვეულად მიანიშნებს სხვა ფუტკრებს, რომ „ამ ყვავილზე მტვერი არ არის!“

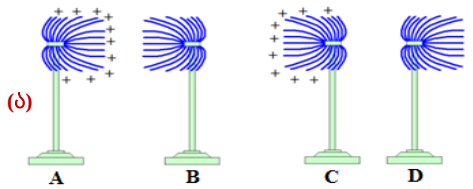
- ***რატომ წამოიქმნება ფრენის დროს ფუტკარზე დადებითი მუხტი?***
- ***რატომ არის ყვავილები უარყოფითად დამუხტული?***
- ***ფუტკრისა და ყვავილის კონ-ტაქტის შემდეგ რატომ იცვლება ყვავილის ირგვლივ ელექტრუ-ლი ველი?***

LAYiH

კვლევითი სამუშაო 1

რის საშუალებით ხდება დაშორებულ დამუხტულ სხეულებს შორის ურთიერთქმედების გადაცემა?

- ***ამოცანა 1:*** ელექტრული „სულთანი“ წარმოადგენს მეტალის დისკოს, რომლის ორივე მხარეზე მიმაგრებულია ქაღალდისვიწრო ზოლები. დისკო დამაგრებულია პლასტმასის სადგამზე. ნახატზე წარმოდგენილია დამუხტული „სულთანის“ ორი წყვილი: A და B და C და D. ცნობილია, რომ „სულთანი“ A და C დამუხტულია დადებითი მუხტით ***(ა).***
- თუ „სულთნებს“ ადგილებს შევუცვლით, რომელი წყვილები მიიზიდავს ერთმანეთს?



სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რომელი ნიშნის მუხტებითაა დამუხტული B და D „სულთნები“?
- ერთმანეთთან მიახლოების დროს რომელი „სულთნები“:
  ა) მიიზიდება;
  ბ) განიზიდება.
  პასუხები დაასაბუთეთ.
- რის საშუალებით ურთიერთქმედებენ ერთმანეთისგან დაშორებული დამუხტულ სხეულები?

ელექტრული მუხტი.

- *ელექტრული მუხტის არსებობა სხეულებს ან ნაწილაკებს ანიჭებს თვისებას, თავის ირგვლივ შექმნან ელექტრომაგნიტური ველი. ელექტრული მუხტის სიდიდე ამ თვისების რაოდენობრივი მახასიათებელია. ელექტრული მუხტის სიდიდე განსაზღვრავს წამოქმნილი ველის სიდიდესაც.*

ურთიერთქმედებას დამუხტულ ნაწილაკებს შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ეწოდება. მაგალითად, როდესაც ამბობენ, რომ პროტონს დადებითი მუხტი აქვს, ხოლო ელექტრონს – უარყოფითი მუხტი, შეგვიძლია დარწმუნებით ვთქვათ, რომ მათ შორის არსებობს ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება. დაუმუხტავ (ელექტრულად ნეიტრალურ) სხეულებს შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება არ არსებობს. ამიტომ ამბობენ, *რომ ელექტრული მუხტის სიდიდე განსაზღვრავს ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ინტენსივობას (სიდიდეს).*

ელექტრულ მუხტს ახასიათებს შემდეგი თვისებები:

1. *ელექტრული მუხტი დისკრეტული სიდიდეა (მას არ შეიძლება ჰქონდეს ნებისმიერი მნიშვნელობა)* – სხეულის ელექტრული მუხტის სიდიდე ყოველთვის ელემენტარული მუხტის სიდიდის ჯერადია:

$$q = \pm Ne.$$

სადაც N მთელი რიცხვია და სხეულის მიერ შეძენილი ან დაკარგული ელექტრონების რაოდენობის ტოლია.

ბუნებაში არსებული ყველაზე მცირე ელექტრული მუხტის აბსოლუტურ მნიშვნელობას ***ელემენტარული მუხტი*** ეწოდება. ელემენტარული მუხტი აღინიშნება e ასოთი და მისი მნიშვნელობა ელექტრონის ან პროტონის მუხტის აბსოლუტური მნიშვნელობის ტოლია:

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{კ}.$$

ელექტრონისა და პროტონის გარდა ბუნებაში კიდევ რამდენიმე სახის დამუხტული ნაწილაკი არსებობს, მაგრამ მხოლოდ ელექტრონსა და პროტონს შეუძლიათ თავისუფალ მდგომარეობაში ხანგრძლივად არსებობა. სხვა დამუხტული ნაწილაკები თავისუფალ მდგომარეობაში მხოლოდ წამის მემილიონედი ნაწილის განმავლობაში არსებობს. ისინი სწრაფად მოძრავი ნაწილაკების შეჯახების შედეგად წარმოიქმნება და უსასრულოდ მცირე დროის შემდეგ სხვა ნაწილაკებად გარდაიქმნება. დისკრე-

LAYHO

ტულობის გამო მუხტი გამტარის ზედაპირზე თანაბრად ნაწილდება. დავუშვათ, მუხტი თანაბრად არის განაწილებული S ფართობის ზედაპირზე.

• სიდიდეს, რომელიც რიცხობრივად ზედაპირის ფართობის ერთეულზე არსებული მუხტის სიდიდის ტოლია, ***ელექტრული მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე*** ეწოდება (σ):

$$\sigma = \frac{q}{S} = \pm\frac{Ne}{S}. \qquad (1)$$

SI სისტემაში მუხტის ზედაპირული სიმკვრივის საზომი ერთეულია კ/მ^2:

$$\sigma = 1\frac{კ}{მ^2}.$$

2. ელექტრული მუხტისთვის სრულდება მუდმივობის კანონი – ჩაკეტილ (იზოლირებულ) სისტემაში შემავალი სხეულების ან ნაწილაკების ელექტრული მუხტების ალგებრული ჯამი უცვლელი სიდიდეა:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \cdots + q_n = const. \qquad (2)$$

3. ელექტრული მუხტი ადიტიური სიდიდეა – სისტემის ელექტრული მუხტი მასში შემავალი სხეულების (ან ნაწილაკების) მუხტების ალგებრული ჯამის ტოლია.

4. ელექტრული მუხტი ინვარიანტული სიდიდეა – სხეულის (ან ნაწილაკის) ელექტრული მუხტის სიდიდე ერთი და იგივეა ათვლის ყველა ინერციულ სისტემაში.

ელექტრომაგნიტური ველი.

ფიზიკის ნაწილს, რომელშიც ელექტრული მუხტების მოძრაობისა და ურთიერთქმედების დროს მიმდინარე ელექტრული და მაგნიტური მოვლენები შეისწავლება, ელექტროდინამიკა ეწოდება.

• *ელექტროდინამიკა ფიზიკის ნაწილია, რომელიც ელექტრულ მუხტებს შორის, ელექტრომაგნიტური ველის საშუალებით, ურთიერთმედების კანონზომიერებებს შეისწავლის.*

• *ელექტრომაგნიტური ველი არის მატერიის სახეობა, რომლის საშუალებითაც ხორციელდება ურთიერთქმედება ელექტრულად დამუხტულ ნაწილაკებს ან სხეულებს შორის.*

ელექტრული და მაგნიტური ველები ელექტრომაგნიტური ველის გამოვლინების განსაკუთრებული ფორმებია. ამიტომ ელექტრომაგნიტური ველი, სივრცის ნებისმიერ წერტილში, ხასიათდება ორი სიდიდით – ელექტრული ველის დაძაბულობით ($\vec{E}$) და მაგნიტური ველის ინდუქციით ($\vec{B}$). ეს სიდიდეები ელექტრომაგნიტური ველის ძალური მახასიათებლებია და განსაზღვრავენ ძალებს, რომლითაც ეს ველები დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებენ. „ველის ძალური მახასიათებლების განსაზღვრა“ გულისხმობს იმ ძალების განსაზღვრას, რომლებიც ველში შეტანილ საცდელ (წერტილოვან დადებით) მუხტზე მოქმედებენ. აღვნიშნავთ, რომ ელექტრომაგნიტური ველის მოქმედება საცდელ მუხტზე განსხვავებული იქნება იმის მიხედვით, უძრავიამუხტი თუ მოძრაობს.

• ძალას, რომლითაც ელექტრომაგნიტური ველი (მოცემულ ათვლის სისტემაში) უძრავ ელექტრულ მუხტზე მოქმედებს, ელექტრული ძალა ეწოდება. ელექტრული ძალა ყოველთვის ველის მოცემულ წერტილში შეტანილი მუხტის სიდიდის პირდაპირპროპორციულია: $F_ე \sim q$.

•. მოცემულ ათვლის სისტემაში მოძრავ ელექტრულ მუხტზე ელექტრომაგნიტური ველი ელექტრული ძალის გარდა მაგნიტური ძალითაც მოქმედებს. მაგნიტური ძალა პროპორციულია მოძრავი მუხტის სიდიდის და მუხტის მოძრაობის სიჩქარის პროექციის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის პერპენდიკულარზე: $F_მ \sim q\upsilon_{\perp}$.

ამიტომ ელექტრულ მუხტზე, რომელიც ელექტრომგნიტურ ველში მოძრაობს, მოქმედებს ორი ძალის ტოლქმედი ძალა, რომელიც ელექტრული და მაგნიტური ძალების ჯამის ტოლია. ამ ძალას ლორენცის განზოგადებული ძალა ეწოდება.

$$\vec{F}_ლ = \vec{F}_ე + \vec{F}_მ, \text{ ანუ } F_ლ = qE + q\upsilon Bsin\alpha$$

LAY-LIB

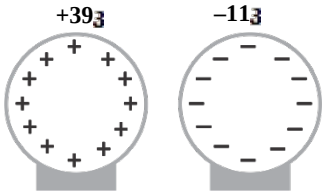
გამოყენება

კვლევითი სამუშაო 2

როგორ არის განაწილებული მუხტები სხეულში?

• ***ამოცანა 2:*** მეტალის ორი ერთნაირი ბურთულა, რომლებიც დამაგრებულია რეზინის სადგამებზე, დამუხტულია შესაბამისად $q_1 = +39q$ და $q_2 = -11q$ მუხტებით ***(ბ).*** როგორი მუხტები დარჩება ბურთულებზე თუ მათ ერთმანეთს შევახებთ და ისევ გავაცალკევებთ?

(ბ)



სამუშაოს შედეგების განხილვა:

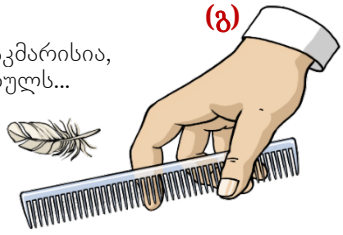
- რა მოხდება დამუხტული ბურთულების ერთმანეთთან შეხების შემდეგ?
- როგორი იქნება თითოეული ბურთულის მუხტი მათი დაშორების შემდეგ?

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ა. დამუხტეთ პლასტმასის სავარცხელი, რისთვისაც საკმარისია, დაივარცხნოთ თმა. შემდეგ სავარცხელი შეახეთ ბუმბულს...

• ***რა მოხდება ამ დროს?***

(გ)



ბ. ფრთხილად დაიქნიეთ სავარცხელი, რომ ბუმბული მოშორდეს და ვიდრე ბუმბული ვარდება, მოათავსეთ სავარცხელი ბუმბულის ქვემოთ, გარკვეულ მანძილზე ისე, რომ ბუმბულმა ჰაერში ერთსა და იმავე სიმაღლეზე ილივლივოს ***(გ)...***

• ***რატომ არ ვარდება ბუმბული იატაკზე? რა აიძულებს მას ჰაერში ლივლივს?***

პასუხები დაასაბუთეთ..

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	როგორ ახსნით გამონათქვამს „ელექტრული მუხტი დისკრეტულია“?			
2	ელექტრული მუხტების რომელი თვისების გამო იმუხტება სხეულები ხახუნის შედეგად?			
3	რის საშუალებით გადაეცემა ურთიერთქმედება ერთმანეთისგან დაშორებულ დამუხტულ სხეულებს შორის?			
4	რომელი ცდის საშუალებით შეგიძლიათ დაამტკიცოთ ორი სახის მუხტის არსებობა?			

• რა შეიტყვეთ? შეადგინეთ ცნებების რუკები: „ელექტრული მუხტი“ და „ელექტრომაგნიტური ველი“.

LAYIHƏ

1.2. ელექტროსტატიკური ველი. ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობა

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 8

- ველს, რომელსაც უძრავი ელექტრული მუხტი ქმნის, ელექტროსტატიკური ველი ეწოდება.
- ელექტრული ველის დაძაბულობა ვექტორული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ველის მოცემულ წერტილში შეტანილ საცდელ დადებით მუხტზე მოქმედი ელექტრული ძალის ამ მუხტის სიდიდესთან შეფარდების ტოლია: $\vec{E} = \frac{\vec{F}_ე}{q}$.

SI სისტემაში ელექტრული ველის დაძაბულობის საზომი ერთეულია:

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} = 1\frac{ნ}{კ} = 1\frac{ვ}{მ}.$$

- ელექტრული ძალა ელექტრული ველის დაძაბულობის და ველში მოთავსებული მუხტის სიდიდის ნამრავლისტოლია: $\vec{F}_ე = q\vec{E}$.
- ***კულონის კანონი:*** ორი უძრავი წერტილოვანი მუხტის ურთიერთქმედების ძალა ამ მუხტების მოდულების ნამრავლის პირდაპირპროპორციულია და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატის:

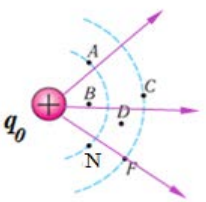
$$F = k\frac{|q_0||q|}{r^2}.$$

გავითვალისწინოთ კულონის კანონი ელექტრული ველის დაძაბულობის ფორმულაში და გავარკვიოთ, რა სიდიდეებზეა დამოკიდებული ელექტრული ველის დაძაბულობა.

- წერტილოვანი q_0 მუხტის მიერ მოცემულ წერტილში შექმნილი ველის დაძაბულობა ამ მუხტის სიდიდის პირდაპირპროპორციულია და უკუპროპორციულია მუხტიდან მოცემულ წერტილამდე მანძილის კვადრატის:

$$E = k\frac{|q_0|}{r^2}.$$

■ ნახატზე მოცემულია უძრავი დადებითი q_0 მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის გრაფიკული გამოსახულება.



•ველის რომელ წერტილში აქვს ველის ძალოვან მახასიათებელს $(\vec{E})$ მაქსიმალური მნიშვნელობა; მინიმალური მნიშვნელობა?

კვლევითი სამუშაო 1

• ამოცანა 1. იმსჯელეთ ქვემოთ მოყვანილი საკითხების შესახებ:

ა. როგორ შეიცვლება ელექტრული ველის დაძაბულობა ამ ველში შეტანილი საცდელი მუხტის სიდიდის ორჯერ გაზრდის შემდეგ?

ბ. როგორ შეიცვლება ელექტრული ველის დაძაბულობა ამ ველის შემქმნელი მუხტის სიდიდის ორჯერ გაზრდის შემდეგ?

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რაზეა დამოკიდებული ელექტრული ველის დაძაბულობა?

ელექტროსტატიკური ველი. ელექტროდინამიკის ერთ-ერთი ამოცანაა მოცემული ელექტრული მუხტის მიერ წარმოქმნილი ელექტროსტატიკური ველის ძალოვანი მახასიათებლის განსაზღვრა. ელექტრომაგნიტური ველის ერთ-ერთი განსაკუთრებული

LAYTHO

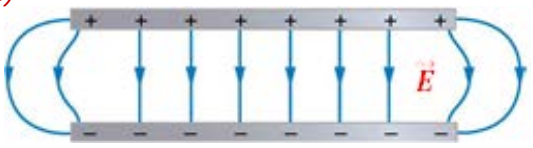
მდგომარეობაა ელექტროსტატიკური ველი, რომელიც უძრავი ელექ-ტრული მუხტის ირგვლივ იქმნება.

• *ელექტრული ველი არის ელექტრომაგნიტური ველი, რომელშიც* $\vec{E} \neq 0, \vec{B} = 0$ *მოცემული ათვლის სისტემის მიმართ. უძრავი ელექტრული მუხტების მიერ შექმნილ ველს ელექტროსტატიკური ველი ეწოდება.* შემდგომში, გამარტივების მიზნით, ელექ-ტრული ველის ხსენებისას ელექტროსტატიკურ ველს ვიგულისხმებთ.
ელექტრული ველი შეიძლება იყოს ერთგვაროვანი ან არაერთგვაროვანი.

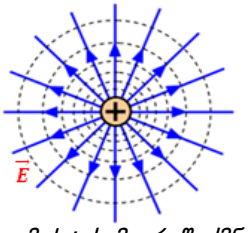
• *ერთგვაროვანი ელექტრული ველი არის ველი, რომლის ყოველ წერტილში ელექ-ტრული ველის დაძაბულობის რიცხვითი მნიშვნელობა და მიმართულება ერთნაირია. სხვა შემთხვევაში ველი არაერთგვაროვანია.*

მაგალითად, ველი ორ პარალელურ ფირფიტას შორის, რომელთაგან ერთი დადე-ბითი მუხტითაა დამუხტული, ხოლო – მეორე იმავე სიდიდის უარყოფითი მუხტით, ერთგვაროვანია *(ა)*, ხოლო წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველი არაერთგვაროვანია *(ბ)*.

(ა)



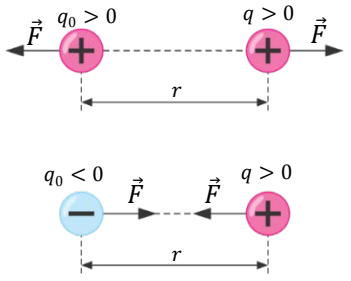
(ბ)



ვაკუუმსა და რაიმე გარემოში წერტილოვანი ელექტრული მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა. ცნობილია, რომ თუ q_0 წერტილოვანი მუხტის მიერ ვაკუუმში შექმნილ ელექტრულ ველში საცდელ მუხტს შევიტანთ, მუხტებს შორის კულონური ურთიერთქმედება აღიძვრება.

• ორ წერტილოვან ელექტრულ მუხტს შორის აღძ-რული ელექტრული ძალები მუხტების მოდულების ნამრავლის პირდაპირპროპორციულია და უკუპრო-პორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატის. ეს ძა-ლები მიმართულია მუხტების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ *(გ)*.

(გ)



$$F_0 = k\frac{|q_0||q|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_0||q|}{r^2}. \qquad (1)$$

სადაც k პროპორციულობის კოეფიციენტია, რომე-ლიც ტოლია:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\cdot 10^9 \frac{\text{ნ}\cdot\text{მ}^2}{\text{კ}^2}.$$

კოეფიციენტი გვიჩვენებს, რომ 1 კ სიდიდის ორი მუხტი, რომელთა შორის მანძილი 1 მ-ია, $9\cdot10^9$ ნ ძალით ურთიერთქმედებს.

ε_0 ელექტრული მუდმივაა: $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8{,}85\cdot 10^{-12}\ \frac{\text{ნ}\text{მ}^2}{\text{კ}^2}$.

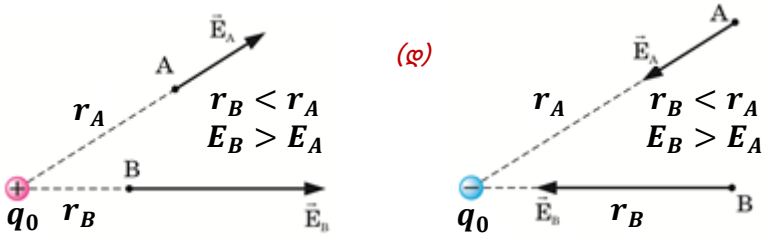
ამგვარად, კულონის კანონის საშუალებით შესაძლებელია განვსაზღვროთ q_0 წერ-ტილოვანი მუხტის მიერ ვაკუუმში შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობის მო-დული q_0 მუხტიდან r მანძილით დაშორებულ წერტილში:

$$E_0 = \frac{F}{|q|} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_0|}{r^2}. \qquad (2)$$

• *წერტილოვანი მუხტის მიერ ვაკუუმში შექმნილი ველის დაძაბულობა ამ ველის რომელიმე წერტილში, პირდაპირპროპორციულია ველის შემქმნელი მუხტის სიდიდის და უკუპროპორციულია მუხტსა და მოცემულ წერტილს შორის მანძილის კვადრატის.*

LAYIHE

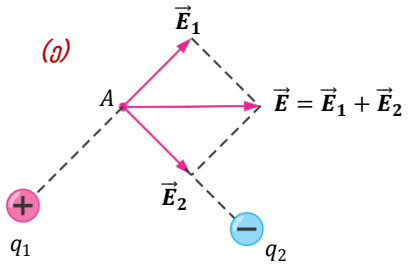
თუ q_0 მუხტი დადებითია, დაძაბულობის ვექტორი ველის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია ამ წერტილიდან ველის შემქმნელი მუხტის საპირისპირო მიმართულებით *(დ)*, ხოლო თუ მუხტი უარყოფითია, დაძაბულობის ვექტორი მიმართულია q_0 მუხტის მხარეს.



ელექტრული ველებისთვის სრულდება ***სუპერპოზიციის პრინციპი.***

- *მოცემულ წერტილში რამდენიმე ელექტრული მუხტის მიერ შექმნილი ველების ზედდების შედეგად მიღებული ველის დაძაბულობა ცალკეული ველების დაძაბულობების ვექტორული ჯამის ტოლია:*

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \cdots + \vec{E}_n.$$



ნახატზე ნაჩვენებია ორი წერტილოვანი მუხტით A წერტილში წარმოქმნილი ჯამური ველის დაძაბულობის ვექტორის განსაზღვრის სქემა *(ე)*.

რაიმე გარემოში (მაგალითად, ერთგვაროვანი დიელექტრიკის შიგნით) მუხტებს შორის ურთიერთქმედების კულონური ძალა ვაკუუმში მათი ურთიერთქმედების ძალაზე ε-ჯერ ნაკლებია:

$$F = \frac{F_0}{\varepsilon} = k\frac{|q_0||q|}{\varepsilon r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\frac{|q_0||q|}{r^2}.$$

აქ ε არის სიდიდე, რომელსაც გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა ეწოდება და რომელიც გვაჩვენებს, რამდენჯერ ნაკლებია ორ მუხტს შორის კულონური ურთიერთქმედების ძალა მოცემულ გარემოში, ვაკუუმში მათი ურთიერთქმედების ძალასთან შედარებით, მათ შორის უცვლელი მანძილის დროს:

$$\varepsilon = \frac{F_0}{F}.$$

ელექტრული ველის დაძაბულობა რაიმე გარემოში ε-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ვაკუუმში:

$$E = \frac{E_0}{\varepsilon} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\frac{|q_0|}{r^2}.$$

ეს ნიშნავს, რომ გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა არის ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გამოხატავს, რამდენჯერ ნაკლებია ელექტრული მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა რაიმე გარემოს მოცემულ წერტილში, ვიდრე იმავე წერტილში ვაკუუმის პირობებში:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}.$$

სხვადასხვა გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა განსხვავებულია. მაგალითად, დისტილირებული წყლის დიელექტრიკული შეღწევადობა ε არის 81, ვაკუუმისთვის – ε =1.

LAYTHO

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2

განსაზღვრეთ ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება

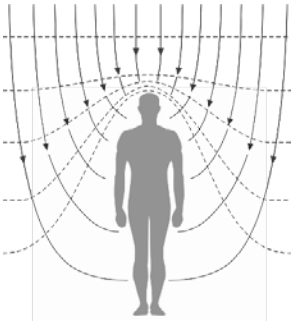
• ***ამოცანა 2.*** განსაზღვრეთ ორი წერტილოვანი მუხტის მიერ N წერტილში შექმნილი ჯამური ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

• რომელი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობაა მეტი N წერტილში? რატომ?

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ყოველდღიურ ცხოვრებაში გვაქვს მაგალითები როდესაც ჩაცმისას ტანსაცმელი, აგრეთვე ჩვენი სხეული სხვადასხვა მიზეზით (ხახუნი, შეხება და სხვა) იმუხტება. ამის გამო ჩვენ ელექტრომაგნიტური ველის წყარო ვხდებით. თავის მხრივ, ეს ორგანიზმში სხვადასხვა დაავადების წარმოქმნის მიზეზი ხდება. ამიტომ საჭიროა, რეგულარულად გავითავისუფლოთ ორგანიზმი დაგროვილი ელექტრული მუხტისგან.



• ***რომელი ხერხით შეგვიძლია ადვილად გავითავისუფლოთ სხეული დაგროვილი ელექტრული მუხტისგან?***

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	შეგვიძლია თუ არა $\vec{E}=\frac{\vec{F}_3}{q}$ ფორმულიდან გამომდინარე ვთქვათ, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობა ელექტრული ძალის პირდაპირპროპორციული და საცდელი მუხტის სიდიდის უკუ-პროპორციულია? რატომ?			
2	როგორ შეიცვლება ორი ელექტრული მუხტის ურთიერთქმედების ძალა თუ მათ, მანძილის შეუცვლელად, ვაკუუმიდან გადავიტანთ გარემო-ში, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა $\varepsilon = 8$?			
3	ვაკუუმში, ელექტრული ველის რომელიღაც წერტილში მოთავსებულ 0,5 მკკ სიდიდის მუხტზე მოქმედებს 0,018 ნ ძალა. განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა ამ წერტილში.			
4	რა მანძილზე ვრცელდება ელექტრული ველის მოქმედება?			

• **რა შეიტყვეთ?** სამუშაო რვეულში ჩაწერეთ შემდეგი ცნებების განმარტებები: „ელექტრული ველი“, „ელექტროსტატიკური ველი“, „კულონური ძალა“, „ვაკუუმში წერტილოვანი მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა“.

LAYOUT

1.3. ერთგვაროვანი ელექტრული ველის მუშაობა. პოტენციალი. ძაბვა

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •
ფიზიკა – 8 და 10

ელექტრული ველის ენერგეტიკულ მახასიათებელს *ელექტრული ძაბვა* ან უბრალოდ *ძაბვა* ეწოდება.

• სკალარულ სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს, რა მუშაობა შეასრულა ელექტრულმა ველმა ერთეულოვანი მუხტის ველის ერთი წერტილიდან ველის მეორე წერტილში გადატანის დროს, ველის ამ წერტილებს შორის ელექტრული ძაბვა ეწოდება:

$$U = \frac{A}{q}.$$

SI სისტემაში ძაბვის საზომი ერთეულია ვოლტი: $[U]=1\frac{ჯ}{კ}=1ვ.$

• *მექანიკური მუშაობა სკალარული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც სხეულზე მოქმედი ძალის მოდულის, სხეულის გადაადგილების მოდულის და ძალის ვექტორსა და გადაადგილების ვექტორს შორის კუთხის კოსინუსის ნამრავლის ტოლია:*

$$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha.$$

დედამიწის გრავიტაციულ ველში სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მუშაობა:

$$A = F_{სიმძ} \cdot h = mgh.$$

• *სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა არ არის დამოკიდებული სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიის ფორმაზე; ის დამოკიდებულია სხეულის მოძრაობის საწყის და საბოლოო წერტილებში სხეულის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობებს შორის დონეთა (სიმაღლეთა) სხვაობაზე.*

$$A = -(mgh_2 - mgh_1).$$

• *ძალებს, რომელთა მუშაობა არ არის დამოკიდებული სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიის ფორმაზე, კონსერვატიული ძალები ეწოდებათ. ე.ი. სიმძიმის ძალა კონსერვატიული ძალაა.*

ამის შემდეგ შეგვიძლია შემოვიტანოთ „პოტენციური ენერგიის“ ცნება სხეულთა სისტემისთვის, რომლებიც გრავიტაციული ძალებით ურთიერთქმედებენ. ბოლო ფორმულაში გამოსახულება mgh დედამიწის და მისი ზედაპირიდან h სიმაღლეზე არსებული სხეულის ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია:

$$E_{პოტ} = mgh.$$

• *სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა სხეულის პოტენციური ენერგიის ცვლილების ტოლია საპირისპირო ნიშნით:*

$$A = -(E_2 - E_1) = -\Delta E_{პოტ}.$$

■ სამეცნიერო კვლევებით გაირკვა, რომ დედამიწის ზედაპირს უარყოფითი ელექტრული მუხტი აქვს, ხოლო მის ატმოსფეროში არსებულ იონოსფეროს შრეს – დადებითი მუხტი. მათ შორის არსებული ატმოსფერო კი იზოლატორის როლს ასრულებს.

• როგორ იმოძრავებდნენ მუხტები გამტარში, მისი საშუალებით დედამიწისა და იონოსფეროს დაკავშირება რომ იყოს შესაძლებელი? რატომ?

LAYİHƏ

კვლევითი სამუშაო 1

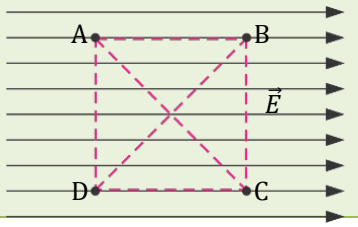
რაზეა დამოკიდებული ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა?

- ***ამოცანა 1:*** ნახატზე მოცემულია ერთგვაროვანი ელექტრული ველი, რომლის დაძაბულობაა 50 ნ/კ. წერტილები A, B, C და D კვადრატის წვეროებია, რომლის გვერდი 10 სმ-ს ტოლია. ველში გადაადგილებენ +10 ნკ სიდიდის წერტილოვან მუხტს. განსაზღვრეთ მუშაობა, რომელსაც შეასრულებს ელექტრული ველი მუხტის წრფივად გადაადგილების დროს:

1) A-დან B წერტილში; 2) B-დან C წერტილში;
3) C-დან D წერტილში;
4) D-დან A წერტილში; 5) C-დან A წერტილში;
6) B-დან D წერტილში;
7) რა მუშაობას შეასრულებს ელექტრული ველი მუხტის გადაადგილების დროს შეკრულ კონტურზე, კვადრატის ყველა გვერდის გასწვრივ?

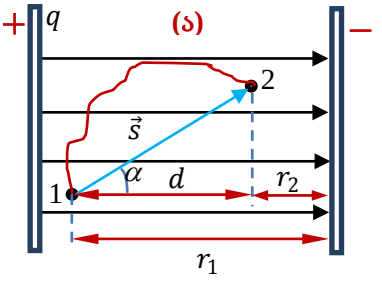
სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- როგორ გამოითვლება მუშაობა, რომელსაც ელექტრული ველი ასრულებს საცდელი მუხტის გადაადგილების დროს ამოცანაში მითითებულ წერტილებს შორის?
- რა შედეგები მიიღეთ ჩატარებული გამოთვლების შემდეგ?



ერთგვაროვანი ელექტრული ველის მუშაობა. მუშაობა, რომელსაც ერთგვაროვანი ელექტრული ველი ასრულებს, როდესაც მასში დადებითი საცდელი მუხტი მუდმივი $\vec{F}_ე = q\vec{E}$ ელექტრული ძალის მოქმედებით s გადაადგილებას ასრულებს, ტოლია *(ა)*:

$$A = F_ე \cdot s \cdot cos\ \alpha$$



სადაც, α კუთხეა ელექტრული ველის ძალწირებსა და მუხტის გადაადგილების ვექტორს შორის.

რადგან გადაადგილების ვექტორის პროექცია ელექტრული ველის ძალწიზე ტოლია $d = s \cdot cos\ \alpha$, ველის მუშაობა იქნება:

$$A = qEd. \qquad (1)$$

- *ერთგვაროვანი ელექტრული ველის მუშაობა, რომელსაც ეს ველი დადებითი საცდელი მუხტის გადაადგილების დროს ასრულებს, მუხტის სიდიდის, ელექ-ტრული ველის დაძაბულობისა და ელექტრული ველის ძალწირზე მუხტის გადაად-გილების პროექციის ნამრავლის ტოლია.*

(1) გამოსახულება შეიძლება შემდეგი სახითაც ჩავწეროთ: $A = qE(r_1 - r_2).$ (2)

r_1 და r_2 მანძილებია უარყოფითად დამუხტული ფირფიტიდან შესაბამისად 1 და 2 წერტილებამდე.

რადგან ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ველში შეტანილი მუხტის სიდიდის პროპორციულია, $\frac{A}{q}$ შეფარდება არ არის დამოკიდებული საცდელი მუხტის სიდიდეზე და მისი მოძრაობის ტრაექტორიაზე. ეს შეფარდება დამოკიდებულია ელექტრული ველის დაძაბულობაზე და ველში მუხტის საწყის და საბოლოო მდებარეობებზე.

რადგან ველში შეტანილი საცდელი მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული ელექტრული ძალის მუშაობა არ არის დამოკიდებული მუხტის მოძრაობის ტრაექტორიის ფორმაზე, ელექტრული ძალა კონსერვატიული ძალაა, ხოლო ელექტრული ველი პოტენციური ველია.

- *სკალარულ ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც ელექტრული ველის ორ წერტილს შორის ელექტრული მუხტის გადადგილების დროს შესრულებული მუშაობის ამ მუხტის*

LAYOUT

სიდიდესთან შეფარდების ტოლია, ველის ამ წერტილებს შორის ***პოტენციალთა სხვაობა*** *ან ამ წერტილებს შორის* ***ძაბვა*** *ეწოდება:*

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}. \qquad (3)$$

$(\varphi_1 - \varphi_2)$ პოტენციალთა სხვაობაა. ინდექსებით 1 და 2 აღნიშნულია ელექტრული ველის წერტილები, რომელთა შორისაც გადაადგილდება მუხტი. SI სისტემაში პოტენციალთა სხვაობის საზომი ერთეულია ვოლტი: $[\varphi_1 - \varphi_2] = 1\frac{ჯ}{კ} = 1ვ.$

ფორმულიდან (3) შეგვიძლია განვსაზღვროთ ველის მიერ შესრულებული მუშაობა მუხტის გადაადგილების დროს ამ ველის ორ წერტილს შორის:

- *ელექტრული ველის მუშაობა მუხტის გადაადგილების დროს ველის ორ წერტილს შორის, მუხტის სიდიდისა და ველის ამ წერტილებს შორის პოტენციალთა სხვაობის (ანუ ძაბვის) ნამრავლის ტოლია:*

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU. \quad (4)$$

თუ (1) და (3) გამოსახულებებს შევადარებთ, მივიღებთ ველის დაძაბულობის და ძაბვის დამაკავშირებელ ფორმულას:

$$U = \frac{A}{q} = \frac{qEd}{q} = Ed \quad \rightarrow \quad E = \frac{U}{d} \text{ ან } E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}. \qquad (5)$$

ელექტრული ველის დაძაბულობა მიმართულია ველის მაღალი პოტენციალის წერტილიდან დაბალი პოტენციალი წერტილისკენ.

ელექტრული ველის პოტენციალი. *ელექტრული ველის ენერგეტიკული დახასიათებისთვის გამოიყენება ფიზიკური სიდიდე, რომელსაც* ***პოტენციალი*** *ეწოდება. ველის რომელიმე წერტილის პოტენციალი არის პოტენციალთა სხვაობა ელექტრული ველის ამ წერტილსა და ველის სხვა წერტილს შორის, რომლის პოტენციალიც ნულის ტოლია. მაგრამ, როგორც წესი, პოტენციალის განსაზღვრა ხდება უსასრულობის მიმართ.*

- *პოტენციალი სკალარული სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად იმ მუშაობის ტოლია, რომელსაც ასრულებს დადებითი q მუხტის ველი ერთეულოვანი დადებითი მუხტის ველის მოცემული წერტილიდან უსასრულობაში გადაადგილებაზე:*

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_\infty = \frac{A_{1\to\infty}}{q}. \qquad (6)$$

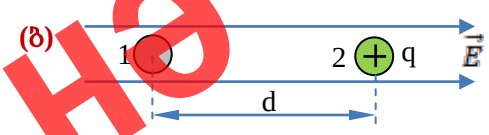
პოტენციალი აღინიშნება φ სიმბოლოთი. SI სისტემაში პოტენციალის საზომი ეთეულია ვოლტი: $[\varphi] = 1\frac{ჯ}{კ} = 1ვ.$

ელექტრულ ველში შეტანილი მუხტის პოტენციური ენერგია. რადგან ელექტრული ველი პოტენციური ველია, სისტემისთვის მუხტი – ელექტრული ველი შეგვიძლია გამოვიყენოთ თეორემა პოტენციური ენერგიის შესახებ.

- *პოტენციურ ველში შესრულებული მუშაობა სისტემის პოტენციური ენერგიის ცვლილების ტოლია საპირისპირო ნიშნით:*

$$A = W_{პოტ1} - W_{პოტ2} = -(W_{პოტ2} - W_{პოტ1}) = -\Delta W_{პოტ}. \qquad (7)$$

აქ $W_{პოტ1}$ და $W_{პოტ2}$ მუხტის პოტენციური ენერგიებია ველის 1 და 2 წერტილებში *(ბ)*.



თუ (4) და (7) გამოსახულებებს შევადარებთ, მივიღებთ:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q\varphi_1 - q\varphi_1,$$
$$W_{პოტ} = q\varphi.$$

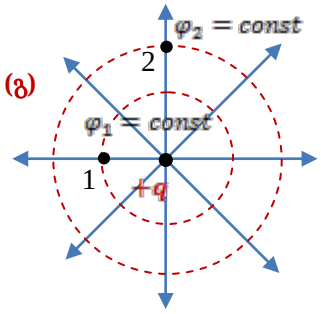
LAYİHƏ

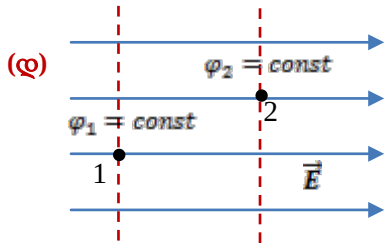
აქედან:

$$\varphi = \frac{W_{პოტ}}{q}. \qquad (8)$$

ე.ი. სიდიდე, რომელიც ველის რომელიმე წერტილში შეტანილი საცდელი მუხტის პოტენციური ენერგიის ამ მუხტის სიდიდესთან შეფარდების ტოლია, ველის ამ წერტილის პოტენციალია.

ეკვიპოტენციური ზედაპირები. ზედაპირს, რომლის ყველა წერტილის პოტენციალი ერთნაირია, ეკვიპოტენციური ზედაპირი ეწოდება. წერტილოვანი მუხტისთვის ეკვიპოტენციური ზედაპირებია კონცენტრული სფეროები, რომელთა ცენტრები მუხტის მდებარეობას ემთხვევა ***(გ)***, ერთგვაროვანი ელექტრული ველისთვის – სიბრტყეები, რომლებიც ველის ძალწირების მართობულია ***(დ)***.



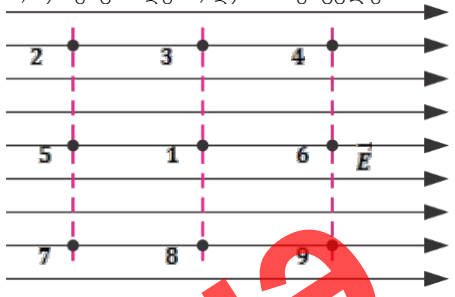


გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2

როგორ შეიცვლება მუხტის პოტენციური ენერგია?

• ***ამოცანა 2.*** ნახატზე მოცემულია ელექტრული ველის გამოსახულება. საწყის მომენტში უარყოფითი საცდელი მუხტი მოთავსებულია წერტილში 1. მისი პოტენციური ენერგია რომელ წერტილში გადატანის შემდეგ:

ა) გაიზრდება; ბ) შემცირდება; დ) არ შეიცვლება?

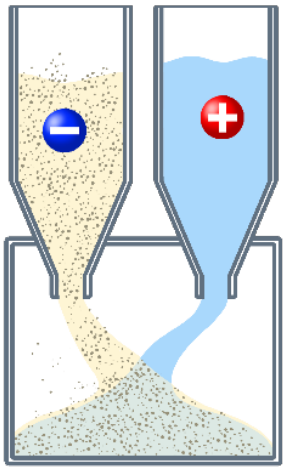


სამუშაოს შედეგების განხილვა:

• როგორ გავარკვიოთ, შეიცვალა თუ არა საცდელი მუხტის პოტენციური ენერგია მისი გადაადგილების დროს ველის ორ წერტილს შორის?

LAYİHƏ

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან



(ე)

პურის საცხობ საწარმოებში სამუშაოს ყველაზე რთულ ეტაპად ითვლება დიდი მასის ფქვილისა და წყლით გაზავებული არაჟნის შერევა და ერთგვაროვანი ცომის მიღება. თანამედროვე საწარმოებში ამ პროცესს ავტომატური მოწყობილობები ასრულებენ, რომელთა მუშაობის პრინციპი ელექტრული ველის თვისებების გამოყენებას ეფუძნება. ნახატზე მოცემულია ერთ-ერთი ასეთი მოწყობილობის გამარტივებული სქემა (ე).

• ***შეგიძლიათ თუ არა, ახსნათ ამ მოწყობილობის მუშაობის პრინციპი?***

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	ორ წერტილს შორის ძაბვა 12 ვოლტია. ეს რას ნიშნავს?			
2	ერთი გამტარის მუხტი მეორე გამტარის მუხტზე ნაკლებია, პოტენციალი კი – მეტი. როგორ იმოძრავებენ მუხტები გამტარებში, თუ მათ ერთმანეთს შევახებთ?			
3	წერტილები A და B ელექტრული ველის ერთ ძალწირზეა განლაგებული. როგორ არის მიმართული ველის დაძაბულობის ვექტორი, თუ ამ წერტილების პოტენციალები $\varphi_A < \varphi_B$.			

• **რა შეიტყვეთ?** სამუშაო რვეულში ჩაწერეთ შემდეგი ცნებების განმარტებები და ფორმულები: „ელექტრული ველი“, „ელექტრული ველის მუშაობა“, „დაძაბულობა“, „პოტენციალი“, „კავშირი დაძაბულობასა და ძაბვას შორის“.

LAYİHƏ

1.4. კონდენსატორი. ელექტრული ტევადობა

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 8

• კონდენსატორი არის მოწყობილობა, რომელიც ელექტრული მუხტის დასაგროვებლად გამოიყენება. მისი სახელწოდება მოდის ლათინური სიტყვიდან **condensare**, რაც „შესქელებას, შედედებას“ ნიშნავს.

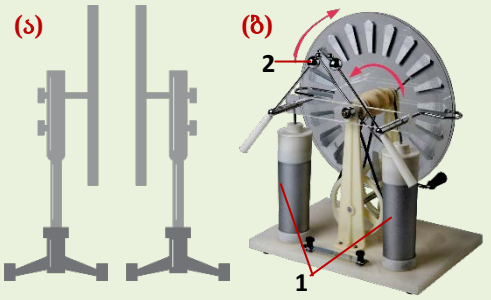
ყველაზე მარტივი კონდენსატორი – ბრტყელი კონდენსატორი – შედგება ახლო ახლო განლაგებული მეტალის ორი ფირფიტისგან, რომელთა შორის დიელექტრიკის (მაგალითად. ჰაერის) თხელი ფენაა ***(ა)***. ელექტრულ სქემებზე კონდენსატორს ⊣⊢ სახით აღნიშნავენ.

• კონდენსატორის ფირფიტებს მუხტავენ ტოლი და საპირისპირო ნიშნის მუხტებით.

• კონდენსატორის შესაძლებლობას დააგროვოს ელექტრული მუხტები გამოხატავს ფიზიკური სიდიდე, რომელსაც *ელექტრული ტევადობა* ეწოდება.

• დიდი რაოდენობით სხვადასხვა ნიშნის ელექტრული მუხტების განცალკევების, დაგროვებისა და გადაცემისთვის გამოიყენება მოწყობილობა, რომელსაც *ელექტროფორული მანქანა* ეწოდება ***(ბ)***.

ელექტროფორული მანქანის დისკოები, დიდი სიჩქარით ბრუნვის დროს, მათ შორის არსებულ ჰაერთან ხახუნის გამო, სხვადასხვა ნიშნის მუხტით იმუხტება. ფირფიტებზე წარმოქმნილი მუხტები მეტალის კონტაქტების გავლით გადადის და გროვდება ორ ლეიდენის ქილაში (1), საიდანაც გადაეცემა სფერული ფორმის მეტალის კონდუქტორებს (2). შედეგად ერთ კონდუქტორზე დადებითი მუხტი გროვდება, ხოლო მეორეზე – უარყოფითი მუხტი.



ცნობილმა სერბმა მეცნიერმა ნიკოლა ტესლამ (1856 – 1943) გამოთქვა იდეა, რომ სისტემა დედამიწა – ატმოსფერო გიგანტური კონდენსატორია, რომელიც შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც იაფი ელექტრული ენერგიის წყაროდ. იდეის თანახმად, თუ დედამიწიდან იონოსფეროს მიმართულებით გაგზავნილი სუსტი ელექტრომაგნიტური ამ გამოსხივების სიხშირე დაემთხვევა იონოსფეროში არსებული დამუხტული ნაწილაკების საკუთარ სიხშირეს, ეს იონოსფეროში რეზონანსს გამოიწვევს. შედეგად დედამიწის ირგვლივ ძლიერი ველი წამოიქმნება. ამის შემდეგ საკმარისი იქნება, დედამიწის ზედაპირის ნებისმიერ წერტილში მეტალის ანძა აღვმართოთ და „ციდან“ უფასო ელექტროენერგიას მივიღებთ. მთავარი პრობლემა იყო რეზონატორის აგება, რომელიც იონოსფეროს აღგზნებას გამოიწვევდა. ამერიკელმა მილიარდერმა მორგანმა ამ კოშკის მშენებლობის დაფინანსება (ლონგ-აილენდზე, აშშ) გადაწყვიტა. მაგრამ სამუშაოების დამთავრებამდე ცოტა ხნით ადრე მან შეაჩერა და უარყო ეს პროექტი, შესაძლო ეკოლოგიური კატასტროფის თავიდან ასაცილებლად.

• ***ეს პროექტი რომ განხორციელებულიყო, რომელი ეკოლოგიური კატასტროფები იყო მოსალოდნელი დედამიწაზე?***

LATHE

კვლევითი სამუშაო 1

რას ამტკიცებს ნათურის ნათება?

სამუშაოსთვის საჭიროა: ბრტყელი კონდენსატორი, ელექტროფორული მანქანა, ელექტრონათურა (ნ 3), ჩამრთველი და შემაერთებელი სადენები.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. შეადგინეთ ელექტრული წრედი – მიმდევრობით შეაერთეთ კონდენსატორი, ნათურა და ჩამრთველი.
2. ჩართეთ ჩამრთველი და ნახეთ, ანათებს თუ არა ნათურა.
3. გამორთეთ ჩამრთველი და კონდენსატორის ერთ-ერთი ფირფიტა ელექტროფორული მანქანის საშუალებით დამუხტეთ *(გ)*. ჩართეთ ჩამრთველი და დაფიქრდით მოვლენის შესახებ, რომელსაც სამუშოს პროცესში დააკვირდით.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რომელ შემთხვევაში ანათებს წრედში ჩართული ნათურა?
- რა დასკვნის გაკეთება შეიძლება ამ სამუშაოს შემდეგ: რას ადასტურებს ნათურის ნათება?

(გ)

უმარტივესი კონდესატორი ბრტყელი კონდენსატორია, რომელიც ორი პარალელური ფირფიტისგან შედგება. კონდენსატორის მახასიათებელია მისი ელექტრული ტევადობა.

- *კონდენსატორის ელექტრული ტევადობა (C) სკალარული ფიზიკური სიდიდეა და განისაზღვრება კონდენსატორზე არსებული მუხტის შეფარდებით პოტენციალთა სხვაობასთან (ძაბვასთან) მის ფირფიტებს შორის:*

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}. \qquad (1)$$

SI სისტემაში ელექტრული ტევადობის საზომი ერთეულია ფარადი (1 ფ):

- *კონდენსატორის ტევადობა 1 ფარადია, თუ მისი ფირფიტების 1 კულონი მუხტით დამუხტვის შემდეგ ფირფიტებს შორის აღიძვრება 1 ვოლტი ძაბვა:*

$$[C] = \frac{[q]}{[U]} = 1\frac{კ}{ვ} = 1ფ.$$

1 ფარადი ძალიან დიდი ტევადობაა, ამიტომ პრაქტიკაში გამოიყენება მისი წილადი ერთეულები (მიკროფარადი, ნანოფარადი, პიკოფარადი და სხვა):

$$1მკფ = 10^{-6}ფ; 1 ნფ = 10^{-9}ფ; \ 1 პფ = 10^{-12}ფ.$$

კონდენსატორის მუხტი ეწოდება მის ერთ-ერთ ფირფიტაზე არსებული მუხტის მოდულს. კონდენსატორის მუხტის სიდიდე მის ფირფიტებთან მიერთებული წყაროს პოლუსებს შორის არსებული ძაბვის პირდაპირპროპორციულია:

$$q = CU. \qquad (2)$$

ე. ი. ელექტროტევადობა (C) კონდენსატორზე არსებულ მუხტსა და ფირფიტებს შორის აღძრულ ძაბვას შორის პროპორციულობის კოეფიციენტია. ამიტომ ტევადობა არც მუხტზეა დამოკიდებული და არც ძაბვაზე. რაზეა დამოკიდებული კონდენსატორის ელექტროტევადობა?

- კონდენსატორის ტევადობა კონდენსატორის მახასიათებელია და დამოკიდებულია მის გეომეტრიულ ზომებზე (ფირფიტების ფართობზე, ფირფიტებს შორის მანძილზე) და მათ შორის არსებული ნივთიერების დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}. \qquad (3)$$

ფორმულაში S კონდენსატორის ფირფიტის ფართობია, d – ფირფიტებს შორის მანძილი, ε – იმ ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევადობა, რომელიც ფირფიტებს

LAYING

შორისაა მოთავსებული. სწორედ დიელექტრიკი აძლევს კონდენსატორს შესაძლებლობას, დააგროვოს და ხანგრძლივად შეინახოს მუხტი. თუ ფირფიტებს შორის დიელექტრიკი მხოლოდ ჰაერია ($\varepsilon = 1$), კონდენსატორს ჰაერის კონდენსატორი ეწოდება და მისი ტევადობა გამოითვლება ფორმულით:

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}. \qquad (4)$$

დამუხტული კონდენსატორის ენერგია. დამუხტული კონდენსატორის ენერგია კონდენსატორის ფირფიტებს შორის არსებული ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ენერგიაა და გამოითვლება ფორმულით:

$$W_ე = \frac{qU}{2}. \qquad (5)$$

შენიშვნა. *კონდენსატორის ფირფიტებს შორის არსებული ელექტრული ველის ენერგია იმ ენერგიის ტოლია, რომელიც კონდენსატორის დამუხტვის დროს დაიხარჯა. დამუხტვის პროცესში ფირფიტებს შორის ძაბვა თანდათან იზრდება 0-დან U-მდე, ასევე იზრდება კონდენსატორის დამუხტვისთვის საჭირო ენერგია. ამიტომ დამუხტვის პროცესში დახარჯული ენერგიის (იგივე კონდენსატორის ენერგიის) გამოთვლის დროს, იმის გათვალისწინებით, რომ ეს ენერგია U ძაბვაზეა დამოკიდებული, უნდა ავიღოთ ძაბვის (0-დან U-მდე) საშუალო მნიშვნელობა, ანუ $(0+U)/2 = U/2$. ამის გამოა, რომ (5) ფორმულაში შედის კოეფიციენტი $\frac{1}{2}$.*

თუ ფორმულაში (5) გავითვალისწინებთ (2)-ს, მივიღებთ გამოსახულებას, რომელიც აკავშირებს კონდენსატორის ენერგიას მის მუხტთან და ტევადობასთან:

$$W_ე = \frac{CU^2}{2} \qquad (6)$$

ან

$$W_ე = \frac{q^2}{2C} \qquad (7)$$

თუ (3) გამოსახულებას (6) და (7) გამოსახულებებში გავითვალისწინებთ, მივიღებთ ბრტყელი კონდენსატორის ენერგიის გამოსათვლელ შემდეგ ფორმულებს:

$$W_ელ = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{2d} = \frac{q^2 d}{2\varepsilon_0 \varepsilon S}. \qquad (8)$$

სივრცეში ელექტრული ველის ენერგიის განაწილება ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც *ელექტრული ველის ენერგიის სიმკვრივე* ეწოდება.

- *ელექტრული ველის ენერგიის სიმკვრივე ფიზიკური სიდიდეა. რომელიც რიცხობრივად მოცულობის ერთეულში არსებული ველის ენერგიის ტოლია:*

$$w_ელ = \frac{W_ელ}{V}. \qquad (9)$$

სადაც $w_ელ$ – ველის ენერგიის სიმკვრივეა. **SI** სისტემაში მისი საზომი ერთეულია: $[w_ელ] = 1\,\frac{ჯ}{მ^3}$.

თუ (9) გამოსახულებაში გავითვალისწინებთ (8)-ს, აგრეთვე $V = Sd$ და $U = Ed$ გამოსახულებებს, ვნახავთ, რომ ელექტრული ველის ენერგიის სიმკვრივე ველის დაძაბულობის კვადრატის პროპორციულია:

$$w_ელ = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}. \qquad (10)$$

შენიშვნა. კონდენსატორი ვერ შეასრულებს აკუმულატორის ფუნქციას, რომელსაც თანდათან გახმარება შეუძლია ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. მცირე წინაღობის წრედში კონდესატორი მომენტალურად განიმუხტება. მისი ეს თვისება ფართოდ გამოიყენება პრაქტიკაში (მაგალითად, ფოტოგადაღების დროს, ხანმოკლე კაშკაშა განათებისთვის და სხვა).

LAYTHO

გამოყენება

კვლევითი სამუშაო 2

როგორ შეიცვლება კონდენსატორის ელექტროტევადობა?

ამოცანა. როგორ შეიცვლება ბრტყელი ჰაერის კონდენსატორის ტევადობა, თუ:

ა) 2-ჯერ გავზრდით მისი ფირფიტების ფართობს?

ბ) 4-ჯერ გავზრდით მანძილს ფირფიტებს შორის?

გ) 3-ჯერ შევამცირებთ ფირფიტების მუხტს?

დ) ფირფიტებს შორის მოვათავსებთ დიელექტრიკს, რომლის $\varepsilon = 27$?

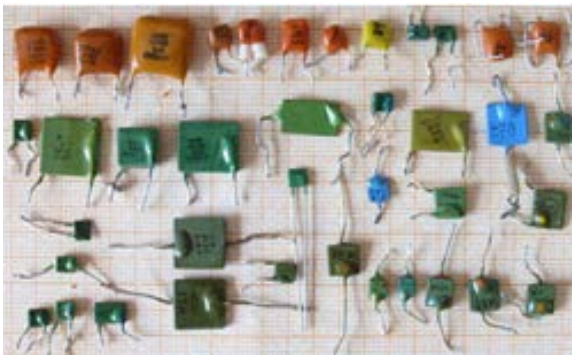
სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რომელ სიდიდეებზეა დამოკიდებულ და რომელზე არა ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობა?

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ელექტროტექნიკაში ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა ტევადობისა და ზომის კონდენსატორები ***(დ)***.

- რა თვისებების გამო იყენებენ კონდენსატორებს საყოფაცხოვრებო ელექტრულ ხელსაწყოებში?



(დ)

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	ბრტყელი კონდენსატორის ფირფიტებს შორის არსებული ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ენერგიის გამოსათვლელ ფორმულაში რას ნიშნავს თანამამრავლი ½?			
2	კონდენსატორის მუხტის შეუცვლელად მისი ელექტროტევადობა 4-ჯერ გაზარდეს. განსაზღვრეთ: ა) კონდენსატორის ენერგიის ცვლილება; ბ) ფირფიტებს შორის არსებული ველის დაძაბულობის ცვლილება.			
3	კონდენსატორის ელექტროტევადობა და მის ფირფიტებს შორის მანძილი 3-ჯერ გაზარდეს, ფირფიტებს შორის ძაბვის შეუცვლელად. განსაზღვრეთ: ა) კონდენსატორის ენერგიის ცვლილება; ბ) კონდენსატორის მუხტის ცვლილება; გ) ელექტრული ველის ენერგიის სიმკვრივის ცვლილება.			

- **რა შეიტყვეთ?** სამუშაო რვეულში ჩაწერეთ შემდეგი ცნებების განმარტებები და ფორმულები: „ელექტრული ტევადობა“, „კონდენსატორი“, „ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა დამოკიდებულია...“, „კონდენსატორის ფირფიტებს შორის არსებული ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ენერგია“, „ენერგიის სიმკვრივე“.

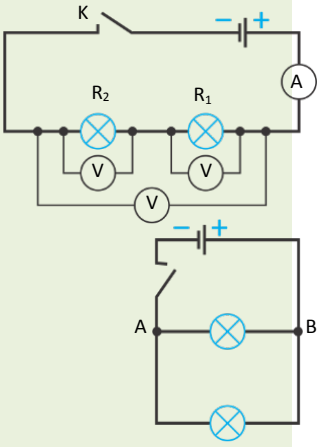
LAYTHE

1.5. კონდენსატორების შეერთება

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 8

ელექტრული წრედი შესაძლოა სხვადასხვა ელემენტებისგან შედგებოდეს: დენის წყაროს, მომხმარებლების (ნათურა, ელექტროზარი, ელექტროგამათბობელი, ტელევიზორი და სხვა), ჩამრთველის, შემაერთებელი სადენების და სხვა. ერთ-ერთი ყველაზე მარტივი წრედია ამ ელემენტების მიმდევრობით შეერთება.



• *მიმდევრობით შეერთების დროს ყოველი გამტარის ბოლო შეერთებულია მომდევნო გამტარის დასაწყისთან.*

• *მიმდევრობით შეერთების დროს წრედის ყველა უბანზე დენის ძალა ერთნაირია:* $I_1 = I_2 = I$.

• *მიმდევრობითი წრედის ბოლოებზე არსებული საერთო ძაბვა ცალკეული უბნების ბოლოებზე არსებული ძაბვების ჯამის ტოლია:*

$$U_1 + U_2 = U.$$

• *მიმდევრობით შეერთებული გამტარების საერთო წინაღობა ცალკეული ელემენტების წინაღობების ჯამის ტოლია:*

$$R_1 + R_2 = R_A.$$

• მიმდევრობით შეერთებული ერთი და იგივე $\boldsymbol{R}$ წინაღობის მქონე $\boldsymbol{n}$ რაოდენობის გამტარისგან შედგენილი წრედის საერთო წინაღობა $\boldsymbol{R}_{\text{მიმდ}}$ *ტოლია:* $R_{\text{მიმდ}} = nR$.

• *პარალელური ეწოდება გამტარების შეერთებას, როდესაც ყველა გამტარის დასაწყისი ერთ (მაგ. A) წერტილშია შეერთებული, ხოლო ბოლოები – მეორე (მაგ. B) წერტილში.*

• *პარალელურად შეერთებული გამტარების ბოლოებზე ძაბვა ერთნაირია:* $U_1 = U_2 = U$.

• *პარალელურად შეერთებული გამტარების წრედის გაუშტოებელ ნაწილში გამავალი დენის ძალა წრედის ცალკეულ განშტოებებში გამავალი დენის ძალების ჯამის ტოლია:* $I_1 + I_2 = I$.

• *პარალელურად შეერთებული გამტარების წრედის საერთო წინაღობის შებრუნებული სიდიდე ცალკეული გამტარების წინაღობების შებრუნებული სიდიდეების ჯამის ტოლია:*

$$\frac{1}{R_{\text{პარ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

ორი პარალელურად შეერთებული გამტარისგან შედგენილი წრედის უბნის საერთო წინაღობა ტოლია:

$$R_{\text{პარ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

შესაბამისად, ერთნაირი R წინაღობის მქონე n რაოდენობის პარალელურად შეერთებული გამტარების წრედის საერთო წინაღობა, n-ჯერ ნაკლებია თითოეული გამტარის წინაღობაზე:

$$R_{\text{პარ}} = \frac{R}{n}.$$

■ ხშირად დაზიანებული საყოფაცხოვრებო ელექტროტექნიკის სწრაფად შესაკეთებლად არ გვაქვს საჭირო ტევადობისა და ძაბვის კონდენსატორი. ასეთ დროს გვიწევს რამდენიმე კონდენსატორისგან საჭირო მახასიათებლების კონდენსატორის მიღება. ამისთვის აუცილებელია კონდენსატორების შეერთების წესების ცოდნა.

- ***რატომ არის აუცილებელი კონდენსატორების შეერთების წესების ცოდნა?***
- ***კონდენსატორების შეერთების რომელი ფორმებია შესაძლებელი? რით განსხვავდება კონდენსატორების შეერთებების მახასიათებლები წინაღობების შეერთებების მახასიათებლებისგან?***

LAYTHO

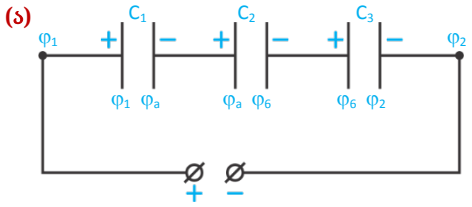
კვლევითი სამუშაო 1

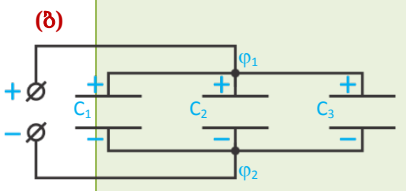
კონდენსატორების შეერთება

ამოცანა: **1.** ნახატზე მოცემულია სამი კონდენსატორის მიმდევრობით და პარალელურად შეერთების სქემები (*ა* და *ბ*). განსაზღვრეთ (კონდენსატორების დამუხტვის შემდეგ):

ა) მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორების ბატარეის მუხტი და ძაბვა;

ბ) პარალელურად შეერთებული კონდენსატორების ბატარეის მუხტი და ძაბვა.



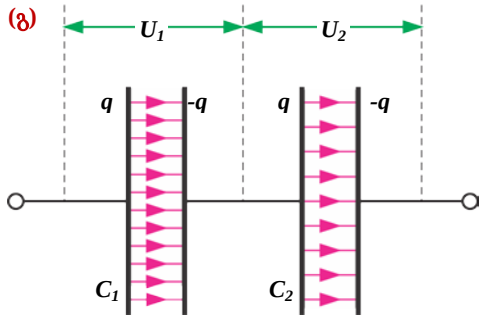


სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რის ტოლია მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორების ბატარეის საერთო ტევადობა? როგორ არის შესაძლებელი მისი გამოთვლა?
- რის ტოლია პარალელურად შეერთებული კონდენსატორების ბატარეის საერთო ტევადობა?

სხვადასხვა ტევადობის მისაღებად მიზნით, კონდენსატორებს ერთმანეთთან პარალელურად ან მიმდევრობით აერთებენ – ამზადებენ კონდენსატორების ბატარეებს.

კონდენსატორების მიმდევრობით შეერთება. კონდენსატორების მიმდევრობით შეერთების დროს ერთი კონდენსატორის უარყოფითად დამუხტული ფირფიტა უერთდება მეორე კონდენსატორის დადებითად დამუხტულ ფირფიტას და ა. შ. *(გ)*.



- *მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორების მუხტები ერთნაირია:*

$$q_1 = q_2 = q.$$

- *მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორების წრედის ბოლოებზე საერთო ძაბვა ცალკეულ კონდენსატორებზე არსებული ძაბვების ჯამის ტოლია:*

$$U_1 + U_2 = U.$$

- *მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორების ბატარეის საერთო ტევადობის შებრუნებული სიდიდე ცალკეული კოდენსატორების ტევადობების შებრუნებული სიდიდეების ჯამის ტოლია:*

$$\frac{1}{C_{\text{მიმდ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_{\text{მიმდ}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}.$$

LAYİHƏ

• *მიმდევრობით შეერთებული* n *რაოდენობის ერთნაირი ტევადობის კონდენსატორისგან შედგენილი წრედის საერთო წინაღობა* n*-ჯერ ნაკლებია ერთი კონდენსატორის ტევადობაზე:*

$$C_{\text{მიმდ}} = \frac{C}{n}.$$

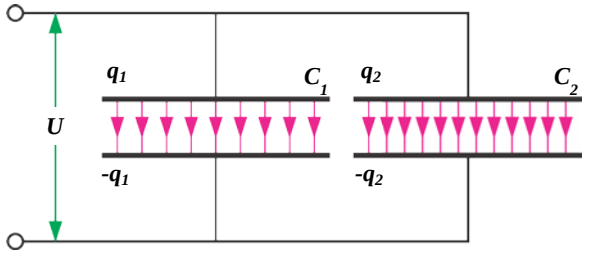
• *მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორებზე ძაბვები მათი ტევადობების უკუპროპორციულია; კონდენსატორების ენერგიებიც მათი ტევადობების უკუპრო-პორციულია:*

$$U = \frac{q}{C} \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1};$$
$$W = \frac{q^2}{2C} \Rightarrow \frac{W_1}{W_2} = \frac{C_2}{C_1}.$$

კონდენსატორების პარალელური შეერთება.

პარალელური შეერთების დროს, ყველა კონდენსატორის დადებითად დამუხტული ფირფიტა ერთ წერტილში ერთდება, ხოლო უარყოფითად დამუხტული ფირფიტები – მეორე წერტილში ***(დ)***.

(დ)



• *პარალელურად შეერთებული კონდენსატორების საერთო მუხტი ცალკეული კონდენსატორების მუხტების ჯამის ტოლია:*

$$q = q_1 + q_2.$$

• *ძაბვა პარალელურად შეერთებული კონდენსატორების ბოლოებზე ერთნაირია;*

$$U_1 = U_2 = U.$$

• *პარალელურად შეერთებული კონდენსატორების ბატარეის საერთო ელექტრო-ტევადობა ცალკეული კონდენსატორების ელექტროტევადობების ჯამის ტოლია:*

$$C_{\text{ჯარ}} = C_1 + C_2.$$

• *პარალელურად შეერთებული* n *რაოდენობის ერთნაირი ტევადობის კონდენსატორის საერთო ტევადობა* n*-ჯერ მეტია ერთი კონდენსატორის ტევადობაზე:*

$$C_{\text{ჯარ}} = nC.$$

• *კონდენსატორების პარალელურად შეერთების დროს ცალკეული კონდენსატორების მუხტები და ენერგიები მათი ტევადობების პირდაპირპროპორციულია:*

$$q = UC \Rightarrow \frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1}{C_2};$$
$$W = \frac{CU^2}{2} \Rightarrow \frac{W_1}{W_2} = \frac{C_1}{C_2}.$$

LAYİHƏ

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2

როგორ იცვლება კონდენსატორის მახასიათებლები მათი შეერთების შემდეგ?

ამოცანა 2. ორი ბრტყელი კონდენსატორი, რომელთა ტევადობებია $C_1 = 3C$ და $C_2 = 4C$, პარალელურადაა შეერთებული. ვიცით, რომ პირველი კონდენსატორის ბოლოებზე ძაბვა 12 ვ-ია, ხოლო მისი ენერგია – 96 მჯ. იპოვეთ:
ა) ძაბვა მეორე კონდენსატორის ბოლოებზე;
ბ) კონდენსატორების ბატარეის საერთო ტევადობა;
გ) მეორე კონდენსატორის ენერგია.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

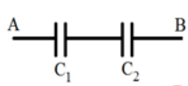
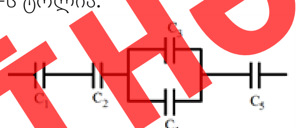
- რომელ შემთხვევაშია კონდენსატორების ბატარეის ენერგია მეტი: კონდენსატორების პარალელურად შეერთების თუ მიმდევრობით შეერთების დროს? რატომ?

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

მე-11 კლასის მოსწავლემ, არიფმა, ბაბუას თხოვნით, დაზიანებული რადიომიმღები სახელოსნოში წაიღო. გაირკვა, რომ რადიომიმღებში დაზიანებულია 12,5 მკფ ტევადობის კონდენსატორი. სახელოსნოში (სერვისცენტრში) ამ ნომინალის კონდენსატორი არ აღმოაჩნდათ. მაგრამ, ოსტატმა ისე შეაერთა $C_1 = 2$ *მკფ* $C_2 = 5$ *მკფ*, $C_3 = 6$ *მკფ* და $C_4 = 6$ *მკფ* ტევადობის ოთხი კონდენსატორი, რომ მიღებული კონდენსატორთა ბატარეის საშუალებით შესაძლებელი გახდა დაზიანებული კონდენსატორის შეცვლა. რადიომიმღები ამუშავდა.

- ***რა სახის შეერთებები გამოიყენა ოსტატმა საჭირო 12,5 მკფ ტევადობის მისღებად? შეგიძლიათ თუ არა ამ შეერთების სქემის დახატვა?***

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რით განსხვავდება კონდენსატორების მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებები წინაღობების (რეზისტორების) ანალოგიური შეერთებებისგან?			
2	A და B წერტილებს შორის ძაბვა 9 ვ-ია. კონდენსატორების ტევადობებია $C_1 = 3$ *მკფ* და $C_2 = 6$ *მკფ*. გამოთვალეთ: ა) კონდენსატორების მუხტები q_1 და q_2; ბ) ძაბვები კონდენსატორების ბოლოებზე U_1 და U_2. 			
3	გამოთვალეთ კონდენსატორების ბატარეის საერთო ტევადობა, თუ თითოეულის ტევადობა $C = 1$ *მკფ*-ს ტოლია. 			

- **რა შეიტყვეთ?** სამუშაო რვეულში ჩაწერეთ შემდეგი სახის შეერთებების ძირითადი მახასიათებლები: „კონდენსატორების მიმდევრობით შეერთება“, „კონდენსატორების პარალელური შეერთება“.

LAYİHƏ

1.6. დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობა მაგნიტურ ველში. ლორენცის ძალა

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9 და 10

• *წრეწირზე თანაბრად მოძრავი მატერიალური წერტილის წირითი სიჩქარე გავლილი მანძილის იმ დროსთან შეფარდების ტოლია, რომელიც ამ მანძილის გავლას დასჭირდა:* $\upsilon = \frac{l}{t} = \frac{2\pi R}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi R}{\upsilon}$.

• *წრეწირზე თანაბრად მოძრაობის დროს მატერიალური წერტილის ცენტრისკენული აჩქარება მისი წირითი სიჩქარის კვადრატის წრეწირის რადიუსთან შეფარდების ტოლია:* $a = \frac{\upsilon^2}{R}$.

• *ძალას, რომლითაც მაგნიტური ველი მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებს, ლორენცის ძალა ეწოდება:* $F_ლ = qB\upsilon \sin \propto$.

თუ დამუხტული ნაწილაკი მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების პერპენდიკულარულად შეიჭრება, მასზე იმოქმედებს მაქსიმალური სიდიდის ლორენცის ძალა:

$$F_{ლmax} = qB\upsilon.$$

ლორენცის ძალა $\vec{B}$ და $\vec{\upsilon}$ ვექტორების პერპენდიკულარულია და მისი მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით.

• ***ლორენცის ძალის მიმართულების განსაზღვრის მარცხენა ხელის წესი:*** მაგნიტურ ველში მარცხენა ხელი ისე უნდა მოვათავსოთ, რომ მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი $\vec{B}$ ხელისგულში შედიოდეს, ხოლო ოთხი გაშლილი თითი დადებითი მუხტის მოძრაობის მიმართულებითიყოს მიმართული (უარყოფითი მუხტის შემთხვევაში – მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით), მაშინ 90^0-ით გაშლილი ცერა თითი მუხტზე მოქმედი ლორენცის ძალის მიმართულებას გვაჩვენებს.

■ დედამიწის ჩრდილოეთი და სამხრეთი პოლუსების ახლოს, ატმოსფეროში, ხვდებით ძალიან ლამაზ ბუნებრივ მოვლენას, რომელსაც „პოლარული ნათება“ ეწოდება. პოლარული ნათების წარმოქმნის მიზეზია დედამიწის მაგნიტური ველის მოქმედება ატმოსფეროში არსებულ დამუხტული ნაწილაკების ნაკადებზე.

• რა კავშირია პოლარულ ნათებასა და დამუხტული ნაწილაკების ნაკადებზე მაგნიტური ველის მოქმედებას შორის? საიდან წარმოიქმნება დამუხტული ნაწილაკების ეს ნაკადები?

• რატომ ხდება ეს მოვლენა, როგორც წესი, დედამიწის პოლუსებთან ახლოს?

კვლევითი სამუშაო 1

რომელი მიმართულებით ბრუნავს ნაწილაკი წრეწირზე?

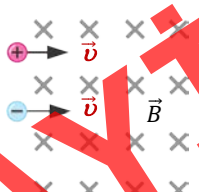
ამოცანა 1. ელექტრონი და პროტონი ერთნაირი სიჩქარით შეიჭრენ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, ველის ინდუქციის ვექტორის პერპენდიკულარულად *(ა)*. ორივე ნაწილაკი იწყებს წრეწირზე მოძრაობას.

ა. რომელი მიმართულებით ბრუნავენ ნაწილაკები წრეწირზე?

ბ. რომელი ნაწილაკი ბრუნავს მეტი რადიუსის წრეწირზე?

გ. რომელი ნაწილაკის ბრუნვის პერიოდია მეტი?

(ა)



სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- შეუძლია თუ არა დამუხტულ ნაწილაკს წრფივად იმოძრაოს ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში? პასუხი დაასაბუთეთ.
- რომელ შემთხვევაში მოძრაობს დამუხტული ნაწილაკი ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში წრეწირზე?
- მაგნიტურ ველში დამუტული ნაწილაკის წრეწირზე მოძრაობის დროს რაზეა დამოკიდებული მოძრაობის ტრაექტორიის რადიუსი და ბრუნვის პერიოდი?

LAYTIP

• *მაგნიტური ველი არის ელექტრომაგნიტური ველი, რომლის მაგნიტური ველის ინდუქცია, ათვლის მოცემულ სისტემაში, ნულის ტოლი არ არის* $(\vec{B} \neq 0)$, *ხოლო ელექტრული ველის დაძაბულობა 0-ის ტოლია* $(\vec{E} = 0)$.

მაგნიტურ ველში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებს ლორენცის ძალა::

$$F_{ლ} = qB\upsilon \sin\alpha. \qquad (1)$$

რადგან ლორენცის ძალის მიმართულება ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარის მიმართულების პერპენდიკულარულია $(\vec{F}_{ლ} \perp \vec{\upsilon})$, ეს ძალა მუშაობას არ ასრულებს: A = 0. ამის გამო ლორენცის ძალას არ შეუძლია ნაწილაკის სიჩქარის, იმპულსის, აგრეთვე კინეტიკური ენერგიის მნიშვნელობების შეცვლა. მას მხოლოდ ნაწილაკის მოძრაობის მიმართულების შეცვლა შეუძლია. ნიუტონის II კანონის თანახმად, დამუხტული ნაწილაკის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოძრაობის განტოლებას ასეთი სახე აქვს:

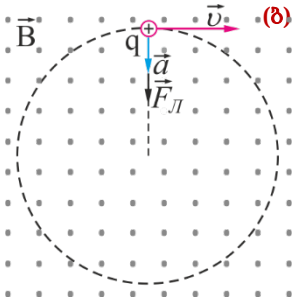
$$ma = |q|B\upsilon \sin\alpha. \qquad (2)$$

თუ ნაწილაკი ველში შეიჭრება ველის ძალწირების პერპენდიკულარულად $(\vec{\upsilon} \perp \vec{B})$, მასზე მაქსიმალური ლორენცის ძალა იმოქმედებს $(\sin 90° = 1)$:

$$F_{max} = |q|B\upsilon.$$

ამ შემთხვევაში ნაწილაკის მოძრაობის განტოლება სახეს მიიღებს:

$$ma = |q|B\upsilon. \qquad (3)$$



რადგან ლორენცის ძალა სიჩქარის პერპენდიკულარულია $(\vec{F}_{ლ} \perp \vec{\upsilon})$, ის ნაწილაკს ცენტრისკენულ აჩქარებას ანიჭებს და აიძულებს, R რადიუსის წრეწირზე იმოძრაოს *(ბ)*:

$$a = \frac{\upsilon^2}{R}.$$

ამის გათვალისწინებით ნაწილაკის მოძრაობის განტოლება მიიღებს სახეს

$$: \frac{m\upsilon^2}{R} = |q|B\upsilon. \qquad (4)$$

(4) გამოსახულებიდან შეგვიძლია დავადგინოთ, რომელ სიდიდეებზეა დამოკიდებული წრეწირის რადიუსი, რომელზეც ნაწილაკი ბრუნავს:

$$R = \frac{m\upsilon}{|q|B} = \frac{p}{|q|B} = \frac{\sqrt{2mE_{კინ}}}{|q|B}. \qquad (5)$$

აქ p და $E_{კინ}$ შესაბამისად ნაწილაკის იმპულსი და კინეტიკური ენერგიაა.

• *წრეწირის რადიუსი, რომელზეც დამუხტული ნაწილაკი მოძრაობს ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარის (იმპულსის) პირდაპირპროპორციული და ველის მაგნიტური ინდუქციის სიდიდის უკუპროპორციულია.*

წრეწირზე ნაწილაკის ბრუნვის პერიოდი დამოკიდებულია ნაწილაკის მასაზე, მისი მუხტისა და ველის მაგნიტური ინდუქციის სიდიდეებზე:

$$T = \frac{2\pi R}{\upsilon} = \frac{2\pi m}{|q|B}. \qquad (6)$$

LAYİHƏ

გამოყენება

კვლევითი სამუშაო 2

განსაზღვრეთ ნაწილაკის მუხტის ნიშანი

ამოცანა 2. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, ინდუქციის წირების პერპენდიკულარულად, გარკვეული სიჩქარით შეიჭრა დამუხტული ნაწილაკი (ველის ინდუქციის ვექტორი მომართულია დამკვირვებლისკენ, ნახატის სიბრტყის პერპენდიკულარულად) *(ბ)*. ველის მაგნიტური ინდუქცია 4 ტლ-ს ტოლია. მაგნიტური ველის მოქმედებით ნაწილაკმა დაიწყო 0,5 მ რადიუსის წრეწირზე ბრუნვა, საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ცნობილია, რომ ერთ სრულ ბრუნს ნაწილაკი 0,01 წმ-ის განმავლობაში ასრულებს. განსაზღვრეთ:

ა) ნაწილაკის მუხტის ნიშანი;

ბ) ნაწილაკის კუთრი მუხტი (ანუ ნაწილაკის მუხტის შეფარდება მის მასასთან).

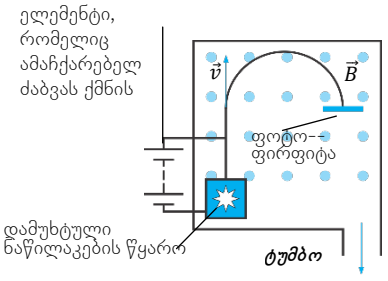
სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- როგორ არის შესაძლებელი ნაწილაკის მუხტის ნიშნის განსაზღვრა, რომელიც მაგნიტურ ველში ლორენცის ძალის მოქმედებით წრეწირზე მოძრაობს?
- რომელი ფორმულით უნდა განვსაზღვროთ ნაწილაკის კუთრი მუხტი?

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ხელსაწყოს, რომელსაც ნაწილაკის მასის განსაზღვრისათვის იყენებენ, „მასსპექტრომეტრი“ ეწოდება. მისი მუშაობის პრინციპი ასეთია: ხელსაწყოს ვაკუუმირებულ კამერას ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ათავსებენ (მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი მომართულია ჩვენკენ, ნახატის სიბრტყის პერპენდიკულარულად). კამერაში მოთავსებული ნაწილაკების წყაროდან გამომავალი დამუხტული ნაწილაკები ჯერ ელექტრული ველის მოქმედებით აჩქარდებიან, შემდეგ მაგნიტურ ველში ხვდებიან და მისი მოქმედებით ნახევარწრეს შემოწერენ. ნაწილაკის მოძრაობის კვალი ფოტოფირფიტაზე რჩება *(გ)*. კვალის სიმრუდის რადიუსის გაზომვის შემდეგ შესაძლებელია ნაწილაკის მასის ზუსტად განსაზღვრა, თუ ცნობილია მისი მუხტის სიდიდე.

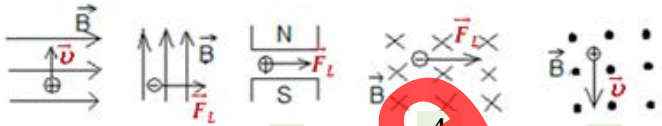
(გ)



- ***როგორ შეიძლება გამოვთვალოთ ნაწილაკის მასა, თუ ვიცით მისი მუხტი და მისი მოძრაობის ტრაექტორიის სიმრუდის რადიუსი?***

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

კითხვები	*ვიცი*		
	ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
წარმოდგენილი ნახატების საფუძველზე შეადგინეთ ამოცანები.			



1 2 3 4 5

• რა შეიტყვეთ? შეადგინეთ ცნებების რუკა თემაზე „ლორენცის ძალა“.

LAYİHƏ

1.7. მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარზე. ამპერის ძალა

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9

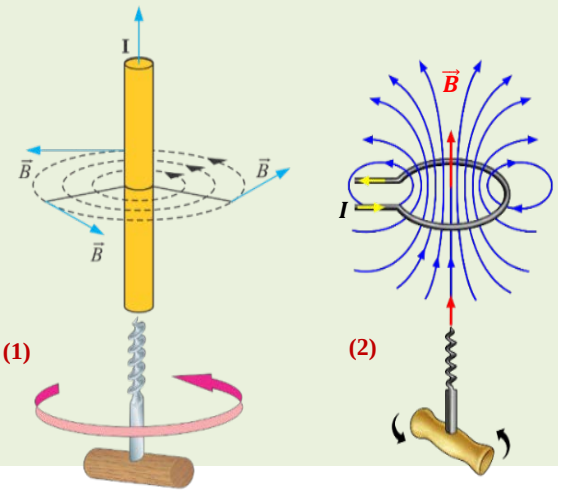
ელექტრული დენის მიერ წარმოქმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულება ადვილად შეგვიძლია განვსაზღვროთ ***მარჯვენა ბურღის წესით:*** თუ ბრუნვის დროს ბურღის წვერის გადაადგილების მიმართულება ემთხვევა გამტარში დენის მიმართულებას, ბურღის სახელურის ბრუნვის მიმართულება გვაჩვენებს ამ დენით წარმოქმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების (ინდუქციის ვექტორის) მიმართულებას *(1)*.

წრიული დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულებაც აგრეთვე მარჯვენა ბურღის წესით განისაზღვრება: თუ ბურღის სახელურს წრიული დენის მიმართულებით ვაბრუნებთ, ბურღის გადაადგილების მიმართულება გვაჩვენებს ამ დენით წარმოქმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულებას *(2)*.

• ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიან გამტარზე მოქმედი ამპერის ძალის სიდიდე ველის მაგნიტური ინდუქციის მოდულის, დენიანი გამტარის სიგრძის, გამტარში გამავალი დენის ძალისა და დენის მიმართულებას და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებას შორის კუთხის სინუსის ნამრავლის ტოლია:

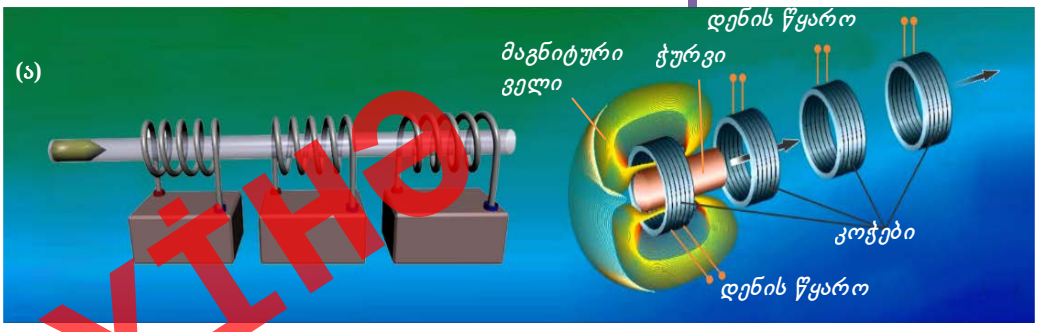
$$F = IBl\sin\alpha.$$

ამპერის ძალის მიმართულება კი განისაზღვრება მარხენა ხელის წესით: თუ მარცხენა ხელს მაგნიტურ ველში ისე მოვათავსებთ, რომ მაგნიტური ინდუქციის წირები ხელის გულისკენ იყოს მიმართული, ხოლო გაშლილი ოთხი თითი – დენის მიმართულებით, 90^0-ით გადახრილი ცერა თითი გვიჩვენებს ამპერის ძალის მიმართულებას.



■ მე-19 საუკუნის დასაწყისში ელექტრომაგნეტიზმის მათემატიკური თეორიის ერთერთმა ფუძემდებელმა კარლ ფრიდრიხ გაუსმა (1777–1855) შეიმუშავა ელექტრომაგნიტური ქვემეხის – „გაუსის ქვემეხის“ – თეორია. მისი მოქმედება ეფუძნება დენიანი კოჭას მაგნიტური ველისა და „ჭურვის“ (რომელიც მუდმივი მაგნიტია) ურთიერთქმედებას. ნახატზე გამოსახულია „გაუსის ქვემეხის“ მოდელი და მისი მოქმედების პრინციპის სქემა *(ა)*.

• რომელ მოვლენაზეა დაფუძნებული „გაუსის ქვემეხის“ მოქმედების პრინციპი?



LAYOUT

ᲙᲕᲚᲔᲕᲘᲗᲘ ᲡᲐᲛᲣᲨᲐᲝ 1

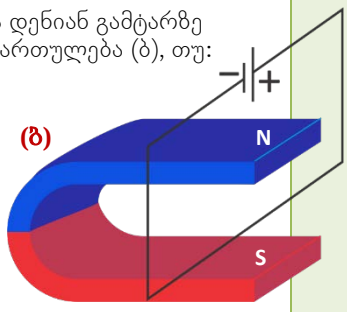
მაგნიტური ველის მოქმედება წრფივ დენიან გამტარზე

ამოცანა 1. როგორ შეიცვლება დენიან გამტარზე მოქმედი ძალის მიმართულება (ბ), თუ:

ა) შევცვლით დენის წყაროსა პოლუსების ადგილებს?

ბ) შევცვლით მუდმივი მაგნიტის პოლუსების ადგილებს?

გ) ერთდროულად შევცვლით დენის წყაროს და მუდმივი მაგნიტის პოლუსების ადგილებს?



სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რაზეა დამოკიდებული ძალის სიდიდე, რომლითაც მაგნიტური ველი წრფივ დენიან გამტარზე მოქმედებს?
- როგორ განისაზღვრება ამ ძალის მიმართულება?

მას შემდეგ, რაც დანიელმა მეცნიერმა ჰ. ერსტედმა ექსპერიმენტულად დაადგინა, რომ დენიანი გამტარი მაგნიტურ ისარზე მოქმედებს, ფრანგმა ფიზიკოსმა ა. ამპერმა აღმოაჩინა, რომ ორ პარალელურ დენიან გამტარს შორის ისეთივე ურთიერთქმედება არსებობს, როგორიც ორ მუდმივ მაგნიტს შორის. აღმოჩნდა, რომ თუ პარალელურ გამტარებში ერთი და იმავე მიმართულების დენი გადის, ისინი მიიზიდება, ხოლო საპირისპირო მიმართულების დენიანი გამტარები ერთმანეთისგან განიზიდება. რადგან ელექტრული დენი არის დამუხტული ნაწილაკების მიმართული (მოწესრიგებული) მოძრაობაა, დენებს შორის მაგნიტური ურთიერთქმედება იმ მაგნიტური ველების ურთიერთქმედებაა, რომლებსაც მოძრავი დამუხტული ნაწილაკები სივრცეში ქმნიან.

მაგნიტური ველი გარკვეული ძალით მოქმედებს ნებისმიერ დენიან გამტარზე, რომელიც ამ ველშია მოთავსებული. *ამ ძალას ამპერის ძალა ეწოდება. ამპერის ძალის სიდიდე გამტარში გამავალი დენის ძალის, მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდულის, გამტარის სიგრძის და დენის მიმართულებას და ველის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორს შორის კუთხის სინუსის ნამრავლის ტოლია:*

$$F_ა = IBlsin\alpha.$$

როგორც ვიცით, ამპერის ძალის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით. თუ დენიანი გამტარი მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის პერპენდიკულარულია *(sin90°=1),* ამპერის ძალას მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს:

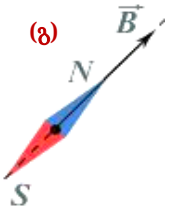
$$F_{max} = IBl.$$

ამ ფორმულის საშუალებით შეგვიძლია გავიგოთ მაგნიტური ველის ძალური მახასიათებლის – ველის მაგნიტური ინდუქციის – ფიზიკური შინაარსი:

- *მაგნიტური ველის ინდუქცია ვექტორული სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად იმ მაქსიმალური ძალის ტოლია, რომლითაც ველი l სიგრძის I დენიან გამტარზე მოქმედებს:*

$$B = \frac{F_{max}}{Il}.$$

- *ველის მოცემულ წერტილში მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებად მიღებულია ველის ამ წერტილში მოთავსებული თავისუფალი მაგნიტური ისრის ჩრდილოეთი პოლუსის მიმართულება (გ). SI სისტემაში მაგნიტური ინდუქციის საზომი ერთეულია ტესლა (ტლ):*



$$[B] = \frac{[F_{max}]}{[I][l]} = 1\frac{ნ}{ა \cdot მ} = 1\ ტლ.$$

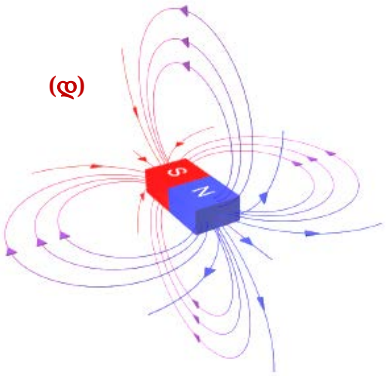
LAYİHƏ

• *მაგნიტური ველის ინდუქცია 1 ტესლაა, თუ ველის ინდუქციის წირების პერპენდიკულარულად მოთავსებულ 1 მ სიგრძის გამტარზე, რომელშიც 1 ა დენი გადის, ეს ველი 1 ნიუტონი ძალით მოქმედებს.*

• მაგნიტურ ველს, რომლის ყოველ წერტილში მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის სიდიდე ($\vec{B}$) და მიმართულება ერთნაირია, ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი ეწოდება.

მაგნიტური ველისთვის სამართლიანია სუპერპოზიციის პრინციპი: რამდენიმე დენიანი გამტარის მიერ შექმნილი ჯამური მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი ცალკეული გამტარების მიერ შექმნილი მაგნიტური ველების ინდუქციის ვექტორების ჯამის ტოლია: $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \cdots + \vec{B}_n$.

თვალსაჩინოდ წარმოსადგენად, მაგნიტურ ველს მაგნიტური ინდუქციის წირების (ველის ძალწირების) საშუალებით გამოხატავენ ***(დ)***:



(დ)

• *მაგნიტური ველის ინდუქციის წირის ყოველ წერტილში გავლებული მხები ამ წერტილში ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულებას ემთხვევა.*

მაგნიტური ველის ინდუქციის წირები ჩაკეტილი წირებია. მათ არც დასაწყისი აქვთ, არც ბოლო.

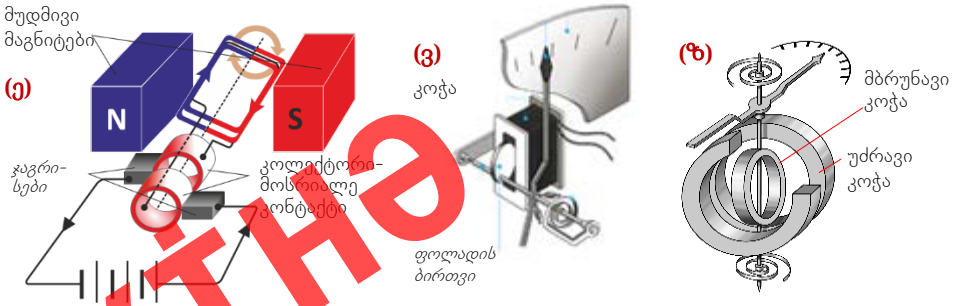
• *ველს, რომლის ძალწირები ჩაკეტილი წირებია, გრიგალური ველი ეწოდება.*

ამპერის ძალის გამოყენება ელექტროგამზომ ხელსაწყოებში. არსებობს მაგნიტოელექტრული, ელექტრომაგნიტური და ელექტროდინამიკური სისტემის ელექტროგამზომი ხელსაწყოები – ამპერმეტრები, ვოლტმეტრები, ვატმეტრები. ყველა ამ სისტემის მუშაობაში გამოყენებულია მაგნიტური ველის მოქმედება დენიან გამტარზე.

• *მაგნიტოელექტრული სისტემის გამზომ ხელსაწყოებში გამოყენებულია მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ველის მოქმედება გამტარ ჩარჩოში გამავალი გასაზომი დენის მიერ წარმოქმნილ მაგნიტურ ველზე **(ე)**.*

• *ელექტრომაგნიტური სისტემის გამზომ ხელსაწყოებში გამოყენებულია უძრავ კოჭაში გამავალი გასაზომი დენის მიერ წარმოქმნილი მაგნიტური ველის მოქმედება ფოლადის გულარაზე, რომელიც ამ ველშია მოთავსებული **(ვ)**.*

*ელექტროდინამიკური სისტემის გამზომ ხელსაწყოებში გამოყენებულია უძრავ და მოძრავ კოჭებში გამავალი დენების მიერ წარმოქმნილი მაგნიტური ველების ურთიერთქმედება **(ზ)**.*



LAYIHƏ

გამოყენება

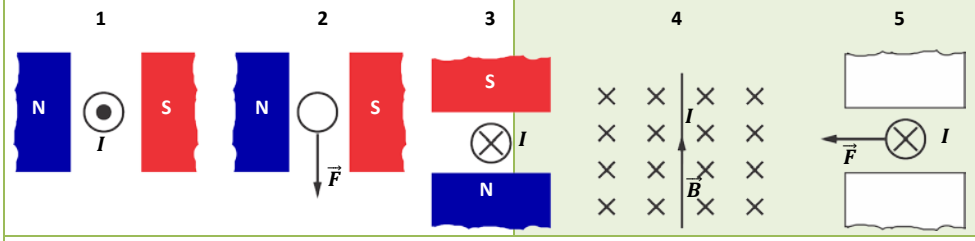
კვლევითი სამუშაო 2

ამოხსენით ამოცანა

ამოცანა 2. წარმოდგენილი ნახატების მიხედვით შეადგინეთ და ამოხსენით ამოცანები.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

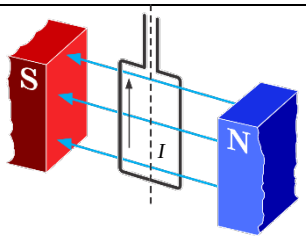
- რის განსაზღვრაა საჭირო თქვენს მიერ შედგენილ ამოცანებში?
- რომელი წესების გამოყენებაა საჭირო ამ ამოცანების ამოსახსნელად?



მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან?

გამოიყენეთ ინტერნეტის რესურსები და მოიყვანეთ ამპერის ძალის გამოყენების მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რომელ შემთხვევაში არ მოქმედებს მაგნიტური ველი დენიან გამტარზე? რატომ?			
2	რაზეა დამოკიდებული მაგნიტური ველისა და დენიანი გამტარის ურთიერთქმედების ხასიათი?			
3	ნახატზე წარმოდგენილია მაგნიტურ ველში მოთავსებული დენიანი ჩარჩო. განსაზღვრეთ ჩარჩოს გვერდებზე მოქმედი ამპერის ძალების მიმართულებები და ბრუნვის ღერძის ირგვლივ ჩარჩოს შემობრუნების მიმართულება. 			

• **რა შეიტყვეთ?** შეადგინეთ ცნებების რუკა თემაზე „ამპერის ძალა“.

LAYİHƏ

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9

მრავალრიცხოვანი ცდის შედეგად 1831 წელს მ. ფარადეიმ დაადგინა, რომ მაგნიტური ველის ცვლილება ველში მოთავსებულ ჩაკეტილ გამტარ კონტურში ელექტრულ დენს აღძრავს.

• *ცვლად მაგნიტურ ველში მოთავსებულ ჩაკეტილ გამტარ კონტურში ელექტრული დენის წარმოქმნის მოვლენას* ***ელექტრომაგნიტური ინდუქცია*** *ეწოდება, ამ დროს წარმოქმნილ დენს კი –* ***ინდუქციური დენი****.*

• *ცვლადი მაგნიტური ველი ირგვლივ სივრცეში ყოველთვის წარმოქმნის გრიგალურ ელექტრულ ველს.*

გრიგალური ელექტრული ველი განსხვავდება ელექტროსტატიკური ველისგან:

ა) ელექტროსტატიკური ველი წარმოიქმნება უძრავი ელექტრული მუხტის ირგვლივ, გრიგალურ ელექტრულ ველს წარმოიქმნის ცვლადი მაგნიტური ველი;

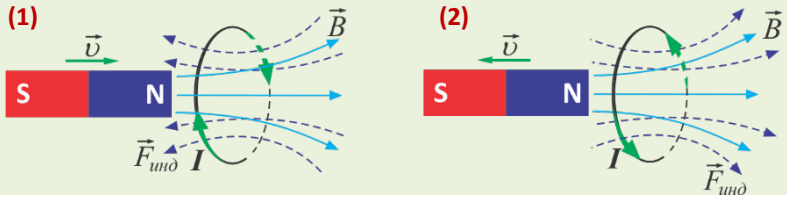
ბ) ელექტროსტატიკური ველის ძალწირები ჩაკეტილი წირები არ არის, ისინი დადებით მუხტებზე იწყება და უარყოფით მუხტებზე მთავრდება. გრიგალური ელექტრული ველის ძალწირები ჩაკეტილი წირებია, მათ არც დასაწყისი აქვთ, არც ბოლო.

1833 წელს რუსმა ფიზიკოსმა ე. ლენცმა დაადგინა ინდუქციური დენის მიმართულების განსაზღვრის ზოგადი წესი, ე.წ. ლენცის წესი:

• *ინდუქციურ დენს ისეთი მიმართულება აქვს, რომ მის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი ეწინააღმდეგება გარე მაგნიტური ველის ცვლილებას, რომელმაც ამ დენის წარმოქმნა გამოიწვია.*

გარე ველის გაძლიერების (ანუ მისი მაგნიტური ნაკადის ზრდის) დროს აღძრული ინდუქციური დენის მაგნიტური ველი ამ ცვლილებას ეწინააღმდეგება – ინდუქციური დენის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი გარე მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის საპირისპიროდაა მიმართული (1).

გარე ველის შესუსტების (ანუ მისი მაგნიტური ნაკადის შემცირების) დროს აღძრული ინდუქციური დენის მაგნიტური ველი ეწინააღმდეგება ამ ცვლილებას. აღძრული ინდუქციური დენის მაგნიტური ველის იდუქციის ვექტორი ისევეა მიმართული როგორც გარე მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი (2).



■ წარმოიდგინეთ, რომ ბუნებაში სეირნობის დროს მეგობართან დარეკვა დაგჭირდათ, მაგრამ ტელეფონი განმუხტული აღმოჩნდა. ახლომახლო დენის წყარო არ არის, ამიტომ ადაპტერის გამოყენება შეუძლებელი გახდა. მაგრამ თქვენ გაქვთ ყველა ტურისტისთვის აუცილებელი ნივთი – დინამომანქანა. საკმარისია ტელეფონის აკუმულატორის მასთან მიერთება, რამდენიმე წუთის განმავლობაში სატელეფონის დატრიალება და აკუმულატორი დამუხტულია.

• ***რომელი მოვლენაა გამოყენებული დინამომანქანის მუშაობის პრინციპში?***

• ***კიდევ სად შეხვედრიხართ ამ მარტივი მოწყობილობის გამოყენებას?***

LATHE

ᲙᲕᲚᲔᲕᲘᲗᲘ ᲡᲐᲛᲣᲨᲐᲝ 1

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენის შესწავლა.

სამუშაოსთვის საჭიროა: გალვანომეტრი, კოჭა, რომელზეც ბევრი ხვიას, მცირე ზომის კოჭა, რომელზეც მცირე რაოდენობის ხვიებია, რკინის გულარი, მუდმივი ზოლისებრი მაგნიტი, მუდმივი დენის წყარო (ან გამმართველი), შემაერთებელი სადენები.

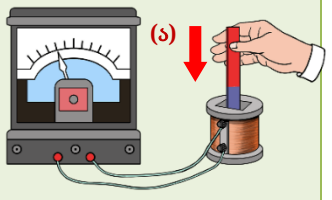
სამუშაოს მსვლელობა.

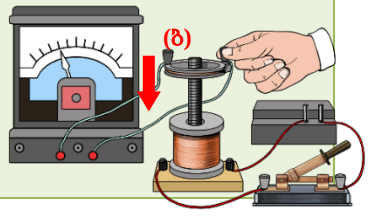
ცდა 1. მიუერთეთ კოჭა გალვანომეტრს და დააკვირდით სამ შემთხვევას: ა) მუდმივი მაგნიტი შეიტანეთ კოჭაში; ბ) მიგნიტი კოჭას შიგნით აბრუნეთ; გ) მაგნიტი კოჭადან გამოიტანეთ *(ა)*.

ცდა 2. ააწყვეთ ნახატზე მოცემული წრედი: პატარა კოჭა გალვანომეტრს მიუერთეთ, ხოლო გულარიანი დიდი კოჭა – გამმართველს (დენის წყაროს). შეკარით წრედი – ჩართეთ ჩამრთველი *(ბ)*. დააკვირდით მოვლენებს, რომლებიც რკინის გულარის გასწვრივ პატარა კოჭას ზევით-ქვევით ვერიკალური მოძრაობის დროს მოხდება და მაშინ, როცა პატარა კოჭა უძრავ მდგომარეობაშია.

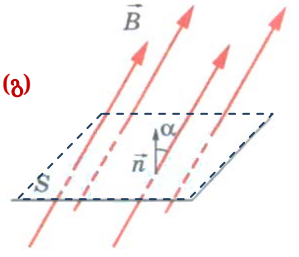
სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რა საერთო მოვლენებს დააკვირდით ორივე ცდის დროს?
- რა დასკვნა გააკეთეთ მაგნიტური და ელექტრული ველების ურთიერთქმედების შესახებ??





მაგნიტური ნაკადი. თუ ჩაკეტილ კონტურს (ჩარჩოს) ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოვათავსებთ, ამ კონტურით შემოსაზღვრულ **S** ფართობში გარკვეული რაოდენობის მაგნიტური ინდუქციის წირები გაივლის (გ). სიდიდეს, რომელიც ჩარჩოში გამავალი მაგნიტური ინდუქციის წირების რაოდენობის პროპორციულია, ***მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი*** ან უბრალოდ ***მაგნიტური ნაკადი*** ჰქვია.



• მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი *(Φ)* სკალარული ფიზიკური სიდიდეა და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულის, კონტურით შემოსაზღვრული ფართობის და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორსა და კონტურის სიბრტყის მართობს შორის კუთხის კოსინუსის ნამრავლის ტოლია:

$$\Phi = BScos\alpha.$$

მაგნიტური ნაკადი სკალარული სიდიდეა, რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს დადებითი და უარყოფი მნიშვნელობები, ასევე იყოს ნულის ტოლი:

– თუ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორსა და კონტურის სიბრტყის მართობს შორის კუთხე მახვილია, მაგნიტური ინდუქციის ნაკადს დადებითი მნიშვნელობა ექნება; თუ ეს კუთხე ბლაგვია – უარყოფითი;

– თუ ინდუქციის ვექტორი კონტურის სიბრტყის პერპენდიკულარულია, ანუ სიბრტყის მართობის პარალელურია, მაშინ $\alpha = 0° \rightarrow cos\ 0° = 1$ და მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც კონტურში გადის, მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს:

$$\Phi = BS;$$

LAYIHA

– თუ ინდუქციის ვექტორი კონტურის სიბრტყის პარალელურია, ანუ სიბრტყის მართობის პერპენდიკულარულია, მაშინ $\alpha = 90° \rightarrow cos\ 90° = 0$. ამ დროს მაგნიტური ნაკადი კონტურის სიბრტყეში არ გაივლის, ანუ ნაკადი ნოლის ტოლია: $\Phi=0$.

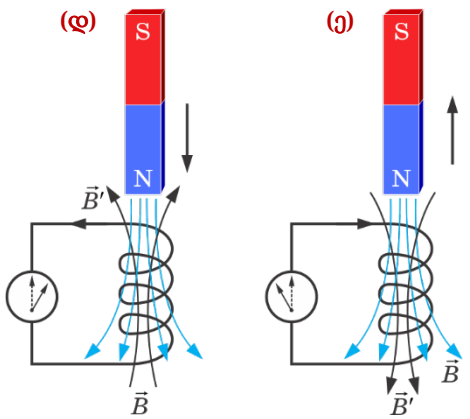
SI სისტემაში მაგნიტური ნაკადის საზომი ერთეულია ვებერი (1 ვბ):

$$[\Phi] = [B][S] = 1\ \text{ტლ}\cdot \text{მ}^2 = 1\frac{\text{ნ}}{\text{ა}\cdot \text{მ}}\cdot \text{მ}^2 = 1\frac{\text{ნ}\cdot \text{მ}}{\text{ა}} = 1\frac{\text{ჯ}}{\text{ა}} = 1\ \text{ვბ}.$$

• *1 ვებერი არის მაგნიტური ნაკადი, რომელიც კონტურით შემოსაზღვრულ 1 მ² ფართობში გადის, როდესაც კონტური 1 ტესლა ინდუქციის მაგნიტურ ველშია მოთავსებული, ველის ინდუქციის წირების პერპენდიკულარულად.*

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა. 1831 წელს ინგლისელმა მეცნიერმა მაიკლ ფარადეიმ (1791–1867) აღმოაჩინა ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა და აჩვენა, რომ ელექტრულ და მაგნიტურ ველებს შორის ურთიერთკავშირი არსებობს.

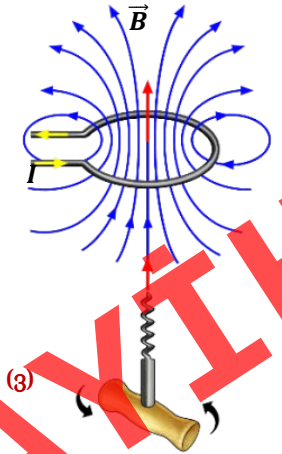
თქვენ იცით, რომ კოჭაში მუდმივი მაგნიტის შეტანისა და გამოტანის დროს, თუ კოჭა გალვანომეტრთანაა მიერთებული, კოჭას ხვიებში ინდუქციური დენი აღიძვრება. თუ მაგნიტი კოჭაში უძრავია ან კოჭას შიგნით ბრუნავს, კოჭაში დენი არ აღიძვრება. ე.ი. ინდუქციური დენის წარმოქმნის მიზეზია კოჭას გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილება (*დ* და *ე*).



•გამტარ კონტურში ელექტრული დენის წარმოქმნას ამ კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების დროს ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა ეწოდება.

ინდუქციური დენის მიმართულება იმაზეა დამოკიდებული, იზრდება თუ მცირდება კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი.

1. მაგნიტური ნაკადი იზრდება ($\Delta\Phi > 0$). ეს ის შემთხვევაა, როდესაც მაგნიტი კონტურს უახლოვდება. ამის შედეგად კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იზრდება. კონტურში აღძრული ინდუქციური დენი საკუთარ მაგნიტურ ველს წარმოქმნის. ეს მაგნიტური ველი განიზიდავს კოჭასთან მოახლოებულ მაგნიტს. ე.ი. გარე ველის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი $\vec{B}$, რომელმაც კონტურში დენი წარმოქმნა, კონტურის საკუთარი ველის მაგნიტური ინდუქციის $\vec{B}$ ვექტორის საწინააღდეგოდაა მიმართული (იხ. *დ*). ამ დროს მაგნიტისა და კონტურის ერთსახელიანი მაგნიტური პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავს.



• მარჯვენა ბურღის წესის გამოყენებით ადვილად შეგვიძლია განვსაზღვროთ ინდუქციური დენის მიმართულება – ინდუქციური დენის მიმართულება საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებას ემთხვევა.

მარჯვენა ბურღის წესი წრიული დენიანი გამტარისთვის: თუ მარჯვენა ბურღის სახელურს წრიული დენის მიმართულებით ვაბრუნებთ, ბურღის წვერი წრიული დენის კონტურის შიგნით მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებითაა დაადგილდება *(ვ)*.

2. მაგნიტური ნაკადი მცირდება ($\Delta\Phi < 0$). ამ შემთხვევაში მაგნიტი კონტურს შორდება და კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი მცირდება. კონტურში აღიძრულ ინდუქციურ დენს ისეთი მიმართულება აქვს, რომ მისი მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი $\vec{B}'$ იმავე მიმართულებისაა, როგორისაც გარე მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი $\vec{B}$. ამ შემთხვევაში მაგნიტი და

LAYIHO

კონტური მიიზიდება, როგორც მაგნიტების საპირისპირო პოლუსები (იხ. *ე*). მარჯვენა ბურღის წესის გამოყენებით შეგვიძლია დავადგინოთ, რომ კონტურში აღძრული ინდუქციური დენი მიმართულია საათის ისრის მოძრაობის საპირისპიროდ.
ამგვარად, ჩაკეტილ გამტარ კონტურში აღძრული ინდუქციური დენი ყოველთვის ისეა მიმართული, რომ დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი ეწინააღმდეგება გარე მაგნიტური ველის იმ ცვლილებას, რომელმაც ამ დენის გაჩენა გამოიწვია.
ეს არის ლენცის წესი, რომლის საშუალებითაც შეგვიძლია ინდუქციური დენის მიმართულების განსაზღვრა.

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2

მაგნიტური ველის ინდუქციის განსაზღვრა.

ამოცანა. მაგნიტური ნაკადი, რომელიც 60 სმ^2 ფართობის კონტურში ზედაპირის ნორმალის მიმართ 60^0-იანი კუთხით გადის, 1,2 ვბ-ს ტოლია. გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რომელი ფორმულა გამოიყენეთ მაგნიტური ველის ინდუქციის გამოსათვლელად?

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

გამოიყენეთ ინტერნეტის რესურსები და მოიყვანეთ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენის გამოყენების მაგალითები ცხოვრებასა და ტექნიკაში.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რატომ უწოდებენ ელექტრულ დენს, რომელიც გარე მაგნიტური ველის ცვლილების დროს აღიძრება გამტარ კონტურში, ინდუქციურ დენს?			
2	სწორია თუ არა, ენერგიის მუდმივობის კანონის პოზიციიდან, კონტურის მაგნიტისგან განზიდვა (მიზიდვა) გარე მაგნიტური ველის ნაკადის ზრდის (შემცირების) დროს? პასუხი დაასაბუთეთ.			
3	ლენცის წესის გამოყენებით გაარკვიეთ, როგორი იქნება ურთიერთქმედება მაგნიტსა და დენიან კონტურს შორის, თუ: ა) კონტურს უახლოვდება მაგნიტის სამხრეთი პოლუსი; ბ) კონტურს შორდება მაგნიტის სამხრეთი პოლუსი.			

• რა შეიტყვეთ? დაწერეთ ესე თემაზე „ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა“.

LAYİHƏ

1.9. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი. მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარებში აღძრული ინდუქციის ემძ

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 8 და 9

• *დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებულ მოძრაობას* ***ელექტრული დენი*** *ეწოდება.*

გამტარში უწყვეტი ელექტრული დენის არსებობისთვის აუცილებელია შემდეგი პირობების შესრულება:

გამტარში უნდა არსებობდეს დამუხტული ნაწილაკები (მუხტის გადამტანები), რომლებსაც გამტარის გასწვრივ თავისუფლად გადაადგილება შეუძლიათ; უნდა არსებობდეს ელექტრული ძალა, რომელიც ამ ნაწილაკებს გარკვეული მიმართულებით გადააადგილებს; გამტარი (ან გამტარებისგან შედგენილი წრედი), რომელშიც დენი გაივლის, ჩაკეტილი უნდა იყოს. ელექტრული დენის მიმართულებად, პირობითად, მიღებულია გამტარის შიგნით ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება. ეს ნიშნავს, რომ:

• *გამტარში ელექტრული დენის მიმართულებად მიღებულია დადებითი მუხტების მოძრაობის მიმართულება (თავისუფალი ელექტრონები საპირისპირო მიმართულებით მოძრაობენ).*

გამტარში გამავალი დენის ძალის დამოკიდებულება გამტარის ბოლოებზე არსებულ ძაბვასა და გამტარის წინაღობაზე მოცემულია ომის კანონით წრედის უბნისთვის:

• *წრედის უბანში გამავალი დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია წრედის უბნის ბოლოებზე არსებული ძაბვისა და უკუპროპორციულია წრედის უბნის წინაღობის:*

$$I = \frac{U}{R}.$$

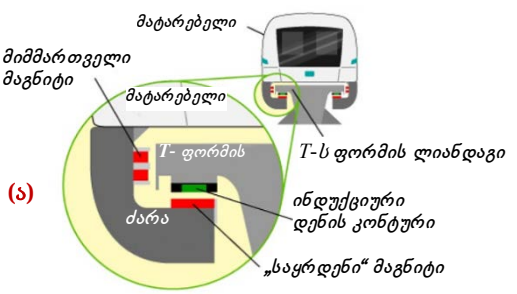
ინდუქციურ დენს, ისევე როგორც ყველა სხვა დენს, ელექტრული ველი აღძრავს.

• *მაგნიტური ველის ცვლილებას ყოველთვის თან ახლავს გრიგალური ელექტრული ველის წარმოქმნა. სწორედ გრიგალური ელექტრული ველი (და არა ცვალებადი მაგნიტური ველი) მოქმედებს თავისუფალ ელექტრონებზე ჩაკეტილ კონტურში და მასში ინდუქციურ დენს აღძრავს. გრიგალური ელექტრული ველი მნიშვნელოვნად განსხვავდება ელექტროსტატიკური ველისგან:*

ა) ელექტროსტატიკურ ველს წაროქმნის უძრავი მუხტები, გრიგალურ ელექტრულ ველს – ცვლადი მაგნიტური ველი; ბ) ელექტროსტატიკური ველის ძალწირები ჩაკეტილი წირები არ არის: ისინი დადებით მუხტებზე იწყება და უარყოფითზე მთავრდება. გრიგალური ელექტრული ველის ძალწირებს არ აქვთ დასაწყისი და ბოლო, ისინი ჩაკეტილი წირებია, როგორც მაგნიტური ველის ინდუქციის წირები.

■ ტრანსპორტის ერთ-ერთი თანამედროვე სახეობაა მატარებელი „მაგნიტურ ბალიშზე“, რომელიც შეწონილ (ლევიტაციის) მდგომარეობაში მოძრაობს და გზასთან უშუალო კონტაქტი არ აქვს. ამ მატარებლის – „მაგლევის“ (მაგნიტური ლევიტაცია) – ძარას ბორბლების ნაცვლად ელექტრომაგნიტური „საყრდენი“ და მიმმართველი მაგნიტები აქვს. ჩინიგზა წარმოადგენს T-ს ფორმის გამტარ ლიანდაგს, რომელიც ელექტრომაგნიტთაა აღჭურვილი და რომელიც მასში მძლავრ ინდუქციურ დენს აღძრავს. მატარებელმა, რომელიც იაპონიაში, ქალაქ ფუძიამას მახლობლად გამოსცადეს, განავითარა რეკორდული სიჩქარე – $603 \frac{კმ}{სთ}$. ნახატზე მოცემულია „მაგლევის“ გამარტივებული სქემა (ა).

• *რომელ ფიზიკურ მოვლენაზე დაფუძნებული ეს ტექნოლოგია?*



LAYTIP

კვლევითი სამუშაო 1	
რა სიჩქარით იცვლებოდა მაგნიტური ნაკადი? ***ამოცანა 1.*** კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი 0,02 წმ-ის განმავლობაში თანაბრად შემცირდა 54 მვბ-დან 12 მვბ-მდე. გამოთვალეთ მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარე.	***სამუშაოს შედეგების განხილვა:*** • რას ნიშნავს ფიზიკური სიდიდის ცვლილების სიჩქარე? • რომელ ფიზიკურ სიდიდეს განსაზღვრავს მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარე? გამოთქვით თქვენი მოსაზრებები.

გრიგალური ელექტრული ველი. ინდუქციის ემძ. ჩაკეტილ გამტარ კონტურში ინდუქციური დენის გაჩენის მიზეზი გრიგალური ელექტრული ველია, რომელიც ცვლადი მაგნიტური ველის ირგვლივ წარმოიქმნება. გრიგალური ელექტრული ველი მოქმედებს გამტარ კონტურში არსებულ თავისუფალ ელექტრონებზე, იწვევს მათ მოწესრიგებულ მოძრაობას, ე.ი. აღძრავს ინდუქციურ ელექტრულ დენს. გრიგალური ელექტრული ველის მუშაობა ჩაკეტილ გამტარ კონტურში დადებითი მუხტის გადაადგილებაზე ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა ეწოდება (ინდუქციის ემძ).

• *ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა სკალარული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ჩაკეტილი კონტურში დადებითი მუხტის გადაადგილებაზე გრიგალური ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობის ამ მუხტის სიდიდესთან შეფარდების ტოლია:*

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q}. \qquad (1)$$

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის თემაზე ჩატარებული კვლევითი საუშაოს დროს თქვენ გაარკვიეთ, რომ ჩაკეტილ კონტურში აღძრული ინდუქციური დენის სიდიდე ამ კონტურით შემოსაზღვრულ ფართობში გამავალი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარის პროპორციულია. ეს ნიშნავს, რომ ინდუქციის ემძ-ც, რომელიც ინდუქციურ დენს აღძრავს ჩაკეტილ კონტურში – გარე მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარეზეა დამოკიდებული.

• *თუ დროის ძალიან მცირე Δt შუალედში მაგნიტური ნაკადი $\Delta\Phi$ სიდიდით შეიცვალა, მაშინ $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ შეფარდება არის მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარე.*

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი. ზემოთქმულიდან გამომდინარე შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი:

• *ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ინდუქციის ემძ), რომელიც ჩაკეტილ გამტარ კონტურში აღიძრება, ამ კონტურით შემოსაზღვრულ ზედაპირში გამავალი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარის პირდაპირპროპორციულია:*

$$\mathcal{E}_{ინდ} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \qquad (2)$$

(2) ფორმულაში „–“ ნიშანი იმაზე მიუთითებს, რომ ინდუქციური დენის საკუთარი მაგნიტური ნაკადი ეწინააღმდეგება ამ დენის გამომწვევი გარე მაგნიტური ნაკადის ცვლილებას.

თუ კონტური N რაოდენობის ხვიებისგან შედგება, (2) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\mathcal{E}_{ინდ} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \qquad (3)$$

აქ $\mathcal{E}_{ინდ}$ ემძ-ა. მისი საზომი ერთეულია ვოლტი (1 ვ):

$$[\mathrm{E}_{ინდ}] = \frac{[\Delta\Phi]}{[\Delta t]} = 1\frac{ვბ}{წმ} = 1ვ.$$

LAYİHƏ

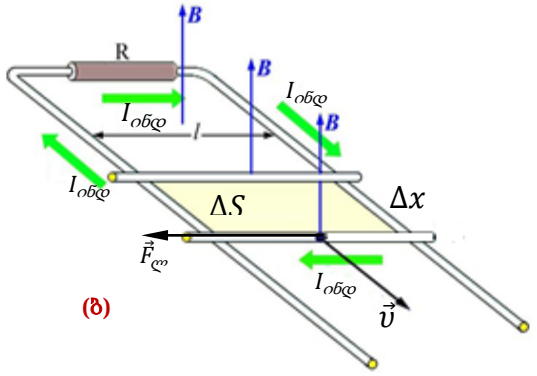
ჩაკეტილ კონტურში აღძრული ინდუქციური დენის ძალის სიდიდე განისაზღვრება ომის კანონით წრედის უბნისათვის:

$$I_{ინდ} = \frac{\mathcal{E}_{ინდ}}{R} = \frac{1}{R}\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| \quad \text{ან} \quad \frac{\mathcal{E}_{ინდ}}{R} = -\frac{1}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (4)$$

R – კონტურის წინაღობაა.

მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარში აღძრული ინდუქციის ემძ. იმისათვის, რომ გამტარში ელექტრული დენი აღიძრას, საჭიროა მასში არსებობდეს ელექტრომამოძრავებელი ძალა. როგორ აღიძვრება გამტარში ელექტრომამოძრავებელი ძალა? მაგნიტურ ველში გამტარის მოძრაობის დროს გამტარში არსებული თავისუფალი მუხტები მასთან ერთად მოძრაობენ. ყოველ მოძრავ მუხტზე მოქმედებს ლორენცის ძალა და გამტარის შიგნით არსებული სხვადასხვა ნიშნის მუხტები საპირისპირო მიმართულებით, გამტარის ბოლოებისკენ გადაადგილდება. მოძრავ გამტარში აღიძვრება ინდუქციის ემძ და თუ ეს გამტარი ჩაკეტილი გამტარის კონტურის ნაწილია, კონტურში ინდუქციური დენი გაივლის.

აღძრული ინდუქციის ემძ-ს სიდიდე დამოკიდებულია ველში გამტარის მოძრაობის სიჩქარეზე, გამტარის სიგრძესა და ველის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის სიდიდეზე. ამის დამტკიცება ადვილად შეიძლება ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის საფუძველზე.



(ბ)

წარმოვიდგინოთ, რომ l სიგრძის გამტარი $\vec{B}$ მაგნიტური ინდუქციის $\Delta x = \upsilon\Delta t$ მანძილით გადაადგილდა $\vec{B}$ ინდუქციის ვექტორის პერპენდიკულარული მიმართულებით *(ბ)*. ამ დროს გამტარში აღძრული ინდუქციის ემძ იქნება:

$$\mathcal{E}_{ინდ} = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \frac{B\Delta S}{\Delta t} = \frac{Bl\Delta x}{\Delta t} = \frac{Bl\upsilon\Delta t}{\Delta t} = Bl\upsilon.$$

ამ გარდაქმნების დროს გავითვალისწინეთ, რომ $\Delta\Phi = B\Delta S$ და $\Delta S = l\Delta x$ (იხ. *ბ*). ზოგად შემთხვევაში, როდესაც გამტარის სიჩქარის ვექტორი ველის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორთან α კუთხეს ქმნის, ინდუქციის ემძ-ის გამოსათვლელ ფორმულას შემ-დეგი სახე ექნება:

$$\mathcal{E}_{ინდ} = Bl\upsilon\sin\alpha. \qquad (5)$$

მაგნიტურ ველში მოძრავ გამტარში აღძრული ინდუქციური დენის მიმართულება განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით:

• მარჯვენა ხელი მაგნიტურ ველში ისე მოვათავსოთ, რომ $\vec{B}$ ვექტორი ხელისგულში შედიოდეს, 90^0-ით გადახრილი ცერა თითი კი გვაჩვენებდეს გამტარის მოძრაობის მიმართულებას, მაშინ გაშლილი ოთხი თითი გვიჩვენებს გამტარში აღძრული ინდუქციური დენის მიმართულებას.

გამოყენება — კვლევითი სამუშაო 2

გამოთვალეთ ინდუქციის ემძ და ინდუქციური დენის ძალა.

• ***ამოცანა 2.*** მაგნიტური ნაკადი, რომელიც კოტურში გადიოდა, 0,03 წმ-ის განმავლობაში 48 მვბ-დან ნულამდე შემცირდა. გამოთვალეთ კონტურში აღძრული ინდუქციის ემძ და ინდუქციური დენის ძალა, თუ ცნობილია რომ კონტურის წინაღობა 6 ომია.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

• რის ტოლია მაგნიტური ნაკადის ცვლილება?

• როგორ განსაზღვრეთ ინდუქციის ემძ და ინდუქციური დენის ძალა?

LAY.ge

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

მოხმარების ელექტრონული მრიცხველების მუშაობის პრინციპი ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონს ეფუძნება. მაგალითად, წყლის მოხმარების ელექტრონულ მრიცხველში გამავალ წყლის ნაკადში, რომელიც ელექტრული დენის გამტარია, წყლის ნაკადის სიჩქარის პროპორციული ინდუქციური დენი აღიძვრება. შემდეგ წყლის ნაკადში წამოქმნილი ინდუქციური დენის სიდიდე, მრიცხველის ელექტრონული ნაწილის საშუალებით ციფრულ სიგნალად გარდაქმნება და აღირიცხება.

- ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის გამოყენების კიდევ რომელი მაგალითები შეგიძლიათ დაასახელოთ? (გამოიყენეთ ინტერნეტის რესურსები).

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	1,8 მ სიგრძის გამტარი 6 მ/წმ სიჩქარით გადაადგილდება ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების პერპენდიკულარული მიმართულებით. გამტარში აღძრული ინდუქციის ემძ 5,4 ვ-ის ტოლია. გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია.			
2	კოჭას გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი 5 წმ-ის განმავლობაში 8 მვბ-დან 3 მვბ-მდე შემცირდა. კოჭაზე 400 ხვიაა. განსაზღვრეთ კოჭაში აღძრული ინდუქციის ემძ.			
3	რის ტოლია კოჭაში გამავალი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარე, თუ კოჭა 3000 ხვიისგან შედგება და მასში აღძრული ინდუქციის ემძ 120 ვ-ია?			

- **რა შეიტყვეთ?** შეადგინეთ ცნებების რუკა თემაზე „ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი“.

LAYİHƏ

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 7, 9 და 10

ინერტულობა სხეულის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თვისებაა (ლათინური სიტყვიდან „inertia“ – უმოქმედობა, სიზარმაცე).

• ***ინერტულობა*** სხეულების თვისებაა, რომელიც იმით გამოიხატება, რომ სხეულის სიჩქარის შესაცვლელად ყოველთვის გარკვეული დროა საჭირო. *ინერცია* ეწოდება მოვლენას, როდესაც სხეული უძრავ მდგომარეობაში რჩება ან წრფივად და თანაბრად მოძრაობას განაგრძობს, თუ მასზე სხვა სხეულები არ მოქმედებენ (ან სხვა სხეულების მოქმედება ერთმანეთს აწონასწორებს).

• სხეულის ინერტულობის სიდიდეს განსაზღვრავს მისი მასა.

• *ენერგიას, რომელიც სხეულს მოძრაობის გამო აქვს,* ***კინეტიკური ენერგია*** *ეწოდება. სხეულის კინეტიკური ენერგია დამოკიდებულია სხეულის მასაზე და მისი სიჩქარის მოდულზე (და არა მიმართულებაზე):*

$$E_{კინ} = \frac{m\upsilon^2}{2}.$$

რადგან ნივთიერებებს განსხვავებული მაგნიტური თვისებები აქვთ, ერთი და იმავე მაგნიტური ველის წყაროს მიერ სხვადასხვა ნივთიერებაში შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციებიც განსხვავებულია. ნივთიერების მაგნიტური თვისებები ხასიათდება სიდიდით, რომელსაც ***ნივთიერების მაგნიტური შეღწევადობა*** *ეწოდება.*

ნივთიერების მაგნიტური შეღწევადობა გვიჩვენებს, რამდენჯერ განსხვავდება მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული $\boldsymbol{B}$ *ამ ნივთიერებაში, იმავე მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდულისგან* $\boldsymbol{B_0}$ *ვაკუუმში:*

$$\mu = \frac{B}{B_0} \Rightarrow B = \mu B_0.$$

აქ μ *(მიუ) ნივთიერების მაგნიტური შეღწევადობაა.* μ *განყენებული რიცხვია. მას განზო-მილება არ აქვს.*

• *აირში ელექტრული დენის გავლას გარე ზემოქმედების გარეშე* ***თავისთავადი განმუხტვა*** *ეწოდება. აირის თავისთავადი განმუხტვის ერთ-ერთი სახეა ნაპერწკლური განმუხტვა.*

• *ნაპერწკლური განმუხტვა წარმოიქმნება აირში, ელექტროდებს შორის მაღალი ძაბვის დროს და მას ზიგზაგის ფორმის მანათობელი არხების სახე აქვს. ტემპერატურამ არხებში შესაძლოა 10000° C-ს მიაღწიოს, დენის ძალამ – 5000 ამპერს, ძაბვამ – 10⁷ ვოლტს.*

ალბათ, ყველას შეგინიშნავთ ხანმოკლე ნაპერწკალი ხელსაწყოს როზეტიდან გამორთვის დროს. ეს ნიშნავს, რომ ხელსაწყოს ჩანგალს და როზეტს შორის ჰაერში მოხდა თავისთავადი განმუხტვა. ასეთი ნაპერწკალი ზოგჯერ აზიანებს ჩანგალს ან როზეტს.

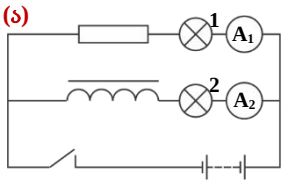
- ***რატომ წარმოიქმნება ელექტრული ხელსაწყოს გამორთვის დროს კონტაქტებს შორის, ჰაერში, ნაპერწკლური განმუხტვა?***
- ***რა არის კონტაქტებს შორის მაღალი ძაბვის გაჩენის მიზეზი?***

LAYİHƏ

კვლევითი სამუშაო 1

რატომ არ აინთო ორივე ნათურა ერთდროულად?

(ა)



სამუშაოსთვის საჭიროა: ნათურა (2 ცალი, თითოეული 4 ვ); ამპერმეტრი (2 ცალი); კოჭა რკინის გულარით; რეზისტორი (წინაღობა) მუდმივი დენის წყარო (ან გამმართველი); ჩამრთველი; შემაერთებელი სადენები.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ააწყვეთ წრედი ნახატზე მოცემული სქემის მიხედვით *(ა)*.
2. ჩართეთ ჩამრთველი, დააკვირდით ნათურების ანთების თანმიმდევრობას და ამპერმეტრების ჩვენებების ცვლილებას.
3. გამორთეთ ჩამრთველი. დააკვირდით ნათურების ჩაქრობის თანმიმდევრობას.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რომელმა ნათურამ დააგვიანა ანთება ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ?
- რა ნახეთ ჩამრთველის გამორთვის შემდეგ? გამოთქვით თქვენი მოსაზრება ნანახი მოვლენის მიზეზის შესახებ.

მითითება

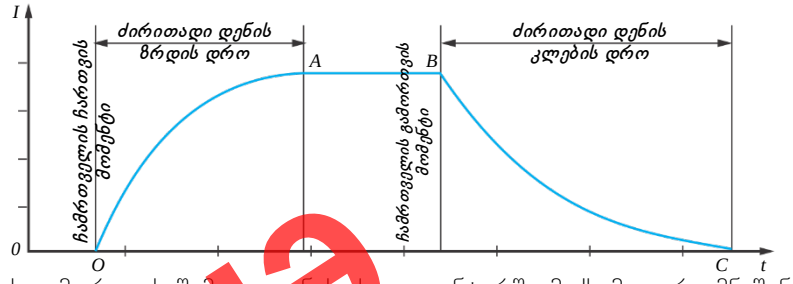
სამუშაოს შესრულების დროს გაითვალისწინეთ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი და ლენცის წესი.

თვითინდუქციის ემძ. ელექტრული დენი, რომელიც ჩაკეტილ კონტურში გადის, საკუთარ მაგნიტურ ველს ქმნის (ანუ ნებისმიერი დენიანი კონტური საკუთარ მაგნიტურ ველში) არსებობს. კონტურში გამავალი დენის ძალის ცვლილება იწვევს ამ დენის მიერ წარმოქმნილი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებას. მაგნიტური ნაკადის ცვლილება იწვევს გრიგალური ელექტრული ველის გაჩენას და შედეგად კონტურში აღიძვრება ინდუქციის ემძ.

- ჩაკეტილ გამტარ კონტურში ინდუქციის ემძ-ის გაჩენის მოვლენას მასში გამავალი დენის ძალის ცვლილების გამო, ***თვითინდუქცია*** ეწოდება.

ჩაკეტილ კონტურში გამავალი დენის ძალის 0-დან გარკვეულ მნიშვნელობამდე გაზრდისას იზრდება კონტურის გამჭოლი, ამ დენის მიერ წარმოქმნილი, მაგნიტური ნაკადიც. მაგნიტური ნაკადის ზრდის გამო კონტურში აღიძრება თვითინდუქციის ემძ, რომელიც კონტურში წარმოქმნის ძირითადი დენის საპირისპიროდ მიმართულ ინდუქციურ დენს. ინდუქციური დენი ანელებს ძირითადი დენის მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე ზრდის პროცესს (**OA** მრუდი, ნახ.ბ).

(ბ)



ჩამრთველის გამორთვის შემდეგ დენის ძალა კონტურში მაქსიმალური მნიშვნელობიდან 0-მდე მცირდება. მცირდება მაგნიტური ნაკადიც. მაგნიტური ნაკადის შემცირება კონტურში აღძრავს თვითინდუქციის ემძ-ს, რომელიც თავის მხრივ კონტურში წარმოქმნის (ლენცის წესის თანახმად) ძირითადი დენის მიმართულების ინდუქციურ დენს. ინდუქციური დენი ანელებს ძირითადი დენის შემცირების პროცესს (მრუდი **BC**, *ბ*).

ზემოთქმულიდან გასაგები ხდება, რომ დენიანი კონტურის მიერ აღძრული საკუთარი მაგნიტური ნაკადი კონტურში გამავალი დენის ძალის პროპორციულია – $\Phi \sim I$ ან:

$$\Phi = LI. \qquad (1)$$

LAYOUT

აქ L პროპორციულობის კოეფიციენტია და კონტურის (ან კოჭას) *ინდუქტივობა* ეწოდება.

ინდუქტივობა კონტურის (კოჭას) მახასიათებელია და დამოკიდებულია მის გეომეტრიულ ზომებზე, ხვიების რაოდენობასა და კონტურის (კოჭას) შიგნით არსებული გარემოს მაგნიტურ შეღწევადობაზე. ინდუქტივობა დამოკიდებული არ არის კონტურში გამავალ დენის ძალასა და მაგნიტურ ნაკადზე.

ინდუქტივობა სკალარული სიდიდეა. SI სისტემაში მისი საზომ ერთეულს ჰენრი (1ჰნ) ეწოდება, ამერიკელი მეცნიერის ჯოზეფ ჰენრის პატივსაცემად:

$$[L] = \frac{[\Phi]}{[I]} = 1\frac{ვბ}{ა} = 1\ ჰნ.$$

- *1 ჰნ ისეთი კონტურის (ან კოჭას) ინდუქტივობაა, რომელშიც 1 ა დენის გავლის დროს 1 ვბ საკუთარი მაგნიტური ნაკადი აღიძრება.*

თუ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონში გავითვალისწინებთ (1) გამოსახულებას, მივიღებთ, რომ კონტურში აღძრული თვითინდუქციის ემძ ამ კონტურში გამავალი დენის ძალის ცვლილების სიჩქარის პროპორციულია:

$$\mathcal{E}_{თვითინდ} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(LI)}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}. \qquad (2)$$

აქ, $\mathcal{E}_{თვითინდ}$ თვითინდუქციის ემძ-ა, $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ – კონტურში დენის ძალის ცვლილების სიჩქარე.

მაგნიტური ველის ენერგია. ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, კონტურში ინდუქციის ემძ-ს შესაქმნელად საჭირო მუშაობა იმ მაგნიტური ველის ენერგიის ტოლია, რომელიც მას ქმნის. ამ ენერგიის განსასაზღვრად მოხერხებულია, გამოვიყენოთ მსგავსება, რომელიც თვითინდუქციის მოვლენასა და ინერციის მოვლენას შორის არსებობს. ელექტრომაგნიტურ პროცესებში L ინდუქტივობა ისეთსავე როლს ასრულებს L დენის ძალის ცვლილების დროს, როგორსაც მექანიკურ პროცესებში m მასა ასრულებს υ სიჩქარის ცვლილების დროს. მაშინ კონტურის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ენერგიისთვის მივიღებთ სხეულის კინეტიკური ენერგიის გამოსათვლელი ფორმულის ანალოგიურ გამოსახულებას:

$$W_{მაგ} = \frac{LI^2}{2}. \qquad (3)$$

თუ ამ გამოსახულებაში გავითვალისწინებთ (1) ფორმულას, მივიღებთ მაგნიტური ველის ენერგიის გამოსათვლელ კიდევ ორ ფორმულას:

$$W_{მაგ} = \frac{\Phi^2}{2L} = \frac{\Phi I}{2}. \qquad (4)$$

თეორიული გამოთვლებით, მაგნიტური ველის ენერგიის სიმკვრივე პროპორციულია მაგნიტური ინდუქციის კვადრატის და უკუპროპორციულია გარემოს მაგნიტური თვისებების მახასიათებელი სიდიდეების:

$$w_{მაგ} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu}. \qquad (5)$$

აქ μ_0 მაგნიტური მუდმივაა: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{ჰნ}{მ}$.

LAYİHƏ

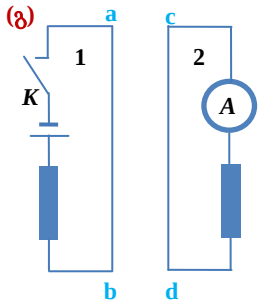
გამოყენება | ქვლევითი სამუშაო 2

გამოთვალეთ ინდუქციის ემძ და ინდუქციური დენის ძალა.

• ***ამოცანა:*** წრედები 1 და 2 ისეა განლაგებული, როგორც ნაჩვენებია ნახატზე *(გ)*. განსაზღვრეთ ინდუქციური დენის მიმართულება წრედი 2-ის cd უბანზე:

ა) ***K*** ჩამრთველის ჩართვის დროს;

ბ) ***K*** ჩამრთველის გამორთვის დროს.



სამუშაოს შედეგების განხილვა:

• რომელი მოვლენა გამოიყენეთ ამოცანის ამოხსნისას?

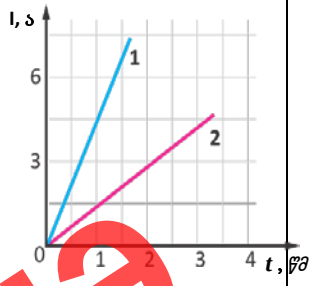
• რა დასკვნები გააკეთეთ? რატომ?

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ავტომობილის ძრავის ასამუშავებლად, ანთების სანთლის კონტაქტებს 10 კილოვოლტი ძაბვა, უნდა მიეწოდოს, რათა წრმოიქმნას მძლავრი ნაპერწკალი, რომელიც გამოიწვევს საწვავის აალებას ძრავას ცილინდრებში. ამ დროს ავტომობილის აკუმულატორს მხოლოდ 12 ვოლტი ძაბვის მოცემა შეუძლია.

• რის საშუალებით მიიღება ასეთი მაღალი ძაბვა ავტომობილის ანთების სანთლის წრედში?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	0,4 წმ-ის განმავლობაში კოჭაში გამავალი დენის ძალა 3 ა-დან 9 ა-მდე გაიზარდა. ამ დროს აღძრული თვითინდუქციის ემძ 12 ვოლტის ტოლია. გამოთვალეთ კოჭას ინდუქტივობა.			
2	ზოგჯერ გამოთვლების დროს, ინდუქტივობის ერთეულად იყენებენ $1 ჰნ = 1 \frac{ა \cdot წმ}{ა}$. დაამტკიცეთ ამ ტოლობის მართებულობა.			
3	ნახატზე მოცემულია დენის ძალის ცვლილების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები ორი ერთნაირი კოჭასთვის. რომელ კოჭაში წარმოიქმნება უფრო მეტი თვითინდუქციის ემძ და რამდენჯერ? 			

• **რა შეიტყვეთ?** სამუშაო რვეულში ჩაწერეთ შემდეგი ცნებების ფიზიკური აზრი: „თვითინდუქცია“, „თვითინდუქციის ემძ“, „ინდუქტივობა“, „მაგნიტური ველის ენერგია“, „მაგნიტური ველის ენერგიის სიმკვრივე“.

LAYTHE

1.1. ორი ერთნაირი გამტარი ბურთულა, რომელთა მუხტები იყო $7q$ და $-13q$, ერთმანეთს შეახეს და ისევ დააშორეს. რის ტოლი გახდება თითოეული მათგანის მუხტი?

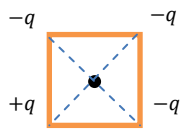
1.2. სუფრის კოვზზე 18 გ წყალი ეტევა. განსაზღვრეთ:
ა) კოვზზე არსებული წყლის მოლეკულების რაოდენობა;
ბ) ელექტრონების რაოდენობა წყლის ერთ მოლეკულაში;
გ) ელექტრონების საერთო რაოდენობა წყალში;
დ) კოვზზე არსებული წყლის ელექტრონების საერთო მუხტი.

1.3. რამდენჯერ მეტია ელექტრული განზიდვის ძალა ორ ელექტრონს შორის, მათ შორის გრავიტაციული მიზიდულობის ძალაზე? ელექტრონის მასა $m= 9{,}1\cdot10^{-31}$ კგ.

1.4. მტვრის ნაწილაკი, რომლის მასაა $m = 2{,}5\cdot10^{-11}$ კგ, ხოლო მუხტი $q= 5\cdot10^{-12}$ კ, უძრავია ვერტიკალურ ელექტრულ ველში. განსაზღვრეთ ამ ელექტრული ველის დაძაბულობა (g =9,8 ნ/კგ).

1.5. ორ $q_1=3\cdot10^{-7}$ კ და $q_2 =2\cdot10^{-7}$ კ მუხტს შორის მანძილი 20 სმ-ია. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა მუხტების შემაერთებელი წრფის შუა წერტილში.

1.6. კვადრატის კუთხეებში მოთავსებული თითოეული მუხტი კვადრატის ცენტრში ქმნის ელექტრულ ველს, რომლის დაძაბულობაა E. იპოვეთ ჯამური ველის დაძაბულობა კვადრატის ცენტრში.

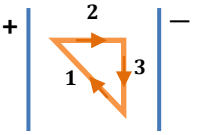


1.7. გამოთვალეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა, რომელსაც ქმნის წერტლოვანი 10^{-8} კ მუხტი მისგან 30 სმ მანძილზე.

1.8. ორი პარალელური დამუხტული ფირფიტა მოთავსებულია ვაკუუმში ერთმანეთისგან 5 სმ მანძილზე. მათ შორის ერთგვაროვანი ელექტრული ველის დაძაბულობაა 10^3 ვბ/მ. განსაზღვრეთ:
ა) პოტენციალთა სხვაობა ამ ფირფიტებს შორის;
ბ) მუშაობა, რომელსაც ველი შეასრულებს $q=8\ 10^{-6}$ კ მუხტის ერთი ფირფიტიდან მეორე ფირფიტაზე გადატანის დროს.

1.9. ვაკუუმში მოთავსებულ, 0,1 მ-ით დაშორებულ ორ პარალელურ დამუხტულ ფირფიტას შორის პოტენციალთა სხვაობაა 220 ვ. რის ტოლია ფირფიტებს შორის ერთგვაროვანი ელექტრული ველის დაძაბულობა?

1.10. წერტილოვან $+q$ მუხტს გადააადგილებენ ერთგვაროვან ელექტრულ ველში, რომელიც შექმნილია ორ პარალელურ დამუხტულ ფირფიტას შორის. განსაზღვრეთ:
ა) ელექტრული ველის მუშაობა და მუხტის პოტენციური ენერგიის ცვლილება ტრაექტორიის 1 უბანზე;
ბ) ელექტრული ველის მუშაობა და მუხტის პოტენციურ ენერგიის ცვლილება ტრაექტორიის 2 უბანზე;
გ) ელექტრული ველის მუშაობა და მუხტის პოტენციური ენერგიის ცვლილება ტრაექტორიის 3 უბანზე.



1.11. როგორ შეიცვლება ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა, თუ მის მუხტს 6-ჯერ გავზრდით, ხოლო ფირფიტებს შორის ძაბვას 4-ჯერ შევამცირებთ?

1.12. ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა 3-ჯერ გაზარდეს ფირფიტებს შორის უცვლელი ძაბვის დროს. განსაზღვრეთ:
ა) როგორ შეიცვალა კონდენსატორის ენერგია?
ბ) როგორ შეიცვალა კონდენსატორის მუხტი?

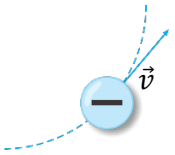
1.13. . ნახატზე მოცემულია ორი კონდენსატორის შეერთების სქემა. განსაზღვრეთ:
ა) კონდენსატორების ენერგიების შეფარდება;
ბ) კონდენსატორების მუხტების შეფარდება;
გ) კონდენსატორებზე ძაბვების შეფარდება.

LAYTHO

1.14. ნახატზე მოცემულია ორი კონდენსატორის შეერთების სქემა. განსაზღვრეთ:
ა) კონდენსატორების ენერგიების შეფარდება;
ბ) კონდენსატორების მუხტების შეფარდება;
გ) კონდენსატორებზე ძაბვების შეფარდება.

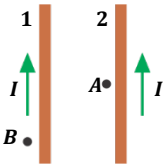
1.15. შეუძლია თუ არა დამუხტულ ნაწილაკს, წრფივად და თანაბრად იმოძრაოს ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში? პასუხი დაასაბუთეთ.

1.16. ნახატზე ნაჩვენებია ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ელექტრონის მოძრაობის ტრაექტორია. განსაზღვრეთ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება.



1.17. ელექტრონი $v=5\ 10^6$ მ/წმ სიჩქარით მოძრაობს ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების პერპენდიკულარული მიმართულებით. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდული 0,02 ტლ-ს ტოლია. განსაზღვრეთ:
ა) ელექტრონზე მოქმედი ლორენცის ძალა;
ბ) წრეწირის რადიუსი, რომელსაც ელექტრონი შემოწერს.

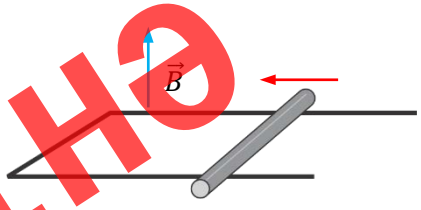
1.18. დენის ძალა ორ პარალელურ, 1 და 2, გამტარში ერთნაირია. განსაზღვრეთ:
ა) 1-ლი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულება მე-2 გამტართან ახლოს მდებარე A წერტილში;
ბ) მე-2 გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულება 1-ლ გამტართან ახლოს მდებარე B წერტილში.



1.19. განსაზღვრეთ დენიან გამტარზე მოქმედი ამპერის ძალის მოდული, თუ მოცემულია:

ა) $B = 2$ ტლ, $I = 6$ ა, $l = 75$ სმ, $\alpha = 0°$;
ბ) $B = 2$ ტლ, $I = 6$ ა, $l = 75$ სმ, $\alpha = 30°$.

1.20. მაგნიტურ ველში მოთავსებულ მეტალის ჰორიზონტალურ ჩარჩოზე გამტარი ღერი მოძრაობს. ველის მაგნიტური ინდუქციის წირები მიმართულია ვერტიკალურად ზევით. განსაზღვრეთ:
ა) გამტარ ღერში აღძრული ინდუქციური დენის მიმართულება;
ბ) მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულება მეტალის ჩარჩოთი და გამტარი ღერით შექმნილი შეკრული კონტურის ცენტრში;
გ) ღერზე მოქმედი ამპერის ძალის მიმართულება.



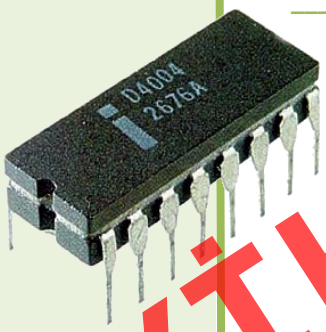
LAYİHƏ

თავი II

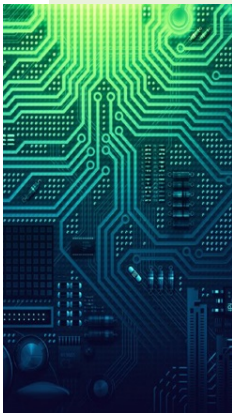
მუდმივი დენის კანონები სხვადასხვა გარემოში

- გამოკვლევებით დადგენილია ოთხი მეტალი, რომლებსაც ყველაზე დიდი კუთრი ელექტროგამტარობა აქვთ (20^0 C ტემპერატურაზე):
  1) ვერცხლი – $6{,}8 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{ომ} \cdot \text{მ}}$
  2) სპილენძი – $5{,}9 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{ომ} \cdot \text{მ}}$
  3) ოქრო – $4{,}5 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{ომ} \cdot \text{მ}}$
  4) ალუმინი – $3{,}8 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{ომ} \cdot \text{მ}}$
  - ***რა არის კუთრი ელექტროგამტარობა?***

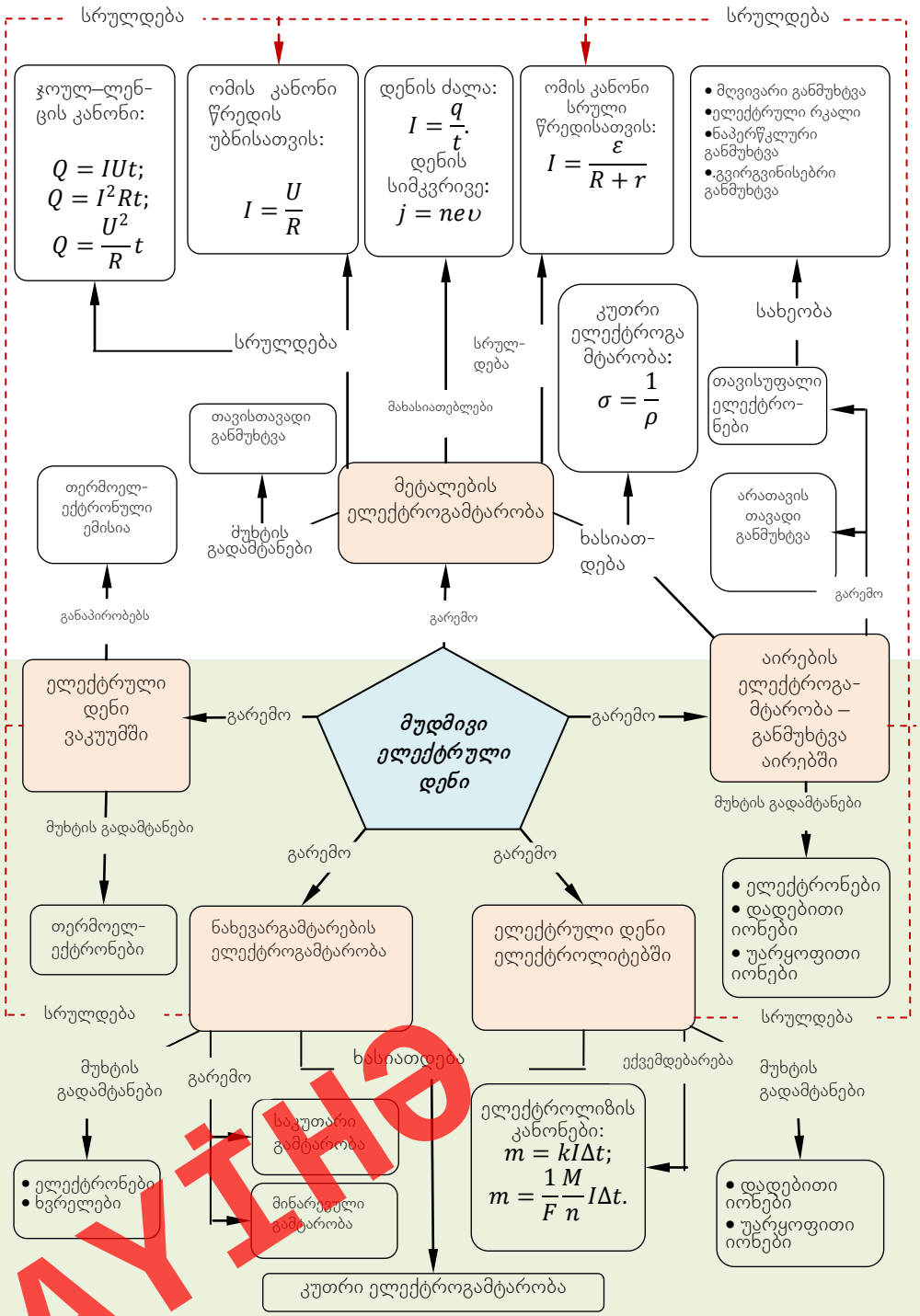
- ამ ბარელიეფით დამშვენებული სასმისის შესაძენად „მეტროპოლიტენ“ მუზეუმმა (ნიუ-იორკი, აშშ) 1870 წელს ძალიან დიდი ფასი გადაიხადა. უკვე ერთ-ნახევარი საუკუნეა, მნახველებს აკვირვებს ამ დახვეწილი და რთული ნაკეთობის შემქმნელების ოსტატობა. მაგრამ უცნაურია, რომ ვერც ერთი მნახველი ვერ მიხვდა, რომ ეს ნაკეთობა ბაროკოსა და მანერიზმის ეპოქის (მე-17 საუკუნე) იუველირების ხელნაკეთი სასმისის მხოლოდ ასლია. ექსპერტებმა ლაბორატორიული კვლევებით დაადგინეს, რომ ეს ასლი 1840 წელსაა დამზადებული ელექტროლიზის მეთოდის გამოყენებით.
  - ***როგორ არის შესაძლებელი ელექტროლიზის გამოყენებით ასეთი რთული და დახვეწილი ნაკეთობის დამზადება?***
  - ***ელექტროლიზის მეთოდის კიდევ რომელი უცნაური გამოყენება არსებობს?***



- კორპორაცია „Intel“-მა პირველი მიკროპროცესორი „Intel 4004“ 1971 წლის 15 ნოემბერს დაამზადა. ეს პროცესორი მხოლოდ 2300 ტრანზისტორისგან შედგებოდა. მეორე თაობის პროცესორი „Intel Core“, რომელიც კორპორაციამ 2011 წელს დაამზადა, დაახლოებით 10^9 ტრანზისტორისგან შედგებოდა.
  - ***რა არის ტრანზისტორი?***
  - ***რატომ არის ტრანზისტორი მიკროსქემების (ჩიპების) ძირითადი შემადგენელი ელემენტი?***



LAYTHO


სრულდება
სრულდება
ჯოულ–ლენცის კანონი:
$Q = IUt;$
$Q = I^2Rt;$
$Q = \frac{U^2}{R}t$
ომის კანონი წრედის უბნისათვის:
$I = \frac{U}{R}$
დენის ძალა:
$I = \frac{q}{t}.$
დენის სიმკვრივე:
$j = ne\upsilon$
ომის კანონი სრული წრედისათვის:
$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$
• მღვივარი განმუხტვა
• ელექტრული რკალი
• ნაპერწკლური განმუხტვა
• გვირგვინისებრი განმუხტვა
სრულდება
სრულ-დება
მახასიათებლები
კუთრი ელექტროგამტარობა:
$\sigma = \frac{1}{\rho}$
სახეობა
თავისუფალი ელექტრონები
თავისთავადი განმუხტვა
მეტალების ელექტროგამტარობა
ხასიათდება
არათავის თავადი განმუხტვა
გარემო
თერმოელექტრონული ემისია
მუხტის გადამტანები
განაპირობებს
გარემო
მუდმივი ელექტრული დენი
ელექტრული დენი ვაკუუმში
გარემო
გარემო
აირების ელექტროგამტარობა – განმუხტვა აირებში
მუხტის გადამტანები
მუხტის გადამტანები
გარემო
გარემო
• ელექტრონები
• დადებითი იონები
• უარყოფითი იონები
თერმოელექტრონები
ნახევარგამტარების ელექტროგამტარობა
ელექტრული დენი ელექტროლიტებში
სრულდება
სრულდება
მუხტის გადამტანები
გარემო
ხასიათდება
ექვემდებარება
მუხტის გადამტანები
საკუთარი გამტარობა
მინარევული გამტარობა
ელექტროლიზის კანონები:
$m = kI\Delta t;$
$m = \frac{1}{F}\frac{M}{n}I\Delta t.$
• ელექტრონები
• ხვრელები
• დადებითი იონები
• უარყოფითი იონები
კუთრი ელექტროგამტარობა

LAYTHO

2.1. მეტალების გამტარობის ელექტრონული თეორიის ელემენტები

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 8 და 9

• გამტარი ნივთიერებაა, რომელიც ელექტრულ დენს კარგად ატარებს. გამტარებს მიეკუთვნება: მეტალები, ელექტროლიტური ხსნარები და ნალღობები, პლაზმა. ტენიანი ჰაერიც, ადამიანისა და ცხოველების სხეულებიც ატარებს ელექტრულ დენს.

• დენის მიმართულებად, პირობითად მიღებულია გამტარის შიგნით ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება.

• მეტალის გამტარების ელექტროგამტარობის ფიზიკურ მექანიზმს განსაზღვრავს კლასიკური ელექტრონული თეორიის შემდეგი ძირითადი დებულებები:

• მეტალები ფიზიკური სისტემებია, რომელთაც კრისტალური აგებულება აქვთ. ჩვეულებრივ მდგომარეობაში მეტალის ატომი კარგავს ელექტრონს და დადებით იონად გადაიქცევა. ეს იონები კრისტალის კვანძებშია განლაგებული და წონასწორობის მდგომარეობის მიდამოში რხევით მოძრაობას ასრულებენ. ამიტომ იონებს არ შეუძლიათ მეტალებში ელექტრული დენის წარმოქმნაში მონაწილეობა.

• მეტალის ატომებისგან მოწყვეტილ ელექტრონებს შეუძლიათ მეტალის იონებს შორის სივრცეში თავისუფალი გადაადგილება. ამიტომ მათ ***თავისუფალი ელექტრონები*** ეწოდებათ. დადგენილია რომ მეტალებში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციაა $10^{26} \div 10^{28} \frac{1}{მ^3}$.

• ელექტრული ველის არარსებობის შემთხვევაში მრავალრიცხოვანი დაჯახების გამო, ელექტრონები ქაოსურ მოძრაობას ასრულებენ. ეს მოძრაობა აირის მოლეკულების უწესრიგო სითბური მოძრაობის მსგავსია. ამიტომ მეტალების თავისუფალი ელექტრონების მოძრაობის აღსაწერად ***ელექტრონული აირის მოდელს*** იყენებენ.

• მეტალის გამტარის დენის წყაროსთან მიერთების შემდეგ, გამტარში აღძრული ელექტრული ველი თავისუფალი ელექტრონების ქაოსურ მოძრაობას გარკვეული მიმართულების მოწესრიგებულ მოძრაობად გარდაქმნის. ყოველი თავისუფალი ელექტრონის მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე დამოკიდებულია ორ ფაქტორზე: ა) იონებთან დაჯახებების რიცხვზე; ბ) ელექტრული ველის სიდიდეზე. მეტალის თა-ვისუფალი ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე ძალიან მცირე სიდიდეა.

■ ისტორიიდან იცით, რომ სკვითები ბრძოლაში დაღუპულ თავის მეომრებს დიდი პატივით კრძალავდნენ. მათ სხეულებს ყორღანებში ასვენებდნენ იარაღთან და ძვირფას სამკაულებთან ერთად. ამის გამო, მთელი შემდგომი ისტორიის მანძილზე ყორღანები ქურდების ინტერესის საგანს წარმოადგენდა. მაგრამ როგორ იყო შესაძლებელი სამარხი ყორღანის და ჩვეულებრივი ბორცვის ერთმანეთისგან გარჩევა? წინდახედული ქურდები ყურადღებით აკვირდებოდნენ რომელ ბორცვს ეცემოდა მეხი ავდრის დროს. ისინი თვლიდნენ, რომ მეხი „ერძნობს“ მიწის ძვეშ დამალულ ძვირფას მეტალებს.

• ***გამართლებულია თუ არა ფიზიკის თვალსაზრისით ვარაუდი, რომ მეხი ძვირფასი მეტალების დამარხვის ადგილებს ეცემა? დაასაბუთეთ თქვენი ჰიპოთეზა.***

LAYOUT

კვლევითი სამუშაო 1 ***რის ტოლია მეტალებში თავისუფალი ელექტრონების ქაოსური მოძრაობის სიჩქარე?***

ამოცანა 1. განსაზღვრეთ მეტალის თავისუფალი ელექტრონების ქაოსური მოძრაობის სიჩქარე $T = 300\ K$ ტემპერატურის დროს (ოთახის ტემპერატურაზე). გამოიყენეთ ინფორმაცია: ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, ეს სიჩქარე შეგვიძლია გამოვითვალოთ ფორმულიდან:

$\frac{m_e v^2}{2} = \frac{3}{2}kT (m_e = 9 \cdot 10^{-31}\ კგ, k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ ჯ/K).$

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რის ტოლია მეტალებში თავისუფალი ელექტრონების ქაოსური მოძრაობის სიჩქარე?
- მეტალებში თავისუფალი ელექტრონების მოძრაობის რომელი სიჩქარეა მეტი: ქაოსური მოძრაობის თუ მოწესრიგებული მოძრაობის დაასაბუთეთ თქვენი ვარაუდი.

I. *ელექტრული გამტარობა. კუთრი ელექტრული გამტარობა.*

- *ელექტროგამტარობა (ელექტრული გამტარობა, ან უბრალოდ გამტარობა) არის ნივთიერების თვისება, რომელიც განსაზღვრავსნივთიერების უნარს გაატაროს ელექტრული დენი. ნივთიერების ეს თვისება ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც კუთრი ელექტროგამტარობა (ან კუთრი გამტარობა) ეწოდება.*

- *კუთრი ელექტროგამტარობა სკალარული ფიზიკური სიდიდეა და რიცხობრივად ნივთიერების კუთრი წინაღობის შებრუნებული სიდიდის ტოლია:*

$$\sigma = \frac{1}{\rho}. \qquad (1)$$

აქ ომი·მ σ ნივთიერების კუთრი გამტარობაა. SI სისტემაში მისი საზომი ერთეულია $\frac{1}{ომი \cdot მ}$.

*კუთრი ელექტროგამტარობის სიდიდის მიხედვით ნივთიერებები სამ ჯგუფად იყოფა: **1.** გამტარები – ნივთიერებები, რომლებიც დენს კარგად ატარებენ. მათი* $\sigma > 10^6 (ომი \cdot მ)^{-1}$. *2. დიელექტრიკები (იზოლატორები) – ნივთიერებები, რომლებიც დენს ცუდად ატარებენ – მათი* $\sigma < 10^{-8} (ომი \cdot მ)^{-1}$. *დიელექტრიკებს მიეკუთვნება: აირები, ზოგიერთი სითხე (დისტილირებული წყალი, ზეთი და სხვ.), მინა, კაუჩუკი, კერამიკა, პლასტმასა და სხვ. 3. ნახევარგამტარები – ნივთიერებები, რომლებიც ელექტრული დენის გატარების უნარის მიხედვით გამტარებსა და დიელექტრიკებს შორისაა. ნახევარგამტარებს მიეკუთვნება: გერმანიუმი, სილიციუმი, ტყვია, ზოგიერთი ოქსიდი (ჟანგეული) და სულფიდი, ტელურიდები და სხვ.*

II. *მეტალების ელექტროგამტარობა.* კუთრი ელექტროგამტარობის მიხედვით მეტალები ორ ჯგუფად იყოფა: ისინი, რომელთაც დიდი ელექტროგამტარობა აქვთ და ისინი, რომელთაც პატარა ელექტროგამტარობა აქვთ (იხ. ***ცხრილი 2.1)***.

მეტალების ელექტროგამტარობის კლასიკური ელექტრონული თეორიის მიხედვით:

1. მეტალებს აქვთ კრისტალური აგებულება: მათი კრისტალური მესრის კვანძებში განლაგებულია დადებითი იონები (მათ დაკარგული აქვთ ელექტრონი). ეს იონები მხოლოდ რხევით მოძრაობას ასრულებენ წონასწორობის მდგომარეობის მიმართ. 2. მეტალის მოცულობის ერთეულში თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა (ანუ ელექტრონების კონცენტრაცია) დაახლოებით მოცულობის ერთეულში ატომების რაოდენობის ტოლია (მაგალითად, თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია სპილენძში $n = 8{,}5 \cdot 10^{28}\ მ^{-3}$. 3. თავისუფალი ელექტრონები ქაოსურად მოძრაობენ კრისტალის მთელ მოცულობაში. 4. ქაოსური მოძრაობის დროს ელექტრონები იონებს ეჯახებიან. 5. იონებთან დაჯახებისას ელექტრონები მათ თავის კინეტიკურ ენერგიას გადასცემენ. 6. თავისუფალი ელექტრონები ნიუტონის კანონების შესაბამისად მოძრაობენ. 7. მეტალის გამტარში ელექტრული ველის გაჩენის (გამტარის ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვა-

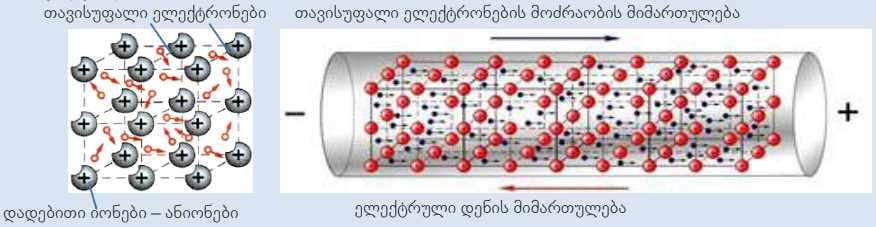
ცხრილი 2.1. ზოგიერთი მეტალის კუთრი წინაღობა და კუთრი გამტარობა

ნივთიერება	ρ, *ომი·მ*	σ, $(ომი \cdot მ)^{-1}$
ვერცხლი	$1{,}47 \cdot 10^{-8}$	$6{,}8 \cdot 10^{7}$
სპილენძი	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$	$5{,}9 \cdot 10^{7}$
ოქრო	$2{,}22 \cdot 10^{-8}$	$4{,}5 \cdot 10^{7}$
ალუმინი	$2{,}55 \cdot 10^{-8}$	$3{,}9 \cdot 10^{7}$
ვოლფრამი	$5{,}3 \cdot 10^{-8}$	$1{,}9 \cdot 10^{7}$
პლატინა	$9{,}8 \cdot 10^{-8}$	$1{,}02 \cdot 10^{7}$
რკინა	$12 \cdot 10^{-8}$	$8{,}3 \cdot 10^{6}$
ტყვია	$20 \cdot 10^{-8}$	$5{,}0 \cdot 10^{6}$
ნიკელი	$40 \cdot 10^{-8}$	$2{,}5 \cdot 10^{6}$
ნიქრომი	$110 \cdot 10^{-8}$	$9{,}1 \cdot 10^{5}$

LATHE

ობის გაჩენის) შემდეგ თავისუფალი ელექტრონების ქაოსური მოძრაობა მოწესრიგებული ხდება და მეტალის გამტარში ელექტრული დენი ჩნდება.

იდეალური აირის მოლეკულების მსგავსად, თავისუფალი ელექტრონები უწყვეტ ქაოსურ მოძრაობას ასრულებენ მეტალის შიგნით. ეს „ელექტრონული აირი“ ურთიერთქმედებს კრისტალური მესრის დადებით იონებთან და წარმოქმნის ძლიერ მეტალურ ბმებს. მეტალის შიგნით ელექტრული ველის გაჩენის შემდეგ თავისუფალ ელექტრონებზე მოქმედებს ველის დაძაბულობის ვექტორის საწინააღმდეგოდ მიმართული ელექტრული ძალა $\vec{F} = e\vec{E}$. *ეს ძალა ელექტრონების ქაოსურ მოძრაობას მოწესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობად გარდაქმნის. ამავე დროს კრისტალური მესრის კვანძებში განლაგებულ დადებით იონებთან დაჯახებები ამუხრუჭებს ელექტრონების მოძრაობას. ამ ორი ძალის მოქმედების შედეგად თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე უცვლელი რჩება – მეტალში მუდმივი ელექტრული დენი აღიძვრება. მაგრამ ფრანგი მეცნიერის ამპერის შემოთავაზებით, 1820 წლიდან ელექტრული დენის მიმართულებად მიღებულია დადებითი მუხტების მოძრაობის მიმართულება (ანუ გარე ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება).*



მეტალებში ელექტრული დენის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეებია დენის ძალა და დენის სიმკვრივე.

• *დენის ძალას კალარული ფიზიკური სიდიდეა და რიცხობრივად გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გასული მუხტის ტოლია.* თუ Δt დროში გამტარის განივკვეთში Δq მუხტმა გაიარა, დენის ძალა გამტარში იქნება:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = q'(t). \qquad (2)$$

ე.ი. დენის ძალა ელექტრული მუხტის დროით წარმოებულის ტოლია.

• *ელექტრულ დენს მუდმივი ეწოდება, თუ დროის განმავლობაში დენის ძალის რიცხვითი მნიშვნელობა და მიმართულება არ იცვლება:*

$$I = \frac{q}{t}. \qquad (3)$$

SI სისტემაში დენის ძალის საზომი ერთეულია ამპერი: $[I] = 1$ ა.

დენის ძალის საზომი ერთეულის განსაზღვრება მიღებულია ელექტრული დენის მაგნიტური მოქმედებიდან:

• 1 ამპერი არის მუდმივი ელექტრული დენის ძალა, რომელიც ერთმანეთისგან 1 მეტრით დაშორებული ორი პარალელური, სწორი, უსასრულოდ გრძელი წვრილი სადენიდან თითოეულში გავლისას სადენის ყოველ 1 მეტრის სიგრძის მონაკვეთზე იწვევს $2 \cdot 10^{-7}$ ნ ურთიერთქმედების ძალას.

დენის ძალის სიდიდე დამოკიდებულია ნაწილაკების მუხტზე (q_0), გამტარში ნაწილაკების კონცენტრაციაზე, ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარესა და გამტარის განივკვეთის ფართობზე:

$$I = q_0 n \upsilon S. \qquad (4)$$

რადგან მეტალებში მუხტის გადამტანები თავისუფალი ელექტრონებია (e), (4) გამოსახულებას მეტალებისთვის შემდეგი სახე ექნება: $I = en\upsilon S$. (5)

LAYTHO

• *დენის სიმკვრივე ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად დენის ძალის გამტარის განივკვეთის ფართობთან შეფარდების ტოლია:*

$$j = \frac{I}{S}. \qquad (6)$$

დენის სიმკვრივე ვექტორული სიდიდეა და მისი მიმართულება გამტარში გამავალი დენის მიმართულებას ემთხვევა. SI სისტემაში დენის სიმკვრივის საზომი ერთეულია ამპერი შეფარდებული კვადრატულ მეტრთან: $[j] = 1\frac{ა}{მ^2}$.

თუ (5) გამოსახულებას (6) გამოსახულებაში გავითვალისწინებთ, მივიღებთ მეტალის გამტარში დენის სიმკვრივის გამოსათვლელ ფორმულას:

$$\boldsymbol{j = enυ}. \qquad (7)$$

გამოყენება — კვლევითი სამუშაო 2

რის ტოლია ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე მეტალის გამტარში?

ამოცანა 2. მეტალის გამტარში, რომლის განივკვეთის ფართობი 0,5 სმ^2-ია გადის 12 ა დენი. გამოთვალეთ თავისუფალი ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე, თუ გამტარში ელექტრონების კონცენტრაციაა $5 \cdot 10^{21}\,სმ^{-3}$ (ელექტრონის მუხტი $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,კ$).

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რომელი ფორმულით გამოთვალეთ თავისუფალი ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე?
- რა მიზეზით არის მეტალებში თავისუფალი ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე ძალიან მცირე სიდიდე?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ალბათ, მიაქცევდით ყურადღებას, იმ წრედში ჩართვისას ყველა მომხმარებელი მომენტალურად იწყებს მუშაობას – ნათურა ინთება, კომპიუტერი, გამათბობელი და სხვ. მყისიერად იწყებს მუშაობას.

- რა სიჩქარით ვრცელდება ელექტრული დენი ჩაკეტილ წრედში?
- შეიძლება თუ არა იმის თქმა რომ წრედში დენის გავრცელების სიჩქარე დათავისუფალი ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე ერთნაირია?
- რას ნიშნავს გამტარში დენის გავლა?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	ნათურაში გამავალი დენის ძალა 0,5 ა-ია. რამდენი ელექტრონი გადის ვარვარების ძაფის განივკვეთში 1 წმ-ში ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,კ$)?			
2	სარეცხი მანქანის ძრავას წრედში 12 ა დენი გადის. გამოთვალეთ მუხტის სიდიდე, რომელიც ძრავში გაივლის 1 სთ-ის განმავლობაში.			
3	თავისუფალი ელექტრონების გარდა კიდევ რომელი დამუხტული ნაწილაკებია მეტალებში? სად არის ისინი განლაგებული? ა) ატომები; განლაგებულია კრისტალური მესრის კვანძებში. ბ) უარყოფითი იონები; განლაგებულია კრისტალური მესრის კვანძებში. გ) დადებითი იონები; განლაგებულია კრისტალური მესრის კვანძებში. დ) დადებითი და უარყოფითი იონები; განლაგებულია კრისტალური მესრის კვანძებში. ე) უარყოფითი იონები; განლაგებულია თითოეულისთვის განსაზღვრულ უცვლელ ადგილებში.			

LAYLNE

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში ჩაწერეთ „მეტალების ელექტრონული გამტარობის თეორიის ძირითადი დებულებები“. შემდეგი ცნებების განმარტებები: „ელექტროგამტარობა“, „კუთრი გამტარობა“, „დენის ძალა“, „დენის სიმკვრივე“.

2.2. ომის კანონი წრედის უბნისათვის. წინაღობა. გეგამტარობა

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 8 და 9

გამტარის ელექტრული წინაღობა R გამტარის ძირითადი მახასიათებელია. SI სისტემაში წინაღიბის საზომი ერთეულია ომი: $[R] = \frac{[U]}{[I]} = 1\frac{ვ}{ა} = 1$ *ომი.*

•გამტარის წინაღობა დამოკიდებულია მის სიგრძეზე, განივკვეთის ფართობსა და მასალაზე, რომლისგანაც დამზადებულია გამტარი: $R = \frac{l}{S}\rho$, სადაც ρ გამტარის კუთრი წინაღობაა.

•კუთრი წინაღობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად 1 მ სიგრძის და 1 მ^2 განივკვეთის მოცემული მასალის გამტარის წინაღობის ტოლია. გამტარის კუთრი წინაღობა დამოკიდებულია მასალაზე, რომლისგანაც დამზადებულია გამტარი და SI სიტემაში მისი საზომი ერთეულია ომი გამრავლებული მეტრზე:

$[\rho] = \frac{[S]}{[l]} \cdot [R] = 1\frac{მ^2}{მ} \cdot$ ***ომი*** $= 1$*ომი* $\cdot$ *მ.*

• მეტალის გამტარის წინაღობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. ტემპერატურის მცირე ინტერვალში ცვლილებისას გამტარის წინაღობა წრფივადაა დამოკიდებული ტემპერატურაზე: $R = R_0(1 + \alpha\Delta t)$ ან $R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$.

α წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტია.

• წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი რიცხობრივად გამტარის წინაღობის ფარდობითი ცვლილების ტოლია მისი ტემპერატურის 1^0 C-ით (ან 1K-ით) ცვლილებისას: $\alpha = \frac{R-R_0}{R_0\Delta t} = \frac{R-R_0}{R_0\Delta T}$.

სუფთა მეტალებისთვის წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი $\alpha > 0$. სხვადასხვა მეტალებისთვის ალფას განსხვავებული მნიშვნელობა აქვს.

• ტემპერატურას, რომელზეც გამტარის წინაღობა 0-მდე მცირდება, კრიტიკული ტემპერატურა ეწოდება. ამ დროს გამტარი ზეგამტარი ხდება.

ერთ-ერთი თანამედროვე სამედიცინო სადიაგნოსტიკო ხელსაწყოა ზეგამტარი კვანტური ინტერფერომეტრი. ეს ხელსაწყო ადამიანის ტვინის მაგნიტოენცეფალოგრამას იღებს.

ეს ტექნოლოგია სუსტი მაგნიტური ველების პარამეტრებს ზომავს, რომლებიც ტვინის ნეირონების ურთიერთქმედების დროს წარმოიქმნება და მათი ვიზუალიზაციის საშუალებას იძლევა. ამით შესაძლებელი ხდება ტვინის დაავადების მიზეზის და ავადმყოფობის განვითარების სტადიის გარკვევა.

- ***რით განსხვავდება ზეგამტარი ჩვეულებრივი გამტარისგან?***
- ***რატომ ამზადებენ მგრძნობიარე ხელსაწყოების ძირითად ნაწილებს ზეგამტარებისგან?***

LAYİHƏ

კვლევითი სამუშაო

რაზეა დამოკიდებული მეტალის გამტარის წინაღობა?

***ამოცანა* 1.** გამათბობლის ძირითადი ნაწილია გამტარი, რომელიც სპეციალურად შერჩეული მეტალების შენადნობისგანაა დამზადებული. როგორ გამტარებს არჩევენ გამათბობლის დასამზადებლად:

ბ) დიდი თუ მცირე სითბოტევადობის გამტარებს?

ბ) დიდი თუ მცირე სიგრძის გამტარებს?

გ) დიდი თუ მცირე განივკვეთის გამტარებს?

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

• რაზეა დამოკიდებული გამტარის წინაღობა და კუთრი წინაღობა?

ომის კანონი წრედის უბნისათვის. გამტარში ელექტრული დენის წარმოქმნის აუცილებელი პირობაა მის ბოლოებზე პოტენციალთა სხვაობის არსებობა. პოტენციალთა სხვაობა (ელექტრული ძაბვა) წრედის ნებისმიერი უბნის ბოლოებზე წრედის ამ უბანზე 1 კ მუხტის გადასაადგილებლად საჭირო მუშაობის ტოლია:

$$U = \frac{A}{q}. \qquad (1)$$

წრედის უბანში გამავალი დენის ძალის სიდიდე უბნის ბოლოებზე არსებულ ძაბვაზეა დამოკიდებული. ეს დამოკიდებულება 1827 წელს ექსპერიმენტულად დაადგინა გერმანელმა მეცნიერმა გეორგ ომმა (1787 – 1854) და მას ***ომის კანონი*** ეწოდება:

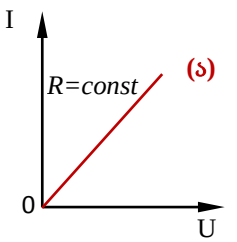
• *წრედის გარკვეულ უბანზე დამავალი დენის ძალა უბნის ბოლოებზე არსებული ძაბვის პირდაპირპროპორციულია და ამ უბნის წინაღობის უკუპროპორციული:*

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (2)$$

გამტარში გამავალი დენის ძალის დამოკიდებულებას გამტარის ბოლოებზე არსებულ ძაბვაზე გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ეწოდება. მეტალის გამტარების ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი წრფეა, რომელიც კოორდინატთა სათავეზე გადის ***(ა)****.*

• *წრედის უბნის წინაღობის ნამრავლს მასში გამავალ დენის ძალაზე ამ უბანზე ძაბვის ვარდნა ეწოდება:*

$$U = IR. \qquad (3)$$



აქ R სადენის წინაღობა და მისი ერთ-ერთი ძირითადი მახასიათებელია. მოცემული სადენის წინაღობას განსაზღვრული მნიშვნელობა აქვს, რომელიც არ არის დამოკიდებული დენის ძალასა და სადენის ბოლოებზე არსებულ ძაბვაზე.

• *მეტალის გამტარის წინაღობა დამოკიდებულია მასალაზე (ნივთიერებაზე), რომლისგანაც ის არის დამზადებული, მის გეომეტრიულ ზომებსა და ტემპერატურაზე:*

$$R = \rho\frac{l}{S}. \qquad (4)$$

გამტარის წინაღობას ზომავენ ხელსაწყოთი რომელსაც ომმეტრი ეწოდება ***(ბ)****. ხელსაწყოზე წინაღობა აღნიშნულია* **Ω**-*თი (ომეგათი) ასოთი. წინაღობის გასაზომად საკმარისია, ხელსაწყოს სადენებით შევეხოთ მეტალის გამტარის ბოლოებს, რომლის წინაღობაც გვაინტერესებს.*

მეტალების წინაღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. ელექტრული წინაღობა გამტარის მახასიათებელია, რომელიც გამოხატავს გამტარის უნარს წინააღმდეგობა გაუწიოს მასში ელექტრული დენის გავლას. კლასიკური ელექტრონული თეორიის მიხედვით, მეტალის გამტარის წინაღობის არსებობა გამოწვეულია თავისუფალი

LAXTIE

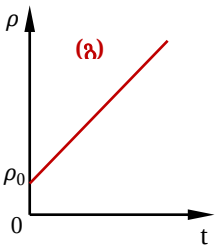
ელექტრონების დაჯახებით დადებით იონებთან, რომლებიც რხევით მოძრაობას ასრულებენ კრისტალური მესრის კვანძებში. გამტარის ტემპერატურის მატებასთან ერთად მცირდება დრო, რომელიც თავისუფალ ელექტრონს თავისუფალი განარბენის (იონებთან ორ მომდევნო დაჯახებას შორის მანძილი) ტოლი მანძილის გასავლელად სჭირდება, ხოლო იონების რხევის ამპლიტუდა იზრდება. ამიტომ იზრდება იონებთან ელექტრონების დაჯახებების რიცხვი. ამასთან ერთად თითქმის ნულამდე მცირდება ელექტრონების სიჩქარე, რომლებმაც თავის კინეტიკური ენერგია იონებს გადასცეს. ეს კი იწვევს გამტარის წინაღობის გაზრდას.

ცდებით დადგენილია, რომ მეტალის გამტარის ფარდობითი წინაღობა მისი ტემპერატურის ცვლილების პროპორციულია:

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha \Delta T, \qquad (5)$$

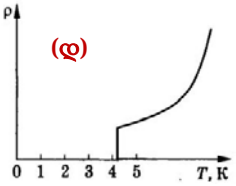
$$R = R_0(1 + \alpha \Delta T). \qquad (6)$$

R_0 გამტარის წინაღობაა $273K$-ზე (0°C), R – გამტარის წინაღობაა T ტემპერატურაზე, α – წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი.



• *წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი რიცხობრივად გამტარის წინაღობის ფარდობითი ცვლილების ტოლია მისი ტემპერატურის $1K$ (1°C)-ით ცვლილების დროს. გამტარის გათბობის დროს მისი გეომეტრიული ზომები უმნიშვნელოდ იცვლება, ამიტომ ეს ცვლილება შეგვიძლია არ გავითვალისწინოთ. (4) ფორმულის გათვალისწინებით (6)-დან მივიღებთ, როომ მეტალის გამტარის კუთრი წინაღობა წრფივად არის ტემპერატურაზე დამოკიდებული **(გ)**:*

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta T). \qquad (7)$$



ზეგამტარობა. 1911 წელს, როდესაც სუფთა (მინარევების გარეშე) ვერცხლისწყალს თხევადი ჰელიუმით აცივებდა, ჰოლანდიელმა ფიზიკოსმა ჰ. კამერლინგ-ონესმა აღმოაჩინა, რომ ვერცხლისწყლის კუთრი წინაღობა თანდათან მცირდება, ხოლო 4,1 K ტემპერატურის მიღწევის შემდეგ მკვეთრად ეცემა ნულამდე **(დ)**. ამ მოვლენას *ზეგამტარობა* უწოდეს. მიღწევებისთვის 1913 წელს კამერლინგ-ონესს ნობელის პრემია მიენიჭა.

• ***ზეგამტარობა*** *ზოგიერთი ნივთიერების თვისებაა – გარკვეულ ტემპერატურაზე დაბალი ტემპერატურის დროს მათი კუთრი გამტარობა უსასრულოდ იზრდება. ამ ტემპერატურას* ***კრიტიკული ტემპერატურა*** *ეწოდება.*

1986 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა იოჰანეს ბედნორცმა (1950 წ.) და შვეიცარიელმა ფიზიკოსმა კარლ მიულერმა (1927 წ.) აღმოაჩინეს, რომ კერამიკა, რომლის შემადგენლობაში შედის სპილენძის ჟანგეულები, ლანთანი და ბარიუმი, ზეგამტარ მდგომარეობაში გადადის 30 K ტემპერატურაზე. მაღალტემპერატურული გამტარობის შესწავლაში მიღწევებისათვის 1987 წელს მათ ნობელის პრემია მიენიჭათ. დღეს სხვადასხვა მინარევების შემცველი კერამიკის ზეგამტარობა უფრო მაღალ ტემპერატურებზეა შესაძლებელი (100 K ÷ 169 K). მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შემდეგ ზეგამტარების ბევრი არაჩვეულებრივი თვისება აღმოაჩინეს. მაგალითად, თუ ელექტრომაგნიტში, რომელიც ზეგამტარი კერამიკისგან არის დამზადებული, დენის წყაროს საშუალებით ელექტრული დენს აღვძრავთ, დენის ძალა ელექტრომაგნიტში ხანგრძლივად დარჩება უცვლელი დენის წყაროს გამორთვის შემდეგაც. ამ ელექტრომაგნიტში დენის გავლის დროს სითბო არ გამოიყოფა (ზეგამტარებში დენის სითბური გამოვლინება არ ხდება), ამიტომ მათ შეუძლიათ ძლიერი მაგნიტური ველის შენარჩუნება დიდი ხნის განმავლობაში. ზეგამტარები გამოიყენება ელემენტარული დამუხტული ნაწილაკების ამაჩქარებლებში, მაღალტემპერატურული პლაზმის მართვაში და სხვ.

LAMTIS

გამოყენება

კვლევითი საამუშაო 2

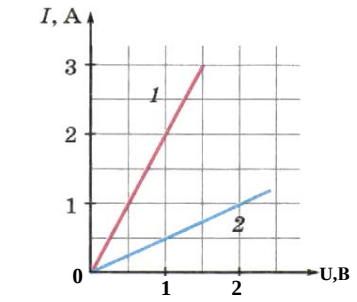
შეადარეთ გამტარების კუთრი ელექტროგამტარობები

ამოცანა2. ნახატზე წარმოდგენილია ორი გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები. ამ გრაფიკების მიხედვით განსაზღვრეთ:

ა) რომელი გამტარის წინაღობაა მეტი?

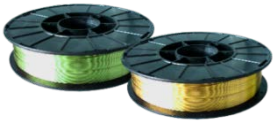
ბ) გამოთვალეთ თითოეული გამტარის წინაღობა;

გ) შეადარეთ გამტარების კუთრი წინაღობები.



სამუშაოს შედეგების განხილვა:

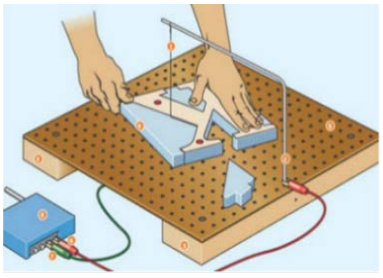
- როგორ შეგვიძლია ავხსნათ გამტარის წინაღობის არსებობის ფიზიკური მექანიზმი კლასიკური ელექტრონული თეორიის მიხედვით?
- რომელ გამტარს აქვს მეტი კუთრი წინაღობა? რატომ?



■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ქაფპლასტის საჭრელ მოწყობილობაში გარკვეული თვისებების მეტალის მავთულის გამოყენებაა საჭირო. გასარკვევია, მავთულის ორი კოჭადან რომელი გამოვიყენოთ საჭრელის დასამზადებლად.

თქვენს განკარგულებაშია: სახაზავი, მიკრომეტრი, ომმეტრი.



- როგორი მასალის მავთული უნდა გამოვიყენოთ ქაფპლასტის საჭრელის დასამზადებლად?
- როგორ შეიძლება, გავარკვიოთ რომელი მასალისგანაა დამზადებული მავთული?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	შეიძლება თუ არა $R = \frac{U}{I}$ ფორმულის საფუძველზე ვთქვათ, რომ გამტარის ელექტრული წინაღობა მის ბოლოებზე არსებული ძაბვის პროპორციული და მასში გამავალი დენის ძალის უკუპროპორციულია?			
2	ტემპერატურის კლების დროს რატომ იზრდება მეტალის გამტარების კუთრი გამტარობა, კუთრი წინაღობა კი მცირდება?			
3	სპილენძის გამტარის სიგრძე 8 მ-ია, მასა – 89 გ. რის ტოლია ამ გამტარის წინაღობა (სპილენძის სიმკვრივეა $8{,}9 \cdot 10^3$ კგ/მ^3; კუთრი წინაღობა – $1{,}8\ 10^{-8}$ ომი·მ)?			

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში ჩაწერეთ შემდეგი ცნებებისა და გამოთქმების განმარტებები: „ომის კანონი წრედის უბნისათვის“, „ძაბვის ვარდნა“, „მეტალის გამტარის წინაღობა“, „კუთრი წინაღობა“, „ზეგამტარობა“.

LAYiNG

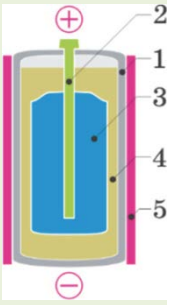
2.3. ელექტრომამოძრავებელი ძალა. ომის კანონი სრული წრედისათვის

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 8

ელექტრული დენის ხანგრძლივად არსებობისათვის აუცილებელია, მუდმივად შევინარჩუნოთ პოტენციალთა სხვაობა გამტარის ბოლოებზე: აუცილებელია, უწყვეტად ხდებოდეს მუხტების დაგროვება გამტარის ბოლოებზე. ამ მიზნით იყენებენ მოწყობილობას, რომელსაც დენის წყარო ან გენერატორი ეწოდება.

- დენის წყაროებში ხდება მუხტების განცალკევება (გაყოფა): დადებითი მუხტების ერთ პოლუსზე გროვდება, უარყოფითი – დენის წყაროს მეორე პოლუსზე.
- დენის წყაროს, რომლის მუშაობა ქიმიურ რეაქციას ეფუძნება *გალვანური ელემენტი* ეწოდება. მას სახელი იტალიელი ბიოლოგის ლუიჯი გალვანის პატივსაცემად ეწოდა: ცხოველებზე ცდების ჩატარების დროს მან კუნთების შეკუმშვისას, დენის იმპულსები აღმოაჩინა.



თანამედროვე მშრალი გალვანური ელემენტი წარმოადგენს თუთიის ჭურჭელს (1) რომელშიც ნახშირის ღერია (2) ჩაშვებული. ნახშირის ღერი მოთავსებულია ტილოს ტომრაში (3) რომელიც მანგანუმის ჟანგისა და ნახშირის ნარევით არის შევსებული. ტომარის ირგვლივ ფქვილისა და ნიშადურის წებოვანი ნარევია (4). თუთიის ჭურჭელი, შიგთავსთან ერთად, მოთავსებულია მუყაოს ყუთში (5) და ზედაპირი ფისის ფენით აქვს დაფარული. ელემენტის შიგნით ქიმიური რეაქციის შედეგად ნახშირის ღერი დადებითად იმუხტება, თუთიის ჭურჭელი – უარყოფითად.

ელექტრულ წრედებს სხვადასხვა საჭირო ელემენტისგან აწყობენ: ა) დენის წყარო; ბ) ენერგიის მომხმარებელი (ნათურა, ელექტროზარი, ელექტროძრავა, ტელევიზორი და სხვ.); გ) ჩამრთველი (ჩამრთველი და გამომრთველი მოწყობილობა); დ) ელექტრული გამზომი ხელსაწყოები (ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი და სხვ.) ე) შემაერთებელი გამტარები.

▶წრედში დენის გავლის დროს იკარგება ენერგია, რომელიც სითბოს სახით გამოიყოფა. ამის მიუხედავად, დენი გამტარში უწყვეტად გადის. ეს ნიშნავს, რომ წრედში ენერგიის გარედან შევსება ხდება.

- *შეიძლება თუ არა რომ ენერგიის წყარო იყოს ელექტროსტატიკური ველი?*

▶ერთ-ერთი ტელეარხით შემდეგი ინფორმაცია გადმოსცეს: „...სოფლის ერთ-ერთი მცხოვრების სახლში ხანძარმა მთელი ქონება გაანადგურა. მსხვერპლი არ არის. განსაკუთრებულ სიტუაციათა სამინისტროს ანგარიშში ხანძრის მიზეზად დასახელებულია მოკლე ჩართვა, რომელიც თვითნაკეთმა გამათბობელმა გამოიწვია“.

- *რა არის მოკლე ჩართვა?*
- *რატომ ხდება მოკლე ჩართვა ხანძრის მიზეზი?*

კვლევითი სამუშაო 1 ***რა „როლს“ ასრულებს ბატარეა წრედში?***

ამოცანა 1. გავრცელებული ბატარეების უმრავლესობას აქვს წარწერა 1,5 ვ. რას აღნიშნავს ეს წარწერა?

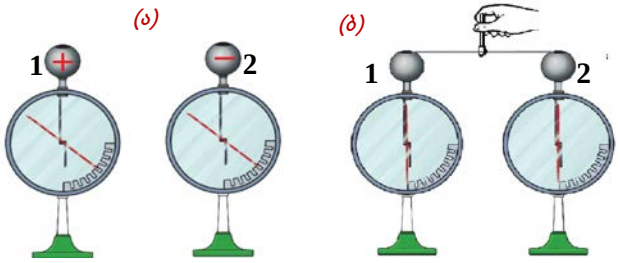
სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რას ნიშნავს ბატარეების მარკირება 1,5 ვ?
- რა „როლს“ ასრულებს ბატარეა (ან აკუმულატორი) ელექტრულ წრედში?

გარე ძალები. ორი ერთნაირი ელექტრომეტრის მეტალის სფეროები დავმუხტოთ სხვადასხვა ნიშნის მუხტით და და შევაერთოთ გამტარით (ა და ბ). ელექტრული ველი, რომელსაც სფეროებს შორის პოტენციალთა სხვაობა ქმნის, გამოიწვევს გამტარში

LAYOUT

თავისუფალი ელექტრონების მოწესრიგებულ მოძრაობას. შედეგად, გამტარში აღიძვრება და სწრაფად შეწყდება ელექტრული დენი – ელექტრომეტრები განი-მუხტება. ეს ნიშნავს, რომ სფეროებს შორის პოტენციალთა სხვაობა ნულის ტოლი გახდება, ელექტრული ველი გაქრება და გამტარში დენი შეწყდება.



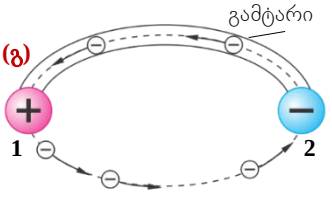
ელექტრული დენის ხანგრძლივად არსებობისთვის საჭიროა 1 და 2 სფეროებს შორის შევინარჩუნოთ პოტენციალთა სხვაობა. ამისთვის იყენებენ სპეციალურ მოწყობილობებს – დენის წყაროებს.

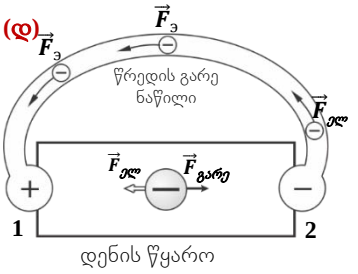
ელექტრული ველი თავისუფალ ელექტრონებს გადააადგილებს მხოლოდ წრედის დაბალი პოტენციალის ნაწილიდან მაღალი პოტენციალის ნაწილისკენ. დენის წყაროს ამოცანაა ამ ელექტრონების დაბრუნება წრედის დაბალი პოტენციალის ნაწილში (უარყოფით პოლუსზე) *(გ)*. ე.ი. დენის წყაროში თავისუფალმა ელექტრონებმა მათზე ელექტრული ველის მოქმედების საწინააღმდეგო მიმართულებით უნდა იმოძრაონ. ეს იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, თუ დენის წყაროში თავისუფალ ელექტრონებზე სხვა არაელექტროსტატიკური ბუნების ძალები მოქმედებენ.

- *ყველა ძალას, რომელიც ელექტრონულ ნაწილაკებზე მოქმედებდა არ არის ელექტროსტატიკური ბუნების,* ***გარე ძალა*** *ეწოდება.*
- ***დენის წყარო*** *მოწყობილობაა, რომელშიც აღიძვრება გარე ძალები, რომლებიც თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედებენ.*

გარე ძალა შეიძლება იყოს მაგნიტური წარმოშობის (ლორენცის ძალა), ქიმიური ბუნების (როგორც გალვანურ ელემენტში), სითბური ბუნების (თერმოელემენტში), სინათლის მოქმედებით აღძრული (ფოტოელემენტში) და სხვ.

აღვნიშნავთ, რომ წრედში დენის არსებობისთვის გარე ძალების აუცილებლობა გამომდინარეობს ენერგიის მუდმივობის კანონიდან. რადგან ელექტროსტატიკური ველი პოტენციური ველია – ამ ველის მუშაობა ჩაკეტილ წრედში დამუხტული ნაწილაკის გადაადგილებაზე ნულის ტოლია. წრედში დენის გავლას თან ახლავს ენერგიის კარგვა – ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად გამტარი თბება და გარემოში სითბოს გამოყოფს. ამიტომ დენის არსებობისთვის წრედში უნდა არსებობდეს ენერგიის სხვა წყარო, რომელიც ენერგიის დანაკარგს შეავსებს. გარე ძალების მუშაობა ჩაკეტილ წრედში მუხტის გადაადგილებაზე ნულის ტოლი არ უნდა იყოს. გარე ძალების მუშაობის შესრულების პროცესში მუხტის გადამტანები ენერგიას დენის წყაროს შიგნით იძენენ. წრედის დენის წყაროს პოლუსებთან შეერთების შემდეგ თავისუფალი ელექტრონები წრედში ელექტროსტატიკური ძალების მოქმედებით მოძრაობენ, ხოლო დენის წყაროს შიგნით მათ გარე ძალები ამოძრავებენ *(დ)*.





ელექტრომამოძრავებელი ძალა. თქვენ უკვე იცით, რომ ელექტრული დენის შესაქმნელად ელექტრული ველის მუშაობას ახასიათებს ფიზიკური სიდიდე, რომელსაც *ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა ეწოდება (იხილე თემა 1.9).* მუდმივი დენის წყაროებში გარე ძალების მუშაობა ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც ელექტრომამოძრავებელი ძალა ეწოდება.

LAYIHƏ

• *დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც შეკრულ წრედში მუხტის გადაადგილებაზე გარე ძალების მუშაობის ამ მუხტის სიდიდესთან შეფარდების ტოლია:*

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{გ.}}}{q}. \qquad (1)$$

ომის კანონი სრული წრედისთვის. ზემოთქმულიდან გამომდინარეობს, რომ შეკრულ წრედში მუდმივი დენის არსებობისთვის აუცილებელია წრედში დენის წყაროს არსებობა. შეკრული (ანუ სრული) წრედი შედგება ორი უბნისგან – გარე და შიდა. წრედის გარე უბანი შესაძლოა შედგებოდეს დენის მომხმარებლებისგან, შემაერთებელი გამტარებისგან და ელექტროგამზომი ხელსაწყოებისგან. წრედის შიდა უბანი დენის წყაროს შიგნითაა. წრედის გარე უბნის წინაღობას გარე წინაღობა ეწოდება ***(R),*** შიდა უბნის წინაღობას – შიდა წინაღობა ***(r).*** ამიტომ წრედის სრული წინაღობა ამ წინაღობების ჯამის ტოლია:

$$R_{\text{სრ}} = R + r. \qquad (2)$$

დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა წრედის გარე და შიდა უბნებზე ძაბვის ვარდნების ჯამის ტოლია:

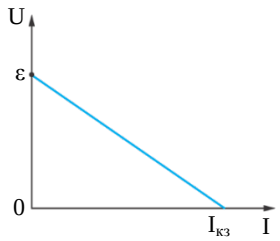
$$\mathcal{E} = IR + Ir. \qquad (3)$$

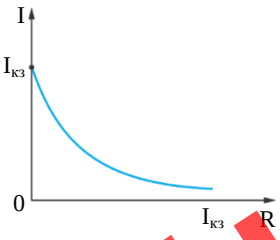
მე-(3) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \qquad (4)$$

მე-4) ფორმულა სრული (შეკრული) წრედისთვის ომის კანონის მათემატიკური გამოსახულებაა.

• *დენის ძალა სრულ წრედში პროპორციულია დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალის და უკუპროპორციულია წრედის სრული წინაღობის.*





ომის კანონი შეგვიძლია სხვა სახითაც ჩავწეროთ:

$$\mathcal{E} = U + Ir. \qquad (5)$$

აქ U ძაბვაა დენის წყაროს პოლუსებზე შეკრული წრედის დროს. თუ წრედი შეკრული არ არის, $(R \to \infty)$, მაშინ $I = 0$ და $U = \mathcal{E}$ *(ე)*.

ე.ი. დენის წყაროს ემძ-ს გასაზომად საჭიროა, ღია წრედში დენის წყაროს პოლუსებთან მივაერთოთ ვოლტმეტრი.

დენის წყაროს პოლუსების მოკლე ჩართვის დროს დენის ძალის სიდიდეს მხოლოდ დენის წყაროს შიდა წინაღობა განსაზღვრავს. ამიტომ ამ დენის ძალას მოკლე ***ჩართვის დენის ძალა*** *ეწოდება (იხილე ე):*

$$I_{\partial\text{ჩ}} = \frac{\mathcal{E}}{r}. \qquad (6)$$

რადგან დენის წყაროებს მცირე შიდა წინაღობა აქვთ, მოკლე ჩართვის დენმა შეიძლება ძალიან დიდი მნიშვნელობა მიიღოს და დენის წყაროს აალება და მწყობრიდან გამოსვლა გამოიწვიოს.

LAYİHƏ

მე-(5) გამოსახულებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ ძაბვის ვარდნა შეკრული წრედის გარე უბანზე:

$$U = \mathcal{E} - Ir. \qquad (7)$$

დენის სიმძლავრე წრედის გარე უბანზე (მას ზოგჯერ სასარგებლო სიმძლავრეს უწოდებენ):

$$P_{სასარგ} = IU = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R+r)^2}. \qquad (8)$$

როდესაც $R = r$, დენის სიმძლავრე, რომელიც წრედის გარეუბნის R წინაღობაზე გამოიყოფა, მაქსიმალური იქნება. წრედში გამოყოფილი სრული სიმძლავრე კი იქნება:

$$P_{სრ} = I\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}^2}{R+r}. \qquad (9)$$

წრედში გამოყოფილი სასარგებლო სიმძლავრის შეფარდებას სრულ სიმძლავრესთან მარგი ქმედების კოეფიციენტი ეწოდება (მქკ):

$$\eta = \frac{P_{სასარგ}}{P_{სრ}} \cdot 100\% = \frac{IU}{I\mathcal{E}} \cdot 100\% = \frac{U}{\mathcal{E}} \cdot 100\%$$

ან

$$\eta = \frac{R}{R+r} \cdot 100\%. \qquad (10)$$

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2

დაამტკიცეთ სრული წრედისთვის ომის კანონის მათემატიკური ფორმულის სამართლიანობა.

ამოცანა 2. დაამტკიცეთ, რომ დენის ძალა სრულ წრედში გამოითვლება ფორმულით $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$.

მითითება. *1. გაითვალისწინეთ, რომ სრულ წრედში დენის გავლის დროს წრედის გარე და შიდა უბნებზე ჯოულ-ლენცის სითბო გამოიყოფა. 2. დაწერეთ ჯოულ-ლენცის ფორმულა სრული წრედის ორივე უბნისთვის და ენერგიის მუდმივობის კანონი სრული წრედისთვის.*

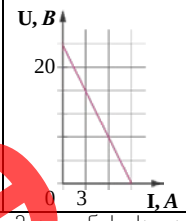
სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რით განსხვავდება ომის კანონები სრული წრედისა და წრედის უბნისთვის?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

- ბატარეის პოლუსების შემაერთებელი სპილენძის გამტარი მომენტალურად თბება, ხოლო ბატარეა გამოუსადეგარი ხდება. რატომ?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები		ვიცი		
			ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	ნახატზე მოცემულია დენის წყაროს $U(I)$ დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ: ა) დენის წყაროს ემძ; ბ) მოკლე ჩართვის დენის ძალა; გ) დენის წყაროს შიდა წინაღობა; დ) გარე წრედის წინაღობა, თუ დენის ძალა 4 ა-ია.				
2	როდესაც გარე წრედის წინაღობა 3 ომია, დენის ძალა წრედში 2 ა-ია, როდესაც გარე წრედის წინაღობა 6 ომია დენის ძალა წრედში 1,5 ა-ია. განსაზღვრეთ: ა) დენის წყაროს შიდა წინაღობა; ბ) დენის წყაროს ემძ.				

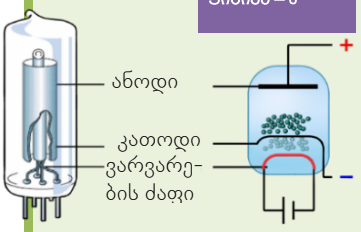
რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში ჩაწერეთ შემდეგი ცნებების განმარტებები: „ომის კანონი სრული წრედისთვის“, „გარე ძალები“, „დენის წყარო“, „მოკლე ჩართვის დენის ძალა“, „შეკრული წრედის ემძ“, „სრული წრედის მქკ“.

LAYTHA

2.4. ელექტრული დენი ვაკუუმში

• გაიხსენეთ განვლილი მასალ •

ფიზიკა – 6



• *გავარვარებული მეტალიდან ელექტრონების ამოფრქვევას* ***თერმოელექტრონული ემისია*** *ეწოდება.*

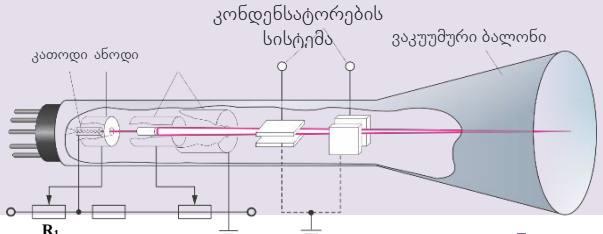
თუ შეკრულ ჭრეფში ჩავრთავთ მოწყობილობას რომელშიც თერმოელექტრონული ემისია ხდება და მეტალიდან ამოფრქვეულ ელექტრონებს მოწესრიგებულად, გარკვეული მიმართულებით ავამოძრავებთ, ეს მოწყობილობა უზრუნველყოფს წრედში დენის გამტარობას მხოლოდ ერთი მიმართულებით.

• *ვაკუუმურ ბალონს, რომელშიც განთავსებულია ორი ელექტროდი – კათოდი და ანოდი და რომლის მუშაობაც დაფუძნებულია თერმოელექტრული ემისიის მოვლენაზე,* ***ორელექტროდიანი ელექტრონული მილაკი*** *ან* ***ვაკუუმური დიოდი*** *ეწოდება.*

• *ვაკუუმური დიოდის ძირითადი თვისება ის არის, რომ მასში ელექტრონებს მხოლოდ ერთი მიმართულებით – კათოდიდან ანოდისკენ შეუძლიათ გადაადგილება. ელექტრონები, რომლებიც გაცხელებული კათოდის ზედაპირიდან ამოიფრქვევა, მის ირგვლივ ელექტრონულ ღრუბელს ქმნიან. თუ კათოდს დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან მივაერთებთ, ხოლო ანოდს – დადებით პოლუსთან, ელექტრული ველის მოქმედებით, რომელიც ამ ელექტროდებს შორის აღიძვრება, კათოდიდან ამოფრქვეული ელექტრონები ანოდისკენ მოძრაობას დაიწყებენ. როდესაც ისინი ანოდს მიაღწევენ, წრედი შეიკვრება და მასში დენი გაივლის.*

• *ვაკუუმურ მოწყობილობას, რომელიც აჩქარებული ელექტრონების ვიწრო კონის მართვით ელექტრულ სიგნალს ხილულ გამოსახულებად გარდაქმნის ელექტრონულ-სხივური მილაკი ეწოდება.*

ელექტრონულ-სხივური მილაკი დიდი ხნის განმავლობაში იყო კომპიუტერების, ელექტრონული მიკროსკოპის, ტელევიზორისა და სხვა ხელსაწყოების მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილი.



- ***რას წარმოადგენს ვაკუუმი?***
- ***ვაკუუმი ადამიანის „მტერია“ თუ „მოყვარე“? პასუხი დაასაბუთეთ მაგალითებით.***

■ ქალაქ ლივერმორის (აშშ, კალიფორნიის შტატი) ერთ-ერთ სახანძრო ნაწილში ანთია ნათურა, რომელიც გინესის რეკორდების წიგნში მოხვდა. მისი სიმძლავრე 4 ვტ-ია. ნათურა ანათებს 1901 წლიდან დღემდე *(ა)*.

- ***როგორ ფიქრობთ, რა არის ნათურის ისეთი „გამძლეობის“ მიზეზი?***
- ***შეუძლია თუ არა ნათურას ნათება, თუ მისი ვარვარების ძაფი დაზიანებული არ არის, მაგრამ გატეხილია მისი ბალონი (ბ)? რატომ?***

LAYOUT

კვლევითი სამუშაო 11 ***დაასრულეთ წინადადებები:***

საკვანძო სიტყვები:
წნევა;
თერმოელექტრონული ემისია;
კათოდი;
ვაკუუმი;
ელექტრული მუხტის გადამტანები;
უარყოფითი;
დადებითი;
ელექტრული დენი;
ორელექტროდიანი;
მუდმივი დენი;
გაიშვიათებული;
ანოდი;
ვაკუუმური დიოდი.

ამოცანა 1. გამოიყენეთ შეძენილი ცოდნა, გამოტოვებულ ადგილებში ჩაწერეთ საკვანძო სიტყვები და დაას-რულეთ წინადადებები:

უმარტივესი ლამპა, რომლის მოქმედება _____ მოვლენაზეა დაფუძნებული, ელექტრონული ლამპა ან _____-ია. ვაკუუმური დიოდი არის მინის (ან კერამიკის) ბალონი, რომელშიც ჰაერის _____ 10^{-6} – 10^{-7} მმ. ვწყ. სვ-ია. მასში განთავსებულია ორი ელექტროდი _____ და _____ თუ კათოდს დენის წყაროს _____ პოლუსს მივაერთებთ, ხოლო ანოდს _____ პოლუსს, დიოდი უზრუნველყოფს წრედში მხოლოდ ერთი მიმართულების _____ გავლას. ამგვარად ვაკუუმში არის _____ ელექტრონები.

სამუშაოს შედეგების განხილვა.

• რატომ ატარებს ვაკუუმური დიოდი დენს მხოლოდ ერთი მიმართულებით?

ვაკუუმის ელექტროგამტარობა. *ვაკუუმი (ლათინური სიტყვა: „vakuus“ – ცარიელი) არის სივრცე, სადაც არ არის ნივთიერების ნაწილაკები, ან მათი კონცენტრაცია იმდენად მცირეა, რომ მოძრაობის დროს ნაწილაკები ერთმანეთს არ ეჯახება.*

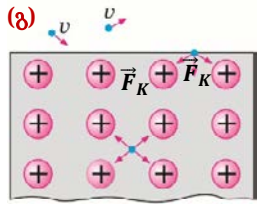
• *ტექნიკასა და გამოყენებით ფიზიკაში ვაკუუმი არის გაიშვიათებული გარემო, რომელშიც წნევა ატმოსფერულ წნევაზე მრავალჯერ ნაკლებია.*

ვაკუუმურ კამერაში (ჭურჭელში, რომელშიც ვაკუუმს ქმნიან) აირის მოლეკულების თავისუფალი განარბენის სიგრძე (საშუალო მანძილი, რომელსაც ნაწილაკი გადის ერთი დაჯახებიდან მეორემდე) კამერის ზომებზე ან ვაკუუმური კამერის ელექტროდებს შორის მანძილზე მეტია. ამიტომ შეიძლება ითქვას, რომ ვაკუუმურ კამერაში აირის მოლეკულები ერთმანეთს არ ეჯახება. ისინი კამერის კედლებს ან ელექტროდებს ეჯახება.

ვაკუუმი იდეალური დიელექტრიკია (ანუელექტრულ დენს არ ატარებს), რადგან მასში არ არის გარემოს ნაწილაკები, შესაბამისად არ არის არც მუხტის თავისუფალი გადამტანები.

იმისათვის, რომ ვაკუუმში ელექტრული დენი აღიძრას, საჭიროა, ხელოვნურად შევიტანოთ მასში თავისუფალი მუხტის გადამტანები და შევქმნათ ელექტრული ველი. თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების წყაროდ შეიძლება გამოვიყენოთ მეტალები. იმისათვის, რომ ელექტრონმა მეტალი დატოვოს და ვაკუუმში გადავიდეს, კრისტალის მესერში არსებულ დადებით იონებთან კულონური მიზიდულობის ძალა უნდა დაძლიოს ***(გ)***. ამისთვის საჭიროა მუშაობის შესრულება, რომელსაც *გამოსვლის მუშაობა* ეწოდება.

(გ)



• *გამოსვლის მუშაობა ($A_{გამ}$) მინიმალური ენერგიის ტოლია, რომელიც უნდა გააჩნდეს ელექტრონს მეტალიდან ვაკუუმში გადასვლისთვის. გამოსვლის მუშაობის სიდიდე დამოკიდებულია მხოლოდ მეტალის ბუნებაზე (ანუ რომელი მეტალია). მეტალიდან გამოსვლა შეუძლიათ ელექტრონებს, რომელთა კინეტიკური ენერგიაა:*

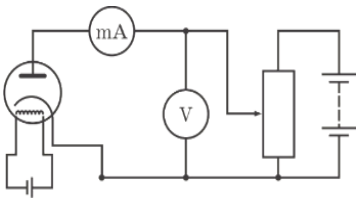
$$\frac{m_e \upsilon^2}{2} \geq A_{გამ} (1)$$

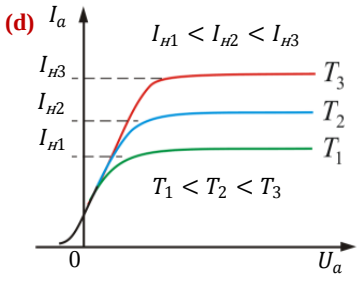
• *მეტალიდან ელექტრონების ამოფრქვევის მოვლენას ელექტრონული ემისია ეწოდება.*

იონებთან განუწყვეტელი ურთიერთქმედების გამო თავისუფალ ელექტრონებს არ აქვთ მეტალიდან გამოსვლისთვის საკმარისი კინეტიკური ენერგია.

ელექტრონების ენერგიის გაზრდა შესაძლებელია მათთვის დამატებითი ენერგიის გადაცემით. ამის გაკეთება სხვადასხვა ხერხით არის შესაძლებელი, მაგალითად, მეტა-

LAYiHO





ლის მაღალ ტემპერატურამდე გაცხელებით ან მეტალის ზედაპირის დასხივებით ხილული, ულტრაიისფერი ან სხვა სხივებით. მეტალის მაღალ ტემპერატურამდე გაცხელების დროს მისი თავისუფალი ელექტრონების კინეტიკური ენერგია იზრდება და გარკვეულ ტემპერატურაზე ელექტრონები მეტალიდან ამოსვლას იწყებენ – იწყება *თერმოელექტრონული ემისია.* ვაკუუმური დიოდის, ელექტრონულ-სხივური მილაკის, რენტგენის მილაკისა და სხვათა მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია თერმოელექტრონული ემისიის მოვლენაზე.

ვაკუუმური დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ელექტრონული მოწყობილობების ერთ-ერთი ძირითადი მახასიათებელია. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ ვაკუუმურ დიოდს არაწრფივი ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი აქვს ***(d)***. ამის მიზეზი შემდეგია: დიოდის ელექტროდებს შორის პოტენციალთა სხვაობის (ძაბვის) გაზრდისას, გარკვეულ ძაბვაზე, კათოდიდან ამოსული ყველა ელექტრონი აღწევს ანოდამდე. ძაბვის შემდგომი ზრდის მიუხედავად, დენის ძალა ანოდის წრედში აღარ იზრდება, ყალიბდება ე.წ. *გაჯერების დენი.* გაჯერების დენის ძალის სიდიდე დამოკიდებულია დროის ერთეულში კათოდიდან ამოსული ელექტრონების რაოდენობაზე:

$$I_{გაჯ} = \frac{eN}{t}. \qquad (2)$$

გაჯერების დენის ძალის სიდიდე დამოკიდებულია კათოდის ტემპერატურაზე: ტემპერატურის ზრდასთან ერთად იზრდება კათოდიდან დროის ერთეულში ამოსული ელექტრონების რაოდენობა და იზრდება გაჯერების დენი ძალა (იხ. ***დ***).

ელექტრონების კონა და მისი თვისებები. ელექტრონები, რომლებიც ვაკუუმური დიოდის გაცხელებული კათოდიდან ამოიფრქვა, კათოდსა და ანოდს შორის არსებული პოტენციალთა სხვაობის გამო აჩქარდება და ანოდისკენ მიემართება. ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, ელექტრონის კინეტიკური ენერგიის გასაზრდელად შესრულებული ველის მუშაობა ელექტრონის კინეტიკური ენერგიის ცვლილების ტოლია:

$$\frac{m_e \upsilon^2}{2} = e\left(\varphi_{ან} - \varphi_{კათ}\right) = eU. \qquad (3)$$

$\varphi_{ან}$ და $\varphi_{კათ}$ – შესაბამისად ანოდისა და კათოდის პოტენციალებია.

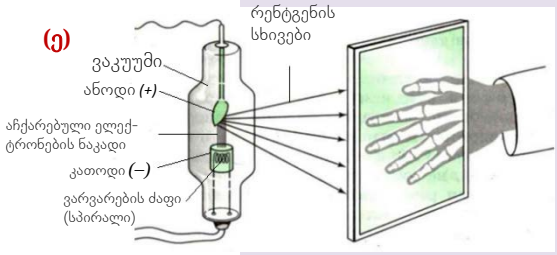
თუ ვაკუუმური დიოდის ანოდში ხვრელ გავაკეთებთს, ელექტრულ ველში აჩქარებული ელექტრონების ნაწილი ამ ხვრელში გავა და ელექტრონების კონას წარმოქმნის. ელექტრონების კონის თვისებები ექსპერიმენტულად არის შესწავლილი: *1) სხეულის ზედაპირზე მოხვედრისას ელექტრონების კონა ზედაპირს ათბობს; 2) მეტალის ზედაპირზე მოხვედრისას შეუძლია მეტალის ელექტრონების ამოგლეჯა; 3) ნივთიერებაში სწრაფი ელექტრონების კონის დამუხრუჭებისას წარმოიქმნება რენტგენის გამოსხივება; 4) ელექტრონების ნაკადით ზოგიერთი ნივთიერების მაგ. მინის, თუთიის და კადმიუმის სულფიდების და სხვ. დაბომბვისას ნივთიერებები ნათებას იწყებენ; 5) ელექტრულ ველში მოხვედრისას ელექტრონების კონები გავრცელების მიმართულებიდან იხრებიან; 6) მაგნიტური ველი იწვევს ელექტრონების კონის გადახრას.*

რენტგენის მილაკი. მინის მილაკში შექმნილია ვაკუუმი. მილაკში არსებული კათოდის ელექტროდის გაცხელება იწვევს მისი ზედაპირიდან ელექტრონების ამოფრქვევას (თერმოელექტრონულ ემისიას). კათოდიდან ამოფრქვეული ელექტრონები აჩქარდებიან ელექტრულ ველში, რომელიც შექმნილია მილაკის კათოდსა და ანოდს შორის, რომელთა შორის პოტენციალთა სხვაობა რამდენიმე ათეული კილოვოლტია. ანოდ-

LAVIRA

თან შეჯახების შემდეგ, ელექტრონები მკვეთრად მუხრუჭდებიან და ველში შეძენილი ენერგიის მნიშვნელოვან ნაწილს კარგავენ. ამ დროს წარმოიქმნება რენტგენის გამოსხივება (*X-ray sradiation*) *(ე)*. ამ გამოსხივების აღმოჩენისთვის (1885 წელს) გერმანელი ფიზიკოსი ვილჰელმ კონრად რენტგენი (1845–1923) ფიზიკის ისტორიაში ნობელის პრემიის პირველი ლაურეატი გახდა, რომელიც 1901 წლს მიიღო.

რენტგენის სხივები ადამიანის თვალისთვის უხილავია, მაგრამ მათ აქვთ უნარი გაიარონ ხილული სინათლისთვის გაუმჭვირვალე სხეულების სქელ ფენებში (გამჭვირვალობა, რენტგენის სხივებისთვის, დამოკიდებულია ნივთიერების შემადგენლობასა და ფენის სისქეზე). რენტგენის სხივების ამ თვისებას ფართოდ იყენებენ მედიცინაში, ადამიანის შინაგანი ორგანოების დაავადებების დიაგნოსტირებისთვის. ამ სხივების აღმოჩენა შესაძლებელია ფოტოფირზე მოქმედებით ან ზოგიერთი კრისტალის ნათებით, რომლებიც მათ ზემოქმედებას განიცდიან.



გამოყენება **კვლევითი სამუშაო** **2**

სად არის ელექტრონების სიჩქარე უფრო დიდი: ვაკუუმში თუ მეტალში?

ამოცანა 2. ვაკუუმური დიოდის ანოდსა და კათოდს შორის ძაბვა 300 ვ-ია. რის ტოლი იქნება ელექტრონის სიჩქარე ანოდთან მიახლოებისას, თუ მან მოძრაობა კათოდთან ახლოს დაიწყო უძრავი მდგომარეობიდან (ელექტრონის მუხტი და მასა ტოლია: $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ; $m = 9 \cdot 10^{-31}$ კგ)? ელექტრული ველი ჩათვალეთ ერთგვაროვნად.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- სად უფრო სწრაფად მოძრაობს ელექტრონი: ვაკუუმში თუ მეტალში? რატომ?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

- მედიცინის გარდა, კიდევ სად იყენებენ რენტგენის სხივებს?

მინიშნება: გამოიყენეთ ინფორმაცია ინტერნეტრესურსიდან: *https://shkolazhizni.ru/computers/articles/15033/.*

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	ელექტრული მუხტის რომელი გადამტანები ქმნიან ელექტრულ დენს ვაკუუმში? როგორ აღმოჩნდნენ ისინი ვაკუუმში?			
2	ვერცხლიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა $6{,}9 \cdot 10^{-19}$ ჯ-ს ტოლია. რა მინიმალური სიჩქარით გამოდის ელექტრონი ვერცხლიდან?			
3	როგორ იცვლება სხეულის შინაგანი ენერგია მის ზედაპირზე ელექტრონების ნაკადის დაჯახების დროს?			
4	რაზეა დამოკიდებული ვაკუუმში ელექტრონების ნაკადის ენერგია?			

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში ჩაწერეთ შემდეგი ცნებების განმარტებები: „ვაკუუმი“, „ელექტრონული ემისია“, „თერმოელექტრონული ემისია“, „გამოსვლის მუშაობა“, „დაჯერების დენის ძალა“ და ვაკუუმის ელექტროგამტარობის გამოყენების მაგალითები.

პროექტი. მოამზადეთ პრეზენტაციები შემდეგ თემებზე:

1. ვილჰელმ კონრად რენტგენი (ჯგუფურად)
2. რენტგენის გამოსხივების გამოყენება (ჯგუფურად).

LAVIRA

2.5. ელქტრული დენი აირებში

• პროექტის განხილვა •
ჯგუფის პრეზენტაცია

პროექტ ***„ვილჰელმ კონრად რენტგენის“*** განხილვა:
• ვინ არის ვილჰელმ კონრად რენტგენი? • როგორ აღმოაჩინა მან რენტგენის გამოსხივება? • რა უწოდა მან ამ სხივებს? • რომელი ჯილდო მიენიჭა მას ამ სამუშაოს-თვის?

პროექტ, „რენტგენის სხივების გამოყენების“ განხილვა:
• რა მიზნებისთვის გამოიყენება რენტგენის სხივები მედიცინაში? • მეცნიერების კიდევ რომელ სფეროებში იყენებენ რენტგენის სხივებს? • რა გამოყენება აქვს რენტგენის სხივებს წარმოებაში? • რაში გამოიხატება ზიანი, რომელიც შესაძლოა გამოიწვიოს რენტგენის სხივების ზემოქმედებამ?

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •
ფიზიკა – 9

ჩვეულებრივ მდგომარეობაში აირი დიელექტრიკია. არსებობს აირში მუხტის თავისუფალი გადამტანების წარმოქმნის ხერხი: 1. აირის ნეიტრალური ატომების ან მოლეკულების იონიზაცია გარე ფაქტორების მოქმედებით, რომლებსაც ***იონიზატორები*** ეწოდება.
მათ მიეკუთვნება აირის მაღალ ტემპერატურამდე გაცხელება, აირის დასხივება, აირის „დაბომბვა“ მაღალი სიჩქარის ნაწილაკებით და სხვა.
2. აირში მუხტის თავისუფალი გადამტანების (ელექტრონების, იონების) გარედან შეტანა. მაგალითად, სანთლის ან სპირტქურის ალიდან გარემოში დადებითი და უარყოფითი იონები გადადის. თუ ეს ნაწილაკები ელექტრულ ველში აღმოჩნდებიან, ისინი მიმართულ მოძრაობას დაიწყებენ და ელექტრულ დენს წარმოქმნიან. ამ მოვლენაზე დაკვირვება შეიძლება მარტივი ცდის დროს: თუ ჰაერის დამუხტული კონდენსატორის ფირფიტებს შორის შევიტანთ სანთლის ალს, კონდენსატორი სწრაფად განიმუხტება: ჰაერი ფირფიტებს შორის, ელექტრული დენის გამტარი გახდება.

• აირში ელექტრული დენის გავლას ***აირის განმუხტვა*** ეწოდება. ელექტრული დენი აირში არის ელექტრონების და დადებითი და უარყოფითი იონების მიმართული მოძრაობა, რომლებიც აირში იონიზატორის მოქმედებით წარმოიქმნენ ან გარედან არიან აირში შეტანილი. იონიზატორი მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ ელექტრონები და დადებითი იონები ერთმანეთისკენ მიიზიდებიან და ისევ ნეიტრალურ ატომებს წარმოქმნიან – ხდება ნაწილაკების რეკომბინაცია. შედეგად აირი ისევ დიელექტრიკად გადაიქცვა და, ელექტრული ველის არსებობის მიუხედავად, აირის განმუხტვა წყდება.
• აირის განმუხტვას, რომელიც მხოლოდ გარე იონიზატორის მოქმედებით არსებობს, ***აირის არათავისთავადი განმუხტვა*** ეწოდება.
• გაზურ განმუხტვას, რომელიც გარეშე იონიზატორის ზემოქმედების შეწყვეტის შემდეგაც არსებობს, ***თავისთავადი გაზური განმუხტვა*** ეწოდება.

მღვივარი განმუხტვა - დაიმზირება დაბალი წნევებისა (10^{-3}÷10^{-2} მმ.ვწყ.სვ.) და ელექტროდებს შორის რამდენიმე ასეული ვოლტი ძაბვის დროს.
ნაპერწკლოვანი განმუხტვა - წარმოიქმნება ელექტროდებს შორის მაღალი ძაბვის დროს. მის გამოვლინებას ახასიათებს მყისიერება და სისწრაფე.
რკალური განმუხტვა (ელექტრული რკალი) - ინტენსიური თერმოელექტრონული ემისია ძლიერ გახურებული კათოდის ზედაპირიდან.
გვირგვინოვანი განმუხტვა - წარმოიქმნება ლითონის წვეტიანი ბოლოების ირგვლივ, რომელთაც დიდი ელექტრული მუხტი აქვთ.

■ ყოველდღიურად სხვადასხვა სახის ელექტროჩამრთველებით გვარგებლობთ. მათი საშუალებით ჩავრთავთ და გამოვრთავთ სინათლეს ოთახებში, ჩავრთავთ ელექტრულ ქსელში ელექტროხელსაწყოებს და გამოვაერთებთ მათ უსაფრთხოდ.

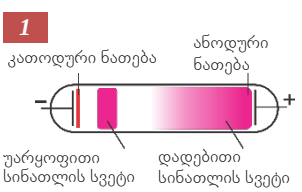
• რას ეფუძნება ელექტროჩამრთველების მუშაობა?

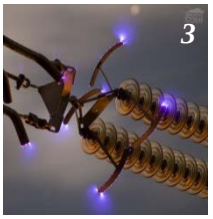
LAYOUT

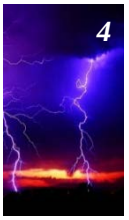
კვლევითი სამუშაო 1 ***განსაზღვრეთ, თავისთავადი გაზური განმუხტვის რომელ სახეობებს განეკუთვნება ქვემოთ მოყვანილი მაგალითები?***

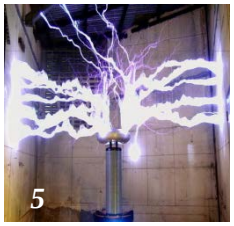
მოცანა 1. გამოიკვლიეთ 7 მოცემული ნახატი, განსაზღვრეთ, თავისთავადი განმუხტვის რომელ სახეობებს მიეკუთვნება ისინი, ჩაწერეთ მათი ნომრები შესაბამისი დასახელების სვეტებში.

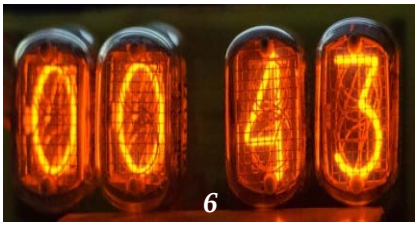
რკალური განმუხტვა	მღვივარი განმუხტვა	გვირგვინოვანი განმუხტვა	ნაპერწკლოვანი განმუხტვა

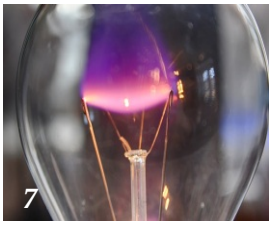












სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- ახსენით განსხვავება სხვადასხვა სახის თავისთავადი გაზური განმუხტვის წარმოქმნის მექანიზმებს შორის.
- რა პირობებში შეიძლება წარმოიქმნას თავისთავადი და არათავისთავადი გაზური განმუხტვები?

გაზური განმუხტვა. ჩვეულებრივ პირობებში აირები შედგება ნეიტრალური ატომებისა და მოლეკულებისგან და ამიტომ წარმოადგენენ დიელექტრიკებს – ისინი არ ატარებენ ელექტრულ დენს. იმისთვის, რომ აირი ელექტროდენის გამტარი გახდეს, მისი იონიზაცია უნდა მოვახდინოთ.

●*იონიზაცია არის აირის ნეიტრალური ატომის ან მოლეკულის გადაქცევა იონად ელექტრონის დაკარგვის ან შეძენის გზით.*

ნეიტრალური ატომიდან ელექტრონის მოსაწყვეტად და მის გადასაქცევად დადებით იონად აუცილებელია შესრულდეს მუშაობა ელექტრონსა და ატომბირთვს შორის არსებული კულონური ურთიერთმიზიდვის ძალების წინააღმდეგ.

●*იმ მინიმალურ ენერგიას, რომლიც საჭიროა ნეიტრალური ატომიდან ელექტრონის მოსაცილებლად, იონიზაციის ენერგია ეწოდება (W_i).*

აირის იონიზაცია შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვა გზით:

– აირად გარემოში ალის შეტანით (ალი შეიცავს დიდი რაოდენობით დადებით და უარყოფით იონებს);

– აირის გახურებით ისეთ მაღალ ტემპერატურამდე (10^5K-ზე მეტი), რომელიც აირის იონიზაციის შესაძლებლობას გააჩენს. ამას *თერმული იონიზაცია* ეწოდება;

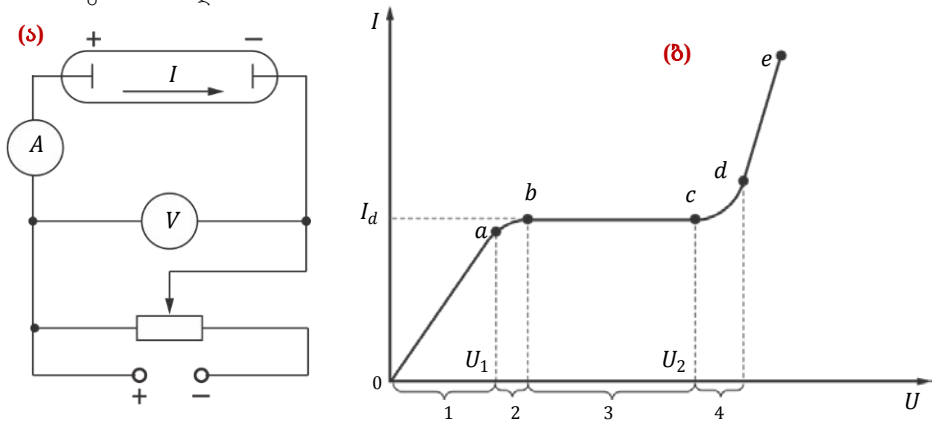
– აირის დასხივებით რენტგენის, რადიაქტიური და კოსმოსური სხივებით;

– აირში ძლიერი ელექტრული ველის შექმნით.

თუ იონიზირებულ აირში შევქმნით ელექტრულ ველს, მაშინ აირში გაივლის ელექტროდენი – წარმოიქმნება გაზური განმუხტვა. არსებობს ორი სახის განმუხტვა აირებში: არათავისთავადი და თავისთავადი გაზური განმუხტვები.

LAMO

გაზური გამუხტვის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. აირის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი განსაზღვრეს ექსპერიმენტულად. იონიზატორის საშუალებით ხდებოდა მინის ჭურჭელში მოთავსებულ ელექტროდებს (კათოდს და ანოდს) შორის არსებულ არეში აირის იონიზაცია, იგი იშლებოდა ელექტრონებად და დადებით იონებად ***(ა)***. შემდეგ თანდათან უმატებდნენ ელექტროდებს შორის ძაბვას ნულოვანი მნიშვნელობიდან. როგორც ***ვოლტ-ამპერული მახასიათებლიდან*** ჩანს ***(ბ)***, სუსტ ელექტრულ ველში (დაბალი ძაბვების დროს) დენის ძალა ძაბვის პირდაპირპროპორციულად იზრდება (იხ. ***ბ, Oa უბანი*** გრაფიკზე). ამ უბანზე მახასიათებლების ცვლილება ხდება ომის კანონის შესაბამისად.



ძაბვის შემდგომი გაზრდით დენის ძალასა და ძაბვას შორის პროპორციულობა ირღვევა (*უბანი* ***ab***). ძაბვის U_1 მნიშვნელობიდან დაწყებული დენის ძალა აღარ არის დამოკიდებული ძაბვაზე – ხდება გაჯერება (გრაფიკზე უბანი ***bc***). ეს ნიშნავს, რომ იონიზატორის საშუალებით წარმოქმნილი ყველა ელექტრონი და იონი ასრულებს მიმართულ მოძრაობას და უკვე მონაწილეობს დენის აღძვრაში. ამრიგად, გრაფიკის ***Oc*** უბანი შეესაბამება *არათავისთავად გაზურ განმუხტვას.*

გაჯერების დენის ძალის მნიშვნელობა განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$I_{გაჯ} = \frac{neV}{t}. \qquad (2)$$

აქ n არის ელექტრონულ-იონური წყვილების რაოდენობა, რომლებიც გაჩნდა იონიზატორის საშუალებით ერთეულოვან მოცულობაში t დროის განმავლობაში, e – ელემენტარული მუხტი, V – ელექტროდებს შორის სივრცის მოცულობა.

თუ კიდევ გავზრდით ძაბვას, რაღაც (U_2) მნიშვნელობიდან დაწყებული ძაბვის მცირედი ცვლილება დენის ძალის მკვეთრ ზრდას გამოიწვევს. ის არის, რომ ძლიერი ელექტრული ველის გავლენით იზრდება ელექტრონების კინეტიკური ენერგია და როცა მისი მნიშვნელობა გადააჭარბებს აირის ნეიტრალური მოლეკულების იონი-ზაციის ენერგიის მნიშვნელობას, ან როცა $\frac{m_e v^2}{2} \geq W_o$ (3)

ელექტრონები აირის ნეიტრალურ მოლეკულებთან დაჯახების შედეგად მოახდენენ მათ იონიზაციას. ამას *ელექტრონების დარტყმითი იონიზაცია* ეწოდება. ამის შედეგად ელექტრონებისა და იონების რაოდენობა და შესაბამისად დენის ძალა აირში მკვეთრად იზრდება (გრაფიკზე ***cd*** უბანი).

კიდევ უფრო მაღალ ძაბვებზე ელექტრულ ველში დადებითი იონების კინეტიკური ენერგია იზრდება, და კათოდზე ამ იონების თანმიმდევრული დაჯახებების შედეგად სულ უფრო მეტი ელექტრონები ამოვარდება - იწყება ელექტრონების მეორე ემისია. ამავდროულად ძალიან ძალიან ტემპერატურამდე გახურებული კათოდიდან მიმდინარეობს თერმოელექტრონული ემისია. ამის გამო აირში მუხტის მატარებელი ნაწილაკების რაოდენობა და შესაბამისად მასში გამავალი დენის ძალის სიდიდე მკვეთრად იზრდება (გრაფიკზე ***de*** უბანი). ამრიგად, როცა სრულდება მე-(3) პირობა, ხდება თავისთავადი გაზური განმუხტვა.

LAKHA

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2

რას გულისხმობენ აირის იონიზაციაში?

ამოცანა 2. მაიონიზირებელი მილაკის ელექტროდებს შორის მოცულობა არის 0,25 ლ. იონიზირებულ აირში გაჯერების დენის ძალის სიდიდე $I_{გაჯ} = 1{,}6 \cdot 10^{-7}$ მა. რამდენი ელექტრონულ-იონური წყვილი წარმოიქმნება მოცულობის ერთეულში 2 წამის განმავლობაში ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ)? ელექტრული ველი ჩათვალეთ ერთგვაროვნად.

შედეგების განხილვა:

• რატომ იგულისხმება აირის იონიზაციაში მასში ელექტრონულ-იონური წყვილების [illegible]

■ ფიზიკური ყოველდღიური ცხოვრებიდან

• რატომ არ ფარავენ მაღალი ძაბვის სადენებს იზოლაციით ჩვეულებრივი ელექტროსადენებისგან განსხვავებით?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	შეიძლება თუ არა, რომ გაზური განმუხტვა მხოლოდ უარყოფითი იონების ხარჯზე? მიმდინარეობდეს პასუხი ახსენით.			
2	რა პირობებში წარმოიქმნება თავისთავადი გაზური განმუხტვა?			
3	იონიზატორის მოქმედებით იონების რიცხვი აირში გარკვეულ ზღვრამდე იზრდება, შემდეგ უცვლელი რჩება. რატომ?			
4	ჭექა-ქუხილის დროს განმუხტვა 1 მწმ გრძელდებოდა. ამასთან დენის ძალა ამ დროს 60 კა-ის ტოლი იყო. განსაზღვრეთ ამ დროს გადატანილი მუხტი.			

რა შეიტყვეთ? ჩაწერეთ სამუშაო ფურცლებზე შემდეგი ცნებების განმარტებები: „გაზური განმუხტვა“, „თავისთავადი განმუხტვა“, „არათავისთავადი განმუხტვა“, „იონიზაციის ენერგია“, „თავისუფალი განარბენის სიგრძე“, დახაზეთ თავისთავადი და არათავისთავადი განმუხტვის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები.

LAYİHƏ

2.6. ელექტრული დენი ელექტროლიტის ხსნარებში. ელექტროლიზის კანონი

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9

- ნივთიერებებს (მარილი, მჟავა, ტუტე), რომელთა ხსნარებიც ატარებენ ელექტრულ დენს, ***ელექტროლიტები*** ეწოდება.
- სითხეში ნეიტრალური ატომების დაშლას დადებით და უარყოფ იონებად ***ელექტროლიტური დისოციაცია*** ეწოდება.
- ელექტრული დენი ელექტროლიტებში წარმოადგენს დადებითი და უარყოფითი იონების მოწესრიგებულ მოძრაობას.
- ელექტროლიტში ელექტრული დენის გავლისას ელექტროდებზე ნივთიერებათა გამოყოფის პროცესს ***ელექტროლიზი*** ეწოდება.
- ელექტროლიზის დროს ელექტროდებზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა ელექტროლიტში გამავალი მუხტის პირდაპირპროპორციულია. ელექტროლიზის ეს კანონი, რომელიც დაადგინა ინგლისელმა მეცნიერმა მაიკლ ფარადეიმ, მათემატიკურად ასე გამოისახება:

$$m = k \cdot q \text{ ან } m = kIt.$$

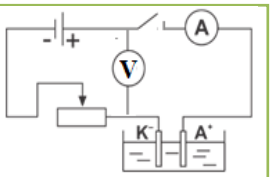
აქ m არის ელექტროდებზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა, q – ელექტროლიტში გასული მუხტი, k – პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც ელექტროქიმიური ეკვივალენტი ეწოდება.

- ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტი რიცხობრივად იმ ნივთიერების მასის ტოლია, რომელიც გამოიყოფა ელექტროდზე ელექტროლიტში 1 კ მუხტის გავლისას. სხვადასხვა ნივთიერებებს განსხვავებული მნიშვნელობის ელექტროქიმიური ეკვივალენტები აქვთ.

■ უამრავი თანამედროვე მოწყობილობის, მობილური ტელეფონით დაწყებული და ავტომობილებით დამთავრებული, განუყოფელი ნაწილია ელექტროქიმიური ელემენტები და აკუმულატორები.
გიგანტურ ელექტროლიტურ აბაზანებში, რომლებიდანაც მომწამვლელი აირები ორთქლდება, მაღალ ტემპერატურამდე გახურებული და გამლღვალი ალუმინის მადნიდან (ბოქსიტი) ელექტროლიზის მეთოდით ღებულობენ ალუმინს, რომელსაც შემდგომ სხვადასხვა ნაკეთობის დასამზადებლად იყენებენ, დაწყებული კოკა-კოლას უბრალო ქილით და დამთავრებული საავიაციო მრეწველობის პროდუქციით. ჩვენ ირგვლივ უამრავი საგანია, რომელთა ზედაპირს ფარავენ ელექტროლიზის გზით (საიუველირო ნაკეთობები, კარისა და ფანჯრების ქრომირებული სახელურები და სხვ.). შემთხვევითი არ არის, რომ ამ მოვლენას მეცნიერების ცალკე დარგი ელექტროქიმია შეისწავლის.

• ***რაში მდგომარეობს ამ მოვლენის ფიზიკური საფუძველი?***

კვლევითი სამუშაო 1 ***რომელი დამუხტული ნაწილაკებით ხორციელდება ელექტრული დენის გავლა ხსნარებში?***



მოწყობილობა: მუდმივი დენის წყარო (გამმართველი BC-24), ელექტროლიტური აბაზანა, გამხდილი წყალი, მარილი $CuCl_2$, ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი, ჩამრთველი, რეოსტატი, შემაერთებელი სადენები.

სამუშაოს მსვლელობა: 1. მოცემული ნახაზის მიხედვით ააწყვეთ ელექტრული წრედი.
2. ჩაასხით ელექტროლიტურ აბაზანაში გამოხდილი წყალი და შეკარით წრედი, თან დააკვირდით ელექტროგამზომი ხელსაწყოების ჩვენებებს.
3. განრთეთ წრედი, დაამატეთ წყალში ცოტაოდენი მარილი $CuCl_2$. ხელახლა შეკარით წრედი და ისევ დააკვირდით ელექტროგამზომი ხელსაწყოების ჩვენებებს.

შედეგების განხილვა:
• როგორი შედეგით დასრულდა თქვენი ცდა?
• ახსენით წყალში მარილის $CuCl_2$-ის. დამატების შემდეგ მიმდინარე ელექტროლიზის მოვლენა.
• რომელი დამუხტული ნაწილაკები უზრუნველყოფენ მარილიანი ხსნარის ელექტროგამტარობას?

ელექტროლიზის მოვლენა. ცდას შემდეგ შედეგებამდე მივყავართ:

LAYHE

1. სითხეები, ისევე როგორც აირები, შეიძლება იყოს როგორც დიელექტრიკები, ისე გამტარები.

2. წყალში მარილის $CuCl_2$ გახსნის შემდეგ ხდება ელექტროლიტური დისოციაცია. ხსნარში ჩნდება მუხტის თავისუფალი მატარებლები: სპილენძის დადებითი იონები (Cu^{2+}) და ქლორის უარყოფითი იონები (Cl^-). წრედის შეკვრისას დადებითი იონები კათოდისაკენ დაიძვრება, ხოლო უარყოფითი იონები – ანოდისაკენ, რაც წარმოადგენს ხსნარში ელექტრული დენის გავლას. ამ შედეგებიდან მიღებული დასკვნების საფუძველზე შეგვიძლია ელექტროლიტებისთვის დავადგინოთ ამგვარი განსაზღვრება:

- *ელექტროლიტები არის ნივთიერებები, ნალღობები ან ხსნარები, რომლებიც დისოციაციის შედეგად მიღებული იონების ხარჯზე ელექტროგამტარებია.*

- *ელექტროლიტები არის მყარი ან თხევადი ნივთიერებებია გახსნილ (ან გამლღვალ) მდგომარეობაში, რომლებიც მთლიანად ან ნაწილობრივ შედგება იონებისაგან.*

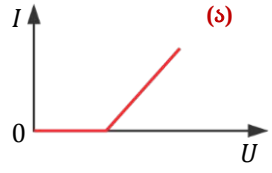
- *ელექტროლიტებში ელექტრული დენი წარმოადგენს იონების მოწესრიგებულ მოძრაობას, ამიტომ ასეთ დენს იონური დენი ეწოდება.*

3. წრედის ჩართვისას ანოდამდე მისული ქლორის იონები Cl^- ელექტროდს თავიანთ ზედმეტ ელექტრონს აძლევენ, ჟანგვის რეაქციის შედეგად ნეიტრალურ ატომებად გადაიქცევიან და გამოიყოფიან ანოდის ზედაპირზე ბუშტულების სახით:

$$2Cl^- - 2e^- \rightarrow Cl_2.$$

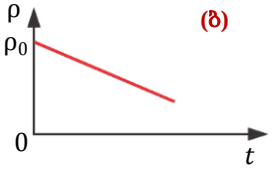
კათოდამდე მისული სპილენძის იონები Cu^{2+} ართმევენ ელექტროდს ორ-ორ ელექტრონს, გადაიქცევიან სპილენძის ნეიტრალურ ატომებად, გამოიყოფიან ანოდზე და წარმოქმნიან სპილენძის ფენას: $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu_2$. ხდება ელექტროლიზი. ამრიგად, ელექტროლიტის ხსნარში დენის გავლას თან ახლავს ელექტროდებზე ნივთიერების გამოყოფა.

ელექტროლიტში გამავალი დენის ძალა მუდმივი წინაღობისას წრფივად არის დამოკიდებული ძაბვაზე, ანუ ელექტროლიტებისთვის სრულდება ომის კანონი *(ა)*. თუმცა გრაფიკის მრუდი კოორდინატთა სათავეზე არ გადის, იგი რამდენადმე წანაცვლებულია მარჯვნივ. ეს იმით აიხსნება, რომ ძაბვის ნაწილი ელექტროლიტის ხსნარში ჩაშვებული ელექტროდების პოლარიზაციაზე მიდის.



(ა)

ელექტროდების პოლარიზაცია არის ელექტროდის მუხტის წანაცვლება წონასწორული მდგომარეობიდან ელექტროლიზის დროს. პოლარიზაციის შედეგად თავისი წონასწორული მდგომარეობიდან გადაიხრება ელექტროდების პოტენციალების მნიშვნელობაც.



(ბ)

ტემპერატურის გაზრდასთან ერთად ელექტროლიტის წინაღობა (კუთრი წინაღობა) წრფივად მცირდება. ეს იმიტომ ხდება, რომ ელექტროლიტის ხსნარში ტემპერატურის გაზრდასთან ერთად იზრდება ნაწილაკების სითბური მოძრაობის ინტენსივობა და შესაბამისად იზრდება დისოციაციის ხარისხი *(ბ)*: $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$, აქ α წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი, მას უარყოფითი მნიშვნელობა აქვს, ρ_0 კი ელექტროლიტის კუთრი წინაღობის მნიშვნელობაა $0°C$-ზე.

ელექტროლიზის კანონი. ეს კანონი 1836 წელს პირველად წარმოადგინა ინგლისელმა მეცნიერმა მაიკლ ფარადეიმ. ამ კანონით დგინდება დამოკიდებულება ელექტროლიზის მოვლენის დამახასიათებელ სიდიდეებს შორის. ამ დამოკიდებულებების დადგენა ჩვენც შეგვიძლია. ამისთვის იონის მასა ავღნიშნოთ $m_{0ი}$, Δt დროში კათოდზე მისული იონების რაოდენობა – $N_{იონ}$.

$$m = m_{0იონ} \cdot N_{იონ}. \qquad (1)$$

იონის მასა განისაზღვრება ქიმიური ელემენტის მოლური მასის მიხედვით:

$$m_{0იონ} = \frac{M}{N_A}. \qquad (2)$$

LAYTHE

სადაც N_A ავოგადროს რიცხვია, M – ქიმიური ელემენტის მოლური მასა. Δt დროში კათოდზე მისული იონების რაოდენობა განისაზღვრება იმავე Δt დროში ხსნარ-ში გასული Δq მუხტის შეფარდებით იონის $q_{0იონ}$ მუხტთან:

$$N_и = \frac{\Delta q}{q_{0იონ}} = \frac{I\Delta t}{q_{0იონ}}. \qquad (3)$$

აქ გათვალისწინებულია, რომ $\Delta q = I\Delta t$. იონის მუხტს განსაზღვრავს მისი ვალენტობა (n):

$$q_{0იონ} = n \cdot e. \qquad (4)$$

თუ გავითვალისწინებთ (2), (3) და (4) გამოსახულებებს (1) ფორმულაში, გამოვარკვევთ, რა სიდიდეებზეა დამოკიდებული ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა:

$$m = \frac{M}{n \cdot e \cdot N_A} \cdot \Delta q \qquad (5)$$

ან

$$m = \frac{M}{n \cdot e \cdot N_A} \cdot I\Delta t. \qquad (6)$$

ამ ფორმულაში პროპორციულობის კოეფიციენტი მოცემული ნივთიერებისთვის მუდმივი სიდიდეა. თუ ავღნიშნავთ მას k-თი:

$$k = \frac{M}{n \cdot e \cdot N_A}, \qquad (7)$$

მივიღებთ ელექტროლიზის I კანონს:

$$m = k \cdot \Delta q, \qquad (8)$$

ან $$m = k \cdot I\Delta t. \qquad (9)$$

• *ელექტროლიტში ელექტრული დენის გატარებისას რაიმე დროის შუალედში ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა პირდაპირპროპორციულია მასში გამავალი დენის ძალისა და ამ დროის შუალედის.*

k პროპორციულობის კოეფიციენტს *ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტი* ეწოდება. მისი ფიზიკური აზრი ადვილად შეგვიძლია ავხსნათ, თუ (7) ფორმულაში (2) და (4) გამოსახულებებს ჩავსვამთ:

$$k = \frac{m_{იონ}}{q_{0იონ}}. \qquad (10)$$

• *ნივთიერების ელექტროქიმიური ექვივალენტი რიცხობრივად ტოლია მისი იონის მასის შეფარდებისა მუხტთან. ხოლო მის შებრუნებულ სიდიდეს* $\left(\frac{q}{m}\right)$ ***კუთრი მუხტი*** *ეწოდება.*

ელემენტარული მუხტის ნამრავლს ავოგადროს რიცხვზე ***ფარადეის მუდმივა*** (ან ფარადეის რიცხვი) ეწოდება:

$$F = e \cdot N_A. \qquad (11)$$

• ფარადეის მუდმივა რიცხობრივად იმ მუხტის ტოლია, რომელიც გაივლის ელექტროლიტის ხსნარში იმ დროის განმავლობაში, რომლის დროსაც ელექტროდზე გამოიყოფა 1 მოლი რაოდენობის ნივთიერება:

$$F = \frac{M}{n} \cdot \frac{\Delta q}{m} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta q}{\nu}. \qquad (12)$$

აქ ν ნივთიერების რაოდენობაა. ფარადეის მუდმივას სიდიდე განსაზღვრეს ექსპერიმენტულად და იგი ტოლია:

$$F = e \cdot N_A = 9{,}65 \cdot 10^4 \frac{კ}{მოლ}.$$

თუ მე-(7) ფორმულაში გავითვალისწინებთ მე-(11) გამოსახულებას, მივიღებთ კიდევ ერთ შედეგს ელექტროქიმიური ეკვივალენტისთვის:

$$k = \frac{M}{nF}. \qquad (13)$$

მოლური მასის შეფარდებას ვალენტობასთან ***ნივთიერების ქიმიური ეკვივალენტი*** *ეწოდება:*

LAYING

$$x = \frac{M}{n}. \qquad (14)$$

მე-(13) და მე-(14) გამოსახულებების გარდაქმნით მივიღებთ დამოკიდებულებას ნივთიერების ქიმიურ და ელექტროქიმიურ ეკვივალენტებს შორის:

$$k = \frac{x}{F}. \qquad (15)$$

ამ დამოკიდებულებას ***ელექტროლიზის II კანონი*** ეწოდება.

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო | 2

დაამტკიცეთ.

მოცანა 1. დაამტკიცეთ, რომ ფარადეის გაერთიანებულ კანონს ასეთი სახე აქვს $m = \frac{M}{Fn} I\Delta t$.

2. დაამტკიცეთ, რომ ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტების შეფარდება მისი ქიმიური ეკვივალენტების შეფარდების ტოლია:

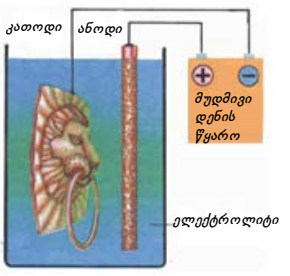
$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{x_1}{x_2}.$$

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რა არის ელექტროლიზის I კანონის ფიზიკური არსი?
- რა არის ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტის ფიზიკური არსი?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

რელიეფური საგნების ლითონის ასლების დამზადებას *გალვანოპლასტიკა* ეწოდება. სხვადასხვა საგნების, მათ შორის ლითონის მონეტების, მედლების, ბარელიეფების და სხვ., ლითონის ასლების მისაღებად თავდაპირველად პლასტიკური მასალისგან (თიხა, ცვილი და სხვ.) მის ნიმუშს ამზადებენ. მიღებული ნიმუშის ზედაპირს ფარავენ გრაფიტის მტვრით, შემდეგ ნიმუშს, როგორც კათოდს, უშვებენ ელექტროლიტურ აბაზანაში. შემდეგ...



- დაასრულეთ გალვანოპლასტიკის პროცესის ახსნა.
- რატომ ფარავენ საგნის ზედაპირს გრაფიტის მტვრით გალვანოპლასტიკის პროცესის მიმდინარეობისას?
- როგორ უნდა განვაგრძოთ გალვანოპლასტიკის პროცესი, რომ მივიღოთ, მაგალითად, ბარელიეფის ნიმუშის ვერცხლის ასლი?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	როგორია ელექტროლიტებში მუხტის მატარებელი ნაწილაკების ბუნება?			
2	რაზე არის დამოკიდებული ელექტროლიტების წინაღობა?			
3	რაში მდგომარეობს ელექტროლიზის II კანონის ფიზიკური არსი?			

რა შეიტყვეთ? ჩაწერეთ სამუშაო ფურცლებზე განმარტება ან ახსნა შემდეგი ცნებებისა: „ელექტროლიტი“, „ელექტროლიტური დისოციაცია“, „ელექტროლიზი“, „იონური გამტარობა“, „ელექტროლიზის I კანონი“, „ელექტროლიზის II კანონი“.

პროექტი: მოამზადეთ პოსტერ-პრეზენტაცია თემაზე: ***„ელექტროლიზის გამოყენება“.***

LAYTHO

2.7. ელექტრული დენი ნახევარგამტარებში

• პროექტის განხილვა•

ჯგუფის პრეზენტაცია

პოსტერები თემაზე „ელექტროლიზის გამოყენება“ და მათი განხილვის გეგმა:

• გალვანოპლასტიკა • გალვანოსტეგია • ელექტრომეტალურგია • ელექტროლიტური გასუფთავება და დაფერვა • ლითონების გასუფთავება • მძიმე წყლის მიღება •

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9

• ნახევარგამტარი არის ნივთიერება, რომელშიც მუხტის მატარებელი თავისუფალი ნაწილაკების რაოდენობა დამოკიდებულია გარეშე ზემოქმედებაზე (ტემპერატურის ცვლილება, განათება, მინარევების შეტანა ნივთიერებაში და სხვ.).

სუფთა ნახევარგამტარს, რომელიც გარეშე მინარევებს არ შეიცავს, ***საკუთარი გამტარობა*** აქვს. არსებობს საკუთარი გამტარობის ორი სახეობა: ***1. ელექტრონული ან n-ტიპის – ელექტრული გამტარობა,*** რომელიც გამოწვეულია ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების მოძრაობით. **n** ლათინური სიტყვის „*neqativ*“-ის (უარყოფითი) პირველი ასოა.

2. ***ხვრელური ან p-ტიპის გამტარობა – ელექტრული გამტარობა,*** რომელიც მიმდინარეობს ხვრელების გადაადგილებით ნახევარგამტარში. ***p*** ლათინური სიტყვის „*pozitiv*“-ის (დადებითი) პირველი ასოა.

• სუფთა ნახევარგამტარების საკუთარი ელექტრული გამტარობა ხორციელდება ერთნაირი რაოდენობის თავისუფალი ელექტრონებისა და ხვრელების საშუალებით. ნახევარგამტარებს მიეკუთვნება: ქიმიურ ელემენტთა პერიოდულობის სისტემის საშუალო ჯგუფების (IV, V დაVI ჯგუფები) 12 ელემენტი (ვარდისფერი უჯრედები ცხრილში); II და IV ჯგუფის, ასევე III და V ჯგუფის ელემენტთა ნაერთები; ამათ გარდა, კიდევ არაორგანულ ნივთიერე-ბათა დიდი ნაწილი.

II	III	IV	V	VI	VII	VIII
4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O		
	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	
	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	
	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
		82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	

ნახევარგამტარ ნივთიერებათა თვისებები კოვალენტური (ელექტრონულ-წყვილური) ქიმიური ბმის საფუძველზე ყალიბდება. სუფთა ნახევარგამტარში მცირე რაოდენობის მინარევის დამატებით მისი ელექტროგამტარობა მკვეთრად იზრდება. ამის მიზეზი ის არის, რომ საკუთარი გამტარობის გარდა, ამ დროს დამატებით ჩნდება მინარევული გამტარობა.

• თუ მინარევი ადვილად გასცემს თავის სავალენტო ელექტრონებს და ამით ზრდის თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობას ნახევარგამტარში, მაშინ ასეთ მინარევს *დონორული მინარევი* ეწოდება (ლათინური სიტყვიდან ***„donor“*** – ვჩუქნი). დონორული მინარევის შემცველ ნახევარგამტარს ელექტრონული მინარევული გამტარობა (**n**-ტიპის გამტარობა) აქვს.

• თუ მინარევი ართმევს დამატებით სავალენტო ელექტრონებს და ამით ზრდის ხვრელების რაოდენობას, მაშინ ასეთ მინარევს აქცეპტორული მინარევი ეწოდება (ლათინური სიტყვიდან ***„acceptor“*** – მიმღები). აქცეპტორული მინარევის შემცველ ნახევარგამტარს ხვრელური მინარევული გამტარობა (*p*-ტიპის გამტარობა) აქვს.

1833 წელს მაიკლ ფარადეიმ დაადგინა, რომ ტემპერატურის გაზრდით ვერცხლის სულფიდის (Ag_2S) ელექტრული გამტარობაც იზრდება. თავის ცნობილ ნაშრომში „ექსპერიმენტული კვლევები ელექტრობაში“ იგი წერს: „მე არ ვიცი სხვა ასეთი ნივთიერება, გარდა ვერცხლის სულფიდისა გაცხელებულ მდგომარეობაში, რომლის ელექტრული გამტარობა შეიძლება შესადარი იყოს ლითონების გამტარობისა და რომ ლითონებისგან განსხვავებით მისი გამტარობა იზრდებოდეს. თუმცა თუ კარგად მოვიძიებთ, ალბათ სხვასაც აღმოვაჩენთ“. ფარადეის კვლევების გაგრძელებამ XIX საუკუნეში მიგვიყვანა ასეთი ნივთიერებების აღმოჩენამდე, რომლებიც ელექტრული გამტარობის მიხედვით არც ლითონებს გავდნენ და არც ნახევარგამტარებს. გარდა ამისა, ცდებმა აჩვენა ასეთი ნივთიერებების მეორე განსაკუთრებული თვისება. მაგალითად, ლითონისა და ტელურის სულფიდის ან კალის სულფიდის მირჩილვით შეერთების ადგილის გახურებისას იქ წარმოიქმნებოდა საკმაოდ დიდი სიდიდის ***ემძ***. შედეგად ეს ადგილი ძალიან კარგად ატარებდა დენს ერთი მიმართულებით და საერთოდ არ ატარებდა საპირისპირო მიმართულებით. ასეთ ნივთიერებებს *ნახევარგამტარებს* უწოდებდნენ. ნახევარგამტარების ამ უცნაური თვისებების სწორად ახსნა მხოლოდ XX საუკუნის დასაწყისში მოხერხდა.

•ეს განმარტებები 100 წლის წინანდელია; თქვენ როგორ ახსნიდით ნახევარგამტარების ელექტრული გამტარობის მომატებას ტემპერატურის მატებასთან ერთად?

LAMB

კვლევითი სამუშაო 1 ***გამოარკვიეთ ელექტროგამტარობის მიხედვით ნივთიერებათა განსხვავება.***

ამოცანა 1. გადაიტანეთ ცხრილი სამუშაო რვეულში, დაახასიათეთ ნივთიერე-ბათა თვისე-ბები მათი ელექტროგამტარობის მიხედვით და დაასრულეთ ეს ცხრილი.

ნივთიერება	*ნიმუში*	*მუხტის მატარებელი*	*კუთრი წინაღობა გახურებისას*
ლითონები			
ელექტროლიტების ხსნარები			
ნახევარგამტარები			
დიელექტრიკები			

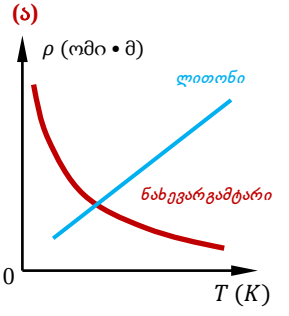
სამუშაოს შედეგების განხილვა:

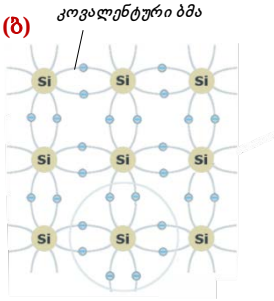
- *მუხტის მატარებელი რომელი ნაწილაკები იქნება უფრო მეტი სუფთა ნახევარგამტარში ტემპერატურის გაზრდისას? რატომ?*
- *რა ემართება ნახევარგამტარის ელექტროგამტარობას მინარევის დამატებით?*

ნახევარგამტარები. ნახევარგამტარის საკუთარი გამტარობა. ნახევარგამტარები ეწოდებათ ნივთიერებებს, რომელთა კუთრი წინაღობა ოთახის ტემპერატურაზე იცვლება ფართო დია-პაზონში: 10^{-3}-10^{7} ომი·მ. ეს მეტია ლითონების კუთრ წინაღობაზე (10^{-8}-10^{-6} ომი·მ) და ნაკლებია დიელექტრიკების კუთრ წინაღობაზე (10^{10}-10^{16} ომი·მ). აბსოლუტურ ნულთან ახლოს ტემ-პერატურაზე ნახევარგამტარის კუთრი წინაღობა ძალიან დიდია, ტემპერატურის ზრდასთან ერთად წინაღობა მცირდება *(ა)*. ამის მიზეზია ნახევარგამტარების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები. განვიხილოთ ისინი.

ნახევარგამტარები წარმოადგენს კომპაქტურ ჯგუფს ქიმიურ ელემენტთა პერიოდულ სის-ტემაში (ძირითადად IV÷VI ჯგუფის ელემენტები). მეცნიერებასა და ტექნიკაში ნახევარ-გამ-ტარებიდან ყველაზე ფართოდ გამოიყენებენ *გერმანიუმსა* და *კრემნიუმს*. ამ ელემენტებს ოთხ-ოთხი სავალენტო ელექტრონი აქვთ. ამიტომ კრისტალში თითოეული ატომი მეზობელ ატო-მებთან ოთხ კოვალენტურ ბმას წარმოქმნის. უახლოესი ატომების ელექტრონული ღრუბლები ერთმანეთს გადაფარავენ და ელექტრონულ-წყვილურ ბმებ წარმოქმნიანს *(ბ)*.

ნახევარგამტარულ კრისტალში ასეთი ბმები დაბალ ტემპერატურებზეც კი საკმაოდ მტკიცეა, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ნახევარგამტარებში თავისუფალი ელექტრონები არ წარმოიქმნება. ეს ნიშნავს, რომ დაბალ ტემ-პერატურებზე ნახევარგამტარების კუთრი წინაღობა დიდია და ისინი ელექტრულ დენს არ ატარებენ. როდესაც ნახევარგამ-ტარული კრისტალი განიცდის ისეთ გარეშე ზემოქმედებას, რო-გორიცაა გახურება, დასხივება და სხვ., სავალენტო ელექტრო-ნების კინეტიკური ენერგია შეიძლება გაიზარდოს და ისეთ მნიშ-ვნელობას მიაღწიოს, რომლის დროსაც მათ შეუძლიათ გაწყვი-ტონ კავშირი და დატოვონ ატომი, რის შედეგადაც თავისუფალ ელექტრონებად გადაიქცევიან. შედეგად ქიმიური ბმის გაწყვე-ტის ადგილას (ნახევარგამტარის კრისტალური მესერი) ირღვევა ელექტრონეიტრალობა – იმ ადგილას, რომელიც ელექტრონმა დატოვა, დადებითი ელექტრული მუხტის სიჭარბე ჩნდება. ელექტრონის მიერ ქიმიურ ბმაში დარჩენილ სიცარიელეს ხვრე-ლი ეწოდება. ხვრელი ისე იქცევა, როგორც დადებითი მუხტი, რომელიც მოდულით ელექტრონის მუხტის ტოლია.





ელექტრონის მიერ გათავისუფლებულ ვაკანტურ ადგილს მეზობელი ატომის სავალენტო ელექტრონი იკავებს, რითაც აღადგენს ამ ადგილის ელექტრონეიტრალობას.

თუმცა ამჯერად ხვრელი მეზობელ ატომში წარმოიქმნება, რომელმაც ელექტრონი დაკარგა. ამრიგად, სუფთა ნახევარ-გამტარში თავისუფალი ელექტრონები და ხვრელები ერთდრო-

LAYING

ულად წარმოიქმნება და მათი მუხტები მოდულით ტოლია. ამიტომაც ნახევარგამტარში ელექტრული ველის არსებობისას მასში ელექტრული გამტარობა ხორციელდება ერთდროულად თავისუფალი ელექტრონებისა და ხვრელების მოწესრიგებული მოძრაობით, ოღონდ ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით. შეგვიძლია ვთქვათ, რომ *ნახევარგამტარებში ელექტრული დენი მიიღება როგორც თავისუფალი ელექტრონების, ისე ხვრელების მოწესრიგებული მოძრაობის შედეგად.*

სუფთა ნახევარგამტარების (მინარევების გარეშე) ელექტროგამტარობას ***საკუთარი გამტარობა*** *ეწოდება.*

ნახევარგამტარების მინარევული გამტარობა. ნახევარგამტარების ელექტროგამტარობაზე დიდ გავლენას ახდენს მათში მინარევების არსებობა. არსებობს ორი სახის მინარევები: დონორული და აქცეპტორული.

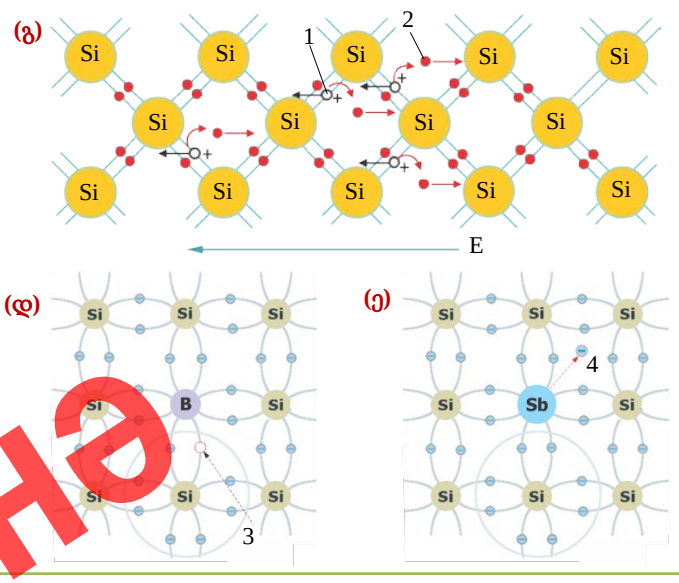
დონორული ეწოდება ისეთ მინარევს, რომელიც ადვილად გასცემს თავის ელექტრონებს გამტარობისთვის საჭირო თავისუფალი ელექტრონების რიცხვის გასაზრდელად. ეს მაშინ ხდება, როცა სუფთა ნახევარგამტარისთვის დამატებული მინარევის სავალენტო ელექტრონების რაოდენობა მეტია თვითონ ნახევარგამტარის სავალენტო ელექტრონების რაოდენობაზე. ამიტომ, დონორული მინარევის მქონე ნახევარგამტარში ელექტრონები მუხტის ძირითადი მატარებლებია, ხოლო ხვრელები – არაძირითადი. ნახევარგამტარებს, რომლებშიც მუხტის ძირითადი მატარებლები ელექტრონებია, ***n-ტიპის ნახევარგამტარები*** ეწოდება.

აქცეპტორული ეწოდება მინარევს, რომელსაც შეუძლია გაზარდოს ნახევარგამტარში ხვრელების რაოდენობა. ეს მაშინ ხდება, როდესაც მინარევის სავალენტო ელექტრონების რაოდენობა ნაკლებია თვითონ ნახევარგამტარის სავალენტო ელექტრონების რაოდენობაზე. ამიტომ გამოიყენება, აქცეპტორული მინარევის მქონე ნახევარგამტარში ხვრელები მუხტის ძირითადი მატარებლებია, ხოლო ელექტრონები – არაძირითადი. ნახევარგამტარებს, რომლებშიც მუხტის ძირითადი მატარებლები ხვრელებია ***p-ტიპის ნახევარგამტარები*** ეწოდება.

გამოყენება — კვლევითი სამუშაო 2

შეგიძლიათ თუ არა, ახსნათ ნახევარგამტარების ელექტროგამტარობის მექანიზმი?

ამოცანა 2.
გააანალიზეთ მოცემული სქემები.



LAYİHƏ

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- (გ) სქემის მიხედვით განსაზღვრეთ:

1) რომელი ნახევარგამტარის კრისტალის სქემაა გამოსახული სქემაზე: სუფთასი თუ მინარევულის?

2) რა არის აღნიშნული ციფრებით 1 და 2?

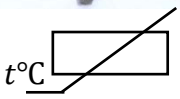
3) რა მოხდება, თუ კრისტალს ელექტრულ ველში მოვათავსებთ?

- (დ) სქემის მიხედვით განსაზღვრეთ:
  1) რა არის სქემაზე გამოსახული?
  2) რა არის აღნიშნული ციფრით 3?
  3) როგორი ტიპის ნახევარგამტარს მივიღებთ, თუ **Si**-ში მინარევის სახით დავუმატებთ ბორს (**B**)? რატომ?
- (ე) სქემის მიხედვით განსაზღვრეთ:
  1) რა არის სქემაზე გამოსახული?
  2) რა არის აღნიშნული ციფრით 4?
  3) როგორი ტიპის ნახევარგამტარს მივიღებთ, თუ **Si**-ში მინარევის სახით დავუმატებთ **Sb**-ს? რატომ?

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ნახევარგამტარული თერმისტორი ისეთი ხელსაწყოა, რომელიც ელექტროტექნიკის თითქმის ყველა სფეროში გამოიყენება. მისი საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ და ვარეგულიროთ მაცივარში ფრეონის ტემპერატურა, სარეცხი და ჭურჭლის სარეცხ მანქანებში ვაკუუმური კამერის ტემპერატურა, ავტომობილის ძრავაში ზეთის ტემპერატურა, ასევე სხვადასხვა ელექტრული სისტემების ტემპერატურა.

(3)



- ნახევარგამტარების რომელ თვისებაზეა დაფუძნებული თერმისტორის მუშაობის პრინციპი?
- როგორ შეიძლება განვსაზღვროთ ტემპერატურა თერმისტორის საშუალებით? გამოთქვით თქვენი მოსაზრება ზოგადი სახით.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

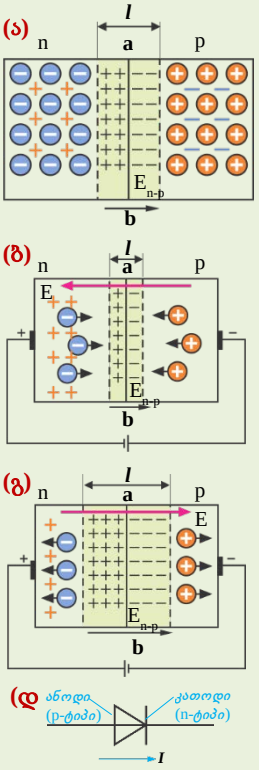
№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რით განსხვავდება ნახევარგამტარების ელექტროგამტარობა ლითონების, აირების, ელექტროლიტებისა და ვაკუუმის ელექტროგამტარობისაგან?			
2	რით განსხვავდება ნახევარგამტარის მინარევული გამტარობა მისი საკუთარი გამტარობისაგან?			
3	როგორი ტიპის ნახევარგამტარს მივიღებთ თუ IV ჯგუფის ნახევარგამტარის კრისტალს მინარევის სახით დავუმატებთ V ჯგუფის ელემენტს? რატომ?			
4	როგორი ტიპის ნახევარგამტარს მივიღებთ, თუ VII ჯგუფის ნახევარგამტარის კრისტალს მინარევის სახით დავუმატებთ III ჯგუფის ელემენტს? რატომ?			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულებში შემდეგი ცნებების განმარტებები: *„ნახევარგამტარი“, „საკუთარი გამტარობა“, მინარევული გამტარობა“, „n-ტიპის ნახევარგამტარი“, „p-ტიპის ნახევარგამტარი“.*

LAYIHƏ

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9



p- და n-ტიპის ორი ნახევარგამტარული კრისტალის შეხების ადგილას წარმოიქმნება ელექტრონულ-ხვრელური გადასვლა (p-n-გადასვლა). ამასთან n-ტიპის კრისტალის ელექტრონები და p-ტიპის კრისტალის ხვრელები იწყებენ მოძრაობას, მონაწილეობენ ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით დიფუზიაში. შედეგად კრისტალის p-n-გადასვლის ადგილას წარმოიქმნება ორი განსხვავებული ნიშნით დამუხტული ფენისგან შემდგარი შრე. ელექტრონებისა და ხვრელების დიფუზია წყდება, მაშინ, როდესაც ამ ორმაგი ფენის მუხტების ელექტრული ველი $(\vec{E}_{n-p})$ უწევს წინააღმდეგობას ელექტრონების შემდგომ გადასვლას n-არიდან p-არეში, ხვრელების გადასვლას p-არიდან n-არეში *(ა)*. თუ ასეთ, p-n-გადასვლის მქონე, კრისტალს მუდმივი დენის წრედში ჩავრთავთ, ის კარგად გაატარებს დენს მხოლოდ ერთი მიმართულებით. თუ n-ტიპის კრისტალის ნაწილს დენის წყაროს უარყოფით პოლუსსს მივუერთებთ, ხოლო p-ტიპის კრისტალის ნაწილს – დადებით პოლუსს, მაშინ დენის წყაროს ელექტრული ველის ზემოქმედებით ელექტრონები კრისტალის n-არიდან და ხვრელები მისი p-არიდან დაიწყებენ მოძრაობას ***ab***-სასაზღვრო ნაწილიდან ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით. ამის გამო კრისტალის ორფენიანი ***(ab)*** შრის სისქე იზრდება, რაც იწვევს კრისტალის მთლიანი ელექტროწინაღობის გაზრდას *(გ)*. ამ შემთხვევაში წრედში ელექტრული დენი არ გადის: წარმოიქმნება საპირისპირო გადასვლა.

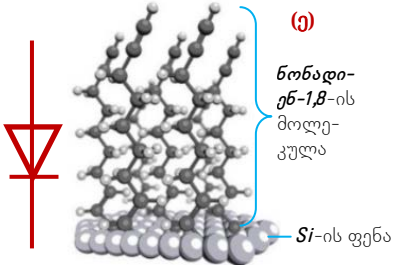
• ***ნახევარგამტარული დიოდი*** – ეს არის მოწყობილობა, რომელიც შედგება ერთი p-n-გადასვლისა და ორი კონტაქტისაგან ელექტრულ წრედში ჩასართავად. ნახევარგამტარული დიოდი, რომელიც შეიცავს p-n-გადასვლას, ატარებს დენს მხოლოდ ერთი მიმართულებით. ნახევარგამტარული დიოდის ცალმხრივი გამტარობა ელექტრული წრედების სქემაზე აღინიშნება განსაკუთრებული ნიშნით *(დ)*.

■ ბარსელონის (ესპანეთი) უნივერსიტეტის მეცნიერებმა 2017 წელს აჩვენეს, რომ ერთი მოლეკულა, რომელიც Si-ის ზედაპირზე მოათავსეს, ისე მუშაობს, როგორც ნახევარგამტარული დიოდი. ეს მოლეკულა, რომელსაც ნონადიენ-1,8 ეწოდეს, შედგება ნახშირბადის 9 ატომისა და წყალბადის 12 ატომისაგან (C_9H_{12}) *(ე)*. ასეთი, თვით მოლეკულური მასშტაბებითაც კი, მცირე ზომის დიოდის უპირატესობა ის არის, რომ მას ოთახის ტემპერატურაზე შეუძლია მუშაობა. მისი ნაკლი კი სტაბილურად მუშაობის მცირე დროა.

წყარო: Albert C. Aragonès, Nadim Darwish, Simone Ciampi, Fausto Sanz, J. Justin Gooding & Ismael Díez-Pérez. Single-molecule electrical contacts on silicon electrodes under ambient conditions // Nature Communications. 2017. 8. DOI:10.C 1038 /ncomms 15056.

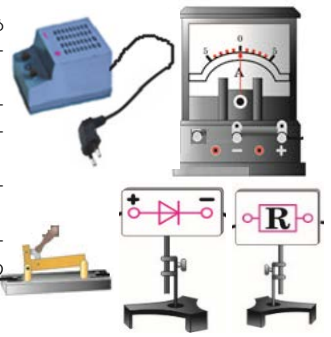
• ***რას ემყარება ნახევარგამტარული დიოდის მუშაობის პრინციპი?***

• ***რატომ ცდილობენ მეცნიერები, შექმნან მიკრო ზომების დიოდები?***



LATHO

კვლევითი სამუშაო 1 ***რატომ არის დიოდი ცალმხრივად გამტარი?***



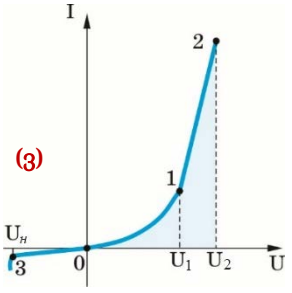
ხელსაწყოები: საჩვენებელი დიოდი („ნახევარგამტარული ხელსაწყოების“ ნაკრებიდან), მუდმივი დენის წყარო (4-ვოლტიანი გამმართველი), წინაღობა, ამპერმეტრი, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები.

სამუშაოს მსვლელობა: 1. დახაზეთ მიმდევრობითი შეერთების სქემა, რომელიც შედგება დენის წყაროს, დიოდის, წინაღობის, ამპერმეტრისა და ჩამრთველისაგან.
2. ააწყვეთ წრედი მოცემული სქემის მიხედვით, ჩართეთ ჩამრთველი და ჩაიწერეთ ამპერმეტრის ჩვენება.
3. განრთეთ წრედი, გამოაერთეთ დიოდი, შემდეგ ჩართეთ იგი საპირისპირო მიმართულებით, გაიმეორეთ ცდა.

სამუშაო შედეგის განხილვა:

• წრედში დიოდის რომელი ჩართვის შემთხვევაში ატარებდა იგი დენს? რატომ?

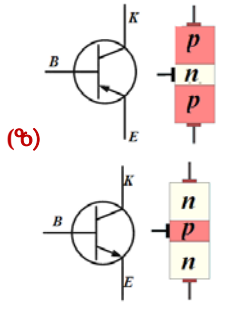
p-n გადასვლა: ნახევარგამტარული დიოდი. *ცალმხრივ გადასვლას, რომელიც სხვადასხვა ტიპის ნახევარგამტარული კრისტალების შეხების ადგილას წარმოიქმნება,* ***p-n გადასვლა*** *ეწოდება.*



(ვ)

•*ნახევარგამტარული დიოდი (წარმოდგება ბერძნული სიტყვებიდან: „დი“ – ორი +„ოდოს“ – გზა) არის ხელსაწყო, რომელიც შედგება ერთი* ***p-n****-გადასვლისა და ორი გამოსავლისაგან გარეშე წრედთან შესაერთებლად.*

დიოდში დენი გადის მაშინ, როდესაც მის p-არეს დადებითი პოტენციალი მიეწოდება. დიოდის ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელზე კარგად ჩანს განსხვავება მის პირდაპირ და უკუგადასვლებს შორის *(ვ)*. გრაფიკის 0-3 უბანი შეესაბამება უკუგადასვლას და შეიძლება ვთქვათ, რომ არ არის დამოკიდებული ძაბვაზე. ძაბვის ზრდასთან ერთად დენის ძალა 0-1 უბანზე არაწრფივად იზრდება, ხოლო 1-2 უბანზე წრფივად. *დიოდის მთავარი ამოცანაა ცვლადი დენის გამართვა, რაც* ***p-n****-გადასვლის ცალმხრივ გამტარობას ეფუძნება.*

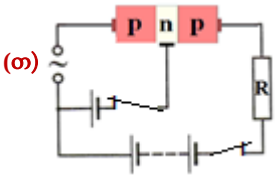


(ზ)

ტრანზისტორი. ელექტრული რხევების გაძლიერებისა და მათი გარდაქმნის ან მართვისათვის იყენებენ ხელსაწყოებს, რომლებსაც ტრანზისტორები ეწოდება (წარმოდგება ინგლისური სიტყვებიდან: „transfer“ – გადატანა + „resistor“ – წინაღობა). სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ტრანზისტორი აწესრიგებს დენის ძალას ელექტრულ წრედში იმგვარად, როგორც ჩვეულებრივი ონკანი აწესრიგებს მისგან გამომავალი წყლის ნაკადს. ტრანზისტორი შედგება სამი ნახევარგამტარული ფენისგან: განაპირა ფენები ერთი ტიპის ნახევარგამტარებია, ხოლო შუაში მეორე ტიპის ნახევარგამტარის ძალზე თხელი ფენაა. განაპირა ფენებს ***ემიტერი*** ეწოდება (ინგლისური სიტყვიდან „emit“ – გაცემა), ხოლო შუა ფენას – ბაზა. არსებობს ტრანზისტორების ორი ტიპი: pnp და npn. წრედში ჩასართავად ტრანზისტორს სამი ფეხი აქვს და იმის მიხედვით, თუ რა ტიპისაა იგი, აღინიშნება შესაბამისი სიმბოლოებით *(თ)*.

LAYTHO

ტრანზისტორი ელექტრულ წრედში დენის ორი წყაროს საშუალებით ირთვება. ამასთან ემიტერ-ბაზა გადასვლა პირდაპირი გადასვლა იქნება, ხოლო ბაზა-კოლექტორი გადასვლა – უკუგადასვლა *(თ)*. მაგალითად, pnp ტიპის ტრანზისტორში გასაძლიერებელი სიგნალი ემიტერის წრედს მიეწოდება, ხოლო კოლექტორის წრედში გაძლიერებულ სიგნალს ვიღებთ. როცა ორივე წრედი განრთულია, ემიტერში მუხტის ძირითადი მატარებლები ხვრელები – ბაზაში გადადიან. ბაზის უმნიშვნელო სისქის გამო ხვრელები ვერ ასწრებენ მის ელექტრონებთან შეერთებას და მათი ≈95% კოლექტორში გადადის. ემიტერის წრედში დენის ძალა (I_3) ბაზაში და კოლექტორში გამავალი დენის ძალების ჯამის ტოლია:



$$I_ე = I_ბ + I_კ, \qquad (1)$$

ამ შემთხვევაში შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ემიტერის წრედში დენის ძალა ტოლია კოლექტორის წრედში დენის ძალისა:

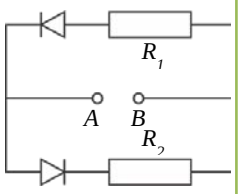
$$I_ე \approx I_კ. \qquad (2)$$

ამიტომ კოლექტორის წრედში დენის ძალა ემიტერის წრედში დენის ძალის სინქრონულად იცვლება. შედეგად R წინაღობაზე წარმოიქმნება სინქრონულად ცვლადი ძაბვა *(იხ. თ)*. თუ ამ დროს წინაღობა დიდი აღმოჩნდება, ემიტერის წრედში ძაბვის სიდიდე მკვეთრად გაიზრდება ($\approx 10^5$-ჯერ). (2) გამოსახულების შესაბამისად წინაღობაზე გამოყოფილი სიმძლავრე გაცილებით მეტის, ვიდრე ემიტერის წრედში დახარჯული სიმძლავრე.

ტრანზისტორი 1948 წელს ამერიკელმა მეცნიერებმა უილიამ შოკლიმ, ვალტერ ბრატეინმა და ჯონ ბარდინიმ გამოიგონეს. ამ ნამუშევრისთვის მათ 1956 წელს ნობელის პრემია მიენიჭათ ფიზიკის დარგში.

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2

რომელ წინაღობაში გადის ელექტრული დენი?



ამოცანა 1. ნახაზზე მოცემულია წრედის სქემა, რომელიც ორი დიოდისგან შედგება. A და B წერტილებთან მიერთებულია მუდმივი დენის წყაროს პოლუსები, რომლის ემძ 12 ვოლტია, ხოლო შიდა წინაღობა – 2 ომი. წინაღობები ტოლია R_1=3 ომი და R_2=4 ომი.

ა) რომელ წინაღობაში გაივლის დენი, თუ წრედის A წერტილს დენის წყაროს უარყოფით პოლუსს მივუერთებთ, ხოლო B წერტილს – დადებით პოლუსს?

ბ) რომელ წინაღობაში გაივლის დენი, თუ წრედის A წერტილს დენის წყაროს დადებით პოლუსს მივუერთებთ, ხოლო B წერტილს – უარყოფით პოლუსს?

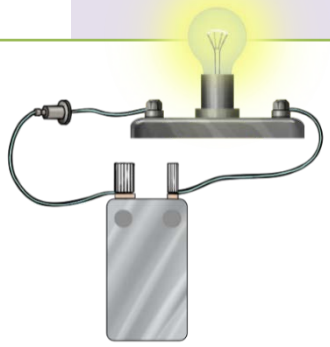
გ) რის ტოლი იქნება წრედის სრული წინაღობა, თუ A წერტილს მივუერთებთ:
დენის წყაროს დადებით პოლუსს?
დენის წყაროს უარყოფით პოლუსს?

სამუშაოს შედეგის განხილვა:

- როგორ უნდა მივუერთოთ დიოდი წრედს, რომ მან დენი გაატაროს? რატომ?
- როგორ განსაზღვრეთ წრედის სრული წინაღობა და დენის ძალა მასში, როდესაც A წერტილთან დენის წყაროს დადებითი პოლუსი იყო მიერთებული?

LAYING

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან



განსაზღვრეთ ბატარეის პოლუსების ნიშნები.

ხელსაწყოები: ბატარეა, ნახევარგამტარული დიოდი, შემაერთებელი სადენები.

სამუშაოს მსვლელობა: განსაზღვრეთ ბატარეის პოლუსების ნიშნები ნახევარგამტარული დიოდის საშუალებით. ამისათვის თავდაპირველად დავხაზოთ სქემა, შემდეგ კი ავაწყოთ იგი.

- როგორ განვსაზღვროთ დიოდის საშუალებით ბატარეის პოლუსის ნიშნები?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რომელი ნაწილაკებია მუხტის მატარებლები p-n-გადასვლის მქონე დიოდის პირდაპირი და უკუჩართვისას?			
2	ნახევარგამტარული დიოდი, დენის წყარო და ნათურა შეერთებულია მიმდევრობით. თუ დენის წყაროს პოლუსებს შევუცვლით ადგილებს: ა) როგორ შეიცვლება წრედში დენის ძალა, თუ დიოდი გაფუჭებულია? ბ)როგორ შეიცვლება წრედში დენის ძალა, თუ დიოდი გამართულია?			
3	დენის ძალები ემიტერში და კოლექტორში ტოლია შესაბამისად 12 მა და 11,4 მა. ემიტერის წრედში დენის ძალის რამდენ პროცენტს შეადგენს დენის ძალა ბაზის წრედში?			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო ფურცლებზე ესსე შემდეგი ცნებების შესახებ: „p-n-გადასვლა“, „ნახევარგამტარული დიოდი“, ტრანზისტორი“.

LAYİHƏ

2.9. ნახევარგამტარული ხელსაწყოები: მათი გამოყენება მეცნიერებაში, ტექნიკასა და წარმოებაში (გაკვეთილი-პრეზენტაცია)

პრეზენტაციის სავარაუდო გეგმა:

გეგმა

1. შესავალი
2. ნახევარგამტარული ხელსაწყოების ძირითადი ნაწილები
3. თერმორეზისტორი
4. ფოტორეზისტორი
5. ფოტოდიოდი
6. ნახევარგამტარული გამმართველები
7. შუქდიოდი
8. ფოტოტრანზისტორი
9. მზის ბატარეა
10. ინტეგრალური სქემები (მიკროსქემები) და სხვ.

მოამზადეთ ელექტრონული პრეზენტაცია ან პოსტერ-პრეზენტაცია ნახევარგამტარების გამოყენებაზე მეცნიერებაში, ტექნიკასა და წარმოებაში. ამ მიზნით შეგიძლიათ გამოიყენოთ ქვემოთ ჩამოთვლილი ელექტრონული მისამართები:

ელექტრონული რესურსები

1. *http://elibrary.bsu.az/kitablar/1002.pdf*
2. *https://az.wikipedia.org/wiki/Yarımkeçiricilər*
3. *https://az.wikipedia.org/.../Kateqoriya:Yarımkeçirici_cihazlar*
4. *elshad777.blogspot.com/p/blog-page_21.html*
5. *www.wikiwand.com/az/Kateqoriya:Yarımkeçirici_cihazlar*
6. *https://www.slideshare.net/MirNamik/yarmkec-mbm2014*
7. *https://prezi.com/upcuvgyppdko/yar-iletkenler-ve-kullanm-alanlar/*
8. *http://www.ahmetozkurt.net/TES101/ders9.pdf*
9. *http://www.elektrikport.com/haber-roportaj/nissandan-akilli-park-teknolojisine-sahip - sandalyeler/17086#ad-image-0*
10. *http://slideplayer.biz.tr/slide/2701879/*
11. *https://engelliler.gen.tr/f61/yari-iletkenler-16935/*
12. *http://studbooks.net/755598/pedagogika/poluprovodniki_sovremennom_mire*
13. *http://worldofschool.ru/fizika/kondens/tv-tela/p-provodnik/poluprovodniki-v-nashej-zhizni-primenenie-poluprovodnikov-kratko*

LAYİHƏ

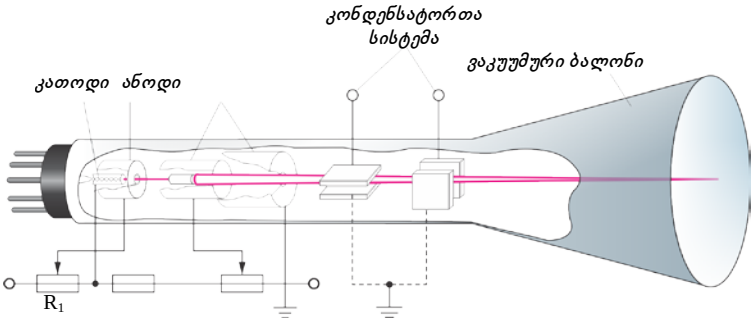
2.1. ჯიბის ფარნის ნათურის წრედში დენის ძალა 0,24 ა-ის ტოლია. რამდენი ელექტრონი გადის ნათურის სპირალის განიკვეთში 5 წუთის განმავლობაში ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ)?

2.2. განსაზღვრეთ გამტარში ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე, თუ მისი განიკვეთის ფართობია 4 მმ^2, დენის ძალა მასში 6 ა-ის ტოლია და ელექტრონების კონცენტრაციაა $6 \cdot 10^{28}$ მ$^{-3}$ ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ).

2.3. რომელ ტემპერატურაზეა ვერცხლის მათულის წინაღობა 4-ჯერ ნაკლები მისსავე წინაღობაზე 0°C-ზე ($\alpha_{Ag} = 0{,}004 K^{-1}$)?

2.4. რატომ გადაიწვება ხოლმე ნათურის ვარვარების ძაფი წრედის ჩამრთველის მოკლე ჩართვისას?

2.5. როგორ შეიცვლება ელექტრონულ-სხივური მილაკის ეკრანზე მანათობელი ლაქის სიკაშკაშე, თუ R_1 რეოსტატის ცოციას მარჯვნივ გადავაადგილებთ?



2.6. მაღალი ძაბვის გამმართველის „განმუხტვა-1“-ის ელექტროდებს შორის ნაპერწკლოვანი განმუხტვა მათ შორის 8 მმ მანძილის დროს აღიძრა. რის ტოლია ამ დროს ელექტროდებს შორის ძაბვა?

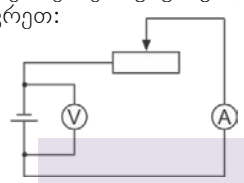
შენიშვნა: ჰაერში ატმოსფერული წნევისას, როდესაც ელექტრული ველის დაძაბულობა ელექტროდებს შორის 3000 $\frac{ვ}{მმ}$-ის ტოლია, წარმოიქმნება „ნახვრეტი“, რომელიც იწვევს ჰაერში ნაპერწკლოვან განმუხტვას.

2.7. დედამიწასა და ღრუბელს შორის $1{,}2 \cdot 10^6$ ვ პოტენციალთა სხვაობის დროს დაიმზირებოდა ელვა. რის ტოლი იყო მანძილი დედამიწასა და ღრუბელს შორის?

2.8. დენის ძალა ელექტრულ წრედში, რომელიც შედგება 3 ვ ემძ-ის მქონე დენის წყაროსაგან და 6 ომი წინაღობის სადენისაგან, 0,4 ა-ის ტოლია. განსაზღვრეთ დენის წყაროს შიდა წინაღობა და მოკლე ჩართვის დენი.

2.9. ელექტრული წრედი შედგება 2 ომი შიდა წინაღობისა და 2 ვ ემძ-ის მქონე დენის წყაროსაგან, 8 ომი მაქსიმალური წინაღობის მქონე რეოსტატისგან, ასევე ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრისაგან. განსაზღვრეთ:

ა) დენის ძალის შესაძლო მაქსიმალური მნიშვნელობა;
ბ) დენის ძალის შესაძლო მინიმალური მნიშვნელობა;
გ) ძაბვის მაქსიმალური შესაძლო მნიშვნელობა;
დ) ძაბვის შესაძლო მინიმალური მნიშვნელობა.

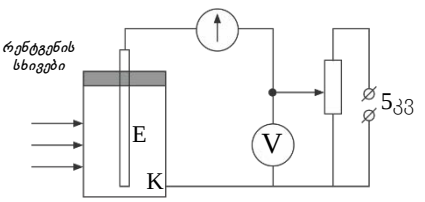


LAMPHE

2.10. რომელი ქიმიური ელემენტის იონს აქვს ელექტროლიტში მუხტი e, *2e* და *3e*?

ქიმიური ელემენტი	ვალენტობა	ელექტროქიმიური ელვივალენტი, $10^{-3}\frac{კგ}{კ}$	მოლური მასა, $10^{-3}\frac{კგ}{მოლი}$
Ag	1	1,1	108
Al	3	0,093	27
Au	3	0,69	199
Cu	2	0,33	64
Fe	3	0,19	57

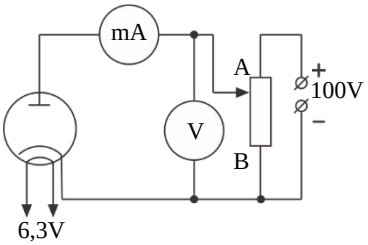
2.11. ელექტროლიზის დროს ელექტროდზე გამოყოფილი რომელი ნივთიერების მასა იქნება მეტი, თუ ელექტროლიზის პროცესის ხანგრძლივობა და დენის ძალა ერთნაირი იქნება? (ნივთიერებები შეარჩიეთ 2.10 ამოცანის ცხრილიდან)



2.12. ნახაზზე გამოსახულია ლითონის მაიონიზირებელი კამერა. მასში მოთავსებულია ელექტროდი, ავსებულია აირით, მჭიდროდ არის დახურული და მიერთებულია ელექტრულ წრედთან. როგორ შეიცვლება გაჯერების დენის ძალის მნიშვნელობა მოწყობილობის წრედში, თუ რენტგენის სხივების ინტენსივობის მომატებით 2-ჯერ გავზრდით აირის იონიზაციას?

2.13. როგორ შეიცვლება მილიამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებები, თუ წრედში, რომელთანაც მიერთებულია ვაკუუმური დიოდი, პოტენციომეტრის ცოციას *ა*-დან *ბ* მდგომარეობაში გადავასრიალებთ?

შენიშვნა: პოტენციომეტრი არის წრედში ძაბვის სარეგულირებელი მოწყობილობა.



2.14. ელექტრული დენის მიმართულება ნახევარგამტარში ემთხვევა ელექტრონებისა და ხვრელების მოწესრიგებული მოძრაობით მიღებული დენის მიმართულებას. თუმცა, თუ გავიხსენებთ, რომ ელექტრონები და ხვრელები ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით მოძრაობენ, როგორ ახსნიდით ელექტრული დენების ერთნაირ მიმართულებას?

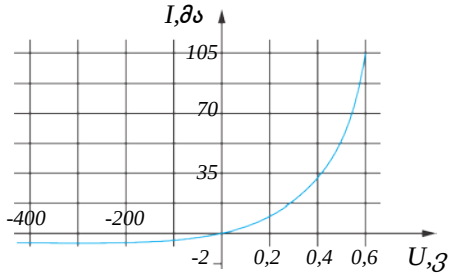
2.15. როგორი ტიპის (n-ტიპის თუ p-ტიპის) ნახევარგამტარს მივიღებთ თუ სილიციუმს დავუმატებთ მინარევის სახით: ინდიუმს, კალას, ფოსფორს, სკანდიუმსა და გალიუმს? ისარგებლეთ მენდელეევის ცხრილით.

LAYING

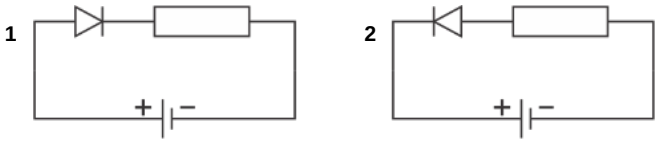
2.16. ნახაზზე გამოსახულია დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. რის ტოლია დიოდში დენის ძალა:

ა) როცა $U_{nn} = 0{,}4$ ვ (პირდაპირი გადასვლის რეჟიმში)?

ბ) როცა $U_{on} = -400$ ვ (უკუგადასვლის რეჟიმში)?



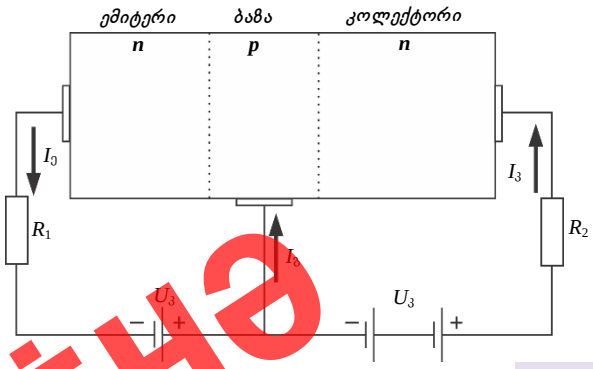
2.17. რომელ წრედში გადის ელექტრული დენი? რატომ?



2.18. რომელ ნახევარგამტარშია მუხტის მატარებელი ნაწილაკების კონცენტრაცია უფრო მეტი: საკუთარი გამტარობის მქონე ნახევარგამტარში თუ მინარევული გამტარობის მქონე ნახევარგამტარში?

2.19. როგორ იცვლება დიოდის საკონტაქტო შრის სისქე პირდაპირი და საპირისპირო შეერთების დროს?

2.20. როგორია ელექტრული ძაბვებისა და სიმძლავრეების შეფარდება R_1 და R_2 წინაღობებზე, რომლებიც წრედში ტრანზისტორთან ერთადაა ჩართული?



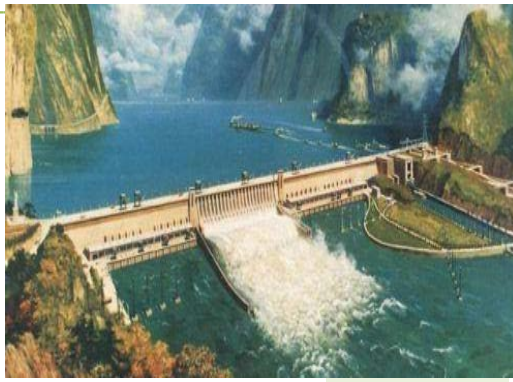
LAYİHƏ

თავი III

ელექტრომაგნიტური რხევები და ტალღები

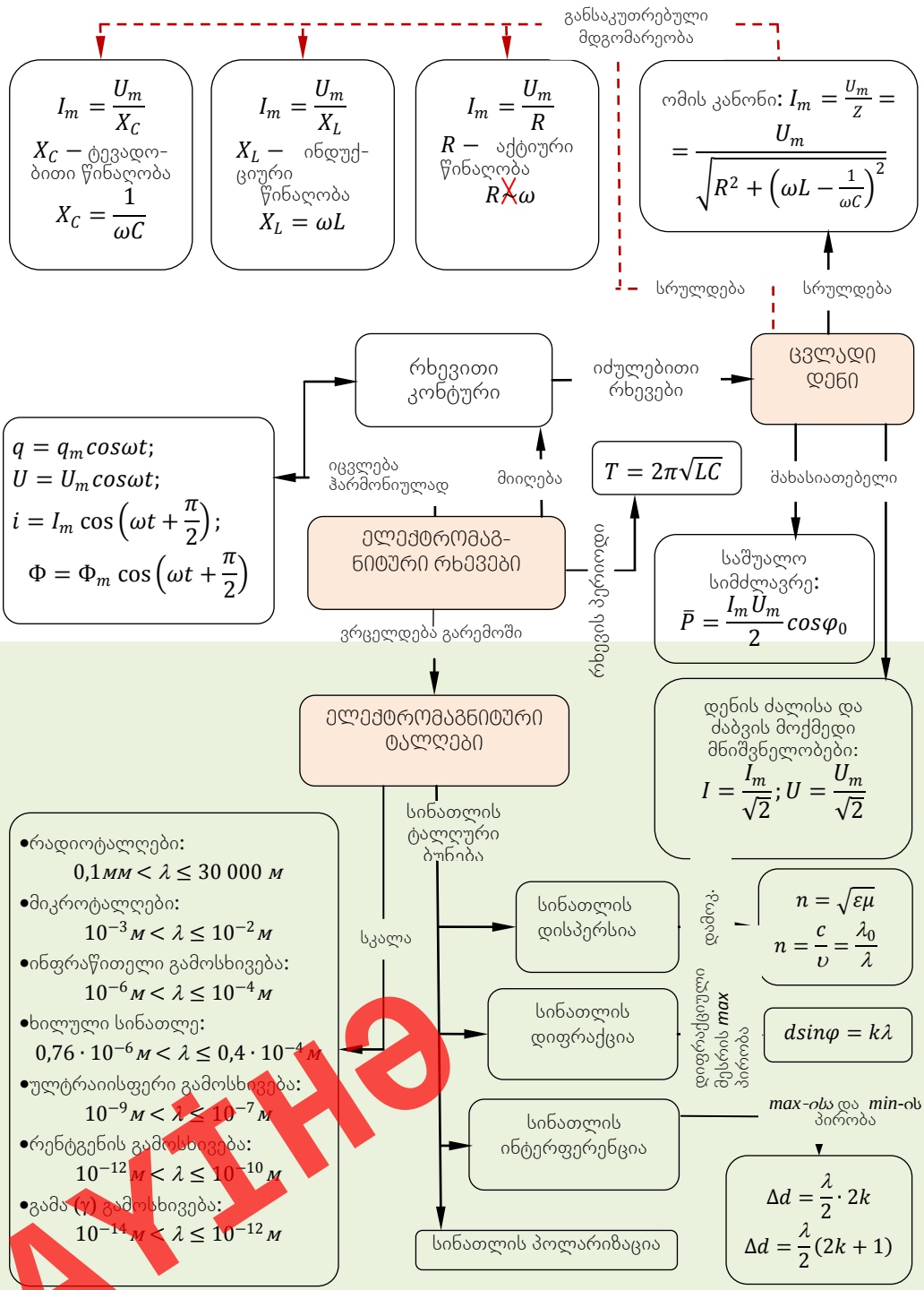
- მტრის საჰერო თავდასხმების დროს თავდაცვის ყველაზე სრულყოფილ სისტემებად მიჩნეულია საზენიტო-სარაკეტო კომპლექსი „Patriot“ (აშშ) და „С-400“ (რფ). სისტემის მიერ გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღების დახმარებით ზუსტად განსაზღვრავენ იმ მფრინავი ობიექტის კოორდინატებს, რომელიც ქვეყნის ტერიტორიისთვის საფრთხეს წარმოადგენს. საჭიროების შემთხვევაში კი მომენტალურად ანადგურებენ სარაკეტო დარტყმებით.
  - ***რა არის ელექტრომაგნიტური ტალღა?***
  - ***როგორ ხდება ელექტრომაგნიტური ტალღების დახმარებით სამიზნე ობიექტის კოორდინატების დადგენა?***

- მსოფლიოში ყველაზე დიდი კაშხალი „სამი ხეობის“ სახელით ცნობილი ჰესის კაშხალია, რომელიც ჩინეთში, მდინარე იანძიზე მდებარეობს. სადგურს 32 გენერატორი აქვს, რომელთაგან თითოეულის სიმძლავრე 700 მგვატია, რაც საერთო ჯამში 22 400 მგვტ-ს უტოლდება. შედარებისთვის: მინგეჩაურის ჰესის 6 გენერატორის საერთო სიმ-ძლავრე 420 მგვტ-ია.
- რას ეფუძნება ჰესის გენერატორის მუშაობის პრინციპი?



- ***პოლარიზაციული ფილტრი (პოლაროიდი, შუქფილტრი)*** ფოტოაპარატებისა და კინოკამერებისთვის ძალიან სასარგებლო აქსესუარია. ის იმდენად მნიშვნელოვანია ფოტოგრაფ-პეიზაჟისტებისთვის, რომ ისინი ფილტრს არასდროს ხსნიან ფოტოაპარატის ობიექტივს. პოლაროიდი პრიალა ზედაპირებიდან არეკლილი სინათლის ათინათებს ამცირებს და გამოსახუ-ლებაში წყლის, მინისგამჭვირვალობას უზრუნველყოფს.
  - ***რა არის პოლაროიდი?***
  - ***როგორ უზრუნველყოფს პოლაროიდი პეიზაჟის გამოსახულების სიმკვეთრეს?***

LAYIHƏ


განსაკუთრებული მდგომარეობა
$I_m = \frac{U_m}{X_C}$
X_C – ტევადობითი წინაღობა
$X_C = \frac{1}{\omega C}$
$I_m = \frac{U_m}{X_L}$
X_L – ინდუქციური წინაღობა
$X_L = \omega L$
$I_m = \frac{U_m}{R}$
R – აქტიური წინაღობა
$R \not\sim \omega$
ომის კანონი: $I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$
სრულდება
სრულდება
ცვლადი დენი
იძულებითი რხევები
რხევითი კონტური
$q = q_m cos\omega t;$
$U = U_m cos\omega t;$
$i = I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right);$
$\Phi = \Phi_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$
იცვლება ჰარმონიულად
მიიღება
$T = 2\pi\sqrt{LC}$
ახასიათებელი
ელექტრომაგნიტური რხევები
რხევის პერიოდი
საშუალო სიმძლავრე: $\bar{P} = \frac{I_m U_m}{2} cos\varphi_0$
ვრცელდება გარემოში
დენის ძალისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობები: $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$
ელექტრომაგნიტური ტალღები
სინათლის ტალღური ბუნება
•რადიოტალღები: $0{,}1 мм < \lambda \leq 30\,000\ м$
•მიკროტალღები: $10^{-3} м < \lambda \leq 10^{-2} м$
•ინფრაწითელი გამოსხივება: $10^{-6} м < \lambda \leq 10^{-4} м$
•ხილული სინათლე: $0{,}76 \cdot 10^{-6} м < \lambda \leq 0{,}4 \cdot 10^{-4} м$
•ულტრაიისფერი გამოსხივება: $10^{-9} м < \lambda \leq 10^{-7} м$
•რენტგენის გამოსხივება: $10^{-12} м < \lambda \leq 10^{-10} м$
•გამა (γ) გამოსხივება: $10^{-14} м < \lambda \leq 10^{-12} м$
სკალა
სინათლის დისპერსია
დაბოლ.
$n = \sqrt{\varepsilon\mu}$
$n = \frac{c}{\upsilon} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$
სინათლის დიფრაქცია
დიფრაქციული მესრის max პირობა
$dsin\varphi = k\lambda$
სინათლის ინტერფერენცია
max-ის და min-ის პირობა
$\Delta d = \frac{\lambda}{2} \cdot 2k$
$\Delta d = \frac{\lambda}{2}(2k+1)$
სინათლის პოლარიზაცია

LAVIND

3.1. თავისუფალი ელექტრომაგნიტური რხევები

• გაიხსენეთ გაგვლილი მასალა •

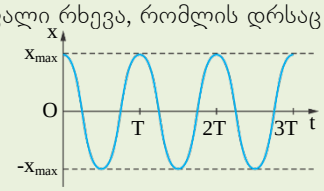
ფიზიკა – 7 და 10

• მექანიკური რხევითი მოძრაობა – სხეულის (სისტემის) გადაადგილება მდგრადი წონასწორობის მდებარეობიდან ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს (ერთმანეთის საპირისპირო მიმართულებით).

• პერიოდული რხევითი მოძრაობა არის სხეულის/სისტემის მოძრაობა, რომელიც მეორდება დროის ტოლი შუალედების შემდეგ.

• თავისუფალი რხევები არის რხევები, რომლებიც ჩაკეტილ სისტემაში შიდა კონსერვატიული ძალების მოქმედების შედეგად მიმდინარეობს.

• ჰარმონიული რხევა – სისტემაში მიმდინარე თავისუფალი რხევა, რომლის დროსაც რხევითი მოძრაობის მახასიათებელი სიდიდეები სინუსის ან კოსინუსის კანონის მიხედვით იცვლება. სურათზე გამოსახულია იმ სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი, რომლის კოორდინატიც კოსინუსის კანონის მიხედვით იცვლება:



$x = x_{max}\cos\omega t$.

• ამპლიტუდა – მერხევი სხეულის მაქსიმალური გადახრა მდგრადი წონასწორობის მდებარეობიდან.

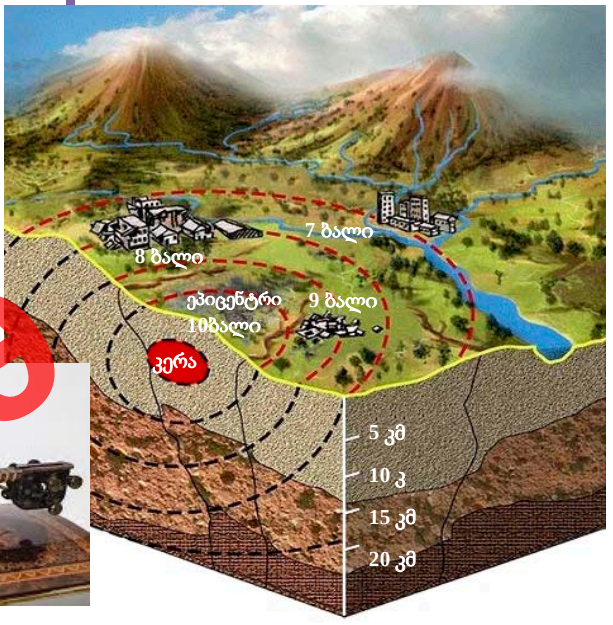
• რხევის სიხშირე – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც გვიჩვენებს 1 წმ-ში შესრულებული რხევების რიცხვს: $\nu = \frac{N}{t}$.

• რხევის პერიოდი – დრო, რომელშიც მერხევი სხეული ერთ სრულ რხევას ასრულებს: $T = \frac{t}{N}$. რხევის სიხშირე და პერიოდი ურთიერთშებრუნებული სიდიდეებია: $T = \frac{1}{\nu}$ ან $\nu = \frac{1}{T}$.

• ციკლური სიხშირე – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც 2-ჯერ აღემატება რხევის სიხშირეს და გვიჩვენებს ≈6,28 წმ-ში (2π ≈ 6,28) შესრულებულ რხევათა რიცხვს: $\omega = 2\pi\nu$.

■ – მიწისძვრა, თარის (ქამანჩის) სიმების რხევა, დაირის ხმა, მზის გამოსხივება, რენტგენის გამოსხივება და სხვ. განსხვავებული ფიზიკური მოვლენებია, თუმცა მათ ერთი საერთო ნიშან-თვისება აქვთ.

• *რა თვისებაა ეს?*



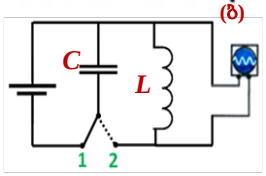
LAYNE

კვლევითი სამუშაო ***რა ხდება წრედში, რომელიც კოჭასა და დამუხტული კონდენსატორისგან შედგება?***

(ა)

საჭირო მოწყობილობა: მუდმივი ძაბვის წყარო, ციფრული ოსცილოგრაფი SIGLENTSHS1102, კონდენსატორი (100 მკფ), კოჭა, ორპულსუსიანი ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები.

მოწყობილობის აღწერილობა: ოსცილოგრაფი (ლათ. *oscillo* – „ვირხევი“ + ბერძ. „*qrafo*“ - ვწერ) მოწყობილობაა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, დავაკვირდეთ, ჩავიწეროთ და გავზომოთ ოსცილოგრაფის შესავალზე მიწოდებული ელექტრული სიგნალის დროზე დამოკიდებული პარამეტრების რხევები ***(ა)***.



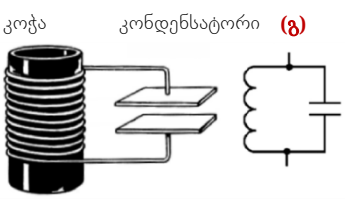
(ბ)

სამუშაოს მსვლელობა: 1. ააწყვეთ სქემა სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით ***(ბ)***. 2. გადართეთ ჩამრთველი 1-ლ პოზიციაზე და დამუხტეთ კონდენსატორი. 3. გადართეთ ჩამრთველი მე-2 პოზიციაზე, მიუერთეთ კონდენსატორი კოჭას და დააკვირდით ოსცილოგრაფის ეკრანს.

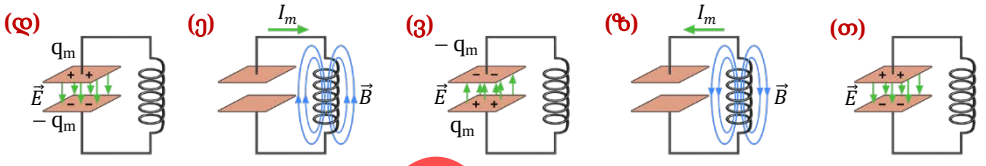
სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რა შეამჩნიეთ ოსცილოგრაფის ეკრანზე დამუხტული კონდენსატორის კოჭასთან მიერთებისას?
- რა დასკვნის გაკეთებაა შესაძლებელი ცდის შედეგის მიხედვით: რა ხდება წრედში, რომელიც დამუხტული კონდენსატორისა და კოჭასგან შედგება?

დავუბრუნდეთ მარტივ ელექტრულ წრედს ***(გ)***, რომელიც შეიცავს C ტევადობის კონდენსატორს და კოჭას L ინდუქციურობით. ასეთ წრედს LC-კონტურს უწოდებენ. თუ LC-კონტურში კონდენსატორს დავმუხტავთ, ის მაშინვე განმუხტვას იწყებს და კოჭაში დენი აღიძვრება. შედეგად კოჭაში აღძრული თვითინდუქციის დენის ძალა თანდათან იზრდება და კონდენსატორის სრულად განმუხტვისას თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს (***დ*** და ***ე***). კოჭაში აღძრული დენით, რომელიც თვითინდუქციის გამო თავის მიმართულებას ინარჩუნებს, კონდენსატორი თავიდან დაიმუხტება და დენის ძალა თანდათან მცირდება. კონდენსატორის ხელახლა დამუხტვა იმ მომენტისთვის დასრულდება, როცა მუხტის სიდიდე კონდენსატორის შემონაფენებზე თავის საწყის მნიშვნელობას მიაღწევს (მაგრამ, საწყისი მნიშვნელობისგან განსხვავებით, შემონაფენები საპირისპირო ნიშნის მუხტით დაიმუხტება). ამ დროს წრედში გამავალი დენის ძალა ნულამდე დაეცემა (***ვ***). კონდენსატორის განმუხტვის პროცესი კოჭაში პერიოდულად განმეორდება (***ზ*** და ***თ***).



(გ)



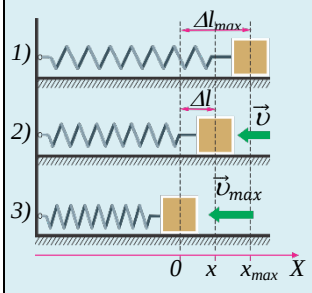
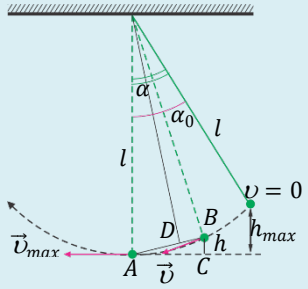
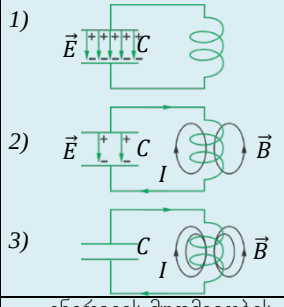
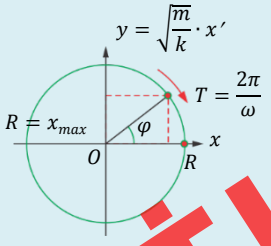
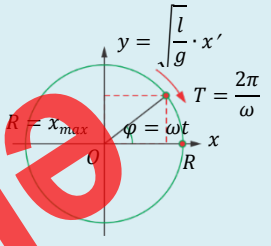
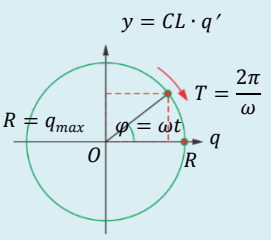
ამრიგად, LC-კონტურში ელექტრული და მაგნიტური ველები პერიოდულად იცვლება, რაც იმას ნიშნავს, რომ პერიოდულად იცვლება მათი მახასიათებელი სიდიდეები: ელექტრული მუხტი, დენის ძალა და ძაბვა. ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ იდეალურ LC-კონტურში ***თავისუფალი ელექტრომაგნიტური რხევები*** აღიძვრება. ამიტომ, ჩვეულებრივ, LC-კონტურს ***იდეალურ რხევით კონტურს*** უწოდებენ (კონტური, რომელშიც ენერგია არ იკარგება).

- *თავისუფალი ელექტრომაგნიტური რხევები – ელექტრული და მაგნიტური ველების (ანუ მათი მახასიათებელი სიდიდეების ელექტრული მუხტის, დენის ძალის, ძაბვისა და ა.შ.) პერიოდული ცვლილებაა, რომელიც რხევით კონტურში სხვა წყაროებიდან ენერგიის მიწოდების გარეშე მიმდინარეობს.*

LAYLHO

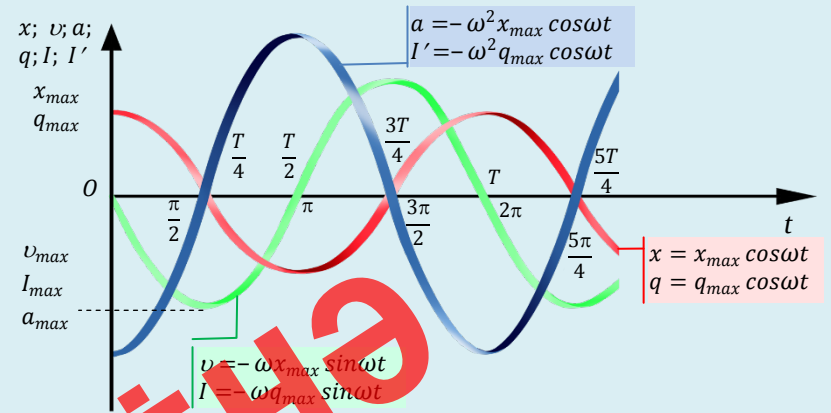
მიუხედავად იმ განსხვავებისა, რომელიც მექანიკური და ელექტრომაგნიტური რხევების აღძვრის მიზეზებს შორის არსებობს, ისინი აღწერენ მატერიის ერთიან თვისებას, რომელიც მიმდინარე პროცესების პერიოდულობაში გამოიხატება. შესაბამისად, მექანიკური და ელექტრომაგნიტური რხევები საერთო კანონზომიერებას ემორჩილება – ისინი მსგავსი განტოლებებით აღიწერება, რაც საშუალებას გვაძლევს, ელექტრომაგნიტურსა და მექანიკურ რხევებს შორის ანალოგიები მოვნახოთ. ანალოგიები (მაგ., რხევით კონტურსა და მათემატიკურ ქანქარას შორის) მოსახერხებელიცაა და ხელსაყრელიც ელექტრომაგნიტური რხევების გამოსაკვლევად (იხ. *ცხრილი 3.1*).

ცხრილი 3.1

მექანიკური რხევა ***ზამბარიან ქანქარაში***	მექანიკური რხევა ***მათემატიკურ ქანქარაში***	ელექტრომაგნიტური ***რხევები LC-კონტურში***
1	2	3
		
ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად: $\frac{kx^2}{2}+\frac{m\upsilon^2}{2}=\frac{kx_m^2}{2}$ გამარტივების შედეგად მიიღება: $x^2+\frac{m}{k}\cdot\upsilon^2=x_m^2$	ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად: $mgh+\frac{m\upsilon^2}{2}=mgh_m$ გამარტივების შედეგად მიიღება: $x^2+\frac{l}{g}\cdot\upsilon^2=x_m^2$	ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად: $\frac{q^2}{2C}+\frac{LI^2}{2}=\frac{q_m^2}{2C}$ გამარტივების შედეგად მიიღება: $q^2+CL\cdot I^2=q_m^2$
თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\upsilon = x'$: $x^2+\left(\sqrt{\frac{m}{k}}\cdot x'\right)^2=x_m^2$	თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\upsilon = x'$: $x^2+\left(\sqrt{\frac{l}{k}}\cdot x'\right)^2=x_m^2$	თუ გავითვალისწინებთ, რომ $I = q'$: $q^2+\left(\sqrt{CL}\cdot q'\right)^2=q_m^2$
 წრეწირის განტოლების თანახმად: $x^2+y^2=R^2$ $x = x_m cos\omega t;\ \varphi_0 = 0$	 წრეწირის განტოლების თანახმად: $x^2+y^2=R^2$ $x = x_m cos\omega t;\ \varphi_0 = 0$	 წრეწირის განტოლების თანახმად: $q^2+y^2=R^2$ $q = q_m cos\omega t;\ \varphi_0 = 0$

LAYiHe

გაგრძელება ***ცხრილი 3.1***

1	2	3
$$\begin{cases} x^2+y^2=R^2 \rightarrow x^2+\left(\sqrt{\frac{m}{k}}\cdot x'\right)^2=x_m^2 \rightarrow y=\sqrt{\frac{m}{k}}\cdot x' \\ x^2+y^2=R^2 \rightarrow x^2+\left(\sqrt{\frac{l}{g}}\cdot x'\right)^2=x_m^2 \rightarrow y=\sqrt{\frac{l}{g}}\cdot x' \\ x^2+y^2=R^2 \rightarrow q^2+\left(\sqrt{LC}\cdot q'\right)^2=q_m^2 \rightarrow y=\sqrt{LC}\cdot q' \end{cases}$$		
ზამბარიანი ქანქარის ციკლური სიხშირე: $\boldsymbol{\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}}$. $\boldsymbol{x=x_m\cos\omega t}$, $\varphi_0=0$, $\boldsymbol{\upsilon=x'=-\omega x_m\sin\omega t}$, $\boldsymbol{a=\upsilon'=-\omega^2x_m\cos\omega t}$ $\upsilon_m=\omega x_m$, $a_m=\omega^2x_m$.	მათემატიკური ქანქარის ციკლური სიხშირე: $\boldsymbol{\omega=\sqrt{\frac{g}{l}}}$. $\boldsymbol{x=x_m\cos\omega t}$, $\varphi_0=0$, $\boldsymbol{\upsilon=x'=-\omega x_m\sin\omega t}$, $\boldsymbol{a=\upsilon'=-\omega^2x_m\cos\omega t}$ $\upsilon_m=\omega x_m$, $a_m=\omega^2x_m$.	რხევითი კონტურის ციკლური სიხშირე: $\boldsymbol{\omega=\frac{1}{\sqrt{LC}}}$. $\boldsymbol{q=q_m\cos\omega t}$, $\varphi_0=0$, $\boldsymbol{I=q'=-\omega q_m\sin\omega t}$, $\boldsymbol{I'=q''=-\omega^2q_m\cos\omega t}$ $I_m=\omega q_m$.
ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე ასე გამოისახება: $\boldsymbol{T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}$; $\boldsymbol{\nu=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}}$.	მათემატიკური ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე ასე გამოისახება: $\boldsymbol{T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}$; $\boldsymbol{\nu=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}}$.	რხევითი კონტურის რხევის პერიოდი და სიხშირე ასე გამოისახება: $\boldsymbol{T=2\pi\sqrt{LC}}$; $\boldsymbol{\nu=\frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{LC}}}$.
		

LAYİHƏ

გამოყენება **კვლევითი სამუშაო 2**

განსაზღვრეთ ელექტრომაგნიტური რხევების მახასიათებლები.

ამოცანა. რხევით კონტურში კონდენსატორის მუხტის მაქსიმალური მნიშვნელობა 1,5 მკკ-ია, დენის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა კი – 7,5 მა. განსაზღვრეთ კონტურში:

ა) ელექტრომაგნიტური რხევების ციკლური სიხშირე;
ბ) ელექტრომაგნიტური რხევების რხევის პერიოდი;
გ) კონდენსატორის ტევადობა, თუ კოჭას ინდუქციურობაა 4 მჰნ;
დ) დენის ძალის მაქსიმალური სიდიდე, როცა კონდენსატორის მუხტის მაქსიმალური სიდიდეა 12 მკკ ($\pi = 3$).

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რომელი ფორმულის მიხედვით განსაზღვრეთ დენის ძალის მაქსიმალური მნიშვ-ნელობა (I_{max}), როცა ამოცანის პირობის თანახმად უკვე იცოდით ციკლური სიხშირე (ω), რხევის პერიოდი (T), კონდენსატორის ტევადობა (C) და მუხტის მაქსიმალური სიდიდე (q_{max}) ?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

კოსმოსი შეიძლება იდეალურ ვაკუუმად მივიჩნიოთ. ეს იმას ნიშნავს, რომ თუ თქვენ ღია კოსმოსში აღმოჩნდებით, მაშინ, სავარაუდოდ, თქვენ ბგერებს ვერ გაიგებთ.

- ***რატომ შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ კოსმოსში სრული სიჩუმეა (არ ისმის ბგერები)?***

თუმცა NASA-ს კოსმოსურმა თანამგზავრებმა კოსმოსიდან რაღაც ბგერების მიღება და მერე უკან გაგზავნა შეძლეს (ბგერები საშინელებათა ფილმებიდან ხმებს მოგაგონებდათ).

- ***როგორ ვრცელდება კოსმოსურ სივრცეში წარმოქმნილი ბგერები კოსმოსურ ვაკუუმში?***

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	როგორ რხევებს უწოდებენ რხევით კონ-ტურში თავისუფალს?			
2	რომელ ფიზიკურ სიდიდეებზე დამოკიდე-ბული ელექტრომაგნიტური რხევების პერი-ოდი?			
3	რომელი კანონის მიხედვით იცვლება დროის მიხედვით რხევით კონტურში კონ-დენსატორის ელექტრული მუხტი და კო-ჭაში გამავალი ელექტრული დენი?			
4	აღიძვრება თუ არა LC-კონტურში ელექ-ტრომაგნიტური რხევები, თუ კოჭას რეზის-ტორით ჩავანაცვლებთ?			
5	არის თუ არა მილევადი რხევით კონტურში აღძრული ელექტრომაგნიტური რხევები? რატომ?			

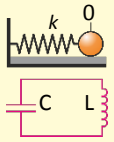
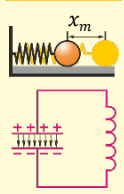
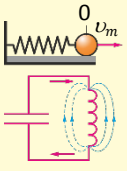
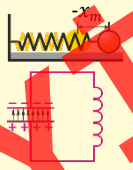
რა შეიტყვეთ? შეადგინეთ და შეიტანეთ სამუშაო რვეულში ცნებათა რუკა თემაზე: „ელექტრომაგნიტური რხევები“.

LAYİHƏ

3.2. ენერგიის გარდაქმნა ელექტრომაგნიტური რხევებისას (გაკვეთილი-პრეზენტაცია)

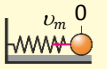
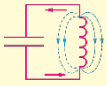
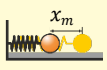
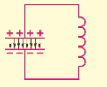
მოამზადეთ ელექტრონული პრეზენტაცია თემაზე „ენერგიის გარდაქმნა ელექტრომაგნიტური რხევებისას“. ამ მიზნით თქვენ შეგიძლიათ ის ანალოგია გამოიყენოთ, რომელიც ზამბარიანი ქანქარის რხევისას მექანიკური ენერგიის გარდაქმნასა და ელექტრომაგნიტური რხევისას ენერგიის გარდაქმნას შორის არსებობს (*ცხრილი 3.2*).

ცხრილი 3.2

	ზამბარიანი ქანქარა უძრავია. ზამბარიანი ქანქარის მექანიკური ენერგია უძრაობის მდგომარეობაში ნულის ტოლია. კონდენსატორი დამუხტული არ არის. კონტურში ელექტრული და მაგნიტური ველების ენერგია ნულის ტოლია.
$\upsilon = 0$ $x = x_m$ $t = 0$ $i = 0$ $q = q_m$  $W_{კინ} = \frac{kx_m^2}{2}$ $W_{ელ} = \frac{q_m^2}{2C}$ $W_{პოტ} = 0$ $W_{მაგ} = 0$	დროის $t = 0$ საწყის მომენტში ზამბარა შეკუმშულია და ბურთულას პოტენციური ენერგია აქვს. კონდენსატორი იმუხტება. მის შემონაფენებს შორის ელექტრული ველი აღიძვრება, რომელსაც ელექტრული ენერგია აქვს.
$x = 0$ $\upsilon = \upsilon_m$ $t = \frac{1}{4}T$ $q = 0$ $i = I_m$ $W_{პოტ} = 0$ $W_{ელ} = 0$  $W_{კინ} = \frac{m\upsilon_m^2}{2}$ $W_{მაგ} = \frac{LI_m^2}{2}$	შეკუმშულ ზამბარას ათავისუფლებენ. დრეკადობის ძალის მოქმედებით ბურთულის სიჩქარე იზრდება და ბურთულა წონასწორობის მდგომარეობისკენ მოძრაობს. დროის $t = \frac{1}{4}\mathrm{T}$ მომენტში ზამბარა წონასწორობის მდგომარეობაში აღმოჩნდება, ბურთულის მთელი პოტენციური ენერგია კინეტიკურად გარდაიქმნება. კონდენსატორი განიმუხტება. კოჭაში აღიძვრება ელექტრული დენი. დროის $t = \frac{1}{4}\mathrm{T}$ მომენტში კონდენსატორი მთლიანად განიმუხტება, ელექტრული ველის ენერგია კოჭას მაგნიტური ველის ენერგიად გარდაიქმნება.
$x = -x_m$ $\upsilon = 0$ $t = \frac{1}{4}T$ $q = -q_m$ $i = 0$  $W_{პოტ} = \frac{kx_m^2}{2}$ $W_{ელ} = \frac{q_m^2}{2C}$ $W_{მაგ} = 0$ $W_{კინ} = 0$	ზამბარიანი ქანქარა არ გაჩერდება წონასწორობის მდგომარეობაში, ინერციით განაგრძობს მოძრაობას და დროის $t = \frac{1}{2}\mathrm{T}$ მომენტში უკიდურეს მარჯვენა მდგომარეობასმიაღწევს. ბურთულის კინეტიკური ენერგია პოტენციურ ენერგიად გარდაიქმნება. დროის $t = \frac{1}{2}\mathrm{T}$ მომენტში მაგნიტური ველის ცვლილების (შემცირების) შედეგად კონდენსატორი კვლავ დაიმუხტება. კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგიად გარდაიქმნება.

LAYIHE

გაგრძელება. *ცხრილი 3.2*

$x = 0$ $\upsilon = -\upsilon_m$ $t = \frac{3}{4}T$ $q = 0$ $i = -I_m$  $W_{ჯოტ} = 0$ $W_ე = 0$  $W_{ჯოხ} = \frac{mv_m^2}{2}$ $W_მ = \frac{LI_m^2}{2}$	ზამბარიანი ქანქარა მარცხნივმოძრაობს. დროის $t = \frac{3}{4}$ მომენტში, ზამბარის პოტენციური ენერგია ბურთულის კინეტიკურ ენერგიად გარდაიქმნება. შესაბამისად, კონდენსატორი განიმუხტება. განმუხტვის დენი კოჭაში მაგნიტურ ველს აღძრავს. ამ შემთხვევაში დენი საწინააღმდეგო მხარეს მიედინება. ელექტრული ველის ენერგია კოჭას მაგნიტური ველის ენერგიადგარდაიქმნება.
$x = x_m$ $\upsilon = 0$ $t = \mathrm{T}$ $q = q_m$ $i = 0$  $W_{ჯოტ} = \frac{kx_m^2}{2}$ $W_ე = \frac{q_m^2}{2C}$  $W_{ჯოხ} = 0$ $W_მ = 0$	დროის $t = \mathrm{T}$ მომენტში ქანქარის ზამბარა უკიდურეს მარცხენა მდგომარეობამდეა შეკუმშული. ბურთულის კინეტიკური ენერგია ზამბარის პოტენციურ ენერგიად გარდაიქმნება. კონდენსატორი იმუხტება ისევე, როგორც დროის $t = 0$ საწყის მომენტში. კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგიად გარდაიქმნება.

დროის ნებისმიერ მომენტში იდეალური რხევითი კონტურის სრული ენერგია ელექტრული და მაგნიტური ენერგიების ჯამის ტოლია:

$$W = W_ე + W_მ = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{q_{max}^2}{2C} \cdot cos^2\omega t + \frac{LI_{max}^2}{2} \cdot sin^2\omega t.$$

რეალურ რხევით კონტურში მომხმარებელს ელექტრული წინაღობა აქვს და ამიტომ წინაღობის გადასალახავად ენერგიის კარგვას თავიდან ვერ ავიცილებთ. ეს ნიშნავს, რომ რეალურ რხევით კონტურში ელექტრული ველის ენერგია არ შეიძლება მთლიანად მაგნიტური ველის ენერგიად გარდაიქმნას. მისი გარკვეული ნაწილი სითბოს სახით გამოიყოფა, ამიტომ თავისუფალი ელექტრომაგნიტური რხევები რეალურ კონტურში მილევადია.

გამოიყენეთ რხევებს შორის ანალოგია და შეადგინეთ პრეზენტაციის გეგმა.

LAYİHƏ

3.3. იძულებითი ელექტრომაგნიტური რხევები: ცვლადი დენი

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •
ფიზიკა – 8 და 11

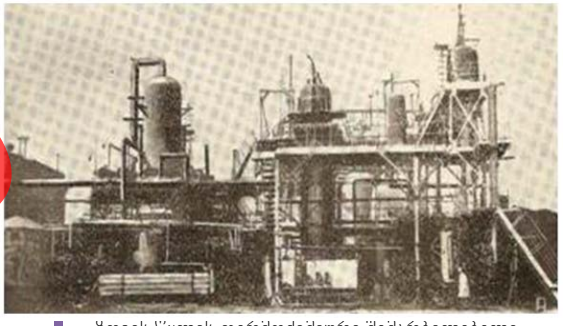
• *ელექტრულ დენს, რომელშიც დენის ძალის რიცხვითი მნიშვნელობა და მიმართულება არ იცვლება,* ***მუდმივი დენი*** *ჰქვია.* მუდმივი დენის წყაროებია: ელექტროფორული მანქანა, სხვადასხვა სახის ბატარეები (გალვანური ელემენტი), აკუმულატორი, მზის ბატარეა და ფიზიკის ლაბორატორიაში გამოყენებული დენის გამმართველი.

ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულ S ზედაპირს, რომელიც ჩაკეტილი კონტურითაა (ჩარჩოთია) შემოსაზღვრული, მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი განჭოლავს.

- მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი (Φ) სკალარული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად მაგნიტური ინდუქციის მოდულის, მაგნიტურ ველში მოთავსებულ კონტურით შემოსაზღვრულi S ფართობისa და იმ კუთხის კოსინუსის ნამრავლის ტოლია, რომელსაც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი კონტურით შემოსაზღვრული ფართობის ნორმალთან ადგენს: $\Phi = BS\cos\alpha$.
- გამტარ კონტურში ელექტრული ველის აღძვრის მოვლენას, რომელიც კონტურით შემოსაზღვრული ფართობის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების შედეგია, ***ელექტრომაგნიტური ინდუქციის*** მოვლენა ჰქვია.
  • ჩაკეტილ გამტარ კონტურში აღძრული ინდუქციის ემძ პირდაპირპროპორციულია კონტურით შემოსაზღვრული ფართობის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარის: $\varepsilon_{ინდ} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.
  ჩაკეტილ გამტარ კონტურში აღძრული ინდუქციური დენის ძალა ჩაკეტილი წრედისთვის, ომის კანონის თანახმად, ტოლია: $I_{ინდ} = \frac{\varepsilon_{ინდ}}{R} = -\frac{1}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.
- ჩაკეტილ გამტარ კონტურში ინდუქციის ემძ-ის აღძვრის მოვლენას, რომელიც კონტურში დენის ძალის ცვლილების შედეგია, ***თვითინდუქციის*** მოვლენა ჰქვია.
  ჩაკეტილ კონტურში დენის ძალის გაზრდისას ნულიდან რაღაც განსაზღვრულ მნიშვნელობამდე კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადიც იზრდება. შედეგად აღძრული თვითინდუქციის ემძ კონტურში ქმნის ელექტრულ დენს, რომელიც კონტურში გამავალი ძირითადი დენის საწინააღმდეგოდაა მიმართული.

■ ბაქოში XX საუკუნის დასაწყისში პირველად ევროპაში ორი ელექტროსადგური ამუშავდა, რომლებიც სამრეწველო მასშტაბებში გამოიმუშავებდა და გადასცემდა ცვლად დენს: ბიბიეიბათის ელექტრული სადგური (1901) და ბელოგოროდის (ამჟამად, აქშეხერის) ელექტროსადგური (1902). 1906 წლის მარტში დაიწყო ელექტროენერგიის მიწოდება ბალახანში ნავთობის საბადოსთვის, რომელიც ბელოგოროდის ელექტროსადგურიდან 8,5 კმ მანძილზე მდებარეობდა. შედარებისთვის მოვიყვანოთ ევროპის მსხვილ ქალაქებში ელექტროენერგიის გამოყენების თარიღები: ჰელსინკი – 1940 წელი, სტოკჰოლმი – 1960 წელი. აშშ-ში კი ცვლად დენზე მთელი ქვეყანა სრულად მხოლოდ 2007 წელს გადავიდა.

- ***რით განსხვავდება ცვლადი დენი მუდმივისგან?***
- ***როგორ მიიღება ცვლადი დენი?***



„ბღვის წყლის თერძოქიძიური შეძარბილებელი მოწყობილობა“ პირველად მსოფლიოში ბაქოს ელექტროსადგურის ორთქლის ქვაბისთვის აშენდა. ბაქო, 1902 წ.

LAKTIS

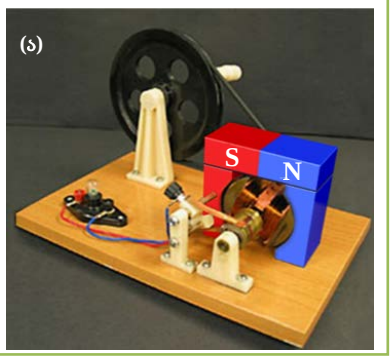
კვლევითი სამუშაო 1 ***რომელი უჩვეულო მოვლენა შეიმჩნევა ნათურის ნათებისას?***

საჭირო მოწყობილობა: ნათურით აღჭურვილი გენერატორის მოდელი.

სამუშაოს მსვლელობა: გენერატორის სახელური მუდმივი სიჩქარითაბრუნეთ და იმავდროულად ნათურის ნათებას დააკვირდით *(ა)*.

შედეგების ანალიზი:

- რა შეამჩნიეთ უჩვეულო ნათურის ნათებისას, მიუხედავად იმისა, რომ გენერატორის სახელურს მუდმივი სიჩქარით აბრუნებდით?
- რა ვარაუდები შეიძლება გამოითქვას ცდის შესახებ?



იძულებითი ელექტრომაგნიტური რხევები. თქვენ იცით, რომ რეალურ რხევით კონტურში აღძრული ელექტრომაგნიტური რხევები ყოველთვის მილევადია. იმისათვის, რომ ისინი მილევადი არ იყოს, აუცილებელია, პერიოდულად ენერგიის გადაცემა რხევითი კონტურისთვის. ამ მიზნით რხევით კონტურს მიმდევრობით მიუერთებენ დენის წყაროს *(ბ)*, რომლის ემძ ჰარმონიული კანონის თანახმად იცვლება:

$$\varepsilon = \varepsilon_m sin\omega t \qquad (1)$$

ელექტრული წრედის სქემაზე ცვლადი დენის წყარო აღინიშნება „~“ სიმბოლოთი. (1)-ლ გამოსახულებაში ε_m არის ემძ-ის მაქსიმალური (ამპლიტუდური) მნიშვნელობა, ω – კი ემძ-ის ცვლილების ციკლური სიხშირეა. დენის წყაროს ცვლადი ემძ-ის მოქმედების შედეგად LC-კონტურში იძულებითი ელექტრომაგნიტური რხევები აღიძვრება.

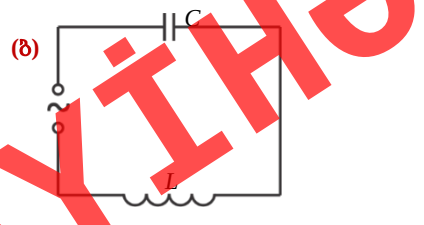
- *იძულებითი ელექტრომაგნიტური რხევები – ელექტრული მუხტის, დენის ძალისა და ძაბვის ცვლილებაა, რომელიც კონტურში გარე დენის წყაროს ცვლადი ემძ-ის მოქმედებით აღიძვრება. დენის წყაროს ემძ-ის ცვლილების სიხშირე ω ციკლური სიხშირის ტოლია.*

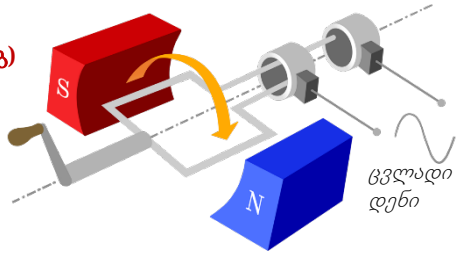
იძულებითი ელექტრომაგნიტური რხევები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც რეზისტორის, კონდენსატორისა და კოჭას შემცველ კონტურში გამავალი ცვლადი დენი.

- *ცვლადი დენი – ეს არის დენი, რომლის მიმართულება და დამახასიათებელი პარამეტრები დროის მიხედვით პერიოდულად იცვლება.*

ცვლადი დენი ქარხნებსა და ფაბრიკებში ელექტრულ ძრავებს ამოძრავებს, ყოფაცხოვრებაში გამანათებელ სისტემებში გამოიყენება, თითქმის ყველა ელექტრული მოწყობილობა მოჰყავს მოქმედებაში და ა.შ.

ცვლადი დენის მიღება. მოწყობილობას, რომელიც ცვლად დენს გამოიმუშავებს, ცვლადი დენის გენერატორი ანუ *ინდუქციური გენერატორი* ჰქვია. გენერატორის მოქმედების პრინციპი ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენაზეა დაფუძნებული. ასეთი გენერატორის ყველაზე მარტივი მოდელი შედგება გამტარი კონტურისგან, რომელიც ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ბრუნავს *(გ)*.





LAYIHƏ

გამტარი კონტურის ω ციკლური სიხშირით ბრუნვისას მაგნიტურ ველში, რომლის ინდუქციაა $\vec{B}$, კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი ჰარმონიული კანონის მიხედვით იცვლება:

$$\Phi = \mathrm{BS}\cos\omega t = \Phi_m cos\omega t. \qquad (2)$$

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის თანახმად, კონტურში ჰარმონიული კანონის მიხედვით ცვლადი ემძ აღიძვრება:

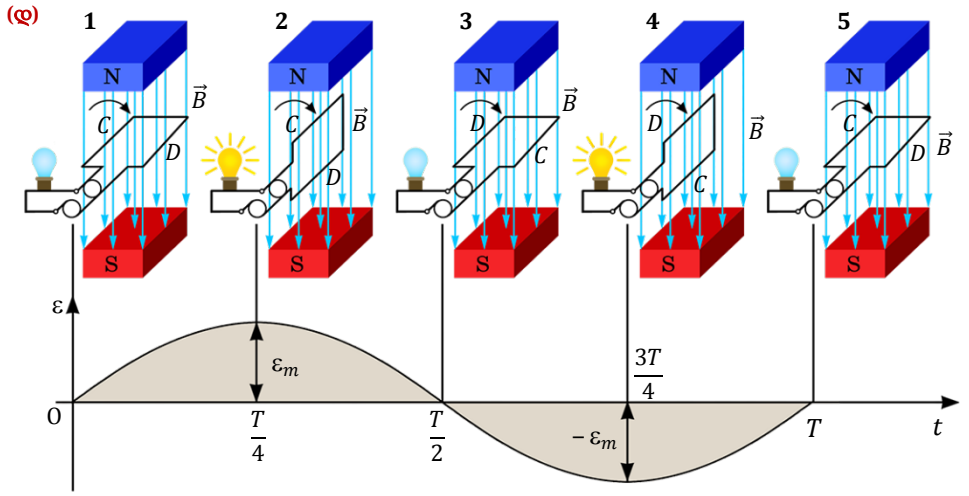
$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'(t) = (-\Phi_m cos\omega t)' = \Phi_m \omega sin\omega t = \varepsilon_m sin\omega t.$$

შედეგად წყაროს პოლუსებზე აღიძვრება ძაბვა, რომელიც სინუსის კანონის მიხედვით იცვლება:

$$u = U_m \sin\omega t. \qquad (3)$$

თუ გენერატორის კონტურის პოლუსებს მომხმარებელს, მაგ., ნათურას, მივუერთებთ, მაშინ მასში ჰარმონიული კანონის მიხედვით ცვლადი ინდუქციური დენი გაივლის – პერიოდულად ნათურა ხან მკვეთრად კაშკაშებს, ხანაც ქრება *(დ)*:

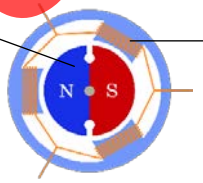
$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0). \qquad (4)$$



მე-(2), მე-(3) და მე-(4) გამოსახულებებში Φ, u, i შესაბამისად, მაგნიტური ნაკადის, ძაბვისა და დენის ძალის მყისი მნიშვნელობებია, ხოლო Φ_m, U_m, I_m – შესაბამისი სიდიდეების მაქსიმალური (ამპლიტუდური) მნიშვნელობები, φ_0 – ძაბვასა და დენის ძალას შორის ფაზათა სხვაობაა.

ცვლადი დენის გენერატორები სხვადასხვა კონსტრუქციისაა. ზოგიერთ მათგანში ბევრი ხვიის მქონე კოჭა (როტორი) უძრავი მუდმივი მაგნიტის (სტატორის) მაგნიტურ ველში ბრუნავს. ზოგიერთში კი, პირიქით: ორპოლუსიანი მაგნიტი (როტორი) უძრავი კოჭას (სტატორის) შიგნით ბრუნავს. თბილელექტროსადგურებში იყენებენ გენერატორებს, რომლებიც ორპოლუსიანი მაგნიტური როტორებისგან შედგება *(ე)*.

(ე)



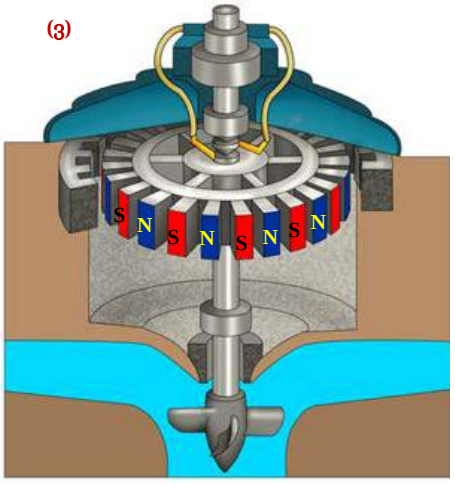
როტორი – *გენერატორის მბრუნავი ნაწილი, რომელიც შედგება მუდმივი მაგნიტისგან ან ელექტრომაგნიტისგან.*

სტატორი – *გენერატორის უძრავი ნაწილი, რომელიც გამტარი ხვიებისგან შედგება.*

LAYING

როტორი, რომელიც $3000\ \frac{\text{ბრუნი}}{\text{წთ}}\left(50\ \frac{\text{ბრუნი}}{\text{წმ}}\right)$ სიხშირით ბრუნავს, წამში 50-ჯერ ცვლის მაგნიტის პოლუსებს. შედეგად გენერატორში 50ჰც სიხშირით ცვლადი დენი აღიძვრება. თბოელექტროსადგურებზე (თესებში) გამოყენებული ჰიდროგენერატორების ასეთი სიხშირით ბრუნვა შეუძლებელია, ამიტომ ჰიდროგენერატორებში იყენებენ არა ორპოლუსიან, არამედ მრავალპოლუსიან როტორებს. მრავალპოლუსიანი როტორით აღჭურვილი გენერატორის ნელი ბრუნვით შესაძლებელია დიდი სიხშირით ცვლადი ელექტრული დენის მიღება *(3)*.

ჰიდროგენერატორები ჰეს (ფრაგმენტი)



ჰიდროგენერატორის სქემა

ცვლადი დენის მახასიათებელი სხვა სიდიდეები. გამტარში ელექტრული დენის გავლისას ელექტრული ენერგია ნაწილობრივ შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება. შედეგად გამტარი თბება. ცვლადი დენის წრედში, მიუხედავად მყისი სიმძლავრის პერიოდული ცვლილებისა, სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობა ნებისმიერ პერიოდში მუდმივი რჩება:

$$\overline{P} = \frac{I_m \cdot U_m}{2} \cdot \cos\varphi_0. \qquad (5)$$

სადაც $\cos\varphi_0$ სიმძლავრის კოეფიციენტია, რომელიც გვიჩვენებს, ელექტრული ენერგიის რა ნაწილი გარდაიქმნა შეუქცევადად, მექანიკურ ან შინაგან ენერგიად. მე-(5) გამოსახულება შეიძლება ასეთი სახით ჩაიწეროს:

$$\overline{P} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \cos\varphi_0 = IU\cos\varphi_0. \qquad (6)$$

$\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ და $\frac{U_m}{\sqrt{2}}$ შეფარდებებს, შესაბამისად, ცვლადი დენის ძალისა და ძაბვის მოქმედ მნიშვნელობებს უწოდებენ:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{და} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \qquad (7)$$

• *დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობა ისეთი მუდმივი დენის ძალის ტოლია, რომელიც გამტარში იმავე რაოდენობის სითბოს გამოყოფს, რასაც ცვლადი დენი იმავე დროში.*

LAYiHD

• *ცვლადი დენის წრედში გამოყენებული ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი დენის ძალისა და ძაბვის მოქმედ მნიშვნელობებს ზომავს.*

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო | 2

ახსენით ცვლადი დენის მიღება ჩაკეტილ კონტურში

ამოცანა. ახსენით მოყვანილი სქემის ***(დ)*** მიხედვით ცვლადი ინდუქციური დენის წარმოქმნა კონტურში, რომელიც ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ბრუნავს.

სამუშაო შედეგების განხილვა:

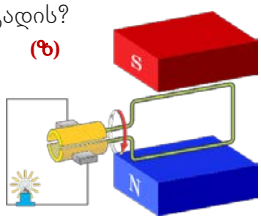
•ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მბრუნავი კონტურის რომელ მდგომარეობაში აღიძვრება მაქსიმალური სიდიდის ცვლადი ინდუქციური დენი? რატომ?

• რა შეგიძლიათ თქვათ იმ ინდუქციური დენის მიმართულების შესახებ, რომელიც მე-2 და მე-4 მდგომარეობაში კონტურის C და D მხარეს გადის?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

სურათზე გამოსახულია მუდმივი დენის გენერატორის სქემა ***(გ)***. შეადარეთ ის ცვლადი დენის გენერატორის გამარტივებულ სქემას (***გ*** და ***დ***).

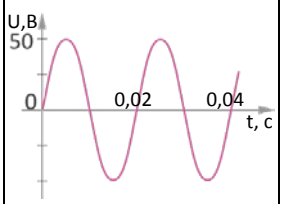
(ზ)



• რა განსხვავებაა ამ გენერატორების აგებულებას (კონსტრუქციას) შორის?

• როგორ ხდება, რომ ამ გენერატორებიდან ერთში მუდმივი დენი აღიძვრება, მეორეში კი – ცვლადი?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები		ვიცი		
			ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	როგორ უზრუნველყოფენ რხევით კონტურში არა-მილევადი ელექტრომაგნიტური რხევების მიღებას?				
2	რომელი ცდით შეიძლება ცვლადი დენის გენერა-ტორის მოქმედების მოდელირება?				
3	ემძ იცვლება კანონით: $\varepsilon = 120sin\ 80\pi t$. განსაზღვრეთ პერიოდი, სიხშირე და ემძ-ის ამპლიტუდური მნიშვნელობა.				
4	ოცემული გრაფიკის სა-ფუძველზე განსაზღვრეთ: ა) ძაბვის რხევის ამპლი-ტუდური მნიშვნელობა; ბ) რხევის პერიოდი და სიხშირე; გ) ძაბვის დროზე დამო-კიდებულების განტოლება.				
5	დენის ძალა განათების ქსელში 10 ა-ის ტოლია. რის ტოლია დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა?				

რა შეიტყვეთ?
შეადგინეთ და შეი-ტანეთ სამუშაო რვე-ულში ცნებათა რუკა თემაზე „ცვლადი დე-ნი“.

პროექტი „დენების ბრძოლა“. გამოიყენეთ ელექტრონული რესურსები, მოამზადეთ რეფერატი იმ 100-წლიანი დაპირისპირების შესახებ, რომელიც ორ ამერი-კელ გამომგონებელსა და მათ გამოგონებებს შორის მიმდინარეობდა: თომას ედისონის მიერ „მუდმივი დენის წარმოება და ექსპლუატაცია“ და ნიკოლა ტესლას მიერ „ცვლადი დენის წარმოება და ექსპლუატაცია“.

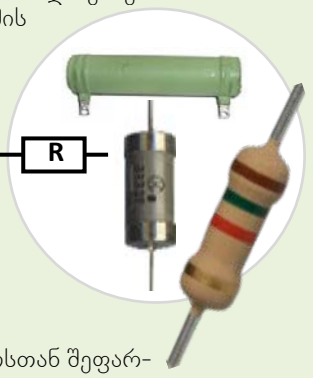
LAYLA

3.4. რეზისტორის, კონდენსატორისა და კოჭას შემცველი ცვლადი დენის წრედი

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა –8 და 11

• ***რეზისტორი*** გამტარია, რომელიც განსაკუთრებული შენადნობისგანაა დამზადებული და მომჭერები აქვს. ელექტრულ სქემებზე რეზისტორი მართკუთხედის სახითაა გამოსახული და R ასოთი აღინიშნება. მიკროსქემებში სხვადასხვა რეზისტორი გამოიყენება. წრედის უბანში გამავალ დენის ძალას, უბნის ბოლოებზე არსებულ ძაბვასა და უბნის წინაღობას შორის კავშირი ომის კანონით განისაზღვრება: $I = \frac{U}{R}$.



სადაც *R* უბნის (გამტარის) წინაღობაა. გამტარის წინაღობა მის გეომეტრიულ ზომებსა და იმ მასალაზეა დამოკიდებული, რომლისგანაც გამტარია დამზადებული:

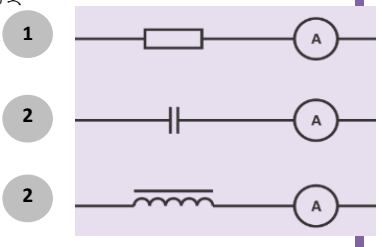
$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

• წრედის უბანზე დენის მუშაობა მასში გამავლი დენის ძალის, მის ბოლოებზე არსებული ძაბვისა და იმ დროის ნამრავლის ტოლია, რომლის განმავლობაშიც გამტარში დენი გადის: $A = IUt$.

• ელექტრული დენის სიმძლავრე დენის მუშაობის იმ დროსთან შეფარდების ტოლია, რომელშიც ეს მუშაობა შესრულდა:

$$P = \frac{A}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

■ სურათზე გამოსახული 1-ლი, მე-2 და მე-3 უბნები მიმდევრობითაა მიერთებული ცვლადი დენის ერთსა და იმავე წყაროსთან. ცნობილია, რომ იმ უბანზე, რომელშიც კონდენსატორია ჩართული, დენის ძალის მნიშვნელობა დიდია.

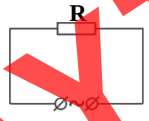


- ***რატომაა, რომ ცვლადი დენის ძალა კონდენსატორის შემცველ უბანზე შედარებით დიდია, ვიდრე იმ უბანზე, რომელშიც კოჭაა ჩართული?***
- ***რას იწვევს რეზისტორის დიდი წინაღობა ცვლადი დენის წრედში?***

აქტიური წინაღობა ცვლადი დენის წრედში.

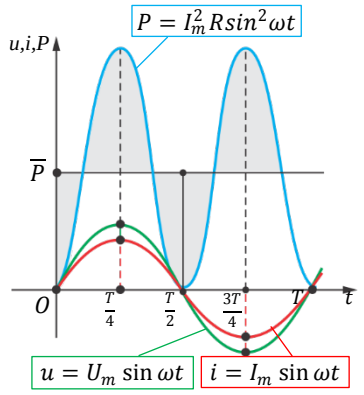
ცვლადი დენის წრედში რეზისტორს, რომლის წინაღობა შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება: $R = \rho \frac{l}{S}$, აქტიური წინაღობა ჰქვია. აქტიური წინაღობის შემცველ ელექტრულ წრედში ელექტრული ენერგიის გარკვეული ნაწილი შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება. ვთქვათ, აქტიური წინაღობის შემცველ წრედში ძაბვა სინუსის კანონით იცვლება (ა): $u = U_m \sin \omega t$. აქტიური წინაღობის შემცველი ცვლადი დენის წრედის მახასიათებელი სიდიდეებს დამოკიდებულება 3.3. ცხრილშია მოყვანილი.

(ა)



LAY-HE

ცხრილი 3.3. ცვლადი დენის წრედი აქტიური წინაღობით

დამოკიდებულებები ცვლადი დენის მახასიათებელ სიდიდეებს შორის	*ცვლადი დენის მახასიათებელი სიდიდეების გრაფიკები*
ომის კანონის თანახმად: $$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} sin\omega t = I_m sin\omega t.$$ წრედში, რომელიც მხოლოდ რეზისტორს შეიცავს, დენის ძალა i და ძაბვა u ერთანირ ფაზაში ირხევა, ამიტომ: $\varphi_0 = 0$ და $\cos\varphi_0 = 1$. ასეთ შემთხვევაში საშუალო სიმძლავრე ასე გამოითვლება: $$\overline{P} = \frac{I_m \cdot U_m}{2} \cdot \cos\varphi_0 = \frac{I_m \cdot U_m}{2} = \frac{I_m^2 R}{2}.$$ მყისი სიმძლავრე კი ასე: $$P = iu = i^2 R = I_m^2 R sin^2 \omega t.$$ • *ცვლადი დენის წრედში, რომელიც მხოლოდ რეზისტორს შეიცავს, აქტიური წინაღობა, დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა და ძაბვა ცვლადი დენის სიხშირეზე დამოკიდებული არ არის.*	

კონდენსატორი ცვლადი დენის წრედში. როგორ იცვლება ცვლადი დენის მახასიათებელი სიდიდეები ცვლადი დენის წრედში, რომელიც კონდენსატორს შეიცავს?

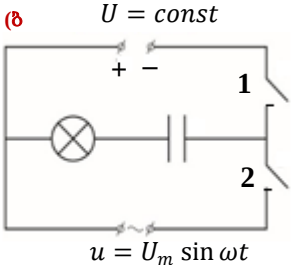
კვლევითი სამუშაო **1** ***რა შემთხვევაში გადის დენი კონდენსატორის შემცველ წრედში?***

საჭირო რესურსები: კონდენსატორი (100 მკფ), ნათურა (4 ვ), მუდმივი და ცვლადი დენის წყაროები, ჩამრთველი (2 ცალი), შემაერთებელი სადენები.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. იხელმძღვანელეთ (ბ) სქემით და ააწყვეთ წრედი. 2. ჩართეთ ჩამრთველი 1, მიუერთეთ კონდენსატორი მუდმივი ძაბვის წყაროს და დააკვირდით, რა მოხდება. 3. გამორთეთ ჩამრთველი 1 და ჩართეთ ჩამრთველი 2. მიუერთეთ კონდენსატორი ცვლადი ძაბვის წყაროს და განაგრძეთ დაკვირვება, რა მოხდება.
4. მიუერთეთ ნათურა უშუალოდ, კონდენსატორის გარეშე, ცვლადი დენის წყაროს და შეადარეთ მისი ნათება (გამოსხივება) ნათებას იმ შემთხვევაში, როცა ნათურა კონდენსატორთან იყო მიერთებული.

(ბ)



სამუშაო შედეგების განხილვა:

- კონდენსატორის ჩართვისას რომელ შემთხვევაში არსებობდა წრედში დენი და ანათებდა ნათურა? რატომ?
- რა შემთხვევაში იყო ცვლადი დენის წრედში ნათურის სიკაშკაშე უფრო მკვეთრი: როცა წრედში კონდენსატორი იყო ჩართული, თუ იმ შემთხვევაში, როცა კონდენსატორი ჩართული არ იყო? რატომ?

მუდმივი დენის წყაროსთან კონდენსატორის მიერთებისას წრედში ხანმოკლე დენი გადის, ნათურა წამიერად ინთება და მაშინვე ქრება. ამის მიზეზი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის დიელექტრიკის არსებობაა. ცვლადი დენის წყაროსთან მიერთებული კონდენსატორი, პერიოდულად ხელახლა მუხტვისას წრედში დენის არსებობას და ნათურის ნათებას უზრუნველყოფს. თუ ნათურა წყაროსთან პირდაპირ, კონდენსატორის გარეშეა მიერთებული, მისი ნათება უფრო კაშკაშაა, ვიდრე მაშინ, როცა იმავე წრედში კონდენსატორია ჩართული. ნათურის ნათების შემცირება იმ წინაღობაზე მიანიშნებს, რომელსაც წრედში კონდენსატორი ქმნის. წინაღობას, რომელსაც კონდენსატორი ქმნის, *ტევადობითი წინაღობა* ჰქვია და $X_{წინ}$ სიმბოლოთი აღინიშნება. კონდენსატორის შემცველი ცვლადი დენის წრედის მახასიათებელ სიდიდეებს შორის დამოკიდებულება 3.4. ცხრილშია მოცემული.

LAYING

ცხრილი 3.4. ცვლადი დენის წრედი ტევადობითი წინაღობით.

დამოკიდებულებები ცვლადი დენის მახასიათებელ სიდიდეებს შორის

თუ გავითვალისწინებთ, რომ: $u = U_m \sin \omega t$ და $q = C \cdot u = C \cdot U_m \sin \omega t$.

$$i = q' = \omega C \cdot U_m \cos \omega t \text{ ან } i = I_m \cos \omega t = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$

• წრედში, რომელიც ტევადობით წინაღობას შეიცავს, დენის ძალის რხევა ძაბვის რხევასთან შედარებით $\frac{\pi}{2}$–ის ტოლი ფაზითაა წანაცვლებული (წინ უსწრებს).

ბოლო გამოსახულებიდან ჩანს, რომ: $I_m = \omega C \cdot U_m$. (1)

ამგვარი წრედისთვის ომის კანონს ასეთი სახე აქვს: $I_m = \frac{U_m}{X_{\text{ტევ}}}$. (2)

თუ (1)-ლ და მე-(2) ტოლობებს შევადარებთ, ტევადობითი წინაღობის გამოსათვლელ ფორმულას მივიღებთ: $X_{\text{ტევ}} = \frac{1}{\omega C}$.

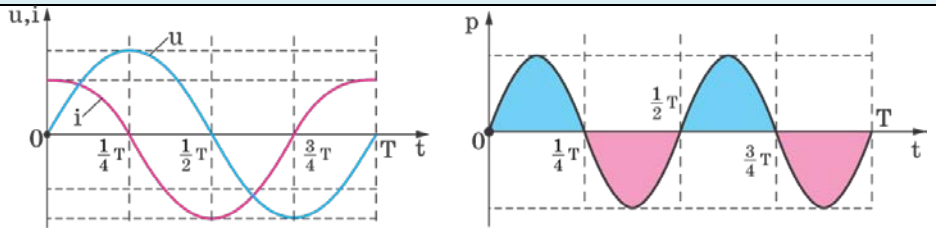
ტევადობითი წინაღობა წრედში სითბოს არ გამოყოფს, ამიტომ მას ***რეაქტიული*** წინაღობა ჰქვია.

• ცვლადი დენის წრედში, რომელიც ტევადობით წინაღობას შეიცავს, დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა და ტევადობითი წინაღობა ცვლადი დენის რხევის სიხშირეზეა დამოკიდებული. საშუალო სიმძლავრე ასეთ წრედში ნულის ტოლია, რადგან:

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2} \text{ და } \cos\frac{\pi}{2} = 0 \Rightarrow \overline{P} = IU\cos\varphi_0 = 0.$$

თუ ცვლადი დენის წრედი მხოლოდ კონდენსატორისგან შედგება, მაშინ მასში საშუალო სიმძლავრე ნულის ტოლია, ხოლო წყაროდან მიღებული ენერგია შინაგან ენერგიად არ გარდაიქმნება. ენერგიის გადაცემა მხოლოდ კონდენსატორსა და გენერატორს შორის ხდება.

ცვლადი დენის მახასიათებელი სიდიდეების გრაფიკები



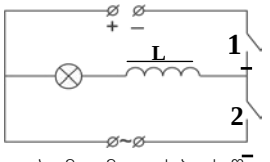
• *როგორც გრაფიკიდან ჩანს, პერიოდის განმავლობაში მყის სიმძლავრეს ორჯერ დადებითი მნიშვნელობა აქვს, ორჯერ კი – უარყოფითი. ანუ, ენერგია, რომელიც წრედს გადაეცემა, სრულად უბრუნდება წყაროს.*

კოჭა ცვლადი დენის წრედში. რა მოხდება, თუ ცვლადი დენის წრედში მხოლოდ კოჭას ჩავრთავთ?

კვლევითი სამუშაო 21

კოჭას შემცველი წრედის კვლევა

(გ)



საჭირო რესურსები: კოჭა რკინის გულარით (L = 5ჰნ), ნათურა (4 ვ), მუდმივი და ცვლადი დენის წყაროები, ჩამრთველი (2 ცალი), შემაერთებელი სადენები.

სამუშაოს მსვლელობა: 1. ახსენიძღვანელეთ (გ) სქემით და ააწყვეთ წრედი. 2. ჩართეთ ჩამრთველი 1, მიუერთეთ L ინდუქციურობის კოჭა მუდმივი ძაბვის წყაროს. დააკვირდით ნათურის ნათებას. 3. გამორთეთ ჩამრთველი 1 და ჩართეთ ჩამრთველი 2. მიუერთეთ კოჭა ცვლადი ძაბვის წყაროს და განაგრძეთ დაკვირვება, რა მოხდება.

სამუშაო შედეგების განხილვა:

• ნათურასა და კოჭას შემცველი წრედის უბნის რომელ წყაროსთან მიერთების შემთხვევაში ანათებდა ნათურა მეტად? • რა დასკვნის გაკეთება შეიძლება ამ ცდიდან?

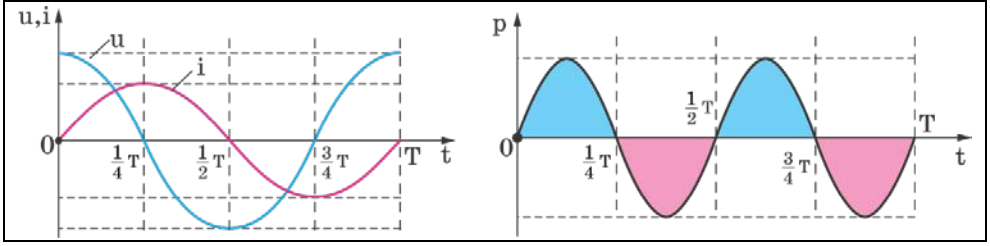
საჭირო რესურსები: ნათურით აღჭურვილი გენერატორის მოდელი.

LATTO

კვლევიდან ნათელია, რომ ნათურასა და ინდუქციურობის კოჭას შემცველი K წრედის უბნის ცვლადი დენის წყაროსთან მიერთებისას ნათურის ნათების ინტენსივობა მკვეთრად მცირდება. ეს, თავის მხრივ, გვიჩვენებს, რომ ინდუქციურობის კოჭას განსაზღვრული წინაღობა აქვს. კოჭას წინაღობას *ინდუქციური წინაღობა* ჰქვია და X_L სიმბოლოთი აღინიშნება.

ინდუქციურობის კოჭას შემცველი ცვლადი დენის წრედის მახასიათებელ სიდიდეებს შორის დამოკიდებულება 3.5. ცხრილშია მოცემული.

ცხრილი 3.5. ცვლადი დენის წრედი ინდუქციური წინაღობით

დამოკიდებულებები ცვლადი დენის მახასიათებელ სიდიდეებს შორის
ცვლადი დენის გავლისას ასეთ წრედში, თვითინდუქციის ემძ აღიძვრება, რომელიც ასე გამოითვლება: $$\varepsilon_{is} = -L\frac{\Delta i}{\Delta t} = -Li'.$$ *ომის გათვალისწინებით, რომ თვითინდუქციის ემძ-სა და ცვლადი დენის წყაროს პოლუსებზე ძაბვის მყის მნიშვნელობას შორის დამოკიდებულება ასეთია:* $\boldsymbol{u = -\varepsilon_{is}}$, *ამიტომ* $\boldsymbol{u = Li'}$. *თუ დენის ძალა იცვლება კანონით:* $\boldsymbol{i = I_m sin\omega t}$, *მაშინ ძაბვის მყისი მნიშვნელობა ასე გამოითვლება:* $$u = \omega L I_m cos\omega t = U_m cos\omega t \text{ ან } u = U_m sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$ • *ცვლადი დენის წრედში, რომელიც ინდუქციურობის კოჭას შეიცავს, ძაბვის რხევა დენის ძალის რხევასთან შედარებით* $\frac{\pi}{2}$*-ის ტოლი ფაზითაა წანაცვლებული (წინ უსწრებს). საშუალო სიმძლავრე ასეთ წრედში ნულის ტოლია. ბოლო გამოსახულებიდან ჩანს, რომ:* $$\boldsymbol{U_m = \omega L \cdot I_m}. \qquad (3)$$ *ამ შემთხვევაში ომის კანონს ასეთი სახე აქვს:* $$\boldsymbol{I_m = \frac{U_m}{\omega L} = \frac{U_m}{X_L}}. \qquad (4)$$ *ამრიგად, ინდუქციური წინაღობა ასე გამოითვლება:* $$\boldsymbol{X_L = \omega L}.$$ *ეს წინაღობაც რეაქტიურია, რადგან ის წრედში სითბოს არ გამოყოფს.* • *თუ ცვლადი დენის წრედი მხოლოდ კოჭასგან შედგება, მაშინ ამ წრედის საშუალო სიმძლავრე ნულის ტოლია და მასში სითბო არ გამოიყოფა. ინდუქციური წინაღობა მხოლოდ ცვლადი დენის ძალის მაქსიმალურ მნიშვნელობას შემოსაზღვრავს.*
ცვლადი დენის მახასიათებელი სიდიდეების დამოკიდებულების გრაფიკები


LAYİHƏ

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 3

რა გავლენას ახდენს ინდუქციური წინაღობა ცვლადი დენის ძალაზე?

ამოცანა. ცვლადი დენის წრედში 0,5 ჰნ ინდუქციურობის კოჭა ძალიან მცირე (უმნიშვნელო) აქტიურ წინაღობასთანაა მიერთებული. ცნობილია, რომ ცვლადი დენის სიხშირეა 50 ჰც, ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე კი 240 ვ-ია. ამასთან ჩათვალეთ, რომ

$\pi = 3$; $\sqrt{2} = 1{,}4$ განსაზღვრეთ:

ა) კოჭას ინდუქციური წინაღობა;
ბ) კოჭაში გამავალი ცვლადი დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობა;
გ) დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა.

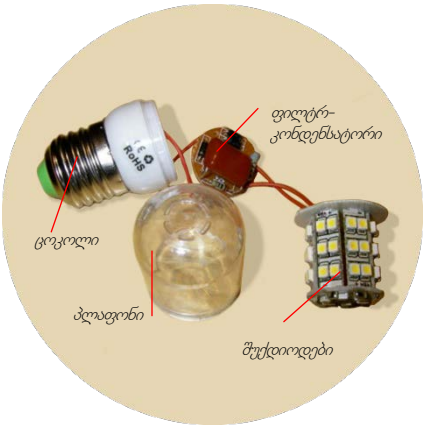
სამუშაო შედეგების განხილვა:

- რას ნიშნავს: ცვლადი დენის სიხშირეა 50 ჰც, ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე კი 240 ვ-ია?
- რაზეა დამოკიდებული კოჭას ინდუქციური წინაღობა? რა გავლენას ახდენს ის ცვლადი დენის ძალაზე: ზრდის მას თუ ამცირებს?

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

LED ნათურები (შუქდიოდები) დიდი ენერგოეკონომიურობის გამო განათების სისტემებში ფართოდ გამოიყენება. მიუხედავად იმისა, რომ **LED** ნათურები 220 ძაბვის ცვლადი დენის წრედში ირთვება, მისი შუქდიოდები ძალიან პატარა მუდმივ დენზე მუშაობს. მათთვის მუდმივ დენს უზრუნველყოფს ნათურაში მოთავსებული მიკროელექტრონული წრედი, რომელიც ნახევარგამტარული დიოდით და ტრანზისტორით, კოჭათი, რეზისტორით და კონდენსატორითაა აღჭურვილი.

- გაანათებს თუ არა **LED** ნათურა, თუ მას მუდმივი დენის წყაროს მივუერთებთ? რატომ?



შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	რეზისტორის წინაღობას ცვლადი დენის წრედში აქტიურ წინაღობას უწოდებენ, ხოლო კონდენსატორისა და კოჭას წინაღობას – რეაქტიულს. რატომ?			
2	როგორ შეიცვლება 0,1 ჰნ ინდუქციურობის კოჭას ინდუქციური წინაღობა, თუ წრედში ცვლადი დენის სიხშირეს 50 ჰც-დან 5 კჰც-მდე გავზრდით?			
3	როგორ შეიცვლება 5 მკფ ტევადობის კონდენსატორის ტევადობითი წინაღობა, თუ წრედში ცვლადი დენის სიხშირეს 50 ჰც-დან 5 კჰც-მდე გავზრდით?			
4	20 ომი წინაღობის რეზისტორი ჩართულია ცვლადი დენის წრედში. როგორ შეიცვლება რეზისტორის წინაღობა, თუ წრედში ცვლადი დენის სიხშირეს 50 ჰც-დან 5 კჰც-მდე გავზრდით?			

რა შეიტყვეთ? შეადგინეთ და ჩაწერეთ სამუშაო რვეულში ცნებათა რუკა თემაზე: „რეზისტორის, კონდენსატორისა და ინდუქციურობის კოჭას შემცველი ცვლადი დენის წრედი“.

LAY HO

3.5. ომის კანონი ცვლადი დენის წრედისთვის მიმდევრობით ჩართული აქტიური, ინდუქციური და ტევადობითი წინაღობებით

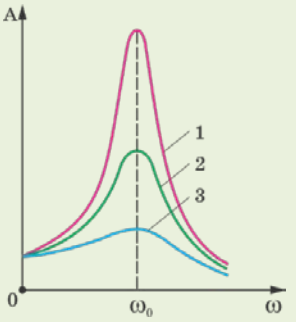
• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 10 და 11

ომის კანონი სრული წრედისთვის შემდეგნაირად გამოითქმება:

- დენის ძალა სრულ წრედში პირდაპირპროპორციულია წყაროს ემძ-სი და უკუპროპორციულია წრედის წინაღობისა: $I = \frac{\varepsilon}{R_{სრ.}} = \frac{\varepsilon}{R+r}$.

იძულებითი მერხევი სისტემის რხევის ამპლიტუდა დამოკიდებულია გარეშე ზემოქმედების სიხშირეზე. გარეშე ზემოქმედების სიხშირის მიახლოება სისტემის საკუთარი რხევის სიხშირესთან იწვევს იძულებითი რხევის ამპლიტუდის ზრდას. შედეგად სისტემაში წარმოიქმნება რეზონანსი.



- რეზონანსი არის მოვლენა, რომელიც გამოიხატება იძულებითი რხევის ამპლიტუდის მკვეთრი გაზრდით და გამოწვეულია გარეშე ზემოქმედების სიხშირის დამთხვევით სისტემის თავისუფალი რხევის სიხშირესთან:

$$(\omega_0 = \omega).$$

- რეზონანსული მრუდების სიმაღლე დამოკიდებულია წინააღმდეგობის ძალებზე. მრუდი 1 გვიჩვენებს სუსტი წინააღმდეგობის ძალის შემთხვევას, მრუდი 2 – შედარებით ძლიერი ძალის, მრუდი 3 – მაქსიმალური ძალის შემთხვევას.

■ ზაფხულის პერიოდში ხანდახან შეიძლება დაზიანდეს მაღალი ძაბვის გამტარების იზოლაცია მსხვილ საწარმოებში, რომლებიც ინტენსიურად იყენებენ ელექტრონულ გამაგრილებელ სისტემებს. ეს იწვევს იზოლაციის გადახურებას, რომელის შეიძლება აალდეს კიდეც. სპეციალისტები ასკვნიან, რომ ამ შემთხვევაში „წრედში საქმე გვაქვს ელექტრონულ რეზონანსთან“.

• რა არის ელექტრული რეზონანსი და რა შემთხვევაში წარმოიქმნება?

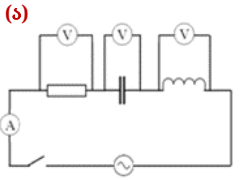
კვლევითი სამუშაო 1

სრულდება თუ არა ომის კანონი ცვლადი დენის წრედში?

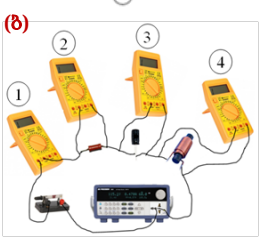
ხელსაწყოები: დენის წყარო ცვალებადი სიხშირით, რეზისტორი (1 კომი). კონდენსატორი (100 მკფ) კოჭა რკინის გულარით (5 ჰნ), ციფრული მულტიმეტრი M-3900 (4 ცალი).

სამუშაოს თანმიმდევრობა: 1 დახაზეთ სამუშაო რვეულში ელექტრული სქემა ***(ა)*** და ააწყვეთ შესაბამისი ელექტრული წრედი ***(ბ)***. 2) დააყენეთ მულტიმეტრები ცვლადი დენის ძალაზე (მულტიმეტრი 1) და ცვლად ძაბვაზე (2÷4). 3) ჩართეთ წრედი და ანათვლები შეიტანეთ ცხრილში 3.6 მულტიმეტრებს აჩვენებს 4) გამოიანგარიშეთ წინაღობების მნიშვნელობები X_L და X_C ემძ-ს რხევის სიხშირეზე და აღნიშნეთ ცხრილში.

(ა)



(ბ)



ცხრილი 3.6.

№	ν, ჰც	I, მა	U_R, ვ	U_L, ვ	U_C, ვ	R, ომი	$X_{წინ}$, ომი	X_C, ომი
1						1000		
2						1000		
3						1000		

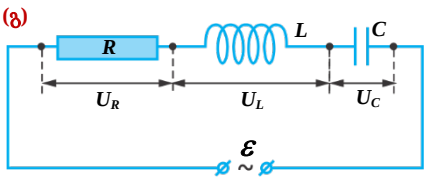
LAYTIP

5) ცხრილის მონაცემების გამოყენებით გამოთვალეთ რეზისტორში, კოჭასა და კონდენსატორში გამავალი დენის ძალა. შეადარეთ მონაცემები 1 მულტიმეტრის ჩვენებას. 6. გაიმეორეთ ცდა კიდევ ორჯერ, თითოეულ შემთხვევაში ემძ-ის სიხშირის გაზრდით. 7. მოაშორეთ რეზისტორი, რომ მკვეთრად შეამციროთ წინაღობა($R \to 0$) და დააკვირდით დენის ძალის ამპლიტუდის მნიშვნელობას.

სამუშაო შედეგის გაანალიზება:

- როგორ იცვლება დენის ძალა თითოეულ უბანზე (რეზისტორზე კონდენსატორსა და კოჭაზე) ემძ-ის რხევის სიხშირის გაზრდისას?
- როგორ შეიცვალა ცვლადი დენის ძალის ამპლიტუდა წრედში წინაღობის მკვეთრად შემცირების შემთხვევაში (რეზისტორის ამოღებისას)? რატომ?
- სრულდება თუ არა ომის კანონი ცვლადი დენის წრედში?

წინა გაკვეთილზე გავაანალიზეთ ცვლადი დენის წრედის განსაკუთრებული, შეიძლება ითქვას, გაიდეალურებული მდგომარეობა. რეალური წრედები შედგება სისტემისაგან, რომელიც ერთდროულად მოიცავს რეზისტორს, კოჭას და კონდენსატორს. წარმოვიდგინოთ, რომ წრედი მიმდევრობით ჩართული რეზისტორით, კონდენსატორით და კოჭით მიერთებულია ცვლადი დენის წყაროსთან *(ვ)*, რომლის ემძ იცვლება ჰარმონიული კანონით $\varepsilon = \varepsilon_m \sin\omega t$. დენის ძალა შეიცვლება კანონით $i = I_m \sin(\omega t - \varphi_0)$, სადაც φ_0 ფაზის გარკვეული წანაცვლებაა დენის წყაროს ბოლოებზე არსებულ ემძ-ს და დენის რხევებს შორის.



ომის კანონის თანახმად, დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა და ემძ (ანუ ცვლადი დენის წყაროს ბოლოებზე არსებული ძაბვა) ერთმანეთთანაა დაკავშირებული:

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{Z} \text{ ან } I_m = \frac{U_m}{Z}. \qquad (1)$$

აქ U_m ცვლადი დენის წრედის ბოლოებზე არსებული ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობაა, ხოლო Z – ცვლადი დენის წრედის სრული წინაღობა.

- *ცვლადი დენის წრედის სრული წინაღობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ტოლია წრედის ბოლოებზე არსებული ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობის ფარდობისა ცვლადი დენის ძალის ამპლიტუდურ მნიშვნელობასთან:*

$$\boldsymbol{Z = \frac{U_m}{I_m}}.$$

თუ ტოლობის ორივე ნაწილს გავყოფთ $\sqrt{2}$-ზე, მივიღებთ ომის კანონის შესრულებას არსებული დენისა და ემძ-ის მნიშვნელობისთვის:

$$\boldsymbol{I = \frac{U}{Z}}.$$

წრედის სრული წინაღობა მიმდევრობით ჩართული აქტიური ტევადობისა და ინდუქტიური წინაღობებისთვის დამოკიდებულია ამ წინაღობებზე:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \qquad (2)$$

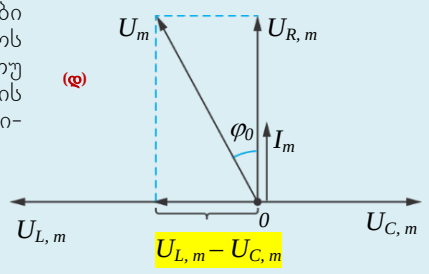
სადაც $\omega L - \frac{1}{\omega C} = X$ ცვლადი დენის რეაქტიული წინაღობაა.

LAYiHe

თუ მე-(2) გამოსახულებას გავითვალისწინებთ (1)-ლ გამოსახულებაში, მაშინ ომის კანონი ცვლადი დენის წრედისთვის ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \qquad (3)$$

მინიშნება. ზემოთ მოყვანილი გამოსახულებები შეიძლება მივიღოთ ცვლადი დენის წყაროს ძაბვის ვექტორის დიაგრამის საფუძველზე, თუ გავითვალისწინებთ ძაბვისა და დენის რხევის ფაზათა სხვაობას ამ წინაღობებზე ***(დ)***. ამ დიაგრამიდან ჩანს:



$$U_m = \sqrt{U_{R,m}^2 + \left(U_{L,m} - U_{C,m}\right)^2}.$$

თუ მე-(2) გამოსახულებაში გავითვალისწინებთ შესაბამის ძაბვის ვარდნას, ქვემოთ მოყვანილი:

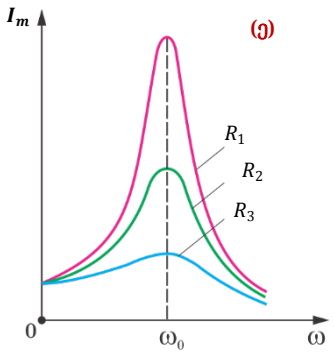
$$U_{R,m} = I_m \cdot R;\ U_{L,m} = I_m \cdot X_L;\ U_{C,m} = I_m \cdot X_C.$$

$$U_m = \sqrt{(I_m \cdot R)^2 + (I_m \cdot X_L - I_m \cdot X_C)^2} = I_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

და ვექტორული დიაგრამის გამოყენებით შეიძლება დავადგინოთ სიმძლავრის კოეფიციენტი:

$$\cos\varphi_0 = \frac{U_{R,m}}{U_m} = \frac{R}{Z}.$$

(ე) ნახაზზე გამოსახულია ცვლადი დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობის დამოკიდებულების გრაფიკები ემძ-ის სიხშირეზე და სამი სხვადასხვა რეზისტორის წინაღობებზე, გრაფიკების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ წინაღობის შემცირება $(R_1 < R_2 < R_3)$ იწვევს ცვლადი დენის რხევის ამპლიტუდის მკვეთრ ზრდას. ცვლადი დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობა მკვეთრად იზრდება სრული წინაღობის მინიმალური მნიშვნელობისას, ე.ი.:



$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \Rightarrow X_L = X_{\text{ტევ}}.$$

ამ დროს ცლადი დენის ძალის რხევის სიხშირე და ემძ-ის რხევის სიხშირე (ω) ემთხვევა წრედის თავისუფალი რხევის სიხშირეს (ω_0) – წარმოიქმნება რეზონანსი:

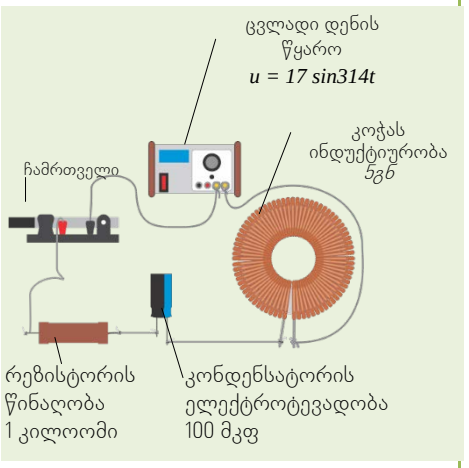
$$\boldsymbol{\omega = \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}}.$$

LAYİHƏ

გამოყენება **კვლევითი სამუშაო 2**

ამოცანა. ნახატზე გამოსახული ცვლადი დენის წრედისა და მისი შემადგენელი ელემენტების მითითებული მნიშვნელობების საფუძველზე დაადგინეთ:

ა) წინაღობები X_L და $X_{\text{ტ}}$;
ბ) წრედის სრული წინაღობა;
გ) ცვლადი დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა;
დ) წრედის სიმძლავრის კოეფიციენტი. გვერდზე წრედის ფოტოა.



სამუშაო შედეგის განხილვა:

- შესაძლებელი იქნებოდა თუ არა ანალოგიური გამოთვლების გაკეთება თუ ცვლადი დენის წყაროს მუდმივი დენის წყაროთი შევცვლიდით? რატომ?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ცვლადი დენის რხევებისა და ძაბვის რხევების ფაზების წანაცვლების გასადიდებლად ელექტრიკოსები მაღალი ინდუქტიური წინაღობის ელემენტებს (ელექტროძრავა, ტრანსფორმატორი და სხვ.) მიმდევრობით უერთებენ კონდენსატორს.

- რატომ ცდილობენ ელექტრიკოსები დენის ძალის რხევისა და ძაბვის ფაზების წანაცვლებას ცვლადი დენის წრედში?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	ითვლება, რომ ცვლადი დენის წრედში დენის ძალის რხევა და ცვლადი დენის წრედში მიმდევრობით ჩართული ელემენტების რხევა ერთნაირ ფაზაში ხდება. რატომ?			
2	რას უტოლდება ცვლადი დენის წრედის სრული წინაღობა მიმდევრობითი ჩართვისას?			
3	რის ტოლია ფაზათა წანაცვლება კონდენსატორის და კოჭას ბოლოებზე არსებული ძაბვასა და ცვლადი დენის ძალას შორის?			
4	ცვლადი დენის წრედი შედგება მიმდევრობით ჩართული რეზისტორისგან ((R=1 კილოომი), კონდენსატორისგან 0,1 მკფ ტევადობით და კოჭასგან ინდუქტიურობით 0,5 ჰნ. წრედი მიერთებულია წყაროსთან, რომლის რხევის სიხშირეა 1 კჰც. დაადგინეთ: ა) წრედის სრული წინაღობა; ბ) ν_0 სიხშირის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც წრედის რეაქტიული წინაღობა ნულის ტოლია.			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულებში ესე: „ომის კანონი ცვლადი დენის წრედისთვის“.

LAYOUT

3.6. ელექტროენერგიის გადაცემა. ტრანსფორმატორი

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა•

ფიზიკა – 8

სრული წრედისთვის ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, ლითონის გამტარში გამავალი ელექტრული დენი მუშაობას ასრულებს. დენის მუშაობა გამტარის შინაგანი ენერგიის გაზრდაზე – წრედში სითბოს გამოყოფაზე იხარჯება:

$$A = Q = IUt.$$

- *დენიან გამტარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლია დენის ძალის კვადრატის ნამრავლისა გამტარის წინაღობაზე და იმ დროზე, რომლის განმავლობაშიც გამტარში დენი გადის:*

$$Q = I^2Rt.$$

ეს დამოკიდებულება პირველად, ექსპერიმენტულად ინგლისელმა მეცნიერმა ჯ. ჯოულმა და რუსმა მეცნიერმა ე. ლენცმა დაადგინეს, ამიტომ მას ჯოულ-ლენცის კანონი ჰქვია.

- *პარალელურად შეერთებული გამტარების ბოლოებზე ძაბვა უცვლელია (ერთნაირია), ამიტომ პარალელურ გამტარებში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ამ გამტარების წინაღობის უკუპროპორციულია:*

$$Q = \frac{U^2}{R}t.$$

თანამედროვე მსხვილ ელექტროსადგურებში ელექტრულ ენერგიას რამდენიმე ათასი ვოლტი ძაბვის ქვეშ გამოიმუშავებენ. თუმცა იმისათვის, რომ გამომუშავებული ელექტრული ენერგია დიდ მანძილებზე გადასცენ, ძაბვას კიდევ უფრო ზრდიან. მას შემდეგ, რაც ენერგია დანიშნულების პუნქტამდე მიაღწევს, ძაბვას ამცირებენ.

- რატომ გადაეცემა დიდ მანძილებზე ელექტროენერგია მაღალი ძაბვით?
- რატომ ამცირებენ ძაბვას კვლავ, მას შემდეგ, რაც ენერგია დანიშნულების პუნქტამდე მიაღწევს?
- როგორ ხდება ძაბვის ამაღლება და დადაბლება?

ელექტროენერგიის გადაცემა. ცვლადი დენის გენერატორის მიერ გამომუშავებული ელექტროენერგიის დიდ მანძილებზე გადაცემისას გადამცემ ხაზებში გამოყოფილი სითბოს სახით ენერგიის კარგვა ხდება. ენერგიის დანაკარგის (გამოყოფილი სითბოს) სიდიდე ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად ასე განისაზღვრება:

$$Q = I^2Rt = I^2 \cdot \rho\frac{l}{S} \cdot t. \qquad (1)$$

(1)-ლი ფორმულიდან ჩანს, რომ ენერგიის დანაკარგის შემცირება შესაძლებელია გამტარების განივკვეთის S ფართობის გაზრდით. პრაქტიკული თვალსაზრისით ეს მეთოდი მომგებიანი არ არის, რადგან ამ შემთხვევაში გამტარები იმდენად მასიური იქნება, რომ მათ დასამაგრებლად გრანდიოზული საყრდენი ბოძები გახდება საჭირო.

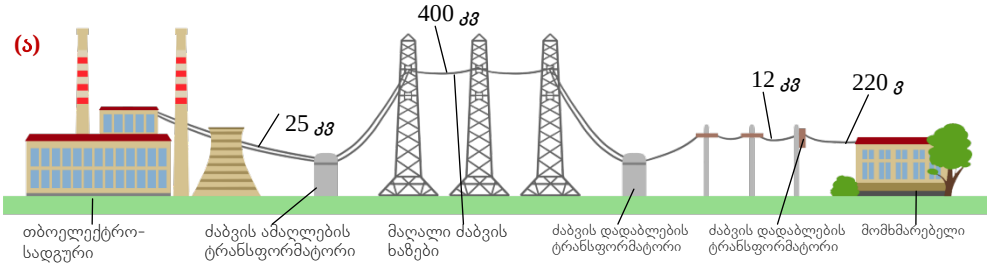
ენერგიის დანაკარგის შესამცირებლად ყველაზე მომგებიანი მეთოდია ძაბვის ამაღლება და გადაცემული სიმძლავრის შენარჩუნება:

$$Q = \frac{P^2}{U^2} \cdot R \cdot t. \qquad (2)$$

ამისათვის, ელექტროსადგურებში $12 \div 25$ კვ ძაბვით გამომუშავებული ცვლადი დენის დიდ მანძილებზე გადასაცემად ძაბვას რამდენიმე ასეულ კილოვოლტამდე ამაღლებენ. ასეთი დენი მაღალი ძაბვის ხაზებით დანიშნულების ადგილამდე გადაეცემა და ძაბვის დადაბლების შემდეგ მომხმარებელს მიეწოდება *(ა)*.

ელექტროენერგიის გადაცემისას აუცილებელია ტრანსფორმატორი, მოწყობილობა რომლის დახმარებითაც ძაბვის ამაღლდება და დადაბლება ხდება.

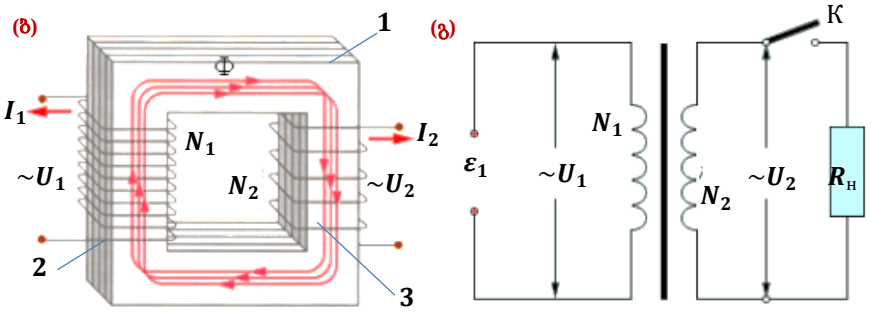
LAYTHE



ტრანსფორმატორი.

- *ტრანსფორმატორი (ლათ. „transformare“ – „გარდაქმნა“) ელექტრომაგნიტური მოწყობილობაა, რომელიც ცვლადი ძაბვის გაზრდასა და შემცირებას უზრუნველყოფს ისე, რომ ცვლადი დენის სიმძლავრე და სიხშირე უცვლელი დარჩეს.*

ტრანსფორმატორის სქემატური გამოსახულება და სქემაზე მისი პირობითი აღნიშვნა *(ბ)* და *(გ)* სურათებზეა ნაჩვენებია. ის შედგება შეკრული ფოლადის გულარისგან (1), რომელზეც მავთულის გრაგნილიანი ორი კოჭაა წამოცმული. პირველ კოჭას (2) პირველადი გრაგნილი ჰქვია და მიერთებულია ცვლადი ძაბვის წყაროსთან. მეორე კოჭას (3), რომელსაც მეორეულ გრაგნილს უწოდებენ, დატვირთვას, ანუ საერთო $R_н$. წინაღობის მქონე მომხმარებელს უერთებენ.



პირველად გრაგნილში გამავალი ცვლადი დენი ქმნის მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც ლითონის გულარს და მის გრაგნილებს განჭოლავს. იმის გამო, რომ ორივე გრაგნილს ერთი და იგივე მაგნიტური ნაკადი განჭოლავს, ამ გრაგნილების თითოეულ ხვიაში ინდუქციის ემძ აღიძვრება, რომელიც ასე გამოითვლება: $\boldsymbol{\varepsilon_{ინდ}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

თუ პირველად გრაგნილში ხვიათა რიცხვია N_1, ხოლო მეორეულში – N_2, ინდუქციის ემძ თითოეულ მათგანში, შესაბამისად, ტოლია:

$$\varepsilon_1 = -N_1 \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \text{და} \quad \varepsilon_2 = -N_2 \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}.$$

სიდიდეს, რომელიც პირველად და მეორეულ გრაგნილებში აღძრული ემძ-ების შეფარდების ტოლია, *ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (K) ეწოდება. ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ასევე შესაბამის გრაგნილებში ხვიების რაოდენობების შეფარდების ტოლია:*

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = K. \qquad (3)$$

LAYİHƏ

მეორადი გრაგნილის განრთვისას, ე.წ. უქმი სვლის რეჟიმში, გრაგნილში დენი არ გადის $(I_2 = 0)$ და ძაბვა მის ბოლოებზე იქნება: $|U_2| = |\varepsilon_2|$. პირველად გრაგნილშიც, დენის ძალის მნიშვნელობა ნულისკენ მიისწრაფვის: $I_1 \to 0$. ამიტომ ძაბვა პირველადი გრაგნილის ბოლოებზე იქნება: $|U_1| = |\varepsilon_1|$. ასე, რომ, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ტოლია:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}. \qquad (4)$$

მე-(4) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ თუ $N_1 > N_2$ და $K > 1$. მაშინ ცხადია, რომ $U_2 < U_1$ ანუ ძაბვა ტრანსფორმატორის გამოსავალზე შემავალ ძაბვაზე ნაკლებია. ასეთ ტრანფორმატორს *დამდაბლებელი* ტრანსფორმატორი ჰქვია.

თუ $N_2 > N_1$ და $K < 1$, მაშინ ცხადია, რომ $U_2 > U_1$ ანუ, ძაბვა ტრანსფორმატორის გამოსავალზე შემავალ ძაბვაზე მეტია. ასეთ ტრანფორმატორს *ამამაღლებელი* ტრანსფორმატორი ჰქვია.

ტრანსფორმატორის აქტიური წინაღობა ნულს უახლოვდება, ამიტომ ნორმალური დატვირთვის რეჟიმში მუშაობისას სიმძლავრე პირველად წრედში დაახლოებით ტოლია სიმძლავრისა მეორად წრედში: $P_1 \approx P_2$. ამის გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ ცვლადი დენის ძალა ტრანსფორმატორის გრაგნილებში და ძაბვა გრაგნილების ბოლოებზე ერთმანეთის უკუპროპორციულია:

$$I_1 U_1 \approx I_2 U_2 \text{ ან } \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} = K. \qquad (5)$$

ასე რომ, ტრანსფორმატორის გრაგნილში, რომლის ბოლოებზე მცირე ძაბვაა მოდებული, დენის ძალა ძალიან იზრდება. ამ მიზეზით იმ გრაგნილში, რომელშიც ხვიათა მცირე რაოდენობა და დაბალი ძაბვაა, გამტარებს დიდი განივკვეთის ფართობი უნდა ჰქონდეს, ვიდრე იმ გრაგნილში, რომელშიც ხვიათა რიცხვი და ძაბვა დიდია.

ტრანსფორმატორის მქკ განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებიდან:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} \cdot 100\%. \qquad (6)$$

შენიშვნა. მეორადი გრაგნილის მომხმარებელთან მიერთებისას ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ასე გამოითვლება:

$$K = \frac{U_1}{U_2 + I_2 r_2}. \qquad (7)$$

სადაც r_2 მეორადი გრაგნილის წინაღობაა.

გამოყენება **კვლევითი სამუშაო**

რომელი ტრანსფორმატორის მუშაობა შეამოწმეთ?

რესურსები: უნივერსალური ტრანსფორმატორი: ლაბორატორიული ნაკრები ***(დ).***

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ფოლადის U-ს მსგავსი გულარის ერთ-ერთ შტოზე პირველადი გრაგნილი ჩამოაცვით, ხოლო მეორეზე – მეორადი გრაგნილი. პირველი გრაგნილი ელექტრულ ქსელში ირთვება, ხოლო მეორეს ბოლოზე ელექტროშემდუღებელია მიერთებული.

2. ჩართეთ პირველადი გრაგნილი 220 ვ ცვლადი ძაბვის ქსელში და შეეხეთ მეორადი გრაგნილის მოქჭერებზე მიმაგრებული პატარა ლურსმნების წამახვილებულ ბოლოებს. დააკვირდით მოვლენას, რომელიც ამ დროს ხდება.

LAYTHO

3. გამორთეთ პირველადი გრაგნილი ქსელიდან. მოაცილეთ გულარის შტოს ელექტროშემდუღებლის გრაგნილი. მოათავსეთ გულარის ცარიელ შტოზე მცირე ხვიებიანი კოჭა, რომლის ბოლოებზე ნათურაა მიერთებული. ჩართეთ პირველადი გრაგნილი კვლავ ქსელში და დააკვირდით, რა მოხდება.

სამუშო შედეგების განხილვა:

• როგორი იყო ტრანსფორმატორის ელექტროშემდუღებლიანი მოდელი: ამამაღლებელი თუ დამადაბლებელი?

• როგორი იყო ტრანსფორმატორის ნათურიანი მოდელი, ამამაღლებელი თუ დამადაბლებელი?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ტრანსფორმატორის გულარი დიდი რაოდენობით ფოლადის თხელი ფირფიტებისგან შედგება, რომლებიც ერთმანეთისგან სპეციალური დიელექტრიკული ფენითაა გამოყოფილი. როგორც გულარს, ისე მძლავრი ტრანსფორმატორის გრაგნილებს თხელკედლიან ავზში ან რადიატორებში ათავსებენ, რომლებიც ზეთითაა სავსე *(ა)*.

(ე)

• რატომ შედგება ტრანსფორმატორის გულარი დიდი რაოდენობით ფოლადის თხელი ფირფიტებისგან?

• რატომ ათავსებენ გულარს და ტრანსფორმატორის გრაგნილებს თხელკედლიან ავზში ან რადიატორებში, რომლებიც ზეთითაა სავსე?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რა არის ტრანსფორმატორი? გამოიმუშავებს თუ არა ის ელექტროენერგიას?			
2	განსაზღვრეთ, *(ვ)* და *(ზ)* სურათებზე გამოსახული ტრანსფორმატორებიდან რომელია ამამაღლებელი და რომელი დამადაბლებელი? *(ვ)* *(ზ)*			
3	რომელი მეთოდია მეტად მომგებიანი შორ მანძილებზე ელექტროენერგიის გადასაცემად?			
4	პირველადი გრაგნილის ბოლოებზე ძაბვა 220 ვ-ია. გამოთვალეთ ძაბვა მეორადი გრაგნილის ბოლოებზე, თუ ცნობილია, რომ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი 0,2-ის ტოლია.			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულში ესე თემაზე: „ელექტროენერგიის გადაცემა. ტრანსფორმატორი“.

LAYİHƏ

3.7. ელექტრომაგნიტური ტალღები

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა•

ფიზიკა –7 და 10

ტალღა დროის განმავლობაში სივრცეში რხევების გავრცელების პროცესია.

• ***ტალღა*** გარემოში ენერგიის გადატანის პროცესია ნივთიერების გადატანის გარეშე.

• მექანიკური ტალღა გარემოში მექანიკური რხევების გავრცელების პროცესი. მექანიკური ტალღა ვრცელდება დრეკად გარემოში (მყარში, თხევადში, აირადში) და არ ვრცელდება ვაკუუმში. არსებობს ორი სახის ტალღა: გრძივი და განივი.

• გრძივ ტალღაში გარემოს ნაწილაკების რხევა მიმდინარეობს ტალღის გავრცელების მიმართულების პარალელურად. გრძივი ტალღა ვრცელდება ყველა გარემოში (მყარში, თხევადში, აირადში). მას თან ახლავს მონაცვლეობით გარემოს ნაწილაკების შემჭიდროება/შეჯგუფება და გაშლა.

• განივ ტალღაში გარემოს ნაწილაკების რხევები მიმდინარეობს ტალღის გავრცელების მიმართულების მართობულად. განივი ტალღები მხოლოდ მყარ სხეულებში და სითხეების ზედაპირზე ვრცელდება. ისინი ვრცელდება ბურცობების და ჩაზნექილობების სახით. მექანიკური ტალღების განსაკუთრებული სახეა ბგერითი ტალღა ან უბრალოდ ბგერა. ისიც რხევის გავრცელებაა დრეკად გარემოში.

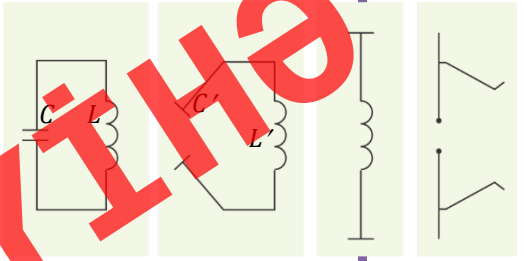
• ტალღის სიხშირე (პერიოდი) არის ტალღის შემქმნელი წყაროს რხევების სიხშირე (პერიოდი).

• ტალღის სიგრძე მანძილია, რომელზეც ვრცელდება ტალღა პერიოდის ტოლი დროის $(t = T)$ განმავლობაში: $\lambda = \upsilon T = \frac{\upsilon}{\nu}$.

• ტალღის სიჩქარე არის გარემოში რხევების გავრცელების სიჩქარე: $\upsilon = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu$. ტალღის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული ტალღის პერიოდსა და სიხშირეზე. ტალღის სიჩქარე დამოკიდებულია გარემოს თვისებებზე და მის აგრეგატულ მდგომარეობაზე. ერთგვაროვან გარემოში ტალღის სიგრძე პირდაპირპროპორციულია რხევების პერიოდის და უკუპროპორციულია გარემოს ნაწილაკების რხევების სიხშირის. ტალღის გადასვლისას ერთი გარემოდან მეორე ტალღის სიხშირე და პერიოდი არ იცვლება, მაგრამ რადგან ტალღის სიჩქარე სხვადასხვა გარემოში განსხვავებულია, შესაბამისად ტალღის სიგრძეც იცვლება.

■ თქვენ უკვე იცით, რატომ უწოდებენ მიმდევრობით ჩართული კონდენსატორი-სა და კოჭასაგან შემდგარ ელექტრულ წრედს რხევით კონტურს და რა მოვლენები ხდება იქ.

• ***რა მოხდება, თუ რხევით კონტურს „გავშლით“, ანუ კონდენსატორის ფირფიტების ფართობს შევამცირებთ, მათ შორის მანძილს გავადიდებთ (გავშლით მათ) და ამასთანავე შევამცირებთ კოჭას ხვიების რაოდენობას?***



LAYTHЭ

კვლევითი სამუშაო 1 ***რა წარმოქმნის ელექტრულ დენს?***

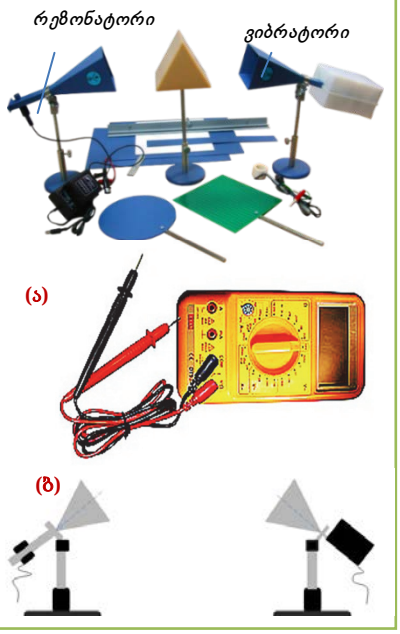
მოწყობილობა: სანტიმეტრული ტალღების ვიბრატორი; მიმღები რეზონატორი („ელექტრომაგნიტური ტალღების“ ფიზიკური ლაბორატორიის ნაკრებიდან); ციფრული ვოლტმეტრი (ა).

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ჩართეთ ვიბრატორი ცვლადი დენის ქსელში, რეზონატორი მიუერთეთ ვოლტმეტრს. მოათავსეთ ხელსაწყოთა ხმის გამაძლიერებლები ჰორიზონტალურად ერთმანეთისგან 1-1,5 მ მანძილზე.
2. ჩართეთ ვიბრატორი და დააკვირდეთ მიმდინარეობას.
3. ხელსაწყოებს შორის მანძილის შეუცვლელად თანდათან დააყენეთ ისინი ჰორიზონტისადმი 45°C-იანი კუთხით *(ბ)*. გააგრძელეთ მომხდარზე დაკვირვება.

სამუშაოს შედეგის განხილვა:

- ექსპერიმენტის რომელ ეტაპზე დაარეგისტრირა ვოლტმეტრმა რეზონატორის წრედში ძაბვის წარმოქმნა?
- დენის სხვა წყაროს არარსებობისას რამ გააჩინა რეზონატორის წრედში ელექტრული დენი?



ელექტრომაგნიტური ტალღა. ელექტრომაგნიტური ინდუქციისა და თვითინდუქციის მოვლენებმა აჩვენა, რომ დროში ცვლადი მაგნიტური ველი სივრცეში გრიგალურ ცვლად ელექტრულ ველს წარმოქმნის. ინგლისელმა მეცნიერმა ჯეიმს კლარკ მაქსველმა (1831-1879) 1873 წელს გამოქვეყნებულ სამეცნიერო ნაშრომში „ტრაქტატი ელექტრობისა და მაგნეტიზმის შესახებ“ დაასაბუთა ვარაუდი, რომ გრიგალური ელექტრული ველიც წარმოქმნის სივრცეში ცვლად მაგნიტურ ველს. ამასთან ელექტრული და მაგნიტური ველის ძალწირები ერთმანეთს გარს უვლიან. ველების ძალწირები ერთმანეთთან ასეთი თანაფარდობებით არიან დაკავშირებული:

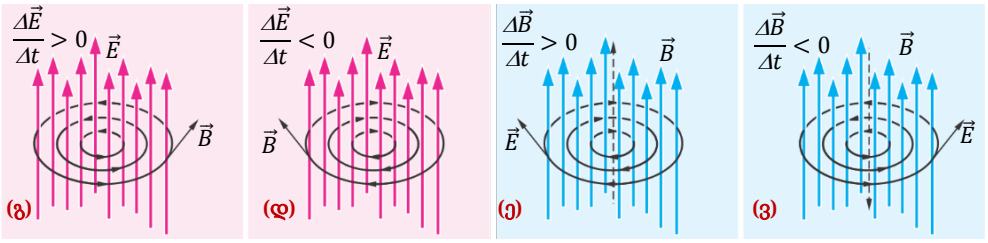
ა) თუ ელექტრული ველის დაძაბულობა იზრდება $\left(\frac{\Delta\vec{E}}{\Delta t} > 0\right)$, მაშინ მიღებული მაგნი-ტური ველის ინდუქციის ვექტორი ადგენს მარჯვენა ბურღის მიმართულებას ელექტრუ-ლი ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებასთან *(გ)*;

ბ) თუ ელექტრული ველის დაძაბულობა მცირდება $\left(\frac{\Delta\vec{E}}{\Delta t} < 0\right)$, მაშინ მიღებული მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი ადგენს მარცხენა ბურღის მიმართულებას ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებასთან *(დ)*;

გ) თუ მაგნიტური ველის ინდუქცია იზრდება $\left(\frac{\Delta\vec{B}}{\Delta t} > 0\right)$, მიღებული გრიგალური ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორი ადგენს მარცხენა ბურღის მიმართულებას მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებასთან *(ე)*;

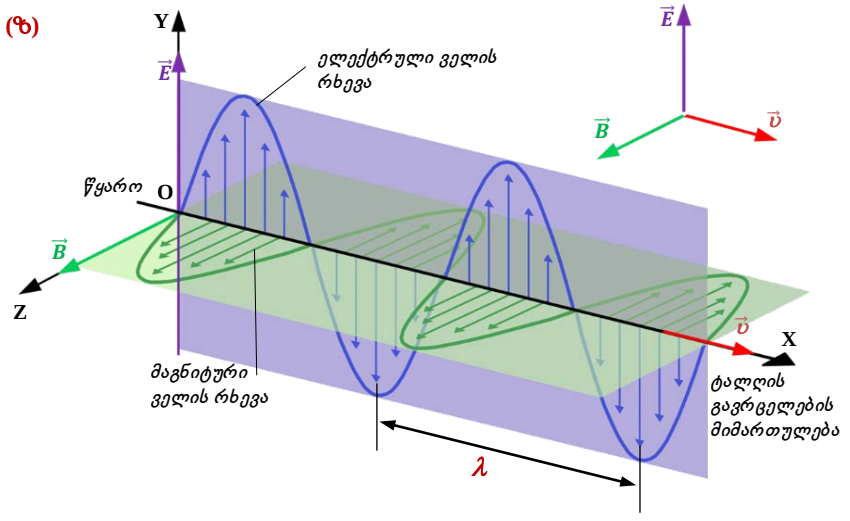
დ) თუ მაგნიტური ველის ინდუქცია მცირდება $\left(\frac{\Delta\vec{B}}{\Delta t} < 0\right)$, მიღებული გრიგალური ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორი ადგენს მარჯვენა ბურღის მიმართულებას მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებასთან *(ვ)*;

LAYOUT



ამრიგად, სწრაფად ცვლადი ელექტრული ველი წარმოქმნის სივრცის იმავე ნაწილში ცვლად მაგნიტურ ველს, რომელიც თავის მხრივ წარმოქმნის გრიგალურ ელექტრულ ველს და ა.შ. ცვლადი ელექტრული და მაგნიტური ველები ერთიმეორის მიყოლებით წარმოქმნიან ერთმანეთს და სივრცის სულ უფრო მეტ ნაწილს იკავებენ – ვრცელდებიან სივრცეში სასრული სიჩქარით *ელექტრომაგნიტური ტალღების სახით.*

• ელექტრომაგნიტური ტალღა არის ცვლადი ელექტრომაგნიტური ველის გავრცელება სივრცეში. ელექტრომაგნიტური ტალღა განივი ტალღაა ***(ზ)***, იგი ახასიათებს ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორისა $(\vec{E})$და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის $(\vec{B})$ ცვლილებას სივრცეში ურთიერთმართობულ სიბრტყეებში.



ელექტრომაგნიტური ტალღების ზოგიერთი თვისება

• *ელექტრომაგნიტური ტალღები განივი ტალღებია. ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორისა $(\vec{E})$ და მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის $(\vec{B})$ რხევები სცდება ერთმანეთის ურთიერთმართობულ და ტალღის გავრცელების სიჩქარის $(\vec{\upsilon})$ მართობულ სიბრტყეებში (იხ. ზ). სივრცის ნებისმიერ წერტილში, რომელშიც ტალღა ვრცელდება, დაძაბულობის ვექტორის მოდული მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულის პროპორციულია.*

LAYING

• *ელექტრომაგნიტური ტალღა ვრცელდება გარემოშიც და ვაკუუმშიც. ვაკუუმში ტალღის გავრცელების სიჩქარე ვაკუუმში სინათლის გავრცელების სიჩქარის ტოლია:*

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\partial}{\text{წმ}}. \qquad (1)$$

აქ ε_0 *და* μ_0 *შესაბამისად ელექტრული და მაგნიტური მუდმივებია.*

• *ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელების სიჩქარე გარემოში ტოლია სინათლის გავრცელების სიჩქარისა გარემოში და დამოკიდებულია გარემოს თვისებებზე:*

$$\upsilon = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{n}. \qquad (2)$$

აქ ε *და* μ *შესაბამისად გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა და მისი მაგნიტური შეღწევადობა.* n *გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელია.*

ვაკუუმში ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე ტოლია:

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu} = cT, \qquad (3)$$

გარემოში ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე ტოლია:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}. \qquad (4)$$

• *ელექტრომაგნიტურ ტალღას გააჩნია ენერგია. ტალღის ენერგიის ნაწილი შთაინთქმება გამტარ გარემოში ტალღის მოხვედრის შემდეგ, რომელშიც ამ დროს სწრაფად ცვლადი ელექტრული დენი აღიძვრება.*

• *ორი გარემოს გამყოფ საზღვრამდე მისული ელექტრომაგნიტური ტალღა აირეკლება და გარდატყდება.*

• *ლექტრომაგნიტური ტალღა განიბნევა სივრცეში, შთაინთქმება წყალში და ა.შ.*

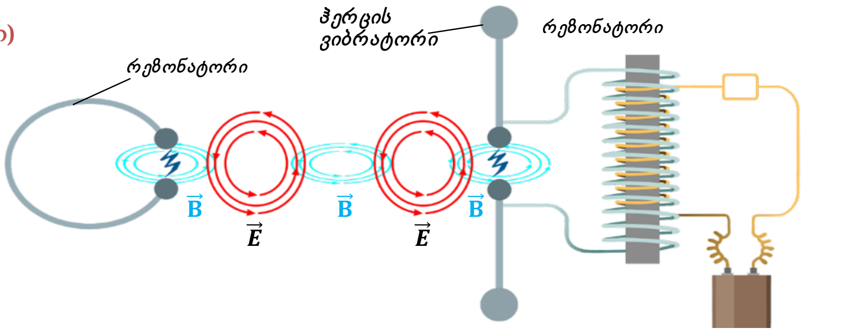
ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივება – ღია რხევითი კონტური.

ჩვეულებრივ რხევით კონტურში ხდება ელექტრული და მაგნიტური ველების ენერგიების ურთიერთგარდაქმნა, რომელიც გამოიხატება მორიგეობით შესაბამისი ველის ენერგიების დაგროვებაში ხან კონდენსატორში და ხან კოჭაში. ამიტომ რხევითი კონტურის გარეთ, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღა არ დაიმზირება, ანუ კონტური არ გამოასხივებს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს. ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივებას რომ მივაღწიოთ, საჭიროა, გავზარდოთ იმ ელექტრომაგნიტური რხევების საკუთარი სიხშირე, რომლებიც აღძრავენ ტალღებს. ამისათვის საჭიროა, შევამციროთ ან კონდენსატორის ტევადობა, ან კოჭას ინდუქტივობა, რადგან კონტურში ელექტრომაგნიტური რხევების საკუთარი სიხშირე ტოლია $\boldsymbol{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$.. ამ კანონზომიერების გათვალისწინებით გერმანელმა მეცნიერმა ჰენრიხ რუდოლფ ჰერცმა (1857-1894) შეცვალა რხევითი კონტურის ფორმა და 1886 წელს მოახერხა კონტურით ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივება. მან მოაშორა კოჭა, შეამცირა კონდენსატორის ფირფიტების ფართობი და დააშორა ისინი ერთმანეთს. შედეგად ჩაკეტილი კონტური ღია კონტურად გადაიქცა. ცდების ჩატარების დროს, ჰერცი პერიოდულად აწოდებდა ენერგიას ასეთ კონტურს, რომელსაც *ჰერცის ვიბრატორი* უწოდეს, რის შედეგადაც კონდენსატორის ფირფიტებს შორის წარმოიქმნებოდა მაღალსიხშირული ელექტრომაგნიტური რხევები ნაპერწკლოვანი განმუხტვის სახით. ერთდროულად, ვიბრატორის პარალელურად, მისგან 1-2 მ მანძილზე მოთავსებული იყო მიმღები კონტური, იგივე რეზონატორი, რომელიც არ იყო მიერთებული ენერგიის რაიმე წყაროსთან, და მის გამტარებს შორის მსგავსი ნაპერწკლოვანი განმუხტვა აღიძვრებოდა. ამრიგად, ღია რხევით კონტურში აღძრულმა მაღალსიხშირულმა ელექ-

LAVLHE

ტრომაგნიტურმა რხევებმა გაავრცელა თავისი ენერგია სივრცეში ელექტრომაგნი-ტური ტალღების სახით და ეს ტალღები მიიღო რეზონატორმა ***(თ)***.

(თ)



გამოყენება | კვლევითი სამუშაო | ***როგორია ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე გარემოში?***

ამოცანა. ელექტრომაგნიტური ტალღა ერთგვაროვან გარემოში $2 \cdot 10^8 \frac{მ}{წმ}$ სიჩქარით ვრცელდება. განსაზღვრეთ ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე. ვაკუ-უმში მისი გამოსხივების სიხშირე ტოლია 1მგჰც.

სამუშაო შედეგის განხილვა:

- როგორ შეგვიძლია განვსაზღვროთ ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე გარე-მოში, თუ ცნობილია ვაკუუმში მისი გამოსხივების სიხშირე და გარემოში მისი გავრცელების სიჩქარე?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ბაქოს სატელევიზიო ანძა ორ ტალღას ასხივებს: ერთია 94 მგჰც სიხშირის გა-მოსხივება, რომელსაც გამოსახულების ტალღა მოაქვს და მეორე – 95 მგჰც სიხშირის გამოსხივება, რომელსაც მოდულირებული ელექტრომაგნიტური ტალ-ღები მოაქვს. განსაზღვრეთ ტალღის სიგრძეები, რომლებიც ამ გა-მოსხივების სიხშირეებს შეესაბამება.

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რა არის გრიგალური ელექტრული ველის წყარო?			
2	რა არის ელექტრომაგნიტური ტალღა?			
3	რატომ არ ასხივებს ჩაკეტილი რხევითი კონტური ელექტრომაგნიტურ ტალღებს?			
4	როგორ არის მიმართული ელექტრომაგნიტური ტალღების სიჩქარის ვექტორი ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორისა და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორების მიმართ?			
5	ელექტრომაგნიტური ტალღის გადასვლისას ვაკუუმიდან გარემოში ტალღის სიგრძე შემცირდა 9-ჯერ. როგორ შეიცვალა ამ დროს ტალღის გავრცელების სიჩქარე?			

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში დაწერეთ ესე თემაზე:

„ელექტრომაგნიტური ტალღები“.

LAYİHƏ

3.8. ელექტრომაგნიტური ტალღის ენერგია. ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალა (გაკვეთილი-პრეზენტაცია)

პრეზენტაციის ჩატარება რეკომენდებულია ქვემოთ მოცემული გეგმის მიხედვით. რეკომენდებულია ელექტრონული რესურსებისა და თეორიული მასალის გამოყენებაც.

გეგმა: *1.* ელექტრომაგნიტური ტალღების ენერგია. *2.* ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალა: ა) რადიოტალღები; ბ) მიკროტალღები; გ) ინფრაწითელი ტალღები; დ) ხილული სინათლე; ე) ულტრაიისფერი ტალღები; ვ) რენტგენის გამოსხივება; ზ) γ-გამოსხივება.

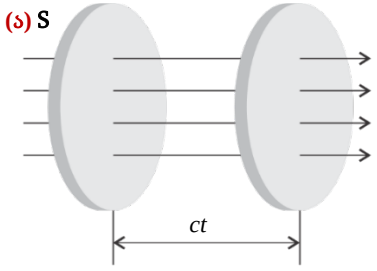
პრეზენტაციის მომზადებისას ბოლო პუნქტთან დაკავშირებით განიხილეთ შემდეგი საკითხები: ამ გამოსხივების აღმოჩენის თარიღი, მახასიათებლები, თვისებები, გამოყენება, ზემოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე.

1. ელექტრომაგნიტური ტალღის ენერგია. ელექტრომაგნიტურ ტალღას გადააქვს ენერგია. ეს ენერგია ხასიათდება სხვადასხვა მახასიათებლებით:

- *ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივე* (J) *– ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ტოლია* Δt *დროში სხივების გავრცელების მიმართულების მართობული* S *ფართობის ზედაპირში გამავალი ელექტრომაგნიტური ენერგიის* ΔW *შეფარდებისა ამ ფართობსა* S *და დროსთან* Δt*:*

$$J = \frac{\Delta W}{S \cdot \Delta t}. \qquad (1)$$

თუ $S = 1\partial^2$ და $\Delta t = 1წმ$, მაშინ (1) ფორმულიდან მივიღებთ $J = \Delta W$*:* ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივე იმ ენერგიის ტოლია, რომელიც გადის ერთეულოვან ფართობში დროის ერთეულში. ზოგჯერ ამ სიდიდეს ტალღის ინტენსივობას უწოდებენ. ელექ-ტრომაგნიტური გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივის ერთეული SI სისტემაში არის:



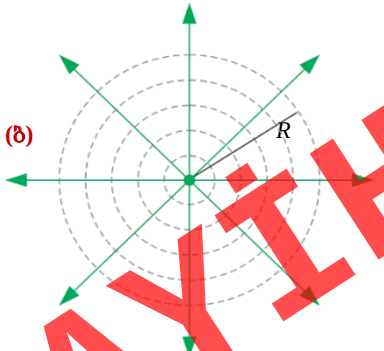
$$[J] = \frac{[\Delta W]}{[S]\cdot[\Delta t]} = 1\frac{ჯ}{მ^2 \cdot წმ} = 1\frac{ვტ}{მ^2}.$$

- ელექტრომაგნიტური ტალღის ენერგიის სიმკვრივე მოცულობის ერთეულზე მოსული ენერგიის ტოლია:

$$w = \frac{\Delta W}{\Delta V}. \qquad (2)$$

ენერგიის სიმკვრივის ერთეული SI სისტემაში არის:

$$[w] = \frac{[\Delta W]}{[\Delta V]} = 1\frac{ჯ}{მ^3}.$$



რაიმე ΔV მოცულობაში მოქცეული ΔW ელექტ-რომაგნიტური ენერგია შეგვიძლია გამოვსახოთ ელექტრომაგნიტური ენერგიის სიმკვრივის (w) გამრავლებით იმ წარმოსახვით ცილინდრის მოცულობაზე *(ა)*, რომლის მოცულობაც ტოლია $\Delta t\ (c \cdot \Delta t)$. აქ S იმ ზედაპირის ფართობია, რომელშიც ტალღა გადის, h-სიმაღლე კი არის ტალღის სიჩქარის ნამრავლი დროზე $(\Delta V = c \cdot \Delta t \cdot S)$, ანუ ის მანძილი, რომელსაც ტალღა ამ Δt დროში გადის*:*

$$\Delta W = w \cdot c \cdot \Delta t \cdot S. \qquad (3)$$

LAYTHE

(3) გამოსახულების ჩასმით (1) ფორმულაში ვღებულობთ, რომ გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივე (ინტენსივობა) ტოლია ელექტრომაგნიტური ენერგიის სიმკვრივის ნამრავლისა მის გავრცელების სიჩქარეზე:

$$J = \frac{w \cdot c\Delta t S}{S \cdot \Delta t} = w \cdot c. \qquad (4)$$

ელექტრომაგნიტური ტალღების გამომასხივებელ ყველაზე მარტივ წყაროს წარმოადგენს წერტილოვანი წყარო – მისი ზომები გაცილებით ნაკლებია იმ მანძილებთან შედარებით, რომელზეც იგი ვრცელდება. ასეთი წყარო გამოასხივებს ერთნაირი ინტენსივობის ტალღებს ყველა მიმართულებით *(ბ)*. თუ (1) ფორმულაში გავითვალისწინებთ, რომ R რადიუსის სფეროს ზედაპირის ფართობი, რომლის ცენტრშიც მოთავსებულია წერტილოვანი წყარო, ტოლია $S = 4\pi R^2$, მაშინ მივიღებთ, რომ ელექტრომაგნიტური ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე წერტილოვანი წყაროსგან დაშორების მიხედვით კლებულობს ამ წერტილიდან წყარომდე მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად:

$$J = \frac{\Delta W}{4\pi R^2 \cdot \Delta t} = \frac{\Delta W}{4\pi \Delta t} \frac{1}{R^2}. \qquad (5)$$

იმის გავითვალისწინებით, რომ ელექტრომაგნიტურ ტალღებს დამუხტული ნაწილაკები გამოასხივებენ აჩქარებული მოძრაობის დროს, ელექტრული ველის დაძაბულობა და მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი ამ ნაწილაკების აჩქარების პირდაპირპროპორციულია, ხოლო აჩქარება კი მათი რხევის სიხშირის კვადრატის პირდაპირპროპორციულია:

$$E \sim a \sim \omega^2 \quad \text{და} \quad B \sim a \sim \omega^2.$$

ელექტრომაგნიტური ენერგიის სიმკვრივე, როგორც მოცულობის ერთეულზე მოსული ელექტრომაგნიტური ველის ენერგია, ელექტრული და მაგნიტური ველების ენერ-გიების ჯამის ტოლია:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0 \mu}$$

$$w \sim (E^2 + B^2) \sim \omega^4.$$

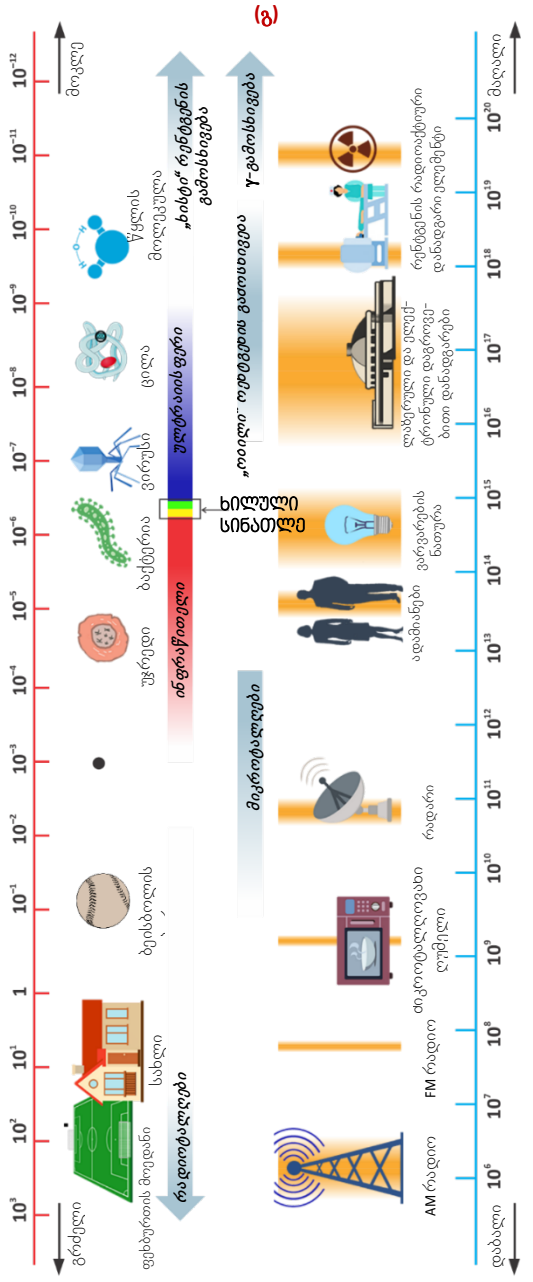
გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივე (ინტენსივობა) პროპორციულია ენერგიის სიმკვრივის, რომელიც თავის მხრივ პროპორციულია გამოსხივების სიხშირის მეოთხე ხარისხის:

$$J \sim w \sim \omega^4 \sim \frac{1}{\lambda^4}.$$

- *წერტილოვანი წყაროს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სიმძლავრე:*

$$P = J \cdot S = J \cdot 4\pi R^2 = \frac{\Delta W}{\Delta t}. \qquad (6)$$

2. *ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალა.* გარკვეული მონაცემები ამ თემის შესახებ შეგიძლიათ მიიღოთ ნახატიდან *(იხ. გ)*.



LAYING

ელექტრონული რესურსები:
1.https://az.wikipedia.org/wiki/Elektromaqnit_dal%C4%9Falar%C4%B1
2. http://salamnews.org/az/news/read/192714
3. http://idol.az/site/bizi-ehate-eden-radiodalgalar-ziyandirmi/
4.file:///C:/Users/VIP/Downloads/d_pdf_kurs_ekolo_885.pdf
5. http://www.turansam.org/makale.php?id=9423
6.https://www.youtube.com/watch?v=7gP8Axftc48
7.https://az.wikisource.org/wiki/Maqnit_sah%C9%99l%C9%99ri_v%C9%99_ elektromaqnit_dal%C4%9Falar%C4%B1n%C4%B1n_qan_d%C3%B6vran%C4%B1_sistemin%C9%99_v%C9%99_daxili_orqanlar%C4%B1na_olan_z%C9%99r%C9%99rli_t%C9%99sirinin_mexanizmi_v%C9%99_m%C3%BCalic%C9%99si
8. file:///C:/Users/VIP/Downloads/d_pdf_kurs_ekolo_886.pdf
9. https://www.google.az/search?q=elektromaqnit+dalgalari&rlz=1C1CHZL_ruAZ757AZ757&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiZ_eTCk8DWAhVB7xQKHXz_CUEQsAQIVA&biw=1920&bih=925.
10. https://az.wikipedia.org/wiki/Rentgen_%C5%9F%C3%BCalar%C4%B1
11. http://musavat.com/news/yasham/komputer-tomoqrafiyasi-xerceng-yaradir_ 67356.html.
12. https://az.wikipedia.org/wiki/%C5%9E%C3%BCalanma
13. https://az.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nfraq%C4%B1rm%C4%B1z%C4% B1_%C5%9F%C3%BCalanma
14. https://az.wikipedia.org/wiki/Ultrab%C9%99n%C3%B6v%C5%9F%C9% 99yi_%C5%9F%C3%BCalanma
15. http://www.anl.az/down/meqale/zaman/2014/may/369962.htm.
16. file:///C:/Users/VIP/Downloads/d_pdf_refe_tibbb_5363.pdf.

3.9. რადიოკავშირის პრინციპები

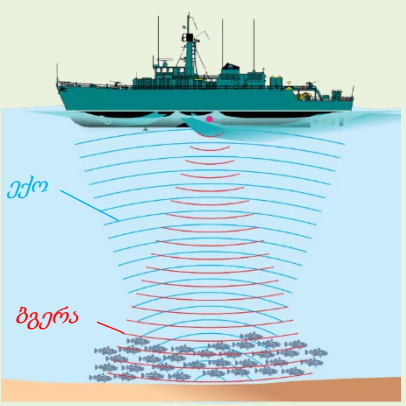
• გაიხსენეთ განვლილი მასალა•

ფიზიკა – 7

მექანიკური ტალღების ყველაზე მარტივი სახეა ბგე-რითი ტალღები.

• ბგერითი ტალღები ისეთი ტალღები, რომლებიც დრეკად გარემოში ვრცელდებიან და ბგერით შეგრძნებებს იწვევენ.

ადამიანის ყური ბგერად აღიქვამს მხოლოდ მექანიკურ ტალღებს, რომლებშიც რხევა მიმდინარეობა 16 ჰც-დან 20000 ჰც-მდე ფარგლებში. ბგერითი ტალღების მნიშვნელოვანი თვისება გახლავთ გავრცელების გზაზე მათი არეკვლა დაბრკოლებიდან. ბგერითი ტალღების საშუალებით ობიექტების ადგილმდებარეობის განსაზღვრას ბგერითი ლოკაცია (ექოლოკაცია) ეწოდება. ხელსაწყოს, რომლითაც ხდება ზღვებისა და ოკეანეების სიღრმეების გაზომვა, თევზების მსხვილი გუნდების აღმოჩენა, ექოლოტი ეწოდება და მისი მოქმედების პრინციპი ეფუძნება ბგერის (ექოს) არეკვლის მოვლენას. გემის ქვეშ მოთავსებული ბგერითი წყარო უშვებს ხანმოკლე ბგერით სიგნალებს. სიღრმეში მდებარე საგნებიდან არეკლილი სიგნალი გემზე მდებარე სპეციალური მგრძნობიარე ხელსაწყოთი ფიქსირდება. წყალში ბგერის გავრცელების სიჩქარისა და სიგნალის გაშვებასა და მიღებას შორის დროის მონაკვეთის საშუალებით ადვილად შეიძლება გამოვთვალოთ მანძილი გემიდან საგნამდე:



$$h = \frac{\upsilon t}{2}.$$

LAYIHƏ

ამერიკის შეერთებული შტატების თავდაცვის სამინისტროს შეკვეთით მასაჩუსეტსის ტექნოლოგიურმა უნივერსიტეტმა 1961-1963 წლებში განახორციელა პროექტი „ვესტ-ფორდი“ სამი კოსმოსური ხომალდის საშუალებით. ამ პროექტის მიხედვით დედამიწის ირგვლივ ორბიტულ სივრცეში გაუშვეს 480 მილიონი ცალი 2 სმ სიგრძის სპილენძის ნემსი, რომლებიც დედამიწის ირგვლივ გაიფანტა და დედამიწის ზედაპირიდან 3500-3800 კმ მანძილზე „ნემსების სფერო“ წარმოქმნეს.

• ***რა მიზნით შეიქმნა დედამიწის ირგვლივ „ნემსების სფერო“?***

კვლევითი სამუშაო 1 ***რომელ ფიზიკურ მოვლენას აკვირდებოდით?***

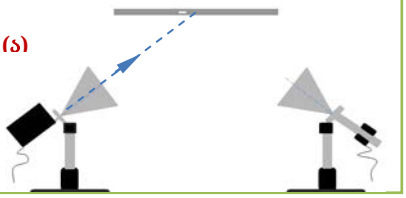
მოწყობილობა: სანტიმეტრული ტალღების ვიბრატორი, მიმღები რეზონატორი, ლითონის ფირფიტა (ფიზიკის კაბინეტის ნაკრებიდან „ელექტრომაგნიტური ტალღები), ციფრული ვოლტმეტრი.

სამუშაოს მსვლელობა: 1. მიუერთეთ ვიბრატორი ცვლად დენს ქსელში, რეზონატორი კი – ვოლტმეტრს. მოათავსეთ ხელსაწყოები ერთმანეთისგან დაშორებით, ასწიეთ და დაამაგრეთ ხმის გამაძლიერებლები ჰორიზონტისადმი კუთხით. 2. ჩართეთ ვიბრატორი და დააკვირდით მიმდინარეობას. 3. გადააადგილეთ ლითონის ფირფიტა ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში მარჯვნივ-მარცხნივ ხმის გამაძლიერებლების თავზე და დააკვირდით, რა მოხდება *(ა)*.

სამუშაოს შედეგის განხილვა:

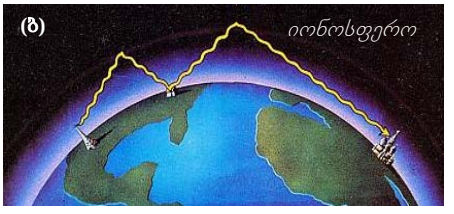
• რომელ შემთხვევაში დააფიქსირა ვოლტმეტრმა რეზონატორის წრედში ძაბვის აღძვრა?

• რომელ ფიზიკურ მოვლენას აკვირდებოდით ექსპერიმენტის დროს? დახაზეთ ექსპერიმენტის სქემა სამუშაო რვეულში.



რადიოკავშირის პრინციპები. ჰერცის მიერ ჩატარებულმა ცდებმა მსოფლიოს ბევრი მეცნიერი დააინტერესა და დააწყებინა კვლევები რადიოსატელეგრაფო და რადიოსატელეფონო კავშირგაბმულობის განსახორციელებლად.

რადიოკავშირის საშუალებით მორზეს ანბანით ინფორმაციის გადაცემა პირველად იქნა ნაჩვენები 1895 წლის 7 მაისს (ეს თარიღი დღესაც აღინიშნება, როგორც რადიოს დღე) რუსი ფიზიკოსის ალექსანდრე სტეპანეს ძე პოპოვის მიერ (1859-1905). 1896 წელს იტალიელმა გამომგონებელმა გულიელმო მარკონიმ (1874-1937) აჩვენა რადიოსიგნალებით მორზეს ანბანის რამდენიმე ასოს გადაცემა მის მიერ შექმნილი გადამცემი მოწყობილობის საშალებით და შემდეგ ამ რადიოსიგნალების მიღება 3 კმ-ით დაშორებული მოწყობილობის საშუალებით. 1901 წელს მან გამოიყენა რადიოსიგნალების არკვლა დედამიწის იონოსფეროს მიერ და მოახერხა ინფორმაციის გადაცემა ინგლისის ტერიტორიიდან დიამეტრალურად საპირისპირო მხარეს, კანადის მეორე ნაპირზე. მიმღები აპარატი იყო აშშ-ში *(ბ)*.



• *რადიოკავშირი არის ინფორმაციის (ხმა და გამოსახულება) გადაცემა და მიღება ელექტრომაგნიტური ტალღების საშუალებით.*

რადიოკავშირგაბმულობის დროს გამოიყენება ორი დიაპაზონის ელექტრომაგნიტური ტალღები:

LAYER

1) დაბალსიხშირული ტალღები – ცუდად ვრცელდება სივრცეში, თუმცა შეუძლიათ ინფორმაციის გადატანა; 2) მაღალსიხშირული ტალღები – შეუძლიათ სივრცეში დიდ მანძილზე გავრცელება, მაგრამ არ გადააქვთ ინფორმაცია.

რადიოკავშირის ძირითადი განმახორციელებელი ნაწილებია სიგნალის გადამცემი რადიოსადგური და ამ სიგნალის მიმღები რადიოსადგური.

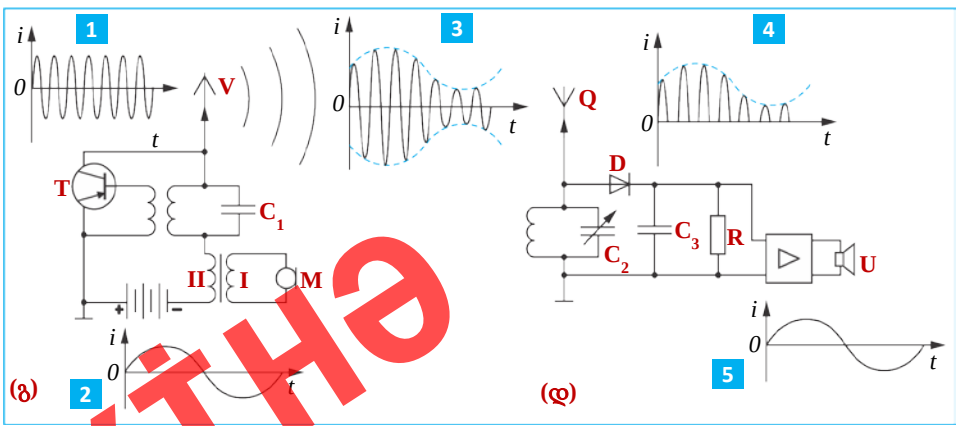
რადიოგადამცემში ხდება სამი ძირითადი პროცესი: 1) მაღალსიხშირული ელექტრომაგნიტური რხევების გენერირება; 2) ამ მაღალსიხშირული რხევების გაძლიერება საჭირო სიმძლავრემდე; 3) გადასაცემი ინფორმაციის მიხედვით ამ მაღალსიხშირული რხევების რომელიმე მახასიათებლის (ამპლიტუდა, რხევა ან ფაზა) ცვლილება.

გადამცემი სადგურის *(გ)* გამარტივებული სქემის მიხედვით იგი შედგება ტრანზისტორებზე აწყობილი გენერატორისგან (T), რხევითი კონტურისგან, მიკროფონის წრედისა (M) და გადამცემი ანტენისაგან (V). გენერატორი წარმოქმნის არამილევად მაღალსიხშირულ ელექტრომაგნიტურ ტალღებს (იხ. *გ, 1*). შემდეგ ეს მაღალსიხშირუ-ლი რხევები მოდულირდება (3) მიკროფონიდან მოსული დაბალსიხშირული რხევებით (2).

•*მოდულაცია არის მაღალსიხშირული ელექტრომაგნიტური რხევების ამპლიტუდის (რხევის, ფაზის) ცვლილება დაბალსიხშირული ბგერითი რხევების ამპლიტუდის (რხევის, ფაზის) შესაბამისად.*

ტალღების ამპლიტუდური მოდულაციის განსახორციელებლად გადამცემი სადგურის წრედთან მიერთებული ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილს აერთებენ მიკროფონის წრედთან, მეორად გრაგნილს კი – ტრანზისტორებიანი გენერატორის წყაროსთან. შედეგად გადამცემი სადგურის რხევით კონტურში მაღალსიხშირული რხევების მოდულაცია ხდება ბგერითი სიხშირის სიგნალებით. მიღებული მოდულირებული სიგნალები ანტენის საშუალებით გამოსხივდება სივრცეში (იხ. *გ, 3*).

მიმღები სადგურის გამარტივებული სქემის მიხედვით ის (რადიომიმღები) შედგება შემდეგი ძირითადი ნაწილებისგან *(დ)*: მიმღები ანტენა (Q), რხევითი კონტური ცვლადი სიმძლავრის კონდენსატორით (C_2), ნახევარგამტარული დიოდი – დეტექტორი (D), ელექტრული სიგნალების გამსწორებელი კონდენსატორი (C_3) და ტელეფონი (ან ხმამაღლამოლაპარაკე) (U). რადიომიმღების ანტენის მიერ მიღებული ელექტრომაგნიტური ტალღები რხევით კონტურში ცვლად ინდუქციურ დენს ქმნიან.



კონტურში კონდენსატორის ტევადობის ცვლილებით მისი საკუთარი რხევების სიხშირეს ვუტოლებთ მიღებული ელექტრომაგნიტური ტალღების რხევების სიხშირეს. ამ დროს მკვეთრად იზრდება კონტურში აღძრული დენის რხევების ამპლიტუდა – წარმოიქმნება რეზონანსი. შედეგად კონტური განეწყობა გადამცემი სადგურის მიერ

LAVINE

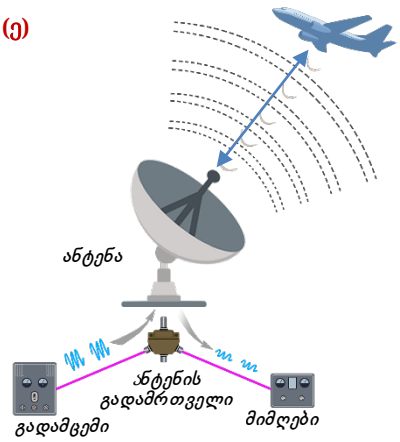
განსაზღვრული სიგნალის მისაღებად. ამის შემდეგ ხდება რადიომიმღების მიერ მიღებული მაღალსიხშირული მოდულირებული რხევებიდან დაბალსიხშირული რხევების გამოყოფა – დეტექტირება (დემოდულაცია).

დემოდულაცია ხორციელდება დეტექტორის (ნახევარგამტარული დიოდი) საშუალებით. დეტექტორში გასული დენი ცალმხრივ პულსირებად დენა გადაიქცევად (იხ. **დ 4**). ეს დენი C_3 კონდენსატორის (ფილტრის) გავლის შემდეგ სწორდება (გლუვდება). გასწორებული ელექტრული სიგნალი გარდაიქმნება ბგერითი სიხშირის რხევებად (5) და შემდეგ ისინი ტელეფონის (რადიოს) ხმამაღლამო-ლა-პარაკეზე გამოდიან.

რადიოლოკაცია. კვლევა 1-ის ჩატარების შემდეგ ჩვენ ვნახეთ, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღები ლითონის (გამტარი) ფირფიტებიდან აირეკლება. რადიოლოკაციის ფიზიკურ საფუძველს ელექტრომაგნიტური ტალღების სწორედ ეს თვისება წარმოადგენს.

- *რადიოლოკაცია – სხვადასხვა ობიექტების აღმოჩენა რადიოტალღების საშუალებით.*
- *რადიოტალღების საშუალებით ობიექტამდე მანძილის განმსაზღვრელ მოწყობილობას რადიოლოკატორი (რადარი) ეწოდება.*
- *რადიოლოკატორი არის მოწყობილობა, რომელიც შედგება ულტრამოკლე ტალღების რადიოგადამცემისა და რადიომიმღებისაგან (ე).*

(ე)



რადიოლოკატორი გამოასხივებს რადიოტალღებს მოკლე იმპულსების სახით. ორ ასეთ იმპულსს შორის დროის შუალედში ლოკატორი ავტომატურად გადაიქცევა ანტენად, რომელიც ღებულობს ობიექტიდან არეკლილ სიგნალებს. ამრიგად, ადვილად განისაზღვრება მანძილი (l)ობიექტამდე, რომელმაც აირეკლა სიგნალი:

$$l = \frac{c\Delta t}{2}.$$

აქ Δt ლოკატორიდან სიგნალის გაშვებასა და მიღებას შორის დროის შუალედია.

გამოყენება **კვლევითი სამუშაო 2**

ამოცანა. რხევითი კონტურის კოჭას ინდუქტივობა ტოლია 3 მჰნ, მისი კონდენსატორის ტევადობა კი შეიძლება $50 пф \div 500 пф$ შუალედში ვცვალოთ. განსაზღვრეთ:
ა) კონტურში რხევების საკუთარი სიხშირის ცვლილების საზღვრები;
ბ) რა სიგრძის რადიოტალღების მიღება შეუძლია რადიომიმღებს, რომლის ანტენის წრედიც ასეთი კონტურისაგან შედგება?

სამუშაოს შედეგის განხილვა:

- რაზეა დამოკიდებული რხევით კონტურში რხევების სიხშირე?
- რა საზღვრებში იცვლება რადიოტალღების სიგრძეები, რომლებიც შეუძლია მიიღოს მიმღების ანტენის წრედში ჩართულმა რხევითმა კონტურმა?

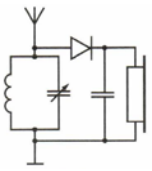
■მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ზოგჯერ სატელევიზიო პროგრამების ყურებისას შეიძლება დააკვირდეთ გამოსახულების დამახინჯებას და გარეშე ხმებს ვიდეომასალის თანმხლებ ბგერით სიგნალში. ერთდროულად თქვენ გესმით დასახლებული პუნქტის თავზე გადამფრენი თვითმფრინავის ხმა.

- რა არის ამ მოვლენის მიზეზი?

LAYING

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	რა არის რადიოკავშირი და რა წარმოადგენს მის საფუძველს?			
2	როგორ ღებულობენ გადამცემი სადგურის რხევით კონტურში დენის ძალის ისეთ რხევებს, რომლის დროზე დამოკიდებულებაც მოცემულია ნახატზე?			
3	ნახაზზე მოცემულია რადიომიმღების გამარტივებული სქემა. განსაზღვრეთ: ა) წრედის ელემენტი, რომლის საშუალებით მიმღები ეწყობა ტალღის საჭირო სიხშირეზე; ბ) მოწყობილობა, რომელიც ახდენს რხევების დეტექტირებას; გ) მოწყობილობა, რომელიც ელექტრულ სიგნალებს ბგერით სიგნალებად გადააქცევს. 			
4	დედამიწის ზედაპირზე მდებარე ლოკატორიდან საპლანეტათშორისო კოსმოსურ ხომალდზე გაგზავნილი სიგნალი ლოკატორმა 4 წუთში ისევ უკან მიიღო. დედამიწიდან რა მანძილზე იმყოფება ხომალდი?			

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში დაწერეთ ესე თემაზე: „რადიოკავშირის პრინციპები“.

პროექტი მოამზადეთ ელექტრონული პრეზენტაცია თემაზე: „რადიოტალღების გამოყენება“.

3.10. სინათლის ტალღური ბუნება. სინათლის დისპერსია

• პროექტის განხილვა •

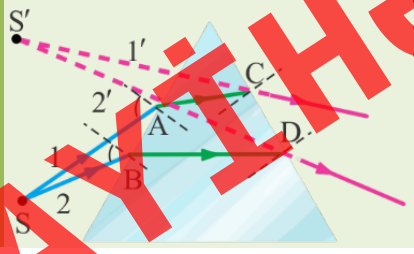
ჯგუფური

განხილვა ელექტრონული პრეზენტაციისა თემაზე „რადიოკავშირის გამოყენება“:

- *რა პრინციპებს ეფუძნება სატელევიზიო გადაცემები?*
- *რას წარმოადგენს რადიო-სარელეო კავშირი?*
- *როგორ ხორციელდება კოსმოსური რადიოკავშირი და რა არის მისი ფიზიკური საფუძველი?*
- *რა არის ფოტოტელეგრაფული (ფაქსიმილური) კავშირი და როგორ ხორციელდება იგი?*
- *რა არის რადიო ტელესკოპი, რას ემყარება მისი მუშაობის პრინციპი და რა მიზნებისთვის იყენებენ მას?*

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9



- *გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელს ვაკუუმის მიმართ ამ გარემოს აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებელი ეწოდება. გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი გვიჩვენებს, რამდენად ნაკლებია სინათლის სიჩქარე ამ გარემოში სინათლის სიჩქარეზე ვაკუუმში:*

$$n = \frac{c}{\upsilon}.$$

- ***სამკუთხა პრიზმის გვერდით წახნაგზე დაცემული სინათლის სხივი პრიზმის ფუძისკენ გადაიხრება.***

LAYING

■ უკვე რამდენიმე საუკუნეა მეცნიერები ცდილობენ, დაასაბუთონ, ორი ერთმანეთის გამომრიცხავი ჰიპოთეზა სივრცეში სინათლის გავრცელების ასახსნელად: იგი ტალღის სახით ვრცელდებადა ის ნაწილაკების ნაკადის სახითაც ვრცელდება.

•***რომელი ჰიპოთეზაა მართებული სინათლის ბუნების შესახებ?***

■ ზოგჯერ მზიან დღეს წვიმის შემდეგ თუ მზისკენ ზურგით დავდგებით, შეიძლება ცისარტყელა დავინახოთ.

• ***არის თუ არა რამე კანონზომიერება ცისარტყელაში ფერების მოცემული თანმიმდევრობით განლაგებაში?***

• ***რატომ არ ჩანს ყოველთვის ცისარტყელა?***

კვლევითი სამუშაო

რამდენი ფერისგან შედგება თეთრი სინათლე?

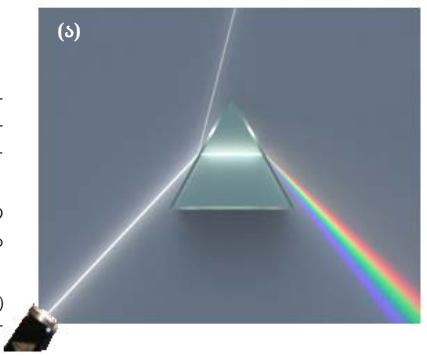
მოწყობილობა: თეთრი სინათლის წყარო (ნაკრებიდან „ოპტიკური შაიბა“ , მინის პრიზმა, ქაღალდის ფურცელი (ნაცრისფერი, ფორმატი A4), სახელმძღვანელო „ფიზიკა“.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. დადეთ სახელმძღვანელო მაგიდაზე და დააფარეთ ნაცრისფერი ქაღალდის ფურცელი. მოათავსეთ პრიზმა ფურცლის შუაში, როგორც ნახატზეა მოცემული.
2. ჩართეთ სინათლის წყარო და მოათავსეთ იგი მაგიდაზე იმგვარად, რომ სინათლის წვრილი კონა, რომელიც ფურცლის ზედაპირზე ვრცელდება, ქაღალდზე მდებარე პრიზმის წახნაგს ეცემოდეს, როგორც *(ა)* ნახატზეა მოცემული. ყურადღებით დააკვირდით მიღებულ გამოსახულებას.

სამუშაოს შედეგის განხილვა:

- რას აკვირდებოდით ცდის დროს?
- როგორი დასკვნის გაკეთება შეიძლება, თუ დავაკვირდებით, როგორ იშლება თეთრი სინათლე სხვადასხვა ფერებად მინის პრიზმაში გავლის შემდეგ?
- რამდენი სხვადასხვა ფერის სხივი დაითვალეთ მიღებულ სურათზე ყურადღებით დაკვირვების შემდეგ? დაასახელეთ ისინი.
- რომელი ფერის სხივი განიცდის უფრო მეტ გარდატეხას პრიზმაში გავლის შემდეგ და რომელი ნაკლებ გარდატეხას? რატომ?



სინათლის ბუნება. რამდენიმე საუკუნის განმავლობაში სინათლის ბუნების შესახებ არსებობდა ორი შეხედულება: კორპუსკულარული და ტალღური ბუნება.

სინათლის კორპუსკულარული ბუნების შესახებ შეხედულების ფუძემდებელი გახლავთ ისააკ ნიუტონი. ის თვლიდა, რომ სინათლე ნაწილაკების (კორპუსკულების) ნაკადია. სინათლის წრფივი გავრცელება და მისი არეკვლა ადვილად აიხსნება ამ შეხედულების საფუძველზე.

სინათლის ტალღური ბუნების შესახებ შეხედულების ფუძემდებელი გახლავთ ჰოლანდიელი მეცნიერი ქრისტიან ჰიუგენსი (1629-1695). ამ შეხედულების წარმოშობის ძირითადი მიზეზი იყო სინათლის, როგორც ტალღების, გავრცელებისას სხივების

LAYOUT

ერთმანეთში ურთიერთგავლა. XIX საუკუნის ინგლისელმა მეცნიერმა თომას იუნგმა (1773-1829) ჩაატარა ექსპერიმენტები და აღმოაჩინა უამრავი ფაქტი, რომლებიც სინათლის ტალღურ ბუნებას ადასტურებენ. ელექტრომაგნიტური ველის თეორიის ფუძემდებელმა ჯ. მაქსველმა თეორიულად დაასაბუთა სინათლის ელექტრომაგნიტური ტალღური ბუნება. თანამედროვე შეხედულებების თანახმად, სინათლეს და სხვა ელექტრომაგნიტურ ტალღებს ორმაგი – კორპუსკულარული და ტალღური – ბუნება აქვს.

სინათლის დისპერსია. ერთ-ერთი მოვლენა, რომელიც სინათლის ტალღურ ბუნებას ამტკიცებს, არის სინათლის დისპერსია.

- სინათლის დისპერსია – ეს არის გარემოს გარდატეხის მაჩვენებლის დამოკიდებულება დაცემული სინათლის სიხშირეზე (ტალღის სიგრძეზე).

პირველად ეს მოვლენა ისააკ ნიუტონმა გამოიკვლია. მან მზის სინათლის წვრილი კონის გზაზე მოათავსა მინის გამჭვირვალე სამკუთხა პრიზმა, ხოლო მზის სინათლე ჩაბნელებულ ოთახში დარაბაში დატოვებული მცირე ნახვრეტიდან შემოდიოდა. პრიზმის გავლის შემდეგ სინათლის სხივი შვიდი ფერის სხივისგან შედგენილ სპექტრად იყოფოდა. დისპერსიული სპექტრის შემადგენელი ფერების თანმიმდევრობა ყოველთვის ერთნაირია: ***წითელი, ნარინჯისფერი, ყვითელი, მწვანე, ცისფერი, ლურჯი, იისფერი.***

მონოქრომატულ (შეიცავს მხოლოდ ერთ ფერს) სხივებს შორის ყველაზე მეტად გარდატყდება იისფერი სხივები, ხოლო ყველაზე ნაკლებად – წითელი (იხ. ა). მოვლენის მიზეზი სინათლის შესახებ ტალღური წარმოდგენის საფუძველზე აიხსნება. ასე მაგალითად, გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი გვიჩვენებს, რამდენჯერ ნაკლებია სინათლის სიჩქარე ამ გარემოში ვაკუუმთან შედარებით:

$$n = \frac{c}{\upsilon} = \frac{\lambda_0}{\lambda}.$$

აქ λ_0- სინათლის ტალღის სიგრძეა ვაკუუმში, λ – სინათლის ტალღის სიგრძე გარემოში. ამრიგად, წითელ სინათლეს, რომელიც ყველაზე ნაკლებად გარდატყდება, გარდატეხის უმცირესი მაჩვენებელი აქვს. ეს კი ნიშნავს, რომ წითელ სინათლეს უდიდესი ტალღის სიგრძე (ან უმცირესი სიხშირე) აქვს. იისფერ სინათლეს, პირიქით, გააჩნია უდიდესი გარდატეხის მაჩვენებელი და უმცირესი ტალღის სიგრძე (ან უდიდესი სიხშირე). შემდგომში ჩატარებული ექსპერიმენტებიდან განისაზღვრა, რომ ხილული სინათლის დისპერსიული სპექტრი ელექტრომაგნიტური ტალღების სკალაზე მოიცავს დიაპაზონს: $\lambda_к = 7{,}6 \cdot 10^{-7}$მ-დან (წითელი) $\lambda_ф = 3{,}8 \cdot 10^{-7}$-მდე (იისფერი).

შედეგი. ამგვარად, დისპერსიის მოვლენის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ თეთრი სინათლე რთული აგებულებისაა – შედგება სხვადასხვა ფერის მონოქრომატული სინათლის სხივებისაგან. თითოეულ მონოქრო-მატულ სხივს საკუთარი სიხშირე და ტალღის სიგრძე აქვს. ამიტომ მინის პრიზმაში მონოქრომატული სხივის გავლისას იგი მხოლოდ გარდატყდება, შეიცვლის მიმართულებას (არ იშლება შემადგენელ ნაწილებად, არ იცვლის შეფერილობას). თუ პრიზმის მიერ მონოქრომატულ სხივებად დაშლილ სინათლეს მეორე გადაბრუნებული პრიზმისაკენ მივმართავთ, მაშინ მეორე პრიზმიდან გამოსვლისას ისევთ თეთრ სინათლეს მივიღებ.

ფერების ფიზიკის თანახმად, არც ერთი ჩამოთვლილი სამი ძირითადი ფერიდან – წითელი, მწვანე და ლურჯი – არ შეიძლება მიღებულ იქნას სხვა ორი ფერის შერევით. თუმცა ძირითადი ფერების შერევით შეგვიძლია მივიღოთ ყველა დანარჩენი ფერი და მათი ტონალობები.

ჩვენ მიერ გარემომცველი სამყაროს მრავალფეროვანი აღქმა სინათლის შთანთქმით, გარდატეხით და არეკვლით აიხსნება. მაგალითად, ქაღალდის ფურცელს ჩვენი მხედველობა თეთრად იმიტომ აღიქვამს, რომ ის სრულად ირეკლავს მასზე დაცემულ თეთრ სინათლეს. თუ სხეული მთლიანად შთანთქავს მასზე დაცემულ სინათლეს, იგი აღიქმება, როგორც შავი, მაგალითად მური.

LAYING

გამოყენება **კვლევითი სამუშაო** 22

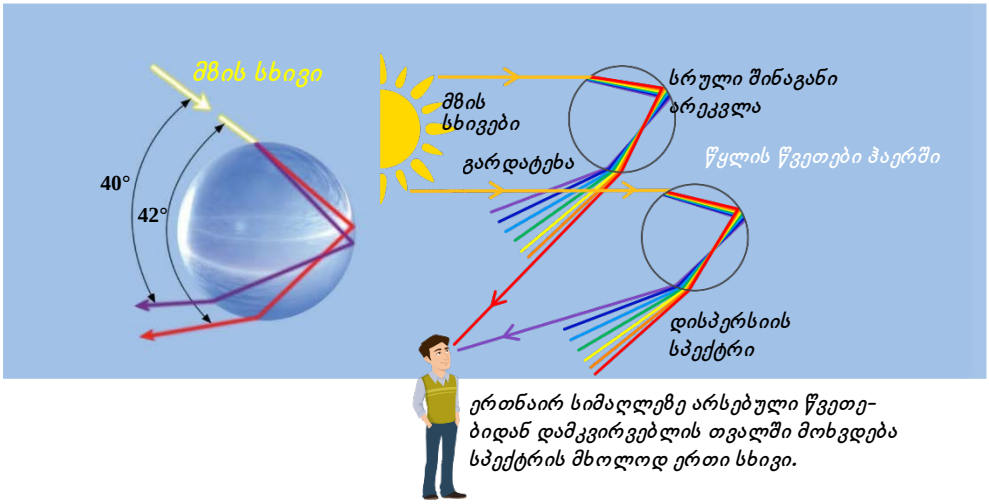
ამოცანა 1. შეადგინეთ დისპერსიული სპექტრის სხივების თანმიმდევრობა მინის პრიზმაში მათი გავრცელების სიჩქარის ზრდადობის მიხედვით.

სამუშაო შედეგის განხილვა:

- თეთრი სინათლის დისპერსიული სპექტრის რომელი სხივი ვრცელდება მინის პრიზმაში უდიდესი სიჩქარით, ხოლო რომელი – უმცირესი სიჩქარით? პასუხი დაასაბუთეთ.

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

გააანალიზეთ მოყვანილი სქემა და ახსენით ცისარტყელას წარმოქმნის მიზეზი.



ერთნაირ სიმაღლეზე არსებული წვეთებიდან დამკვირვებლის თვალში მოხვდება სპექტრის მხოლოდ ერთი სხივი.

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	რატომ ყოფს მინის პრიზმა თეთრ სინათლეს შემადგენელ სპექტრულ ნაწილებად?			
2	როგორ ასაბუთებს სინათლის დისპერსია მისსავე ტალღურ ბუნებას?			
3	როგორ ხსნის ფერების ფიზიკა ბალახის მწვანე ფერს?			
4	დისპერსიული სპექტრის წითელი სინათლის ტალღის სიგრძე რამდენჯერ ნაკლებია იმ რადიოტალღის სიგრძეზე, რომლის სიხშირე 100 მგჰც-ის ტოლია?			
5	დისპერსიული სპექტრის იისფერი სინათლის ტალღის სიგრძე რამდენჯერ მეტია იმ რენტგენის ტალღის სიგრძეზე, რომლის სიხშირე 10^{18} ჰც-ია?			

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში ჩამოწერეთ ძირითადი ცნებები და მათი განსაზღვრებები თემიდან „სინათლის დისპერსია“.

LAYTHO

3.11. ტალღების ინტერფერენცია. სინათლის ინტერფერენცია

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა•

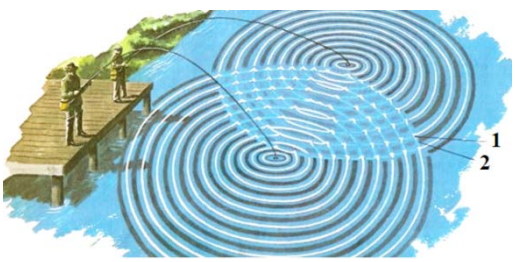
ფიზიკა – 7 და 10

ბუნებაში ყველაზე ხშირად გვხვდება რხევები, რომლებიც ბმულ სისტემებში ვრცელდება. ბმულ რხევით სისტემებში რხევები სისტემის ერთი ნაწილიდან სხვა ნაწილ გადაეცემას. მაგლითად, წყალში ქვის ჩაგდებისას ჩვენ ვხედავთ კონცენტრულ წრეებს, რომლებიც ქვის დაცემის წერტილიდან ვრცელდება. გვექმნება შთაბეჭდილება, რომ წყალი ბურცობების და ჩაზნექილობების სახით (ფორმით)გადაადგილდება.

• *რომელი ბმული სისტემა ქმნის წყალში ტალღას?*

მიაქციეთ ყურადღება სურათს, რომელიც მეთევზეების ანკესების ტივტივებმა წარმოქმნა (*ა*). ტალღების შეხვედრისას ხდება მათი შეკრება. შედეგად განსაზღვრულ წერტილებში ისინი ერთმანეთს აძლიერებენ (*ა, 1*), სხვაში კი – სუსტებენ (*ა, 2*).

(ა)



• *ტალღების შეხვედრისას რა შემთხვევაში ხდება გაძლიერება და რა შემთხვევაში – შესუსტება?*

• *დაიმზირება თუ არა ტალღის გაძლიერება და შესუსტება, თუ სინათლის ტალღა ორი განსხვავებული წყაროსაგან გამოსხივდება?*

კვლევითი სამუშაო 1

აქრობს თუ არა ერთმანეთს ორი ტალღა შეკრებისას?

აღჭურვილობა: ნაკრები „ტალღური აბაზანა“ (მცირე სიღრმის ლაბორატორიული აბაზანა; ტალღების გენერატორი, რომელსაც ორი წერტილოვანი წყარო აქვს), წყალი (200 მლ), მობილური ტელეფონი ფოტოკამერით.

სამუშაოს მსვლელობა:

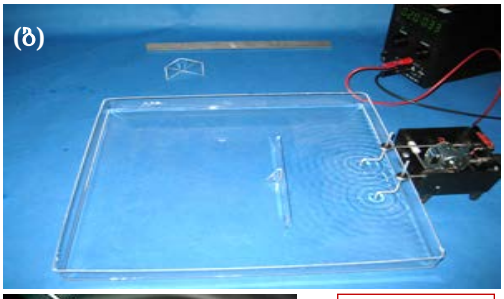
აბაზანაში ჩაასხით წყალი, გენერატორი მოათავსეთ ისე, რომ მისი ღეროების ბოლოში მოთავსებული ბურთულები წყლის ზედაპირს ეხებოდნენ(*ბ*).

2. ჩართეთ გენერატორი და ყურადღებით დააკვირდით ტალღების შეკრების სურათს, რომელიც წარმოქმნილია წყლის ზედაპირზე. გადაუღეთ სურათი დამზერილ მოვლენას (*გ*).

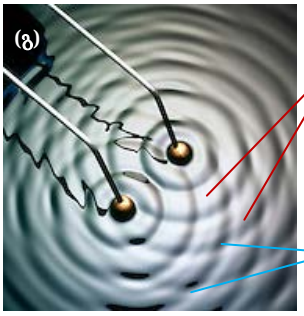
სამუშაოს შედეგის განხილვა:

• რა უცნაური კანონზომიერება დაინახეთ წყლის ზედაპირზე ორი ტალღის შეკრებისას მიღებულ სურათში? როგორ ახსნით ამას?

(ბ)



(გ)



LAMPO

ტალღების ინტერფერენცია. კვლევა 1-ში თქვენ აკვირდებოდით კოჰერენტული ტალღების შეკრებას, რომელიც წყლის ზედაპირზე წარმოქმნა ჰარმონიულად, ერთნაირი სიხშირით მერხევმა გენერატორის ბურთულებმა.

•*კოჰერენტული ეწოდება ისეთ ტალღებს, რომელიც წარმოქმნილია სხვადასხვა რხევის წყაროების მიერ, რომელთაც აქვთ რხევის ერთნაირი სიხშირე და მუდმივი ფაზათა სხვაობა, რომელიც არ არის დამოკიდებული დროზე.*

ჯამური რხევები, რომელიც მიღებულია კოჰერენტული ტალღების შეკრების შედეგად, იმის მიხედვით, თუ რა მანძილია რხევის წყაროდან შეხვედრის ადგილამდე, ან ძლიერდება, ან სუსტდება – ხდება ტალღების ინტერფერენცია.

• ტალღების ინტერფერენცია არის ჯამური რხევის ამპლიტუდის მომატებისადა შემცირების მოვლენა კოჰერენტული ტალღების შეკრებისას (ლათ. „ინტერ“ – ურთიერთ, „ფერიო“ – დარტყმა).

ჯამური ტალღის ამპლიტუდის მომატება და შემცირება განისაზღვრება ინტერფერენციის მაქსიმუმისა და მინიმუმის პირობით.

ინტერფერენციის მაქსიმუმის პირობა. ინტერფერენციის მაქსიმუმი დაიმზირება სივრცის (ზედაპირის) იმ წერტილებში, რომლებშიც ხდება შემკრები ტალღების მაქსიმუმების ზედდება. ეს დამოკიდებულია იმ მანძილთა სხვაობაზე, რომელიც ტალღებმა გაიარეს რხევის წყაროდან მოცემულ წერტილამდე.

• ჯამური ტალღის ინტერფერენციული მაქსიმუმი წარმოიქმნება წერტილებში, სადაც ტალღების მიერ გავლილი მანძილის სხვაობა ნულის ან ნახევარტალღის ლუწი რაოდენობის ტოლია (ფაზების სხვაობა ნულის ან π-ის ლუწი რაოდენობის ტოლია) *(დ)*:

$$\Delta d = \frac{\lambda}{2} \cdot 2k. \qquad (1)$$

$\Delta d = d_2 - d_1$ არის ტალღების მიერ შეხვედრი ადგილამდე გავლილი მანძილის სხვაობა), k – მაქსიმუმის რიგითი ნომერი $k = 0, 1, 2, \ldots$.

კოჰერენტული ტალღების ფაზათა სხვაობასა და სვლის სხვაობას შორის შემდეგი დამოკიდებულებაა:

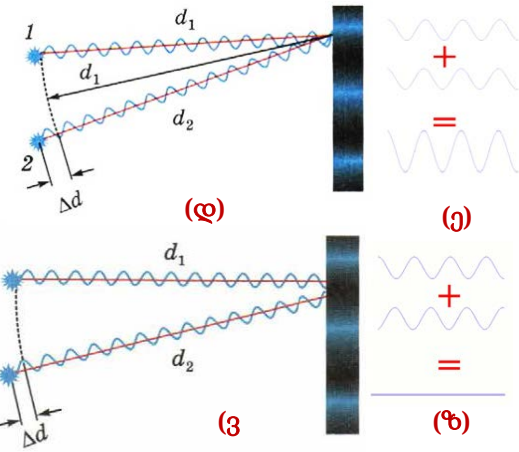
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta d. \qquad (2)$$

კოჰერენტული ტალღების ფაზათა სხვაობასა და სვლის სხვაობას შორის შემდეგი დამოკიდებულებაა:

$$\Delta\varphi = \pi \cdot 2k. \qquad (3)$$

იმ შემთხვევაში, თუ შესაკრები ტალღების ამპლიტუდები ტოლია, ჯამური რხევის ამპლიტუდა საწყისი ტალღების ამპლიტუდების ჯამის ტოლი იქნება *(ე)*:

$$x_{max} = A + A = 2A. \qquad (4)$$



ინტერფერენციის მინიმუმის პირობა. ინტერფერენციის მინიმუმი დაიმზირება სივრცის (ზედაპირის) იმ წერტილებში, რომელშიც ხდება შემკრები ტალღების საპირისპირო ფაზაში ზედდება. ამ დროს ერთი ტალღის მაქსიმუმი ემთხვევა მეორე ტალღის მინიმუმს. შედეგად ხდება ტალღების ურთიერთშესუსტება.

• *ინტერფერენციული მინიმუმი წარმოიქმნება წერტილებში, სადაც ტალღების*

LAXLHO

მიერ გავლილი მანძილის სხვაობა ნახევარტალღის კენტი რაოდენობის ტოლია (ფაზების სხვაობა π-ის კენტი რაოდენობის ტოლია) ***(ვ):***

$$\Delta d = \frac{\lambda}{2} \cdot (2k+1); \qquad (5)$$

$$\Delta\varphi = \pi \cdot (2k+1). \qquad (6)$$

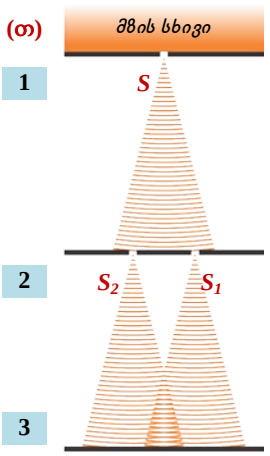
იმ შემთხვევაში, თუ შესაკრები ტალღების ამპლიტუდები ტოლია, ჯამური რხევის ამპლიტუდა ნულამდე მცირდება ***(ვ)***:

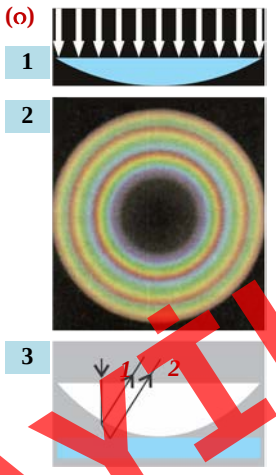
$$x_{min} = A + (-A) = 0. \qquad (7).$$

სინათლის ინტერფერენცია. ინტერფერენციის მოვლენა ყველა სახის ტალღებისათვისაა დამახასიათებელი, მათ შორის სინათლის ტალღებისთვისაც. ორი სინათლის ტალღის სივრცეში შეკრებისას ხდება მათი როგორც გაძლიერება, ისე შესუსტება. შესაძლებელია ასეთი ვარიანტიც: ***სინათლე + სინათლე = სიბნელე.***

- *სინათლის ინტერფერენცია არის სინათლის ჯამური რხევის ამპლიტუდის მომატებისა და შემცირების მოვლენა კოჰერენტული სინათლის ტალღების შეკრებისას სივრცის სხვადასხვა წერტილებში.*

დიდი ხნის განმავლობაში არ ხერხდებოდა კოჰერენტული სინათლის ტალღების მიღება, ამის გამო შეუძლებელი იყო სინათლის ტალღების ინტერფერენციის უნარის დამტკიცება. მხოლოდ XIX საუკუნის დასაწყისში ტომას იუნგმა მარტივი ხელსაწყოს მეშვეობით შეძლო სინათლის ინტერფერენციაზე დაკვერ-ვება ***(თ)***.



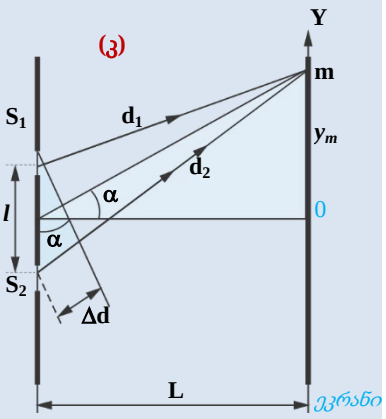


სინათლის ინტერფერენციის კლასიკური ცდა შემდეგში მდგომარეობს: მზის სინათლით ასხივებენ გაუმჭვირვალე ეკრანს 1, რომელსაც აქვს მცირე ზომის ნახვრეტი S (ქინძისთავით გაკეთებული), მასში გასული სხივები ეცემა ეკრან 2-ს, რომელსაც აქვს ორი პატარა ნახვრეტი. ამ ნახვრეტებიდან გამოსული სინათლის სხივები კოჰერენტულია. ამ სინათლის ტალღების ინტერფერენციის შედეგად ეკრან 3-ზე ვიღებთ ინტერფერენციულ ზოლებს. ეკრანის ცენტრალურ ნაწილში ჩანს ფერადი და მუქი ზოლების მონაცვლეობა. ცენტრიდან მოშორებით ინტერფერენციული ზოლების სიმკვეთრე სუსტდება. ამ ცდისთვის იუნგმა გამოიყენა მაქსიმუმის პირობა და ფორმულა (1)-ით გაზომა სინათლის ტალღის სიგრძე სხვადასხვა ფერებისათვის. გასაკვირია, მაგრამ სინათლის ინტერფერენციის პირველი ცდა ჩაატარა ისააკ ნიუტონმა, რომელიც უარყოფდა სინათლის ტალღურ ბუნებას. მან მინის ფირფიტაზე მოათავსა ბრტყელამოზნექილი მინის ლინზა, ამოზნექილი მხარით ქვევით, და ზემოდან გაანათა (***ი 1***). ნიუტონმა ზემოდან ლინზას დახედადა დაინახა ღია და მუქი ფერი კონცენტრული წრეები (***ი 2***), რომელთაც შემდგომში ნიუტონის რგოლები უწოდეს. მაგრამ ვერც ნიუტონმა და ვერც სხვა მეცნიერებმა, რომლებიც ამ ცდას იმეორებდნენ 100 წელზე მეტი ხნის განმავლობაში, ვერ შეძლეს ამ რგოლები წარმოქმნის მიზეზის ახსნა. მხოლოდ 1802 წელს იუნგმა ახსნა ნიუტონის რგოლების წარმოქმნის მიზეზი. მან ეს შემდეგნაირად გააკეთა: როდესაც სინათლის სხივი ლინზის ბრტყელ ზედაპირს ეცემა, ის ნაწილობრივ აირეკლება ლინზის სფერული ზედაპირიდან (***ი 3***, სხივი 1), ნაწილობრივ კი – მინის ფირფიტის ზედაპირიდან, რომელზეც მათავსებულია ლინზა (***ი 3***, სხივი 2). ასეთი მრავალჯერადი არეკვლისას მიიღება ორი კოჰერენტული სხივი. ამ სხივების შეკრებისას, ინტრეფერენციის მაქსიმუმებისა და მინიმუმების წარმოქმნის პირობის თანახმად, ვიღებთ ინ-

LAYING

ტერფერენციულ სურათს, რომელზეც ერთმანეთს ენაცვლება მუქი და ნათელი კონცენტრული რგოლები.

სინათლის ტალღის სიგრძის დადგენა. წარმოვიდგინოთ, რომ მანძილი ორ კოჰერენტულ S_1 და S_2 წყაროს შორის გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე მანძილი ეკრანამდე *(კ)*: l ნაკლებია L-ზე. ამ შემთხვევაში სინათლის ტალღები, რომლებიც გამოსულია ამ წყაროებიდან და იკვეთება m წერტილში, კოორდინატით y, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ პარალელურია. სვლის სხვაობა ამ სხივებს შორის არის:



$$\Delta d = d_2 - d_1 = l \cdot sin\alpha.$$

იმის გამო, რომ კუთხე α ძალიან მცირეა,

$$sin\alpha \approx tg\alpha = \frac{y_m}{L}.$$

ინტერფერენციული მაქსიმუმის პირობა ამ შემთხვევაში იქნება: $l \cdot \frac{y_m}{L} = k\lambda.$

საიდანც შეგვიძლია ტალღის სიგრძის პოვნა:

$$\lambda = \frac{l}{L} \cdot \frac{y_m}{k}.$$

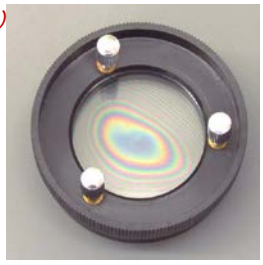
გამოყენება **კვლევითი სამუშაო 2**

„ნიუტონის რგოლებზე“ დაკვირვება.

აღჭურვილობა: ხელსაწყო „ნიუტონის რგოლები“, თეთრი ფურცელი (A5 ფორმატი), მობილური ტელეფონი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ხელსაწყო მოათავსეთ თეთრ ქაღალდზე, რომელიც მაგიდის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დევს. ამ შემთხვევაში ლინზის ბრტყელი ზედაპირი თქვენსკენაა მომართული. სინათლის სხივები, რომელიც ამ ზედაპირს ეცემა, შეიძლება პარალელურად ჩაითვალოს *(კ)*.
2. დახედეთ ლინზას ზემოდან და გადაიღეთ მიღებული სურათი.


(ლ)

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რა მოვლენას აკვირდებოდით?
- როგორ შეიძლება ავხსნათ დიდი შავი ლაქას არსებობა ლინზის ცენტრში და მის გარშემო ფერადი და მუქი კონცენტრული წრეების არსებობა, რისგანაც შედგება „ნიუტონის რგოლები“?

(მ)

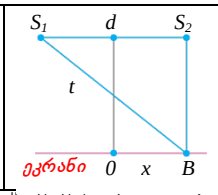
■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

გაიხსენეთ საპნის ბუშტები, რომლითაც ბავშვობაში ერთობოდით. გაიხსენეთ, როგორ ლივლივებს ფერადი რგოლები ჰაერში მოფარფატე საპნის ბუშტებზე *(მ)*.

- როგორ შეგვიძლია ავხსნათ საპნის ბუშტების ზედაპირზე ფერადი რგოლების არსებობა?

LAYIHA

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	რომელ ტალღებს უწოდებენ კოჰერენტულს? როგორ წარმოიქმნება სინათლის კოჰერენტული ტალღები?			
2	მონოქრომატული გამოსხივების ორი ტალღა, რომელთა სხივთა სვლაა $\Delta d = 0{,}3\lambda$, სივრცის განსაზღვრულ წერტილში ინტერფერირებენ. იპოვეთ ამ ტალღების რხევების ფაზების სხვაობა.			
3	ორი წყაროდან, S_1 და S_2, გამოსული თეთრი სინათლის კოჰერენტული ტალღები ეკრანს ეცემა. როგორი ინტერფერენციული სურათი დაიმზირება ეკრანზე? ამ ნახაზის რომელი ნაწილია მეტად განათებული? რატომ? 			
4	განსაზღვრეთ ინტერფერენციული მაქსიმუმის რიგითობა, რომელიც მიიღება წერტილში, რომელშიც ორი კოჰერენტული ტალღის სვლის სხვაობა არის $\Delta d = 5\lambda$.			

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში დაწერეთ ესე თემაზე: „ინტერფერენციის მოვლენა“.

პროექტი დაწერეთ რეფერატი თემაზე: „ინტერფერენციის გამოყენება“.

3.12. ტალღების დიფრაქცია. სინათლის დიფრაქცია

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა•

ფიზიკა — 7 და 10

• ***სინათლის სხივი არის წრფე, რომლის გასწვრივაც ვრცელდება სინათლის ენერგია.***

სინათლის სხივები შეიძლება იყოს პარალელური, დივერგენტული (განშლადი) და კონვერგენტული (კრებადი). ითვლება, რომ სინათლის სხივები, რომლებიც ეცემა დედამიწის ზედაპირს ძალიან შორს მდებარე სინათლის წყაროდან, მაგალითად, მზეიდან, ვარსკვლავებიდან, მთვარიდან, პარალელურია.

• ვაკუუმსა და ერთგვაროვან გარემოში სინათლე წრფივად ვრცელდება.

•ერთგვაროვანია გარემო, რომლის თვისებებიც ერთნაირია მის მთელ მოცულობაში.

• ჩრდილის წარმოქმნის მიზეზი სინათლის წრფივი გავრცელებაა.

■ ბუნებაში სეირნობისას შესაძლოა, შეგიმჩნევიათ ობობის ქსელი. ზოგჯერ ის თქვენ ყურადღებას იპყრობს მაშინ, როცა ცისარტყელას ფერებით ციმციმებს.

• ***სინათლის რა თვისებით აიხსნება ობობის ქსელის თეთრი (მზის) სინათლით განათებისას სპექტრის წარმოქმნა?***

• ***რა კავშირია სპექტრსა და სინათლის ტალღურ ბუნებას შორის?***

LAYIHO

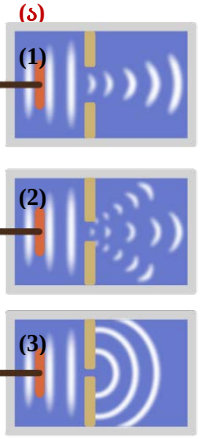
კვლევითი სამუშაო 11

რა მოხდება, თუ ტალღას გავრცელებისას დაბრკოლება დახვდება?

აღჭურვილობა: ნაკრები „ტალღური აბაზანა“ (ლაბორატორიული აბაზანა; ტალღების გენერატორი, რომელიც აღჭურვილია ჰორიზონტალური ჩხირით; ბრტყელი ფირფიტები); წყალი (200 მლ); მობილური ტელეფონი ფოტოკამერით.

სამუშაოს მსვლელობა: 1. ჩართეთ გენერატორი და დააკვირდით წყლის ზედაპირზე წარმოქმნილ ტალღას. 2. ტალღის გავრცელების მართობულად მოათავსეთ ორი ფირფიტა ისე, რომ მათ შორის ღრეჩო დარჩეს ***(ა)***. დააკვირდით, როგორ ვრცელდება ტალღა ღრეჩოს გავლის შემდეგ (***ა,*** 1) 3. თანდათან შეამცირეთ ღრეჩო და დააკვირდით ღრეჩოში გასული ტალღისფორმის ცვლილებას (***ა,*** 2 და 3). გადაიღეთ სურათები, თუ როგორ ვრცელდება ტალღა ღრეჩოს გავლის შემდეგ.

(ა)



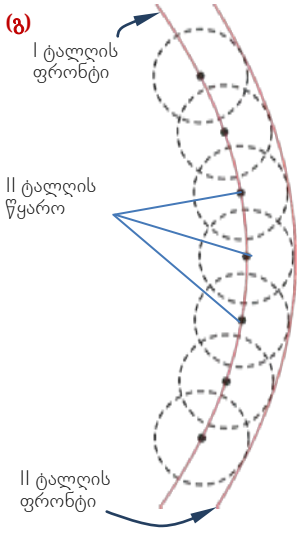
სამუშაოს შედეგის განხილვა:

- რა ფორმის ტალღა წარმოიქმნა წყლის ზედაპირზე ჰორიზონტალური ჩხირის რხევისას?
- რა დაინახეთ, როდესაც ტალღას ღრეჩოიანი დაბრკოლება დაახვედრეთ?
- როგორ იცვლება ტალღის ფორმა ღრეჩოს შემცირებისას?
- ჩატარებული ცდიდან ტალღის რომელი თვისების შესახებ შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა

ტალღური ზედაპირი და ტალღის ფრონტი. ნებისმიერი ტალღის სხვადასხვა გარემოში გავრცელებისა უნივერსალური კანონზომიერებებით ხასიათდება. მაგალითად, რხევები, რომლებიც უძრავი წყლის ზედაპირზე დაცემული წვეთის შედეგად წარმოიქმნება, ერთნაირი სიჩქარით ვრცელდება ყველა მიმართულებით და გარემოს გარკვეულ ნაწილს მოიცავს ***(ბ)***. დროთა განმავლობაში ტალღა აგრძელებს გავრცელებას და შეაქვს შეშფოთება წყლის ზედაპირის კიდევ მეტ ნაწილში. ე.ი. ტალღის გავრცელების პროცესში წყლის ზედაპირი (გარემო) დაყოფილია ორ ნაწილად: ერთში ტალღა უკვე ვრცელდება, მეორეში კი ჯერ არ გავრცელებულა. ამ ორი ნაწილის გამყოფ ხაზს ტალღური ზედაპირი ეწოდება.

(ბ)

(გ)



- *ტალღური ზედაპირი არის იმ წერტილების გეომეტრიული ერთობლიობა, სადამდეც მოცემულ მომენტში მიაღწია ტალღამ.*

გარემოს ნაწილაკების ნაწილი (რომელშიც ტალღა ვრცელდება) ერთნაირ ფაზაში ირხევა. ზედაპირს, რომლის ყველა წერტილში რხევები ერთნაირ ფაზაში სრულდება, ერთნაირი ფაზის ზედაპირს, ანუ ტალღის ფრონტს, უწოდებენ.

- *ტალღის ფრონტი იმ წერტილთა გეომეტრიული ადგილია, სადაც რხევები ერთნაირ ფაზაში სრულდება.*

ტალღის ფრონტი გეომეტრიული კონცეფციაა, რომელიც წარმოდგენას გვიქმნის იმ ზედაპირის შესახებ, რომელიც ერთნაირ ფაზაში მერხევ ყველა წერტილს მოიცავს. ***(გ)***. რადგან გარემოს მომდევნო ნაწილაკების რხევის ფაზა განსხვავებულია, მოცემულ გარემოში შესაძლებელია უსასრულო რაოდენობის ტალღის ფრონტის არსებობა.

- *ტალღას, რომლის ფრონტიც არის სიბრტყე, ბრტყელი ტალღა ეწოდება, ხოლო თუ ტალღის ფრონტს სფერული ან ცილინდრული ფორმა აქვს, შესაბამისად, სფერული ან ცილინდრული ტალღა ეწოდება.*

ბრტყელი ტალღა ვრცელდება ბრტყელი ფრონტის მართობული მიმართულებით.

ტალღების დიფრაქცია. ჰიუგენსის პრინციპი. დიფრაქცია ერთ-ერთი საერთო თვისებაა, რომელიც ყველა სახის ტალღას გააჩნია.

LAYER

• *ტალღის დიფრაქცია არის დაბრკოლების გამოგავრცელების გეომეტრიული მიმართულებისაგან ტალღის გადახრის მოვლენა (დაბრკოლების შემოვლა, მათ მიღმა გავრცელება).*

ტალღის მიერ დაბრკოლების შემოვლა კავშირშია დაბრკოლების ზომისა და ტალღის სიგრძის თანაფარდობასთან:

$$l \geq \frac{D^2}{\lambda}$$

λ ტალღის სიგრძეა, D – დაბრკოლების (ან ღრეჩოს) ზომაა, l – მანძილი დაბრკოლებიდან იმ წერტილამდე, სადაც დაიმზირება დიფრაქცია.

დიფრაქცია შეიძლება ავხსნათ იმ პრინციპზე დაყრდნობით, რომელიც 1690 წელს ჩამოაყალიბა ჰიუგენსმა. ჰიუგენსის პრინციპის თანახმად, გარემოს ყოველი წერტილი, სადამდეც ტალღის ფრონტმა მიაღწია, ნახევრად სფერული ტალღების წყაროდ გარდაიქმნება, რომელთა რხევის სიხშირე საწყისი ტალღის რხევის სიხშირის ტოლია. ამ სფერული ტალღებისადმი (მათ მეორად ტალღებსაც უწოდებენ) გავლებული მხები ტალღის ახალი ფრონტია დროის მომდევნო მომენტში ***(იხ. გ)***.

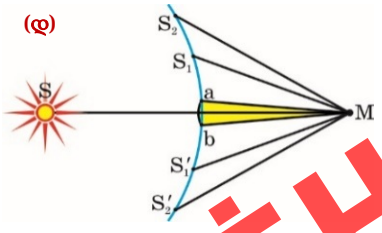
რადგან ტალღის გავრცელების მიმართულება ტალღის ფრონტის მართობულია, შესაძლებელია განვსაზღვროთ სხივი – ეს არის ტალღის გავრცელების მიმართულება დროის ნებისმიერ მომდევნო მომენტში.

• *სხივი – ეს არის მოცემულ წერტილში ტალღის ფრონტის მართობულად გავლებული ნორმალი (პერპენდიკულარი).*

ამგვარად, ჰიუგენსის პრინციპის პოზიციიდან დიფრაქცია შეიძლება ასე ავხსნათ: წარმოვიდგინოთ, რომ ტალღის გავრცელებისას მის წინ არის ღრეჩოიანი დაბრკოლება, რომელიც ტალღის ფრონტის მართობულია. მეორადი ნახევრადსფერული ტალღები, რომლებიც ღრეჩოს წერტილებში წარმოიქმნა, როდესაც ტალღამ დაბრკოლებას მიაღწია, დაბრკოლების კიდეებს მიღმა ვრცელდება – ხდება დიფრაქცია. ჰიუგენსის პრინციპის მეშვეობით შესაძლებელი გახდა ტალღის ფრონტის მიმართულებასთან დაკავშირებული პრობლემების გადაწყვეტა, მაგრამ ვერ მოხერხდა ამპლიტუდის ცვლილებისა და, შესაბამისად, ინტენსივობის ცვლილების ახსნა ტალღის გავრცელების ყველა მიმართულებით. უკანასკნელს 1819 წელს ახსნა მოუძებნა ფრანგმა ფიზიკოსმა ოგიუსტ ფრენელმა (1788-1827), რომელმაც განსაზღვრა და განმარტა სინათლის დიფ-რაქცია.

ჰიუგენს-ფრენელის პრინციპი. სინათლის დიფრაქცია. ფრენელმა განავრცო ჰიუგენსის პრინციპი და აღნიშნა, რომ ტალღის ფრონტის ყველა წერტილი მეორადი კოჰერენტული ტალღების წყაროა (S_1, S_2, S_1', S_2' და ა.შ.). ამგვარად, დიფრაქცია ინტერფერენციის შედეგია – ნებისმიერ M წერტილში ხდება იმ კოჰერენტული ტალღების ზედდება, რომლებიც კოჰერენტული წყაროებიდან მოდის ***(დ)***.

(დ)



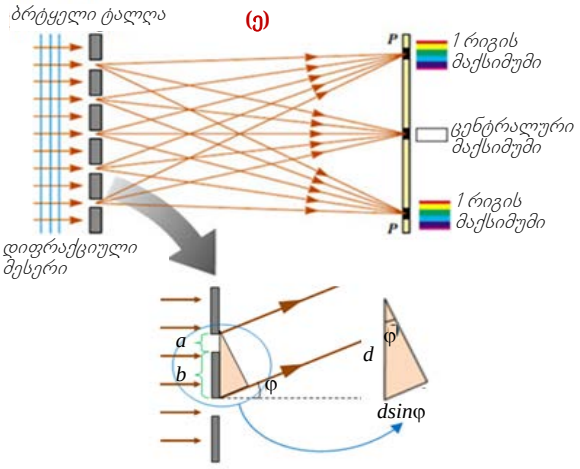
• *სინათლის დიფრაქცია არის სინათლის წრფივი გავრცელების კანონის დარღვევა დაბრკოლების სიახლოვეს და გეომეტრიული ჩრდილის ზონაში მისი მოხვედრა. ჰიუგენსის პრინციპს, რომელსაც ფრენე-ლის ინტერფერენციის პრინციპი დაემატა,* ***ჰიუგენს-ფრენელის პრინციპი*** *ეწოდება.*

დიფრაქციის რაოდენობრივი ახსნა შესაძლებელი გახდა ამ განზოგადებული პრინციპის გამოყენებით. სინათლის ტალღის სიგრძე ძალიან მცირეა, ამის გამო სინათლის დიფრაქცია დაიმზირება მხოლოდ მცირე ღრეჩოების გავლისას ან სხეულების კიდეებთან. სინათლის დიფრაქციაზე დასაკვირვებლად და მისი რაოდენობრივი შესწავლის მიზნით გამოიყენება სპეციალური ხელსაწყო, რომელსაც ***დიფრაქციული მესერი*** ეწოდება ***(ე)***.

LAVITH

• დიფრაქციული მესერი – ეს არის ხელსაწყო, რომლითაც შესაძლებელია სინათლის სპექტრად დაშლა და სინათლის ტალღის სიგრძის გაზომვა.

დიფრაქციული მესერი დიდი რაოდენობის ვიწრო გამჭვირვალე და გაუმჭვირვალე შტრიხებისა და ზოლების ერთობლიობაა (ჩვეულებრივ ხელსაწყოს 1 მმ-ზე განლაგებული შტრიხების რაოდენობაა 500-დან 1200-მდე). დიფრაქციულ მესერზე მართობულად დაცემული სინათლის სხივები, მასში გავლის შემდეგ, რაიმე (φ) კუთხით გადაიხრება. გამჭვირვალე ზოლები, რომლებიც კოჰერენტული ტალღების წყაროს წარმოადგენენ, სინათლის ტალღებს ყველა მიმართულებით ავრცელებენ. ამ ტალღების ინტერფერენციის შედეგად ეკრანზე წარმოიქმნება დიფრაქციული მაქსიმუმები და მინიმუმები (*იხ. ე*).



დიფრაქციული მაქსიმუმი შეიძლება გამოვთვალოთ შემდეგი ფორმულით:

$$d \cdot sin\varphi = k\lambda. \qquad (1)$$

d – დიფრაქციული მესრის პერიოდია (მესრის მუდმივა), რომელიც ტოლია $d = a + b$, a და b – შესაბამისად, გამჭვირვალე ზოლის და გაუმჭვირვალე შტრიხის სიგანეა, φ – სხივების გადახრის კუთხეა, რომელიც გვაძლევს k – რიგის მაქსიმუმს (k – მაქსიმუმის რიგითი ნომერია, რომელიც გადაითვლება მიღებული სურათის ცენტრიდან). k -ს მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღება $\varphi = 90^\circ$, რადგან $sin90^\circ = 1$:

$$k_{max} = \frac{d}{\lambda}. \qquad (2)$$

თეთრი სინათლის დიფრაქციულ მესერში გასვლის შემდეგ ყველა მაქსიმუმი ფერადია (გარდა ცენტრალურისა, ნულოვანისა). ცენტრიდან დაწყებული, ყველა მაქსიმუმი მოიცავს შვიდივე ფერს, იისფერიდან წითლამდე. ამას *დიფრაქციული სპექტრი* უწოდეს. დისპერსიული სპექტრისგან განსხვავებით, დიფრაქციულ სპექტრში ყველაზე მეტად წითელი სინათლე გადაიხრება, ყველაზე ნაკლებად იისფერი.

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2

როგორი თანაფარდობაა სპექტრის სხივების ტალღების სიგრძეებს შორის?

ამოცანა. სურათზე წარმოიდგენილია ინტერფერენციული ხაზების გარკვეული ნაწილი, რომელიც მიღებულია თეთრი სინათლით დასხივებული დიფრაქციული მესრის მეშვეობით.

სურათიდან დაადგინეთ: ა) რას წარმოადგენს სურათის მარცხენა მხარეს მდებარე თეთრი ზოლი? ბ) რა თანმიმდევრობითაა განლაგებული ინტერფე-რენციული მაქსიმუმები? გ) რა თანაფარდობაა სხვადასხვა ფერის მაქსიმუმებს შორის, რომელთაც დიფრაქციულ სპექტრში ვხედავთ?

სამუშაო შედეგების განხილვა: • როგორ გამოიყურება დიფრაქციულ მესერში თეთრი სინათლის დიფრაქციით მიღებული ცენტრში მდებარე მაქსიმუმი? • დიფრაქციულ მესერში თეთრი სინათლის დიფრაქციით მიღებული მაქსიმუმების რა რაოდენობაა გამოსახული სურათზე? • როგორ განსხვავდება სხივების თანმიმდევრობა დიფრაქციული და დისპერსიული სპექტრებისთვის ტალღის სიგრძესთან მიმართებაში?

LAYOUT

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ალბათ მიგიგცევიათ ყურადღება: ავტომობილის ძრავას ხმა იმ შემთხვევაშიც აღწევს ჩვენამდე, როდესაც ის სახლის კუთხეს მოეფარება, ხოლო ავტომობილიდან არეკლილი სხივები ჩვენამდე ვეღარ აღწევს. რატომ?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	რა მნიშვნელობა აქვს დიფრაქციის მოვლენას?			
2	გეომეტრიული ოპტიკის რომელი კანონი ირღვევა სინათლის დიფრაქციის დროს?			
3	რატომ არის სინათლის დიფრაქციაზე დაკვირვება მოსახერხებელი დიფრაქციული მესრის მეშვეობით?			
4	დიფრაქციულ მესერზე დაცემული თეთრი სინათლე ეკრანზე მონაცვლეობით ქმნის ფერად და მუქ მაქსიმუმებს და მინიმუმებს. რატომ?			
5	განსაზღვრე დიფრაქციული მესრის მაქსიმუმის რიგითი ნომერი, თუ $\varphi = 45^0$ და $d = \sqrt{2}\,\lambda$.			

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში დაწერეთ ესე თემაზე: „სინათლის დიფრაქცია“.

3.13. სინათლის პოლარიზაცია

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა•

ფიზიკა – 10

გარემოში ტალღების გავრცელებისას დაიმზირება შემდეგი მოვლენები:

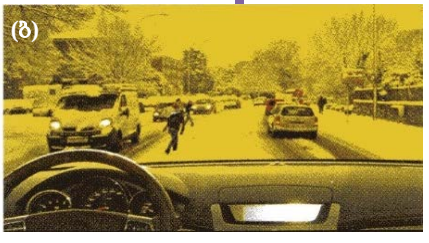
ა) იმ გარემოს ნაწილაკების რხევითი მოძრაობა, რომელშიც ტალღა ვრცელდება: გარემოს ნაწილაკები ასრულებენ მხოლოდ რხევით მოძრაობას; წონასწორული მდგომარეობის მიმართ და ტალღას არ გადააქვს ნივთიერება;

ბ) გარემოს ნაწილაკები ურთიერთქმედებენ მეზობელ ნაწილაკებთან, ამ ურთიერთქმედების შედეგად ნაწილაკებს გადააქვთ ენერგია.

• განივი ტალღა ეწოდება ისეთ ტალღას, რომელშიც გარემოს ნაწილაკები ტალღის გავრცელების მართობულად ირხევა. განივი ტალღების გავრცელება შესაძლებელია მყარ გარემოში და სითხის ზედაპირზე. განივი ტალღა გარემოში ამოზნექილობების და ჩაზნექილობებისა სახით ვრცელდება.

■ ზამთარში თეთრი თოვლიდან არეკლილი სინათლე და შემხვედრი ავტომობილების ფარების სინათლე ხელს უშლის მძღოლებს *(ა)* და ზოგჯერ შესაძლოა ავტოსატრანსპორტო შემთხვევის მიზეზი გახდეს. ასეთ სიტუაციებში მძღოლებისთვის რეკომენდებულია პოლაროიდული სათვალის გამოყენება, რომელიც გარშემო მდებარე საგნების ნორმალურად დანახვის საშუალებას იძლევა *(ბ)*.

• როგორი ოპტიკური თვისებებით გამოირჩევა პოლაროიდული სათვალე სხვა სათვალეებისგან?



LAKİND

კვლევითი სამუშაო 1 ***რატომ გახდა სინათლე უხილავი?***

აღჭურვილობა: ორი პოლაროიდი ნაკრებიდან „სინათლის ტალღური თვისებები“, პროექტორი (სინათლის წყარო), ეკრანი და სადგამი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. პროექტორი და ეკრანი განათავსეთ სადგამის საპირისპირო მხარეს, ერთი პოლაროიდი კი მოათავსეთ მათ შორის.
2. ჩართეთ პროექტორი და მიანათეთ პოლაროიდს. დაატრიალეთ პოლაროიდი დამჭერის ხან ერთ და ხან მეორე მხარეს ***(ბ)***, დააკვირდით ეკრანზე მნათი წრის სიკაშკაშეს.
3. მოათავსეთ მეორე პოლაროიდი პირველ პოლაროიდსა და ეკრანს შორის ისე, რომ ორივე პოლაროიდის სახელური ვერტიკალურად ზევით იყოს მიმართული. შემდეგ დაატრიალეთ მეორე პოლაროიდი დამჭერში და დააკვირდით ეკრანზე მიღებული განათებული წრის სიკაშკაშეს ***(დ)***.

(ბ)

(დ)

სამუშაო შედეგების განხილვა:

- ეკრანზე მიღებული მნათი წრის სიკაშკაშის რა ცვლილებები დაიმზირებოდა პირველ ცდაში?
- რა განსხვავებული მოვლენა დაიმზირებოდა ორი პოლაროიდით ჩატარებულ ცდაში? როგორ შეიძლება ავხსნათ ამ მოვლენის წარმოქმნის მიზეზი?

მაქსველის თეორიის ყველაზე მნიშვნელოვანი შედეგი იყო ის, რომ სინათლე განივი ელექტრომაგნიტური ტალღაა. ამ თეორიის თანახმად, სინათლე არის ელექტრომაგნიტური ტალღა, რომელიც სივრცეში ელექტრული ველის დაძაბულობის და მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორების რხევის სახით ვრცელდება ($\vec{E}$ და $\vec{B}$). ეს რხევები ხორციელდება ყველა მიმართულებით ურთიერთმართობულ სიბრტყეებში გავრცელების სიჩქარის გასწვრივ ***(ე)***.

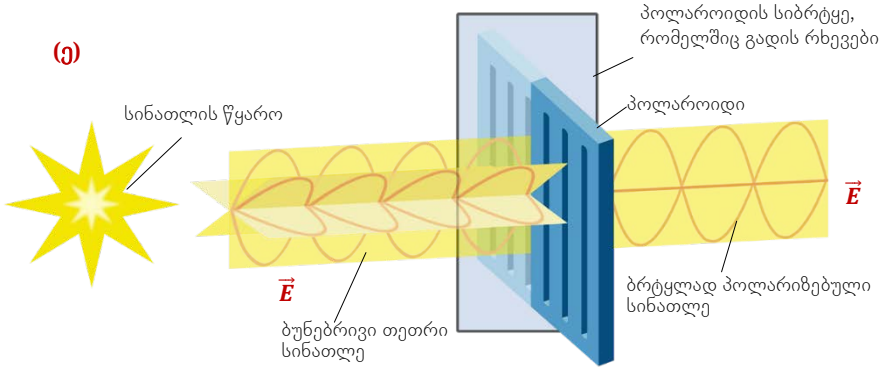
ინტერფერენციის და დიფრაქციის მოვლენა დაიმზირება როგორც გრძივ, ასევე განივ ტალღებში, ამის გამო შეუძლებელია ამ მოვლენების საფუძველზე დადგინდეს, რომ სინათლის ტალღები განივია. მაგრამ, არსებობს სხვა ოპტიკური მოვლენა, რომელიც ამას დაადასტურებს. ამ მოვლენას სინათლის პოლარიზაცია ეწოდება.

- პოლარიზებული სინათლე არის სპეციალური ხელსაწყოს მეშვეობით ბუნებრივი სინათლისგან გამოყოფილი ნაწილი, რომელშიც $\vec{E}$ ვექტორის რხევები განსაზღვრულ სიბრტყეში მიმდინარეობს ***(იხ. ე)***.

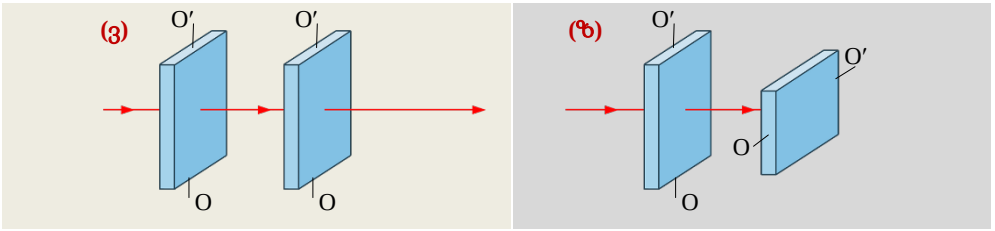
თურმალინის კრისტალი ერთ-ერთი ხელსაწყოა, რომლითაც შესაძლებელია სინათლის პოლარიზაცია. ერთ-ერთი ცდა, რომელსაც თურმალინის კრისტალით ატარებენ, შემდეგში მდგომარეობს: თურმალინის ფირფიტას ასხივებენ თეთრი სინათლის მართობული სხივით. კრისტალში გასული სინათლე თითქოს არ იცვლება. სინამდვილეში თურმალინის კრისტალი ატარებს სინათლეს, რომელშიც $\vec{E}$ ვექტორი განსაზღვრულ M სიბრტყეში რხევა ***(იხ. ე)***.

LAYOUT

ეს ნიშნავს, რომ თურმალინის ფირფიტა ატარებს ბრტყლად პოლარიზებულ სინათლეს. ასეთ ფირფიტას პოლაროიდი ეწოდება. იმისათვის, რომ შეამოწმონ, მართლაც არის თუ არა პოლარიზებული პოლაროიდში გასული სინათლე, მის წინ ათავსებენ მეორე ასეთივე ფირფიტას – ანალიზატორს.



ცხადია, რომ სინათლე მთლიანად გაივლის ორივე ფირფიტაში, როდესაც პოლაროიდისა და ანალიზატორის ღერძები პარალელურია ***(ვ)***. ფირფიტების ღერძებს შორის კუთხის ცვლილებისას $0° < \alpha < 90°$ დაიმზირება გასული სინათლის ინტენსივობის შემცირება – სინათლის ნაწილობრივი გასვლა. ხოლო როცა ფირფიტების ღერძები ურთიერთმართობულია, ანალიზატორში სინათლე აღარ გადის ***(ზ)***.



გამოყენება **კვლევითი სამუშაო** 2 ***პოლარიზებული ტალღების მოდელირება***

აღჭურვილობა: მცირე ზომის ელექტროძრავა რედუქტორით, რეზინის ზონარი, ვიწრო ყუთი გამჭოლი ღრეჩოთი (2 ცალი), შტატივი.

სამუშაოს მსვლელობა:

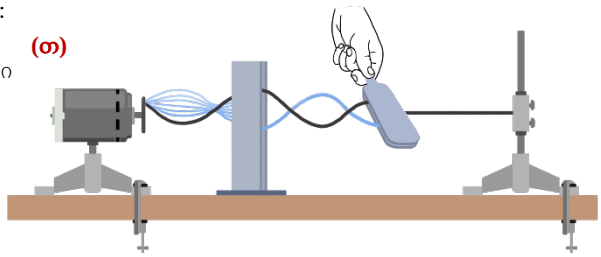
1. ყუთში გაატარეთ რეზინის ზონარი, მისი ერთი ბოლო დაამაგრეთ ძრავას დისკზე, მეორე ბოლო – შტატივზე. ძრავა და შტატივი კარგად დაამაგრეთ მაგიდაზე.
2. ჩართეთ ძრავა და ყველა მომარჯულებით დააკვირდით ზონრის რხევების გასვლას „პოლაროიდის“ ყუთის ღრეჩოში.
3. პირველ ყუთში გამოსულ ტალღას დაახვედრეთ მეორე ყუთი – „ანალიზატორი“. გაიმეორეთ ცდა, ცვალეთ კუთხე ყუთების ღრეჩოებს შორის (პოლაროიდი და ანალიზატორი) $0°<\alpha< 90°$ დააკვირდით ზინრის რხევებში მომხდარ ცვლილებებს ***(თ)***.

LAYTHO

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რა ცვლილებები დაიმზირებოდა „პოლაროიდში“ გასული ზონრის რხევებში?
- რა დასკვნა გააკეთეთ ორი ყუთით ჩატარებული ექსპერიმენტის შემდეგ?

(თ)



მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

პოლარიზაციული ფილტრი ფოტოაპარატების და ფოტოკამერების ერთ-ერთი სასარგებლო აქსესუარია. დღეს წარმოუდგენელია პეიზაჟების გადაღება პოლარიზაციული ფილტრების გარეშე, ამიტომაც პეიზაჟისტების აპარატის ობიექტივს ყოველთვის აქვს ფილტრი. პოლარიზაციული ფილტრი აცილებს არეკლილ სინათლეს ზედმეტ მნათ ლაქებს, რის შედეგადაც უმჯობესდება წყლის ქვეშ მოთავსებული საგნების გამოსახულება.

- როგორ ახდენს პოლარიზაციული ფილტრი პეიზაჟის ხარისხის გაუმჯობესებას?
- კიდევ სად შეიძლება ამ ფილტრების გამოყენება?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რატომ არ არის პოლარიზებული მზის სხივი?			
2	სინათლის როგორ ტალღებს უწოდებენ პოლარიზებულს?			
3	იმისათვის, რომ შემხვედრი ავტომობილების ფარების სინათლემ მძღოლები არ დააბრმაოს, ავტომობილების ფარებს და საქარე მინას თხელ პოლარიზაციულ ფენას უკეთებენ. როგორ არის განლაგებული ერთმანეთის მიმართ ფარების და საქარე მინის პოლარიზაციული ფენები: ერთი მიმართულებით, თუ 90^0-იანი კუთხით?			
4	უღრუბლო ცას თუ პოლაროიდით შევხედავთ, შევამჩნევთ, რომ პოლაროიდის მობრუნებისას მასში გასული სინათლის ინტენსივობა იცვლება. ეს მოვლენა არ დაიმზირება, თუ პოლაროიდით შევხედავთ ღრუბლებს. როგორ ახსნით ამას?			

რა შეიტყვეთ? შეადგინეთ „სინათლის ტალღის“ ცნებების რუკა.

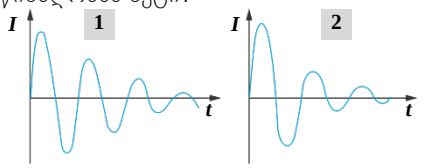
პროექტი დაწერეთ რეფერატი თემაზე: „პოლაროიდების გამოყენება“.

LAYIHƏ

3.1. რხევით კონტურში, რომელიც კონდენსატორისა და კოჭასაგან შედგება, ელექტრომაგნიტური რხევები მიმდინარეობს. როგორ შეიცვლება კონტურში ელექტრომაგნიტური რხევების პერიოდი, თუ კონტურის კონდენსატორს პარალელურად მივუერთებთ იმავე ტევადობის კიდევ სამ კონდენსატორს?

3.2. რხევითი კონტურის კონდენსატორის ტევადობაა 2 მკფ, კოჭას ინდუქტივობა – 80 მჰნ. გამოთვალეთ კონტურის ელექტრომაგნიტური რხევების პერიოდი და სიხშირე ($\pi = 3$).

3.3. ნახაზზე გამოსახულია დენის ძალის რხევის გრაფიკი ორი მარტივი რხევითი კონტურისათვის. რომელი კონტურის სადენების წინაღობაა მეტი?



3.4. რხევითი კონტურის ელექტრომაგნიტური რხევების სიხშირეა 50 კჰც. რამდენჯერ უნდა გავზარდოთ მანძილი კონდენსატორის ფირფიტებს შორის, რომ რხევითი კონტურის რხევების სიხშირე 120 კჰც გახდეს?

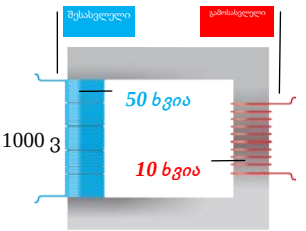
3.5. რხევითი კონტურის ელექტრომაგნიტური რხევების სიხშირეა 50 კჰც. რამდენჯერ უნდა გავზარდოთ მანძილი კონდენსატორის ფირფიტებს შორის, რომ რხევითი კონტურის რხევების სიხშირე 120 კჰც გახდეს?

3.6. რის ტოლია ცვლადი დენის ძალა, რომლის სიხშირეა 50 ჰც, წრედში, თუ კოჭას ინდუქტივობაა 0,0 5ჰნ და ვოლტმეტრის ჩვენებაა 210 ვ ($\pi = 3$)?

3.7. წრედი შედგება 0,1 ჰნ ინდუქტიურობის კოჭასა და მიმდევრობით შეერთებული 25-ომიანი წინაღობისგან. წრედი მიერთებულია 50 ჰც სიხშირეს მქონე ცვლადი დენის წყაროსთან. განსაზღვრეთ კოჭაში დენის ძალა დროის იმ მომენტისთვის, როცა კონდენსატორზე ძაბვა არის 120 ვ ($\pi = 3$).

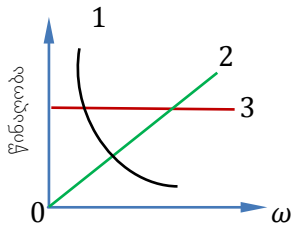
3.8. ნახაზზე გამოსახულია ცვლადი დენის წრედი, რომელშიც ორი კონდენსატორია ჩართული. ნახაზზე მოყვანილ მონაცემებზე დაყრდნობით გამოთვალეთ მულტიმეტრების ჩვენება და კონდენსატორთა სისტემის წინაღობა.

3.9. განსაზღვრეთ მეორადი გრაგნილის ძაბვა ნახაზზე გამოსახული ტრანსფორმატორისთვის.



LAYTHD

3.10. ნახაზზე გამოსახულია აქტიური, ტევადობითი და ინდუქციური წინაღობების დამოკიდებულება ცვლადი დენის სიხშირეზე. რა ციფრებით არის აღნიშნული თითოეული?

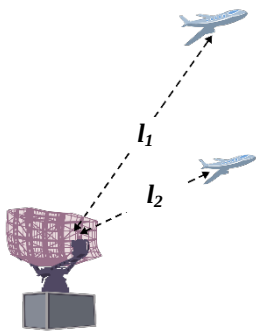


3.11. ჩვენს ქვეყანაში გამომუშავებული ცვლადი დენის სიხშირეა 50 ჰც. წუთში რამდენი ბრუნი უნდა შეასრულოს ჰიდროელექტროსადგურის 24 წყვილი პოლუსის მქონე როტორმა, რომ ეს სიხშირე გამოიმუშაოს?

3.12. სიხშირეების რა ინტერვალზე მუშაობს რადიომიმღები, თუ მისი კოჭას ინდუქტივობა იცვლება შუალედში 0,1 ÷ 10 მკჰნ, ხოლო კონდენსატორის ტევადობა იცვლება შუალედში 50 ÷ 5000 პფ?

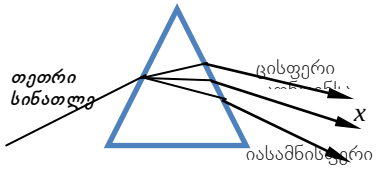
3.13. 1895 წელს ა. ს. პოპოვმა პირველი რადიოსიგნალი გაუშვა 250 მ მანძილზე. რა დრო დასჭირდა სიგნალს ამ მანძილის გასავლელად?

3.14. რადიოლოკატორი მუშაობს იმპულსურ რეჟიმში 1700 ჰც სიხშირით. თითოეული იმპულსის ხანგრძლივობაა 0,8 მკწმ. რა უდიდეს l_1 და უმცირეს l_2 მანძილზე შეუძლია რადიოლოკატორს მიზნის დაფიქსირება?



3.15. ყველა ფერი არ არის მონოქრომატული. განსაზღვრეთ, ქვემოთ ჩამოთვლილთაგან რომელი ფერები არ არის მონოქრომატული: თეთრი, წითელი, ყვითელი, რუხი, ლურჯი, სტაფილოსფერი, შავი, მწვანე.

3.16. ნახაზზე გამოსახული სხივებიდან რომელი ფერის სხივია მონიშნული x სიმბოლოთი?



3.17. განსაზღვრეთ ინტერფერენციული მაქსიმუმის რიგითობა, რომელიც მიღებულია წერტილში, რომლის სხივთა სვლის სხვაობა ორი კოჰერენტული ტალღისათვის არის 5λ.

3.18. აირჩიეთ გამონათქვამები, რომლებიც ჭეშმარიტია კოჰერენტული ტალღებისთვის:

1 - ტალღის სიგრძე ერთნაირია;
2 - სიხშირე განსხვავებულია;
3 - ფაზების სხვაობა მუდმივია და არ არის დროზე დამოკიდებული;
4 - ტალღის სიგრძე განსხვავებულია;
5 - ფაზების სხვაობა ცვალებადია და დროზეა დამოკიდებული;
6 - სიხშირე ერთნაირია.

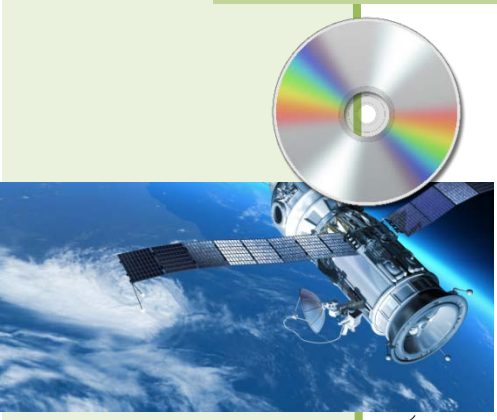
3.19. დიფრაქციული მესრის ზედაპირს, რომელსაც 1 მმ-ზე 500 შტრიხ აქვსი, მართობულად ეცემა მონოქრომატული სინათლე, რომლის ტალღის სიგრძეა 500 ნმ. რამდენი რიგის სპექტრი დაიმზირება ეკრანზე?

3.20. მეორე და მესამე რიგის ტალღები, რომლებიც მიღებულია დიფრაქციული მესრით ხილული სპექტრისთვის, ნაწილობრივ გადაიფარება. მესამე რიგის სპექტრის რა სიგრძის ტალღა შეესაბამება მეორე რიგის სპექტრის 700 ნმ სიგრძის ტალღას?

LAXNO

თავი IV

ატომური ფიზიკა



- ოპტიკურ დისკებზე ინფორმაცია სპირალურ მიკროსკოპულ ბილიკებზე იწერება. კომპიუტერში ან პლეერში დისკის ბრუნვისას ლაზერის სხივები ბილიკებს მიუყვება და ბილიკების ზედაპირიდან არეკვლის შემდეგ სპეციალურ მოწყობილობაში ხვდება. მოწყობილობაში ფოტოეფექტის მოვლენის შედეგად სინათლის სხივი ელექტრულ სიგნალად გარდაიქმნება. კომპიუტერში კი ელექტრული სიგნალი ვიდეო- და აუდიო ინფორმაციად გადაიქვევა. ფოტოეფექტის მოვლენა ხშირად გამოიყენება კოსმოსურ ხომალდში, მეტროში და სხვა ადგილებში.

- ***რა მოვლენაა ფოტოეფექტი?***
- ***რა კავშირი აქვს ფოტოეფექტის მოვლენას ფიზიკასთან?***

გარკვეულ ტერიტორიაზე ბირთვული იარაღის გამოცდა ამ ტერიტორიას რადიოაქტიური ნივთიერებებით (ცეზიუმით $^{137}_{55}Cs$ და სტრონციუმით $^{90}_{38}Sr$) დაბინძურების საფრთხეს უქმნის. სწორედ ამ ნივთიერებების აღმოჩენაა ყველაზე საიმედო მეთოდი იმის გასარკვევად ჩატარდა თუ არა მოცემულ ტერიტორიაზე ბირთვული ცდები. ეს იზოტოპები ბუნებაში 1945 წლამდე არ არსებობდა, ანუ მანამ, სანამ ბირთვული იარაღი არგამოიყენეს. ჩერნობილის ატომური ელექტროსადგურის (აეს) ავარიის დროს უკრაინის ტერიტორიის 70 %, ხოლო ბელორუსიისა და რუსეთის ტერიტორიის 200000 კმ^2 რადიოაქტიური ნივთიერებებით დაბინძურდა. ყველაზე მეტად რადიოაქტიური საფრთხის შედეგად ტყეები დაზარალდა. რადიოაქტიური ნივთიერების ცეზიუმ-137-ის განუწყვეტელი ცირკულაციის შედეგად, ტყეებში სოკოები და კენკრა, ასევე იქ ბინადარი ველური ცხოველების ხორცი და რძე, დღესაც საფრთხის შემცველია და საკვებად მათი გამოყენება არ შეიძლება.

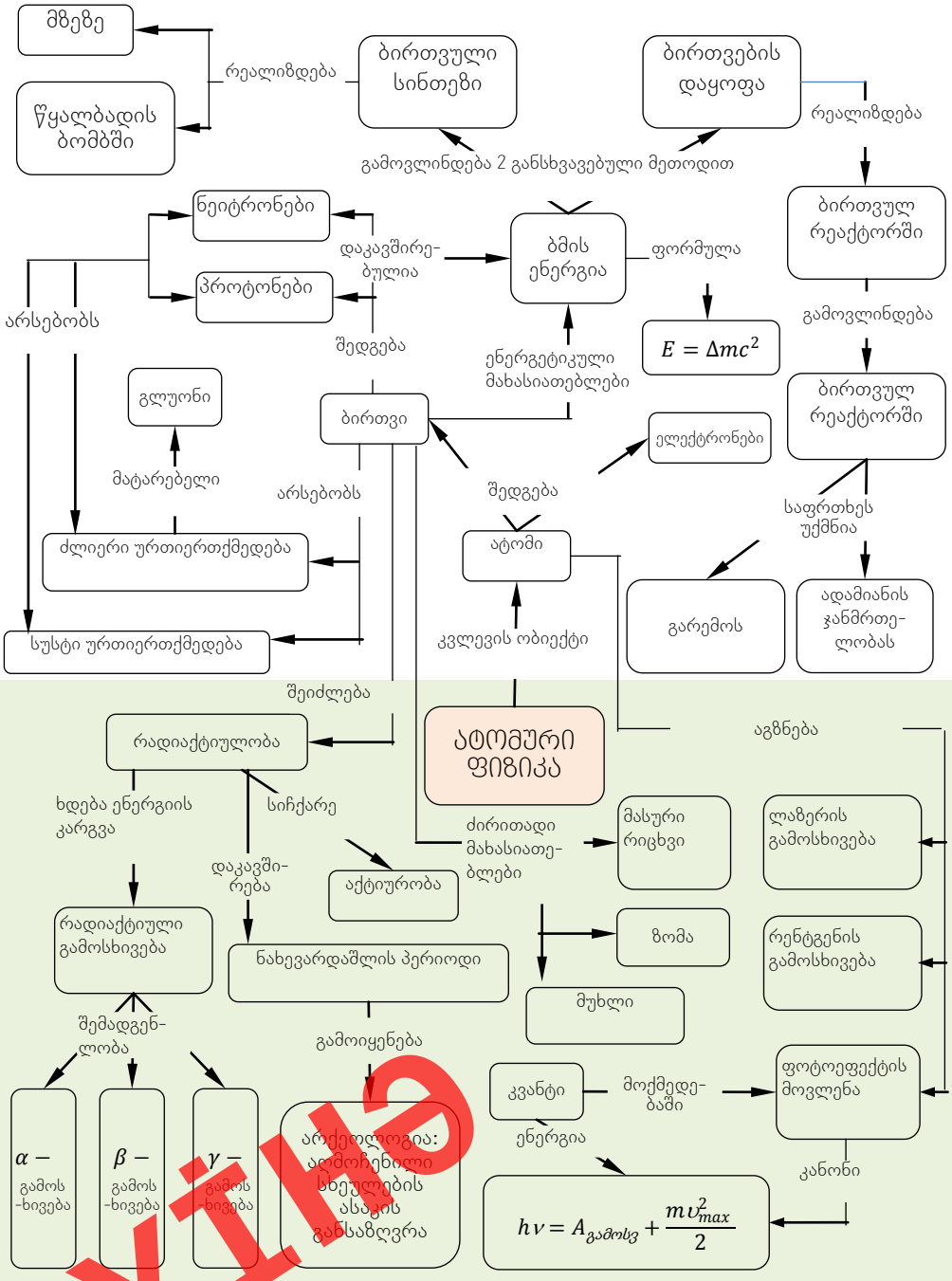
- ***რატომ ჩნდება იზოტოპები ცეზიუმ-137 და სტრონციუმ-90 იმ ტერიტორიის გარემომცველ გარემოში, სადაც ბირთვული იარაღის გამოცდა ჩატარდა?***

დიდი ადრონული კოლაიდერის (დაკ) მშენებლობა 2008 წელს დამთავრდა. კოლაიდერის მშენებლობაზე 10 მილიარდი ევრო დაიხარჯა. გვირაბში, რომლის სიგრძე 26659 მ-ია, 7 ტევ ენერგიამდე აჩქარებული პროტონების შეჯახება ხდება. შედეგად დაკ-ში შესაძლებელია ისეთი ტემპერატურის მიღება, რომელიც ათასჯერ აღემატება ტემპერატურას მზის ბირთვში.

- ***რატომ ატარებენ ასეთ ძვირად ღირებულ ექსპერიმენტებს?***
- ***რა მიზნები აქვთ მეცნიერებს, რომლებიც ამ ექსპერიმენტში მონაწილეობენ?***

LAMPI

IV თავში მოყვანილი ცნებების „რუკა“



LAYITD

4.1. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების კვანტური ბუნება. ფოტონი

• გაიხსენეთ განვლილი მასალ •

ფიზიკა – 8, 9, 10

• *სხეულზე მექანიკური მუშაობის შესრულებისას სხეულის შინაგანი ენერგია იზრდება. თუ სხეული თავად ასრულებს მუშაობას, მაშინ მისი შინაგანი ენერგია მცირდება.*

• *სითბოს გადაცემის პროცესს მეტად გამთბარი სხეულიდან (ან სხეულის მეტად გამთბარი უბნიდან) ნაკლებად გამთბარ სხეულზე (ან სხეულის ნაკლებად გამთბარ უბანზე) თბოგადაცემა ეწოდება. თბოგადაცემის 3 ხერხი არსებობს: თბოგამტარობა, გამოსხივება და კონვექცია. კონვექციის დროს ნივთიერების გადატანა და სხეულის ნაწილაკებს შორის ენერგიის გადაცემა ხდება. თბოგამტარობა და გამოსხივება კი ენერგიის გადაცემის პროცესია ნივთიერების გადატანის გარეშე.*

• *ენერგიის გადაცემას სხეულის ერთი ნაწილიდან მეორეზე ან ერთი სხეულიდან მეორე, მასთან შემხებ სხეულზე, თბოგამტარობა ჰქვია. შემხები სხეულების (ან ერთი სხეულის სხვადასხვა უბნის) ტემპერატურის გათანაბრების შემთხვევაში ამბობენ, რომ სხეულებს (ან მის უბნებს) შორის სითბური წონასწორობა დამყარდა.*

• *გამოსხივება ერთი სხეულიდან მეორეზე ენერგიის გადაცემის პროცესია, რომე-ლიც სხი-ვების (ხილულის თუ უხილავის) დახმარებით ხდება. ჩვენი პლანეტის, დედამიწისთვის, გამოსხივების ყველაზე მძლავრი ბუნებრივი წყარო მზეა, რომელიც სინათლესა და სით-ბოსა სხივებს.*

როდესაც ერთი სხეულის მიერ გამოსხივებული ენერგია მეორე სხეულის ზედაპირამდე აღწევს, ნაწილობრივ ზედაპირის მიერ შთაინთქმება, ნაწილობრივ კი – მისგან აირეკლება. იმ სხეულის შინაგანი ენერგია, რომელიც გამოსხივების ენერგიას შთანთქავს, იზრდება – სხეული თბება. სხვადასხვა ფერის ზედაპირებს გამოსხივების შთანთქმისა და არეკვლის განსხვა-ვებული უნარი აქვს. მუქი ზედაპირები უკეთესად შთანთქავენ გამოსხივების ენერგიას, ნათელი ზედაპირები კი უკეთესად აირეკლავენ მას. სხეულების მიერ ენერგიის გამოს-ხივებისა და შთანთქმის მექანიზმი იმ ატომების შინაგანი აგებულებით აიხსნება, რომ-ლისგანაც სხეულები შედგება. რეზერფორდის მიერ შემოთავაზებული ატომის პლანეტური მოდელის მიხედვით, ატომის ცენტრში დადებითად დამუხტული ბირთვია, რომლის გარშემო, წრიულ ორბიტაზე მოძრაობენ ელექტრონები. ამ მოდელმა ვერ ახსნა ატომის სტაბილურად არსებობა, რადგან კლასიკური ფიზიკის კანონების თანახმად, წრიულ ორბიტაზე მოძრავი ელექტრონი ენერგიას უნდა ასხივებდეს. ენერგიის გამოსხივების შედეგად კი ელექტრონი ბირთვთან შედარებით ახლოს მდებარე ორბიტებზე თანდათან უნდა გადადიოდეს და საბოლოოდ, ბირთვზე დაცემისას, ატომი არსებობას უნდა წყვეტდეს. სინამდვილეში ატომი არსებობას განაგრძობს, როგორც მდგრადი სისტემა. ამ რთული მდგომარეობიდან გამოსავალი, რომლის ახსნაც რეზერფორდმა ვერ შეძლო, 1913 წელს დანიელმა მეცნიერმა, ნილს ბორმა (1885 – 1962) იპოვა და პოსტულატების სახით ჩამოაყალიბა.

პირველი პოსტულატი: *ატომური სისტემა შეიძლება მხოლოდ განსაკუთრებულ სტაციო-ნარულ, კვანტურ მდგომარეობაში არსებობდეს. ყოველ ასეთ მდგომარეობას განსაზღვრული ენერგია შეესაბამება. სტაციონარულ მდგომარეობაში ატომი არ ასხივებს.*

მეორე პოსტულატი: *გამოსხივება ხდება მაშინ, როდესაც მეტი ენერგიის შესაბამისი სტაციო-ნალურ მდგომარეობიდან ატომი ნაკლები ენერგიის შესაბამის სტაციონარულ მდგომარე-ობაში გადადის. ამ დროს ელექტრონი შორეული ორბიტიდან გადადის ორბიტაზე, რომელიც უფრო ახლოსაა ბირთვთან. და პირიქით, ენერგიის შთანთქმისას ატომი ნაკლები ენერგიის სტაციონარული მდგომარეობიდან მეტი ენერგიის მქონე სტაციონარულ მდგომარეობაში გადადის. ელექტრონი ამ დროს ბირთვთან ახლოს მყოფი ორბიტიდან უფრო შორეულ ორბიტაზე გადადის.*

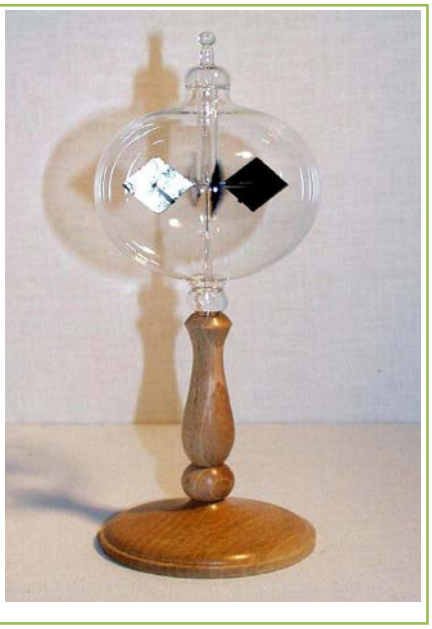
წყლის ნაკადი, რომელიც ონკანიდან ჭიქაში იღვრება, ერთი შეხედვით უწყვეტი ჩანს, თუმცა ნაკადი ნებისმიერ მონაკვეთში შეიძლება გაწყდეს. ერთი ადგილიდან მეორეში შაქრის ფხვნილის გადაყრისას, ფხვნილის ნაკადიც მთლიანი გვეჩვენება. თუ შაქრის ცალკეულ კრისტალებს დავაკვირდებით, რომელსაც ჭიანჭველები ბუდეში ეზიდებიან, ამ შაქრის ნაკადის დისკრეტულობა ნათელი გახდება – ნაკადი პატარა კრისტალებისგან შედგება. ასე რომ, ნებისმიერი სხეული, იმის მიხედვით, რა პი-რობებში განვიხილავთ მას, შეიძლება გამოიყუ-რებოდეს, როგორც მთლიანი ან როგორც დის-კრეტული. სინამდვილეში ყველამ ვიცით, რომ ყველა სხეული დისკრეტული აგებულებისაა და შედგება უმცირესი ნაწილაკებისგან (მოლეკულე-ბისგან, ატომებისგან, იონებისგან).

• ***საინტერესოა, გამოსხივების პროცესი უწყვეტია თუ დისკრეტული?***

LAVIRO

კვლევითი სამუშაო 1

საჭირო მოწყობილობები: კრუკსის რადიომეტრი – მინის ბალონი, საიდანაც ჰაერია ამოტუმბული და მის შიგნით, ნემსის წვერზე დამაგრებულ 4 თხელ და მსუბუქ ლითონის ფირფიტას (ფრთებს) ბრუნვა შეუძლია *(ა)*.



სამუშაოს მსვლელობა:

1. მოათავსეთ რადიომეტრი ფანჯრის რაფაზე და დააკვირდით მასში მიმდინარე ცვლილე-ბას.
2. რადიომეტრი მოაცილეთ ფანჯარას და მოა-თავსეთ მაგიდაზე, რომელსაც მზის სხი-ვები არ ხვდება და გააგრძელეთ დაკვირვება.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რა შეამჩნიეთ ცდის მსვლელობისას?
- რა დასკვნა გააკეთეთ დაკვირვების შე-დეგად?

პლანკის ჰიპოთეზა. ნივთიერებასა და გამოსხივებას შორის სითბური წონას-წორობის პირობების კვლევისას მეცნიერებმა თეორიასა და ექსპერიმენტის შედეგებს შორის სერიოზული შეუსაბამობა აღმოაჩინეს. მაქსველის ელექტრომაგნიტური თეო-რიის თანახმად, სითბური წონასწორობა ნივთიერებასა და გამოსხივებას შორის მხო-ლოდ ტემპერატურის აბსოლუტურ ნულზეა $(-273^{\circ}C)$ შესაძლებელი. ეს ნიშნავს, რომ თუ სხეულის ტემპერატურა აბსოლუტურ ნულზე მაღალია, მაშინ ის ელექტრომაგნიტურ ველს თავის შინაგან ენერგიას განუწყვეტლივ უნდა გადასცემდეს, ანუ ელექტრო-მაგნიტურ ტალღებს უნდა ასხივებდეს მანამ, სანამ სხეულის ტემპერატურა აბსოლუტურ ნულამდე დაეცემა. ეს რომ მართლაც ასე ხდებოდეს, მაშინ სამყაროში არსებული ყვე-ლა სხეული, მათ შორის მზეც, უკვე დიდი ხნის წინ იქნებოდა $-273^{\circ}C$-მდე გაცივე-ბული, რადგან ენერგიას ელექტრომაგნიტურ ველს გადასცემდა. თუმცა ცდები და გა-ზომვები გვიჩვენებს, რომ ნივთიერებასა და გამოსხივებას შორის სითბური წონას-წორობა ნებისმიერ ტემპერატურაზე არსებობს და სხეულის მიერ ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივებისა და შთანთქმის გზით მიიღწევა.

1900 წლის დეკემბერში გერმანელი მეცნიერი მაქს პლანკი (1858 – 1947) გერმანელი ფიზიკოსების წინაშე წარდგა და ახალი ჰიპოთეზა წამოაყენა. მან სერიოზული შესწო-რებები შეიტანა თეორიაში, რომელიც ექსპერიმენტების შედეგებს ეწინააღმდეგებოდა.

პლანკის ჰიპოთეზის თანახმად:

- *ატომები ელექტრომაგნიტურ ენერგიას ასხივებენ არა უწყვეტად (როგორც ამას მაქსველის თეორია ამტკიცებდა), არამედ დისკრეტულად, ცალკეული ულუფებით. ენერგიის ამ ულუფებს პლანკმა კვანტები (ლათ. **quantum** – „რაოდენობა“) უწოდა. მისი ჰიპოთეზის თანახმად, თეოლეული ასეთი ულუფის, კვანტის (შემდგომში მას **ფოტონი** უწოდეს, ენერგია გამოსხივების სიხშირის პირდაპირპროპორციულია:*

$$E = h\nu. \qquad (1)$$

სადაც h – პროპორციულობის კოეფიციენტი, იგივე პლანკის მუდმივაა. პლანკის მუდმი-ვა კვანტური თეორიის ძირითადი მუდმივაა, რომლის მნიშვნელობა ექსპერიმენტულად დადგინდა:

$$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\,ჯ \cdot წმ.$$

LAYTHO

აინშტაინი ასაბუთებდა ამ ჰიპოთეზის ჭეშმარიტებას და ამტკიცებდა, რომ დისკრეტულობა გამოსხივების (ან შთანთქმის) მექანიზმს კი არ ახასიათებს, არამედ თავად გამოსხივებას აქვს წყვეტილი სტრუქტურა, ანუ გამოსხივება კვანტებისგან (ულუფებისგან) შედგება.

ფოტონის (კვანტის) თვისებები. ფოტონს, თანამედროვე წარმოდგენების თანახმად, შემდეგი თვისებები აქვს:

1. *ატომში ფოტონი თავისუფალ მდგომარეობაში არ არსებობს. ის ატომში ელექტრონის ენერგეტიკული მდგომარეობის ცვლილებისას ჩნდება.*

2. *ფოტონი არსებობის დროს მდგრადი ნაწილაკია.*

3. *ფოტონი განუყოფელი ნაწილაკია – მისი შემადგენელი ნაწილაკები აღმოჩენილი არ არის.*

4. *ფოტონი ელექტრულად ნეიტრალურია და მისი ურთიერთქმედება სხვა ფოტონებთან აღმოჩენილი არ არის.*

5. *ფოტონი უძრავ მდგომარეობაში არ არსებობს (მას უძრაობის მასა არ გააჩნია) და წარმოქმნისთანავე მისი სიჩქარე ვაკუუმში სინათლის სიჩქარეს უტოლდება:*

$$c = const \approx 3 \cdot 10^8 \, მ/წმ.$$

ფოტონის სიჩქარე ათვლის ნებისმიერ სისტემაში მუდმივია. ფოტონის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული მის ენერგიაზე.

6. *ფოტონს აქვს იმპულსი. ფარდობითობის თეორიის თანახმად, ფოტონის იმპულსი ასე განისაზღვრება:*

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \qquad (2)$$

ეს ფორმულა „აკანონებს“ სინათლის ორმაგ ბუნებას (დუალიზმს): სინათლე იმპულსის მქონე ნაწილაკების (ფოტონების) ნაკადია და ამავე დროს სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღაცაა λ ტალღის სიგრძით. ასე რომ, მე-(2) გამოსახულება ამტკიცებს ფუნდამენტურ კანონზომიერებას – მატერიის ტალღურ და კორპუსკულურ ბუნებას, დუალიზმს. ფოტონის იმპულსის არსებობა პირველად ექსპერიმენტულად ინგლისელმა ფიზიკოსმა და ქიმიკოსმა, უილიამ კრუკსმა (1832-1919) თავისივე დამზადებული ვაკუუმური სასწორის დახმარებით აღმოაჩინა. ეს მოწყობილობა, რომელსაც „კრუკსის რადიომეტრი“ ჰქვია, მოძრაობას ფოტონების იმპულსების ზემოქმედებით იწყებს (იხ. ა).

7. *ფოტონი ნივთიერებასთან ურთიერთქმედებისას შთაინთქმება, გაიბნევა და ახალი ფოტონების წარმოქმნას განაპირობებს.*

8. *ფოტონი ბირთვის ველში შეიძლება ელექტრონ-პოზიტრონის წყვილად გარდაიქმნას:*

$$\gamma \rightarrow e^{-1} + e^{+1}.$$

ეს გარდაქმნა ამტკიცებს სხვა ფუნდამენტურ კანონზომიერებას, რომლის თანახმადაც ნივთიერებასა და ფიზიკურ ველს შორის ურთიერთკავშირის არსებობა მტკიცდება.

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2 — ***რის ტოლია კვანტის ენერგია?***

ამოცანა. რის ტოლია ხილული სინათლის კვანტის ენერგია, თუ ცნობილია, რომ სინათლის ტალღის სიგრძეა $\lambda_{სინათ} = 6 \cdot 10^{-7} \, მ \, (h = 6{,}6 \cdot 10^{-34} \, ჯ \cdot წმ, \; c = 3 \cdot 10^8 \, მ/წმ)$?

სამუშაო შედეგების განხილვა:

- რა დამოკიდებულება არსებობს კვანტის ენერგიასა და მის ტალღის სიგრძეს შორის? როგორ განსაზღვრეთ ეს დამოკიდებულება?

LAYTHE

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

გაკვეთილზე ნაზრინმა და აჰმედმა იმსჯელეს შეკითხვა, რომელიც მასწავლებელმა დასვა: „ცისარტყელას სპექტრში რომელი ფერის გამოსხივების ფოტონს აქვს ყველაზე დიდი ენერგია, იმპულსი და გამოსხივების ტალღის სიგრძე?“

ნაზრინი თვლის, რომ უდიდესი ენერგია და იმპულსი იისფერი გამოსხივების ფოტონს, ხოლო უდიდესი ტალღის სიგრძე – წითელ აქვს სინათლეს. აჰმედი კი თვლის, რომ, პირიქით, უდიდესი ტალღის სიგრძე იისფერ სინათლეს აქვს, ხოლო უდიდესი ენერგია და იმპულსი – წითელი სინათლეს.

- რომელია მართლია, ნაზრინი თუ აჰმედი? რატომ?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	განსაზღვრეთ $6,626 \cdot 10^{-21}$ ჯ ენერგიის მქონე კვანტის გამოსხივების სიხშირე და ტალღის სიგრძე.			
2	რის ტოლია ულტრაიისფერი გამოსხივების კვანტის ენერგია, თუ ცნობილია, რომ მისი სიხშირე $3 \cdot 10^{16}$ ჰც-ის ტოლია?			
3	რა ჰქვია იმ მინიმალურ ენერგიას, რომელსაც ატომის სისტემა ასხივებს?			
4	როგორაა მიმართული ფოტონის იმპულსი?			
5	თეთრი სინათლის შემადგენელი ფერებიდან რომლის კვანტს აქვს უმცირესი ენერგია და რომლის კვანტს – უდიდესი?			

რა შეიტყვეთ? შეადგინეთ „ცნებათა რუკა“ თემაზე: „ფოტონი“.

LAYİHƏ

4.2. ფოტოეფექტი. ფოტოეფექტის თეორია

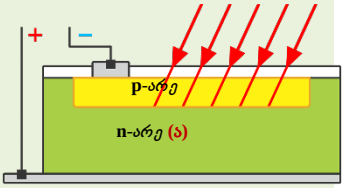
• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9 და 11

• ფოტოელემენტი მოწყობილობაა, რომელიც სინათლის ენერგიას ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნის.

• ნახევარგამტარული ფოტოელემენტი – სილიციუმის n-ტიპის კრისტალშიისეთ მინარევს შეადნობენ, რომ კრისტალის ზედაპირზე p-ტიპის გამტარობის არე იქმნება.

p-n ნახევარგამტარების კონტაქტისას ელექტრონებისა და ხვრელების დიფუზიის შედეგად კონტაქტებზე საპირისპირო ნიშნის მუხტები აღიძვრება. ამის გამო ეს კონტაქტები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ხანმოკლე დენის წყაროები. უწყვეტი განათებისას p-n გადასასვლელში ელექტრონებისა და ხვრელების ახალ-ახალი წყვილები იქმნება. შედეგად უწყვეტად მოქმედი ეკოლოგიურად სუფთა დენის წყარო (მაგ., მზის ბატარეა)მიიღება.



აირი გამტარი რომ გახდეს, აუცილებელია მასში იმ წყაროს არსებობა, რომელიც აირში მუხტის თავისუფალ მატარებლებს (ელექტრონებსა და იონებს) წარმოქმნის. აირშიასეთი წყაროს როლში გარე ზემოქმედების იონიზატორი (მაგ., მაღალი ტემპერატურა, გამოსხივება, დიდი სიჩქარით მოძრავი ნაწილაკებით დაბომბვა და სხვ.) გვევლინება. აირის თავისთავადი განმუხტვისას ძლიერ ელექტრულ ველში აჩქარებული დადებითი იონები მნიშვნელოვან კინეტიკურ ენერგიას შეიძენენ და კათოდის ზედაპირიან შეჯახებისას მისგან ელექტრონებს ამოყრიან. ამ პროცესს დარტყმითი ემისია ჰქვია. ასე, რომ აირის თავისთავადი განმუხტვა დარტყმითი იონიზაციისა და კათოდის ზედაპირიდან ელექტრონების ემისიის წყალობით მიმდი-ნარეობს.

ელექტრონულ-სხივურ მილაკში გახურებული კათოდის ზედაპირიდან ელექტ-რონები ამოიტყორცნება. ამ მოვლენას თერმოელექტრული ემისია ჰქვია. გახურებული კათოდიდან ამოტყორცნილი ელექტრონები კათოდსა და ანოდს შორის ათეულობით კილოვოლტი ძაბვის ელექტრულ ველში აჩქარდებიან, შემდეგ მკვეთრად ამუხრუჭებენ და ანოდთან შეჯახებისას რენტგენის გამოსხივება (X-Ray radiation) ჩნდება.

■ თუ „მეტრობარათის“ ანგარიშზე თანხა არ დევს, მაშინ ტურნიკეტი მეტროს სადგურზე გასასვლელს ჩაკეტავს. თუ „მეტრობარათის“ ბალანსი შეივსება, ტურნიკეტი სადგურზე გასასვლელს გახსნის. ამბობენ, რომ ტურნიკეტებისა და მისი მსგავსი მოწყობილობების ელექტრული სქემის ჩართვა-გამორთვა სინათლისა და ჩრდილის ზემოქმედების შე-დეგია.

● *როგორ ახდენს ტურნიკეტისა და მისი მსგავსი მოწყობილობების ელექტრული სქემის ჩართვა-გამორთვაზე სინათლე გავლენას?*

კვლევითი სამუშაო 1

როგორ აღიძვრება სინათლის გავლენით ელექტრული დენი?

საჭირო მოწყობილობები: სინათლის წყარო – ელექტრული რკალი, ჩვეულებრივი ვარვარების ნათურა, ელექტრომეტრი, ებონიტისა და მინის ჯოხები, შალისა და აბრეშუმის ქსოვილები, თუთიის, სპილენძისა და მინის ფირფიტები *(ა)*.

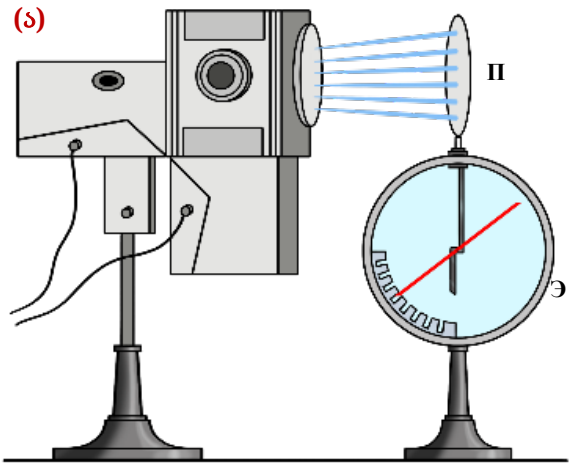
სამუშაოს მსვლელობა:

1. ელექტრომეტრზე დამაგრებული თუთიის ფირფიტა ებონიტის ჯოხის დახმარებით (რომელიც წინასწარ შალის ქსოვილზე უნდა ახახუნოთ) უარყოფითად დამუხტეთ.
2. მიანათეთ ფირფიტას ელექტრული რკალის სინათლე და დააკვირდით ცდის შედეგს.

LATHO

3. თუთიის ფირფიტა ხელახლა დამუხტეთ უარყოფითი მუხტით და თანდათან მიუახლოვეთ ელექტრული რკალს. გააგრძელეთ დაკვირვება.
4. მოათავსეთ თუთიის ფირფიტასა და ელექტრულ რკალს შორის მინის ფირფიტა და განაგრძეთ დაკვირვება.
5. უარყოფითად დამუხტული თუთიის ფირფიტის ზედაპირს ჩვეულებრივი ვარვარების ნათურის სინათლე მიანათეთ და განაგრძეთ დაკვირვება.
6. გაიმეორეთ ცდა, ოღონდ ამჯერად თუთიის ფირფიტა დადებითად დამუხტეთ მინის ჯოხის დახმარებით (რომელიც წინასწარ აბრეშუმის ქსოვილზე უნდა ახახუნოთ). გააგრძელეთ დაკვირვება.
7. დაამაგრეთ ელექტრომეტრზე სპილენძის ფირფიტა და დამუხტეთ უარყოფითად. გაიმეორეთ ცდა და დააკვირდით ცდის შედეგს.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:



- რა შეამჩნიეთ, როცა უარყოფითად და დადებითად დამუხტული თუთიის ფირფიტის ზედაპირს ელექტრული რკალი მიანათეთ?
- რა დასკვნა გამოიტანეთ დაკ-ვირვების შედეგად?
- რა შეამჩნიეთ, როცა უარყოფითად დამუხტული თუთიის ფირფიტის ზედაპირს ჩვეულებრივი ნათურა მიანათეთ?
- რა დასკვნა გამოიტანეთ დაკ-ვირვების შედეგად?
- რა დასკვნამდე მიხვედით ამ ცდების შედეგების გაანალიზებისას?
- რა განსხვავებაა იმ მოვლენებს შორის, რომელიც უარყოფითად დამუხტული თუთიის ფირფიტის ზედაპირზე მინის ფირფიტის გავლით და მინის ფირფიტის გარეშე ნათურის დანათების შედეგად შეამჩნიეთ?
- რას ამტკიცებს ეს ცდა?
- რა შეამჩნიეთ, როცა უარყოფითად დამუხტული თუთიის ფირფიტის ზედაპირი ელექტრულ რკალს მიუახლოეთ?
- რა დასკვნამდე მიხვედით ნანახის შემდეგ?
- რა შეამჩნიეთ, როცა იგივე ცდა სპილენძის ფირფიტაზე ჩაატარეთ?

ფოტოეფექტის ექსპერიმენტული დადასტურება. ცდებმა აჩვენა, რომ ხილული სინათლის ულტრაიისფერი დიაპაზონის სხივებს (რომლებსაც მინა არ ატარებს) ლითონის ზედაპირიდან ელექტრონების ამოგლეჯის უნარი აქვს. ასეთი კვლევა პირველად 1887 წელს გერმანელმა მეცნიერმა ჰენრიხ ჰერცმა (1857-1894) ჩაატარა და შედეგად აღმოაჩინა მოვლენა, რომელიც *ფოტოეფექტის* სახელითაა ცნობილი.

- *ფოტოეფექტი (ანუ ფოტოელექტრული ეფექტი) ჰქვია მოვლენას, რომლის დროსაც ნივთიერებიდან ელექტრონები სინათლის ზემოქმედებით ამოიგლეჯება.*

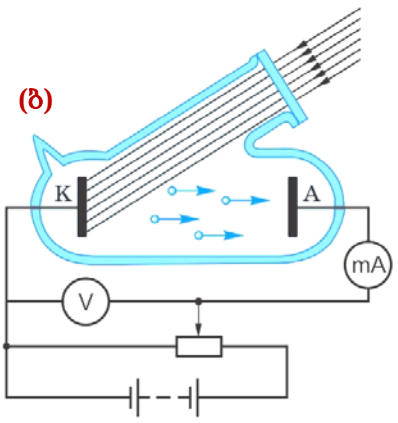
ნივთიერებიდან (მაგ. ლითონიდან) სინათლის ზემოქმედებით ამოგლეჯილ ელექტრონებს ფოტოელექტრონები ჰქვია, ხოლო მათ მიერ შექმნილ დენს – ფოტოდენი.

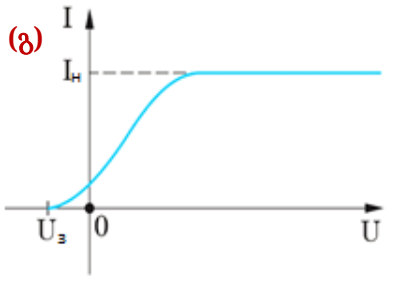
დადგენილია ფოტოეფექტის რამდენიმე სახე: გარე, შიგა, ვენტილური და სხვ. ფოტოეფექტი.

- *გარე ფოტოეფექტი – სინათლის ზემოქმედებით ფოტოელექტრონები ნივთიერების ზედაპირიდან გარე სივრცეში ამოიყრება.*

LAYTHO

- *შიგა ფოტოეფექტი – ნივთიერების (დიელექტრიკებისა და ნახევარგამტარების) შემადგენელი ატომებიდან ელექტრონები სინათლის ზემოქმედებით ამოიყრება და თავისუფალ მდგომარეობაში გადადის. შედეგად ნივთიერებაში გამტარობის (თავისუფალი) ელექტრონებისა და ხვრელების კონცენტრაცია იზრდება.*
- *ვენტილური ფოტოეფექტი – ემძ სინათლის ზემოქმედებით ორი სხვადასხვა ნახევარგამტარის ან ლითონისა და ნახევარგამტარის კონტაქტისას აღიძვრება.*





ფოტოეფექტის აღძვრის კანონზომიერება ექსპერიმენტულად რუსმა მეცნიერმა ალექსანდრე სტოლეტოვმა (1839-1896) 1888-1890 წლებში ვაკუუმური ფოტოელემენტის *(ბ)* დახმარებით გამოიკვლია. ვაკუუმური ფოტოელემენტი მინის ელექტრონვაკუუმიანი ხელსაწყოა, რომლის შიგნით კათოდი (K) და ანოდია (A) მოთავსებული. სინათლე ეცემა კათოდს, მისი ზედაპირიდან ამოგლეჯს ფოტოელექტრონებს, რომელთა ნაწილი მიაღწევს თუ არა ანოდს, კათოდსა და ანოდს შორის ფოტოდენი გაივლის. ფოტოდენის ძალა მილიამპერმეტრით იზომება, ძაბვა კი – ვოლტმეტრით *(ბ)*, ამ ცდების შედეგად ფოტოელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი მიიღეს *(გ)*. გრაფიკიდან ჩანს, რომ თუ ანოდსა და კათოდს შორის პოტენციალთა სხვაობა დადებითია, მაშინ ძაბვის გაზრდისას დენის ძალაც იზრდება. ძაბვის რაღაც მნიშვნელობისთვის დენის ძალა მაქსიმალურ სიდიდეს მიაღწევს და ზრდას შეწყვეტს. დენის ძალის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ნაჯერობის დენი ($I_{ნაჯ}$) ჰქვია – ამ დროს ყველა წარმოქმნილი ფოტოელემენტი ანოდს აღწევს.

თუ კათოდსა და ანოდს შორის პოტენციალთა სხვაობა უარყოფითია (კათოდი დენის წყაროს დადებით პოლუსთანაა მიერთებული, ხოლო ანოდი – უარყოფითთან) და მოდულით მეტია ე.წ. შემაკავებელ ძაბვაზე ($U_{შემ}$), ფოტოდენის ძალა ნულის ტოლია. ეს იმით აიხსნება, რომ ამოგლეჯილი ფოტოელექტრონების კინეტიკური ენერგია არ არის საკმარისი უარყოფითად დამუხტული ელექტროდის კულონური განზიდვის დასაძლევად. თუ გამოვიყენებთ ენერგიის მუდმივობის კანონს, კავშირს ძაბვასა და ელექტრული ველის მიერ შესრულებულ მუშაობას შორის, შევძლებთ დავადგინოთ კანონზომიერი კავშირი ფოტოელექტრონის მაქსიმალურ კინეტიკურ ენერგიასა და შემაკავებელ ძაბვას შორის:

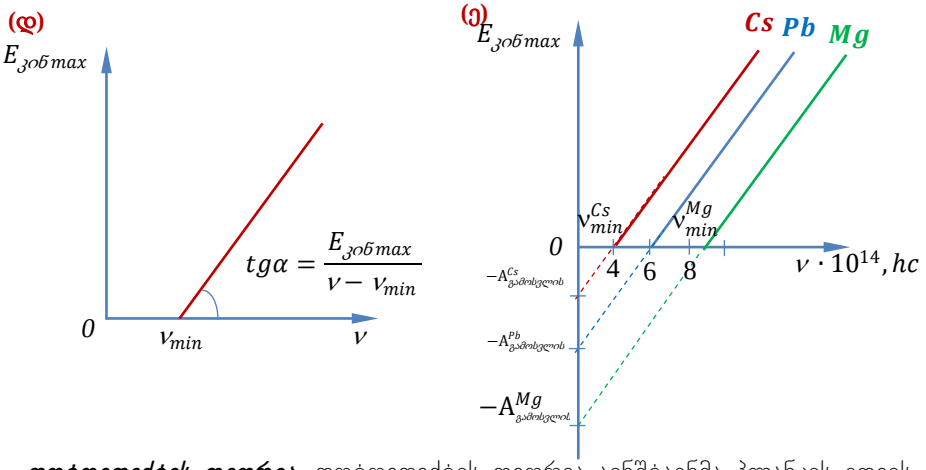
$$\frac{m\upsilon_{max}^2}{2} = eU_{შემ.} \qquad (1)$$

მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგებზე დაყრდნობით ფოტოეფექტის შემდეგი კანონები ჩამოაყალიბეს:

1. *ლითონის ზედაპირიდან სინათლის ზემოქმედებით 1 წმ-ში ამოგლეჯილი ფოტოელექტრონების რიცხვი პირდაპირპროპორციულია ამავე დროში შთანთქმული სინათლის ენერგიისა (გამოსხივების ინტენსივობისა).*
2. *ფოტოელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია დაცემული სინათლის სიხშირის ზრდასთან ერთად წრფივად იზრდება და არ არის დამოკიდებული სინათლის ინტენსივობაზე (დ).*

LATHE

3. *ყოველი ნივთიერებისთვის არსებობს დაცემული სინათლის მინიმალური სიხშირე* (ν_{min}), *რომლის ქვევით ფოტოეფექტის მოვლენა არ ხდება* ***(დ)***. *გამოსხივების ამ მინიმალურ სიხშირეს* ***ფოტოეფექტის წითელი საზღვარი*** *ჰქვია (ასე იმის გამო ჰქვია, რომ ნებისმიერი ლითონისთვის უმცირეს სიხშირეს წითელი გამოსხივების სიხშირე შეესაბამება).*



ფოტოეფექტის თეორია. ფოტოეფექტის თეორია აინშტაინმა პლანკის იდეის განვითარების შედეგად შექმნა. აინშტაინის თეორიის მიხედვით, ფოტოეფექტის დროს თითოეული ელექტრონი ერთი ფოტონის (სინათლის კვანტის) მიერ ამოიგლიჯება.

- *ელექტრონი, ფოტონის შთანთქმისას, შეიძენს მის ენერგიას* $E = h\nu$, *რომელიც ლითონიდან ელექტრონის ამოგდებაზე და მისთვის მაქსიმალური კინეტიკური ენერგიის მინიჭებაზე იხარჯება:*

$$h\nu = A_{გამოსვ} + E_{კინ\,max} \text{ ან}$$

$$h\nu = A_{გამოსვ} + \frac{m\upsilon_{max}^2}{2}. \qquad (2)$$

ეს განტოლება, რომელიც აინშტაინმა წარმოადგინა, ხსნის ფოტოეფექტის კანონებს და ნებისმიერი ნივთიერებისთვის ფოტოეფექტის წითელი საზღვრის არსებობას ***(ცხრილი 4.1)***. გამოსვლის მუშაობის სიდიდე ნივთიერების გვარობაზეა დამოკიდებული, ამიტომ თითოეული ნივთიერებისთვის წითელი საზღვარი სხვადასხვაა ***(ე)***:

$$\nu_{min} = \frac{A_{გამოსვ}}{h}. \qquad (3)$$

თუ (1)-ლ ფორმულაში მე-(2) და მე-(3) გამოსახულებას გავითვალისწინებთ, დავადგენთ შემაკავებელ ძაბვასა და სიხშირეს შორის დამოკიდებულებას:

$$U_{შემ}(\nu) = \frac{h}{e}(\nu - \nu_{min}). \qquad (4)$$

ამრიგად, ფოტოეფექტმა სინათლის კორპუსკულური ბუნება დაადასტურა. ცნობილი გახდა, რომ სინათლის გავრცელებისას მისი ტალღური ბუნება იჩენს თავს, რასაც სინათლის დისპერსია, სინათლის დიფრაქცია, სინათლის ინტერფერენცია, სინათლის პოლარიზაცია ამტკიცებს. ფოტოეფექტის მოვლენამ ასევე აჩვენა, რომ ნივთიერებასთან ურთიერთქმედებისას სინათლე შთაინთქმება და გამოსხივდება ულუფებად – კვანტებად. თითოეული კვანტის ენერგია გამოსხივების სიხშირეზეა დამოკიდებული და ასე გამოისახება: $h\nu$ ამიტომაც ამბობენ, რომ სინათლეს *კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმი* ახასიათებს.

LAYLE

ფოტოეფექტის თეორიაში კანონზომიერების დადგენისთვის 1921 წელს აინშტაინი ნობელის პრემიაზე წარადგინეს.

ცხრილი 4.1. ზოგიერთი ნივთიერების ფოტოელექტრონების მახასიათებლები

ნივთიერება	$A_{გამოსვლის}$, ევ	$\nu_{min} \cdot 10^{-14}$, ჰც	λ_{max}, ნმ
ცეზიუმი	1,9	4,6	650
კალიუმი	2,2	5,3	560
ნატრიუმი	2,3	5,6	540
კალციუმი	2,7	6,5	460
თუთია	3,7	8,9	340
ვერცხლი	4,3	10	260
ვოლფრამი	4,5	11	280
ნიკელი	5,0	12	250
პლატინა	5,3	13	230

გამოყენება — კვლევითი სამუშაო 2

განსაზღვრეთ ფოტოეფექტის წითელი საზღვრის შესაბამისი ტალღის სიგრძე

ამოცანა 1. ლითონიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა 4,76 ევ-ის ტოლია. რის ტოლია ამ ლითონისთვის ფოტოეფექტის წითელი საზღვრის შესაბამისი ტალღის სიგრძე?

სამუშაოს შედეგის განხილვა:

როგორ განსაზღვრეთ ფოტოეფექტის წითელი საზღვრის შესაბამისი ტალღის სიგრძე?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ამოცანა 2. განსაზღვრეთ, რამდენი ფოტონი ხვდება ადამიანის თვალში 1 წამში? ცნობილია, რომ თვალი აღიქვამს სინათლეს, რომლის ტალღის სიგრძე 0,5 მკმ-ია, ხოლო სიმძლავრე $1{,}8 \cdot 10^{-16}$ ვტ ($h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ ჯ · წმ).

მინიშნება 1. სინათლის კორპუსკულური თეორიის თანახმად გამოსხივების ენერგია, რომელიც N ფოტონისგან შედგება, ასე გამოითვლება: $E = Nh\nu$. 2. გამოსხივების სიმძლავრე: $P = \frac{E}{t}$.

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ვიცი	საშუალოდ	კარგად
1	როგორი მიმართულება აქვს ფოტოდენს ვაკუუმურ ფოტოელემენტში: კათოდიდან ანოდისკენ, თუ პირიქით, ანოდიდან კათოდისკენ?			
2	შეგიძლიათ თუ არა დაწეროთ მაქსიმალური კინეტიკური ენერგიის ფორმულა აინშტაინის ფოტოეფექტის განტოლებაზე დაყრდნობით?			
3	დაამტკიცეთ, რომ აინშტაინის ფოტოეფექტის განტოლება ენერგიის მუდმივობის კანონს ეფუძნება.			
4	დაამტკიცეთ, რომ პლანკის მუდმივას გამოსათვლელად მართებულია გამოსახულება: $h = \operatorname{tg}\alpha$			
5	რა არის შემაკავებელი ძაბვის ფიზიკური არსი და რაზეა დამოკიდებული მისი რიცხვითი მნიშვნელობა?			

LAYIND

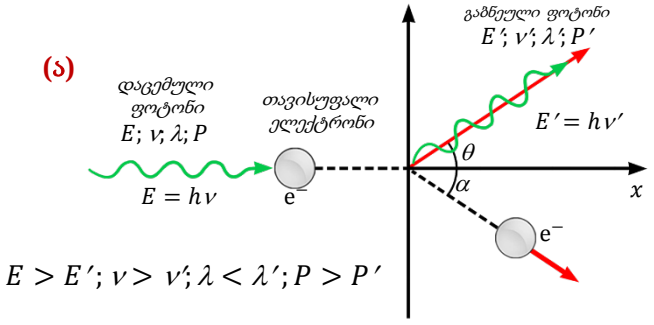
რა შეიტყვეთ? შეადგინეთ „ცნებათა რუკა“ თემაზე: „ფოტოეფექტი“.

4.3. კომპტონის ეფექტი და დე ბროილის ტალღები (გაკვეთილი-პრეზენტაცია)

პრეზენტაციაზე მუშაობისას შეგიძლიათ გამოიყენოთ ქვემოთ მოყვანილი მოკლე თეორიული მასალა და მითითებული ელექტრონული მისამართები.

1. ***მოკლე თეორიული მასალა***

1.1. ***კომპტონის ეფექტი.*** 1923 წელს ამერიკელმა მეცნიერმა არტურ კომპტონმა (1892–1962) ექსპერიმენტული გზით აღმოაჩინა მოვლენა, რომელიც ფოტონის იმპულსის არსებობას და სინათლის კორპუსკულურ ბუნებას ადასტურებდა. კომპტონიიკვლევდა რენტგენის გამოსხივების გაბნევას სხვადასხვა ნივთიერების (წყალბადის, ნახშირბადის, ბორის, ალუმინის და ა.შ.) მსუბუქ ატომებზე. მან აღმოაჩინა, რომ სხივების ტალღის სიგრძე გაბნევის შედეგად იცვლებოდა. გაბნეულ გამოსხივებაში, გარდა დაცემული სხივებისა (რომლის ტალღის სიგრძე იყო λ), აღმოჩნდა λ' სიგრძის ტალღაც, ამასთან $\lambda' > \lambda$ *(ა)*.



ახსნა მოვლენისა, რომელსაც შემდგომში კომპტონის ეფექტი ეწოდა, სინათლის ელექტრომაგნიტურ თეორიაზე დაყრდნობით შეუძლებელია. ამ თეორიის თანახმად, უძრავი ელექტრონი მასზე დაცემული ელექტრომაგნიტური ტალღის ზემოქმედებით იწყებს რხევას დაცემული ტალღის სიხშირით. თავის მხრივ, ელექტრონი, რომელიც იძულებით რხევით მოძრაობას ასრულებს, იმავე სიხშირის მეორეულ ელექტრომაგნიტურ ტალღებს უნდა ასხივებდეს.

თუ ვივარაუდებთ, რომ სინათლე ფოტონების ნაკადია, რომელთაგან თითოეულს ენერგია ($E = h\nu$) და იმპულსი ($E = h\nu$) აქვს, მაშინ ელექტრონებზე სინათლის გაბნევის მოვლენა აიხსნება, როგორც ფოტონის ელექტრონთან შეჯახების შედეგი: ელექტრონთან შეჯახებისას გადასცემს მას თავისი ენერგიის ნაწილს ფოტონი, რის შედეგად იცვლება ფოტონის ენერგია და მოძრაობის მიმართულება. ამრიგად, თუ სინათლეს განვიხილავთ, როგორც ნაწილაკების ნაკადს, კომპტონის ეფექტის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ:

1. თავისუფალ ელექტრონთან დრეკადი შეჯახებისას ფოტონი გაიბნევა.
2. $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ ფორმულის თანახმად, გაბნეული ფოტონის ენერგიის შემცირება იწვევს გაბნეული ფოტონის სიხშირის შემცირებას და ტალღის სიგრძის გაზრდას:
$\nu' < \nu$ და $\lambda' > \lambda$.
3. სრულდება იმპულსის შენახვის კანონი: $\vec{p} = \vec{p}\,' + \vec{p}_{ელექტრონი}$.
4. ელექტრონებზე ფოტონის გაბნევის პროცესში ფოტონის ტალღის სიგრძის ცვლილება დაცემული გამოსხივების ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებული არ არის. ის მხოლოდ ფოტონის გაბნევის კუთხით განისაზღვრება: $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - cos\theta)$.

სადაც m – ელექტრონის მასაა, θ – ფოტონის გადახრის კუთხე *(ა)*.

1.2. დე ბროილის ტალღები. 1923 წელს ფრანგმა მეცნიერმა დე ბროილმა (1892 - 1987) გამოთქვა ჰიპოთეზა, რომ კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმი ახასიათებს ყველა ნაწილაკს – ელექტრონს, პროტონს, ნეიტრონს და ატომს. ის თვლიდა, რომ რადგან

LAYTHE

ყველა ამ ნაწილაკს აქვს ენერგია $E = h\nu$ და იმპულსი $p = \frac{E}{c}$, ამ ნაწილაკების მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც გავრცელება ტალღისა, რომლის სიხშირეა $\nu = \frac{E}{h}$ და სიგრძეა $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$.

მოგვიანებით, 1927-1928 წლებში, ეს თეორია ექსპერიმენტულად დადასტურდა. ელექტრონის ტალღური ბუნების აღმოსაჩენად, საჭირო იყო ხელსაწყო, რომლის გეომეტრიული პარამეტრები ელექტრონის სავარაუდო ტალღის სიგრძის რიგის იქნებოდა. მაგ., თუ ელექტრონი მოძრაობს $v = 4{\cdot}10^6$ *მ/წმ* სიჩქარით, მისი ტალღის სიგრძე უნდა იყოს:

$$\lambda = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34}\,ჯ\cdot წმ}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,kq \cdot 4 \cdot 10^6\,\frac{მ}{წმ}} \approx 1{,}8 \cdot 10^{-10}\,მ.$$

ტალღის სიგრძის მიღებული მნიშვნელობა კრისტალურ მესერში ატომებს შორის მანძილის რიგისაა. დე ბროილის მცდელობა წარმატებით დაგვირგვინდა: ჩატარებულ ექსპერიმენტებში კრისტალურ მესერში გამავალი ელექტრონული კონის ინტერფერენცია და დიფრაქცია აღმოაჩინეს. ამრიგად, ექსპერიმენტულად დადასტურდა ბუნების ერთ-ერთი ძირითადი კანონი – მატერიის კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმი.

2. რეკომენდებული ელექტრონული მისამართები:

1. https://tr.wikipedia.org/wiki/Compton_olay%C4%
2. http://ebooks.azlibnet.az/book/KnMcQv8u.pdf
3. http://static.bsu.az/w27/Magmuh/ftm/vli-ftm6.pdf
4. http://www.nkfu.com/compton-olayi-konu-anlatimi/
5. http://www.bilgicik.com/yazi/compton-olayi/
6. https://www.youtube.com/watch?v=qpK79imhUDw
7. https://www.youtube.com/watch?v=CbQ5rRjhth0
8. https://www.youtube.com/watch?v=eBq4P-QrAfU
9. http://www.fizik.net.tr/site/compton-olayi/
10. http://www.fencebilim.com/fizik/konular/compton_olayi.pdf.

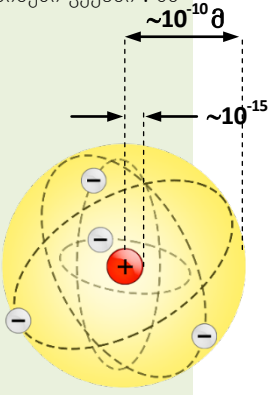
LAYİHƏ

4.4. ბორის კვანტური პოსტულატები ატომის აგებულების შესახებ. ატომის ენერგეტიკული დონეები

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9

ატომის აგებულების მოდელი პირველად ინგლისელმა ფიზიკოსმა ჯოზეფ ჯონ ტომსონმა (1856-1940) წარმოადგინა 1903 წელს. ამ მოდელის მიხედვით, ატომს სფეროს ფორმა აქვს, რომლის რადიუსი დაახლოებით 10^{-10}მ-ის ტოლია. ტომსონი თვლიდა, რომ დადებით მუხტს ამ სფეროს მთელი მოცულობა უკავია, ხოლო უარყოფითი ელექტრონები სფეროს შიგნით ისეა გაბნეული, როგორც „ქიშმიშები კექსში“. ამ მოდელმა ვერ შეძელო აეხსნა რადიოაქტიურობა, ელექტრომაგნიტური მოვლენები და სხვ. 1910-1911 წლებში, უამრავი ექსპერიმენტის ჩატარების შემდეგ, ინგლისელმა ფიზიკოსმა ერნესტ რეზერფორდმა (1871-1937) აღმოაჩინა, რომ ატომს ტომსონისეულის მოდელისგან სრულიად განსხვავებული აგებულება აქვს:



• ატომის თითქმის მთელი მასა (≈*99,96%*) მის ბირთვშია თავმოყრილი. ბირთვის ზომა ატომის ზომასთან შედარებით ძალიან მცირეა. ატომის ბირთვის დიამეტრი ≈10^{-15} მ-ის ტოლია.

• ბირთვის მუხტი დადებითია და ტოლია ელემენტარული **e** მუხტის ნამრავლისა პერიოდულ სისტემაში ელემენტის რიგით ნომერზე:

$q_{ბირთ}=+Ze.$

• ელექტრონები კულონური ურთიერთქმედების ძალის მოქმე-დებით ბირთვის ირგვლივ წრიულ ორბიტაზე მოძრაობენ. ატომში ელექტრონების რიცხვი Z-ის ტოლია, ამიტომ ელექტრონების ჯამური მუხტი ასე გამოითვლება: $q_e=-Ze$. ატომის რეზერფორდისეულ მოდელს, მზის სისტემის აგებულებასთან მსგავსების გამო, პლანეტური მოდელი ჰქვია.

როგორც ცნობილია, ელექტრული მუხტის ნებისმიერი აჩქარებული მოძრაობისას ელექტრომაგნიტური ტალღა გამოსხივდება. ტომსონისეული ატომის მოდელის თანახმად („ქიშმიშები კექსში“), ელექტრონი ატომის მთელ მოცულობაში ირხევა. რეზერფორდის „პლანეტური“ მოდელის თანახმად კი ელექტრონები ბირთვის გარშემო მოძრაობენ.

• რომელი მოდელის თანახმად შეუძლია ატომურ სისტემას ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივება?

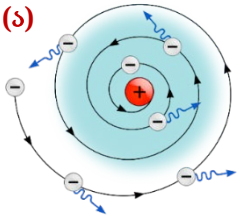
• მიუხედავად იმისა, რომ აჩქარებულად მოძრავი ელექტრონების მიერ ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივებისას ენერგია იკარგება, ატომური სისტემა მდგრადობას ინარჩუნებს. როგორ ახსნით ამ ფაქტს?

• როგორ იმოძრავებდნენ ელექტრონები და რა მოხდებოდა ენერგიის კარგვის შემთხვევაში, ატომური სისტემა მდგრადი რომ არ ყოფილიყო?

კვლევითი სამუშაო 1

რა ნაკლი აქვს ატომის პლანეტურ მოდელს?

მიუხედავად იმისა, რომ 1911 წელს რეზერფორდმა ატომის პლანეტურ მოდელი ექსპერიმენტული მტკიცებულებების საფუძველზე შექმნა, სამეცნიერო საზოგადოებამ ატომის მისეული მო-დელი სერიოზულად არ მიიღო. ამის მიზეზი ის წინააღმდეგობა იყო, რომელიც ატომში ელექტრონების მოძრაობასა და კლასიკური ელექტროდინამიკის კანონებს შორის არსებობდა. ამ წინააღმდეგობის არსის გამომსახველი სქემა გამოსახულია სურათზე ***(ა)***.



სამუშაო შედეგების განხილვა:

•ყურადღებით შეისწავლეთ გამოსახულება სურათზე და განსაზღვრეთ, რა არის ამ წინააღმდეგობის არსი?

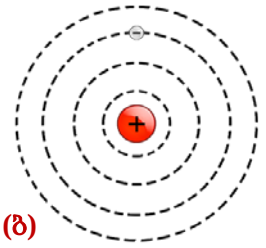
მინიშნება

იმის გამო, რომ წრეწირზე მოძრაობა აჩქარებული მოძრაობაა, კლასიკური თეორიის თანახმად, ატომის ელექტრონები განუწყვეტლივ უნდა ასხივებდნენ ელექტრომაგნიტურ ტალღებს, რომელთა სიხშირე ბირთვის გარშემო მოძრაობის სიხშირის ტოლია. შედეგად ელექტრონის ენერგია თანდათან უნდა მცირდებოდეს.

LAYER

ბორის კვანტური პოსტულატები. 1913 წელს დანიელმა მეცნიერმა ნილს ბორმა (1885 – 1962) გამოქვეყნა თავისი ნაშრომები ატომის კვანტურ თეორიაში, რომელიც სინათლის კვანტებზე პლანკის ჰიპოთეზას ეფუძნებოდა. ამ პუბლიკაციაში მან სინათლის კვანტურ წარმოდგენებზე დაფუძნებული 3 პოსტულატით ახსნა ყველა ის სირთულე, რომლებიც ატომის აგებულების პლანეტურ მოდელს უკავშირდებოდა.

პირველ პოსტულატში ბორი ამტკიცებს იმ მდგომარეობის არსებობას, რომელშიც აჩქარებულად მოძრავი ელექტრონი ელექტრომაგნიტურ ტალღებს არ ასხივებს.


(ბ)

● I პოსტულატი – ატომი შეიძლება იმყოფებოდეს არა იმ მდგომარეობაში, რომელიც კლასიკური ფიზიკის კანონებით განისაზღვრება, არამედ მხოლოდ განსაკუთრებულ სტაციონარულ კვანტურ მდგომარეობაში. ყოველ ასეთ მდგომარეობას მკაცრად განსაზღვრული E_n ენერგია შეესაბამება. სტაციონარულ მდგომარეობაში ატომი არ ასხივებს *(ბ)*.

ბორის მეორე პოსტულატი ხსნის ატომის მიერ სინათლის შთანთქმასა და გამოსხივებას.

II პოსტულატი – ატომის გადასვლისას ერთი სტაციონარული მდგომარეობიდან მეორეში გამოსხივდება ან შთაინთქმება ელექტრომაგნიტური ენერგიის კვანტი, რომლის ენერგიაა $h\nu_{mn}$. გამოსხივებული ან შთანთქმული კვანტის ენერგია ატომის ორი სტაციონარული მდგომარეობის შესაბამისი ენერგიების სხვაობის ტოლია:

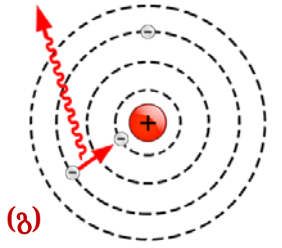
$$h\nu_{mn} = E_m - E_n. \qquad (1)$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ გამოსხივებული კვანტის სიხშირეა:

$$\nu_{mn} = \frac{(E_m - E_n)}{h} = \frac{E_m}{h} - \frac{E_n}{h}. \qquad (2)$$

გამოსხივება ხდება მაშინ, როდესაც მეტი ენერგიის შესაბამისი სტაციონარული მდგომარეობიდან ატომი ნაკლები ენერგიის შესაბამის სტაციონარულ მდგომარეობაში გადადის: $E_m < E_n$.

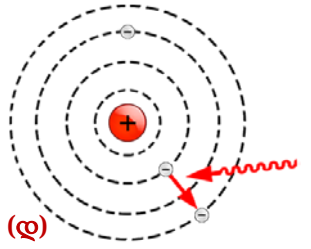
ასეთ შემთხვევაში ელექტრონი, სინათლის ერთი კვანტის გამოსხივების შემდეგ, ბირთვისგან მეტად დაშორებული ორბიტიდან იმ ორბიტაზე გადადის, რომელიც უფრო ახლოსაა ბირთვთან *(გ)*.


(გ)

ენერგიის შთანთქმისას ატომი ნაკლები ენერგიის სტაციონარული მდგომარეობიდან მეტი ენერგიის მქონე სტაციონარულ მდგომარეობაში გადადის:

$$E_m > E_n.$$

ასეთ შემთხვევაში ელექტრონი რსინათლის ერთი კვანტის შთანთქმის შემდეგ, ბირთვიდან ნაკ-ლებად დაშორებული ორბიტიდან იმ ორბიტაზე გადადის, რომელიც უფრო დაშორებულია ბირთისგან *(დ)*.


(დ)

ატომის ენერგეტიკული დონეები. წყალბადის ატომის სტაციონარული მდგომარეობებისთვის ბორმა შემდეგი ფორმულა მიიღო:

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}. \qquad (3)$$

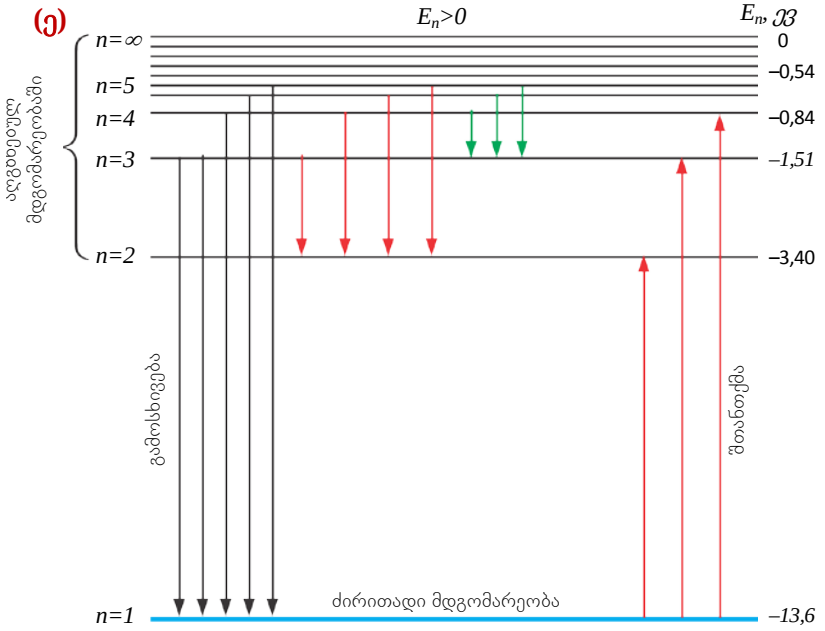
სადაც $E_0 = 13{,}6$ *ევ* წყალბადის ატომის იონიზაციის ენერგიაა უდაბლეს ენერგეტიკულ მდგომარეობაში, n – მთავარი კვანტური რიცხვია. სტაციონალური მდგომარეობა, რომლის მთავარი კვანტური რიცხვი $n = 1$ არის ატომის ძირითადი მდგომარეობაა და ამ მდგომარეობაში ატომი არ გამოსახივებს ენერგიას. ყველა ის მდგომარეობა, რომელთა შესაბამისი

LAVIHP

$n > 1$, ატომის აღგზნებული მდგომარეობაა. ატომს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში აღგზნებულ მდგომარეობაში არსებობა არ შეუძლია და ენერგიის გამოასხივების შემდეგ, ძირითად მდგომარეობაში ბრუნდება.

ასე რომ, მე-(3) ფორმულის თანახმად, წყალბადის ატომის ენერგია პირველ კვანტურ მდგომარეობაში $E_1 = -E_0$, მეორეში $E_2 = -\frac{E_0}{2^2}$, მესამეში $E_3 = -\frac{E_0}{3^2}$ და ა.შ. ეს ნიშნავს, რომ წყალბადის ატომის გადასვლისას მინიმალური ენერგეტიკული მდგომარეობიდან მეორე მდგომარეობაში, მისი ენერგია 4-ჯერ იზრდება, მესამე ენერგეტიკულ მდგომარეობაში გადასვლისას 9-ჯერ და ა.შ.

ატომის ენერგეტიკული დონეები გამოსახულია ჰორიზონტალური ხაზებით. ატომის გადასვლისას ერთი ენერგეტიკული მდგომარეობიდან მეორეში, გამოსახულია ვერტიკალური ისრებით: ქვევით მიმართული ისარი ერთი კვანტის ენერგიის გამოსხივებას შეესაბამება, ზევით მიმართული ისარი კი ერთი კვანტის ენერგიის შთანთქმას *(ე)*.



ატომის ენერგეტიკული დონეების დიაგრამიდან ჩანს, რომ თუ ატომი იმყოფება კვანტურ მდგომარეობაში, რომლისთვისაც $n = \infty$, მაშინ მისი ენერგია $E_\infty = 0$. ეს ნიშნავს, რომ თუ ელექტრონი წყვეტს კავშირს ბირთვთან, თავისუფალ მდგომარეობაში უძრავია. ამიტომ ბირთვთან ბმული ელექტრონების ენერგეტიკული დონეების შესაბამისი ენერგიები ნულზე ნაკლები, უარყოფითი სიდიდეებით ხასიათდება. იმის გამო, რომ ელექტრონს ბირთვი მიიზიდავს, ბირთვისგან მისი მოწყვეტისთვის დადებითი მუშაობის შესრულებას საჭიროა.

ბორის II პოსტულატის თანახმად, წყალბადის ატომის გამოსხივების სიხშირე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\nu_{mn} = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) \quad (4)$$

სადაც $R \approx 3{,}3 \cdot 10^{15}\,\text{c}^{-1}$ რიდბერგის მუდმივაა. ქსპერიმენტულად დადგენილია, რომ წყალბადის ატომში ელექტრონის მაღალი ენერგეტიკული დონიდან მეორე დონეზე გადასვლისას ხილული სინათლის ფოტონი გამოსხივდება.

LAYTHe

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2

როგორ შეიცვლება ატომის ენერგია?

ამოცანა. ელექტრონი წყალბადის ატომში მეოთხე ენერგეტიკული დონიდან (n=4) მეორე ენერგეტიკულ დონეზე გადავიდა (m=2). როგორ შეიცვლება ამ დროს ატომის ენერგია?

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- რას ნიშნავს ატომის ზედა ენერგეტიკული დონიდან ქვედა ენერგეტიკულ დონეზე გადასვლა?
- რის ტოლია ელექტრონის ენერგიის ცვლილება ზემოთ აღწერილ პირობაში?

■მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

- რომელი ისრებითაა გამოსახული წყალბადის ენერგეტიკული დონეების დიაგრამაზე *(ა)* ელექტრონის გადასვლები, რომლებიც ხილული სინათლის გამოსხივებას შეესაბამება?

■შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რატომ არ შეესაბამება ატომის პლანეტური მოდელი კლასიკურ ფიზიკის კანონებს?			
2	რაში გამოიხატება პრინციპული სიახლე ატომის აგებულების შესახებ ბორის თეორიაში?			
3	ატომის რომელ მდგომარეობას ჰქვია ძირითადი და რომელს აღგზნებული?			
4	გამოიყენეთ ატომის ენერგეტიკული დონეების დიაგრამა და განსაზღვრეთ: ა) გადასვლა, რომელიც უდიდესი სიხშირის ტალღის ფოტონის გამოსხივებას შეესაბამება; ბ) გადასვლა, რომელიც უდიდესი სიგრძის ტალღის ფოტონის შთანთქმას შეესაბამება; გ) გადასვლა, რომელიც უდიდესი ენერგიის ფოტონის შთანთქმას შეესაბამება.			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულში:

1. „ბორის პოსტულატები“ და მათი ახსნა;
2. ატომის ენერგეტიკული დონეების დიაგრამის ახსნა.

LAYİHƏ

4.5. გამოსხივების სახეები და მათი გამოყენება (გაკვეთილი- პრეზენტაცია)

პრეზენტაციაზე მუშაობისას შეგიძლიათ ქვემოთ მოყვანილი მოკლე თეორიული მასალა და მითითებული ელექტრონული მისამართები გამოიყენოთ.

1. მოკლე თეორიული მასალა

1.1. ლუმინესცენციური გამოსხივება. ლუმინესცენცია (ლათ. lumen – სინათლე, escent – სუსტი) – ენერგიის შთანთქმისას ზოგიერთი ნივთიერების შემადგენელი ატომები აღიგზნებიან და შედეგად, შედარებით ცივ გამოსხივებას გამოასხივებენ. ლუმინესცენციური გამოსხივება განსხვავდება გავარვარებული სხეულების (ან ნივთიერების) გამოსხივებისგან, მაგ., ცეცხლმოკიდებული ხის და ნახშირის, დენიანი გამტარის, ნათურის ვარვარების ძაფის გამოსხივებისგან. ლუმინესცენციური გამოსხივებაა ლუმინესცენციურ და ნეონის ნათურებში, ტელევიზორის, რადარებისა და ფლუროსკოპების ეკრანზე, ორგანულ ნივთიერებებში – ციცინათელას ლუმინოლში, ზოგიერთ პიგმენტში, გარე სარეკლამო განათებებში, ჩრდილოეთის ციალისას და სხვ.

ყველა ამ მოვლენაში სინათლე გამოსხივდება უფრო დაბალ ტემპერატურაზე, ვიდრე ოთახის ტემპერატურაა. ლუმინესცენციური მასალების პრაქტიკული მნიშვნელობა გამოიხატება იმაში, რომ ამ ტიპის მასალებში ენერგიის უხილავი ფორმა ხილულში გადადის. პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ფოტოლუმინესცენცია, ელექტროლუმინესცენცია, ქემილუმინესცენცია, კათოდლუმინესცენცია და სხვ.

1.2. ლაზერის გამოსხივება. გასული საუკუნის ერთ-ერთი გამოგონება, რომელსაც მნიშვნელოვანი პრაქტიკული დანიშნულება აქვს, არის ოპტიკური კვანტური გენერატორი – ლაზერი.

- ლაზერი მოწყობილობაა, რომელიც სითბურ, ქიმიურ, ელექტრულ ენერგიას ელექტრომაგნიტური ველის ენერგიად – ლაზერის სინათლედ (სხივად) – გარდაქმნის. ლაზერის ფიზიკური მექანიზმი (მუშაობის პრინციპი) დაფუძნებულია ინდუცირებულ (იძულებით) გამოსხივებაზე. ლაზერის სახელწოდება შემდეგი ინგლისური წინადადების სიტყვების პირველი ასოებისგან მომდინარეობს: *„Light Amplificationby Stimulated Emission of Radiation“,* რაც ასე ითარგმნება: „სინათლის გაძლიერება ინდუცირებული (იძულებითი) გამოსხივების დახმარებით“.
- ინდუცირებული გამოსხივება – ატომების გადასვლა მაღალი ენერგეტიკული მდგომარეობიდან დაბალზე არა თავისთავად (სპონტანურად, როგორც ჩვეულებრივი გამოსხივებისას), არამედ გარე ზემოქმედების გავლენით.

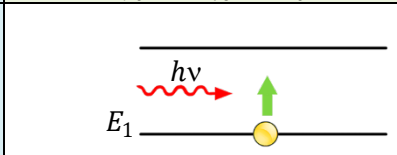
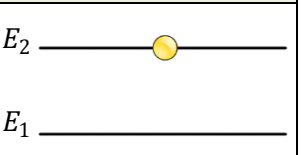
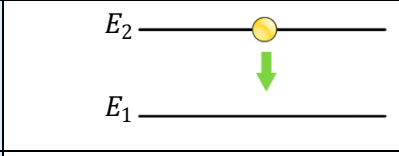
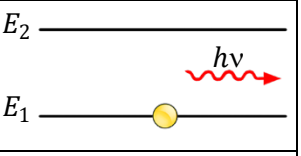
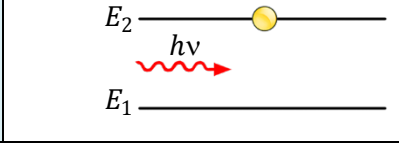
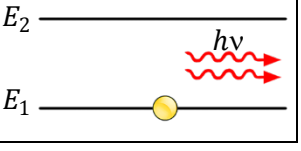
წარმოიდგინეთ, რომ ატომს შეუძლია არსებობა ორ ენერგეტიკულ მდგომარეობაში – ძირითადში, რომლის ენერგიაა E_1 და აღგზნებულში, რომლის ენერგიაა E_2. ამ ორ დონეს შორის სამი ოპტიკური გადასვლაა შესაძლებელი: სინათლის შთანთქმა, სპონტანური გამოსხივება და ინდუცირებული (იძულებითი) გამოსხივება (*ცხრილი 4.2*).

ცხრილიდან ჩანს, რომ E_2 აღგზნებულ მდგომარეობაში მყოფ ატომს შეუძლია გადასვლა ძირითად მდგომარეობაში, გამოსხივებს რა ერთ ფოტონს, რომლის ენერგიაა $h\nu = E_2 - E_1$. ამ დროს გამოსხივებული ტალღის სიხშირე, ფაზა და გავრცელების მიმართულება ნივთიერებაზე დაცემული ტალღის შესაბამის პარამეტრებს ემთხვევა, რაც დაცემული და გამოსხივებული ტალღების კოჰერენტულობაზე მიუთითებს. ეს იმას ნიშნავს, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღის ზემოქმედებით ნივთიერება $h\nu$ ენერგიის მქონე ერთი ფოტონის ნაცვლად ორ ფოტონს გამოასხივებს: აღმგზნები გამოსხივების ფოტონს და წარმოქმნილი გამოსხივების ფოტონს.

LAYTHE

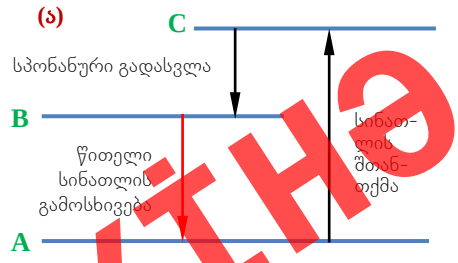
ამრიგად, სინათლე ნივთიერებაში გასვლისას ორჯერ გაძლიერდება ინდუცირებული გამოსხივების ხარჯზე. ამავდროულად, ხდება სინათლის შთანთქმაც, რის გამოც ნივთიერებაში გამავალი სინათლის ინტენსივობა მცირდება.

ცხრილი 4.2 ოპტიკური პროცესები, რომლებიც ორ ენერგეტიკულ დონეს შორის ატომის შესაძლო გადასვლას შეესაბამება

ოპტიკური პროცესი	ატომის ენერგეტიკული მდგომარეობა	
	საწყისი მდგომარეობა	საბოლოო მდგომარეობა
შთანთქმა		
სპონტანური გამოსხივება		
ინდუცირებული გამოსხივება		

სინათლის გამოსხივების გასაძლიერებლად, აუცილებელია, აღგზნებული ატომების რაოდენობა მნიშვნელოვნად აჭარბებდეს ძირითად მდგომარეობაში (მინიმალურ ენერგეტიკულ დონეზე) მყოფი ატომების რაოდენობას.

ატომის აღგზნებულ მდგომარეობაში გადასაყვანად სხვადასხვა მეთოდი არსებობს. მაგ., ნივთიერებას დამატებით ასხივებენ. თუმცა ამ მეთოდით აღგზნებული ატომები ხანმოკლე დროის განმავლობაში სპონტანურად გამოასხივებენ და მინიმალური ენერგიის შესაბამის მდგომარეობას უბრუნდებიან ისე, რომ ინდუცირებულ გამოსხივებაში მონაწილეობას ვერ იღებენ. ინდუცირებული გამოსხივების მისაღებად ატომის სამ ენერგეტიკულ დონეს (ძირითადს და ორ აღგზნებულს) იყენებენ. ასეთ შემთხვევაში ატომებს ერთ-ერთ აღგზნებულ მდგომარეობაში ყოფნა მეორესთან შედარებით ხანგრძლივად შეუძლიათ. ასეთი დონეები არსებობს სხვადასხვა კრისტალში, მაგ., ლალის კრისტალში (ალუმინის დიოქსიდში, Al_2O_3), რომელშიც ქრომის (Cr^{+++}) მინარევია. ამ კრისტალში ქრომის იონებს სამ ენერგეტიკულ დონეზე შეუძლიათ არსებობა, რომლებიც პირობითად A, B და C ასოებითაა აღნიშნული ***(ა)***.



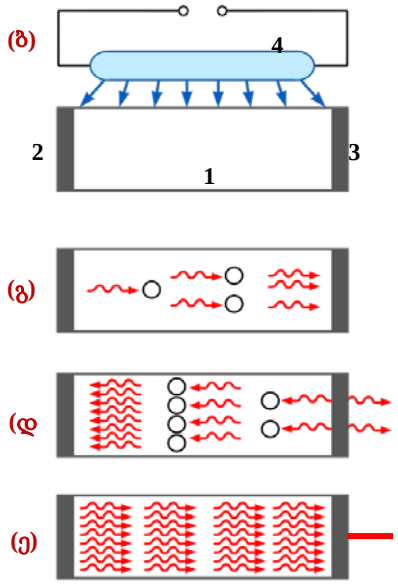
მძლავრი ნათურით ლალის კრისტალის განათებისას ქრომის იონები აღგზნებულ მდგომარეობაში (C) გადადიან, რომლის შესაბამისი ენერგიაა E_C. ქრომის იონები ძირითად დონეზე მაშინვე არ ბრუნდებიან. ისინი ჯერ სპონტანურად გამოასხივებენ და შუალედურ B დონეზე გადადიან (რომლის შესაბამისი ენერგიაა E_B), რომელზეც უფრო ხანგრძლივად შეუძლიათ დარჩენა, ვიდრე C დონეზე.

LAYTH

შედეგად აღგზნებულ დონეზე „მცხოვრები“ იონების რაოდენობა გადააჭარბებს იონების რაოდენობას ძირითად დონეზე. გარე ელექტრომაგნიტური ტალღის ფოტონი (რომლის ენერგიაა $h\nu = E_B - E_A$) კრისტალში წითელი ფერის ინდუცირებულ გამოსხივებას ქმნის, რომლის ტალღის სიგრძე 693 ნმ-ია და შეესაბამება გადასვლას:

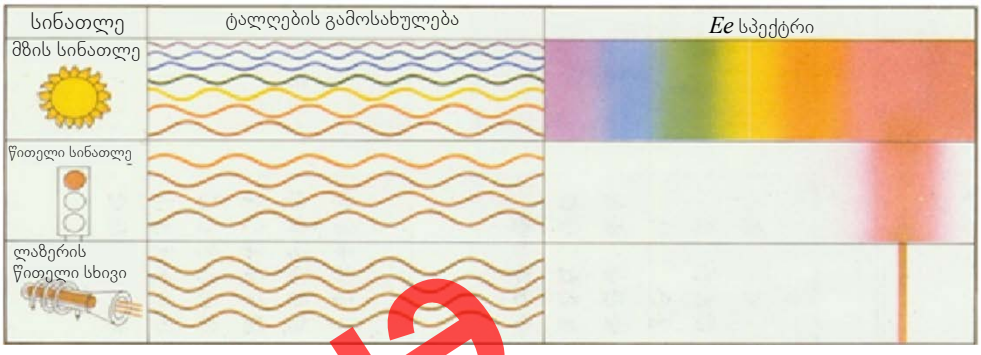
$E_B \rightarrow E_A$ *(ბ)*.

ლაზერებში სინათლის გაძლიერება ნივთიერების ერთსა და იმავე ფენაში სინათლის მრავალჯერადი გავლის შედეგად ხდება. ასეთი ეფექტის მისაღწევად ნივთიერების შესაბამის ფენას პარალელურ სარკეებს შორის ათავსებენ. ეს ნათლად ჩანს ლალის ლაზერის გამარტივებულ მოდელზე *(ბ)*.



1 – გარემო, რომელშიც სინათლის გაძლიერება ხდება, 2 – სარკე, 3 – ნახევრად გამჭვირვალე სარკე, 4- სინათლის წყარო, რომლის სინათლის შთანთქმის შედეგად გარემოს ატომები აღიგზნებიან. აღგზნები გამოსხივების ფოტონი ლალის კრისტალის ღერძის პარალელურად მოძრაობს და ახალი თაობის ფოტონთა ნაკადს ქმნის *(გ)*. ამ ნაკადის ერთი ნაწილი ნახევრად გამჭვირვალე სარკეში 3 გადის, ნაწილი კი სარკიდან აირეკლება და გაძლიერდება გარემოში 1 *(დ)*. მე-2 სარკიდან არეკლილი ფოტონების ნაკადი კიდევ უფრო ძლიერდება და აღმგზნები გამოსხივების მიმართულებით მოძრაობს *(ე)*. ამგვარად, ლალის კრისტალში გაძლიერებული დიდი ენერგიის მქონე ფოტონების ნაკადი ნახევრად გამჭვირვალე სარკიდან 3 წითელი სინათლის სახით გამოდის. მიღებული წითელი ლაზერის სინათლე განსხვავდება, როგორც მზის თეთრი სინათლისგან, ისე ჩვეულებრივი წითელი სინათლისგან (*ცხრილი 4.3*).

ცხრილი 4.3. ლაზერის სხივისა და ჩვეულებრივი სინათლის შედარება



2. *რეკომენდებული ელექტრონული მისამართები:*

1. *https://www.facebook.com/page.fizika/posts/273836539385048*
2. *http://referat.ilkaddimlar.com/ref_info_5600*
3. *https://az.wikipedia.org/wiki/Elektro-l%C3%BCminessensiya*
4. *http://anasahife.org/elektromaqnit-sualanma-menbeleri-tebii-elektromaqnit-sualanma.html*
5. *http://static.bsu.az/w10/kitab/rcqrk.pdf*

LAYIHƏ

6. http://regionplus.az/az/articles/view/3991
7. https://virtualkitabxana.files.wordpress.com/2016/03/fizika-9-az-derslik.pdf
8. http://www.turkcebilgi.org/bilim/fizik/lazer-24862.html
9.http://www.ansiklopedi.biz/fizik/lazer-nedir-lazer-nasil-calisir
10. http://ebooks.azlibnet.az/book/51a8Uq4Z.pdf.

პრეზენტაციის მომზადების გეგმა

1-ლი სლაიდი	• პრეზენტაციის სათაური • მოამზადა (მოსწავლის გვარი, სახელი, კლასი)
მე-2 სლაიდი	• ლუმინესცენციური გამოსხივება. მისი ფიზიკური არსი
მე-3 სლაიდი	• ლუმინესცენციური გამოსხივების სახეები: ფოტოლუმინესცენცია, ელექტროლუმინესცენცია, ქემილუმინესცენცია, კათოდლუმინესცენცია
მე-4 სლაიდი	• ფოტოლუმინესცენცია და ქემილუმინესცენცია. მათი გამოყენება
მე-5 სლაიდი	• ელექტროლუმინესცენცია და კათოდლუმინესცენცია. მათი გამოყენება
მე-6 სლაიდი	• ლაზერის გამოსხივება. მისი ფიზიკური არსი
მე-7 და მე-8 სლაიდები	• ლაზერის გამოყენება: მედიცინაში, წარმოებაში, სამეცნიერო კვლევებში, სამხედრო საქმეში

LAYİHƏ

4.6. ატომის ბირთვი. ატომის ბირთვის აგებულება

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 6, 8 და 9

1932 წელს რუსმა მეცნიერმა დიმიტრი ივანენკომ და გერმანელმა მეცნიერმა ვერნერ ჰაიზენბერგმა ატომის ბირთვის პროტონულ-ნეიტრონული მოდელი წარმოადგინეს. მოდელის მიხედვით:

• ატომის ბირთვი მდგრადი სისტემაა, რომელიც ელემენტარული ნაწილაკებისგან, პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან, შედგება. პროტონს (ბერძ. „protos“ – პირველადს ნიშნავს, აღინიშნება ასო **p**-თი) დადებითი მუხტი აქვს, რომელიც მო-დულით ელექტრონის მუხტის ტოლია. პროტონის მასა 1836-ჯერ აღემატება ელექ-ტრონის მასას და $m_p = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ *კგ*-ის ტოლია.

ნეიტრონი (ელექტრულად ნეიტრალური) აღინიშნება **n** ასოთი, მისი მასა დაახლოებით პროტონის მასის ტოლია: $m_n = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ *კგ*.

პროტონებსა და ნეიტრონებს საერთო სახელი აქვს – ნუკლონები (ლათ. „nucleus“ – ბირთვის ნაწილაკები). ატომური ბირთვის მდგრადობა ნუკლონებს შორის არაელექტრული ბუნების მძლავრი ბირთვული ძალების არსებობით აიხსნება.

• *ბირთვული ძალები ჰქვია ძალებს, რომლებიც ნუკლონებს (პროტონებსა და ნეიტრონებს) ბირთვის შემადგენლობაში აკავებს.* ბირთვული ძალები ახლოქმედებით ხასიათდება – მათი მოქმედების რადიუსი ბირთვის ზომის რიგისაა: $\approx 10^{-15}$ *მ*. ბირთვული ძალის სიდიდე, რომელიც ამ მანძილებზე ერთნაირნიშნიან პროტონებს შორის მოქმედებს, გაცილებით აღემატება პროტონებს შორის მოქმედი კულონური განზიდვის ძალის სიდიდეს.

• *ბირთვის მასური რიცხვი ეწოდება ბირთვში ნუკლონების საერთო რაოდენობას.* ის A ასოთი აღინიშნება: **A = Z + N** (Z პროტონების რიცხვია, ხოლო N – ნეიტრონების რიცხვი). ნეიტრონების რიცხვი ნებისმიერი ელემენტის ბირთვში განისაზღვრება ასე: **N = A – Z.** მასური რიცხვი ქიმიური ელემენტის აღნიშვნაში ზედა ინდექსად იწერება.

• *ბირთვის მუხტის რიცხვი იგივეა, რაც ბირთვში პროტონების რიცხვი.* მას Z ასოთი აღნიშნავენ და ქიმიური ელემენტის აღნიშვნაში ქვედა ინდექსად იწერება.

ამრიგად, ნებისმიერი ქიმიური ელემენტის აღნიშვნა ასე გამოიყურება: ${}^{A}_{Z}X$, სადაც X ქიმიური ელემენტის სიმბოლოა. მაგ., ჟანგბადის ბირთვის მასური რიცხვი A = 16, მუხტის რიცხვი კი – Z = 8, ამიტომ ქიმიური ელემენტი, ჟანგბადი ასე ჩაიწერება: ${}^{16}_{8}O$.

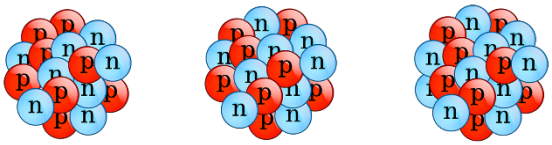
■ რეზერფორდის მიერ ატომის პლანეტური მოდელის აღმოჩენისა და ბორის მიერ ატომის კვანტური თეორიის წარმოდგენის შემდეგ გაჩნდა კითხვა: რას წარმოადგენს ატომის ბირთვი? ბირთვი რაიმე სხვა ნაწილაკებისგან შედგება თუ მთლიანი განუყოფელი ნაწილაკია? რეზერფორდმა თავისი ექსპერიმენტული კვლევები ატომის ბირთვის შესასწავლად მიმართა და გამოიყენა თქვენთვის უკვე ცნობილი მეთოდი – შესასწავლი ობიექტის α-ნაწილაკებით დაბომბვა. აზოტის ბირთვებს α-ნაწილაკებით დაბომბვისას, რეზერფორდმა ატომებიდან ისეთი ნაწილაკების გამოტყორცნა დააფიქსირა, რომელთა მუხტი და მასა წყალბადის ბირთვის მუხტისა და მასის ტოლი აღმოჩნდა. ამ მეთოდით რეზერფორდმა 1919 წელს კიდევ ერთი აღმოჩენა გააკეთა – დაშტკიცა ბირთვის რთული შედგენილობა.

• *რომელი ნაწილაკი აღმოაჩინა რეზერფორდმა?*

LAYIHA

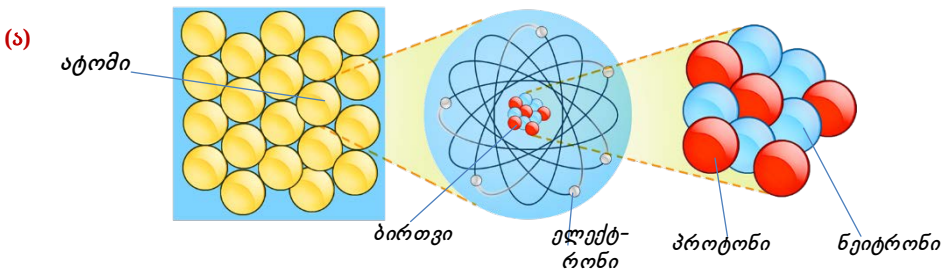
კვლევითი სამუშაო 1 *რომელი ნაწილაკებისგან შედგება ატომის ბირთვი?*

ამოცანა 1. სურათზე სამი იზოტოპის ბირთვის მოდელის სქემაა გამოსახული. გადაიხატეთ სქემები სამუშაო ფურცელზე და წერტილების ადგილზე შესაბამის იზოტოპებში პროტონების, ნეიტრონებისა და ელექტრონების რიცხვი მიუთითეთ. განსაზღვრეთ იზოტოპის მასური და მუხტის რიცხვი. გამოიყენეთ მენდელეევის ცხრილი და დაწერეთ იზოტოპის აღმნიშვნელი სიმბოლო.



$Z - \ldots$	$Z - \ldots$	$Z - \ldots$
$N - \ldots$	$N - \ldots$	$N - \ldots$
$e - \ldots$	$e - \ldots$	$e - \ldots$
$A - \ldots$	$A - \ldots$	$A - \ldots$
${}^{A}_{Z}X - \ldots$	${}^{A}_{Z}X - \ldots$	${}^{A}_{Z}X - \ldots$

ატომის ბირთვის აგებულება. ატომის ბირთვი ორი სახის ნაწილაკისგან (ნუკლონებისგან) შედგება: დადებითად დამუხტული პროტონებისა და ელექტრულად ნეიტრალური ნეიტრონებისგან *(ა)*.



ჩვეულებრივ, წყალბადის ატომის ბირთვს პროტონს უწოდებენ. ის აღინიშნება ასე: ${}^{1}_{1}\mathrm{p}$ ან ასე: ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$. პროტონის მახასიათებლებია: $m_p = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ კგ; $q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ კ $= e$; თავისუფალ მდგომარეობაში ბირთვის გარეთ სიცოცხლის ხანგრძლივობა $\tau > 10^{32}$ წელი.

ნეიტრონი აღინიშნება ასე: ${}^{1}_{0}n$, ნეიტრონის მახასიათებლებია: $m_n = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ კგ; $q_n = 0$; თავისუფალ მდგომარეობაში ბირთვის გარეთ სიცოცხლის ხანგრძლივობა $\tau \approx 886$ წამია.

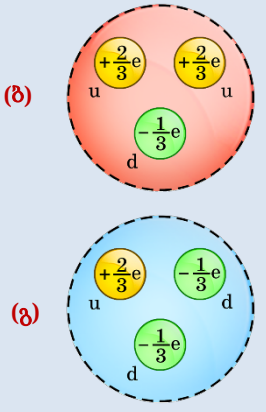
ელემენტარული ნაწილაკების აგებულების მოდელის მიხედვით, პროტონი ორი u კვარკისა და ერთი d კვარკისგან შედგება *(ბ)*:
კვარკების მუხტი წილადი რიცხვით გამოისახება:

$$\mathrm{u} = +\frac{2}{3}\mathrm{e};\ \mathrm{d} = -\frac{1}{3}\mathrm{e}.$$

ასე რომ, პროტონის მუხტი: $\mathrm{p} = \mathrm{u} + \mathrm{u} + \mathrm{d} = \mathrm{e}$, ანუ

$$\mathrm{p(uud)} \to +\frac{2}{3}\mathrm{e} + \frac{2}{3}\mathrm{e} - \frac{1}{3}\mathrm{e} = \mathrm{e}.$$

ნეიტრონიც კვარკებისგან შედგება: ერთი u კვარკისა და ორი d კვარკისგან *(გ)*. ამის გამო ნეიტრონი ელექტრულად ნეიტრალურია (მისი მუხტი ნულის ტოლია): $\mathrm{n} = \mathrm{u} + \mathrm{d} + \mathrm{d} = 0$, ანუ $\mathrm{n(udd)} \to +\frac{2}{3}\mathrm{e} - \frac{1}{3}\mathrm{e} - \frac{1}{3}\mathrm{e} = 0$.



LAVIHO

ბირთვული ძალები. ატომური ბირთვის მდგრადობა მის შემადგენელ პროტონებსა და ნეიტრონებს შორის მძლავრი ურთიერთქმედების ძალების არსებობით აიხსნება. ამ ძალებს *ბირთვული ძალები* ჰქვია და მიზიდულობა ახასიათებთ.

• *ბირთვული ძალები არის ძალები, რომლებიც ნუკლონებს ბირთვის შემადგენლობაში აკავებს და ბირთვის მდგრადობას განაპირობებს.*

ბირთვულ ძალებს შემდეგი თავისებურება ახასიათებს:

1) ვლინდება მიზიდულობით;

2) ბირთვის ზომის ფარგლებში ისინი ასჯერ აღემატება პროტონებს შორის განზიდვის კულონურ ძალებს;

3) ახასიათებთ ახლოქმედება – მოქმედებენ მხოლოდ მანძილებზე, რომლებიც ბირთვის ზომის რიგისაა ($10^{-15} \div 10^{-14}$მ);

4) ნუკლონებს შორის ურთიერთქმედების ძალა მათ მუხტზე დამოკიდებული არ არის: პროტონი პროტონთან, პროტონი ნეიტრონთან და ნეიტრონი ნეიტრონთან ერთნაირი ძალებით ურთიერთქმედებს;

5) აქვთ გაჯერების თვისება – ეს ნიშნავს, რომ ბირთვის შიგნით ნუკლონი მხოლოდ „მეზობელ“ ნუკლონებთან ურთიერთქმედებს;

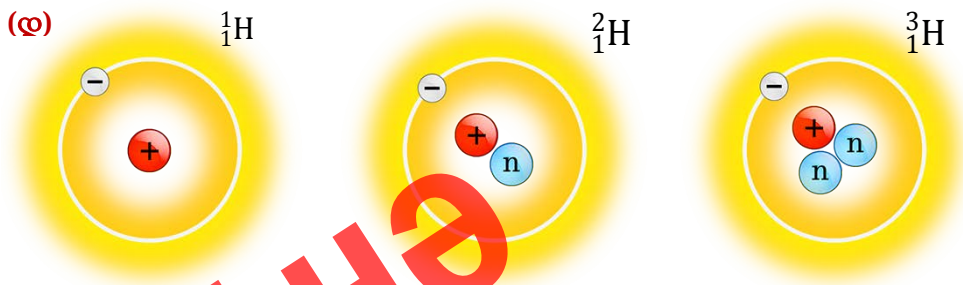
6) არ არის ცენტრული, ანუ ბირთვული ძალები მიმართული არ არის ნუკლონების ცენტრების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ;

იზოტოპები.

• ატომებს, რომლებშიც პროტონების ერთნაირი და ნეიტრონების განსხვავებული რაოდენობაა, მოცემული ქიმიური ელემენტის იზოტოპები ჰქვია. (ბერძ. „ისოს“ ერთნაირს ნიშნავს, „ტოპოს“ – ადგილს). იზოტოპების განსაზღვრება შეიძლება ასე ჩამოყალიბდეს:

• *ატომებს, პროტონების ერთნაირი რიცხვით, მაგრამ განსხვავებული მასური რიცხვით, იზოტოპები ჰქვია.*

მაგ., ცნობილია წყალბადის სამი იზოტოპი: იზოტოპი $^{1}_{1}H$ (პროტიუმი) მხოლოდ ერთი პროტონისგან შედგება. იზოტოპები $^{2}_{1}H$ (დეიტერიუმი) და $^{3}_{1}H$ (ტრიტიუმი) ერთი პროტონისა და შესაბამისად, ერთი და ორი ნეიტრონისგან შედგება ***(დ)***. აღსანიშნავია, რომ ნეიტრონები ელემენტის ქიმიურ თვისებებზე გავლენას არ ახდენს, ამიტომ ერთი და იმავე ელემენტის ყველა იზოტოპს ერთნაირი ქიმიური თვისებები აქვს. იზოტოპები ერთმანეთისგან ფიზიკური თვისებებით (მაგ., ატომის ენერგეტიკული დონეებით) განსხვავდება.



LAYİHƏ

გამოყენება | გამოყენება სამუშაო

განსაზღვრეთ დამოკიდებულება პროტონებისა და ნეიტრონების რიცხვს შორის ბირთვში, რომლის მასური რიცხვი 2-ჯერ მეტია მუხტის რიცხვზე.

ამოცანა 2. დაადგინეთ მენდელეევის ცხრილის მიხედვით ელემენტები, რომელთა მასური რიცხვი 2-ჯერ აღემატება მათ მუხტის რიცხვს.

სამუშაო შედეგების განხილვა:

• რის ტოლია პროტონების რიცხვის შეფარდება ნეიტრონების რიცხვთან ასეთ ელემენტებში?

■მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

• შეიძლება თუ არა, განვსაზღვროთ ბუნებაში იზოტოპების რაოდენობა (ბევრია თუ ცოტა) მენდელეევის ცხრილში მითითებული მასური რიცხვის მიხედვით? პასუხი დაასაბუთეთ.

■შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	ორი ატომის ბირთვის მასური რიცხვი ერთნაირია. შეიძლება თუ არა, რომ ამ ბირთვებს განსხვავებული მუხტი ჰქონდეთ? პასუხი დაასაბუთეთ.			
2	ორი ატომის ბირთვის მუხტის რიცხვი განსხვავებულია. შეიძლება თუ არა, რომ ეს ბირთვები ერთი და იმავე ქიმიური ელემენტის იზოტოპები იყოს? პასუხი დაასაბუთეთ.			
3	მენდელეევის ცხრილში რომელ ქიმიურ ელემენტს აქვს: ა) 52 პროტონი და 72 ნეიტრონი; ბ) 103 პროტონი და 153 ნეიტრონი?			
4	რომელი ქიმიური ელემენტია გამოსახული X სიმბოლოთი: $^{257}_{100}X$; $^{235}_{92}X$; $^{127}_{53}X$; $^{115}_{49}X$?			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულში ესე თემაზე: „ატომის ბირთვის აგებულება“.

LAYİHƏ

4.7. ბირთვის ბმის ენერგია

• გაიხსენეთ განვლილი მასალ •

ფიზიკა – 9

მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა, რომ ატომის ბირთვის მასა ყოველთვის ნაკლებია ბირთვის შემადგენელი ნუკლონების (ნეიტრონებისა და პროტონების) მასაზე.

$$M_{ბირთ.} < Zm_p + Nm_n$$

ეს ნიშნავს, რომ არსებობს სხვაობა ბირთვის შემადგენელი ნუკლონების ჯამურ მასასა და ამ ბირთვის მასას შორის. მას მასის დეფექტს უწოდებენ: $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_ბ$.

სადაც $M_ბ$ – ბირთვის მასაა, Z და N – შესაბამისად პროტონებისა და ნეიტრონების რიცხვი, m_p – პროტონის მასაა, m_n – ნეიტრონის მასა, Δm – მასის დეფექტი.

მასის შემცირება ნუკლონებისგან ბირთვის წარმოქმნისას ნიშნავს, რომ ამ დროს სისტემის ენერგია ბმის ენერგიის ($E_{ბმ}$) სიდიდით მცირდება.

• ბმის ენერგია ის მინიმალური ენერგიაა, რომელიც აუცილებელია ბირთვის ცალკეულ, თავისუფალ ნუკლონებად გასახლებად.

ბმისენერგიის გამოსათვლელად იყენებენ ენერგიასა და მასას შორის არსებულ თანაფარდობას, რომელიც აინშტაინმა წარმოადგინა:

$$E_{ბმ} = \Delta E = \Delta mc^2 \rightarrow E_{ბმ} = \left[Zm_p + Nm_n - M_ბ\right] \cdot \text{წმ}^2.$$

ბმის ენერგიის გამოსათვლელად პროტონისა და ბირთვის მასის ნაცვლად, მოსახერხებელია, შესაბამისად, წყალბადის ბირთვის მასისა და ქიმიური ელემენტის მასის (M_A) გამოყენება. ასეთ შემთხვევაში ბმის ენერგია ასე გამოისახება:

$$E_{св.} = [Zm_H + Nm_n - M_A] \cdot c^2.$$

ენერგიასა და მასას შორის არსებული კავშირის გამომსახველი $\Delta E = \Delta mc^2$, ფორმულის მიხედვით დადგენილია, რომ 1 მაე-ის ეკვივალენტური ენერგიაა 931,5 მევ. ამ ეკვივალენტობის გათვალისწინებით, ბმის ენერგია შეიძლება ასე გამოისახოს:

$$E_{ბმ} = [Zm_H + Nm_n - M_A] \cdot 931{,}5 \text{ მევ}.$$

ბირთვის მდგრადობა ხასიათდება სიდიდით, რომელსაც ბმის კუთრი ენერგია ჰქვია.

• ბმის კუთრი ენერგია – ბმის ენერგიაა, რომელიც ერთ ნუკლოზე მოდის: $\varepsilon = \frac{E_{ბმ}}{A}$.

მისი ერთეულია: $[\varepsilon] = \frac{[E_{ბმ}]}{[A]} = 1\ \frac{\text{მევ}}{\text{ნუკლონი}}$.

■ *4.4 ცხრილში* ელექტრონის, ნუკლონების, ზოგიერთი იზოტოპის მასები და ასევე მათი ეკვივალენტური ენერგიებია მოცემული. ცხრილის დახმარებით ჩაატარეთ კვლევა: „სრულდება თუ არა ენერგიის მუდმივობის კანონი ბირთვსა და მის ნუკლონებს შორის?“.

4.4 ცხრილში

ნაწილაკი ან ქიმიური ელემენტი	*მასა (მაე)*	*ენერგია (მევ)*	*ქიმიური ელემენტი*	*მასა (მაე)*	*ენერგია (მევ)*
ელექტრონი ($_{-1}^{0}e$)	0,0005486	0,51102	*ლითიუმი* ($^{6}_{3}Li$)	6,941	6465,542
პროტონი ($^{1}_{1}p$)	1,0072765	938,28	*ნახშირბადი* ($^{12}_{6}C$)	12,0	11178
ნეიტრონი ($^{1}_{0}n$)	1,008665	939,57	*ნახშირბადი* ($^{13}_{6}C$)	13,003354	12112,624
წყალბადი ($^{1}_{1}H$)	1,007825	938,79	*ურანი* ($^{235}_{92}U$)	235,04418	218943,654
დეიტერიუმი ($^{2}_{1}H$)	2,014102	1876,136	*ურანი* ($^{238}_{92}U$)	238,05113	221744,6276
ტრიტიუმი ($^{3}_{1}H$)	3,016062	2809, 462	*ნეპტუნიუმი* $^{239}_{93}Np$)	239,05320	222678,0558
ჰელიუმი ($^{4}_{2}He$)	4,002603	3728,425	*პლუტონიუმი* ($^{239}_{94}Pu$)	239,05242	222677,3292

LAYING

კვლევითი სამუშაო 1 ***სრულდება თუ არა ენერგიის მუდმივობის კანონი ბირთვსა და მის ნუკლონებს შორის?***

ამოცანა 1. ჰელიუმის ($^4_2$He) ბირთვის მასა 4,002603 მ.ა.ე-ის ტოლია (იხ. ***ცხრილი 4.4.***) იმის გამო, რომ 1 მ. ა. ე-ის ეკვივალენტური ენერგიაა 931,5 მევ, ჰელიუმის ბირთვის ენერგია ტოლია: $E_1 = 4{,}002603 \cdot 931{,}5$ *მევ* $= 3728{,}425$ *მევ*.
შეამოწმეთ, ტოლია თუ არა ეს ენერგია ბირთვის შემადგენელი ნუკლონების ჯამური ენერგიის.

სამუშაო შედეგების განხილვა:

- რა თანაფარდობაში ერთმანეთთან $^4_2$He ბირთვის მასა და მისი შემადგენელი ნაწილაკების ჯამური მასა?
- ადასტურებს თუ არა თქვენ მიერ ჩატარებული გამოთვლები ბირთვისა და მისი ნუკლონების ენერგიებს შორის ენერგიის მუდმივობის კანონს?

ბირთვის ბმის ენერგია. მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა, რომ ატომის მასა ნაკლებია მისი შემადგენელი ნაწილაკების (ნეიტრონების, პროტონებისა და ელექტრონების) უძრაობის მასათა ჯამზე. ამის გამო ატომის ბირთვის ენერგია E_1 ნაკლებია მისი შემადგენელი ნუკლონების უძრაობის ენერგიათა ჯამზე (E_2) სიდიდით, რომელიც ასე გამოითვლება: $\Delta E = E_2 - E_1$. კვლევის შედეგად თქვენ დაადგინეთ, რომ ჰელიუმის $^4_2$He ბირთვისთვის ენერგიათა სხვაობა არის $\Delta E = 27{,}275$ მევ. თუმცა ეს სულაც არ ნიშნავს, რომ ნუკლონებისგან ბირთვის წარმოქმნისას ბუნების ფუნდამენტური კანონი – ენერგიის მუდმივობის კანონი დაირღვა. ბირთვის ცალკეულ ნუკლონებად გახლეჩისას ნუკლონებს შორის მოქმედი მძლავრი, ბირთვული მიზიდულობის ძალების დასაძლევად აუცილებელია მუშაობის შესრულება – ენერგიის დახარჯვა. ეს იმას ნიშნავს, რომ თავისუფალ მდგომარეობაში ნუკლონების ჯამური ენერგია მეტი უნდა იყოს ბირთვის ენერგიაზე, რათა ნუკლონების შეკავშირებისა და ბირთვის წარმოქმნისას ეს ენერგია გამოსხივდეს.

- *მინიმალურ ენერგიას, რომელიც ცალკეულ ნუკლონებად ატომის ბირთვის გახლეჩისთვისაა საჭირო,* ***ბმის ენერგია*** *ჰქვია:*

$$E_{ბმ} = [Zm_p + (A - Z)m_n - M_{ბირთ}] \cdot c^2. \qquad (1)$$

გამოსახულებას, რომელიც (1)-ლ ფორმულაში კვადრატულ ფრჩხილებში ზის, ***მასის დეფექტს*** *უწოდებენ.*

- ***მასის დეფექტი*** *– ეს არის სხვაობა ბირთვის შემადგენელი ნუკლონების ჯამურ მასასა და ამ ბირთვის მასას შორის:*

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - M_{ბირთ}. \qquad (2)$$

თუ მასას მასის ატომურ ერთეულებში გამოვსახავთ (მაე), მაშინ ბმის ენერგიამევ-ში შემდეგი გამოსახულების დახმარებით განისაზღვრება:

$$E_{ბმ} = 931{,}5 \cdot \Delta m. \qquad (3)$$

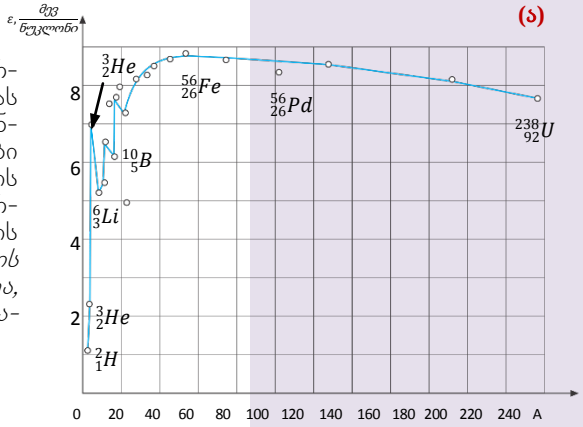
თუ ბმის ენერგიას მე-(3) ფორმულის მიხედვით გამოვთვლით და მიღებულ მნიშვნელობას ნუკლონების რაოდენობაზე გავყოფთ, მივიღებთ ბირთვის თითოეულ ნუკლონის შესაბამის ბმის ენერგიას, რომელსაც ***ბმის კუთრი ენერგია*** *ჰქვია:*

$$\mathcal{E} = \frac{E_{ბმ}}{A} = \frac{931{,}5 \cdot \Delta m}{A}. \qquad (4)$$

სხვადასხვა ელემენტებისთვის ბმის კუთრ ენერგიას განსხვავებული მნიშვნელობები აქვს. იმ ელემენტების ბმის კუთრი ენერგიის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელთა მასური რიცხვი 50÷60 შუალედშია, დაახლოებით $8{,}7\ \frac{მევ}{ნუკლონი}$-ია. მძიმე ელემენტების ბმის კუთრი ენერგია $8\ \frac{მევ}{ნუკლონი}$-ზე ნაკლებია. მაგ., ბუნებრივი ურანის ბმის კუთრი ენერგიაა $\approx 7{,}6\ \frac{მევ}{ნუკლონი}$.

LAYTHO

ბირთვები, რომელთა ბმის კუთრი ენერგია დიდია, მეტად მდგრადია. ეს იმას ნიშნავს, რომ მსუბუქ და მძიმე ელემენტებს ნაკლებად მდგრადი ბირთვები აქვთ, ვიდრე საშუალო მასური რიცხვის მქონე ელემენტებს. ეს ბმის კუთრი ენერგიის მასურ რიცხვზე დამოკიდებულების გრაფიკიდანაც ჩანს *(ა)*. *ასე რომ, ბმის კუთრი ენერგია – ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ბირთვის მდგრადობას ახასიათებს.*



გამოყენება **კვლევითი სამუშაო 2** ***რომელი ელემენტის ბმის კუთრი ენერგიაა უდიდესი?***

ამოცანა 2. ბმის კუთრი ენერგიის მასურ რიცხვზე დამოკიდებულების გრაფიკის დახმარებით დაალაგეთ იზოტოპები ბმის კუთრი ენერგიის ზრდის მიხედვით: $^{3}_{2}He, ^{4}_{2}He, ^{10}_{5}B, ^{56}_{26}Fe, ^{106}_{46}Pd, ^{238}_{92}U$ (იხ. ა).

სამუშაო შედეგების განხილვა:

- რომელი ელემენტის ბმის კუთრი ენერგიაა უდიდესი? უმცირესი?
- რა დამოკიდებულებაა უდიდესი და უმცირესი ბმის კუთრი ენერგიის მქონე იზო-ტოპების ბმის ენერგიებს შორის?

■მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

არიფი და ნაზრინი გაკვეთილზე მასწავლებლის მიერ შეთავაზებულ ამოცანაზე მსჯელობდნენ „რატომაა, რომ მძიმე ქიმიური ელემენტების ბირთვებში ნეიტრონების რიცხვის შეფარდება პროტონების რიცხვთან მეტი, ვიდრე იგივე შეფარდება მსუბუქი ელემენტების ბირთვებში?“

არიფი: „ჩემი აზრით, მძიმე ბირთვებში პროტონებისა და ნეიტრონების დიდი რაოდენობა განაპირობებს იმას, რომ მათ შორის ურთიერთქმედების ძალები უფრო დიდია, ვიდრე მცირე მასური რიცხვის მქონე მსუბუქ ბირთვებში. ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, მძიმე ბირთვებში აღნიშნული შეფარდება უფრო დიდი იქნება, ვიდრე იგივე შეფარდება მსუბუქი ელემენტების ბირთვებში“.

ნაზრინი: „ვფიქრობ, რომ რაც მეტია პროტონების რაოდენობა ბირთვში, მით მეტია მათ შორის განზიდვის კულონური ძალა. იმისათვის, რომ განეიტრალდეს ეს ძალები და ბირთვისგან პროტონების მოწყვეტა თავიდან ავიცილოთ, საჭიროა ნეიტრონების მეტი რაოდენობა“.

- რომელს ეთანხმებით? რატომ?

■შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	განსაზღვრეთ მასის დეფექტი იზოტოპებში: $^{3}_{2}$He და $^{4}_{2}$He.			
2	შეგიძლიათ თუ არა, რომ ბმის კუთრი ენერგიის მასურ რიცხვზე დამოკიდებულების გრაფიკის დახმარებით განსაზღვროთ ბმის ენერგია იზოტოპებში: $^{3}_{2}$He და $^{4}_{2}$He?			
3	რატომ ჩნდება მასის დეფექტი? დაასაბუთეთ თქვენი პასუხი.			
4	რა არის ბირთვში ბმის კუთრი ენერგიის ფიზიკური არსი?			
5	ახსენით ბმის კუთრი ენერგიის მასურ რიცხვზე დამოკიდებულების გრაფიკი.			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულში ესე თემაზე: „ბირთვის ბმის ენერგია და ენერგიის მუდმივობის კანონი“.

LAKHE

4.8. რადიოაქტიურობა. ბირთვების რადიოაქტიური გარდაქმნები

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9

ატომების თავისთავადად გამოსხივების მოვლენას (გარე ზემოქმედების გარეშე) ბუნებრივი რადიოაქტიურობა ჰქვია, ხოლო თვით გამოსხივებას – რადიოაქტიური გამოსხივება.

უამრავმა ცდამ აჩვენა, რომ ელემენტის ბუნებრივი რადიოაქტიურობა მხოლოდ მისი ბირთვის შემადგენლობასა და აგებულებასთანაა დაკავშირებული. ელემენტის ამ თვისებაზე გარე ფაქტორები (მექანიკური წნევა, ტემპერატურის ცვლილება, ელექტრული და მაგნიტური ველები და სხვ.) გავლენას არ ახდენს. რადიოაქტიური გამოსხივების ფიზიკური ბუნება ერნსტ რეზერფორდის ხელმძღვანელობით 1899 წელს ჩატარებულ ცდებში გამოიკვლიეს. აღმოჩნდა, რომ რადიოაქტიური გამოსხივება სხვადასხვა ნაწილაკების ნაკადია და მისი ცალკეული ნაწილები მაგნიტურ ველში ლორენცის ძალის მოქმედებით გავრცელების თავდაპირველი მიმართულებიდან სხვადასხვა მხარეს გადაიხარა:

– ნაწილი, რომელიც დადებითად დამუხტული ნაწილაკების ნაკადია, მარცხენა ხელის წესის შესაბამისად იმ მიმართულებით გადაიხარა, რომელსაც მარცხენა ხელის დიდი თითი უჩვენებს. გამოსხივების ამ ნაწილს ***α*-გამოსხივება** უწოდეს;

– ნაწილი, რომელიც უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების ნაკადია, ***α***-გამოსხივების საწინააღმდეგო მიმართულებით გადაიხარა. გამოსხივების ამ ნაწილს ***β*-გამოსხივება** ჰქვია.

– გამოსხივების ნაწილი უმუხტო ნაწილაკების ნაკადი აღმოჩნდა – ის მაგნიტურ ველში არ გადაიხარა. გამოსხივების ამ ნაწილს ***γ*-გამოსხივება** ჰქვია. მოგვიანებით რადიოაქტივობისას ნივთიერებების რადიოაქტიური გარდაქმნის უნარი აღმოაჩინეს.

• ერთი რადიოაქტიური ბირთვის სხვა ბირთვად თავისთავად გარდაქმნას რადიოაქტიური გარდაქმნა ჰქვია. არსებობს რადიოაქტიური გარდაქმნის ორი სახე: რადიოაქტიური გარდაქმნა და რადიოაქტიური ***β***-გარდაქმნა.

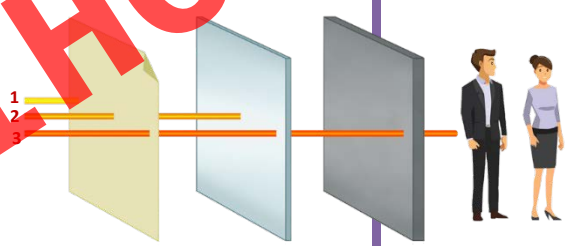
• ***α***-გარდაქმნისას ბირთვის მუხტის რიცხვი 2 ერთეულით მცირდება, მასური რიცხვი კი – 4 ერთეულით. გარდაქმნის შედეგად, ელემენტი პერიოდულ სისტემაში დასაწყისისკენ ორი უჯრით გადაინაცვლებს: $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$.

• ***β***-გარდაქმნისას ბირთვის მუხტის რიცხვი 1 ერთეულით იზრდება, მასური რიცხვი კი არ იცვლება. გარდაქმნის შედეგად ელემენტი პერიოდულ სისტემაში ბოლოსკენ ერთი უჯრით გადაინაცვლებს: $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$.

■ რეზერფორდმა ექსპერიმენტულად აღმოაჩინა, რომ რადიოაქტიური გამოსხივების სხვადასხვა სახეები ერთმანეთისგან შეღწევისუნარიანობით განსხვავდება: მაშინ როცა ერთისთვის (1) ქაღალდის ფურცელია გაუმჭვირვალე, მეორისთვის 3 მმ სისქის ალუმინის ფირფიტაა გადაულახავი წინააღმდეგობა. მესამე სახის სხივების (3) გავრცელებას კი რამდენიმე სანტიმეტრის სისქის ტყვიის კედელიც კი ვერ უშლის ხელს *(ა)*.

• შეძლებთ თუ არა, რომ რადიოაქტიური გამოსხივების სახეები ერთმანეთისგან შეღწევის უნარიანობით განასხვაოთ?

(ა)



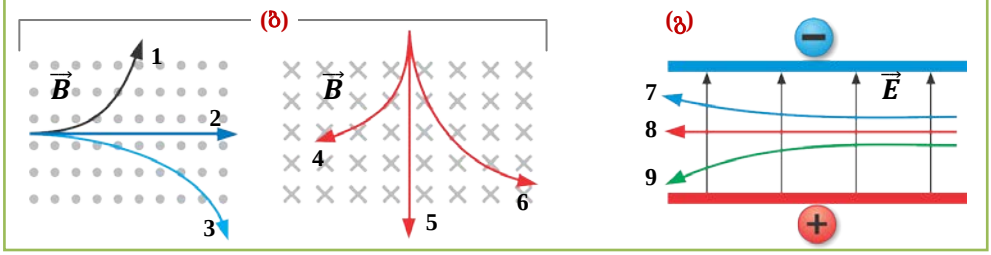
LAYiHO

კვლევითი სამუშაო 1 ***რადიოქტიური გამოსხივების რომელი სახეა?***

ამოცანა 1. სურათებზე ერთგვაროვან მაგნიტურ *(ბ)* და ელექტრულ *(გ)* ველებში რადიოაქტიური სხივების გავრცელების ტრაექტორიაა გამოსახული. გამოსხივების რომელი სახეები შეესაბამება სურათებზე მითითებულ ციფრებს?

სამუშაო შედეგების განხილვა:

- რადიოაქტიური გამოსხივების რომელი სახეები არსებობს?
- რა თვისებებით განსხვავდება გამოსხივების სახეები ერთმანეთისგან?



1896 წელს, ფრანგმა ფიზიკოსმა ანრი ბეკერელმა (1852-1908) გამოიკვლია ურანის მარილებში ლუმინესცენციის მოვლენა, რომლის დროსაც ურანის მიერ უცნობი შემადგენლობის სპონტანური გამოსხივება აღმოაჩინა. ნივთიერების მიერ სპონტანურად გამოსხივების მოვლენას ***რადიოაქტიურობა*** (ლათ. „radius“ – სხივი, „aqtivus“ – მოქმედება) უწოდეს, გამოსხივებას კი – ***რადიოაქტიური გამოსხივება.*** ნივთიერებას, რომელსაც სპონტანური გამოსხივების უნარი აქვს, ***რადიოაქტიური ნივთიერება*** ჰქვია.

1898 წელს ფრანგმა მეცნიერებმა, პიერ კიურიმ (1859-1906) და მარია სკლოდოვსკა-კიური (1867-1934) აღმოაჩინეს რადიოაქტიური ნივთიერებები – რადიუმი $^{226}_{88}Ra$ და პოლონიუმი $^{210}_{84}Po$ (ეს სახელი მარია სკლოდოვსკა-კიურის სამშობლოს, პოლონეთის პატივსაცემად ეწოდა).

1903 წელს ინგლისელმა მეცნიერმა ერნესტ რეზერფორდმა და ფრედერიკ სოდიმ (1877-1956) ექსპერიმენტული გზით დაადგინეს, რომ რადიოაქტიური სხივები შედგება სამი სახის გამოსხივებისგან, რომლებსაც ერთმანეთისგან განსხვავებული თვისებები აქვთ. მათ ბერძნული ანბანის პირველი სამი ასოს სახელი უწოდეს: ***α***-, ***β***- და ***γ*-გამოსხივება.**

• ***α*-გამოსხივება** ჰელიუმის ^4_2He ბირთვების ნაკადია. ელექტრული და მაგნიტური ველები მასზე გავლენას ახდენს. ამ გამოსხივებას იონიზაციის ძლიერი უნარი ახასიათებს: თავისუფალი გარბენისას მას 105 იონური წყვილის შექმნა შეუძლია. მას სუსტად გამოხატული შეღწევის უნარი აქვს: მყარი სხეულებისთვის 0,1 მმ, ხოლო აირებისთვის რამდენიმე სანტიმეტრი.

რადიოაქტიური ბირთვების მიერ ***α****-ნაწილაკების გამოსხივებას* ***α****-დაშლა ჰქვია. ბირთვის მუხტი* ***α****-დაშლისას 2 ერთეულით მცირდება, მასური რიცხვი კი – 4 ერთეულით. გარდაქმნის შედეგად საწყისი ბირთვი პერიოდულ სისტემაში დასაწყისისკენ ორი უჯრით გადაინაცვლებს და სხვა ქიმიური ელემენტის ბირთვად გარდაიქმნება:*

$$^A_ZX \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^4_2He + \gamma. \qquad (1)$$

მაგ., ურანი ***α***-დაშლისას რადიოაქტიურ თორიუმად გარდაიქმნება:

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^4_2He + \gamma. \qquad (2)$$

• ***β*-გამოსხივება** – ელექტრონების, $^0_{-1}\text{e}$ (ან β^-) ან პოზიტრონების $^0_{+1}\text{e}$ (ან β^+) ნაკადია. ეს გამოსხივება ელექტრულ და მაგნიტურ ველებში ძლიერად იხრება, ვაკუუმში სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარით ვრცელდება და რამდენიმე მილიმეტრის სისქის ალუმინის ფირფიტის მიერ მთლიანად შთაინთქმება. რადიოაქტიური ბირთვების მიერ ***β***-ნაწილაკების გამოსხივებას ***β***-დაშლა ჰქვია. ***β***$^-$-დაშლისას ბირთვის მუხტის რიცხვი 1 ერთეულით იზრდება, მასური რიცხვი კი არ იცვლება. გარდაქმნის შედეგად, საწყისი

LAYTH

ბირთვი პერიოდულ სისტემაში ბოლოსკენ ერთი უჯრით გადაინაცვლებს და სხვა ქიმიური ელემენტის ბირთვად გარდაიქმნება:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}{}^{A}Y + {}_{-1}{}^{0}e. \qquad (3)$$

β^+-დაშლისას ბირთვის მუხტის რიცხვი 1 ერთეულით მცირდება, მასური რიცხვი კი არ იცვლება. გარდაქმნის შედეგად საწყისი ბირთვი პერიოდულ სისტემაში დასაწყისისკენ ერთი უჯრით გადაინაცვლებს და სხვა ქიმიური ელემენტის ბირთვად გარდაიქმნება:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}{}^{A}Y + {}_{+1}{}^{0}e. \qquad (4)$$

რადიოაქტიური ბირთვების ***β***-დაშლის მაგალითებს შემდეგი რეაქციები წარმოადგენს:

$$^{90}_{38}Sr \rightarrow {}^{90}_{39}Y + {}_{-1}{}^{0}e + \nu. \qquad (5)$$

$$^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{22}_{10}Ne + {}_{+1}{}^{0}e + \tilde{\nu}. \qquad (6)$$

რას აღნიშნავს მე-(5) და მე-(6) რეაქციებში ν და $\tilde{\nu}$?
1934 წელს იტალიური წარმოშობის ამერიკელმა ფიზიკოსმა ენრიკო ფერმიმ (1902-1954) β^--დაშლის კვანტური თეორია შეიმუშავა. ამ თეორიის თანახმად, β^--დაშლისას ბირთვის შიგნით ერთი ნეიტრონის პროტონად გარდაქმნის პროცესი მიმდინარეობს. ელექტრული მუხტის მუდმივობისა და ენერგიის შენახვის კანონების თანახმად, ამ პროცესის დროს ჩნდება ორი ნაწილაკი: ელექტრონი და ნაწილაკი, რომლის მუხტი და მასური რიცხვი ნულის ტოლია. ფერმიმ ამ ნაწილაკს ნეიტრინო უწოდა (იტალ. „neitrono“ – პატარა ნეიტრონს ნიშნავს):

$$^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{p} + {}_{-1}{}^{0}\mathrm{e} + \nu. \qquad (7)$$

ანალოგიურად, β^+-დაშლისას ბირთვის შიგნით ერთი პროტონის ნეიტრონად გარდაქმნის პროცესი მიმდინარეობს და ამ დროს ორი ნაწილაკი ჩნდება – პოზიტ-რონი და ნაწილაკი, რომლის მუხტი და მასური რიცხვი ნულის ტოლია. ეს არის ***ანტინეიტრინო:***

$$^{1}_{1}\mathrm{p} \rightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}_{+1}{}^{0}\mathrm{e} + \tilde{\nu}. \qquad (8)$$

• ***γ-გამოსხივება*** დიდი სიხშირის ($10^{18} \div 10^{20}$ჰც) ფოტონების ნაკადია. ამ ტიპის გამოსხივებას მაღალი შეღწევისუნარიანობა ახასიათებს – რამდენიმე სანტიმეტრის სისქის ტყვიის კედელიც კი მისთვის დაბრკოლებას არ წარმოადგენს. იმის გამო, რომ ეს გამოსხივება დამუხტულ ნაწილაკებს არ შეიცავს, ელექტრული და მაგნიტური ველები მასზე გავლენას არ ახდენს. ***γ***-გამოსხივება, ჩვეულებრივ, თან ახლავს ***α***- და ***β***-გამოსხივებას. ***α***- და ***β***- დაშლისას წარმოქმნილი ბირთვი აღგზნებულ მდგომარეობაშია. ძირითად მდგომარეობაში დაბრუნებისას ან მეტად აგზნებულ ენერგეტიკულ მდგომარეობაში გადასვლისას, ბირთვი ***γ***-ფოტონს გამოასხივებს. ამრიგად,

• ***γ***-გამოსხივებისას ბირთვის მუხტი და მასური რიცხვი არ იცვლება – რადიოაქტიური გარდაქმნა არ ხდება.

• ბირთვულ გარდაქმნებსა და ბირთვულ რეაქციებში მუხტისა და მასური რიცხვის შენახვის კანონები უპირობოდ სრულდება.

LAYİHƏ

გამოყენება | კვლევითი სამუშაო 2

როგორ შეიცვლება ატომის ენერგია?

ამოცანა 2. α-დაშლის შედეგად $^{238}_{92}U$ ბირთვი გარდაიქმნება $^{234}_{90}Th$ ბირთვად. განსაზღვრეთ ამ გარდაქმნისას გამოყოფილი ენერგია და α – ნაწილაკების სიჩქარე.

მოცემულია	ამოხსნა
$M_{^{238}_{92}U} = 238{,}125$ მაე $M_{^{4}_{2}He} = 4{,}00387$ მაე $M_{^{234}_{90}Th} = 234{,}116$ მაე 1 მაე $= 1{,}6605 \cdot 10^{-27}$ კგ 1 მევ $= 10^{6}$ ევ $= 1{,}6022 \cdot 10^{-13}$ ჯ. $E-?$	$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He.$ $E = \left[M_{^{238}_{92}U} - (M_{^{234}_{90}Th} + M_{^{4}_{2}He})\right] \cdot 931{,}5.$ მევ $E = \frac{M_{^{4}_{2}He} \cdot \upsilon^2}{2} \Rightarrow \upsilon = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{M_{^{4}_{2}He}}}.$

სამუშაო შედეგების ანალიზი:

- რამდენი ჯოული ენერგია გამოიყოფა α-დაშლისას? ეს ბევრია თუ ცოტა?
- რა სიჩქარით შორდება ბირთვს α-ნაწილაკი, რომელიც ბირთვის დაშლისას წარმოიქმნა?
- α-გამოსხივების რომელ თვისებას ამტკიცებს ეს ბირთვული გარდაქმნა?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ბოლოდროინდელი კვლევები აჩვენებს, რომ ყოველდღიურ ცხოვრებაში ადამიანს ყველაზე მეტად რადონის გამოსხივება ემუქრება. ამ რადიოაქტიური ინერტული აირის წყარო შეიძლება იყოს იმ შენობისთვის გამოყენებული სამშენებლო მასალები (ქვა, აგური, ცემენტი და სხვ.), რომელშიც თქვენ ცხოვრობთ, წყალი, რომელიც კარტეზიული ჭიდან მოსახლეობას მიეწოდება, ბუნებრივი აირის წვის პროდუქტები და სხვ. სპეციალისტები გვირჩევენ, რომ ხშირად გავანიავოთ ოთახები, რათა მასში ამ გამოსხივების ნაწილაკების კონცენტრაცია შემცირდეს.

- რომელი ბირთვი გარდაიქმნა რადიოაქტიურ რადონად α-დაშლის შედეგად?

$$? \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He + \gamma.$$

■შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	რომელ ნივთიერებას ეწოდება სტაბილური და რომელს რადიოაქტიური?			
2	ჩამოთვალეთ α-, β- და γ- გამოსხივების თვისებები.			
3	როგორ განვსაზღვროთ α- და β-გამოსხივებაში ელექტრული მუხტების ნიშნები?			
4	რომელი სიდიდეების შენახვის კანონები სრულდება რადიოაქტიური დაშლის დროს?			
5	რას აღნიშნავს ν და $\tilde{\nu}$ სიმბოლოები რადიოაქტიური β-დაშლის განტოლებებში?			
6	როგორ აიხსნება γ-გამოსხივების წარმოქმნის მექანიზმი?			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულში ესე თემაზე: „რადიოაქტიურობა და რადიოაქტიური გარდაქმნები“.

LAYTHO

4.9. რადიოაქტიური დაშლის კანონი

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა•

ფიზიკა – 9

• ყოველი რადიოაქტიური ნივთიერებისთვის არსებობს დროის განსაზღვრული შუალედი, რომლის განმავლობაშიც ნივთიერებაში ბირთვების საწყისი რაოდენობის ნახევარი იშლება.

• *ნახევრად დაშლის პერიოდი ეწოდება დროის იმ შუალედს, რომლის განმავლობაშიც რადიოაქტიური ბირთვების საწყისი რაოდენობის ნახევარი იშლება. ნახევრად დაშლის პერიოდი T ასოთი აღინიშნება. SI სისტემაში მისი ერთეულია – წამი.*

ნივთიერებაში იმ ბირთვების რაოდენობა, რომელიც $t_n = nT$ დროის შემდეგ არ დაიშალა, რადიოაქტიური ნახევრად დაშლის კანონის თანახმად, ასე გამოისახება:

$$N = \frac{N_0}{2^n} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}.$$

რადიოაქტიური დაშლის კანონი 1902 წელს ე. რეზერფორდმა და ფ. სოდიმ აღმოჩინეს. ეს კანონი საშუალებას გვაძლევს, განვსაზღვროთ დაუშლელი, რადიოაქტიური ბირთვების რაოდენობა დროის ნებისმიერ მომენტში. თითოეულ რადიოაქტიურ იზოტოპს თავისი ნახევრად დაშლის პერიოდი აქვს. მაგ., ურანი-238-ის იზოტოპის ნახევრად დაშლის პერიოდი 4,5 მილიარდი წელია, რადიუმ-226-ის კი – 1600 წელი.

■ 1960 წელს ფიზიკოსი ფრენკ ლიბი (1908-1980, აშშ) ქიმიაში ნობელის პრემიაზე წარადგინეს გეოქრონოლოგიაში რადიოაქტიური ნახშირბადის მეთოდის აღმოჩენისთვის. ამ მეთოდის დახმარებით შესაძლებელი გახდა იმ არქეოლოგიური აღმოჩენების ხნოვანების დადგენა, რომლებიც დედამიწისა და ცივილიზაციის „ისტორიული პერიოდის“ მოვლენებს ასახავდა: დაწყებული კლდეზე შესრულებული ნახატებიდან ეგვიპტის ფარაონების პირამიდებამდე, „გამყინვარების პერიოდიდან“ მცენარეთა და ცხოველთა სამყაროს განადგურებამდე.

• ***რატომ უწოდებენ გეოქრონოლოგიას რადიოაქტიური ნახშირბადის მეთოდს?***

• ***რომელ ფიზიკურ მოვლენაზეა დაფუძნებული რადიოაქტიური ნახშირბადის მეთოდი?***

კვლევითი სამუშაო 1 *რა წლოვანებისაა ნამარხი?*

ამოცანა 1. აღმოჩენილი არქეოლოგიური ხაძარხის ლაბორატორიულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მის შემადგენლობაში რადიოაქტიური ნახშირბადის ($^{14}_{6}C$) იზოტოპის პროცენტი რვაჯერ შემცირდა. რა წლოვანებისაა ნამარხი, თუ რადიოაქტიური ნახშირბადის ($^{14}_{6}C$) ნახევრად დაშლის პერიოდი 5700 წელია?

სამუშაო შედეგების განხილვა:

• რას არის ნივთიერების ნახევრად დაშლის პერიოდი?

• ნახევრად დაშლის პერიოდის გარდა, კიდევ რა დამატებითი პარამეტრის ცოდნაა საჭირო იმისათვის, რომ არქეოლოგიური ნამარხის წლოვანების განსაზღვრა შევძლოთ?

ნივთიერების რადიოაქტიურ გარდაქმნების კვლევისას რეზერფორდმა დაადგინა:

– რადიოაქტიური ნივთიერებების აქტიურობა ამ ნივთიერების მასის პროპორციულია;

– ერთი და იმავე რადიოაქტიური ნივთიერებისთვის არსებობს დროის სტაბილური შუალედი, რომლის განმავლობაშიც აქტიურობა საშუალოდ 2-ჯერ მცირდება. ამასთან, შემცირება ნივთიერების მდგომარეობაზე (იმაზე, არის თუ არა ნივთიერება სხვა ნივთიერებაში მინარევის სახით, ტემპერატურაზე, წნევაზე და ა.შ.) დამოკიდებულიარ არის;

– სხვადასხვა ნივთიერებებისთვის რადიოაქტიურობის შემცირების სიჩქარე განსხვავებულია.

ამრიგად, ცნება „ნახევრად დაშლის პერიოდი“, მეცნიერებაში რადიოაქტიურობის შემცირების სიჩქარეს ახასიათებს.

LAYOUT

• *ნახევრად დაშლის პერიოდი დროის ის შუალედია, რომლის განმავლობაშიც რადიოაქტიური ბირთვების საშუალოდ ნახევარი იშლება.*

თუ გავითვალისწინებთ, რომ თითოეული რადიოაქტიური ნივთიერებისთვის ნახევრად დაშლის პერიოდი მუდმივი სიდიდეა, მარტივად შევძლებთ, დავადგინოთ რადიოაქტიური ბირთვების გარდაქმნის (აქტიურობის შემცირების) კანონი. ვთქვათ, დროის საწყის მომენტში ($t_0 = 0$) რადიოაქტიური ბირთვების რაოდენობა N_0. ნახევრად დაშლის პერიოდის შემდეგ ($t_1 = T$) რადიოაქტიური ბირთვების რაოდენობა 2-ჯერ შემცირდება:

$$N_1 = \frac{N_0}{2}.$$

დროის კიდევ ერთი ასეთი შუალედის შემდეგ (ანუ, $t_2 = 2T$), რადიოაქტიური ბირთვების რაოდენობა კვლავ 2-ჯერ შემცირდება:

$$N_2 = \frac{N_1}{2} = \frac{N_0}{2^2}.$$

თუ მსჯელობას გავაგრძელებთ, დავადგენთ რადიოაქტიური ბირთვების შემცირების კანონზომიერებას:

$$\left.\begin{array}{lll} t_1 = T & \rightarrow & N_1 = \dfrac{N_0}{2} \\ t_2 = 2T & \rightarrow & N_2 = \dfrac{N_0}{2^2} \\ t_3 = 3T & \rightarrow & N_3 = \dfrac{N_0}{2^3} \end{array}\right\} \quad t_n = nT \quad \rightarrow \quad N = \frac{N_0}{2^n}. \qquad (1)$$

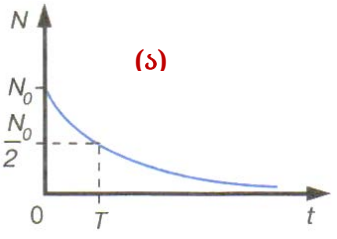
რადიოაქტიური (დაუშლელი) ბირთვების რაოდენობა, დროის ნებისმიერ t მომენტში, განისაზღვრება ფორმულით:

$$N = N_0 \cdot 2^{-n}. \qquad (2)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $n = \frac{t}{T}$, მე-(2)-დან მივიღებთ ფორმულას, რომელიც რადიოაქტიური დაშლის კანონს გამოსახავს:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}. \qquad (3)$$

სადაც N იმ დაუშლელი ბირთვების რაოდენობაა, რომელიც რადიოაქტიური გარდაქმნის შემდეგ დარჩა. ამ ფორმულის თანახმად, ჩვენ შეგვიძლია გრაფიკულად აღვწეროთ ნებისმიერ ნივთიერებაში რადიოაქტიური ბირთვების რაოდენობის შემცირება დროის მიხედვით ***(ა)***.



(ა)

დაშლილი ბირთვების რაოდენობა, დროის ნებისმიერ t მომენტში, განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right). \qquad (4)$$

მე-(4) ფორმულიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ, რადიოაქტიური ბირთვების საწყისი რაოდენობის რა ნაწილი დაიშალა:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = 1 - \frac{N}{N_0} = 1 - 2^{-\frac{t}{T}}. \qquad (5)$$

გარდა ნახევრად დაშლის პერიოდისა, რადიოაქტიური ბირთვების მახასიათებელია სიცოცხლის საშუალო დრო (τ – ტაუ), რომელიც ნახევრად დაშლის პერიოდთან ასეთ თანაფარდობაშია:

$$\tau = 1{,}44T. \qquad (6)$$

LAYiHO

• *დროის* t *მომენტში დაუშლელი ბირთვების რაოდენობის შეფარდებას სიცოცხლის საშუალო დროსთან რადიოაქტიური ბირთვების აქტიურობა ჰქვია:*

$$A = \frac{N}{\tau}. \qquad (7)$$

რადიოაქტიური ბირთვების აქტიურობის ფიზიკური აზრი ასეთია: ის გვიჩვენებს დროის ერთეულში რადიოაქტიური დაშლების რაოდენობას ბირთვში. დროის მიხედვით, აქტიურობა იმავე კანონის მიხედვით მცირდება, რომლისაც რადიოაქტიური ბირთვების რაოდენობა:

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}. \qquad (8)$$

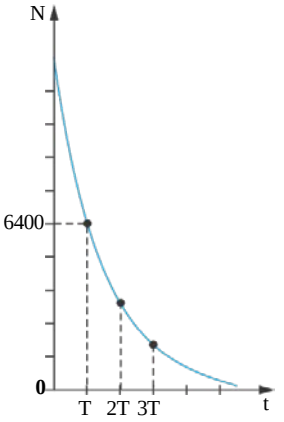
SI სისტემაში აქტიურობის ერთეულია 1 ბეკერელი (1 ბკ): 1 ბკ ისეთი რადიოაქტიური ნივთიერების აქტიურობაა, რომელშიც 1 წმ-ში 1 დაშლა ხდება.

გამოყენება

კვლევითი სამუშაო 2

რამდენი დაუშლელი ბირთვი დარჩება $t = 3T$ ***დროის შემდეგ?***

ამოცანა 2. ნივთიერების რადიოაქტიური დაშლის კანონის გრაფიკიდან განსაზღვრეთ, რამდენი დაუშლელი ბირთვი დარჩება t = 3T დროის შემდეგ.



სამუშაოს შედეგების განხილვა:

• რამდენი რადიოაქტიური ბირთვი იყო ნივთიერებაში დროის საწყის მომენტში t = 0?

• რამდენი დაუშლელი ბირთვი დარჩება $t_1 = 2T$ დროის შემდეგ?

• რამდენი დაუშლელი ბირთვი დარჩება $t_2 = 3T$ დროის შემდეგ?

მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

დღე-ღამის განმავლობაში ბინაში რადიოაქტიური აირის, რადონის, ბირთვების რაოდენობა 16-ჯერ შემცირდა. რის ტოლია რადონის ნახევრადდაშლის პერიოდი?

•რომელი ფორმულით განსაზღვრეთ რადიოაქტიური ბირთვების ნახევრად დაშლის პერიოდი?

• როგორ შეიცვალა რადონის რადიოაქტიურობა ამ დროის განმავლობაში?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	კითხვები	ვიცი		
		ცუდად	საშუალოდ	კარგად
1	ჩამოაყალიბეთ რადიოაქტიური დაშლის კანონი და დაწერეთ მისი ფორმულა.			
2	რადიოაქტიური ელემენტის რა ნაწილი იშლება ნახევრად დაშლის ორ პერიოდში?			
3	რადიოაქტიური ელემენტის რა ნაწილი არ იშლება ნახევრად დაშლის სამ პერიოდში?			
4	რატომ არ დაიშალა დედამიწაზე არსებული რადიოაქტიური ბირთვები ამ დრომდე?			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულში ესე თემაზე: „რადიოაქტიური დაშლის კანონი“.

LAYIHO

4.10. ბირთვული რეაქცია

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა • ფიზიკა – 9

• ბირთვების ერთმანეთთან ან ბირთვის ელემენტარულ ნაწილაკთან ურთიერთქმედების შედეგად ატომის ბირთვის სხვა ატომის ბირთვად გარდაქმნის პროცესს ბირთვული რეაქცია ჰქვია.

ბირთვული რეაქციის განხორციელებისთვის აუცილებელია, რომ ურთიერთმოქმედი ნაწილაკები ან ბირთვები ერთმანეთს მიუახლოვდნენ მანძილზე, რომელიც ბირთვული ძალების მოქმედების რადიუსის რიგისაა ($\approx 10^{-15}$ მ). ამისათვის, საჭიროა, ნაწილაკს დიდი კინეტიკური ენერგია მივანიჭოთ. ამ მიზნით იყენებენ სპეციალურ დანადგარს, რომელსაც *ელემენტარული ნაწილაკების აჩქარებელი* ჰქვია. პირველი ბირთვული რეაქცია აჩქარებული ნაწილაკით (პროტონით) 1932 წელს განხორციელდა. ეს იყო რეაქცია, რომელშიც ლითიუმის ბირთვი ჰელიუმის ორ ბირთვად გარდაიქმნა:

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + ^{1}_{1}\mathrm{p} \rightarrow ^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{4}_{2}\mathrm{He}.$$

ნეიტრონის აღმოჩენამ მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა ბირთვული რეაქციების შესწავლაში. მაგალითად, ელექტრულად ნეიტრალურ ნეიტრონს აჩქარების გარეშეც კი დაუბრკოლებლად შეუძლია ატომის ბირთვში შესვლა და სხვა ბირთვად მისი გადაქცევა.

■ 1911 წელს ე. რეზერფორდმა ატომის პლანეტური მოდელი თავისი ცნობილი ექსპერიმენტის შედეგებზე დაყრდნობით წარმოადგინა. მეცნიერი ექსპერიმენტში ოქროს ატომებს ($^{197}_{79}Au$) α-ნაწილაკებით ($^{4}_{2}He$-ის ბირთვებით) ბომბავდა. ამ ექსპერიმენტში ოქროს ატომებში ცვლილება არ აღმოჩდა. ერთადერთი და მნიშვნელოვანი აღმოჩენა იყო ის, რომ ოქროს ატომის ბირთვებთან შეჯახებისას 2000 α-ნაწილაკიდან მხოლოდ ერთი ბრუნდებოდა უკან, თავდაპირველი გავრცელების მიმართულებიდან 180 გრადუსით გადახრილი. 1919 წელს კი რეზერფორდის მიერ α-ნაწილაკებით აზოტის ატომის $^{14}_{7}N\alpha$ ბირთვების დაბომბვისას ახალი ქიმიური ელემენტის ბირთვი და დამატებითი ნაწილაკი წარმოიქმნა.

• ***α-ნაწილაკებით მძიმე ბირთვების ბომბარდირებისას ამ ბირთვებში გარდაქმნა არ ხდება, „მსუბუქი“ ბირთვების დაბომბვისას კი ბირთვები გარდაიქმნება. ახსენით, რატომ?***

კვლევითი სამუშაო 1 ***რა განსხვავებაა რეაქციებს შორის?***

ამოცანა 1. განსაზღვრეთ უცნობი იზოტოპი მოცემულ რეაქციებში.

1) $^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \rightarrow ? + ^{4}_{2}He$; 2) $^{8}_{3}Li \rightarrow ? + ^{0}_{-1}e$; 3) $^{239}_{94}Pu \rightarrow ? + ^{4}_{2}He$; 4) $^{10}_{5}B + ^{4}_{2}He \rightarrow ? + ^{1}_{0}n$.

სამუშო შედეგების განხილვა:

• რომელი რეაქცია გამოსახავს ბირთვულ გარდაქმნაა და რომელი ბირთვულ რეაქციას? რატომ?

ბირთვული რეაქციის დახასიათება და ენერგიის მუდმივობის კანონი. ბირთვული რეაქციები შეიძლება განსხვავდებოდეს ერთმანეთისგან იმის მიხედვით, თუ რომელი ნაწილაკები ურთიერთქმედებენ და როგორია მათი ენერგია:

1. ბირთვი იმ ნაწილაკს ჩაიჭერს, რომელთანაც ურთიერთქმედებს, გამოასხივებს რამდენიმე გამაკვანტს და საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდება. ამ დროს ბირთვში გარდაქმნა არ ხდება.
2. დაბომბვისას ბირთვი ნაწილაკს ჩაიჭერს და დიდი მასური რიცხვის მქონე ახალ ბირთვად გარდაიქმნება. ასეთი ბირთვი, ჩვეულებრივ, აგზნებულ მდგომარეობაში იმყოფება. გამოასხივებს ნაწილაკს (ნეიტრონს, პროტონს, ელექტრონს, α-ნაწილაკს და სხვ.) და სხვა ელემენტის ბირთვად გარდაიქმნება.
3. ბირთვი ნაწილაკის ჩაჭერის შემდეგ ნამსხვრევებად გაიხლიჩება და ისინი, თავის მხრივ, გამოასხივებენ ნაწილაკს და სხვა ელემენტების ბირთვებად გარდაიქმნებიან.

ბირთვული რეაქციები სიმბოლურად ასე ჩაიწერება:

$$^{A}_{Z}X + a \rightarrow ^{A'}_{Z'}Y + b; \qquad (1)$$

სადაც X საწყისი ბირთვია, a-ნაწილაკი, რომლითაც საწყის ბირთვს ბომბავენ, Y- მიღებული ახალი ბირთვი, b – რეაქციის დროს მიღებული ნაწილაკი.

LAYING

ბირთვული რეაქციების დროს ენერგიის, მასური რიცხვისა და მუხტის შენახვის კანონები სრულდება. ასეთ რეაქციებში ბირთვები გარდაიქმნება და ამიტომ მათი შინაგანი ენერგია და შესაბამისად, მათი ბმის კუთრი ენერგია იცვლება. შედეგად ნაწილაკის კინეტიკური ენერგია ენერგიის მუდმივობის კანონის შესაბამისად იცვლება.

• *იმ ნაწილაკის კინეტიკური ენერგიის ცვლილებას, რომელიც ბირთვულ რეაქციაში მონაწილეობს, ბირთვული რეაქციის ენერგეტიკული გამოსავალი ჰქვია:*

$$\Delta E = E_K^{'} - E_K. \qquad (2)$$

სადაც E_K და $E_K^{'}$ – შესაბამისად იმ ნაწილაკის კინეტიკური ენერგიის საწყისი და საბოლოო მნიშვნელობაა, რომელიც ბირთვულ რეაქციაში მონაწილეობს. ΔE ბირთვული რეაქციის ენერგეტიკული გამოსავალია.

თუ ბირთვული რეაქციის ენერგეტიკული გამოსავალი $\Delta E > 0$, მაშინ ასეთ რეაქციას *ეგზოთერმული ბირთვული რეაქცია* ჰქვია. რადგან ეგზოთერმულ ბირთვულ რეაქციაში საწყისი ნაწილაკების ჯამური მასა წარმოქმნილი ნაწილაკების ჯამურ მასაზე მეტია, ეს რეაქცია ენერგიის გამოყოფით მიმდინარეობს.

თუ ბირთვული რეაქციის ენერგეტიკული გამოსავალი $\Delta E < 0$, მაშინ ასეთ რეაქციას *ენდოთერმული ბირთვული რეაქცია* ჰქვია. რადგან ენდოთერმულ ბირთვულ რეაქციაში საწყისი ნაწილაკების ჯამური მასა წარმოქმნილი ნაწილაკების ჯამურ მასაზე ნაკლებია, ეს რეაქცია ენერგიის შთანთქმით მიმდინარეობს.

ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, მე-(2) ფორმულა შეიძლება ბირთვების ბმის ენერგიათა სხვაობის სახით ჩავწეროთ:

$$\Delta E = E_{\text{св.}}^{'} - E_{\text{св.}}. \qquad (3)$$

ან

$$\Delta E = (m_1 - m_2)c^2 = (m_1 - m_2) \cdot 931{,}5\ \text{მევ}. \qquad (4)$$

სადაც m_1 საწყისი ნაწილაკების ჯამური მასაა, m_2 – წარმოქმნილი (საბოლოო) ნაწილაკების ჯამური მასა.

• *ბირთვული რეაქციის ენერგეტიკული გამოსავალი საწყისი და წარმოქმნილი ბირთვების ბმის ენერგიათა სხვაობის ტოლია.*

ნ. ბორის წარმოდგენების თანახმად, ბირთვული რეაქციები ორ ეტაპად მიმდინარეობს.

პირველ ეტაპზე: საწყისი ბირთვი ნაწილაკს შთანთქავს და მიღებული ნაერთი ბირთვი აგზნებულ მდგომარეობაში გადადის. ენერგია ამ ბირთვის ყველა ნუკლონს შორის გადანაწილდება. ნუკლონები ერთმანეთს ენერგიას გადასცემენ (გაუცვლიან) და შედეგად ერთი ან რამდენიმე მათგანის ენერგია იმდენად დიდი შეიძლება გახდეს, რომ საკმარისი იყოს ბირთვული ძალების დასაძლევად.

მეორე ეტაპზე: ნაერთი ბირთვი ძალიან მოკლე დროში $(\approx 10^{-14} \div 10^{-12}\text{c})$ *ზედმეტ ენერგიას გამოასხივებს და დაბრუნდება მინიმალური ენერგიის მდგომარეობაში – სტაბილურ მდგომარეობაში. შედეგად აგზნებული ნაერთი ბირთვის სხვა ბირთვად გარდაიქმნება და ახალი ნაწილაკი ჩნდება.*

$$^{A}_{Z}X + a \rightarrow (C_{\text{составное}})^* \rightarrow {}^{A'}_{Z'}Y + b. \qquad (5)$$

პირველი ბირთვული რეაქციები. პირველი ხელოვნური ბირთვული რეაქცია 1919 წელს რეზერფორდმა განახორციელა. ეს იყო რეაქცია, რომლის დროსაც აზოტი ჟანგბადად გარდაიქმნა და პროტონი აღმოაჩინეს:

$$^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow (^{18}_{9}Fe)^* \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}p.$$

1932 წელს რეზერფორდის მოსწავლემ ჯეიმს ჩედვიკმა (1891-1974) ნეიტრონი აღმოაჩინა რადიოაქტიური გარდაქმნის რეაქციაში, რომელშიც ბერილიუმის ბირთვები ნახშირბადის იზოტოპად α-ნაწილაკებით დაბომბვის შედეგად გარდაიქმნა.

$$^{9}_{4}B + {}^{4}_{2}He \rightarrow (^{13}_{6}C)^* \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n.$$

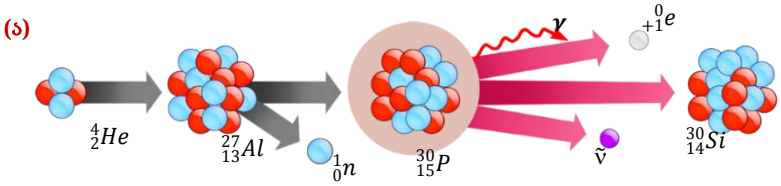
LAYTHO

1934 წელს ფრანგმა ფიზიკოსებმა ფრედერიკო ჟოლიო-კიურიმ (1890-1958) და ირენ ჟოლიო-კიურიმ (1897-1956) ბირთვული რეაქციის მიმდინარეობისას პირველად მიიღეს ფოსფორის რადიოაქტიური იზოტოპი:

$$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \rightarrow (^{31}_{15}P)^{*} \rightarrow \ ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n.$$

შემდგომში იზოტოპი $^{30}_{15}P$ თავისთავად გარდაიქმნა $^{30}_{14}Si$ იზოტოპად პოზიტრონის გამოსხივებით β^{+} *(ა)*.

$$^{30}_{15}P \rightarrow \ ^{30}_{14}Si + \ ^{0}_{+1}e + \tilde{\nu}.$$



გამოყენება **კვლევითი სამუშაო** **2** ***შეგიძლიათ თუ არა რეაქციის დაწერა?***

ამოცანა 2. ნეიტრონებით რკინის $^{56}_{26}Fe$ ბირთვების დაბომბვისას წარმოიქმნება მანგანუმის β^{-} რადიოაქტიური ნუკლიდი, რომლის მასური რიცხვია A = 56. დაწერეთ მანგანუმის მიღებისა და β^{-} დაშლის რეაქცია.

სამუშაო შედეგების განხილვა:

- რომელი ნაწილაკები წარმოიქმნება ამ რეაქციის შედეგად?
- ამ რეაქციებიდან რომელია ბირთვული რეაქცია? რატომ?

■მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

გამოთვალეთ ენერგია ჰელიუმის $^{4}_{2}He$ ბირთვის წარმოქნისას შემდეგ ბირთვულ რეაქციაში: $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$

მინიშნება. გამოიყენეთ მე-(4) ფორმულა და 4.4. ცხრილის მონაცემები.

- რა შედეგით დასრულდება ეს ბირთვული რეაქცია: ენერგიის გამოყოფით თუ შთანთქმით? რატომ?

■შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რას ნიშნავს ენერგიის მუდმივობის კანონის სამართლიანობა ბირთვულ რეაქციებში? მოიყვანეთ მაგალითები.			
2	როგორ გამოითვლება ბირთვული რეაქციის ენერგეტიკული გამოსავალი?			
3	რა შემთხვევაში სრულდება ბირთვული რეაქცია ენერგიის გამოყოფით და რა შემთხვევაში – შთანთქმით?			
4	რას ნიშნავს მასური რიცხვისა და მუხტის შენახვის კანონის სამართლიანობა ბირთვულ რეაქციებში? მოიყვანეთ მაგალითები			
5	$^{204}_{82}Pb + ^{40}_{18}Ar \rightarrow ? + 2^{1}_{0}nu\ ^{22}_{10}Ne + \ ^{242}_{94}Pu \rightarrow ? + 4^{1}_{0}n$ ბირთვული რეაქციების შედეგად მიიღეს ორი ქიმიური ელემენტი, რომლებიც მანამდე დედამიწაზე არ არსებობდა. რომელია ეს ელემენტები?			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულში ესე თემაზე: „ბირთვული რეაქცია“.

LAYTIP

4.11. ურანის ბირთვის გაყოფა. ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9

მძიმე ბირთვებით ნეიტრონებით დაბომბვისას, ერთნაირ პირობებში ჩატარებულ ცდებში, უცნაური მოვლენები დაიმზირება: ა) წარმოიქმნება პერიოდული სისტემის შუა ნაწილის ელემენტების ბირთვები; ბ) წარმოიქმნება ნეიტრონების ახალი თაობა; გ) ახალი ნეიტრონები მონაწილეობენ ახალ ბირთვული გაყოფის რეაქციებში და ეს პროცესი მზარდ რეჟიმში მეორდება; დ) გამოიყოფა დიდი რაოდენობის ენერგია. ურანის ბირთვის გაყოფის რეაქციაში წარმოქმნილი ახალი „თაობის“ ნეიტრონების ურანის ახალ ბირთვებთან შეჯახებისას ამ უკანასკნელთა გაყოფა ხდება. ყოველ ასეთი რეაქციაში ჩნდება ნეიტრონების შემდეგი თაობა, რომელთაც სხვა ბირთვების გაყოფის უნარი აქვთ. ამრიგად, პირველადი ნეიტრონების გავლენით ურანის ბირთვების გაყოფის გრძელი ჯაჭვი წარმოიქმნება.

• ***ჯაჭვური რეაქცია*** – *ურანის გაყოფილი ბირთვების რაოდენობის მზავისებრი ზრდაა.*

ჯაჭვური ბირთვული რეაქციის განხორციელებისთვის აუცილებელია ორი პირობის შესრულება:

I პირობა: ჯაჭვური რეაქციის დროს ნეიტრონების გამრავლების კოეფიციენტი 1-ის ტოლი ან მასზე მეტი უნდა იყოს.

• ნეიტრონების გამრავლების კოეფიციენტი ეწოდება ჯაჭვურ რეაქციაში მოცემული თაობის ნეიტრონების რიცხვის შეფარდებას წინა თაობის ნეიტრონების რიცხვთან:

$$k = \frac{N_{\text{მომდევნო}}}{N_{\text{წინა}}}.$$

ჯაჭვური ბირთვული რეაქციის განხორციელებისთვის ნეიტრონების გამრავლების კოეფიციენტი უნდა იყოს: $k \geq 1$.

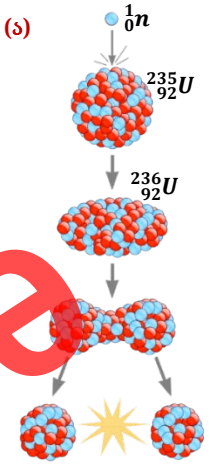
თუ $k > 1$, ბირთვების გამყოფი ნეიტრონების რიცხვი დროის მიხედვით იზრდება და უმართავი ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია მიმდინარეობს, რომელიც აფეთქებით მთავრდება. თუ გამრავლების კოეფიციენტი $k < 1$, ნეიტრონების რიცხვი თანდათან შემცირდება და რეაქცია შეწყდება. თუ გამრავლების კოეფიციენტი $k = 1$, ბირთვების გამყოფი ნეიტრონების რიცხვი არ იცვლება და მართული ჯაჭვური რეაქცია მიმდინარეობს.

II პირობა: ურანის მასა განსაზღვრულ, ე.წ. კრიტიკულ მასაზე ნაკლები არ უნდა იყოს.

• ურანის მასის მინიმალურ მნიშვნელობას, რომელიც ჯაჭვური რეაქციის მიმდინარეობისთვისაა საჭირო, კრიტიკული მასა ჰქვია.

ატომის ბირთვის გაყოფის პროცესი ნილს ბორმა ბირთვის წვეთური მოდელის საფუძველზე ახსნა. მისი აზრით, ბირთვი მოგვაგონებს სითხის წვეთს, რომელიც ნუკლონებისგან შედგება. ეს წვეთი ნეიტრონებთან შეჯახებისას აღიგზნება. შედეგად ნუკლონებს შორის მოქმედ ძალებს შორის წონასწორობა ირღვევა. ბირთვი დეფორმირდება, გაწელილ ფორმას იღებს და ნუკლონები მის ბოლოებზე ერთმანეთის მიმართ წანაცვლდებიან. საბოლოოდ დგება მომენტი, როცა ბირთვი ორ ნაწილად (ნამსხვრევებად) გაიხლიჩება და ეს ნაწილები ძალიან დიდი კინეტიკური ენერგიით სხვადასხვა მხარეს გაიტყორცნება *(ა)*.

(ა)



• აგზნებული ბირთვის ნუკლონებს შორის მოქმედ რომელ ძალებს შორის ირღვევა წონასწორობა ნეიტრონის ჩაჭერის შემდეგ?

• რატომ აქვს ნამსხვრევებს ბირთვის გაყოფისას ძალიან დიდი კინეტიკური ენერგია?

• რის ტოლია ამ ნამსხვრევების ჯამური კინეტიკური ენერგია, ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად?

• ქიმიური ელენტების პერიოდული სისტემის რომელი ელემენტები შეიძლება აღმოჩნდეს ის ნამსხვრევები, რომლებიც ბირთვის გაყოფისას წარმოიქმნა?

LAYTHE

კვლევითი სამუშაო 1

შეგიძლიათ თუ არა დაწეროთ ბირთვის გაყოფის რეაქცია და ბირთვის რადიოაქტიური β^- გარდაქმნა?

ამოცანა 1. ურანის $^{235}_{92}U$ ბირთვის ნეიტრონებით დაბომბვისას ორი ბირთვი წარმოიქმნა: სტრონციუმ-95-ის β^- რადიოაქტიური ბირთვი და ქსენონი-139-ის β^- რადიოაქტიური ბირთვი. დაწერეთ ამ ბირთვები მიღების რეაქციები β^- რადიოაქტიური გარდაქმნისას.

სამუშაოს შედეგების განხილვა:

- კიდევ რომელი ნაწილაკები წარმოიქმნა ურანის $^{235}_{92}U$ ბირთვის გაყოფისას?

ურანის ბირთვის გაყოფა. „მძიმე“ ბირთვების (ელემენტების, რომლებიც ქიმიური ელემენტების პერიოდული სისტემის ბოლოსკენაა განლაგებული) ბირთვული გაყოფა ბირთვული რეაქციების განსაკუთრებული სახეა. ასეთ რეაქციებს დიდი რაოდენობით ენერგიის გამოყოფა ახლავს თან. ეს ნუკლონების ბმის კუთრი ენერგიის გრაფიკიდან (იხ. თემა 4.7) ჩანს. მაგ., ურანის $^{235}_{92}U$ ბირთვის ბმის კუთრი ენერგია $\approx 7{,}6\ \frac{მევ}{ნუკლონი}$-ს შეადგენს. პერიოდული სისტემის შუაში განლაგებული ქიმიური ელემენტების ბირთვებს მაქსიმალური ბმის კუთრი ენერგია აქვს – $\approx 8{,}8\ \frac{მევ}{ნუკლონი}$-მდე. რაც ნიშნავს, რომ მძიმე ბირთვების 2-3 შედარებით მსუბუქ ნამსხვრევად გაყოფისას, თითოეულ ნუკლონზე მოსული ბმის ენერგია ≈1 მევ რიგის სიდიდით იზრდება. ურანის თითოეულ ბირთვში 235 ნუკლონია, ანუ ერთი ბირთვის გაყოფის რეაქციაში ≈ 200 მევ ენერგია გამოიყოფა. ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, ასეთივე რაოდენობის ენერგია გამოიყოფა თითოეული ბირთვის გაყოფისას. ეს თეორიული გამოთვლები დამტკიცებული იყო 1939 წელს ჩატარებული დამოუკიდებელი ექსპერიმენტებით, რომლებსაც გერმანელი მეცნიერები ოტო განი (1879-1968) და ფრიც შტრასმანი (1902-1980), ავსტრიელი მეცნიერი ლიზე მიტნერი (1878-1968) და ოტო ფრიშე (1904-1974) ხელმძღვანელობდნენ. მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგად დაადგინეს, რომ ურანის $^{235}_{92}U$ ბირთვი ნეიტრონებით დაბომბვისას ორ რადიოაქტიურ ბირთვნამსხვრევად იყოფა, რომლებსაც დაახლოებით ერთნაირი მასური რიცხვები აქვთ. ყოველი ასეთი გაყოფისას 2-3 ახალი ნეიტრონი წარმოიქმნება და ≈200 მევ ენერგია გამოიყოფა:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow (^{236}_{92}U)^* \rightarrow ^{140}_{55}Cs + ^{194}_{37}Rb + 2^{1}_{0}n + 200МэВ.$$

წარმოქმნილი ბირთვ-ნამსხვრევები, ჩვეულებრივ, β^- რადიოაქტიურობით ხასიათდება. ამიტომ რამდენიმე β^--დაშლის შემდეგ ისინი სტაბილურ იზოტოპებად გარდაიქმნება ***(ბ)***.

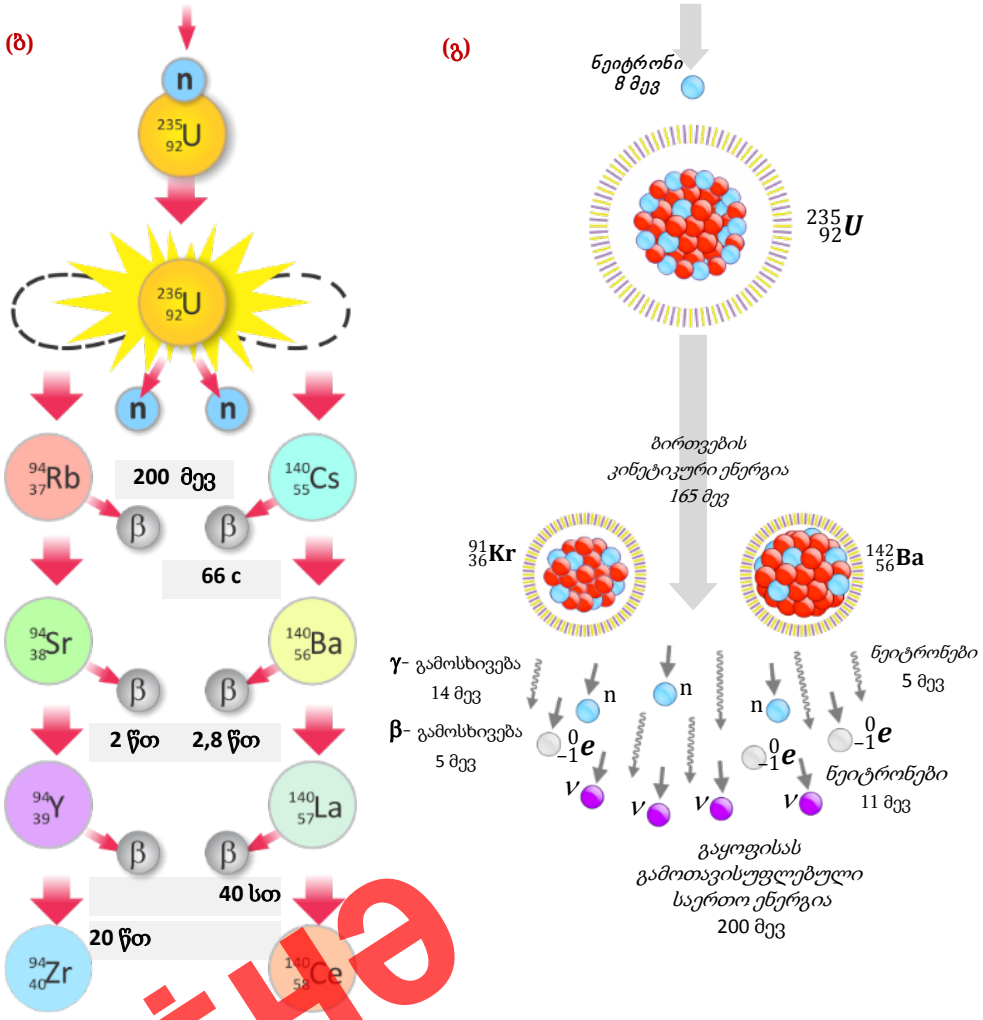
ამ ნამსხვრევების ჯამური კინეტიკური ენერგია (≈165 მევ) სრული ენერგიის ძირითად ნაწილს შეადგენს, დანარჩენი ნაწილი კი ბირთვის გაყოფისას გამოთავისუფლებული სხვადასხვა გამოსხივების ენერგიაა ***(გ)***.

ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია. ურანის ყოველი ბირთვის გაყოფის პროცესი, რომელსაც თან ახლავს ახალი „თაობის“ 2-3 ნეიტრონის წარმოქმნა, გაყოფისას გამოყოფილი ენერგიის პრაქტიკული გამოყენების თვალსაჩინო ფაქტია.

LAMPI

პირველი რეაქციისას გამოთავისუფლებულმა ნეიტრონებმა სხვა ბირთვებთან შეეჯახებისას, შესაძლებელია, მათი გახლეჩა გამოიწვიოს და ამ დროს წარმოიქ-მნას გაყოფის უნარის მქონე ნეიტრონების მომდევნო „თაობა“. ამრიგად, პირველადი ნეიტრონების მოქმედებით ურანის ბირთვის გაყოფის ჯაჭვური რეაქცია განხორ-ციელდება *(დ)*.

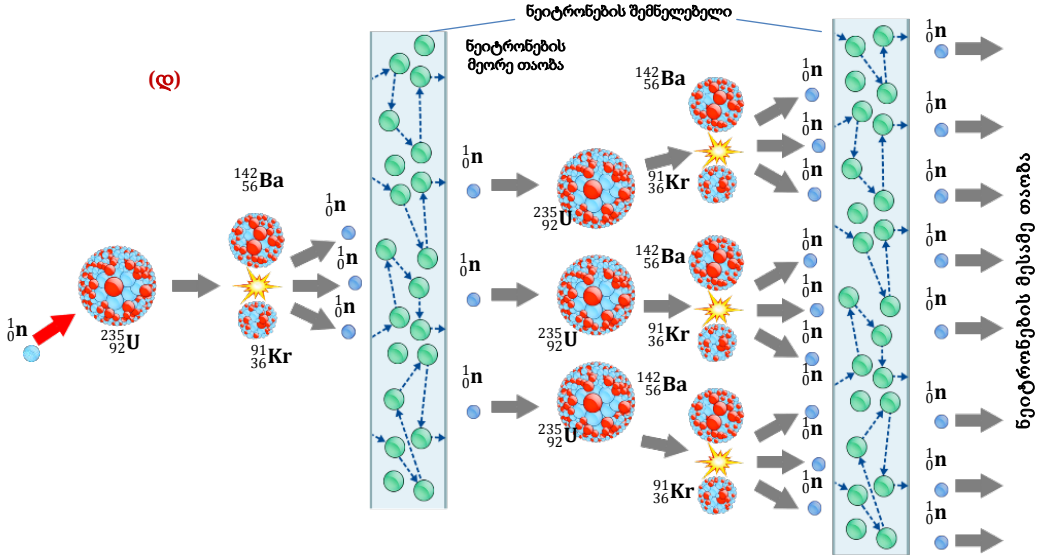
- *ჯაჭვური რეაქცია – რეაქცია, რომელსაც იწვევს ნაწილაკი (ნეიტრონი). ეს ნაწი-ლაკი გაჩნდა როგორც წინა რეაქციის პროდუქტი და მომდევნო რეაქციების განმახორ-ციელებელია.*



თუ ჯაჭვური რეაქციის განხორციელებისას ურანის გაყოფილი ბირთვების რიცხვი და ახალი „თაობის“ ნეიტრონების წარმოქმნა ზვავისებურად იზრდება, რეაქცია უმართავია და აფეთქება ხდება. სწორედ ამაზეა დაფუძნებული ატომური ბომბის მოქ-მედება.

LAYTHD

თუ ჯაჭვურ რეაქციაში ურანის გაყოფილი ბირთვების რიცხვი მუდმივია, რეაქცია სტაბილურად, აფეთქების გარეშე მიმდინარეობს. ასეთ ჯაჭვურ რეაქციას მართვადი რეაქცია ჰქვია.



როგორ ხორციელდება მართვადი ჯაჭვური რეაქცია?

პირველი *– ურანის $^{235}_{92}U$ ბირთვების გაყოფის ბირთვული რეაქცია ნელი ნეიტრონების მოქმედებით მიმდინარეობს. ასეთი ნეიტრონების ენერგია მცირეა, ვიდრე იმ ნეიტრონების კინეტიკური ენერგია, რომლებიც ბირთვის გაყოფისას წამოიქმნება. ნეიტრონების შემნელებლად მძიმე წყალს ან სუფთა გრაფიტს იყენებენ. დეიტერიუმისა და გრაფიტის შემნელებელი მოქმედება განპირობებულია იმით, რომ ამ ნივთიერებების ბირთვები შედარებით მსუბუქი ბირთვებია და შეჯახებისას ნეიტრონებს კინეტიკური ენერგიის მნიშვნელოვან ნაწილს ეფექტურად ართმევენ (დ).*

მეორე *– ურანის ბირთვების ჯაჭვურ რეაქციაში ნეიტრონების გამრავლების კოეფიციენტი უნდა იყოს $k = 1$. ნეიტრონების რაოდენობის მუდმივად შენარჩუნე-ბისთვის" ნეიტრონების ჩამჭერებს" – კადმიუმის ან ბორის ღეროებს იყენებენ: ამ ნივთიერებების ბირთვებს ნეიტრონების შთანთქმის კარგი უნარი აქვთ.*

მესამე *– აუცილებელია, შევქმნათ ისეთი პირობები, რომ ბირთვების გაყოფისას წარმოქმნილი ნეიტრონების ძირითადი ნაწილი ურანში დარჩეს, რათა მათ გაყოფის ახალი რეაქციების მიმდინარეობა უზრუნველყონ. ეს ნიშნავს, რომ ნეიტრონებმა ურანში საკმაოდ დიდი გზა უნდა გაიარონ, ანუ ურანის ნიმუშის ზომები და შესაბამისად, მისი მასა კრიტიკულ მასასთან უნდა იყოს მიახლოებული. $^{235}_{92}U$ ურანის სფერული ფორმის ნიმუშისთვის კრიტიკული მასა დაახლოებით 48 კგ-ია. ნიმუშისმასა შეიძლება მნიშვნელოვნად შევამციროთ, თუ მას ბერილიუმის გარსს შემოვავლებთ. ასეთი გარსი ნეიტრონებს არეკლავს და რეაქციის ზონაში აბრუნებს, შედეგად მათი გზა ნიმუშში იზრდება.*

LAYIHə

გამოყენება კვლევითი სამუშაო 2

რომელი ელემენტი და რამდენი ნეიტრონი წარმოიქმნა ბირთვულ რეაქციაში?

ამოცანა 2. ურანის იზოტოპის $^{235}_{92}U$ ბირთვის გაყოფისას წარმოიქმნა ნამსხვრევები, რომელთა მასური რიცხვებია 96 და 138. რამდენი ნეიტრონი წარმოიქმნა ამ რეაქციაში?

სამუშაო შედეგების განხილვა:

• როგორ განსაზღვრეთ ამ რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი ახალი თაობის ნეიტრონების რიცხვი?

■ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ბუნებრივ ურანში $^{238}_{92}U$ იზოტოპის წილია 99,3 %, ხოლო $^{235}_{92}U$ იზოტოპის – მხოლოდ 0,7%. ბუნებრივი ურანიდან საკმარისი რაოდენობის $^{235}_{92}U$ იზოტოპის ბირთვები რომ მივიღოთ, როგორც წმინდა ბირთვული საწვავი, აუცილებელია ძვირადღირებული და ძალიან შრომატევადი სამუშაოს შესრულება. გაცილებით მეტი ენერგიის მიღებას შევძლებდით, ბირთვულ საწვავად $^{238}_{92}U$ იზოტოპის ბირთვების გამოყენება რომ შეიძლებოდეს.

• რა პირობებშია შესაძლებელი ბუნებრივი ურანის $^{238}_{92}U$ იზოტოპის გამოყენება ჯაჭვურ ბირთვულ რეაქციაში?

• რა შეიძლება, არ გამოვიყენოთ ასეთ შემთხვევაში იმისათვის, რომ მართვადი ბირთვული რეაქცია განხორციელდეს?

■ შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რატომაა შესაძლებელი, ურანის ბირთ-ვების გაყოფისას ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია აღიძრეს?			
2	რა რაოდენობის ენერგია გამოიყოფა ურანის ბირთვის გაყოფისას? რით განისაზღვრება ეს ენერგია?			
3	რა შემთხვევაში მიმდინარეობს მართვადი ჯაჭვური ბირთვული რეაქცია?			
4	რატომ არ არის ეფექტური ბუნებრივი ურანის $^{238}_{92}U$ იზოტოპის გამოყენება ბირთვულ საწვავად?			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულში ესე $^{235}_{92}U$ ბირთვების გაყოფის ჯაჭვური ბირთვული რეაქციის მიმდინარეობის მექანიზმის შესახებ. გამოსახეთ რეაქცია სქემატურად.

LAYİHƏ

4.12. თერმობირთვული რეაქცია

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9

ორი ბირთვის შეერთებისას (სინთეზისას) მათ უნდა გადალახონ განზიდვის კულონური ძალა, რომელიც ერთნაირნიშნიანი მუხტის მქონე პროტონებს შორის მოქმედებს. ამისათვის ბირთვებს დიდი კინეტიკური ენერგია უნდა ჰქონდეთ, რათა ისინი ერთმანეთს ბირთვული ძალების მოქმედების მანძილზე (10^{-15} მ) მიუახლოვდნენ. ასეთი ენერგიის მქონე ბირთვების მისაღებად აუცილებელია, სინთეზის რეაქცია ძალიან მაღალ ტემპერატურაზე $(10^8 \div 10^9 K)$ მიმდინარეობდეს, რადგან სწორედ მაღალი ტემპერატურაა ბირთვების სიჩქარისა და კინეტიკური ენერგიის ზრდის მიზეზი.

• *მსუბუქი ბირთვების შეერთების (სინთეზის) რეაქციას, რომელიც ძალიან მაღალ ტემპერატურაზე მიმდინარეობს, თერმობირთვული რეაქცია ჰქვია.*

კვლევებმა აჩვენა, რომ მზისა და სხვა ვარსკვლავების შიგნით, დიდი ალბათობით, შემდეგი ბირთვული რეაქციები მიმდინარეობს:

$$^3_2He + ^3_2He \rightarrow ^4_2He + 2^1_1H; \; ^2_1H + ^1_1H \rightarrow ^3_2He \text{ და ა.შ.}$$

• *მზე და სხვა ვარსკვლავები – ბუნებრივი თვითმართვადი თერმობირთვული რეაქტორებია.*

უმართავი თერმობირთვული რეაქცია წყალბადის ბომბის აფეთქებისას მიიღეს. ბომბის წინა ნაწილში მოთავსებულია დეიტერიუმისა და ტრიტიუმის ნარევი, რომელსაც LiD-ს უწოდებენ. დეტონატორად იყენებენ ატომურ ბომბს, რომელსაც წყალბადის ბომბის შიგნით აფეთქებენ. შედეგად ტემპერატურა მკვეთრად იზრდება და ნეიტრონების ძლავრი ნაკადი წარმოიქმნება. მიმდინარეობს ნეიტრონების ლითიუმის იზოტოპთან შეერთების რეაქცია. სინთეზის ბირთვული რეაქციისას წარმოიქმნება ჰელიუმი და ტრიტიუმი:

$$^1_0n + ^6_3Li \rightarrow ^4_2He + ^3_1H.$$

მაღალ ტემპერატურაზე დეიტერიუმისა და ლითიუმის ბირთვების ნეიტრონებთან შეერთებისას უმართავი თერმობირთვული რეაქცია მიმდინარეობს – უზარმაზარი რაოდენობის ენერგია გამოიყოფა და წყალბადის ბომბი ფეთქდება.

■ მძიმე ბირთვების ჯაჭვური რეაქციის საფუძველზე მომუშავე ატომურ ელექტროსადგურებს (აესი) თბოელექტოსადგურებთან (თესი) შედარებით ორი მნიშვნელოვანი უპირატესობა აქვს: ეკოლოგურად მეტად სუფთაა და მცირე ბირთვული საწვავის გამოყენებით დიდ ენერგიას გამოიმუშავებენ. თუმცა ამავდროულად, აესი კაცობრიობა ორ სერიოზულ პრობლემას უქმნის: ერთი, რომ რადიოაქტიური ელემენტები (ძირითადად ურანი და თორიუმი) დედამიწის ქერქის მასის დაახლოებით $(3 \div 8) \cdot 10^{-4}\%$-ს შეადგენს და მათი მოპოვება უფრო და უფრო რთულდება. მეორე პრობლემა ისაა, რომ საჭიროა მზარდი რადიოაქტიური ნარჩენების უსაფრთხოდ დამარხვა.

• არსებობს თუ არა ბირთვული რეაქციები, რომლებიც შეცვლიან მძიმე ბირთვების გაყოფის რეაქციებს, შეინარჩუნებენ აესის უპირატესობებს და ნაკლოვან მხარეებს თავიდან აგვაცილებს?

• რა შეიძლება იყოს ასეთი ეფექტური საწვავი?

მძიმე ბირთვების ჯაჭვური რეაქციების ნაკლოვანებები შესაძლებელია თავიდან ავიცილოთ, თუ ენერგიის მისაღებად გამოვიყენებთ არა მძიმე ბირთვების გაყოფის რეაქციებს, არამედ მსუბუქი ბირთვების შეერთების (სინთეზის) რეაქციებს. ბირთვების სინთეზის რეაქციები ეფექტურად მიმდინარეობს ≈109K რიგის ზემაღალი ტემპერატუ-

LAKİNƏ

რების დროს და გრძელდება გამოყოფილი მნიშვნელოვანი ენერგიის ხარჯზე. თერმობირთვულ რეაქციებში კოლოსალური ენერგიის გამოყოფის მიზეზი იგივეა, რაც გაყოფის რეაქციებში:

რეაქციის შედეგად მიღებული ბირთვების ბმის კუთრი ენერგია გაცილებით მაღალია, ვიდრე საწყის ბირთვებში. სინთეზის რეაქციაში მონაწილე ორი მსუბუქი ბირთვის ჯამური მასა მეტია, ვიდრე შეერთების შედეგად მიღებული ბირთვის მასა. სწორედ რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი მასის დეფექტია იმ უზარმაზარი რაოდენობის ენერგიის გამოყოფის მიზეზი, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta E = (m_1 - m_2) \cdot 931{,}5 \text{ მევ}.$$

კვლევითი სამუშაო 1

რომელ რეაქციაში გამოიყოფა მეტი ენერგია ერთ ნუკლონზე: ორი მსუბუქი ბირთვის სინთეზის თუ მძიმე ბირთვების გაყოფის რეაქციაში?

ამოცანა 1. უმარტივესი თერმობირთვული რეაქცია დეიტერიუმის ორი ბირთვის ჰელიუმის ბირთვად გარდაქმნის რეაქციაა: $^2_1H + {}^2_1H \to {}^4_2He$.

განსაზღვრეთ ბირთვის ბმის კუთრი ენერგია, რომელიც ამ რეაქციაში გამოიყოფა. შეადარეთ ამ ენერგიის მნიშვნელობა შესაბამის ენერგიას, რომელიც ურანის ბირთვის გაყოფისას გამოიყოფა.

სამუშაო შედეგების განხილვა:

- რომელ რეაქციაში გამოიყოფა მეტი ენერგია ერთ ნუკლონზე: ორი მსუბუქი ბირთვის სინთეზის თუ მძიმე ბირთვების გაყოფის რეაქციაში? რატომ?

ბუნებაში თერმობირთვული რეაქცია მხოლოდ მზისა და სხვა ვარსკვლავების შიგნით მიმდინარეობს. დედამიწის პირობებში ასეთი რეაქციების განხორციელებისთვის აუცილებელია, ნივთიერება გავახუროთ ან ბირთვული აფეთქებით, ან აირის მძლავრი განმუხტვით ან ლაზერის გამოსხივების გიგანტური იმპულსით, ან ნაწილაკების ინტენსიური ნაკადით დაბომბვით.

სინთეზის მართვადი რეაქციის მისაღებად აუცილებელია თერმობირთვული რეაქტორის შექმნა. ასეთ რეაქტორში, დიდი ალბათობით, შესაძლებელია სინთეზის შემდეგი რეაქციების განხორციელება:

$$^2_1H + {}^2_1H \to {}^3_2He + {}^1_0n + 3{,}27 \text{ მევ}, \quad (1)$$

$$^2_1H + {}^2_1H \to {}^3_1H + {}^1_1p + 4{,}03 \text{ მევ}, \quad (2)$$

$$^3_1H + {}^3_1H \to {}^4_2He + 2{}^1_0n + 11{,}53 \text{ მევ}, \quad (3)$$

$$^2_1H + {}^3_1H \to {}^4_2He + {}^1_0n + 17{,}59 \text{ მევ}. \quad (4)$$

ჩანს, რომ ამ რეაქციებიდან ენერგეტიკულად ყველაზე მომგებიანი მე-(4) რეაქციაა, რადგან სინთეზის ასეთი რეაქციისას ერთ ნუკლონზე 3,5 მევ ენერგია გამოიყოფა. ურანის ბირთვის გაყოფის რეაქციაში კი ერთ ნუკლონზე მხოლოდ 1 მევ ენერგია გამოიყოფა.

შესაძლებელი რომ იყოს თერმობირთვული რეაქტორის დამზადება, მაშინ მას აესთან შედარებით შემდეგი უპირატესობები ექნებოდა:

1) უზარმაზარი რაოდენობით ენერგიის წარმოება;

2) საწვავის მარაგის გიგანტური რაოდენობა: დედამიწაზე დეიტერიუმის პრაქტიკულად ამოუწურავი მარაგი არსებობს (ზღვებისა და ოკეანეების წყალში), ტრიტიუმის მიღება კი თვითონ რეაქტორშია შესაძლებელი ნეიტრონებით ლითიუმის დასხივებისას:

$$^6_3Li + {}^1_0n \to {}^4_2He + {}^3_1H;$$

3) რეაქტორის მაღალი ეკოლოგიური უსაფრთხოება, რადგან სინთეზის რეაქციებში რადიოაქტიური ნარჩენები არ წარმოიქმნება.

სამწუხაროდ, დედამიწაზე ზემაღალ ტემპერატურაზე მომუშავე ისეთი მართვადი თერმობირთვული რეაქტორის შექმნა, რომელიც ენერგიას სამრეწველო მასშტაბებით

LAKTIS

გამოიმუშავებდა, შეუძლებელია. ასეთი რეაქტორის შექმნა შესაძლებელი რომ იყოს, მაშინ დედამიწაზე ენერგეტიკული პრობლემა სამუდამოდ გადაიჭრებოდა.

ჩვენს დროში დედამიწაზე მხოლოდ სინთეზის უმართავი თერმობირთვული რეაქციის განხორციელებაა შესაძლებელი – წყალბადის ბომბის აფეთქებისას.

გამოყენება **კვლევითი სამუშაო** **2** ***რა რაოდენობის ენერგია წარმოიქმნება თერმობირთვულ რეაქციაში ჰელიუმის მიღებისას?***

ამოცანა 2. გამოთვალეთ ენერგეტიკული გამოსავალი ჰელიუმის ბირთვების 1 კგ დეიტერიუმისა და ტრიტიუმის ბირთვებთან სინთეზის თერმობირთვულ რეაქციაში. განსაზღვრეთ, რა რაოდენობის ქვანახშირი უნდა დავწვათ, რომ იმდენივე ენერგია მივიღოთ (ქვანახშირის წვის კუთრი სითბოა 3 ·108 ჯ/კგ).

მინიშნება

გამოთვალეთ დეიტერიუმისა და ტრიტიუმის ბირთვების სინთეზის თერმობირთვულ რეაქციაში 1 კგ ჰელიუმის ბირთვების ენერგეტიკული გამოსავალი.

$$^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} + 17{,}59\ \textit{მევ}.$$

სამუშაო შედეგების განხილვა:

- რა რაოდენობის ენერგია გამოიყოფა 1 კგ ჰელიუმის ბირთვების სინთეზის თერმობირთვულ რეაქციაში?
- რა რაოდენობის ქვანახშირი უნდა დავწვათ, რომ იმდენივე ენერგია მივიღოთ?

■მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

- რატომ ვერ მოხერხდა დღემდე ისეთი რეაქტორის შექმნა, რომელიც სინთეზის თერმობირთვული რეაქციების საფუძველზე იმუშავებდა? რომელი პრობლემის გადაჭრა ვერ შეძლეს მეცნიერებმა ამ მიმართულებით მუშაობისას?

■შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	რით აიხსნება, რომ ბირთვების სინთეზის რეაქციისას უზარმაზარი რაოდენობის ენერგია გამოიყოფა?			
2	რატომ მიმდინარეობს სინთეზის თერმობირთვული რეაქციები მხოლოდ ძალიან მაღალ ტემპერატურაზე?			
3	შეადარეთ ერთ ნუკლონზე მოსული ენერგია სინთეზისა და გაყოფის რეაქციებში.			
4	რა უპირატესობები აქვს თერმობირთვულ რეაქტორს აეს-თან შედარებით? რა პრობლემები აქვს მას?			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულში რეფერატის გეგმა თემაზე: „ატომური და ბირთვული იარაღი“.

საშინაო დავალება. დაწერეთ რეფერატი ამ გეგმის საფუძველზე.

LAYİHƏ

4.13. ელემენტარული ნაწილაკები და მათი რეგისტრაციის მეთოდები

• გაიხსენეთ განვლილი მასალა •

ფიზიკა – 9

ბირთვული რეაქციის აღძვრისათვის აუცილებელია, ურთიერთქმედებისას ნაწილაკები ან ბირთვები ერთმანეთს ბირთვული ძალების მოქმედების მანძილზემ($\approx 10^{-15}$ მ) მიუახლოვდნენ. შესაბამისად, ნაწილაკებს დიდი კინეტიკური ენერგია უნდა ჰქონდეს და ამ მიზნით სპეციალურ მოწყობილობას, ელემენტარული ნაწილაკების ამაჩქარებელს, იყენებენ. სურათზე ელემენტარული ნაწილაკების ამაჩქარებლის ბლოკსქემაა გამოსახული. ამაჩქარებელი მიწისქვეშ, რამდენიმე ათეული კილომეტრის მანძილზეა განთავსებული *(ა)*. ასეთ ამაჩქარებლებში, მაგ., α-ნაწილაკს ანიჭებენ კინეტიკურ ენერგიას, რომელიც ასეულ ათასჯერ აღემატება α-ნაწილაკის ენერგიას რადიოაქტიური გარდაქმნისას. პირველი ბირთვული რეაქცია, აჩქარებული ნაწილაკით (პროტონით), 1932 წელს განხორციელდა. ეს იყო ლითიუმის ბირთვის ჰელიუმის ორ ბირთავდ გარდაქმნის რეაქცია:

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}\mathrm{p} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

როცა ბირთვულ რეაქციებს გაეცანით, სავარაუდოდ, ასეთ ფაქტს მიაქცევდით ყურადღებას: თითქმის ყველა რეაქციაში მონაწილეობს ელემენტარული ნაწილაკები – ფოტონები, ელექტრონები, ნეიტრონები, პოზიტრონები, ნეიტრინო, ანტინეიტრინო. ეს ნაწილაკები ბირთვულ რეაქ-ციებში წარმოიქმნება ან ბირთვების ურთიერთქმედების შედეგად, ან იმ ნაწილაკების დაბადებისას, რომლებიც სწრაფადვე ქრებიან.

• რა არის ელემენტარული ნაწილაკი? რით განსხვავდება ის სხვა ნაწილაკებისგან?

კვლევითი სამუშაო 1 ***განსაზღვრეთ ნაწილაკის მუხტი***

ამოცანა 1. 2 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, ინდუქციის წირების მართობულად, დამუხტული ნაწილაკების ნაკადი $1{,}5 \cdot 10^{7}$ მ/წმ სიჩქარით შეიჭრა. განსაზღვრეთ ნაწილაკების მუხტი, თუ ცნობილია, რომ მაგნიტური ველის მხრიდან ნაკადზე მოქმედი ძალის სიდიდეა $1{,}5 \cdot 10^{-11}$ ნ.

სამუშაო შედეგების განხილვა:

- რომელი ძალა მოქმედებს დამუხტული ნაწილაკების ნაკადზე, რომელიც ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, ინდუქციის წირების მართობულად მოძრაობისას?
- როგორ განისაზღვრება თითოეული ნაწილაკის მუხტი?
- შეიძლება თუ არა ნაწილაკების მუხტის ნიშნის განსაზღვრა? როგორ?

ელემენტარული ნაწილაკები

• *მატერიის ისეთ ნაწილაკებს, რომელთა შემადგენელ ნაწილაკებად გახლეჩა შეუძლებელია, ელემენტარული ნაწილაკები ჰქვია.*

თანამედროვე ფიზიკაში ცნობილია ნაწილაკთა მრავალრიცხოვანი ჯგუფი (დაახლოებით 400 ნაწილაკი), რომლებიც ელემენტარულ ნაწილაკთა რიცხვს მიეკუთვნება. ამ ჯგუფში შედის: ფოტონი, ელექტრონი, ნეიტრონი, პროტონი, ასევე მეზონები, მიუონები, ნეიტრინოები, ბარიონები, კვარკები და სხვ.

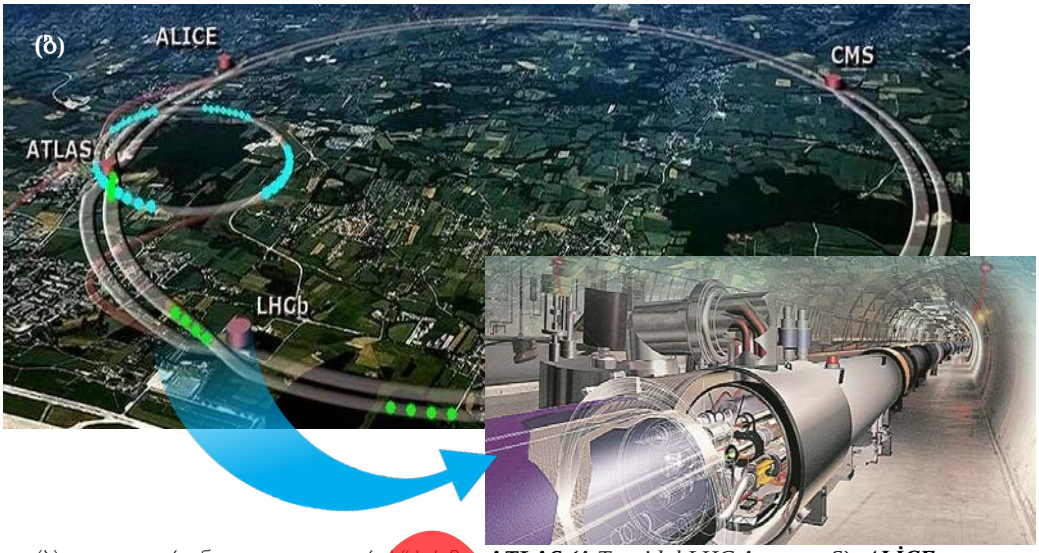
ყველა ელემენტარულ ნაწილაკს ახასიათებს მასა, სიცოცხლის დრო, ელექტრული მუხტი და სპინი.

LAYOUT

თავდაპირველად ნაწილაკების კლასიფიკაცია მათი მასების მიხედვით ხდებოდა, რაც ნაწილაკების ტიპების დასახელებებშიც აისახა: ლეპტონები – მსუბუქი, მეზონები – საშუალო სიმძიმის, ბარიონები – მძიმე ნაწილაკები.

ელემენტარული ნაწილაკების ელექტრული მუხტი შეიძლება იყოს დადებითი და უარყოფითი, ელემენტარული მუხტის ჯერადი, მისი ნაწილი და ასევე, ნულის ტოლი. მაგ., ფოტონის, ნეიტრინოსი, Z^0 ბოზონის, π^0 მეზონის მუხტი ნულის ტოლია, ხოლო კვარკების მუხტის სიდიდე ელემენტარული მუხტის სიდიდის ერთი ან ორი მესამედის ტოლია.

სიცოცხლის ხანგრძლივობის მიხედვით ელემენტარული ნაწილაკები სამ ჯგუფად იყოფა: სტაბილურები, კვაზისტაბილურები და არასტაბილურები. თანამედროვე გაზომვების სიზუსტის საზღვრებში სტაბილურებად ითვლება პროტონი, ელექტრონი, ფოტონი და ნეიტრინო. მაგ., პროტონის სიცოცხლის ხანგრძლივობა 1032 წელია. კვაზისტაბილური ნაწილაკების სიცოცხლის საშუალო დრო $\approx 10^{-20}$ წმ-ია, ხოლო არასტაბილური ნაწილაკების $\approx 10^{-23}$ წმ. იმის გამო, რომ ელემენტარული ნაწილაკების უმეტესობა არასტაბილურია, ბუნებაში ისინი თითქმის არ გვხვდება. ასეთი ნაწილაკები ლაბორატორიულ პირობებში ჩნდება და მათი მიღება ძირითადად, აჩქარებული სტაბილური ნაწილაკების შეჯახების შედეგადაა შესაძლებელი. შეჯახებისას ამ ნაწილაკების კინეტიკური ენერგიის ნაწილი წარმოქმნილი ნაწილაკების ენერგიად გარდაიქმნება. შეიძლება ითქვას, რომ თითქმის ყველა ელემენტარული ნაწილაკი ლაბორატორიული მეთოდით ნაწილაკთა ამაჩქარებლებშია მიღებული. მსოფლიოში ნაწილაკთა ყველაზე დიდ ამაჩქარებელში, დიდ ადრონულ კოლაიდერში (დაკ) საცდელი გაშვება 2008 წლის 10 სექტემბერს მოხდა.



(ბ) „დიდი ადრონული კოლაიდერის“ სქემა. ***ATLAS*** *(A Toroidal LHC ApparatuS),* ***ALİCE*** *(A Large Ion Collider Experiment),* ***LHCb*** *(LargeHadronColliderbeautyexperiment)* და ***CMS*** *(Compact Muon Solenoid)* – დაკ-ში მიმდინარე ექსპერიმენტების დასახელებებია.

• *დიდი ადრონული კოლაიდერი (დაკ) არის მოწყობილობა, რომელიც ძალიან პატარა სივრცეში, სტაბილური ნაწილაკების აჩქარების შედეგად, ძალიან დიდი ენერგიის კონცენტრირების საშუალებას იძლევა (ბ).*

ნაწილაკების ენერგია დაკ-ში ტერაელექტრონვოლტებში იზომება. იქ ერთმანეთს ეჯახებიან ნაწილაკების, პროტონების ან ტყვიის იონების ნაკადები ეჯახება. ნაწილაკთა ნაკადები ციკლურ ამაჩქარებელში იქმნება და დაკ-ში შედის, წრეწირზე

LAYİHƏ

მოძრაობს და მილიონამდე ბრუნს ასრულებს. თითოეულ წრეზე ნაკადები დამატებით ენერგიას იღებენ და შეჯახებისას ორი პროტონის ენერგია 14 ტევ-მდე იზრდება.

მეცნიერებმა ახალი ნაწილაკი, ჰიგსის ბოზონი, 2012 წელს დაკ-ში ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგად აღმოაჩინეს.

ელემენტარული ნაწილაკების სპინი ნაწილაკის მექანიკური მომენტია. იზომება პლანკის ჩ მუდმივას ერთეულებში, რიცხობრივად, ჯჰ-ის ტოლია, სადაც ჯ ნაწილაკთა თითოეული სახეობისთვის დამახასიათებელი მთელი ან ½-ის ჯერადი დადებითი ან ნულის ტოლი რიცხვია.

ფუნდამენტური ურთიერთქმედება. თანამედროვე წარმოდგენებით, ბუნებაში ყველა ტიპის ურთიერთქმედება ელემენტარულ ნაწილაკთა შორის არსებული ოთხი ტიპის ფუნდამენტური ურთიერთქმედების გამოვლინებაა. ***(ცხრილი 4.5)***.

ცხრილი 4.5 ფუნდამენტური ურთიერთქმედებათა სახეები

ურთიერთქმედებათა სახეები	ურთიერთქმედების გადამტანი კვანტები	ურთიერთქმედების მოქმედების რადიუსი, მ	ფარდობითი ინტენსივობა
ძლიერი	გლიუონი	10^{-15}	1
ელექტრომაგნიტური	ფოტონი	∞	10^{-2}
სუსტი	ბოზონი Z^0 და $W^{\pm}$	10^{-18}	10^{-10}
გრავიტაციული	გრავიტონი	∞	10^{-38}

ძლიერი ურთიერთქმედება უზრუნველყოფს ატომის ბირთვების არსებობას: ბირთვში პროტონისა და ნეიტრონის არსებობას, პროტონისა და ნეიტრონის შემადგენლობაში კვარკების არსებობას. კვარკებს შორის ძლიერი ურთიერთქმედების განმსაზღვრელია ნაწილაკები, რომლებსაც გლიუონები ჰქვია.

ნაწილაკების თანამედროვე კლასიფიკაცია განისაზღვრება ნაწილაკების მონაწილეობით ძლიერ ურთიერთქმედებაში: ნაწილაკთა ჯგუფი, ***ადრონები*** (ბერძ. „*adros*“ – დიდი, ძლიერი), რომლებიც მონაწილეობენ ძლიერ ურთიერთქმედებაში და ნაწილაკთა ჯგუფი, ლეპტონები (ბერძ. „*leptos*“ – თხელი, მსუბუქი), რომლებიც არ მონაწილეობენ ძლიერ ურთიერთქმედებაში.

ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ყველა იმ ნაწილაკს ახასიათებს, რომელსაც ელექტრული მუხტი აქვს. ნაწილაკებს შორის ამ ტიპის ურთიერთქმედება ფოტონების დახმარებით ხდება. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ატომების, მოლეკულების, კრისტალების არსებობას განაპირობებს და ნივთიერების (მყარ, თხევად, აირად და პლაზმურ მდგომარეობაში) თვისებებს განსაზღვრავს. ნაწილაკების მუხტის ნიშნის მიხედვით, ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება მიზიდვის ან განზიდვის სახით გამოვლინდება.

სუსტი ურთიერთქმედება ელემენტარული ნაწილაკების გარდაქმნას უზრუნველყოფს, ამიტომ ამ ტიპის ურთიერთქმედება ყველა (გარდა ფოტონისა) ელემენტარული ნაწილაკისთვისაა დამახასიათებელი. ნეიტრონების β-დაშლა სუსტი ურთიერთქმედების მაგალითია:

$$ {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}. $$

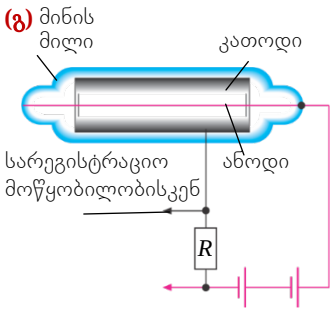
სუსტი ურთიერთქმედება იმ სამი ნაწილაკის დახმარებით ხორციელდება, რომლებსაც შუალედური ვექტორული ბოზონები უწოდეს. თითოეული მათგანის მასა ნუკლონის მასას თითქმის ასჯერ აღემატება.

LAVIHO

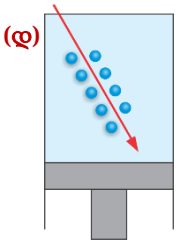
ყველა ტიპის ფუნდამენტური ურთიერთქმედებიდან მხოლოდ გრავიტაციულია უნივერსალური. გრავიტაციული ურთიერთქმედება მიზიდულობის სახით ვლინდება ყველა იმ ნაწილაკს შორის, რომლებსაც მასა აქვს.

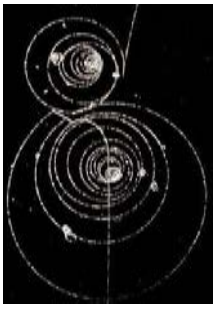
ელემენტარული ნაწილაკების რეგისტრაციის მეთოდები. ნაწილაკების რეგისტრაციისა და მათი თვისებების შესწავლისთვის გამოიყენება სხვადასხვა მოწყობილობები. ნაწილაკების რეგისტრაცია ეფუძნება მათ თვისებას – გამოიწვიონ ნივთიერებაში ატომების იონიზაცია. გავეცნოთ ორი სახის მოწყობილობას.

გეიგერის მთვლელი. *გეიგერის მთვლელი – ეს არის მოწყობილობა, რომელსაც ნაწილაკების დასათვალელად იყენებენ. მისი მოქმედების პრინციპი დარტყმით იონიზაციაზეა დაფუძნებული.*



მოწყობილობის ძირითადი ნაწილია ორივე ბოლოდან დახშული მინის მილი, რომელიც ინერტული აირით, არგონითაა ავსებული. მილში აირის წნევა 10 კპა-ია. მილის კედლები შიგნიდან დაფარულია ლითონის ფენით, რომელიც კათოდის როლს ასრულებს. წვრილი ლითონის ძაფი, რომელიც მილის ღერძის გასწვრივ გადის – ანოდია. ანოდსა და კათოდს შორის მაღალი მუდმივი ძაბვა იქმნება. დამუხტული ნაწილაკი, რომელიც მილში ხვდება, არგონის იონიზაციას იწვევს. ელექტრული ველი, ზრდის რა წარმოქმნილი იონებისა და ელექტრონების სიჩქარეს, მათ, შესაბამისად, კათოდისა და ანოდისკენ მიმართავს. აირის ნეიტრალურ ატომებთან ურთიერთქმედებისას აჩქარებული ელექტრონები მეორად იონიზაციას იწვევენ. წარმოიქმნება იონებისა და ელექტრონების ზვავი და მთვლელში დენი მკვეთრად იზრდება. ამასთან, დატვირთვის R რეზისტორზე ძაბვის იმპულსი აღიძვრება. ეს იმპულსი გადაეცემა სარეგისტრაციო მოწყობილობას, რომელიც რადიოაქტიურ ნაწილაკებს (ძირითადად γ-კვანტებს) არეგისტრირებს.





ვილსონის კამერა. *ვილსონის კამერა – ეს არის მოწყობილობა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დავაკვირდეთ სწრაფი ნაწილაკების კვალს და გადავუღოთ მათ ფოტოსურათი. მოწყობილობის მოქმედება ეფუძნება იონებზე გადაჯერებული ორთქლის კონდენსაციის მოვლენას, რომლის შედეგად წყლის წვეთები ჩნდება.*

ვილსონის კამერა წარმოადგენს ჰერმეტულად დახურულ ცილინდრს, რომელშიც მჭიდროდაა მორგებული დგუში ***(დ)***. კამერის მუშა მოცულობა გავსებულია წყლის ან სპირტის ნაჯერი ორთქლით. დგუშის მკვეთრად ქვევით დაწევისას, ორთქლი მოცულობაში ადიაბატურად ფართოვდება. ამის შედეგად ორთქლი ცივდება და გადაჯერებული ხდება. ორთქლი ამ მდგომარეობაში ადვილად კონდენსირდება. თუ ამ სივრცეში ნაწილაკი შეიჭრება, ის თავის გზაზე იონებს წარმოქმნის და ამ იონებზე (კონდენსაციის ცენტრებზე) კონდენცირებული ორთქლის წვეთები ჩნდება. ეს წვეთები გავლილი ნაწილაკების ხილულ კვალს – ტრეკს – ქმნის. ტრეკის სიგრძის მიხედვით ნაწილაკის კინეტიკური ენერგია განისაზღვრება, ხოლო ტრეკის სიგრძის ერთეულზე წვეთების რიცხვით ნაწილაკის სიჩქარე ფასდება. რაც მეტია ნაწილაკის ტრეკის სიგრძე, მით მეტია მისი კინეტიკური ენერგია, ხოლო რაც მეტი წყლის წვეთი წარმოიქმნება ტრეკის სიგრძის ერთეულზე, მით ნაკლებია ნაწილაკის სიჩქარე. დიდი მუხტის მქონე ნაწილაკები სქელ კვალს ტოვებენ. თუ კამერას ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოვათავსებთ, მაშინ დამუხტული ნაწილაკების

LATHE

ტრაექტორია გამრუდდება *(ე)*. სიმრუდის რადიუსის მიხედვით შესაძლებელია ნაწილაკის კუთრი $\left(\frac{q}{m}\right)$ მუხტის განსაზღვრა.

გამოყენება | **კვლევითი სამუშაო** | **2**

რის ტოლია ნაწილაკის კუთრი მუხტი?

ამოცანა 2. ნაწილაკი, რომლის სიჩქარეა $\upsilon = 3 \cdot 10^6$მ/წმ, შეიჭრა მაგნიტურ ველში მოთავსებულ ვილსონის კამერაში. განსაზღვრეთ ნაწილაკის კუთრი მუხტი, თუ ცნობილია, რომ მაგნიტური ინდუქციის მოდული არის 1 ტლ და ნაწილაკმა $R = 10$ სმ სიმრუდის კვალი დატოვა.

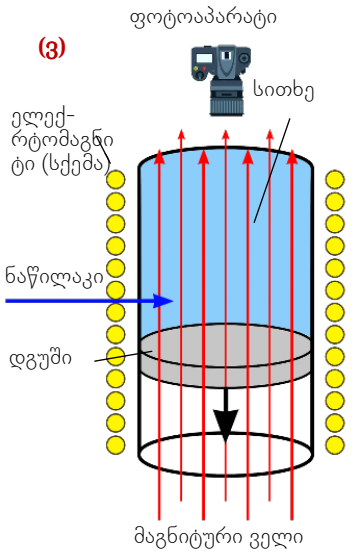
სამუშო შედეგების განხილვა:

- რომელი ფორმულის საფუძველზე განსაზღვრეთ ნაწილაკის კუთრი$\left(\frac{q}{m}\right)$ მუხტი?
- რის ტოლია ნაწილაკის კუთრი$\left(\frac{q}{m}\right)$ მუხტი?

■მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან

ერთ-ერთი მოწყობილობა, რომლის დახმარებითაც ნაწილაკების რეგისტრაციაა შესაძლებელი, არის „ბუშტოვანი კამერა“ *(ვ)*.

- რაზეა დაფუძნებული „ბუშტოვანი კამერის“ მოქმედების პრინციპი?



მინიშნება

საჭირო ინფორმაციას მოიძიებთ შემდეგ მისამართებზე:

1. http://elibrary.bsu.az/110/N_106.pdf

2. http://www.kimnezamanicatetti.com/kabarcik-odasi /?i =1

3. https://xn--j1ahfl.xn--1ai/lessons/metodi registratcii_zaryazhennih_chastitc_124918.html

■შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

№	*კითხვები*	*ვიცი*		
		ცუდად	*საშუალოდ*	*კარგად*
1	როგორ ნაწილაკებს ეწოდება ელემენტარული ნაწილაკები?			
2	რა არის ყველა ელემენტარული ნაწილაკის მთავარი მახასიათებლები?			
3	რით განსხვავდება ერთმანეთისგან ფუნდამენტური ურთიერთქმედების სხვადასხვა სახეები?			
4	როგორ ხდება ნაწილაკების კლასიფიკაცია ფუნდამენტური ურთიერთქმედების მიხედვით?			
5	რა მეთოდებით ხდება ნაწილაკთა რეგისტრაცია? რით განსხვავდება ისინი ერთმანეთისგან?			

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რვეულში რეფერატის გეგმა თემაზე: „ელემენტარულ ნაწილაკთა რეგისტრაციის მეთოდები“.

LAYIHƏ

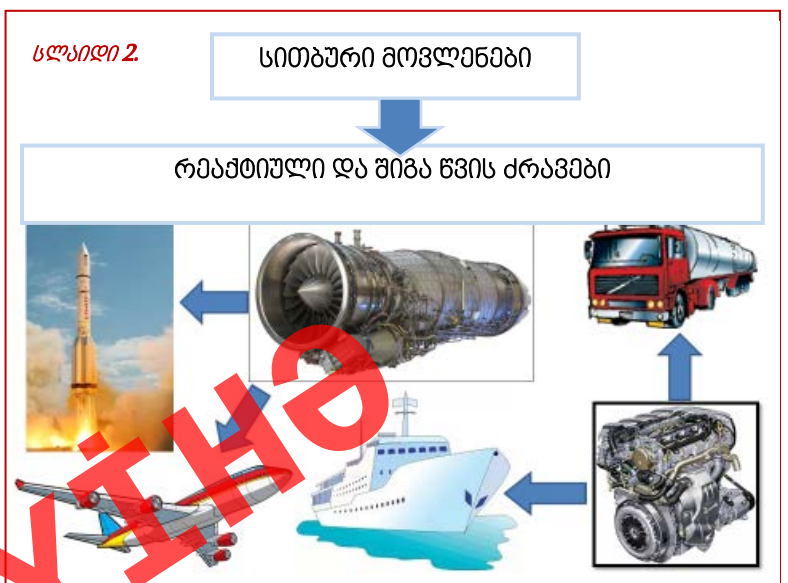
4.14. ფიზიკა და თანამედროვე ყოფა-ცხოვრება (გაკვეთილი-პრეზენტაცია)

პრეზენტაციაზე მუშაობისას შეგიძლიათ გამოიყენოთ ქვემოთ მოყვანილი მოკლე თეორიული მასალა და მითითებული ელექტრონული მისამართები.

I. სლაიდების ნიმუშები: მოამზადეთ სლაიდები თემების შესაბამისად და მოკლედ აღწერეთ სლაიდებზე გამოსახული მოწყობილობების მოქმედების პრინციპის ფიზიკური საფუძველი.

სლაიდი 1.

სლაიდი 2.



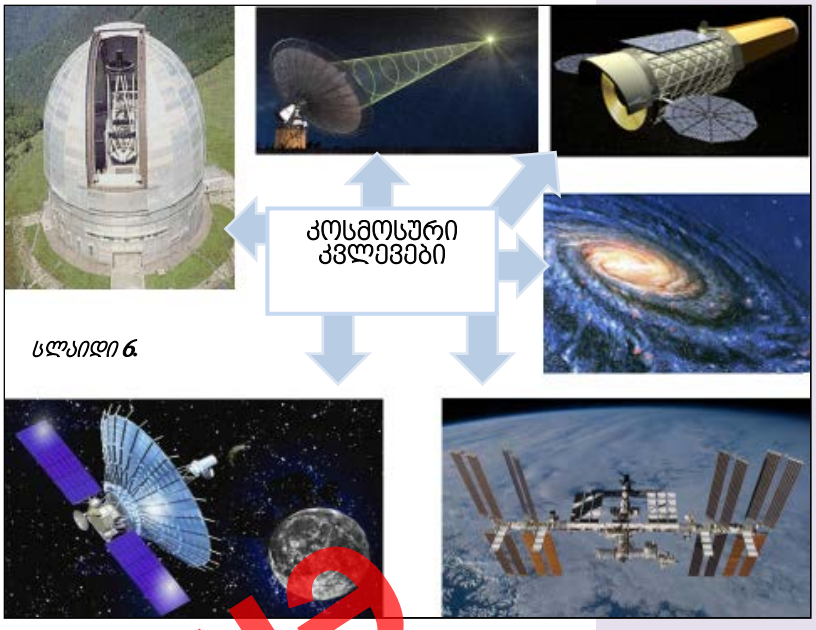
LAYING

სლაიდი 3.

სლაიდი 4.

LAYİHƏ

სლაიდი 5.



სლაიდი 6.

II. *პრეზენტაცია შეიძლება მომზადდეს შემდეგ გეგმაზე დაყრდნობით.*

გეგმა:

1. *რას შეისწავლის ფიზიკა?*

2. *თანამედროვე ფიზიკა და ტექნიკა.*

3. *ფიზიკა და სოფლის მეურნეობა: სოფლის მეურნეობაში იზოტოპების გამოყენება.*

LAYTHE

4. *ფიზიკის როლი დედამიწიდან კოსმოსის, კვლევასა და კოსმოსიდან დანახული დედამიწის შესწავლაში.*

5. *ფიზიკა და ენერგიის ალტერნატიული წყაროების გამოყენების ტექნოლოგია.*

6. *ფიზიკა და ეკოლოგია.*

III. *რეკომენდებული ელექტრონული მისამართები:*

1. http://www.myshared.ru/slide/301352
2. https://ppt4web.ru/fizika/pochemu-fiziku-schitajut-osnovojj-tekhniki.html
3. http://pandia.ru/text/79/459/28830.php
4. https://prezi.com/-9kfw7lq4prl/modern-fizigin-teknolojideki-uygulamalari/
5. https://esmaa08.wordpress.com/teknoloji-nasil-hayatimiza-girdi/
6. http://nurayyorulmaz.blogspot.ru/2016/01/11snf-fizik-modern-fizik-konu-anlatm.
7. http://900igr.net/prezentacija/astronomija/issledovanie-kosmicheskikh-tel-245547/fizicheskie-osnovy-kosmicheskikh-poljotov-3.html
8. https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tekhnicheskoe-tvorchestvo/2013/09/19/issledovaniya-zemli-iz-kosmosa
9.http://allrefs.net/c30/11pft/p7/
10. http://stroychik.ru/raznoe/alternativnaya-energiya
11. http://www.novate.ru/blogs/280415/31040/
12.http://works.doklad.ru/view/oMxvntdkipc.html
13. http://nuclphys.sinp.msu.ru/radioactivity/ract16.htm
14. http://www.derszamani.net/izotop-nedir-izotoplarin-ozellikleri.html
15. http://fhn.gov.az/ajax/boxNews.ajax.php?aze/4277

LAYİHƏ

4.1. განსაზღვრეთ ინფრაწითელი გამოსხივების ფოტონის ენერგია და იმპულსი, თუ ცნობილია, რომ გამოსხივების ტალღის სიგრძეა 1 მკმ ($h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ ჯ·წმ).

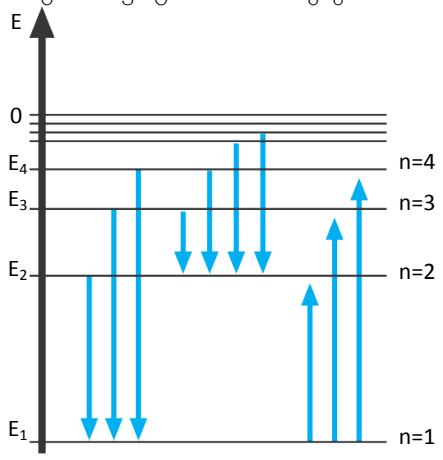
4.2. დამოკიდებულია თუ არა ვაკუუმურ ფოტოელემენტში დენის ძალა ცდაში (იხ. სურ. ბ, თემა 4.2):
ა) იმ მასალაზე, რომლისგანაც კათოდია დამზადებული;
ბ) დაცემული სინათლის ინტენსივობაზე?

4.3. დამოკიდებულია თუ არა ფოტოელექტრონების სიჩქარე ცდაში (იხ. სურ. ბ, თემა 4.2):
ა) დაცემული სინათლის ინტენსივობაზე;
ბ) დაცემული სინათლის სიხშირეზე?

4.4. დაიმზირება თუ არა ფოტოეფექტის მოვლენა ვერცხლის ფირფიტის ხილული სინათლით განათებისას? ვერცხლიდან ელექტრონების გამოსვლის მუშაობაა 4,3 ევ.

4.5. ატომში ერთი სტაციონარული დონიდან მეორეზე ელექტრონის გადასვლისას შთაინთქა ფოტონი, რომლის სიხშირეა $6 \cdot 10^{14}$ ჰც. როგორ შეიცვალა ატომის ენერგია?

4.6. სურათზე გამოსახულია ატომის ენერგეტიკული დონეები და ამ დონეებს შორის გადასვლები. განსაზღვრეთ გადასვლები, რომლის დროსაც ატომი მაქსიმალური ენერგიის ფოტონს გამოასხივებს და გადასვლები, რომლის დროსაც მაქსიმალური ტალღის სიგრძის ფოტონი შთაინთქმება.



4.7. განსაზღვრეთ ფოტონის სიხშირე, რომელიც წყალბადის ატომის მე-2 დონიდან 1-ლ დონეზე გადასვლისას გამოსხივდება.

4.8. რამდენი ელექტრონი, პროტონი და ნეიტრონია 360 გ ჟანგბადის იზოტოპში?

$$^{18}_{8}O \ (N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{მოლი}^{-1})?$$

4.9. რამდენი ელექტრონი, პროტონი და ნეიტრონია 112 გ რკინის $^{56}_{26}Fe$ იზოტოპში?

$$(N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{მოლი}^{-1})?$$

4.10. რა უმცირესი ენერგია უნდა ჰქონდეს γ-კვანტს, რომ მოცემული რეაქცია განხორციელდეს: $^{2}_{1}H + \gamma \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{1}_{0}n$?

4.11. განსაზღვრეთ ბმის ენერგია, რომელიც $^{13}_{6}C$ ბირთვში ერთ ნუკლონზე მოდის.

4.12. შთაინთქმება თუ გამოიყოფა ენერგია მოცემულ რეაქციაში? რატომ?

$$^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$$

LAYING

4.13. ბმის კუთრი ენერგიის ნუკლონების რიცხვზე დამოკიდებულების გრაფიკიდან განსაზღვრეთ:

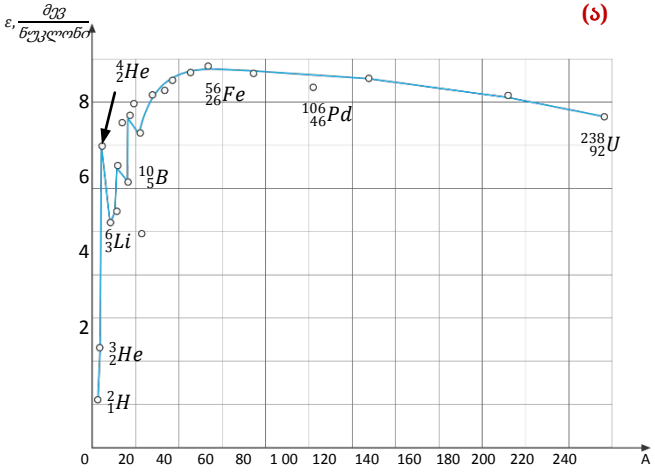
ა. რომელი ელემენტის ბმის კუთრი ენერგიაა მეტი:

1) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 200, თუ ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 100;
2) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 20, თუ ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 80;
3) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 50, თუ ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 150.

ბ. რომელი ელემენტის ბმის ენერგიაა მეტი:

1) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 200, თუ ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 100;
2) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 20, თუ ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 80;
3) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 50, თუ ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 150.

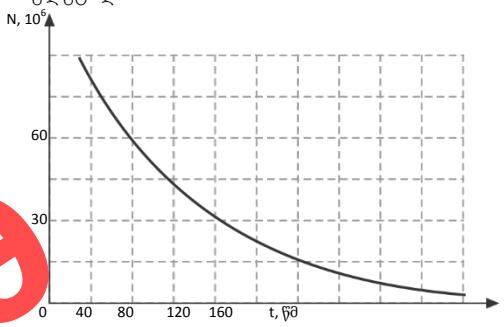
(ა)



4.14. რომელი იზოტოპი წარმოიქმნება სტიბიუმის $^{133}_{51}Sb$ იზოტოპიდან ოთხი β-დაშლის შედეგად?

4.15. რომელი იზოტოპი წარმოიქმნება აქტინიუმის $^{133}_{51}Sb$ იზოტოპიდან ხუთი β-დაშლისა და ორი α-დაშლის შედეგად?

4.16. სურათზე გამოსახულია დაუშლელი იზოტოპების რაოდენობის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ ამ იზოტოპის ნახევრად დაშლის პერიოდი.



4.17. ბორის $^{11}_{5}B$ ბირთვების პროტონებით დაბომბვისას წარმოიქმნება ბერილიუმის $^{8}_{4}Be$ იზოტოპი. დაწერეთ რეაქცია და განსაზღვრეთ:

ა) კიდევ რომელი ბირთვი მიიღება ამ რეაქციაში;

ბ) რა რაოდენობის ენერგია გამოიყოფა ამ დროს?

LAVITE

4.18. კითხვის ნიშნების ნაცვლად ჩაწერეთ ნაწილაკის დასახელება შემდეგ ბირთვულ რეაქციებში:

a) $^{198}_{80}Hg + ^{1}_{0}n \rightarrow ? + ^{1}_{1}p$

b) $^{242}_{94}Pu + ^{22}_{10}Ne \rightarrow ? + 4^{1}_{0}n$

c) $^{3}_{2}He + ? \rightarrow \ ^{1}_{1}p + ^{4}_{2}He$

4.19. განსაზღვრეთ ბირთვული რეაქციის ენერგეტიკული გამოსავალი: $^{7}_{3}Li + ^{2}_{1}H \rightarrow \ ^{8}_{4}Be + ^{1}_{0}n$.

ლითიუმის მასური რიცხვია 7, წყალბადის (დეიტერიუმის) – 2 და ბერილიუმის – 8. ისინი შესაბამისად, 7,01601 მაე-ის, 2,0141 მაე-ისა და 9,00531 მაე-ის ტოლია.

4.20. ურანის $^{235}_{92}U$ ბირთვის მიერ ნეიტრონის ჩაჭერისას ორი ბირთვი-ნამსხვრევი – ბარიუმი, $^{142}_{56}Ba$ და კრიპტონი $^{91}_{36}Kr$ წარმოიქმნა და გამოიტყორცნა სამი ნეიტრონი. ამ ბირთვების ბმის კუთრი ენერგიებია:

$$\mathcal{E}_{^{235}_{93}U} = 7{,}59\,\frac{მევ}{ნუკლონი}, \mathcal{E}_{^{142}_{56}Ba} = 8{,}38\,\frac{მევ}{ნუკლონი}, \mathcal{E}_{^{91}_{36}Kr} = 8{,}55\,\frac{მევ}{ნუკლონი}.$$

დაწერეთ ბირთვული რეაქცია და განსაზღვრეთ ამ რეაქციის ენერგეტიკული გამოსავალი.

4.21. გამოთვალეთ შემდეგი თერმობირთვული რეაქციების ენერგეტიკული გამოსავალი:

a) $^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow \ ^{1}_{1}H + ^{3}_{1}H$

b) $^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow \ ^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n$

4.22. ერთი ელემენტარული მუხტის მატარებელი იონი მოძრაობს წრეწირზე ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომლის ინდუქციაა 0,015 ტლ. განსაზღვრეთ იონის იმპულსი, თუ წრეწირის რადიუსია 10 სმ.

4.23. რომელი კვარკებისგან შედგება ნეიტრონი და პროტონი?

LAYİHƏ

თავი I

• ელექტრომაგნიტური ველი

1.1. $-3q$.
1.2. ა) $6 \cdot 10^{23}$;
ბ) 10;
გ) $6 \cdot 10^{24}$;
დ) -10^6 კ.
1.3. $4{,}2 \cdot 10^{42}$.
1.4. $49\frac{ნ}{კ}$
1.5. $9 \cdot 10^4\frac{ნ}{კ}$.
1.6. $2E$.
1.7. $10^3\frac{ნ}{კ}$.
1.8. ა) 50გ;
ბ) $4 \cdot 10^{-4}$ ჯ.
1.9. $2200\frac{ჯ}{მ}$
1.10. ა) 1-ლ უბანზე – ველი უარყოფით მუშაობას ასრუ-ლებს, მუხტის პოტენციური ენერგია იზრდება;
ბ) მე-2 უბაზე – ველი დადებით მუშაობას ასრულებს, მუხტის პოტენციური ენერგია მცირდება;
გ) მე-3 უბაზე – ველი არ ასრულებს მუშაობას, მუხტის პოტენციური ენერგია არ იცვლება.
1.11. იზრდება 4-ჯერ.
1.12. ა) იზრდება 3-ჯერ; ბ) იზრდება 3-ჯერ.
1.13. ა) $W_1 = 3W_2$;
ბ) $q_1 = 3q_2$;
გ) $U_1 = U_2$.
1.14. ა) $W_2 = 3W_1$;
ბ) $q_1 = q_2$;
გ) $U_2 = 3U_1$.
1.15. თუ დამუხტული ნაწილაკი მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების პარალელურად მოძრაობს, მაშინ მასზე ლორენცის ძალა არ მოქმედებს. მუხტი ველში წრფივად და თანაბრად მოძრაობს.
1.16. მართობულადაა მიმართული გამოსახულების სიბრტყისკენ.
1.17. ა) $1{,}6 \cdot 10^{-14}$ ნ;
ბ) 1,4 *მმ*.
1.18. ა) 1-ლი გამტარის A წერტილში მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი მიმართულია სურათის სიბრტყისკენ მართობულად;
ბ) მე-2 გამტარის B წერტილში მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი მიმართულია სურათის სიბრტყიდან მართობულად ზევით.
1.19. ა) 0ნ; ბ) 4,5ნ
1.20. ა) ზევით; ბ) ჩვენგან სურათის სიბრტყის მიმართულებით;
გ) ღეროს გადაადგილების სიჩქარის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

თავი II

• მუდმივი დენის კანონები სხვადასხვა გარემოში

2.1. $45 \cdot 10^{19}$
2.2. $1{,}5625 \cdot 10^{-5}$ *ომ/წმ*
2.3. $-187{,}5$°C
2.4. ნათურის ჩართვამდე მისი ვარვარების სპირალი ცივია, შესაბამისად, მისი წინაღობა მცირეა. ამ მიზეზით ნათურის ჩართვის მომენტში დენის ძალის სიდიდე გაცილებით აღემატება ნომინალურ მნიშვნელობას და ამ მომენტში, რადგად დიდ დენის ძალას ვერ უძლებს, ნათურის ვარვარების წვრილი სპირალი იწვება.
2.5. სიკაშკაშე იზრდება, რადგან ელექტროდ-კათოდის უბანზე წინაღობა იზრდება, ელექტრული ველი სუსტდება, ძაბვა შემცირდება და ველი ვერ გაუწევს წინააღმდეგობას ელექტრონების მოძრაობას.

LAYTHE

2.6. 24კვ.
2.7. 400 *მ.*
2.8.1,5 *ომი;* 2ა.
2.9. ა) 1 ა; ბ) 0,2ა; გ) 1,6ვ; დ) 0.
2.10. ვალენტობის შესაბამისად.
2.11. ელემენტი, რომლისთვისაც დიდია შეფარდება $\frac{მ}{ეწ}$.
2.12. იზრდება 2-ჯერ.
2.13. მცირდება ორივე.
2.15. n-ტიპის: სტიბიუმი და ფოსფორი; p-ტიპის: ინდიუმი, გალიუმი და სკანდიუმი.
2.16. 35 მა; ≈1 მა.
2.17. 1 – გაივლის დენი; 2 – დენი არ გაივლის.
2.18. შენადნობით.
2.19. ფენის სისქე პირდაპირი შეერთებისას მცირდება, ხოლო არაპირდაპირი შეერთებისას იზრდება.
2.20. $U_2 \gg U_1; P_2 \gg P_1$. აქ გათვალისწინებულია, რომ:

$$P_1 = I_e^2 R_1 \text{ და } P_2 = I_k^2 R_2 \rightarrow I_e \approx I_e \rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{R_2}{R_1} \text{ ან } \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2}{U_1}.$$

თავი III

ელექტრომაგნიტური რხევები და ტალღები

3.1. გაიზრდება 2-ჯერ.
3.2. $2{,}4 \cdot 10^{-3}$ *წმ;* 417 *ჰც*
3.3. 2.
3.4. გაიზრდება 5,76-ჯერ.
3.5. $t = \frac{1}{4}T = \frac{1}{4} \cdot 2\pi\sqrt{LC} = 15 \cdot c.$
3.6. 14 ა.
3.7. 4 ა.
3.8. $C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = 68{,}75$ *პკფ;*

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314 \cdot 68{,}75} = 46{,}33 \text{ ომი;}$$

$$I_m = \frac{U_m}{X_C}, I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}X_C} = \frac{20}{1{,}4 \cdot 46{,}33} = 0{,}31 \text{ ა;}$$

$$U = IX_C = 0{,}31 \cdot 46{,}33 = 14{,}36 \text{ ვ.}$$

3.9. 200 ვ.
3.10. R – 3; X_C – 1; X_L – 2.
3.11. 125 $\frac{\text{ბრუნვა}}{\text{წთ}}$.
3.12. $7{,}46 \cdot 10^2$ *ჰც* ÷ $7{,}46 \cdot 10^7$ *ჰც*.
3.13. $83{,}3 \cdot 10^{-8}$ *წმ.*
3.14. $l_1 = \frac{c}{2\nu} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 1700}$ *მ* = 88,235 *კმ.*

$$l_2 = \frac{ct}{2} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-6}}{2} \text{ მ} = 1{,}2 \cdot 10^2 \text{ მ} = 120 \text{ მ.}$$

3.15. თეთრი, ნაცრისფერი, შავი.

LAMINE

3.16. ცისფერი.
3.17. 5.
3.18. 1, 3, 6.
3.19. $k = 4$.
3.20. $k_1\lambda_1 = k_2\lambda_2 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{k_1\lambda_1}{k_2} = 466{,}7$ *ნმ*.

თავი IV

• ატომური ფიზიკა

4.1. $E = 1{,}99 \cdot 10^{-19}$ *ჯ* $= 1{,}24$ *ევ*; $p = 6{,}63 \cdot 10^{-28}$ $\frac{\text{კგ}\cdot\text{მ}}{\text{წმ}}$.
4.2. ა) რაც ნაკლებია ლითონიდან ფოტოელექტრონის გამოსვლის მუშაობა, მით მეტია დენის ძალა;
ბ) რაც მეტია სინათლის ინტენსივობა,მით მეტია დენის ძალა;
4.3. ა) არ არის დამოკიდებული;
ბ) კვადრატული დამოკიდებულება.
4.4. რადგანაც $h\nu = 3{,}3$ *ევ*, $h\nu < A_{\text{გამოსვლის}}$ ფოტოეფექტი არ დაიმზირება.
4.5. გაიზრდება в $|E_m - E_n| = h\nu = 3{,}978 \cdot 10^{-19}$ *ჯ*-ით.
4.6. $4 \to 1$; $1 \to 2$.
4.7. $2{,}5 \cdot 10^{15}$ *ჰც*.
4.8. $N_e = 9{,}6 \cdot 10^{25}$; $N_p = 9{,}6 \cdot 10^{25}$; $N_n = 12 \cdot 10^{25}$.
4.9. $N_e = 3{,}12 \cdot 10^{25}$; $N_p = 3{,}12 \cdot 10^{25}$; $N_n = 3{,}6 \cdot 10^{25}$.
4.10. $E = 3$ *მევ* $= 4{,}8 \cdot 10^{-13}$ *ჯ*.
4.11. $7{,}2657$ $\frac{\text{მევ}}{\text{ნუკლონი}}$.
4.12. ენერგია შთაინთქმება, რადგან:

$$\Delta E = \left(m_{^{14}_{7}N} + m_{^{4}_{2}He} - m_{^{17}_{8}O} - m_{^{1}_{1}H}\right) \cdot 931{,}5 \text{ მევ} = -0{,}6893 \text{ მევ} < 0.$$

4.13. ა. 1) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 100;
2) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 80;
3) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 50;
ბ. 1) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 2 00;
2) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 80;
3) ელემენტის, რომლის მასური რიცხვია 150;
4.14. მიღებულია ცეზიუმის იზოტოპი: $^{133}_{51}Sb \to {}^{133}_{55}Cs + 4\,{}^{0}_{-1}e$.
4.15. მიღებულია თორიუმის იზოტოპი: $^{227}_{89}Ac \to {}^{219}_{90}Th + 5 \cdot {}^{0}_{-1}e + 2 \cdot {}^{4}_{2}He$.
4.16. 40 წმ.
4.17. ა) $^{11}_{5}B + {}^{1}_{1}p \to {}^{8}_{4}Be + {}^{4}_{2}He$;
ბ) 6,66 *მევ*.
4.18. ა) $^{198}_{79}Au$; ბ) $^{260}_{104}Rf$; გ) $^{2}_{1}H$.
4.19. 15 *მევ*.
4.20. $^{235}_{93}U + {}^{1}_{0}n \to {}^{142}_{56}Ba + {}^{91}_{36}Kr + 3 \cdot {}^{1}_{0}n + E$; $E \approx 200$ *მევ*.
4.21. ა) 4,6 *მევ*;
ბ) 3,26 *მევ*.
4.22. $p = qBR = 2{,}4 \cdot 10^{-22}$ $\frac{\text{კგ}\cdot\text{მ}}{\text{წმ}}$.
4.23. p(uud); n(udd).

LAYİHƏ

წყაროები

1. Abdurazaqov R.R., Məsimov N. M., Padarov X.İ. Fizika. Hazırlıq şöbəsi üçün dərslik. Elektrodinanuka. Optika. Atom və nüvə fizikası. – Bakı, Elm və təhsil, 2011, 260 s.
2. Abdurazaqov R.R. Fizika. Elektrodinanuka. Optika. Kvant fizikası. Elektron dərslik komplekti. Metodik vəsait.– Bakı, Bakınəşr, 2007, 48 s.
3. Fizikadan nümayiş eksperimenti. 2 cilddə. II cild. Elektrodinamika, Optika, Atom və atom nüvəsi fizikası. Müəllimlər üçün vəsait. – Bakı: Maarif, 1977, 361 s.
4. Məsimov E.Ə., Mürsəlov N.M. Atom fizikası. Dərslik. – Bakı, Çaşıoğlu, 2002, 910 s.
5. Murquzov M.İ., Abdurazaqov R.R., Allahverdiyev A.M., Hüseynli M.B., Hüseynov C.İ. Fizika. Testlər. 9-11-ci siniflər üçün. – Bakı: Bakınəşr, 2012, 280 s.
6. Murquzov M.İ. Atom Fizikası. Dərslik. – Bakı, Elm və təhsil, 2011, 400 s.
7. Nəsirov V.İ. Elektrik və maqnetizm. Dərs vəsaiti. – Bakı, Adiloğlu, 2008, 392 s.
8. Qocayev N.M. Ümumi fizika kursu. Optika. 4 cilddə. IV cild. – Bakı, Çaşıoğlu, 2009, 624 s.
9. Fizik. Sınıf. 12. Ders kitabı. – Ankara, Korzayayıçılık, 2015. 342 s.
10. Çepni, Salih, Ayvacı Hakan Şevki, Çil Emine. Fen ve teknoloji. Laboratuvar uygulamalar. – Ankara, Pegem Akademi, 2012, 484 s.
11. Complete Physics for Cambridge IGCSE Student Book, Oxford University Press, 2017.
12. Gandhi, Jagdish. Education for Protection and Security: of the world's two billion children and generations yet to be born / J. Gandhi. Luckhom: Global Classroom, Pvt. Ltd., 2010. 260 p.
13. Стивен Попл. Физика в диаграммах. Оксфордские учебные пособия. М.: АСТ-Астрель, 2006, 160 с.
14. Жилко В.В., Маркович Л.Г. Решение творческих задач. – Минск, Аверсэв, 2012, 126 с.
15. Лукьянова А.В. Учимся решать задачи. Физика 11. – М.: Интеллект-центр, 2011, 176 с.
16. Хорошавин С. А. Демонстрационный эксперимент по физике. Оптика. Атомная физика. 10-11 классы. – М. : Просвещение, 2007, 240 с.
17. Якута Е.В.Физика. Подготовка к ОГЭв 2017 году. Диагностические работы. – М.: МЦНМО, 2017, 122 с.

LAYİHƏ

BURAXILIŞ MƏLUMATI

FİZİKA – 11
Ümumtəhsil məktəblərinin 11-ci sinfi üçün
Fizika fənni üzrə dərslik
Gürcü dilində

Tərtibçi heyət:

Müəlliflər:	**Rasim Rəşid oğlu Abdurazaqov** **Rövşən Mirzə oğlu Əliyev** **Qalib Mövsüm oğlu Şərifov**
Tərcüməçi	**Q.Kareli**
Redaktor	**L.Kadakidze**
Bədii redaktor	**T.Məlikov**
Texniki redaktor	**Z.İsayev**
Dizayner	**E.Çikarişvili**
Rəssamlar	**M.Hüseynov, E.Məmmədov**
Korrektor	**L.Umikadişvili**

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyinin qrif nömrəsi: 2018 – 219

© Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi – 2018

Müəlliflik hüquqları qorunur. Xüsusi icazə olmadan bu nəşri və yaxud onun hər hansı hissəsini yenidən çap etdirmək, surətini çıxarmaq, elektron informasiya vasitələri ilə yaymaq qanuna ziddir.

Hesab-nəşriyyat həcmi: 9,3. Fiziki çap vərəqi: 13. Səhifə sayı: 208. Kağız formatı: $70 \times 100^{1}/_{16}$. Ofset kağızı. Məktəb qarnituru. Ofset çapı. Tirajı 84. Pulsuz. Bakı – 2018

"Bakı" nəşriyyatı,
Bakı, AZ1001, H.Seyidbəyli küç. 30

LAYİHƏ

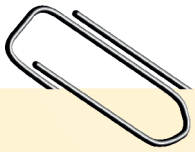
LAYTHE

ქიმიური ელემენტების პერიოდული სისტემა

პერიოდი	რიგი	ჯგუფები									
		A I B	A II B	A III B	A IV B	A V B	A VI B	A VII B	A VIII		B
1	1	(H)						H 1 წყალბადი 1,00794	He 2 ჰელიუმი 4,002602		
2	2	Li 3 ლითიუმი 6,941	Be 4 ბერილიუმი 9,01218	B 5 ბორი 10,811	C 6 ნახშირბადი 12,011	N 7 აზოტი 14,0067	O 8 ჟანგბადი 15,9994	F 9 ფტორი 18,998403	Ne 10 ნეონი 20,179		
3	3	Na 11 ნატრიუმი 22,98977	Mg 12 მაგნიუმი 24,305	Al 13 ალუმინი 26,98154	Si 14 სილიციუმი 28,0855	P 15 ფოსფორი 30,97376	S 16 გოგირდი 32,066	Cl 17 ქლორი 35,453	Ar 18 არგონი 39,948		
4	4	K 19 კალიუმი 39,0983	Ca 20 კალციუმი 40,078	21 Sc სკანდიუმი 44,95591	22 Ti ტიტანი 47,88	23 V ვანადიუმი 50,9415	24 Cr ქრომი 51,9961	25 Mn მანგანუმი 54,9380	26 Fe რკინა 55,847	27 Co კობალტი 58,9332	28 Ni ნიკელი 58,71
	5	29 Cu სპილენძი 63,546	30 Zn თუთია 65,39	Ga 31 გალიუმი 69,723	Ge 32 გერმანიუმი 72,59	As 33 დარიშხანი 74,9216	Se 34 სელენი 78,96	Br 35 ბრომი 79,904	Kr 36 კრიპტონი 83,80		
5	6	Rb 37 რუბიდიუმი 85,4678	Sr 38 სტრონციუმი 87,62	39 Y იტრიუმი 88,9059	40 Zr ცირკონიუმი 91,224	41 Nb ნიობიუმი 92,9064	42 Mo მოლიბდენი 95,94	43 Tc ტექნეციუმი [98]	44 Ru რუთენიუმი 101,07	45 Rh როდიუმი 102,9055	46 Pd პალადიუმი 106,42
	7	47 Ag ვერცხლი 107,8682	48 Cd კადმიუმი 112,41	In 49 ინდიუმი 114,82	Sn 50 კალა 118,710	Sb 51 სტიბიუმი 121,75	Te 52 ტელური 127,60	I 53 იოდი 126,9045	Xe 54 ქსენონი 131,29		
6	8	Cs 55 ცეზიუმი 132,9054	Ba 56 ბარიუმი 137,33	57 La* ლანთანი 138,9055	72 Hf ჰაფნიუმი 178,49	73 Ta ტანტალი 180,9479	74 W ვოლფრამი 183,85	75 Re რენიუმი 186,2	76 Os ოსმიუმი 190,2	77 Ir ირიდიუმი 192,22	78 Pt პლატინა 195,08
	9	79 Au ოქრო 196,9565	80 Hg ვერცხლისწყალი 200,59	Tl 81 თალიუმი 204,383	Pb 82 ტყვია 207,2	Bi 83 ბისმუტი 208,9804	Po 84 პოლონიუმი [209]	At 85 ასტატი [210]	Rn 86 რადონი [222]		
7	10	Fr 87 ფრანციუმი [223]	Ra 88 რადიუმი [226]	89 Ac** აქტინიუმი [227]	104 Rf რეზერფორდიუმი [263]	105 Db დუბნიუმი [261]	106 Sg სიბორგიუმი [261]	107 Bh ბორიუმი [262]	108 Hs პასიუმი [265]	109 Mt მეიტნერიუმი [266]	110

*ლანთანოიდები	Ce 58 ცერიუმი 140,12	Pr 59 პრაზეოდიუმი 140,9077	Nd 60 ნეოდიუმი 144,24	Pm 61 პრომეთიუმი [145]	Sm 62 სამარიუმი 150,35	Eu 63 ევროპიუმი 151,96	Gd 64 გადოლინიუმი 157,25	Tb 65 თერბიუმი 158,924	Dy 66 დისპროზიუმი 162,50	Ho 67 ჰოლმიუმი 164,9304	Er 68 ერბიუმი 167,26	Tm 69 თულიუმი 168,9342	Yb 70 ითერბიუმი 173,04	Lu 71 ლუტეციუმი 174,967
**აქტინოიდები	Th 90 თორიუმი 232,0381	Pa 91 პროტაქტინიუმი [231]	U 92 ურანი 238,0289	Np 93 ნეპტუნიუმი [237]	Pu 94 პლუტონიუმი [244]	Am 95 ამერიციუმი [243]	Cm 96 კიურიუმი [247]	Bk 97 ბერკლიუმი [247]	Cf 98 კალიფორნიუმი [251]	Es 99 ეინშტეინიუმი [252]	Fm 100 ფერმიუმი [257]	Md 101 მენდელევიუმი [258]	No 102 ნობელიუმი 259,1009	Lr 103 ლოურენსიუმი 260,1054

Pulsuz



Əziz məktəbli !

Bu dərslik sənə Azərbaycan dövləti tərəfindən bir dərs ilində istifadə üçün verilir. O, dərs ili müddətində nəzərdə tutulmuş bilikləri qazanmaq üçün sənə etibarlı dost və yardımçı olacaq.

İnanırıq ki, sən də bu dərsliyə məhəbbətlə yanaşacaq, onu zədələnmələrdən qoruyacaq, təmiz və səliqəli saxlayacaqsan ki, növbəti dərs ilində digər məktəbli yoldaşın ondan sənin kimi rahat istifadə edə bilsin.

Sənə təhsildə uğurlar arzulayırıq!

LAYİHƏ