

გიორგი გელანიძე
ეთერ ლაზარაშვილი

ფიზიკა

XI კლასი

მოსწავლის წიგნი

გრიფინიჭებულია საქართველოს განათლებისა და
მეცნიერების სამინისტროს მიერ 2023 წელს



გამომცემლობა ინტელექტი
თბილისი 2023

გიორგი გედენიძე, ეთერ ლაზარაშვილი

ფიზიკა XI

მოსწავლის წიგნი

გამომცემლობა **ინტელექტი**
თბილისი, 2023

პირველი გამოცემა

რედაქტორები **გვანცა გედენიძე**
მაია მერაბიშვილი

წიგნის კომპიუტერული უზრუნველყოფა **ილია ხელაიასი**

გამომცემლობა **ინტელექტი**

თბილისი, ილია ჭავჭავაძის გამზირი 5
225-05-22, 599 55-66-54

info@intelekti.ge www.intelekti.ge

ISBN 978-9941-31-621-0

© გამომცემლობა „ინტელექტი“, 2023

© გიორგი გედენიძე, ეთერ ლაზარაშვილი, 2023

შინაარსი

შესავალი.....	6
I თავი. ელექტრომაგნიტური მოვლენები.....	13
§ 1.1. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	14
§ 1.2. მაგნიტური ველი. დენის მაგნიტური ველი.....	20
§ 1.3. მაგნიტური ველის ინდუქციის მიმართულება.....	27
§ 1.4. მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული. ამპერის ძალა.....	32
§ 1.5. მაგნიტური ველის მოქმედება მოძრავ მუხტზე. ლორენცის ძალა.....	36
§ 1.6. ნივთიერების მაგნიტური თვისებები.....	39
§ 1.7. ამოცანების ამოხსნის ნიმუში.....	43
კითხვები, ამოცანები, ტესტები.....	45
§ 1.8. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა. მაგნიტური ნაკადი.....	49
§ 1.9. ინდუქციური დენის მიმართულება. ლენცის წესი. ბრიგალური ელექტრული ველი.....	55
§ 1.10. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი.....	60
§ 1.11. თვითინდუქცია.....	64
§ 1.12. ინდუქციურობა. მაგნიტური ველის ენერგია.....	68
§ 1.13. ამოცანების ამოხსნის ნიმუშები.....	71
კითხვები, ამოცანები, ტესტები.....	73
§ 1.14. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	79
II თავი. მექანიკური რხევები და ტალღები.....	80
§ 2.1. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	81
§ 2.2. მათემატიკური ძანძარა.....	86
§ 2.3. რხევითი მოძრაობა. ზამბარიანი ძანძარა.....	90
§ 2.4. ჰარმონიული რხევა.....	94
§ 2.5. თავისუფალი და იძულებითი რხევები. რეზონანსი.....	101
§ 2.6. მექანიკური ტალღები.....	107
§ 2.7. გბერითი ტალღა.....	112
§ 2.8. დოპლერის ეფექტი.....	117
§ 2.9. ამოცანის ამოხსნის ნიმუში.....	120
კითხვები, ამოცანები, ტესტები.....	122
§ 2.10. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	126
III თავი. ელექტრომაგნიტური რხევები და ტალღები.....	127
§ 3.1. ანალოგია მექანიკურ და ელექტრომაგნიტურ მოვლენებს შორის.....	128
§ 3.2. ცვლადი დენი. ცვლადი დენის გენერატორი. დენის ძალისა და ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობა.....	134
§ 3.3. ელექტრული ენერგიის გადაცემა.....	140
§ 3.4. ტრანსფორმატორი.....	144

§3.5. ელექტრომაგნიტური ტალღები.....147
 §3.6. ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოყენება. რადიოტალღები.....153
 §3.7. ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოყენება. ოპტიკური დიაპაზონის ელექტრომაგნიტური ტალღები. რენტგენის სხივები157
 §3.8. ამოცანის ამოხსნის ნიმუში.....162
 კითხვები, ამოცანები, ტესტები.....163
 § 3.9. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა167

IV თავი. გომეტრიული ოპტიკა.....168

§ 4.1. სინათლის წყაროები172
 § 4.2. სინათლის გავრცელება.....175
 § 4.3. სინათლის არეკვლის კანონები. ბრტყელი სარკე.....179
 § 4.4. ჩაატარეთ, გამოიკვლიეთ, ივარაუდეთ, დაადგინეთ183
 § 4.5. სინათლის გარდატეხა. სრული შინაბანი არეკვლა.....184
 § 4.6. ამოცანების ამოხსნის ნიმუში189
 § 4.7. სინათლის დისპერსია191
 § 4.8. ლინზა195
 § 4.9. გამოსახულების აგება ლინზაში.....199
 § 4.10. ოპტიკური ხელსაწყოები. თვალი და მხედველობა.....203
 § 4.11. ოპტიკური ხელსაწყოები.....207
 § 4.12. სინათლის სიჩქარე.....210
 § 4.13. ამოცანის ამოხსნის ნიმუში214
 § 4.14. ისევ სინათლის მოვლენების შესახებ.....216
 კითხვები, ამოცანები, ტესტები.....220
 § 4.15. შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა225
 სახელმძღვანელოში მოცემული ამოცანებისა და ტესტების პასუხები.....226
 საბანთა საძიებელი.....232

სხირად გამოყენებული	აღნიშვნა	გამოყენების მაგალითი	როგორ იკითხება
ფორმულის ნუმერაცია	(1); (2); (3) და ა.შ.	$V=Sh$ (1) $S=ab$ (2)	პირველი ფორმულა მეორე ფორმულა
საბოლოო ფორმულები	(*) (**)	$S=ab$ (*) $V=abh$ (**)	ვარსკვლავიანი ფორმულა ორვარსკვლავიანი ფორმულა
გამომდინარეობს	\Rightarrow	(1) \Rightarrow	პირველიდან გამომდინარეობს
და	\wedge	(2) \wedge (4)	მეორე და მეოთხე
ჩავსვათ	\rightarrow	(2) \rightarrow (3)	მეორე ფორმულა ჩავსვათ მესამეში
ჩავსვათ რიცხვითი მნიშვნელობები	\mapsto	\mapsto (*)	ჩავსვათ რიცხვითი მნიშვნელობები (*)
აღვნიშნოთ	\equiv	$F_1=F_2 \equiv F$	F_1 და F_2 ტოლი სიდიდეები აღვნიშნოთ F -ით

როგორ ვინაშაქვანალოთ სხელებიანალოთი

პარაგრაფის ნომერი

- დენიან გამტარზე მაგნიტური ველის მოქმედება არის თუ არა გამტარის მიმართულად მოძრავე დამუხტულ ნაწილაკებზე ველის მოქმედების შედეგი? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

პარაგრაფის სახელწოდება

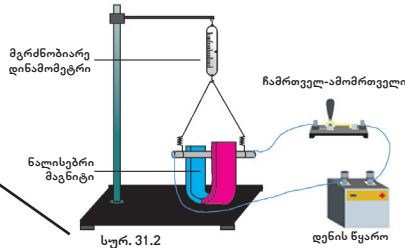
§ 1.5. მაგნიტური ველის მოქმედება მოძრავე მუხტზე. ლორენცის ძალა

ინდივიდუალური სამუშაო



1. ჩამოაყალიბეთ ლენცის წესი.

31-ე გვერდის მე-2 სურათი



დააკვირდით სურ. 31.2-ს. რა არის გამოსახული სურ. 31.2-ზე? როგორია თქვენი ვარაუდი: რა მოხდება, თუ ჩამრთველს ჩაერთავთ?

წყვილებად მუშაობა



7. რას ამჩნევთ? როგორ იცვლება ინდუქციური დენის ძალა გამტარისა და მაგნიტის ერთმანეთის მიმართ სწრაფად მოძრაობისას?

ჯგუფებად მუშაობა



14. თქვენ როგორ ფიქრობთ?

ინფორმაცია სურათის მიხედვით



4. დააკვირდით სურათს და ისაუბრეთ, რა ინფორმაციას იღებთ სურათიდან.

ამოცანები ლოგიკური მსჯელობის გამოყენებით



5. ორი ერთნაირი ლითონის დამუხტული ბურთულის შეხებისას მათზე მუხტები თანაბრად ნაწილდება.

ვიცი, რომ

ვიცი, რომ:

სადაც კი არსებობს ელექტრული დენი, ე.ი. მოძრავე ელექტრული მუხტები, იქ არსებობს მაგნიტური ველიც. ელექტრული დენი და მაგნიტური ველი ერთმანეთისგან განუყოფელია.

სავარჯიშო

სავარჯიშო

პრობლემური შეკითხვა, დასაფიქრებელი ამოცანა, რომელიც მომდევნო გაკვეთილის თემას შეეხება

მოამზადეთ შედეგი გაკვეთილისთვის

1. არის თუ არა განსხვავება ერთსა და იმავე მაგნიტურ ველში შეჭრილი იონების მოძრაობებს შორის, თუ: ა. იონები სხვადასხვა ნიშნისაა; ბ. განსხვავებულია მათი მუხტის მოდული; გ. განსხვავებულია იონების მასა.

რის მეშვეობით აღიძვრება გამტარში ელექტრული დენი?

ცდა, ექსპერიმენტი კვლევის უნარების ჩამოსაყალიბებლად, მსჯელობისა და დასკვნის გამოსატანად

მეცნიერული კვლევა-ძიება

107.2 სურათების მიხედვით კვლავ ჩაატარეთ ცდები და გამოიტანეთ დასკვნა: მოძრავე დამუხტული ნაწილაკები – ელექტრული დენი ყოველთვის ქმნის მაგნიტურ ველს?

შესავალი

მაიკლ ფარადეი

„როდესაც მისი აღმოჩენების მასშტაბებსა და სიდიადეს განვიხილავთ, მათ გავლენას მეცნიერებისა და მრეწველობის პროგრესზე, ვიაზრებთ, რომ ვერასოდეს მივაგებთ საკადრის პატივს ფარადეის, ყველა დროის ერთ-ერთ უდიდეს მკვლევარ მეცნიერს“.

ერნსტ რეზერფორდი, მე-20 საუკუნის ნობელიანტი ფიზიკოსი

„... ქეშმარიტების აღმოჩენა მისი ერთადერთი მიზანი და ინტერესია... რომ შემძლებოდა, თუნდაც შექსპირი ვყოფილიყავი, ვფიქრობ, მაინც ფარადეის ავირჩევდი...“

ოლდოს ჰაქსლი, მწერალი, დრამატურგი, ფილოსოფოსი,

მე-20 საუკუნის ინგლისური ლიტერატურის კლასიკოსი

„მისი ნაშრომების ღირებულება ბირჟაზე არსებული ყველა აქციის კაპიტალიზაციას უნდა აღემატებოდეს“.

მარგარეტ ტეტჩერი, გაერთიანებული სამეფოს პრემიერ-მინისტრი

ამ წიგნს ალბათ ელექტროგანათების შუქზე კითხულობთ და, საერთოდ, ელექტრულ დენსაც ყოველდღიურობის აუცილებელ ატრიბუტად აღვიქვამთ. ის ფაქტი, რომ ელექტრული დენი თქვენს სახლებში ყველა საყოფაცხოვრებო მოწყობილობას ამუშავებს, იმდენად ჩვეულებრივ ამბად იქცა, რომ არც კი ვფიქრობთ, სამეცნიერო აზრის განვითარების რა რთული ეტაპები უძღოდა წინ ამ ყოველდღიურ მოვლენას.

მოკლედ გიამბობთ იმ ადამიანის ღვაწლზე, ვისი იდეებისა და „ნაშრომების ღირებულება ბირჟაზე არსებული ყველა აქციის კაპიტალიზაციას უნდა აღემატებოდეს“. მაიკლ ფარადეის ცხოვრება, საქმიანობა და მიღწევები არაერთმა ავტორმა აღწერა. ჩვენ მხოლოდ რამდენიმე საინტერესო ფაქტს გაგაცნობთ, ხოლო სამეცნიერო მიღწევებს და მათ მნიშვნელობას, ალბათ, თავად შეაფასებთ წინამდებარე სახელმძღვანელოს დამუშავებისას.



სურ. 6.1. ფარადეის მუზეუმი, ლონდონის სამეფო ინსტიტუტი

1800-იანი წლების დასაწყისში დიდ ქალაქებში საშუალო ოჯახი ერთ ლამეში, დაახლოებით, ერთ სანთელს იყენებდა. ასეთი განათების შესაფასებლად, აღვნიშნოთ, რომ ერთი სანთლის შუქი 100 ვატიანი ნათურის გამოსხივებული სინათლის 1/100-ია. გარდა ამისა, გავითვალისწინოთ, რომ სანთელი სწრაფად იწვის.

ლონდონის მახლობლად მდებარე ნიუინგტონ-ბატსი, სადაც მაიკლ ფარადეი 1791 წლის 22 სექტემბერს დაიბადა, ერთ-ერთი ყველაზე ჭუჭყიანი ქალაქი იყო. ქალაქს ინდუსტრიული რევოლუციის შედეგად წარმოქმნილი მანქანების კვამლი ფარავდა. სიდუხჭირის გამო, სოფლის მეურნეები ქალაქებში გადადიოდნენ, საათობით მუშაობდნენ და სოციალური თუ ინტელექტუალური განვითარების მეტად მცირე შესაძლებლობა ჰქონდათ. ფარადეიმ მოახერხა ამ ჯაჭვის განწყვეტა და მე-19 საუკუნეში თავისი მოღვაწეობით სამეცნიერო კარიერის ბრწყინვალე მაგალითი შექმნა.

14 წლის მაიკლს გაუმართლა და წიგნის ამკინძავად დაიწყო მუშაობა. იმ ეპოქაში წიგნების კითხვა ძალიან ძვირადღირებული სიამოვნება იყო. სამუშაოს წყალობით, ფარადეის ხელი მიუწვდებოდა ყველა წიგნზე, რომელიც აკინძა და კითხულობდა ისეთი გატაცებით, როგორც იუველირი ათვალღირებს ძვირფას ქვას, - წერდა სერჯიო პარა კასტილიო წიგნში „მაღალი ძაბვის მეცნიერება. ფარადეი. ელექტრომაგნიტური ინდუქცია“.

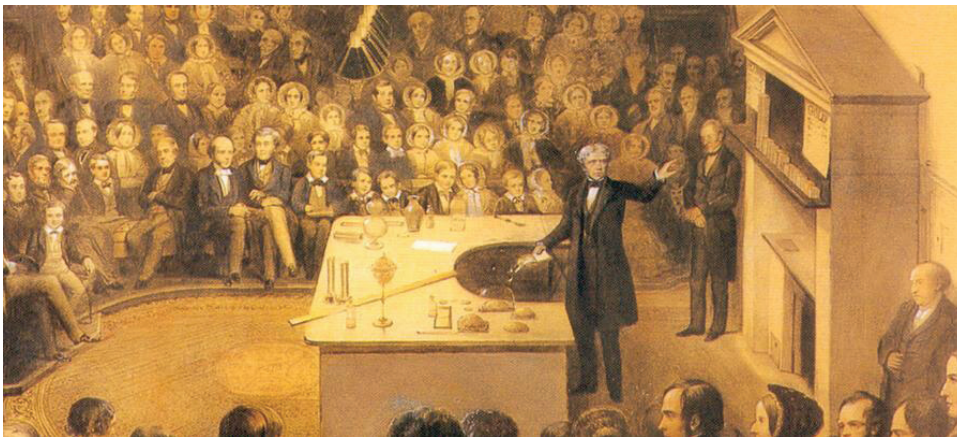
პლანეტების წარმომქმნელ ელემენტთაგან ზოგიერთი ლითონია, ჩამალული სამყაროს წიაღში - გამდნარი ლითონის ბირთვში. ითვლება, რომ ამ ცხელმა ლითონმა თავისი ბრუნვა-ტრიალით ჩვენი პლანეტა გიგანტურ მაგნიტად აქცია. დედამიწაზე ყველაფერი გარშემორტყმულია უხილავი მაგნიტური ველით, რომელიც წარმოიქმნება თხევადი ლითონის უხილავი ტალღების მოძრაობის შედეგად. ზოგიერთმა კულტურამ, მაგალითად, ჩინურმა, კლასიკურ პერიოდში, შეძლო ამ უხილავი ველის აღქმა და მისი ზოგიერთი თვისება ნავიგაციისთვისაც კი გამოიყენა, მაგრამ მისი ბუნება მრავალი საუკუნის განმავლობაში საიდუმლოდ დარჩა. მაიკლ ფარადეიმ სწორედ ამ უხილავი და გაუგებარი ველის შესახებ ცოდნა შეცვალა რადიკალურად. მან არა მხოლოდ გამოავლინა ელექტრული ეფექტები, არამედ აჩვენა მათი განუყოფელი კავშირი მაგნეტიზმთან. ფარადეი იყო პირველი, ვინც დაამტკიცა, რომ მაგნიტურ ველს შეუძლია ელექტრული დენის წარმოქმნა. მან გამოიგონა ელექტროძრავა და დინამო, რომელმაც სამუდამოდ შეცვალა კაცობრიობის ცხოვრება. ასევე დაამტკიცა, რომ არსებობს კავშირი ელექტრონერგეისა და ქიმიურ ურთიერთქმედებას შორის. ფარადეიმ შეისწავლა მაგნეტიზმის გავლენა სინათლეზე. აინშტაინი (რომელსაც ფარადეის სურათი თავისი სამუშაო ოთახის კედელზე ეკიდა) მიიჩნევდა, რომ ვალში ვართ ფარადეის წინაშე თუნდაც მხოლოდ ინდუქციის კანონის აღმოჩენისთვის, რომელიც მის სახელს ატარებს.

მაიკლ ფარადეი არა მხოლოდ დიდი ექსპერიმენტატორი, არამედ განმანათლებელიც გახლდათ. იგი მიიჩნევდა, რომ მეცნიერება არ უნდა გამოამწყვდიონ ელიტურ დაწესებულებებში და ის ხელმისაწვდომი უნდა იყოს ყველა დაინტერესებული ახალგაზრდისთვის. ამიტომ დიდი ბრიტანეთის სამეფო ინსტიტუტში, 1827 წლიდან 19 წლის განმავლობაში ყოველწლიურად ატარებდა საშობაო ლექციებს. ამ იდეამ და წამოწყებამ დასაბამი მისცა საშობაო ლექციების ტრადიციას, რომელიც დღემდე გრძელდება. მასში ბევრი მეცნიერი და პედაგოგი მონაწილეობს, რაც სასახელო და პრესტიჟულია. ეს ლექციები არაერთი ახალგაზრდის მოტივაციისა და შთაგონების წყარო გამხდარა. 1936 წლიდან კი ტელევიზიითაც გადაიცემა. ერთ-ერთ პირველ საშობაო ლექციაზე ფარადეის უთქვამს, რომ სანთელი ყველა ცნობილ ფიზიკურ პროცესს ასახავს. ახლა შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ფარადეი გახდა სანთელი მთელი სამყაროსთვის, რომელმაც მარადიული სინათლე მოიტანა.

ფოტოებზე 8.1-8.2 ხედავთ ლონდონის სამეფო ინსტიტუტის ფარადეის საშობაო ლექციების დარბაზს. ფარადეი ლექციებს ქიმიისა და ფიზიკის გარშემო ატარებდა. დღეს კი ლექციების თემატიკა მეცნიერების არაერთ დარგს ფარავს (მეტი ინფორმაციისთვის მიმართეთ ბმულს: <https://www.rigb.org/christmas-lectures>).



სურ. 8.1. ლონდონის სამეფო ინსტიტუტის სალექციო დარბაზი.



სურ. 8.2. მაიკლ ფარადეი საშობაო ლექციას კითხულობს.

ფარადეის ბიოგრაფისა და მეგობრის, მეცნიერ ჯონ ტინდალის (ქვემოთ მის დამსახურებასაც შევეხებით) ინფორმაციით, 1839 წლიდან ფარადეი მეტად ხელმოკლედ ცხოვრობდა, მისი შემოსავლის ერთადერთი წყარო პენსია იყო. ტინდალი ამბობს, რომ „ის გარდაიცვალა სიღარიბეში (1865, 27 აგვისტო), მაგრამ ჰქონდა პატივი, ორმოცი წლის განმავლობაში ღირსეულად შეენარჩუნებინა ინგლისის სამეცნიერო დიდება“.

მაგნიტური ველი

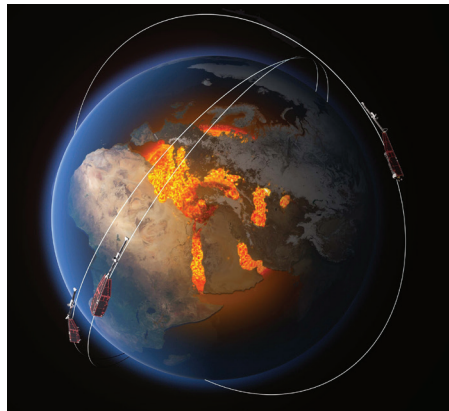
მიუხედავად იმისა, რომ უხილავია, ჩვენი პლანეტის მაგნიტური ველი (ისევე, როგორც ელექტრული) მოქმედებს ძალებით, რომლებიც ჩვენს ყოველდღიურ ცხოვრებაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს.

ევროპის კოსმოსური სააგენტოს მისია Swarm სამი სატელიტისგან შედგება (სურ. 9.1). ის დედამიწის ზედაპირიდან 450-550 კმ სიმაღლეზე ბრუნავს და დედამიწის მაგნიტურ ველს იკვლევს. იგი ზომავს დედამიწის ბირთვიდან, ქერქიდან, ოკეანეებიდან, იონოსფეროდან, მაგნიტოსფეროდან მიღებულ მაგნიტურ სიგნალებს. 2013 წლიდან, მას შემდეგ, რაც სატელიტების ეს სამეუთლი ორბიტაზე გაუშვეს, მეცნიერები მათ მიერ მოწოდებულ მო-

ნაცემებს აანალიზებენ, რათა ახლებურად შეხედონ დედამიწისთვის დამახასიათებელ ბევრ ბუნებრივ პროცესს (მზის აქტივობით გამოწვეული კოსმოსური ამინდი, ან დედამიწის ბირთვის სიღრმეში მიმდინარე პროცესების დინამიკა).

დედამიწის მაგნიტური ველი ჩვენთვის ერთგვარი დამცავი ფარია. ის ჩვენ მზის ქარის მავნე ნაწილაკებისაგან გვიცავს. ამ დამცავი ფარის გარეშე ატმოსფერო ამგვარი სახით არ იარსებებდა და დედამიწაზე სიცოცხლე პრაქტიკულად შეუძლებელი იქნებოდა. მზის ქარი არის მზის მიერ გამოტყორცნილი დამუხტული ნაწილაკების – პროტონების, ელექტრონებისა და პლაზმის დიდი სიჩქარით მოძრავი ნაკადი.

ვარაუდობენ, რომ დედამიწის მაგნიტური ველის არსებობას მის ქერქში მბრუნავი გავარვარებული ლითონის ოკეანე განაპირობებს, რომელიც დედამიწის სიღრმეში 3000 კილომეტრზეა (შეგახსენებთ, დედამიწის რადიუსი დაახლოებით 6400 კილომეტრია). მის მოქმედებას ხშირად გიგანტური ველოსიპედის დინამოს მუშაობას ადარებენ. მაგნიტური ველის სხვა მიზეზებია მინერალები დედამიწის მანტიასა და ქერქში, ასევე იონოსფერო და მაგნიტოსფერო. ოკეანის მარილიან, გამტარ ნყალსაც გარკვეული, თუმცა კი მცირე, გავლენა აქვს მაგნიტურ ველზე. დედამიწის მაგნიტური ველის სიმბოლური სურათი შეგიძლიათ ამ ბმულზე იხილოთ: <https://youtu.be/tQYUXRO2hYI>



სურ. 9.1. ევროპის კოსმოსური სააგენტოს მისია Swarm

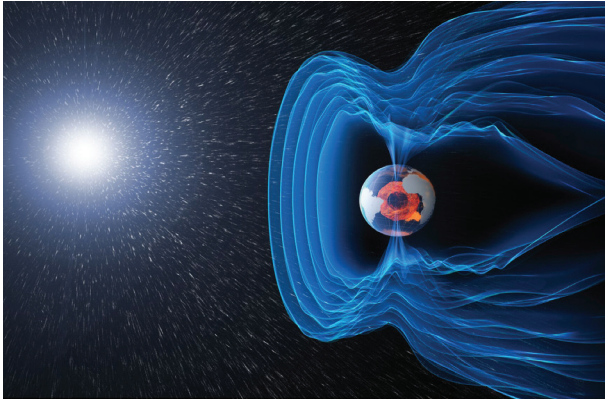


სურ. 9.2. Swarm-ის ერთ-ერთი სატელიტი

ევროპის კოსმოსური სააგენტოს Swarm-ის სატელიტების ინფორმაციაზე დაყრდნობით, მეცნიერები უკვე სწავლობენ დედამიწის ქერქის სტრუქტურასა და დედამიწის სითბურ წარსულს.

ცოტა რამ მაგნეტიზმის თანამედროვე მკვლევრების შესახებ

ათწლეულების განმავლობაში ფიზიკოსები ამჩნევდნენ, რომ გარკვეული მეტალური ნივთიერებები უცნაურ ქცევას ამჟღავნებდნენ ელექტრული წინააღობის მხრივ. როგორც წესი, რაც მეტია ტემპერატურა, მით მეტად ინტენსიურია მეტალის კრისტალური მესრის სითბური



სურ. 10.1. მაგნიტური ველის მოქმედება უმნიშვნელოვანეს გავლენას ახდენს ჩვენს ყოველდღიურ ცხოვრებაზე. ველი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც უზარმაზარი დინამიკური ბუშტი, რომელიც გვიცავს კოსმოსური გამოსხივებისა და მზის ქარებისგან.

რხევებიც, რაც, თავის მხრივ, ზრდის ნივთიერების წინააღმდეგობას. კლასიკური წარმოდგენის თანახმად, მეტალების ელექტრული წინააღმდეგობა მცირდება ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად.

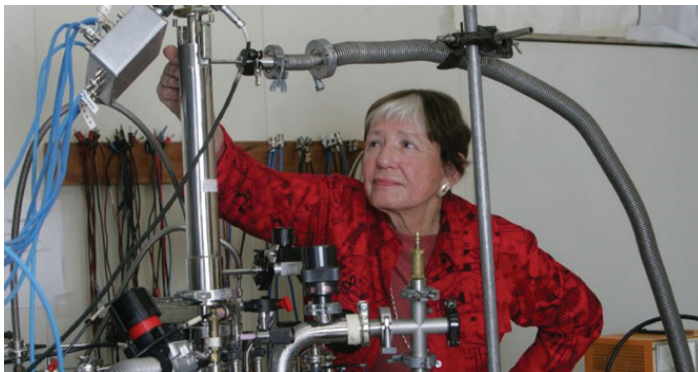
მაგრამ ზოგჯერ ტემპერატურის შემცირებით შეიმჩნევა წინააღმდეგობის ზრდა. ზოგიერთი მეტალის (მაგალითად, **Pb, Nb**) წინააღმდეგობა, ტემპერატურის შემცირებისას, მცირდება და შემდეგ ეცემა ნულამდე, ანუ ხდება ზეგამტარი, ხოლო ბევრი სუფთა მეტალის (მაგალითად, **Cu, Au, Al**) წინააღმდეგობა მცირდება რალაც ნარჩენ სიდიდემდე. მაგრამ ზოგჯერ, ზოგიერთი მეტალური ნივთიერების (**Fe, Co, Ni**) წინააღმდეგობა ძალიან მცირე ტემპერატურაზე კვლავ ზრდას იწყებს. ეს ფაქტი დიდხანს გამოცანად რჩებოდა. ეს მოვლენა იაპონელმა მეცნიერმა, ჯიუნ კონდომ, წარმატებით ახსნა და მას კონდოს ეფექტი (**Kondo effect**) უწოდეს. კონდოს ეფექტი აღმოჩნდა მნიშვნელოვანი ფაქტორი მყარ სხეულში ელექტრონების ქცევის ასახსნელად. დოქტორ კონდოს თეორიული ახსნის სისწორე ექსპერიმენტულად დაადასტურა მირიამ სარაჩიკის კვლევებმა ნიუ ჯერსის **Bell Labs** ლაბორატორიაში. კერძოდ, მირიამის კვლევებმა აჩვენა, რომ რკინის მცირე ნაწილაკების მინარევით განპირობებული მაგნეტიზმი იწვევს წინააღმდეგობის ზრდას, რასაც მანამდე მეცნიერები ვერ ხსნიდნენ და რაც თეორიულად ივარაუდა კონდომ.

მირიამ სარაჩიკი თავისი შეუპოვრობითა და მონდომებით ცნობილი მეცნიერია. ის ბელგიური წარმოშობის ებრაელთა ოჯახში დაიბადა და სასწაულებრივად გადაურჩა ფაშისტების დევნასა და საკონცენტრაციო ბანაკებს, რის შემდეგაც ამერიკაში მოხვდა. მიუხედავად იმისა, რომ კოლუმბიის უნივერსიტეტში მაგისტრისა და დოქტორის ხარისხები მოიპოვა, პროფესორები მაინც ურჩევდნენ დიასახლისობას ან ნახევარ განაკვეთზე მასწავლებლობას, რადგან იმ დროს, 1960-იან წლებში, ქალები ნაკლებად იყვნენ ჩართულნი სამეცნიერო საქმიანობაში, მით უფრო, ექსპერიმენტულ ფიზიკაში. თუმცა არც ბავშვობისდროინდელმა ტრავმებმა, არც ამგვარმა დამოკიდებულებამ და არც დიდმა ოჯახურმა ტრაგედიამ შვილის დაკარგვისა და დაღუპვის გამო, ვერ მოსპო მისი ინტერესი მეცნიერებისა და ექსპერიმენტების მიმართ. მირიამი ღრმა მოხუცებულობამდე ასწავლიდა სტუდენტებს, მომავალ მეცნიერებს. 2020 წელს ამერიკის ფიზიკის საზოგადოებამ მირიამ სარაჩიკი დააჯილდოვა მედლით განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი მიღწევებისათვის – „მყარ სხეულებში ელექტრონული ტრანსპორტის ფიზიკასა და მოლეკულური მაგნეტიზმის კვლევაში შეტანილი ფუნდამენტური წვლილისათვის“.

კითხვაზე, თუ როგორ მიიღწევა გრძელვადიანი წარმატება, მსცოვანი მეცნიერი პასუხობდა, რომ „ეს მოითხოვს შეუპოვრობას, გამძლეობას, ეს მოითხოვს დიდ ნებისყოფას, ეს მოითხოვს, შეძლო, არასოდეს შეჩერდე“. ფასდაუდებელია მირიამის წვლილი ქალი

მეცნიერების მხარდაჭერის საქმეში. ის მთელი სიცოცხლის მანძილზე იბრძოდა იმისათვის, რომ სამეცნიერო წრეებში არ შეღავათიყო მეცნიერ ქალთა უფლებები.

წყარო: <http://bit.ly/3XODziv>



სურ. 11.1. მირიამ სარაჩივი, ამერიკელი მეცნიერი, ექსპერიმენტული ფიზიკის პროფესორი, ელექტრობისა და მაგნეტიზმის მკვლევარი

მაგნიტური ველების კვლევის თვალსაზრისით, დღეს წამყვანი ადგილი უჭირავს ძლიერი მაგნიტური ველების ეროვნულ ლაბორატორიას (HagLab). ეს გახლავთ ფლორიდის უნივერსიტეტისა და ლოს-ალამოსის ეროვნული ლაბორატორია, რომელიც ერთადერთია აშშ-ში, მსოფლიოში არსებულ იმ თორმეტთაგან, რომელიც მაგნიტურ ველებს იკვლევს.



სურ. 11.2. ძლიერი მაგნიტური ველების ეროვნული ლაბორატორია (MagLab), სათავო ოფისი.

ლაბორატორია მსოფლიო რეკორდსმენია იმ მხრივ, რომ მას ეკუთვნის მსოფლიოში ყველაზე ძლიერი მაგნიტი ბირთვული მაგნიტური რეზონანსის სპექტროსკოპიისათვის. 30 ტონამდე მასის ჰიბრიდულმა მაგნიტმა მოხსნა რეკორდი MagLab-ის ინჟინრებისა და მეცნიერების მიერ ჩატარებული ტესტირებისას – 2016 წლის 15 ნოემბერს მან შექმნა ყველაზე ძლიერი – 36 ტესლა ველი. თუმცა ე.წ. ჰიბრიდული ტექნოლოგიის მაგნიტის მეშვეობით ლაბორატორიაში შემდგომში 45 ტესლა ველიც მიიღეს (ტესლა მაგნიტური ველის მახასიათ-



სურ. 11.3. ჰიბრიდული მაგნიტი, 45 ტესლა: ზეგამტარი მაგნიტის შიგნით, რომელიც 11,5 ტესლა ველს უზრუნველყოფს, 34 ტესლა ველის მაგნიტია მოთავსებული.

ებელი ფიზიკური სიდიდის ერთეულია, რომელსაც მომდევნო პარაგრაფებში შევისწავლით).
ლაბორატორიის ვებგვერდზე ბევრ საინტერესო ინფორმაციას იპოვით:
<https://nationalmaglab.org/>.

მე-11 კლასის ფიზიკის სახელმძღვანელოში იმ ცნებებსა და საკითხებს გაეცნობით, რომლებიც ზემოთ აღწერილ მეცნიერულ აღმოჩენებსა თუ ტექნიკურ პროგრესს გაგახსენებთ და ფაქტებისა და მოვლენების უკეთ გააზრებაში დაგეხმარებათ.

დაიცავით უსაფრთხოება!

სახელმძღვანელოში ზოგან შეხვდებით წითელ ძახილის ნიშანს – იგი აღნიშნავს ისეთ ცდებსა და დავალებებს, რომელთა შესრულებისას სიფრთხილის დაცვაა საჭირო. მე-11 კლასში ელექტრობის თემას შეისწავლით. განსაკუთრებული სიფრთხილის საჭიროებას სწორედ თემა განაპირობებს - ელექტრულ დენთან სითამამემ შეიძლება ადამიანის სიცოცხლეს საფრთხე შეუქმნას. გასათვალისწინებელია რამდენიმე სავალდებულო წესი:

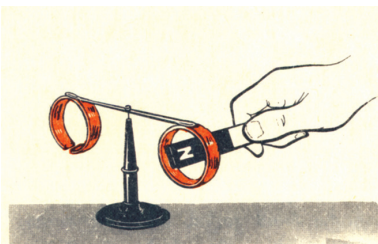
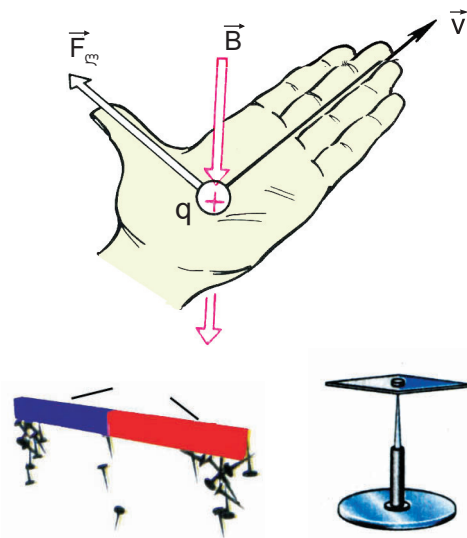
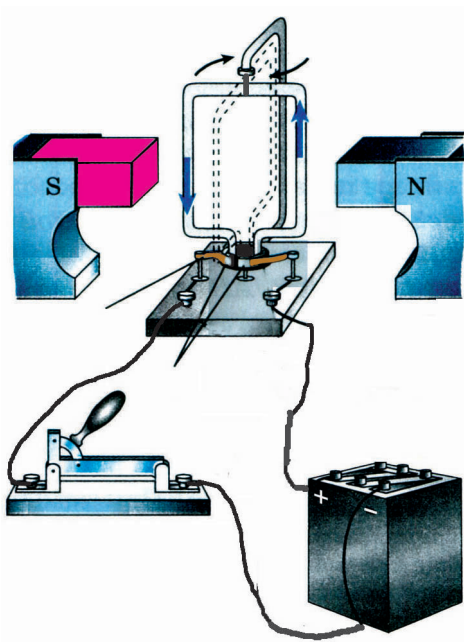
- არასოდეს შეეხოთ შიშველ სადენს ხელით;
- ელექტროხელსაწყოებს და სადენებს ნუ შეეხებით სველი ხელით;
- დაუკვირდით, სველი არ იყოს მაგიდა, რომელზეც მუშაობთ. იდეალური იქნება, თუ რეზინის საფენს დაიფენთ;
- ცდის ჩატარებისას ან ელექტროხელსაწყოებით მუშაობისას გამოიყენეთ რეზინის ხელთათმანები – ის დაგიცავთ ელექტრული დენის საფრთხისაგან;
- სიფრთხილით მოეკიდეთ დენის შტეფსელს – ნუ მოკიდებთ სველ ხელს შემაერთებელ ჩანგალს; ნუ გამოქაჩავთ სადენს, არამედ ხელი მოკიდეთ შემაერთებელ ჩანგალს და ფრთხილად გამოსწიეთ;
- გახსოვდეთ, მეტალი დენს ატარებს – ამიტომ არ შეახოთ მეტალის საგნები (მაკრატილი, ლურსმანი, კოვზი ან სხვა) შიშველ სადენს;
- ელექტროხელსაწყოთა გამოყენებამდე, ყურადღებით გაეცანით მისი გამოყენების ინსტრუქციას და დაიცავით მისი მუშაობის მოთხოვნილი პარამეტრები;
- დააკვირდით სახელმძღვანელოში მოყვანილ ცდებს, რომლებსაც უსაფრთხოების აღნიშვნა აქვს: უმეტესად, თქვენი დავალება გულისხმობს ვარაუდს, თეორიულ მსჯელობას, ამოცანის ფიქრით გადაჭრას. დასკვნების შესამოწმებლად ცდა კი მხოლოდ მასწავლებლის თანდასწრებითა და ზედამხედველობით უნდა შეასრულოთ. არასოდეს შეეცადოთ ასეთი ცდების დამოუკიდებლად ჩატარებას!

I თავი

ელექტრომაგნიტური მოვლენები

ამ თავში გაიხსენებთ და გააცნობით:

- ☞ მაგნიტურ ველს;
- ☞ დენიანი გამტარების ურთიერთქმედებას;
- ☞ მაგნიტური ველის ინდუქციას;
- ☞ ამპერისა და ლორენცის ძალებს;
- ☞ მაგნიტურ ნაკადს;
- ☞ ნივთიერების მაგნიტურ თვისებებს;
- ☞ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენას და მის გამოყენებას;
- ☞ კოჭას ინდუქციურობას;
- ☞ ლენცის წესს და მის გამოყენებას;
- ☞ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონს და მის გამოყენებას;
- ☞ მაგნიტური ველის ენერგიას;
- ☞ ელექტრული დენის გენერატორსა და ელექტროძრავას.



§ 1.1. რა და როგორ ისწავლეთ, შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

ტესტი

1. დადებითი იონი მიიღება, თუ:

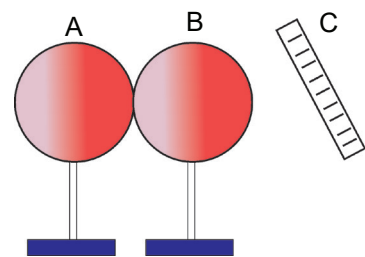
- ა. ატომში რაიმე მიზეზით პროტონების რაოდენობა გაიზარდება;
- ბ. ატომს მოსცილდება ერთი ან რამდენიმე ელექტრონი;
- გ. ატომში რაიმე მიზეზით ნეიტრონების რაოდენობა გაიზარდება;
- დ. ატომს მოსცილდება ერთი ან რამდენიმე პროტონი.

2. რომელი მტკიცებაა მართებული:

- ა. სივრცეში ყოველთვის არსებობს ელექტრული ველი, მიუხედავად იმისა, მასში არის დამუხტული ნაწილაკი თუ არა;
- ბ. დამუხტული სხეულები ვაკუუმშიც ურთიერთქმედებენ;
- გ. ელექტრული ველი არსებობს მხოლოდ დადებითად დამუხტული სხეულების ირგვლივ;
- დ. დამუხტული სხეულის მახლობლად ელექტრული ველის მოქმედება სუსტია, შორს კი – ძლიერი.

3. იზოლირებულ სადგამზე დამაგრებული ელექტრულად ნეიტრალური ლითონის ორი სფერო ერთმანეთს ეხება (სურ. 14.1). სფეროებს მიუახლოეს უარყოფითად დამუხტული ლერო და შემდეგ სფეროები ერთმანეთს დააშორეს, რის შედეგადაც:

- ა. ორივე სხეული ელექტრულად ნეიტრალური დარჩა;
- ბ. ორივე სხეული დაიმუხტა დადებითად;
- გ. ორივე სხეული დაიმუხტა უარყოფითად;
- დ. A სხეული დაიმუხტა დადებითად, B – უარყოფითად;
- ე. A სხეული დაიმუხტა უარყოფითად, B – დადებითად.



სურ. 14.1

4. რაღაც მანძილით დაშორებული 4 და 5q მუხტების ორი ბურთულის შეხებისას და შემდეგ იმავე მანძილით დაშორებისას მათი ურთიერთქმედების ძალის მოდული:

- ა. 1,25-ჯერ გაიზარდა; ბ. 1,25-ჯერ შემცირდა;
- გ. 1,8-ჯერ გაიზარდა; დ. 1,8-ჯერ შემცირდა; ე. არ შეიცვალა.

5. ელექტრულ ველში მოთავსებული გამტარის შიგნით ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული:

- ა. გარე ველის დაძაბულობის მოდულის ტოლია;
- ბ. გარე ველის დაძაბულობის მოდულის ნახევარია;
- გ. გარე ველის დაძაბულობის მოდულის მეოთხედია;
- დ. ნულია.

6. ორი წერტილოვანი მუხტის ვაკუუმიდან ნავთში ($\epsilon=2$) გადატანისას მათი ურთიერთქმედების ძალის მოდული რომ არ შეიცვალოს, საჭიროა მუხტებს შორის მანძილი:

- ა. 2-ჯერ გავადიდოთ; ბ. 2-ჯერ შევამციროთ;
- გ. $\sqrt{2}$ -ჯერ გავადიდოთ; დ. არ შეიცვალოს; ე. $\sqrt{2}$ -ჯერ შევამციროთ.

7. ელექტრული ველის მოცემულ წერტილში q მუხტის ველთან ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია $2q$ მუხტის:

- ა. პოტენციურ ენერგიაზე ორჯერ მეტია;
- ბ. პოტენციურ ენერგიაზე ოთხჯერ ნაკლებია;
- გ. პოტენციური ენერგიის ტოლია;
- დ. პოტენციურ ენერგიაზე ორჯერ ნაკლებია.

8. მუშაობა, რომელსაც ასრულებს ელექტრული ველი ერთი წერტილიდან მეორეში $0,9$ კ მუხტის გადასატანად, როდესაც ამ წერტილებს შორის ძაბვა 3 ვ-ია:

- ა. $3,33$ ჯ-ია; ბ. $2,7$ ჯ-ია; გ. $0,3$ ჯ-ია; დ. $0,1$ ჯ-ია.

9. თუ R რადიუსიანი სფეროს მუხტია q და მისი ცენტრიდან $2R$ მანძილზე მოვათავსებთ $-2q$ წერტილოვან მუხტს, მაშინ სფეროს ცენტრის პოტენციალი:

- ა. არ შეიცვლება; ბ. ორჯერ შემცირდება; გ. ნული გახდება;
- დ. სამჯერ გაიზრდება; ე. შეიცვლის ნიშანს.

10. თუ ლითონის ბურთულებს, რომელთა რადიუსებია R და $2R$, მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე ერთნაირი აქვთ, მაშინ პატარა და დიდი ბურთულების პოტენციალების შეფარდება არის:

- ა. 4 ; ბ. 2 ; გ. 1 ; დ. $1/2$; ე. $1/4$.

11. ერთნაირი ნიშნის ორი წერტილოვანი მუხტის დაშორებისას მათი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია:

- ა. იზრდება; ბ. მცირდება; გ. არ იცვლება;
- დ. ზოგჯერ იზრდება, ზოგჯერ არ იცვლება.

12. განმხოლოებული გამტარის მუხტის ორჯერ გადიდებით მისი ელექტროტევადობა:

- ა. ორჯერ იზრდება; ბ. ორჯერ მცირდება;
- გ. არ იცვლება; დ. ოთხჯერ იზრდება.

13. როცა დამუხტული ჰაერიანი კონდენსატორი წრედიდანაა გამორთული, მაშინ შემონაწენებს შორის მანძილის გადიდებით კონდენსატორის ძაბვა:

- ა. იზრდება; ბ. მცირდება; გ. არ იცვლება;
- დ. შეიძლება გაიზარდოს, შეიძლება შემცირდეს.

14. როცა ჰაერიანი კონდენსატორი მუდმივი ძაბვის წრედშია ჩართული, მაშინ შემონაფენებს შორის მანძილის გადიდებით კონდენსატორის მუხტი:

- ა. იზრდება; ბ. მცირდება; გ. არ იცვლება;
- დ. ზოგჯერ იზრდება, ზოგჯერ მცირდება.

15. თუ C ტევადობის ბრტყელი ჰაერიანი კონდენსატორი ჩართულია მუდმივი U ძაბვის დენის წყაროსთან, მაშინ ფირფიტებს შორის სივრცის ε დიელექტრიკული შეღწევადობის დიელექტრიკით შევსებისას დენის წყაროში გამავალი მუხტია:

- ა. εCU; ბ. CU; გ. $\frac{CU}{\epsilon}$; დ. (ε-1)CU; ე. 0.

16. თუ ბრტყელი დამუხტული ჰაერიანი კონდენსატორი გამორთულია დენის წყაროდან და მისი ენერჯიაა E_{ელ}, მაშინ ფირფიტებს შორის მანძილის n-ჯერ გადიდებისას შესრულებული მუშაობაა:

- ა. nE_{ელ}; ბ. $\frac{E_{ელ}}{n}$; გ. $\frac{E_{ელ}(n-1)}{n}$; დ. E_{ელ}(n-1); ე. 0.

გაიღრმავეთ ცოდნა ქვემოთ მოყვანილი განმარტებებით. მიღებული ინფორმაციით, ფიქრით და აზროვნებით გაგიადვილდებათ ტესტებზე სწორი პასუხების გაცემა.

ნივთიერება შედგება უმცირესი ნაწილაკებისაგან – ატომებისა და მოლეკულებისაგან. **მოლეკულა** შედგება ატომებისაგან, **ატომი** – ატომბირთვისა და ელექტრონებისაგან, **ატომბირთვი** – პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან.

პროტონს, ნეიტრონს და ელექტრონს **ელემენტარულ ნაწილაკებს** უწოდებენ. პროტონისა და ელექტრონის მუხტის მოდულს კი – **ელემენტარულ მუხტს**.

პროტონი და ელექტრონი ერთმანეთს იზიდავენ. **პროტონი პროტონს განიზიდავს, ელექტრონიც განიზიდება ელექტრონისაგან.** ამ სახის ურთიერთქმედებას **ელექტრული ურთიერთქმედება** ეწოდება, ხოლო ნაწილაკებს, რომლებიც ასეთ ურთიერთქმედებას ავლენენ – **დამუხტული ნაწილაკები**. პროტონი და ელექტრონი დამუხტული ნაწილაკებია. **პროტონი** დამუხტულია დადებითად, **ელექტრონი** – უარყოფითად. მათი მუხტები მოდულით ტოლია და $1,6 \cdot 10^{-19}$ კ-ია. **1 კულონი** (1 კ) მუხტის ერთეულია SI-ში. **ნეიტრონი** ელექტრულად ნეიტრალური ნაწილაკია.

ატომები ერთმანეთისაგან განსხვავდება პროტონების, ნეიტრონებისა და ელექტრონების რაოდენობით. **ატომი** ელექტრულად ნეიტრალურია.

როდესაც ატომი კარგავს ელექტრონს, მიიღება **დადებითი იონი**, როდესაც მიიერთებს – **უარყოფითი იონი**.

ელექტრული ურთიერთქმედების მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეს **ელექტრული მუხტი** უწოდებს, დაელექტრობულ სხეულებს კი – **დამუხტული**.

დაელექტრობული სხეულის ან ნაწილაკის ირგვლივ სივრცეში არსებობს **ელექტრული ველი**. დამუხტული ნაწილაკები და სხეულები ველის მეშვეობით ურთიერთქმედებენ.

ძალას, რომლითაც ელექტრული ველი მოქმედებს მასში შეტანილ ელექტრულ მუხტზე, **ელექტრული ძალა** ეწოდება.

ელექტრობის გამტარობის მიხედვით, ნივთიერებებს ყოფენ გამტარებად, ნახევარგამტარებად და დიელექტრიკებად (არაგამტარები, იზოლატორები).

ჩაკეტილ სისტემაში სხეულების ნებისმიერი ურთიერთქმედებისას ამ სისტემის ყველა ნაწილაკის მუხტის ალგებრული ჯამი მუდმივი რჩება.

ელექტრონებს, რომლებმაც განწყვიტეს კავშირი ატომებთან, **თავისუფალ ელექტრონებს** უწოდებენ.

ნივთიერებაში მუხტის გადამტანებია თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები.

ნერტილოვანი მუხტი ეწოდება ნებისმიერი ფორმის დამუხტულ სხეულს, თუ მისი ზომა მცირეა იმ მანძილთან შედარებით, რომელზეც მისი მოქმედება განიხილება.

კულონის კანონი შემდეგნაირად დაინერგება:

$$F=k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}, \quad (1)$$

სადაც **k პროპორციულობის კოეფიციენტი**. k რიცხობრივად იმ ძალის მოდულის ტოლია, რომლითაც ურთიერთქმედებენ ერთეულის ტოლი მუხტები, როცა მათ შორის მანძილი ერთეულის ტოლია.

$$\text{SI-ში } k=9 \cdot 10^9 \frac{\text{ნ}\cdot\text{მ}^2}{\text{კ}^2}.$$

ვაკუუმში ორი ნერტილოვანი უძრავი დამუხტული სხეულის ურთიერთქმედების ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია მუხტების მოდულთა ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა.

$$\text{ელექტრული მუდმივა } \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{კ}^2}{\text{ნ}\cdot\text{მ}^2}.$$

ელექტრული ველის ძირითადი თვისებაა, იმოქმედოს ელექტრულ მუხტებზე ძალით.

ელექტრული ველის დაძაბულობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ტოლია ველის მოცემულ ნერტილში მოთავსებულ საცდელ მუხტზე მოქმედი ძალისა და ამ მუხტის შეფარდებისა.

ელექტროსტატიკურ ველში მოთავსებული გამტარის შიგნით ჯამური ელექტრული ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია.

ჭარბი მუხტი ნაწილდება დამუხტული გამტარის მხოლოდ გარე ზედაპირზე. გამტარის შიგნით არ არის არც ჭარბი მუხტი და არც ელექტრული ველი.

მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე არის გამტარის მუხტის შეფარდება იმ ზედაპირის ფართობთან, რომელზეც მუხტია განაწილებული.

ისეთი მოლეკულებისაგან შედგენილ დიელექტრიკს, რომელშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტების განაწილებათა ცენტრები ერთმანეთს არ ემთხვევა, **პოლარული დიელექტრიკი** ეწოდება.

ისეთი ატომებისა და მოლეკულებისაგან შედგენილ დიელექტრიკს, რომელშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტების განაწილების ცენტრები ერთმანეთს ემთხვევა, **არაპოლარული დიელექტრიკი** ეწოდება.

ორი ტოლი და საპირისპირო ნიშნის მუხტების ერთობლიობას, რომელთა შორის მანძილი გაცილებით ნაკლებია იმ მანძილთან შედარებით, სადაც მის მოქმედებას განვიხილავთ, **ელექტრული დიპოლი** ეწოდება.

დიელექტრიკის ბმული დადებითი და უარყოფითი მუხტების ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით ნანაცვლებას **პოლარიზაცია** ეწოდება.

გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც გვიჩვენებს, რამდენჯერ ნაკლებია ელექტრული ველის \vec{E} დაძაბულობის მოდული ერთგვაროვან დიელექტრიკში იმავე თავისუფალი მუხტების მიერ შექმნილი ველის \vec{E}_0 დაძაბულობის მოდულზე ვაკუუმში.

ელექტრული ველის ერთი ნერტილიდან მეორეში მუხტის გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობა დამოკიდებული არ არის ტრაექტორიის ფორმაზე და განისაზღვრება $A=qU$ ფორმულით.

ველს, რომელშიც ნებისმიერ ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია, **კონსერვატიული ველი** ეწოდება.

ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი ეწოდება ველში მოთავსებული ნერტილოვანი მუხტის ველთან ურთიერთქმედების პოტენციური ენერჯის შეფარდებას ამ მუხტთან. სხვა სიტყვებით, პოტენციალი რიცხობრივად ტოლია ერთეული მუხტის ენერჯისა ველში.

ორ ნერტილს შორის **ძაბვა** ტოლია ერთი ნერტილიდან მეორეში მუხტის გადაადგილებისას ველის მიერ შესრულებული მუშაობის ფარდობისა ამ მუხტთან.

ორ ნერტილს შორის **პოტენციალთა სხვაობა** (ძაბვა) ტოლია ერთეულისა, თუ 1 კ მუხტის გადატანისას ერთი ნერტილიდან მეორეში ელექტრული ველი ასრულებს 1 ჯ მუშაობას. ამ ერთეულს ვოლტი (1 ვ) ეწოდება.

ელექტრული ველის დაძაბულობა მიმართულია პოტენციალის შემცირების მიმართულებით.

ენერჯია, რომელსაც ელექტრონი შეიძენს ელექტრულ ველში მოძრაობისას, როდესაც გადავა ერთი ნერტილიდან მეორე – პოტენციალით 1ვ-ით უფრო მაღალ ნერტილში, ცნობილია **1 ელექტრონვოლტის** (1ევ) სახელწოდებით.

ორი ნერტილოვანი მუხტის ურთიერთქმედების პოტენციური ენერჯია განისაზღვრება ფორმულით: $E_{\text{პოტ}} = k \frac{Qq}{\epsilon R}$.

R რადიუსის და Q მუხტის გამტარი სფეროს ველის პოტენციალი მისი ცენტრიდან r მანძილზე განისაზღვრება ფორმულით $\varphi = k \frac{Q}{\epsilon r}$, სადაც $r \geq R$. თუ $r \leq R$, მაშინ $\varphi = k \frac{Q}{\epsilon R}$ – სფეროს ზედაპირს და მის შიგნით მდებარე ყველა ნერტილს აქვს ერთი და იგივე პოტენციალი.

სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად, ნებისმიერ ნერტილში ველის პოტენციალი განისაზღვრება თითოეული მუხტის ველის $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ პოტენციალთა ალგებრული ჯამით: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$.

დაძაბულობის წირების მართობულად მუხტის გადაადგილებისას ელექტრული ველი მუშაობას არ ასრულებს.

დაძაბულობის წირები ეკვიპოტენციური ზედაპირების მართობია.

დამუხტული გამტარის ყველა ნერტილს ერთი და იგივე პოტენციალი აქვს.

განმხოლოებული გამტარის q მუხტის შეფარდება მის φ პოტენციალთან მუდმივი სიდიდეა და მას გამტარის **ელექტროტევადობა** ეწოდება.

ელექტროტევადობის ერთეულად მიღებულია ისეთი განმხოლოებული გამტარის ელექტროტევადობა, რომლის პოტენციალი იცვლება ერთი ვოლტით, მისი მუხტის ერთი კულონით შეცვლის შედეგად. ამ ერთეულს **1 ფარადი** (1 ფ) ჰქვია.

კონდენსატორის ერთ-ერთი შემონაფენის მუხტის მოდულს **კონდენსატორის მუხტი** ეწოდება.

კონდენსატორის ელექტროტევადობა ეწოდება კონდენსატორის მუხტის შეფარდებას შემონაფენებს შორის ძაბვასთან: $C = \frac{|q|}{U}$.

ბრტყელი კონდენსატორის ელექტროტევადობა პირდაპირპროპორციულია მისი ფირფიტების ფართობის, დიელექტრიკული შეღწევადობის და უკუპროპორციულია ფირფიტებს შორის მანძილისა. $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$.

კონდენსატორთა პარალელური შეერთებისას ბატარეის ელექტროტევადობა ცალკეულ კონდენსატორთა ტევადობების ჯამის ტოლია.

მიმდევრობითი შეერთებისას ბატარეის ტევადობის შებრუნებული სიდიდე ტოლია ცალკეულ კონდენსატორთა ტევადობების შებრუნებულ სიდიდეთა ჯამისა. თუ გვაქვს მიმდევრობით შეერთებული n კონდენსატორი, მაშინ $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$.

დამუხტული კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგია განისაზღვრება ფორმულებით:

$$W = \frac{qU}{2}; \quad W = \frac{CU^2}{2}; \quad W = \frac{q^2}{2C}.$$

ელექტრული ველის ენერგიის სიმკვრივე განისაზღვრება ფორმულით:

$$w_{\text{ელ}} = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2}.$$

ელექტრული ენერგია განანიღბებულია ველის მთელ მოცულობაში.

! მოეზადეთ ჟამღები გაკვეთილისთვის

საშუალო ზომის ლურსმანზე ერთი მიმართულებით, სულ მცირე, ორ ფენად დაახვიეთ სპილენძის იზოლირებული მავთული. მავთულის ბოლოებს მოაცილეთ იზოლაცია. ლურსმანი რომ მიუახლოვოთ, შემდეგ შეახოთ ფოლადის საგნებს, მიეკვრება თუ არა საგნები ლურსმანს? ვარაუდი ჩანერეთ რვეულში.



სურ. 19.1

რა მოხდება, თუ მშრალი ელემენტის გამოყენებით, მავთულში

გაატარებთ დენს და ლურსმანს კვლავ მიუახლოვებთ ფოლადის საგნებს?

ცდის ჩატარებაში დაგეხმარებათ შემდეგი ვიდეორგოლები:
<https://bit.ly/3WvfKeC>
<https://bit.ly/3iSCO9r>



მეცნიერული კვლევა-ძიება

ცდებით შეამოწმეთ თქვენი ვარაუდის მართებულობა.

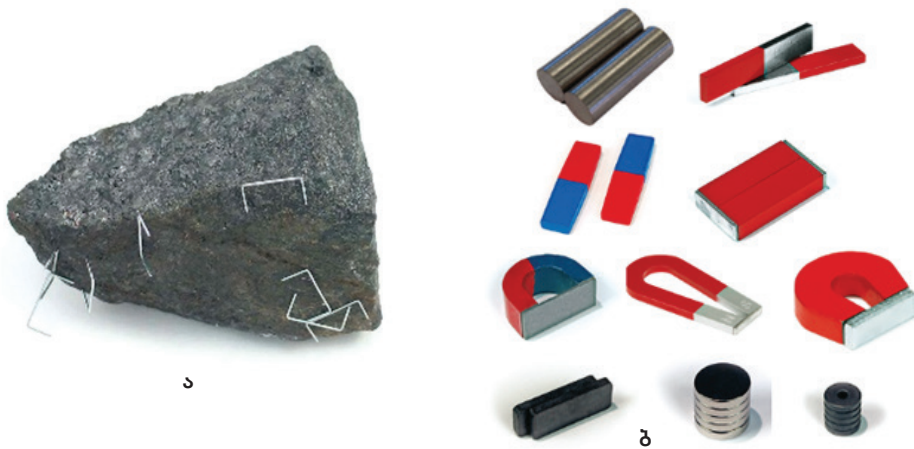
გაატარეთ მავთულში დენი. ლურსმანი მიუახლოვეთ (შეახეთ) ფოლადის საგნებს. დააკვირდით. მიიზიდა ლურსმანმა და ფოლადის საგნებმა ერთმანეთი (სურ. 19.1)?

დაფიქრდით, რატომ მოხდა ასე?

- ლურსმანზე დახვეულ მავთულში დენის გატარების შემდეგ, მიიზიდა ლურსმანმა და ფოლადის საგნებმა ერთმანეთი? რატომ მოხდა ასე?

§ 1.2. მაგნიტური ველი. დენის მაგნიტური ველი

დედამიწის წიაღში ზოგიერთ ადგილას არის რკინის მადანი (ეგრეთ ნოდებული მაგნიტური რკინაქვა), რომელსაც აქვს ზოგიერთი საგნის მიზიდვის უნარი (სურ. 20.1, ა). ასეთი მიზიდვის უნარის მქონე სხეულები პირველად აღმოაჩინეს მცირე აზიის ძველ ბერძნულ ქალაქ მაგნესიაში და მათ მაგნიტები უწოდეს. მოგვიანებით ადამიანმა შექმნა სხეულები, რომლებიც დიდხანს ინარჩუნებენ მაგნიტურ თვისებებს. ამიტომ მათ მუდმივი მაგნიტები უწოდეს. 20.1, ბ სურათზე გამოსახულია ზოლოვანი, ნალისებრი და რგოლური მაგნიტები.



სურ. 20.1

გავეანალიზოთ ცდებში შემჩნეული მოვლენები.

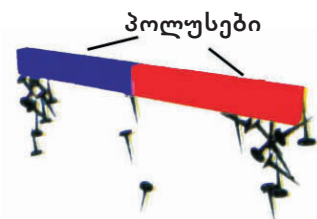


1. რომელი ნივთიერებისაგან დამზადებულ საგნებს იზიდავს მაგნიტი და რომლებს არა?
2. როგორია თქვენი ვარაუდი, მაგნიტის თითოეული ნაწილი ერთნაირად იზიდავს რკინის საგნებს?

ჩავატაროთ ცდები. I ცდა: მაგიდაზე ზოლოვანი მაგნიტის მთელ სიგრძეზე დავყაროთ რკინის პატარა საგნები, ჭიკარტები, ლურსმნები. მათზე სიბრტყით დავდოთ ზოლოვანი მაგნიტი, ავნიოთ და დავაკვირდეთ (სურ. 20.2).

მაგნიტის ბოლოებს, სადაც მაგნიტური მოქმედება ყველაზე ძლიერია, მაგნიტის პოლუსები ეწოდება. მაგნიტის შუა ნაწილში მაგნიტური მოქმედება არ მუდავნდება.

II ცდა: ზოლოვანი მაგნიტის ერთი ბოლო მოვუახლოოთ, შევახოთ და დავაშოროთ მეორე ზოლოვანი მაგნიტის ჯერ ერთ, შემდეგ კი მეორე ბოლოს და დავაკვირდეთ.



სურ. 20.2

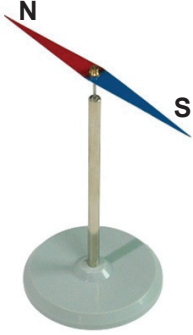
3. რას ამჩნევთ? პირველი მაგნიტი მეორე მაგნიტის ორივე ბოლოს იზიდავს?

მაგნიტის ერთ ბოლოს უწოდებენ ჩრდილოეთ პოლუსს – N, მეორე ბოლოს კი – სამხრეთ პოლუსს – S.

ერთსახელიანი მაგნიტური პოლუსები ერთმანეთს განიზიდავენ, სხვადასხვასახელიანები კი მიიზიდავენ.

კომპასის ისარი მაგნიტური ისარია, რომელსაც შეუძლია თავისუფალი ბრუნვა შვეული ღერძის გარშემო (სურ. 21.1).

III ცდა: რამდენჯერმე შევუცვალეთ მაგნიტურ ისარს მდებარეობა. გავათავისუფლოთ და დავაკვირდეთ, როგორ მდებარეობაში ჩერდება იგი.



სურ. 21.1

თუ მაგნიტური ისარი არ გაქვთ, შეგიძლიათ თავადაც დაამზადოთ: <https://bit.ly/3ZOcBcL>



მაგნიტური ისრის ერთი ბოლო მიახლოებით გვიჩვენებს ჩრდილოეთის მიმართულებას, მეორე – სამხრეთისას. სწორედ აქედან წარმოდგება მაგნიტის პოლუსების სახელწოდება.

მაგნიტური ისრის პოლუსების შემაერთებელ წრფეს მაგნიტური ისრის ღერძი ეწოდება.

IV ცდა. შევამოწმოთ, იზიდავს თუ არა სახრახნისის წვერი ლურსმნებს. რამდენჯერმე ნელ-ნელა გავუსვავთ მაგნიტი სახრახნისის ღეროს, ბოლოდან წვერისაკენ და შევამოწმოთ, შეიძინა თუ არა სახრახნისის წვერმა ლურსმნების მიზიდვის უნარი.

ნახეთ ვიდეოც: <https://bit.ly/3ZRjxGc>



მაგნიტების ურთიერთქმედება შეიძლება აიხსნას მათ ირგვლივ მაგნიტური ველის არსებობით. ერთი მაგნიტის მაგნიტური ველი მოქმედებს მეორე მაგნიტზე და პირიქით, მეორე მაგნიტის მაგნიტური ველი მოქმედებს პირველზე.

ვიდეორგოლში ნახეთ, როგორ ორიენტირდება მაგნიტური ისრები ზოლოვანი და ნალისებრი მაგნიტის მაგნიტურ ველში: <https://bit.ly/3XNxlj9>



გამოიყენეთ სიმულაციური ლაბორატორია და დააკვირდით, როგორ ორიენტირდება მაგნიტური ისრები ზოლოვანი მაგნიტის მაგნიტურ ველში: <http://bit.ly/3iUtAcO>



სიმულაციურ ლაბორატორიაში ასევე დააკვირდებით მაგნიტების ურთიერთქმედებას მაგნიტური ველის მეშვეობით, მაგნიტური ველის ძალწირებს. <http://bit.ly/3iT1Zc2>



კვლავ ჩავატაროთ ცდა და გავანალიზოთ კვლევა-ძიებით შემჩნეული მოვლენები.



4. იზიდავენ თუ არა ერთმანეთს ლურსმანი, მასზე დახვეული მავთულით და ფოლადის საგნები: ჭიკარტი, სამაგრი და პატარა ლურსმნები?

5. მიიზიდა თუ არა ლურსმანმა და რკინის საგნებმა ერთმანეთი ლურსმანზე დახვეულ მავთულში დენის გატარების შემდეგ (სურ. 19.1)?

6. ჩატარებული ცდებით, შეიძლება თუ არა დავასკვნათ, რომ დენიანი გამტარი ქმნის მაგნიტურ ველს?

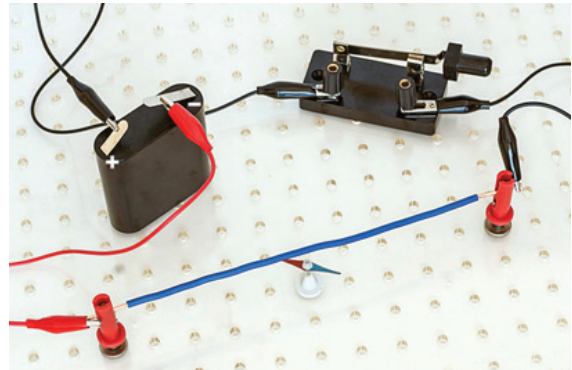
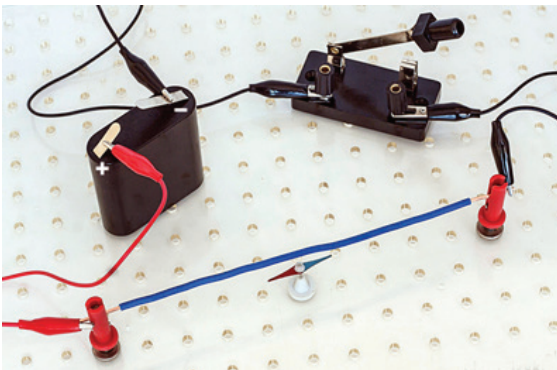
ცდებიდან ჩანს, ლურსმანი მხოლოდ მაშინ იზიდავს ფოლადის საგნებს, როდესაც მასზე დახვეულ მავთულში დენი გადის.

თვალსაჩინოებისთვის იხილეთ რკინისა და ალუმინის სხეულების გან-
ცალკეება ვიდეოში: <http://bit.ly/3QQHLfy>



ასეთი ცდაც ჩავატაროთ: მაგნიტური ისრის ღერძის პარალელურად მოვათავსოთ სპილენძის ან ალუმინის მავთული (სურ. 22.1) და დავაკვირდეთ ისარს. ასევე შეგვიძლია მივმართოთ ვირტუალურ ლაბორატორიას და დავაკვირდეთ ერსტედის ექსპერიმენტს:

<https://bit.ly/3OXbpdf>



სურ. 22.1



7. მაგნიტურმა ისარმა შეიცვალა ორიენტაცია?

ჩავრთოთ ჩამრთველი და კვლავ დავაკვირდეთ ისარს. გავაგრძელოთ დაკვირვება. რამდენჯერმე ამოვრთოთ და ჩავრთოთ ჩამრთველ-ამომრთველი.



8. რას ამჩნევთ წრედის ჩართვისას? ამორთვისას?

9. ურთიერთქმედებენ თუ არა სპილენძის მავთული და მაგნიტური ისარი?

10. ურთიერთქმედებენ თუ არა სპილენძის დენიანი მავთული და მაგნიტური ისარი? რის მეშვეობით?


ჩატარებული ცდების საფუძველზე, შეგვიძლია დავასკვნათ:

მაგნიტური ველი არსებობს ყოველი დენიანი გამტარის, ე.ი. მოძრავი მუხტის გარშემო.

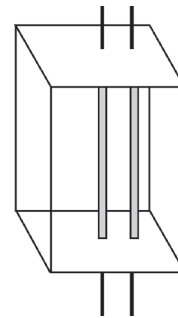
მაშასადამე, უძრავი მუხტის გარშემო არსებობს მხოლოდ ელექტრული ველი. მოძრავი მუხტის გარშემო კი არსებობს როგორც ელექტრული, ისე მაგნიტური ველი.

გამტარის გარშემო მაგნიტური ველი იქმნება მაშინ, როცა მასში დენი გადის, ამიტომ დენი უნდა განვიხილოთ, როგორც მაგნიტური ველის ერთ-ერთი წყარო. სწორედ ეს იგულისხმება გამოთქმებში: „დენის მაგნიტური ველი“ ან „დენით წარმოქმნილი მაგნიტური ველი“.


დენის მაგნიტურ მოქმედებას დააკვირდებით ბმულზე:
<https://bit.ly/401u3e2>
<https://bit.ly/3wftpMj>



ჩავატაროთ ასეთი ცდაც: ერთი მხრიდან ღია მუყაოს ყუთს გავუყუეთოთ ჭრილები და მასში ერთმანეთის პარალელურად ჩავამაგროთ ალუმინის ფოლგის ზოლები, ერთმანეთისაგან 2-3 სმ მანძილზე (სურ. 23.1); მათ ბოლოებს მივუერთოთ დენის წყარო (შეიძლება მშრალი ელემენტის გამოყენება) ისე, რომ დენმა გაიაროს ჯერ ერთ გამტარში, შემდეგ, ორივეში, ერთი მიმართულებით და საპირისპირო მიმართულებით.

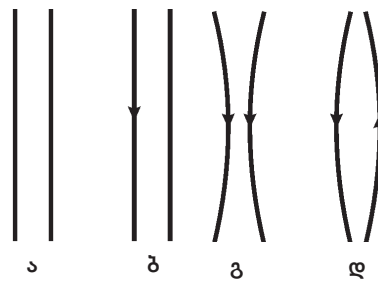


ამ ვიდეორგოლში ნახავთ, როგორ შეიძლება დავამზადოთ პარალელური დენიანი გამტარები ფოლგისა და მუყაოს ყუთისაგან:
<https://bit.ly/3Xs2rwN>




ელემენტი რომ არ გაფუჭდეს, თითოეული ცდის დროს წრედი მხოლოდ რამდენიმე წამს ჩართეთ.

ცდა გვიჩვენებს, რომ როდესაც გამტარებში დენი არ გადის (სურ. 23.2,ა) ან მხოლოდ ერთ გამტარში გადის (სურ. 23.2,ბ), მაშინ მათი ურთიერთქმედება არ შეიმჩნევა. ორივეში დენის გატარებისას კი ისინი იზიდავენ ან განიზიდავენ ერთმანეთს (სურ. 23.2, გ, დ). კერძოდ, თუ დენი ერთნაირი მიმართულებით გადის, მაშინ ზოლები ერთმანეთს იზიდავენ, ხოლო თუ სხვადასხვა მიმართულებით, მაშინ განიზიდავენ.



სურ. 23.2

მეტი თვალსაჩინოებისთვის იხილეთ სადემონსტრაციო ცდა:
<https://bit.ly/3R0Ze56>



ასევე ვიდეორგოლები დენიანი გამტარების ურთიერთქმედებაზე. დენი გამტარებში გადის:
ა) ერთნაირი მიმართულებით <https://bit.ly/3GXWz7I>
ბ) საპირისპირო მიმართულებით <https://bit.ly/3XMDP1u>

ჩატარებული ცდების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ: გამტარში გამავალი დენი თავის გარშემო ქმნის მაგნიტურ ველს, რომელიც მოქმედებს მეორე დენიან გამტარზე. მეორე დენიანი გამტარით შექმნილი მაგნიტური ველი კი მოქმედებს პირველ დენიან გამტარზე.

აღწერილ ცდაში გამტარი არ ასრულებს არსებით როლს. მაგნიტური ველი მოქმედებს გამტარში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე. მოქმედების შედეგი ვლინდება გამტარის დეფორმაციით.

კოჭას, მასში მოთავსებულ ფოლადის გულართან ერთად, ელექტრომაგნიტი ეწოდება.

გულარი აძლიერებს დენიანი კოჭას მაგნიტურ ველს. ელექტრომაგნიტის დამზადება ოჯახურ პირობებშიც შესაძლებელია (თქვენ ეს უკვე გააკეთეთ (სურ. 19.1).

გაეცანით, როგორ მუშაობს ელექტრომაგნიტი: <https://bit.ly/3WotVCk>



ელექტრომაგნიტი ნებისმიერი ავტომობილის, ტელეფონის, ტელევიზორის, თვითმფრინავის, კოსმოსური ხომალდის და სხვა მრავალი მონყობილობის აუცილებელი ნაწილია.

24.1 სურათზე გამოსახულია დიდი ამწევი ძალის ელექტრომაგნიტი, რომელსაც იყენებენ ქარხნებში ფოლადის ან თუჯის ნაკეთობების, მათი ბურბუშელისა და ზოდების გადასატანად.

ელექტრომაგნიტი იმით არის მოსახერხებელი, რომ კოჭაში გამავალი დენის რეგულირებით ადვილად შეესაძლებელი მისი მაგნიტური მოქმედების ცვლილება (გაძლიერება ან შესუსტება) ფართო საზღვრებში.



სურ. 24.1

ვიცი, რომ:

მაგნიტური ისრის პოლუსების შემაერთებელ წრფეს მაგნიტური ისრის ღერძი ეწოდება.

მაგნიტური ველი არსებობს ყოველი დენიანი გამტარის, ე.ი. მოძრავი მუხტის გარშემო.

უძრავი მუხტის გარშემო არსებობს მხოლოდ ელექტრული ველი. მოძრავი მუხტის გარშემო კი არსებობს როგორც ელექტრული, ისე – მაგნიტური ველი.

დენი უნდა განვიხილოთ, როგორც მაგნიტური ველის ერთ-ერთი წყარო.

გამტარში გამავალი დენი თავის გარშემო ქმნის მაგნიტურ ველს, რომელიც მოქმედებს მეორე დენიან გამტარზე. მეორე დენიანი გამტარით შექმნილი მაგნიტური ველი კი მოქმედებს პირველ დენიან გამტარზე.

კოჭას, მასში მოთავსებულ ფოლადის გულართან ერთად, ელექტრომაგნიტი ეწოდება.

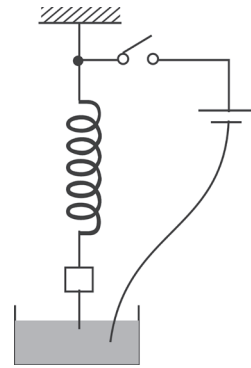
ამოცანის ამოხსნის ნიმუში

მსუბუქი ალუმინის სხეულის მოქმედებით ფოლადის ზამბარა გაჭიმულია (იხ. სურ. 25.1). სხეულზე გამობმული მავთულის ბოლო მარილიან წყალში ოდნავ არის ჩაშვებული. აღწერეთ, რა მოხდება ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ?

ამოხსნა

ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ წრედში დენი გაივლის, ზამბარის ხვეები ერთმანეთის პარალელურია, მეზობელ ხვეებში გამავალი დენი ერთი და იმავე მიმართულებისაა. პარალელური დენიანი გამტარები, როდესაც მათში ერთი და იმავე მიმართულების დენი გადის, ურთიერთმიიზიდება. ზამბარა შეიკუმშება. სხეულზე მიბმული მავთული ზევით აიწევს და წყალს მოსცილდება, წრედი განწყდება, სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მოქმედებით სხეული ქვევით დაიწევს, წრედი კვლავ შეიკვრება და ეს პროცესი გამეორდება.

სხეული დაიწყებს მოძრაობას – ზევით, ქვევით.



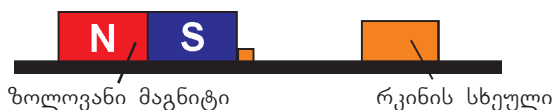
სურ. 25.1

საკვარჯიშო

1. რატომ ამზადებენ კომპასის ბუდეს სპილენძის, ალუმინის ან პლასტმასისაგან და არა ფოლადისაგან?
2. გვაქვს ფოლადის ორი ღერო, დამაგნიტებული და დაუმაგნიტებელი. სხვა საგნის გამოუყენებლად, როგორ გამოვარკვიოთ, რომელია დამაგნიტებული?
3. არის თუ არა მაგნიტური კომპასის ჩვენება საიმედო მაშინ, როდესაც იგი ფოლადის საგნებთან ახლოსაა? ახსენით, რატომ?
4. კოლოფში არეულია სპილენძის ხრახნები და რკინის პატარ-პატარა საგნები. როგორ განვაცალკევოთ ისინი ყველაზე მარტივად?
5. როგორ შეიძლება მაგნიტური ისრის მეშვეობით განისაზღვროს, დამაგნიტებულია თუ არა ფოლადის ღერო?
6. 25.2 სურათზე გამოსახული ფოლადის ბურთულა ჰაერში წონასწორობაშია. ახსენით, რატომ? მდგრადია თუ არამდგრადი ბურთულას წონასწორობა? პასუხი დაასაბუთეთ.
7. გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დადებული მაგნიტი დამაგრებულია. რკინის სხეული – არა (სურ. 25.3).
 - ა. დაიწყებს თუ არა სხეული მოძრაობას? ახსენით, რატომ?
 - ბ. თუ იმოძრაებს, როგორ? თანაბრად, თანაბარაჩქარებულად თუ ზრდადი აჩქარებით? პასუხი დაასაბუთეთ.



სურ. 25.2

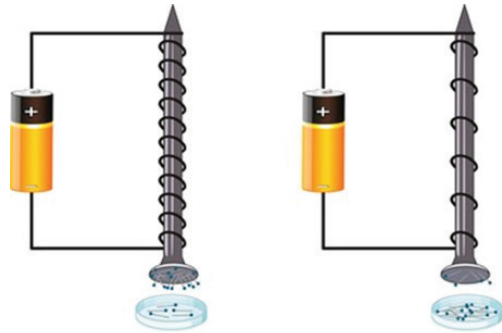


სურ. 25.3

მოამზადეთ შამლეზი გაკვეთილისთვის

როგორია თქვენი აზრი: ამ ორი ლურსმანიდან რომელი „ასწევს“ მეტი მასის რკინის ნაჭრებს (სურ. 26.1), თუ მარცხენა ლურსმანზე დახვეული ხვეების რაოდენობა მეტია და მავთულებში გაივლის:

- ა. ერთი და იგივე სიდიდის დენი?
- ბ. მეორეში გაივლის მეტი დენი? ახსენით, რატომ?
- გ. მეორეში გაივლის ნაკლები დენი?



სურ. 26.1

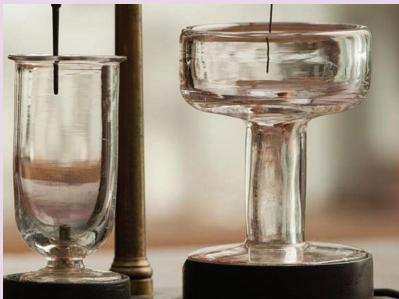
მეცნიერული კვლევა-ძიება

ჰიპოთეზის მართებულობა შეამოწმეთ ცდით.

- რომელმა ლურსმანმა „ასნია“ მეტი მასის ტვირთი?

§ 1.3. მაგნიტური ველის ინდუქციის მიმართულება

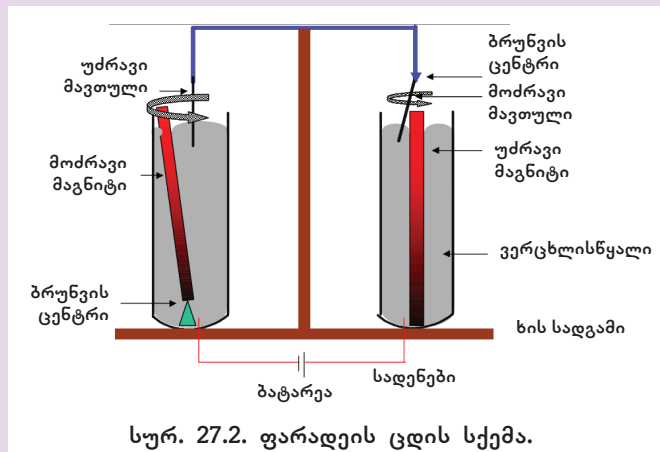
1821 წელს მაიკლ ფარადეიმ მოახერხა ელექტრული დენის ენერჯიის მექანიკურ ენერჯიად გარდაქმნა. მან შექმნა მონყობილობა, რომელიც არ გამოიყენებოდა კონკრეტული დანიშნულებით, მაგრამ იდეა, რომელსაც ის ეყრდნობა, დიდი ნახტომია კაცობრიობის ტექნიკური პროგრესის ისტორიაში: ამ იდეაზეა დამყარებული თანამედროვე ელექტროძრავების მუშაობა.



სურ. 27.1. ფარადეის ისტორიული ცდის 1822 წლით დათარიღებული მონყობილობა. ამჟამად გამოფენილია ლონდონის სამეფო ინსტიტუტის ქვედა სართულზე, ფარადეის მაგნიტურ ლაბორატორიაში.

ფარადეის ძრავა წარმოადგენდა ლითონის მავთულს, რომელიც ზედა ბოლოთი იმგვარად იყო დამაგრებული, რომ თავისუფლად ბრუნვა შეეძლო, მისი ქვედა ბოლო კი ვერცხლისწყალში ჩაქაში იყო ჩაშვებული (მარჯვენა ჭურჭელი სურთზე). მარჯვენა ჭურჭლის ქვედა, ვიწრო ცილინდრულ ნაწილში მოთავსებული იყო მუდმივი მაგნიტი. ეს მაგნიტი უძრავი იყო, ვერცხლისწყალში ჩაკიდულ მავთულს კი თავისუფლად შეეძლო ბრუნვა.

მარცხენა ჭურჭელში პირიქით, მაგნიტი ჭურჭლის ფსკერზე ძაფით იმგვარად იყო მიბმული, რომ მას თავისუფლად შეეძლო ემოძრავა, ხოლო ჭიქაში ჩაშვებული ლითონის მავთული უძრავი იყო.



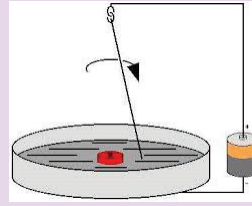
სურ. 27.2. ფარადეის ცდის სქემა.

წრედში გამავალი დენი მავთულის გარშემო მაგნიტურ ველს ქმნიდა. მეორე მხრივ, ჭურჭელში ჩადგმული უძრავი მაგნიტიც ქმნიდა მაგნიტურ ველს, რომელიც დენიან, ვერცხლისწყალში ჩაშვებულ გამტარზე მოქმედებდა. შედეგად, სურათზე მარჯვენა ჭურჭელში ვერცხლისწყალში ჩაკიდული მავთული ბრუნვას იწყებდა (სურ. 27.2).

მარცხენა ჭურჭელში კი ფსკერთან ძაფით მიბმული მაგნიტი ბრუნავდა ვერცხლისწყალში ჩაშვებული უძრავი მავთულის ირგვლივ.

არსებობს ვერსია, რომ ვერცხლისწყალთან მუშაობამ ფარადეის ჯანმრთელობა

დააზიანა. თუმცა დღეს ნებისმიერ დაინტერესებულ მსურველს შეუძლია თავად გაიმეოროს მსგავსი ცდა ვერცხლისწყლის გარეშე, სრულიად უვნებელი მარილიანი წყლით. ნახეთ ვიდეორგოლი და თავად მიხვდებით, როგორ შეიძლება ამის გაკეთება:



სურ. 28.1. მარჯვენა ჭურჭლის გამარტივებული სქემა.

ფარადეის ძრავა
<https://youtu.be/r967ko07qg8>

თქვენ უკვე იცით, რომ სხეულის ამოძრავება – მისი სიჩქარის შეცვლა – მხოლოდ ძალას შეუძლია. რა ძალა ამოძრავებს დენიან გამტარს? მომდევნო პარაგრაფებში გაეცნობით ამპერის ძალას. სწორედ ამპერის ძალის მოქმედებაზეა დამყარებული ელექტროძრავის მუშაობა – მოწყობილობის, რომელიც ელექტრულ ენერგიას მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის.

წინა პარაგრაფში ჩატარებული ცდებიდან და მსჯელობიდან ვიცით, რომ მაგნიტური ველის ძირითადი თვისებებია:

მაგნიტურ ველს ქმნის ელექტრული დენი (მოძრავი მუხტები).

მაგნიტური ველი მქდავანდება დენზე (მოძრავ მუხტებზე) მოქმედებით.

მაგნიტური ველის დასახასიათებლად შემოღებულია ფიზიკური სიდიდე – **მაგნიტური ველის ინდუქცია**. იგი ვექტორული სიდიდეა. აღვნიშნოთ \vec{B} -თი.

მაგნიტური ინდუქციის მიმართულების განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ მაგნიტურ ისარზე მაგნიტური ველის მაორიენტირებელი მოქმედება.

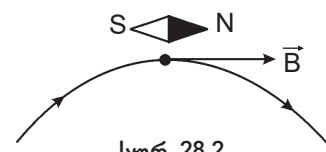
მაგნიტური ინდუქციის მიმართულებად მიღებულია მაგნიტურ ველში თავისუფლად მბრუნავი, უკვე ორიენტირებული, მაგნიტური ისრის მიმართულება S სამხრეთი პოლუსიდან N ჩრდილოეთის პოლუსისკენ.

მაგნიტურ ველს ვერც ვხედავთ და ვერც შევიგრძნობთ, ამიტომ საჭიროა შევიმუშაოთ ისეთი მეთოდი, რომ სათანადო პირობითი ნიშნებით და შეთანხმებით დავხატოთ კონკრეტული ველის სურათი. მიღებული სურათის მეშვეობით უნდა შეიძლებოდეს თქმა, სად არის ველი ძლიერი და სად – სუსტი. აგრეთვე, ველის მოცემულ წერტილში საით არის მიმართული მოძრავ მუხტზე მოქმედი ძალა.

სივრცეში მაგნიტური ველის თვალსაჩინოდ გამოსახვა მოსახერხებელია ე.წ. მაგნიტური ინდუქციის წირებით.

მაგნიტური ინდუქციის წირი ეწოდება ისეთ წირს, რომლის მხების გასწვრივ მიმართულია მაგნიტური ველის ინდუქცია.

სწორედ ამ წირის გასწვრივ განლაგდება მაგნიტურ ველში პატარა მაგნიტური ისრების ღერძები (სურ. 28.2).



სურ. 28.2

ვნახოთ ვიდეორგოლი, თუ როგორ დავხაზოთ მაგნიტური ველის ძალ-წირები:
<https://bit.ly/3Hk9WAs>



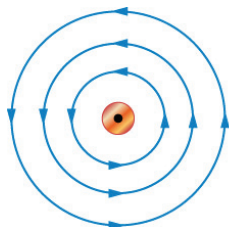
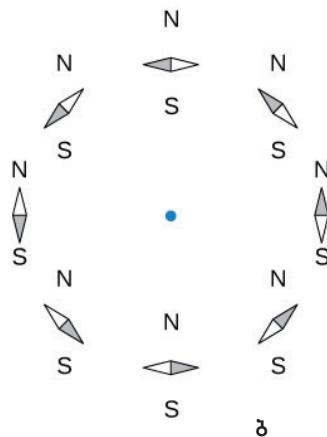
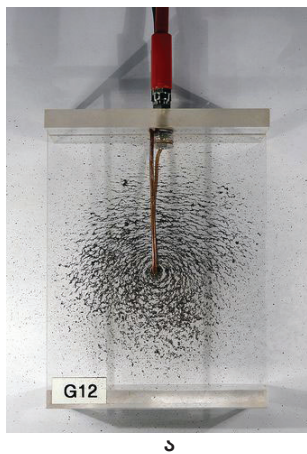
დავაკვირდეთ მაგნიტურ ველს სხვადასხვა ფორმის დენიანი გამტარის შემთხვევაში. სურ. 29.1-ზე გამოსახულია წრფივი დენიანი გამტარისა და დენიანი კოჭას (სოლენოიდის) მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის სურათები. ასეთ სურათებს მივიღებთ, თუ წრფივ

გამტარს გავატარებთ მუყაოში, რომელზეც თხელ ფენად დავყრით რკინის ნაქლიბს, შემდეგ გამტარში გავატარებთ დენს და მუყაოს ოდნავ შევარხევთ, ვნახავთ, რომ დენის გავლის შემდეგ რკინის ნაქლიბის ნაწილაკები გარკვეული წესრიგით განლაგდება. ეს ნაწილაკები პატარა მაგნიტური ისრების მსგავსად იქცევიან. ბ სურათზე გამოსახულია მაგნიტური ისრების განლაგება წრფივი დენიანი გამტარის ირგვლივ. გამტარი სურათის სიბრტყის მართობულია. დ სურათზე გამტარში დენი მიმართულია სურათიდან ჩვენკენ და პირობითად აღნიშნულია წერტილიანი წრით. ე-ზე დენი მიმართულია სურათის სიბრტყისაკენ და პირობითად აღნიშნულია ჯვრიანი წრით. ამ ცდის ჩატარებას ადვილად შეძლებთ და ნახავთ, რომ გამტარში დენის მიმართულების შეცვლა იწვევს მაგნიტური ველის მიმართულების საპირისპიროთი შეცვლას.

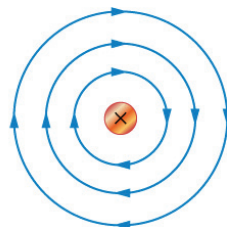
ანალოგიურ მოვლენას დააკვირდებით ბმულზე:
<https://bit.ly/40366Dd>



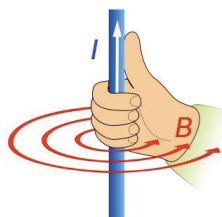
ვიდეორგოლში ნაჩვენებია სხვადასხვა ფორმის დენიანი გამტარის მაგნიტური ველი. დააკვირდით, დენის გატარების შემდეგ, რა მოსდის რკინის ნაქლიბის მცირე ნაწილაკებს, რომლებიც შეტივტივებულია პლასტმასის გამჭვირვალე ბრტყელ ფირფიტებში ჩასხმულ ბლანტ სითხეში.



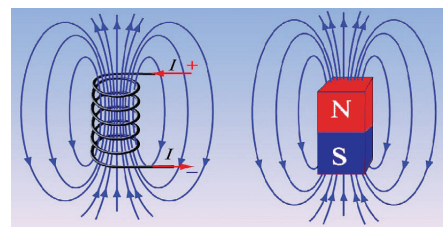
დ. წერტილიანი რგოლი



ე. ჯვრიანი რგოლი



სურ. 29.1



ზ

თ

წრფივი დენიანი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის მიმართულება შეიძლება განვსაზღვროთ მარჯვენა ხელის პირველი წესით (სურ. 29.1, ვ).

მარჯვენა ხელის ცერი დავიჭიროთ ისე, რომ იგი გვიჩვენებდეს გამტარში დენის მიმართულებას, მაშინ მოხრილი ოთხი თითი, რომელთა შორისაც გამტარია მოქცეული, გვიჩვენებს დენის მაგნიტური ველის ინდუქციის მიმართულებას.

წრფივი გამტარის მაგნიტურ ველს დააკვირდებით ვირტუალურ ლაბორატორიაში. აქვე თვალსაჩინოდ ნახავთ, როგორ მოქმედებს მარჯვენა ხელის წესი ამ შემთხვევაში, ბმულზე:
<http://bit.ly/3J2LDlp>



1. რა ფორმისაა წრფივი დენიანი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის წირები.

29.1 ზ სურათზე გამოსახულია დენიანი კოჭას მაგნიტური ინდუქციის წირები, ხოლო თ სურათზე – მუდმივი მაგნიტის.

დენიანი კოჭას მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის მიმართულება ასე განისაზღვრება:

თუ მარჯვენა ხელის მოხრილი ოთხი თითის მიმართულებას დავამთხვევთ კოჭაში დენის მიმართულებას, მაშინ გაშლილი ცერი გვიჩვენებს კოჭაში მაგნიტური ველის ინდუქციის მიმართულებას.

იგივე წესი გამოდგება რგოლის ცენტრში მაგნიტური ველის ინდუქციის მიმართულების დასადგენად.

ვირტუალურ ლაბორატორიაში დავაკვირდეთ წრიული და ზოლოვანი მაგნიტის მაგნიტურ ველებს, ასევე, კოჭას მაგნიტურ ველსა და მარჯვენა ხელის წესის გამოყენებას მაგნიტური ველის ინდუქციის მიმართულების განსასაზღვრად:

წრიული გამტარის მაგნიტური ველი:
<http://bit.ly/3GX1q8S>

ზოლოვანი მაგნიტის მაგნიტური ველი:
<https://bit.ly/3iUtAcO>
<http://bit.ly/3QQtK1v>

კოჭას მაგნიტური ველი:
<http://bit.ly/3Xxghyc>

მარჯვენა ხელის გამოყენების წესს თვალსაჩინოდ გაეცნობით ამ ვიდეოშიც: <https://bit.ly/3WoWXBx>

მაგნიტური ინდუქციის წირები ყოველთვის შეკრულია. მათ არა აქვთ არც დასაწყისი და არც დასასრული. **ველს, რომელიც შეკრული ძალწირებით ხასიათდება, გრიგალური ველი ეწოდება. მაგნიტური ველი გრიგალურია.**

2. გრიგალურია თუ არა ელექტროსტატიკური ველი? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების ჩაკეტილობა მაგნიტური ველის ფუნდამენტური თვისებაა. ეს გამოხატულებაა იმისა, რომ მაგნიტურ ველს არა აქვს წყარო. **ელექტრული მუხტის მსგავსი მაგნიტური მუხტი ბუნებაში არ არსებობს.**

ფუნდამენტური (ლათინური) – ძირითადი, მთავარი

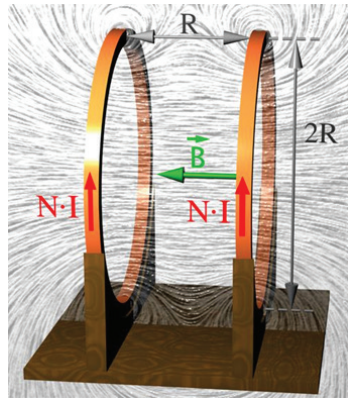
შეთანხმდნენ, მაგნიტური ინდუქციის წირები ისე გაავლონ, რომ მოცემულ წერტილში მაგნიტური ინდუქციის ვექტორისადმი მართობულად მოთავსებული ფართობის ერთეულზე გადიოდეს იმდენი ძალწირი, რასაც უდრის ამ წერტილში ველის ინდუქცია.



3. თქვენი ვარაუდით, შეიძლება თუ არა ძალწირების სიხშირის მიხედვით შეფასდეს მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული? როგორ?

ზოგიერთ, შედარებით მცირე უზანზე მაგნიტური ველის ძალწირები ერთმანეთის პარალელურია და ერთმანეთისგან ტოლი მანძილებითაა დაშორებული. ასეთ უზანზე მაგნიტური ველის ინდუქცია ყველა წერტილში ერთნაირია და მაგნიტური ველი ერთგვაროვან ველად შეიძლება მივიჩნიოთ.

31.1. სურათზე გამოსახულია ჰელმჰოლცის რგოლები, რომელთა მეშვეობით შექმნილი მაგნიტური ველის ძალწირები, რგოლებს შორის არეში, ამ რგოლების საერთო ღერძის თითქმის პარალელურია, თან, ტოლი მანძილებით არის დაშორებული. სივრცის ამ ნაწილში ამ ორი დენიანი რგოლის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი შეგვიძლია ერთგვაროვნად ჩავთვალოთ. ეს მოწყობილობა გამოიყენება მოძრავი დამუხტული ნაწილაკების - ელექტრონების ტრაექტორიის გამრუდებაზე დაკვირვებისათვის.



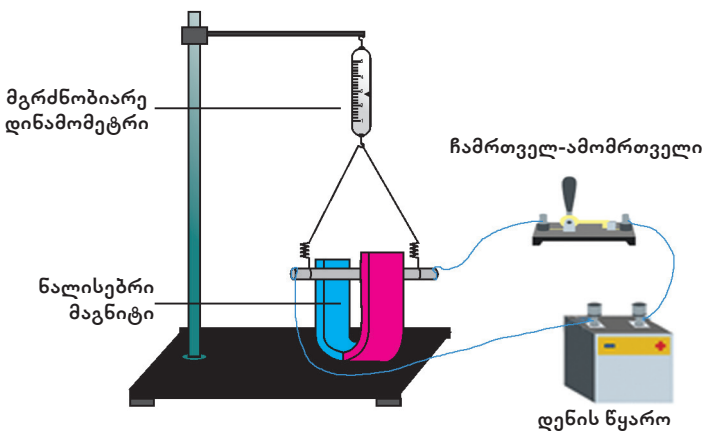
სურ. 31.1

ვიცი, რომ:

გამტარში გამავალი დენი თავის გარშემო ქმნის მაგნიტურ ველს, რომელიც მოქმედებს მეორე დენიან გამტარზე.
 უძრავი მუხტის გარშემო არსებობს მხოლოდ ელექტრული ველი. მოძრავი მუხტის გარშემო კი არსებობს როგორც ელექტრული, ისე მაგნიტური ველი.
 დენი უნდა განვიხილოთ, როგორც მაგნიტური ველის წყარო.
 მაგნიტურ ველს ქმნის ელექტრული დენი (მოძრავი მუხტები).
 ველს, რომელიც შეკრული ძალწირებით ხასიათდება, გრიგალური ველი ეწოდება.
 მაგნიტური ველი მუდავნდება დენზე (მოძრავ მუხტებზე) მოქმედებით.
 მაგნიტური ინდუქციის მიმართულებად მიღებულია მაგნიტურ ველში თავისუფლად მბრუნავი, უკვე ორიენტირებული, მაგნიტური ისრის მიმართულება S სამხრეთი პოლუსიდან N ჩრდილოეთის პოლუსისკენ.

მოამზადეთ შემდეგი გაკვეთილისთვის

დააკვირდით სურ. 31.2-ს.
 რა არის გამოსახული სურ. 31.2-ზე?
 როგორია თქვენი ვარაუდი: რა მოხდება, თუ ჩამრთველს ჩავრთავთ?



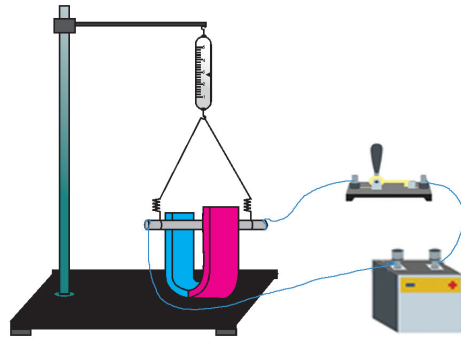
სურ. 31.2

- რა მოხდება თუ გამტარში დენს გავატარებთ? (სურ. 32.1)?

§ 1.4. მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული. ამპერის ძალა

ჩავატაროთ ცდა: ნალისებრი მაგნიტის მაგნიტურ ველში ძალწირების მართობულად მოვათავსოთ მოქნილ სადენებზე დაკიდებული მცირე ზომის გამტარი და ჩამოვკიდოთ მგრძნობიარე დინამომეტრზე (სურ.32.1).

გამტარში გავატაროთ დენი. დავინახავთ, გამტარი ამოძრავდება (შეიზიდება ან განიზიდება) მაგნიტისაგან. შესაბამისად, დინამომეტრის ჩვენება გაიზრდება ან შემცირდება. მაშასადამე, მაგნიტური ველი მოქმედებს მასში მოთავსებულ დენიან გამტარზე. გამტარში დენის მიმართულების შეცვლა იწვევს მასზე მოქმედი ძალის მიმართულების საპირისპიროთი შეცვლას.



სურ. 32.1

გამტარის სიგრძის შეუცვლელად შევცვალოთ გამტარში გამავალი დენი. თითოეულ შემთხვევაში გავზომოთ დენი და გამტარზე მოქმედი ძალის მოდული. გაზომვის შედეგები გვიჩვენებს, რომ:

ა. მოცემული სიგრძის გამტარზე მოქმედი ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია გამტარში გამავალი დენის $F \sim I$. (1)

თუ უცვლელი დენისას, მაგნიტურ ველში მოთავსებული დენიანი გამტარის სიგრძეს რამდენჯერმე შევცვლით, თითოეულ შემთხვევაში გავზომავთ გამტარზე მოქმედი ძალის მოდულს, მაშინ გაზომვის შედეგების ანალიზით დავადგენთ:

ბ. უცვლელი დენისას გამტარზე მოქმედი ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია მაგნიტურ ველში მოთავსებული გამტარის სიგრძის $F \sim L$. (2)

$$(1) \wedge (2) \Rightarrow F \sim IL. (3)$$

(3) \Rightarrow პროპორციულობიდან ტოლობაზე რომ გადავიდეთ, აუცილებელია, დავწეროთ პროპორციულობის კოეფიციენტი. აღვნიშნოთ იგი B -თი, მაშინ:

$$(3) \Rightarrow F = BIL. (4) \quad (4) \Rightarrow B = \frac{F}{IL}. (5)$$

შეფარდება $\frac{F}{IL}$ არ არის დამოკიდებული მაგნიტურ ველში მოთავსებული გამტარის არც სიგრძეზე და არც დენზე. იგი დამოკიდებულია იმ მაგნიტური ველის თვისებებზე, რომელშიც გამტარია მოთავსებული. შეიძლება დავასკვნათ: პროპორციულობის კოეფიციენტი ახასიათებს მაგნიტურ ველს იმ ადგილას, სადაც გამტარია მოთავსებული.

$$B = \frac{F}{IL} \text{ სიდიდე წარმოადგენს მაგნიტური ინდუქციის მოდულს.}$$

მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული ტოლია წილადის მნიშვნელობისა, რომლის მრიცხველია მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების მართობულად მოთავსებულ დენიან გამტარზე მოქმედი ძალის მოდული, მნიშვნელი კი – დენის ძალისა და მაგნიტურ ველში მოთავსებული გამტარის სიგრძის ნამრავლი.

დავუშვათ, $F=1\text{ნ}$, $I=1\text{ა}$, $L=1\text{მ}$, მაშინ (5) $\Rightarrow B$ არის მაგნიტური ინდუქციის 1 ერთეული. მას სერბი-ამერიკელი ელექტროინჟინრის ნიკოლა ტესლას პატივსაცემად **ტესლა (ტლ)** ეწოდება.

ნიკოლა ტესლას 300-მდე დაპატენტებულ გამოგონებას შორისაა ცვლადი დენის ძრავა, მაღალი ძაბვის ელექტროგენერატორი და რადიოკავშირი.

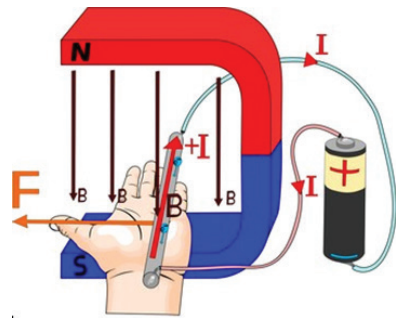
$$(5) \Rightarrow 1 \text{ ტლ} = 1 \frac{\text{ნ}}{\text{ა}\cdot\text{მ}}$$

1 ტესლა ისეთი ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციაა, რომელიც ინდუქციის წირების მართობულად მოთავსებულ 1მ სიგრძის გამტარზე, რომელშიც გადის 1 ა დენი, მოქმედებს 1 ნ ძალით.

(5) $\Rightarrow \vec{B}$ ინდუქციის მაგნიტურ ველში მის მართობულად მოთავსებულ L სიგრძის გამტარზე მოქმედი ძალის მოდული, როდესაც მასში გამავალი დენია I, განისაზღვრება ფორმულით: $F=BIL$. (6)

ცდებით მტკიცდება, რომ, როდესაც მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორსა და მასში მოთავსებულ გამტარში დენის მიმართულებას შორის კუთხე არის α , მაშინ გამტარზე მოქმედი ძალის მოდული განისაზღვრება ფორმულით $F=BIL\sin\alpha$ (7). ამ ძალას სწირად ამპერის ძალას უწოდებენ.

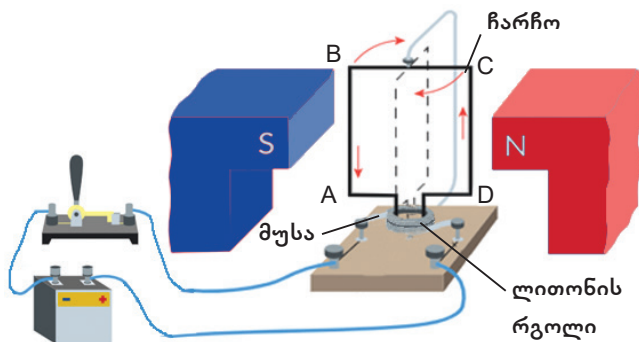
მაგნიტურ ველში მოთავსებულ წრფივ დენიან გამტარზე მოქმედი ძალის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით: **მარცხენა ხელი მაგნიტურ ველში ისე მოვითავსოთ, რომ მაგნიტური ინდუქციის წირები მიმართული იყოს ხელისგულისაკენ, გაშლილი ოთხი თითი გვიჩვენებდეს გამტარში დენის მიმართულებას, მაშინ 90°-იანი კუთხით გაშლილი ცერი გვიჩვენებს გამტარზე მოქმედი ძალის მიმართულებას (სურ. 33.1).**



სურ. 33.1

ამპერის ძალის მოქმედებაზე დამყარებული ელექტროძრავის მუშაობა. მონყობილობისა, რომელიც ელექტრულ ენერგიას გარდაქმნის მექანიკურ ენერგიად.

33.2 სურათზე გამოსახული მონყობილობის ჩარჩო შედგება იზოლირებული მავთულის რამდენიმე ათეული ხვიისაგან. ჩარჩო ჩამოცმულია ვერტიკალურ ღერძზე. იმავე ღერძზე, ჩარჩოს ქვეშ, დამაგრებულია ლითონის ორი რგოლი, რომლებიც ერთმანეთისაგან იზოლირებულნი არიან. ერთ რგოლთან შეერთებულია ჩარჩოს გრაგნილის ერთი ბოლო, მეორესთან – მეორე. რგოლებთან დენი



სურ. 33.2

მიდის თხელი ლითონის ფირფიტების – მუსების – მეშვეობით. ჩარჩოს CD უბანზე იმოქმედებს ამპერის ძალა სურათის სიბრტყიდან ჩვენკენ, ხოლო AB უბანზე – ჩვენგან სურათის სიბრტყისკენ. ჩარჩო შემობრუნდება 90°-იანზე ოდნავ მეტი კუთხით, დაბრუნდება ცოტა უკან და რამდენიმე რხევის შემდეგ გაჩერდება ისეთ მდებარეობაში, რომ მისი სიბრტყე ძალწირების მართობი იქნება. ამის შემდეგ ამპერის ძალები ჭიმავენ ჩარჩოს. ჩავთვალოთ ჩარჩოს ასეთი მდებარეობა წონასწორობის მდებარეობად.

თუ შევძლებთ იმის მიღწევას, რომ ამ მდებარეობაში ჩარჩო არ გაჩერდეს და გააგრძელოს ბრუნვა, მაშინ იგი გახდება ელექტროძრავა – მონყობილობა, რომელიც ელექტრულ ენერგიას გარდაქმნის მექანიკურ ენერგიად.



1. დაფიქრდით, რა შეიძლება გაკეთდეს ამისათვის?

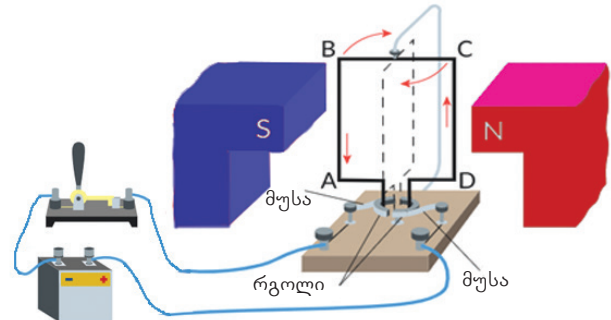
ელექტროძრავის მუშაობის პრინციპს გაეცნობით ბმულზე:
<https://bit.ly/3D68hf9>



2. განსაზღვრეთ მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიან გამტარზე მოქმედი ძალა, როდესაც კუთხე მაგნიტური ველის ინდუქციასა და დენის მიმართულებას შორის ნულია.

უმარტივესი ელექტროძრავის მოდელი გამოსახულია 34.1 სურათზე.

იმისათვის რომ ჩარჩო არ გაჩერდეს და ბრუნვა განაგრძოს, ასეთი რამ მოიფიქრეს: გათიშონ დენის წყარო იმ მომენტში, როდესაც ჩარჩო წონასწორობის მდებარეობას უახლოვდება. ჩარჩო ინერტულობის გამო არ შეწყვეტს მოძრაობას და გაივლის წონასწორობის მდებარეობას და ამ მომენტში ისევ გაატარონ დენი ჩარჩოში, ოღონდ საპირისპირო მიმართულებით. ჩარჩოზე მოქმედი ამპერის ძალები საპირისპირო-თი შეიცვლის მიმართულებას და ჩარჩო



სურ. 34.1

გააგრძელებს ბრუნვას 34.1 სურათზე გამოსახული მიმართულებით. ჩარჩომ ბრუნვა რომ განაგრძოს, საჭიროა, 180° -იანი კუთხით შემობრუნების შემდეგ ისევ შეიცვალოს დენის მიმართულება. მაშასადამე, თუ ჩარჩოს ყოველი 180° -ით შემობრუნების შემდეგ მასში შევცვლით დენის მიმართულებას, ის განუწყვეტილად იბრუნებს მაგნიტურ ველში.

დენის მიმართულების ავტომატური შეცვლისათვის იყენებენ კოლექტორს. უმარტივესი კოლექტორი შედგება ორი ერთმანეთისაგან იზოლირებული ნახევარგოლისაგან. ნახევარგოლები ჩამოეცმევა ჩარჩოს ღერძზე და ბრუნავს მასთან ერთად. თითოეულ ნახევარგოლს უერთდება ჩარჩოს გრაგნილების ერთ-ერთი ბოლო. ნახევარგოლებთან დენი მიდის მუსებით (სურ. 34.1). სწორედ ამ დეტალით განსხვავდება 34.1 სურათზე გამოსახული მოწყობილობა 33.2 სურათზე გამოსახული მოწყობილობისგან.

34.2 სურათზე გამოსახულია მუდმივი დენის ერთ-ერთი ძრავის გარე ხედი.

ელექტროძრავის მუშაობას დააკვირდით სიმულაციურ ლაბორატორიაში:

<http://bit.ly/3J2U9ab>

<http://bit.ly/3XlhRNk>



ელექტროძრავის დიდი უპირატესობა აქვს იმავე სიმძლავრის თბოძრავასთან შედარებით: იგი უფრო მცირე ზომისაა, არ აბინძურებს ჰაერს, არ სჭირდება სანავისა და წყლის მარაგი. შეიძლება დამზადდეს ნებისმიერი სიმძლავრის ელექტროძრავა: როგორც რამდენიმე ვატის (მაგალითად, ელექტროსაპარსის ძრავა), ასევე ასობით და ათასობით კილოვატის (ასეთი ძრავები გამოიყენება ექსკავატორზე, ხომალდზე და ა.შ.).

მძლავრი ელექტროძრავის მქ კოეფიციენტი 98%-ს აღწევს. ასეთი მაღალი მქ კოეფიციენტი არა აქვს არცერთ სხვა ძრავას.



სურ. 34.2



3. ისაუბრეთ, როგორ წარმოგიდგენიათ თანამედროვე ადამიანის ცხოვრება ელექტროძრავის გარეშე?

დენიან ჩარჩოზე მაგნიტური ველის მახრუნებელი მოქმედება გამოიყენება მაგნიტო-ელექტრული სისტემის ელექტროგამზომ ხელსაწყოებში, ამპერმეტრსა და ვოლტმეტრში.

მაგნიტოელექტრული სისტემის ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპი დამყარებულია მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ველისა და დენიანი კოჭას მაგნიტური ველის ურთიერთქმედებაზე.

ვიცი, რომ:

მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდული არის წილადი, რომლის მრიცხველია მაგნიტური ველის ინდუქციის წირების მართობულად მოთავსებულ დენიან გამტარზე მოქმედი ძალის მოდული, მნიშვნელი კი დენის ძალისა და მაგნიტურ ველში მოთავსებული გამტარის სიგრძის ნამრავლი.
 1 ტესლა ისეთი ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციაა, რომელიც ინდუქციის წირების მართობულად მოთავსებულ 1 მ სიგრძის გამტარზე, რომელშიც გადის 1 ა დენი, მოქმედებს 1 ნ ძალით.

აშოცანის აშოხსნის ნიშუში

2 ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში ძალ-წირების მართობულად შეიტანეს სპილენძის მავთული. განსაზღვრეთ მავთულის აჩქარება, თუ მასში გამავალი დენის სიმკვრივე 1 ა/სმ²-ია. სპილენძის სიმკვრივეა 8900 კგ/მ³.

დენის სიმკვრივე ეწოდება გამტარში გამავალი დენის და მისი განივკვეთის ფართობის შეფარდებას $j = \frac{I}{S}$.

აშოხსნა

? a
 მოც.: $B = 2 \text{ ტლ}$
 $j = 1 \frac{\text{ა}}{\text{სმ}^2} = 10^4 \frac{\text{ა}}{\text{მ}^2}$
 $\rho = 8900 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3}$

ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად:
 $a = \frac{F}{m}$, (1) სადაც $F = BIL$ (2) გამტარზე მოქმედი ამპერის ძალაა, $I = jS$ (3) – გამტარში გამავალი დენი, $m = \rho V$ (4) – გამტარის მასა, $V = LS$ (5) – გამტარის მოცულობა, S – გამტარის განივკვეთის ფართობი.

(2), (3), (4)^(5) \rightarrow (1) $\Rightarrow a = \frac{BjSL}{\rho LS} \Rightarrow a = \frac{Bj}{\rho}$. (*)
 \rightarrow (*): $a = 2,2 \frac{\text{მ}}{\text{სმ}^2}$.

შოაშადათ შაშადაგი გაკვეთილისთვის


როდის და როგორ მოქმედებს მაგნიტური ველი მასში მოთავსებულ სპილენძის (ალუმინის) გამტარზე?

როგორია თქვენი ვარაუდი: დენიან გამტარზე მაგნიტური ველის მოქმედება არის თუ არა ველის მოქმედების შედეგი გამტარში მიმართულად მოძრავ დამუხბტულ ნაწილაკებზე? პასუხი დაასაბუთეთ.

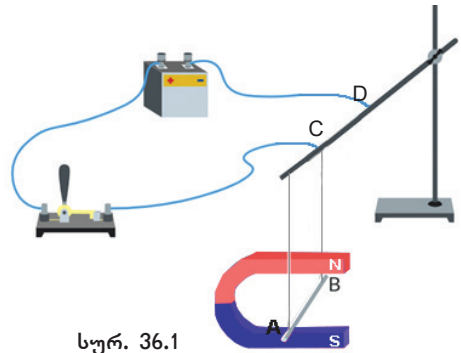
- დენიან გამტარზე მაგნიტური ველის მოქმედება არის თუ არა გამტარში მიმართულად მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე ველის მოქმედების შედეგი? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

§ 1.5. მაგნიტური ველის მოქმედება მოძრავ მუხტზე. ლორენცის ძალა

დააკვირდით 36.1 სურათს. მოქნილი CA და DB ტოლი სიგრძის გამტარები, რომლებზეც AB გამტარია დაკიდებული, შვეულ მდებარეობაშია.



1. გადაიხრება თუ არა CA და DB გამტარები შვეული მდებარეობიდან, თუ ჩამრთველს ჩაერთავთ? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?
2. რა შემთხვევაში მოქმედებს მაგნიტური ველი მასში მოთავსებულ გამტარზე?
3. თქვენი ვარაუდით, მაგნიტური ველის დენიან გამტარზე მოქმედება არის თუ არა გამტარში მიმართულად მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედების შედეგი? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?




სურ. 36.1

ძალას, რომლითაც მაგნიტური ველი მოქმედებს მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე, ლორენცის ძალა ეწოდება.

ნახეთ ვიდეორგოლი ლორენცის ძალისა და მისი მიმართულების შესახებ („ახალი სკოლის მოდელის“ რესურსებიდან):

<http://bit.ly/3XlifeK>



განვსაზღვროთ ლორენცის ძალა. ვიცით, B ინდუქციის მაგნიტურ ველში მოთავსებულ ΔL სიგრძის გამტარზე მაგნიტური ველი მოქმედებს ძალით, რომლის მოდული განისაზღვრება ამპერის კანონით:

$$F = B I \Delta L \sin \alpha, \quad (1)$$

სადაც F არის ΔL სიგრძის უბანში მონესრიგებულად მოძრავ ყველა დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ძალის მოდული, I – გამტარში გამავალი დენი, α – კუთხე B მაგნიტური ველის ინდუქციასა და დენის მიმართულებას შორის.


ვიცით, გამტარში გამავალი დენი $I = q_0 n v S$, (2) სადაც I არის დენის ძალა, q_0 – ნაწილაკის მუხტი, n – მოცულობის ერთეულში მიმართულად მოძრავი ნაწილაკების რაოდენობა, S – გამტარის განივკვეთის ფართობი, v – ნაწილაკის მონესრიგებული მოძრაობის სიჩქარის მოდული.

$$(2) \rightarrow (1) \Rightarrow F = |q_0| n v \Delta L S B \sin \alpha. \quad (3)$$

$n = \frac{N}{V}$ (4), სადაც V განსახილველი მოცულობაა, ხოლო N – მასში მონესრიგებულად მოძრავი დამუხტული ნაწილაკების რაოდენობა.

$$V = S \Delta L \quad (5). \quad (5) \rightarrow (4) \Rightarrow n = \frac{N}{S \Delta L} \Rightarrow N = n S \Delta L. \quad (6)$$

$$(6) \rightarrow (3) \Rightarrow F = |q_0| v N B \sin \alpha. \quad (7)$$

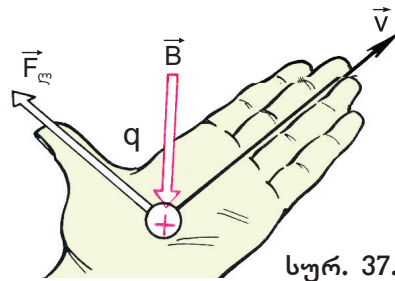


4. როგორ განვსაზღვროთ მონესრიგებულად მოძრავ ერთ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ძალის მოდული?

$$(7) \Rightarrow F_{\text{ლ}} = \frac{F}{N} = |q_0|vB\sin\alpha. \quad (8)$$


სადაც $F_{\text{ლ}}$ არის მაგნიტურ ველში მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ძალის მოდული – ლორენცის ძალა, α – კუთხეა მუხტის სიჩქარესა და მაგნიტურ ინდუქციას შორის.

ლორენცის ძალა მართობია \vec{B} და \vec{v} ვექტორების და მისი მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით:




სურ. 37.1

თუ მარცხენა ხელს ისე მოვათავსებთ, რომ \vec{B} ვექტორის მუხტის სიჩქარისადმი მართობი მდგენელი ხელის გულში შედიოდეს, ხოლო ოთხი თითი მიმართული იყოს დადებითი მუხტის მოძრაობის მიმართულებით, მაშინ 90° -ით გაშლილი ცერი გვიჩვენებს მუხტზე მოქმედი $\vec{F}_{\text{ლ}}$ ლორენცის ძალის მიმართულებას (სურ. 37.1).



5. ასრულებს თუ არა ლორენცის ძალა მუშაობას? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?
6. იცვლება თუ არა ლორენცის ძალის მოქმედებით დამუხტული ნაწილაკის კინეტიკური ენერგია? სიჩქარის მოდული? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?
7. იცვლება თუ არა ლორენცის ძალის მოქმედებით დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარე? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

ლორენცის ძალის მოქმედების შედეგის აღქმაში დაგეხმარებათ ეს ვიდეორგოლი, სადაც ნაჩვენებია მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედი მაგნიტური ძალა: <http://bit.ly/3QTmuBL>





მოძრავ მუხტებზე მაგნიტური ველის მოქმედება აქტიურად გამოიყენება ტექნიკასა და ყოფა-ცხოვრებაში. სწორედ ამას ეფუძნებოდა პირველი ტელევიზორების მუშაობა. ტელევიზორი აღჭურვილი იყო კინესკოპით – ელექტრონულ-სხივური მილაკით, რომელიც ელექტრონულ სიგნალს გარდაქმნიდა ვიდეოგამოსახულებად. კინესკოპში ეკრანისაკენ მოძრავი ელექტრონები იმართება განსაკუთრებულ კოჭებში აღძრული მაგნიტური ველის მოქმედებით.

ლორენცის ძალის მოქმედების პრინციპით შეიქმნა ხელსაწყო ციკლოტრონი, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელი გახდა დამუხტული ნაწილაკების აჩქარება შედარებით სუსტი ელექტრული ველით და მათთვის საკმაოდ დიდი ენერგიის მინიჭება. შემდგომში გაცილებით მძლავრი ამაჩქარებლებიც შეიქმნა.

ციკლოტრონის გამოყენების შესახებ ნახეთ ვიდეორგოლი: <http://bit.ly/3E8v8Hp>

ციკლოტრონის აგებულებასა და მოქმედების პრინციპს კი ამ ბმულზე გაცნობით: <http://bit.ly/3jZt2mu>

ვიცი, რომ:

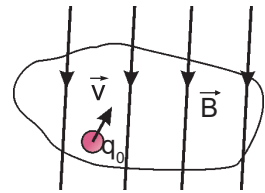
ძალას, რომლითაც მაგნიტური ველი მოქმედებს მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკზე, ლორენცის ძალა ეწოდება.

ლორენცის ძალის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით.

ლორენცის ძალის მოქმედებით იცვლება მაგნიტურ ველში მოძრავი ნაწილაკის სიჩქარის მიმართულება, ნაწილაკის სიჩქარის მოდული არ იცვლება.

ამოცანის ამოხსნის ნიშნები

დავადგინოთ, როგორ იმოძრაებს q_0 მუხტის ნაწილაკი, როდესაც იგი \vec{v} სიჩქარით შეიჭრება \vec{B} ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად (სურ. 38.1).



სურ. 38.1

ამოხსნა

მაგნიტური ველი ნაწილაკზე მოქმედებს $F_{\text{ლ}} = |q_0|vB\sin\alpha$ (1) ლორენცის ძალით. ლორენცის ძალა მართობია \vec{v} და \vec{B} ვექტორებისა, ამიტომ იგი არ ცვლის სიჩქარის მოდულს. ე. ი. (1) \Rightarrow უცვლელი რჩება ლორენცის ძალის მოდულიც.

ძალა, რომლის მოდული არ იცვლება და სიჩქარის მართობულად მოქმედებს, ნაწილაკს ანიჭებს მოდულით მუდმივ ცენტრისკენულ $a = \frac{v^2}{R}$ (2) აჩქარებას. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ნაწილაკი მოდულით მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს R რადიუსიან წრეწირზე. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, $F_{\text{ლ}} = ma$. (3)

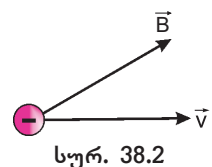
$$(1) \wedge (2) \rightarrow (3) \Rightarrow |q_0|vB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{|q_0|B}. \quad (4) \quad (4) \Rightarrow \frac{|q_0|}{m} = \frac{v}{RB}. \quad (5)$$

ნაწილაკის მუხტის შეფარდებას მის მასასთან ნაწილაკის **კუთრი მუხტი** ეწოდება. იგი ექსპერიმენტით განისაზღვრება.

სავარჯიშო

1. არის თუ არა განსხვავება ერთსა და იმავე მაგნიტურ ველში შეჭრილი იონების მოძრაობებს შორის, თუ: ა. იონები სხვადასხვა ნიშნისაა; ბ. განსხვავებულია მათი მუხტის მოდული; გ. განსხვავებულია იონების მასა.

2. განსაზღვრეთ 38.2 სურათზე გამოსახული უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ძალის მიმართულება.

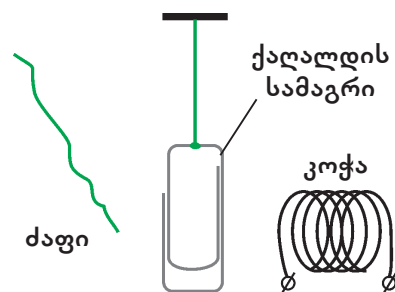


სურ. 38.2

3. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მაგნიტური ველის ინდუქციის მართობულად შეიჭრა ერთი და იმავე სიჩქარის პროტონი და ელექტრონი. შეადარეთ მათი სიმრუდის რადიუსები ერთმანეთს. პროტონის მასა $1,67 \cdot 10^{-27}$ კგ-ია, ელექტრონის $-9,1 \cdot 10^{-31}$ კგ.

მოეხადეთ შედეგი გაკვეთილისთვის

- ძალით რომ ჩამოვკიდოთ რკინის ქალაღის სამაგრი (სურ 38.3), როგორ მდებარეობას დაიკავენს ძაფი?
- ძაფზე დაკიდებულ რკინის სამაგრს გამტარი კოჭა რომ მივუახლოოთ, შეიცვლება თუ არა ძაფის მდებარეობა?
- კოჭაში დენის გატარების შემდეგ?



სურ. 38.3

მეცნიერული კვლევა-ძიება

ცდებით შეამონმეთ გამოთქმული ჰიპოთეზების მართებულობა.

- შეიცვალა ძაფის მდებარეობა რკინის სამაგრთან კოჭას მიახლოებისას?
- კოჭაში დენის გატარების შემდეგ? რატომ მოხდა ასე?

§ 1.6. ნივთიერების მაგნიტური თვისებები

დენის მაგნიტური მოქმედების გარეშე ვერ შეიქმნებოდა უდიდესი ნაწილი ხელსაწყოებისა, რომელთა გარეშეც თანამედროვე ადამიანის ცხოვრება წარმოუდგენელია (მაგალითად, ტელეფონი, მუსიკალური ცენტრი, ტელევიზორი, კომპიუტერი და სხვა). თანამედროვე მეცნიერებამ საკმაოდ ღრმად შეისწავლა მაგნიტური მოვლენების არსი და ახსნა მათი ძირითადი კანონზომიერებები. შედეგად, ნივთიერებათა მაგნიტური თვისებები უფრო და უფრო ფართო სამეცნიერო და ტექნიკურ გამოყენებას ჰპოვებს. დღეს არ არსებობს ტექნიკის დარგი, სადაც არ იყენებდნენ მინიატურულ მაგნიტურ გულარებსა და სისტემებს, მუდმივ მაგნიტებსა და მაგნიტურ ლენტებს. ცალკე მიმართულებაა მაგნეტიზმის ინფორმაციული ასპექტის გამოყენება, როცა მაგნიტური თვისებების შესწავლით, შესაძლებელი ხდება ნივთიერებათა ფიზიკური თვისებებისა და ქიმიური შემადგენლობის შესწავლა. ნივთიერების მაგნიტური თვისებების შესწავლის მეთოდთა გამოყენება დაედო ასევე საფუძვლად მაგნიტურ დეფექტოსკოპიას – მეთოდს, რომელსაც იყენებენ ლითონის ნაწარმში დეფექტების აღმოსაჩენად.

ჩავატაროთ ცდა: ძაფით ჩამოვკიდოთ რკინის მავთული და მივუახლოოთ კოჭა (სურ. 39.1).



1. შეიმჩნევა კოჭასა და მავთულის ურთიერთქმედება?

რამდენჯერმე ჩავრთოთ (სურ. 39.2) და ამოვრთოთ ჩამრთველ-ამომრთველი და დავაკვირდეთ.



2. რას ამჩნევთ? ახსენით, რატომ გადაიხარა ძაფი მარჯვნივ?

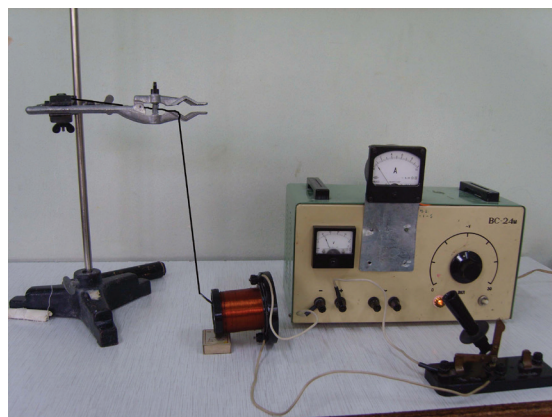
დენიანი კოჭა დავაშორეთ მავთულს ისეთი მანძილით, რომ ძაფის გადახრა ოდნავ შესამჩნევი იყოს (სურ. 40.1).



3. ჯერ ივარაუდეთ, შემდეგ ცდით შეამოწმეთ, რა მოხდება, თუ კოჭაში დენს გაადიდებთ. ვარაუდი ჩანერეთ რვეულში.

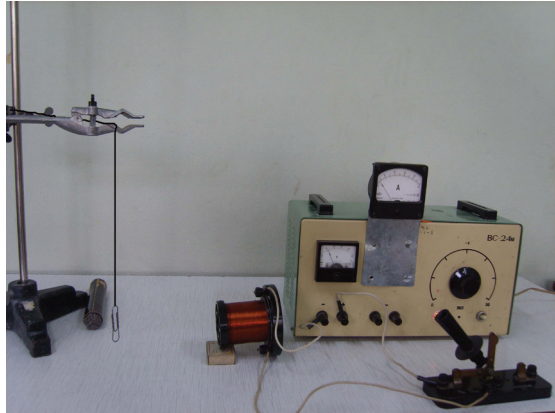


სურ. 39.1



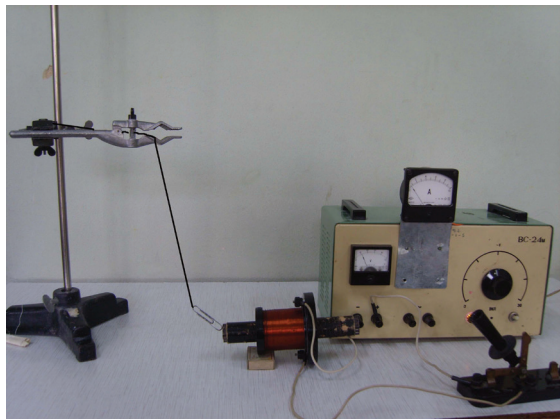
სურ. 39.2

შევამჩნევთ, კოჭაში დენის გადიდებით ძაფის გადახრის კუთხე გაიზრდება, რაც მავთულზე მოქმედი ძალის გადიდების მაჩვენებელია, ეს კი კოჭას მაგნიტური ველის გაძლიერებაზე მიუთითებს. ცდა აჩვენებს, უცვლელი დენისას კოჭას მაგნიტური ველის გაძლიერება შეიძლება კოჭას ხვიათა რაოდენობის გადიდებითაც. დაგეგმეთ ცდა, რომლითაც ამ ფაქტის შემოწმება შეიძლება.



სურ. 40.1

კვლავ დავამოწმოთ კოჭა მავთულს ისეთი მანძილით, რომ ძაფის გადახრა ოდნავ შესამჩნევი იყოს. კოჭაში შევიტანოთ რკინის გულარი (სურ. 40.2). შევამჩნევთ: მავთულზე მოქმედი ძალა გაიზრდება. ე.ი. **კოჭაში რკინის გულარის შეტანით კოჭას მაგნიტური ველის ინდუქცია იზრდება.**



სურ. 40.2

ამგვარად, კოჭაში მოთავსებული რკინის გულარი ისეთივე მაგნიტურ მოქმედებას ახდენს, როგორსაც დენის გადიდება კოჭაში ან მასში ხვეულების რაოდენობის გადიდება, ანდა ერთდროულად გადიდება ერთისა და მეორისაც.

ამპერობით გამოსახული დენისა და კოჭაში ხვეულთა რაოდენობის ნამრავლს **ამპერ-ხვეულების** რაოდენობა ეწოდება.

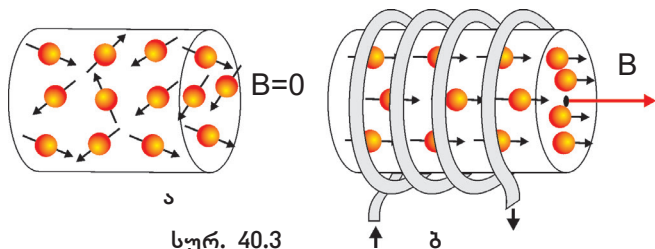
4. თქვენი აზრით, კოჭას შიგნით რკინის გულარის შეტანა ნიშნავს თუ არა ამპერ-ხვეულების რაოდენობის გაზრდას? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?

როგორ ავხსნათ მაგნიტური ველის ინდუქციის მოდულის გადიდება დენიან კოჭაში რკინის გულარის შეტანით?

ვინაიდან რკინის გულარი ზრდის კოჭას ამპერ-ხვეულების რაოდენობას, როდესაც არც დენი, არც ხვეულების რაოდენობა არ იცვლება, უნდა ვივარაუდოთ, რომ თვით რკინაში იწყებს ცირკულირებას ისეთივე მიმართულების ელექტროდენი, როგორც აქვს კოჭაში გამავალ ელექტროდენს. ეს დენები ცირკულირებს რკინის ყოველი მოლეკულის შიგნით. ასეთი ჰიპოთეზით ახსნა საკითხი ფრანგმა მეცნიერმა **ანდრე მარი ამპერმა**.

რა ხდება დაუმაგნიტებელ რკინაში?

დაუმაგნიტებელ რკინაში წრიული „მოლეკულური დენები“ ცირკულირებს უწყვეტ რიგოდ ორიენტირებულ სხვადასხვა სიბრტყეში (სურ. 40.3,ა). ამ დენების მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქცია საშუალოდ ნულის ტოლია. რკინის გულარის დენიან კოჭაში მოთავსებისას მოლეკულური წრიული დენების სიბრტყეები კოჭას ხვეულების პარალელურად გან-




სურ. 40.3

ლაგდება. მოლეკულური წრიული დენების მაგნიტური ველი აძლიერებს დენიანი კოჭას მაგნიტურ ველს (სურ. 40.3, ბ).

რკინის მოლეკულების სითბური მოძრაობა ნაწილობრივ არღვევს მოლეკულური დენების სიბრტყეთა ორიენტაციას; მაგრამ, რაც უფრო ძლიერია კოჭას მაგნიტური ველი, მოლეკულური დენების მით უფრო მეტი რაოდენობა განლაგდება კოჭას ხვეულების პარალელურად.

ვთქვათ, კოჭაში დენის გადიდებით მის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი განუწყვეტლივ იზრდება.

 5. თქვენი აზრით, განუწყვეტლივ გაიზრდება რკინის იმ მოლეკულური დენების რაოდენობა, რომლებიც კოჭას სიბრტყის პარალელურად განლაგდება? ახსენით, რატომ ფიქრობთ ასე?


იმ მომენტიდან, როდესაც რკინის „ყველა“ მოლეკულის დენი ორიენტირდება კოჭას სიბრტყის პარალელურად, კოჭას დენის შემდგომი გადიდებით რკინის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი აღარ იზრდება. რკინის ამ მდგომარეობას **ნაჯერობის მდგომარეობა** ეწოდება.

თუ ანალოგიურ ცდებს ჩავატარებთ სხვადასხვა ნივთიერებასა და მათი შენადნობებისაგან დამზადებულ სხეულებზე, დავადგენთ: გარე მაგნიტურ ველში შეტანისას ყველა სხეული მაგნიტდება. ამის გამო ერთგვაროვან გარემოში მაგნიტური ინდუქციის \vec{B} ვექტორი განსხვავდება სივრცის იმავე წერტილის \vec{B}_0 ვექტორისაგან ვაკუუმში.

$\frac{B}{B_0} = \mu$ ფარდობას, რომელიც გარემოს მაგნიტურ თვისებებს ახასიათებს, **გარემოს მაგნიტური შეღწევადობა** ეწოდება, სადაც μ მოცემული გარემოს მაგნიტური შეღწევადობაა.

ნივთიერებებს, რომელთა $\mu > 1$, **პარამაგნიტური ნივთიერებები** ეწოდება. ასეთებია: ჰაერი, ალუმინი, ვოლფრამი, პლატინა და სხვა. ამ ნივთიერებების მაგნიტური შეღწევადობა უმნიშვნელოდ აღემატება ერთს.

პარამაგნიტური ნივთიერების დამაგნიტებას დავაკვირდეთ სიმულაციურ ლაბორატორიაში:
<http://bit.ly/3wk5sDm>



ნივთიერებები, რომელთა $\mu < 1$, **დიამაგნიტური ნივთიერებებია**. ასეთებია: წყალი, ოქრო, ვერცხლი, სპილენძი, ტყვია და სხვა. ამ ნივთიერებების მაგნიტური შეღწევადობა უმნიშვნელოდ ნაკლებია ერთზე.

დიდი მაგნიტური შეღწევადობის $\mu \gg 1$ ნივთიერებებს **ფერომაგნიტური** ეწოდებათ. ასეთებია: რკინა, კობალტი, ნიკელი, თუჯი და მრავალი შენადნობი. ზოგიერთის მაქსიმალური მაგნიტური შეღწევადობა 250 000-ს აღწევს. სატრანსფორმატორო ფოლადის მაგნიტური შეღწევადობა $\mu \approx 8000$. ფერომაგნიტებს უდიდესი პრაქტიკული გამოყენება აქვთ, რადგან მათი მეშვეობით, ენერჯის დახარჯვის გარეშე, მაგნიტური ველის ინდუქცია რამდენიმე ასეულჯერ იზრდება. ფერომაგნიტების მაგნიტური შეღწევადობა მუდმივი არ არის. იგი დამოკიდებულია მაგნიტური ველის ინდუქციაზე. ფერომაგნიტებს, რომლებიც გარე მაგნიტური ველის მოსპობის შემდეგ დამაგნიტებული რჩება, იყენებენ მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად.

მუდმივი მაგნიტი ფართოდაა გამოყენებული ხმის ჩამწერ აპარატში, ხმამაღლა მოლაპარაკესა და ტელეფონში, ელექტროგამზომ ხელსაწყოებში და ა.შ.

მუდმივი მაგნიტები დღეს სასარგებლოდ გამოიყენება ჩვენი ცხოვრების ყველა სფეროში. ის გვხვდება ნებისმიერ საყოფაცხოვრებო ტექნიკაში იქნება ეს მობილური ტელეფონი, დინამიკი, მიკროტალღური ღუმელი, მაცივარი თუ სხვა. მუდმივი მაგნიტები გამოიყენება სამედიცინო ტექნიკასა და საზომ აპარატებში, საავტომობილო წარმოებასა და მუდმივი ძაბვის ძრავებში, აკუსტიკურ სისტემასა და ტელე-რადიო ტექნიკაში.

ფერომაგნიტებს, რომლებშიც ნარჩენი მაგნიტური თვისებები უმნიშვნელოა, იყენებენ ტრანსფორმატორების, გენერატორების, ელექტროძრავებისა და სხვათა დასამზადებლად.

ფერომაგნიტებისგან ამზადებენ მაგნიტურ ლენტებსა და თხელ მაგნიტურ ფირებს.

ფერომაგნიტების გამოყენებისას უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ტემპერატურის გადიდებისას მათი ფერომაგნიტური თვისებები უარესდება. ყოველი ფერომაგნიტებისთვის არსებობს ტემპერატურის გარკვეული მნიშვნელობა, რომლის ზემოთ ის კარგავს ფერომაგნიტურ თვისებებს. ამ ტემპერატურას **კიურის ტემპერატურა** ჰქვია, მოვლენის აღმომჩენი ფრანგი მეცნიერის პატივსაცემად.



6. დამაგნიტებული ფოლადის ლურსმანი გაახურეს კიურის ტემპერატურამდე. მიიზიდავს თუ არა იგი რკინის საგნებს? პასუხი დაასაბუთეთ.

რკინისათვის კიურის ტემპერატურაა 753°C , ნიკელისათვის – 365°C , კობალტისათვის – 1000°C . არსებობს ისეთი შენადნობები, რომელთა კიურის ტემპერატურა 100°C -ზე ნაკლებია.