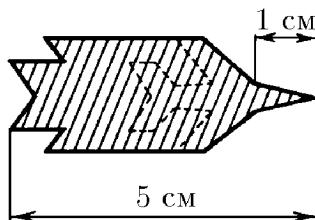


თავი I

კინემატიკა

§ 1.1. მოძრაობა მუდმივი სიჩქარით

◊1.1.1*. სურათზე მოყვანილია მოძრავი რეაქტიული თვითმფრინავის „გადლაბნილი ფოტოსურათი“. თვითმფრინავის სიგრძეა 30cm , ხოლო მისი ცხვირის სიგრძე 10cm . განსაზღვრეთ ამ „ფოტოსურათის“ მიხედვით თვითმფრინავის სიჩქარე. ფოტოაპარატის საკეტის დაყოვნების დროა $0,16\text{ms}$. თვითმფრინავის ფორმა სურათზე გამოსახულია წყვეტილი ხაზით.

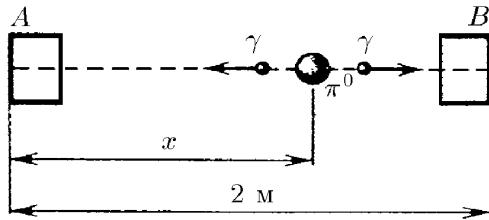


1.1.2. რადიოლაკატორი მოძრავი თვითმფრინავის კოორდინატებს განსაზღვრავს ჩრდილო პოლუსის მიმართულებასა და თვითმფრინავის მიმართულებას შორის კუთხისა და რადიოლოკატორიდან თვითფრინავამდე მანძილის გაზომვით. დროის რაღაც მომენტში თვითმფრინავის მდებარეობა განისაზღვრება კოორდინატებით:

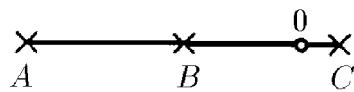
კუთხე $\alpha_1=44^\circ$, მანძილი $R_1=100 \Omega$. ამ მომანტიდან 5ms -ის შემდეგ რადიოლოკატორზე თვითმფრინავის კოორდინატებია: კუთხე $\alpha_2=46^\circ$, მანძილი $R_2=100 \Omega$. დეკარტის კოორდინატთა სისტემაში ჩრდილოეთისკენ მიმართული y ღერძითა და რადიოლოკატორით კოორდინატთა სათავეში გამოსახეთ თვითფრინავის მდებარეობა დროის ორივე მომენტში; განსაზღვრეთ მისი სიჩქარის მოდული და მიმართულება. კუთხის ათვლა დაიწყეთ საათის ისრის მიმართულებით.

1.1.3. ღია ფანჯრიდან ოთახში შეფრინდა ხოჭო. მანძილი ხოჭოდან ჭრამდე იცვლება 1 rad/s მ სიჩარით, ფანჯრის მოპირდაპირე კედლამდე მანძილი იცვლება 2 rad/s მ სიჩქარით, გვერდით კედლამდე – 2 rad/s მ სიჩქარით. ფრენის შემდეგ ხოჭო მოხვდა ჭერსა და ოთახის გვერდით კედელს შორის მდებარე კუთხეში. განსაზღვრეთ ხოჭოს ფრენის სიჩქარე და ადგილი ფანჯარაში, საიდანაც ის შეფრინდა ოთახში. ოთახის სიმაღლეა $2,5 \text{ m}$, სიგანე 4 m , სიგრძე 4 m .

◊1.1.4. A და B მრიცხველები, რომლებიც არეგისტრირებენ γ -კვანტების მოსვლის მომენტს, განლაგებულია ერთმანეთისაგან 2m მანძილზე. მათ შორის რომელიდაც წერტილში მოხდა π^0 -მეზონის დაშლა ორ γ -კვანტად. იპოვეთ ამ წერტილის მდებარეობა, თუ A მრიცხველმა დააფიქსირა γ -კვანტი 10^{-9} fm -ით უფრო გვიან, ვიდრე B მრიცხველმა. სინათლის სიჩქარე $3 \cdot 10^8 \text{ fm/s}$.



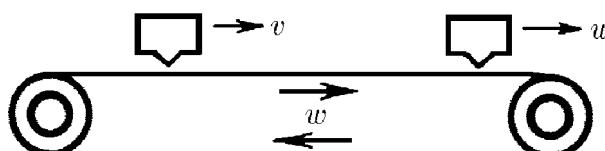
◇1.1.5*. ერთ წრფებე, A, B, C წერტილებში განლაგებულმა სამმა მიკროფონმა თანმიმდევრულად დაარეგისტრირეს $t_A > t_B > t_C$ დროის მომენტებში AC მონაკვეთზე მდებარე O წერტილში მომხდარი აფეთქებისგან წამოსული ბგერა. იპოვეთ AO მონაკვეთი, თუ $AB=BC=L$. დროის რომელ მომენტში მოხდა აფეთქება? სინათლის სიჩქარეა c .



1.1.6. სპორტსმენები მირბიან I სიგრძის კოლონად v სიჩქარით. მათ შესახვედრად მირბის მწვრთნელი $u < v$ სიჩქარით. ყოველი სპორტსმენი, როგორც კი გაუსწორდება მწვრთნელს, ბრუნდება უკან და იწყებს უკან სირბილს მოდულით იგივე v სიჩქარით. როგორი იქნება კოლონის სიგრძე, როდესაც ყველა სპორტსმენი შემოტრიალდება?

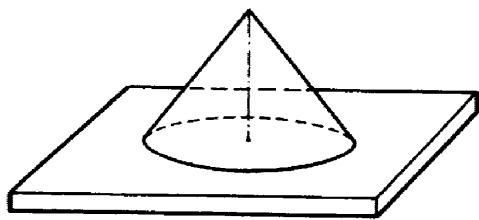
1.1.7. წყალქვეშა წავიდან, რომელიც ვერტიკალურად და თანაბრად ეშვება, უშვებენ τ_0 ხანგრძლივობის ბგერით იმპულსებს. ფსკერიდან არეკვლილი იმპულსის მიღების ხანგრძლივობაა τ . ბგერის სიჩქარე წყალში არის c . რა სიჩქარით ეშვება წყალქვეშა წავი?

◇1.1.8. ტრანსპორტიორის ლენტს აქვს w სიჩქარე. ლენტის თავზე მოძრაობს ავტომატი, რომელიც დროის ერთეულში აფრქვევს v ბურთულას. ბურთულები ეწეპებიან ლენტს. ბურთულების მრიცხველი ფოტოელემენტით ითვლის მხოლოდ იმ ბურთულებს, რომლებმაც უშუალოდ მის წინ გაიარეს. რამდენ ბურთულას დაითვლის მრიცხველი დროის ერთეულში, თუ ავტომატის სიჩქარე $v < w$, მრიცხველის სიჩქარე $u < w$?

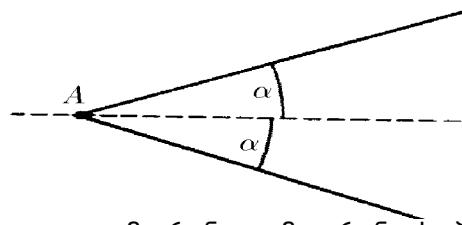


1.1.9. ა. ფეთქებადი ნივთიერებისაგან დამზადებულია I სიგრძის ღერო. დეტონაციის სიჩქარე (ფეთქებადი ნივთიერების ახალი უბნების აფეთქებაში ჩართვის სიჩქარე) უდრის v , ხოლო აფეთქების პროდუქტების მიმოფანტვის სიჩქარე $u < v$. როგორ იცვლება დროთა განმავლობაში უბანი, რომელიც დაკავებულია აფეთქების პროდუქტებით, თუ ღერო ფეთქდება ერთ-ერთი ბოლოდან? გააკეთეთ ნახატი.

◇ბ*. ამავე ფეთქებადი ნივთიერებისაგან უნდა დამზადდეს ისეთი თხელკედლიანი კონუსური გარსი, რომ წვეროდან მისი აფეთქების შემდეგ აფეთქების პროდუქტები ერთდროულად დაეცნენ ფილაზე. როგორი კუთხე უნდა შეირჩეს კონუსის ღერძსა და მსახველს შორის?

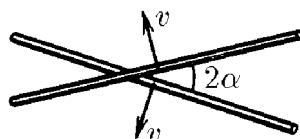


◊**1.1.10***. სწორ გზატკეცილზე მოძრაობს ავტობუსი მუდმივი v სიჩქარით. თქვენ შეამჩნიეთ ავტობუსი, როცა ის იმყოფებოდა რომელიღაც A წერტილში. გზატკეცილის მახლობლად მდებარე რომელი უბნიდან დაეწევით ამ ავტობუსს, თუ თქვენი სირბილის სიჩქარე $u < v$? დახატეთ ეს უბანი $u = v/2$ -თვის.

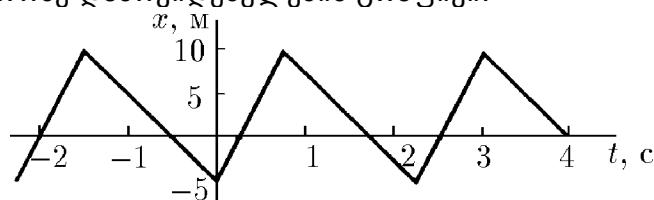


1.1.11*. ზებგერითი თვითმფრინავი მიფრინავს ჰორიზონტალურად. ერთ ვერტიკალზე, ერთმანეთისაგან l მანძილზე მოთავსებული ორი მიკროფონი არეგისტრირებს თვითმფრინავისგან ბგერის მოსვლას Δt დროის დაგვიანებით. ბგერის სიჩქარე პარალელურია დროის c . როგორია თვითმფრინავის სიჩქარე?

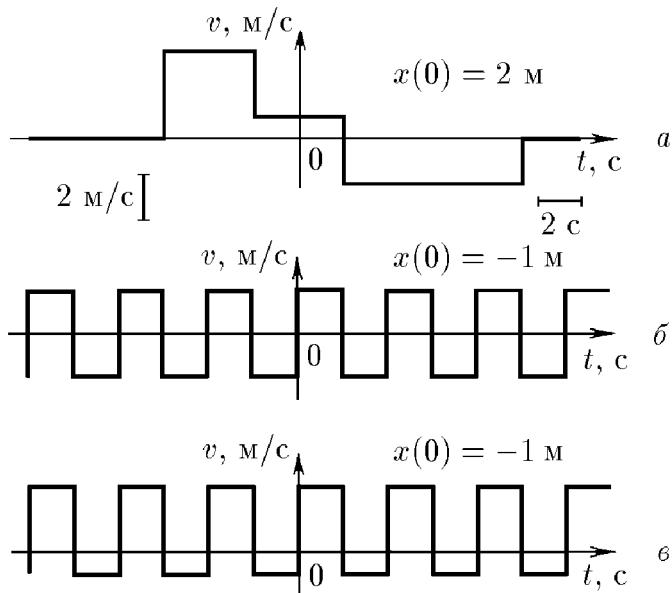
◊**1.1.12.** ორი ღერო იკვეთება 2α კუთხით და მოძრაობენ თანაბარი v სიჩქარეებით თავისი თავის მართობულად. როგორია ღეროების გადაკვეთის წერტილის სიჩქარე?



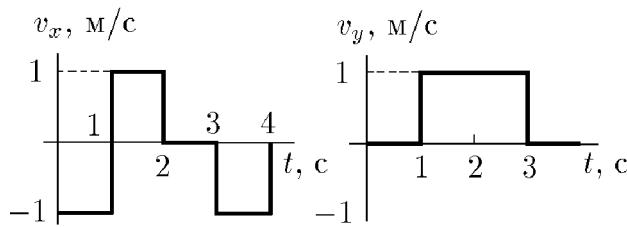
◊**1.1.13.** კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით ააგეთ სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი.



◊**1.1.15.** სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით ააგეთ კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. 6 და 8 შემთხვევებში იპოვეთ საშუალო სიჩქარე დიდ დროში.

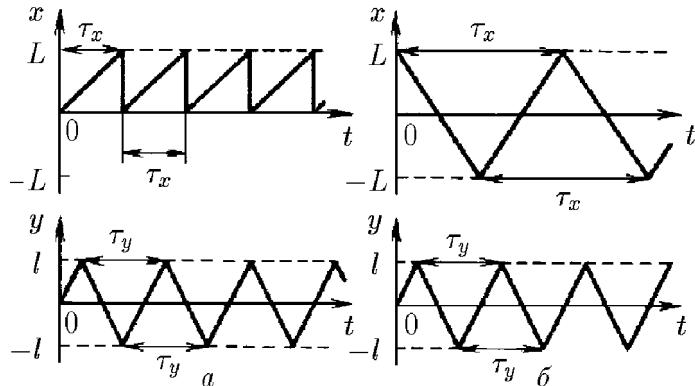


◊1.1.16. ნაწილაკი მოძრაობს ერთ სიბრტყეში. სიჩქარის v_x და v_y პროექციების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკების მიხედვით ააგეთ ნაწილაკის ტრაექტორია, თუ $x(0)=2\vartheta, y(0)=1\vartheta$.

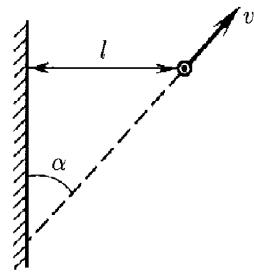


◊1.1.17. სხივის მოძრაობა ოსცილოგრაფის ეკრანზე აღინიშნება x და y კოორდინატების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკებით. როგორი სურათი გაჩნდება ეკრანზე $\tau_y=\tau_x, \tau_x/3, 3\tau_x$ დროის მომენტებისათვის? განიხილეთ ორი შემთხვევა (იხ. ნახ.). ა შემთხვევაში პორიზონტალური ხაზები ეკრანზე თითქმის არ ჩანს. რატომ?

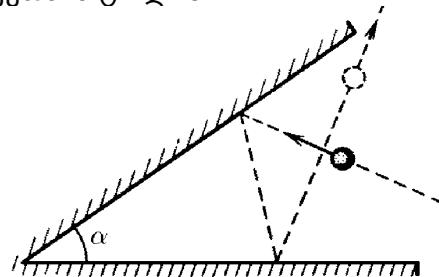
ნ შემთხვევაში τ_x და τ_y როგორი თანაფარდობის დროს იქნება სხივის ტრაექტორია ეკრანზე ჩაკეტილი?



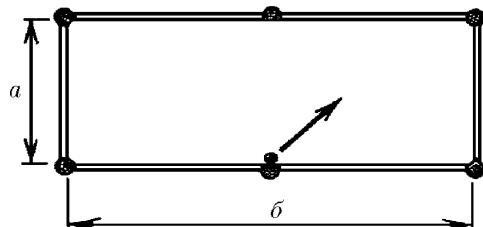
◊1.1.18*. ავტომობილი v სიჩქარით შორდება გრძელ კედელს, რომლის მიმართ მოძრაობს α კუთხით. იმ მომენტში, როდესაც კედლამდე მისი დაშორება იყო l , მძღოლი აძლევს მოკლე ხმოვან სიგნალს. რა მანძილის გავლის შემდეგ გაიგონებს ავტომობილის მძღოლი ექოს? ბეჭრის სიჩქარე ჰარში არის c .



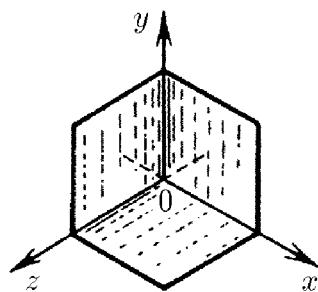
◊1.1.19. რა კუთხით შეიცვლება სფეროს სიჩქარის მიმართულება α კუთხით გადაკვეთილ კედლებზე ორი დრეკადი დარტყმის შემდეგ? როგორ გაფრინდება სფერო, თუ კუთხე $\alpha = \frac{\pi}{2}$? მოძრაობა ხდება კედლების მართობულ სიბრტყეში. გლუვ უძრავ კედელზე სფეროს დრეკადი დარტყმის დროს სფეროს ვარდნის კუთხე არეკვლის კუთხის ტოლია.



◊1.1.20*. a და b გვერდების მქონე ბილიარდის მაგიდაზე უშვებენ ბურთს b გვერდის შუა წერტილიდან. რა კუთხით უნდა დაიწყოს ბურთმა მოძრაობა მაგიდის კიდის მიმართ, რომ ისევ დაბრუნდეს საწყის წერტილში?

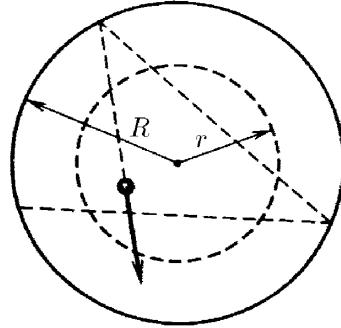


◊1.1.21. მთვარემავალზე დაყენებული კუთხური ამრეკლი წარმოადგენს სამ ურთიერთმართობულ სარკეს. როგორი მდგენელები ექნება სინათლის სიჩქარეს yOz სიბრტყეში მდებარე სარკიდან არეკვლის შემდეგ, თუ ამრეკლზე ეცემა სინათლე, რომლის სიჩქარეა $c = (c_x, c_y, c_z)$? სამივე სარკიდან არეკვლის შემდეგ?

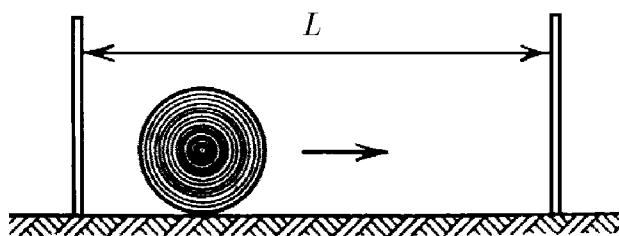


◊1.1.22. R რადიუსის მქონე გლუვ კედლებიანი დამაგრებული ცილინდრის შიგნით დაფრინავს პატარა ბურთულა, რომელიც დრეკადად ირეკლება

კედლებიდან ისე, რომ მისგან ცილინდრის ღერძამდე მინიმალური მანძილი h -ს ტოლია. რამდენ ხანს იმყოფება ის ცილინდრის ღერძიდან r -ზე ნაკლებ და h -ზე მეტ მანძილზე?

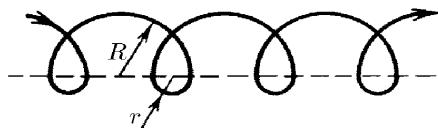


1.1.23*. მსროლელი ცდილობს მოარტყას R რადიუსის მქონე დისკოს, რომელიც მოძრაობს ერთი კედლიდან მეორესკენ მოდულით მუდმივი სიჩქარით ისე სწრაფად, რომ თვალს ვერ მიადევნებ. დახატეთ დისკოში ტყვიის მოხვედრის ალბათობის დამიზნების წერტილსა და მარცხენა კედლს შორის მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკი. გასროლები წარმოებს იატაკიდან R სიმაღლეზე დისკოს მოძრაობის მიმართულების მართობულად. დამიზნების რომელ წერტილშია მოხვედრის ალბათობა ყველაზე ნაკლები? ყველაზე მეტი? რისი ტოლია ისინი? განიხილეთ $L > 4R$, $4R > L > 2R$ შემთხვევები, სადაც L – კედლებს შორის მანძილია.

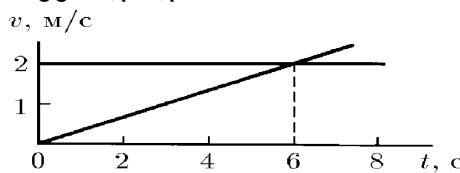


§ 1.2. მოძრაობა ცვლადი სიჩქარით

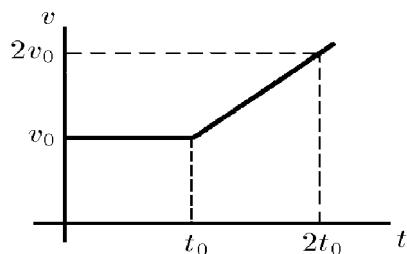
◊1.2.1. სურათზე გამოსახულია იმ ელექტრონის ტრაექტორია, რომელიც მოძრაობს სხვადასხვა მაგნიტური ველების გამყოფი სიბრტყის გასწრივ. ტრაექტორია შედგება R და r რადიუსიანი მონაცვლე ნახევარწრენირებისაგან. ელექტრონის სიჩქარე მოდულით მუდმივია და v -ს ტოლია; იპოვეთ ელექტრონის საშუალო სიჩქარე დიდი დროის განმავლობაში.



◊1.2.2. ორი ნაწილაკი $t=0$ დროის მომენტში გამოვიდა ერთი წერტილიდან. სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკების მიხედვით განსაზღვრეთ ნაწილაკების ახალი შეხვედრის კოორდინატები და დრო.



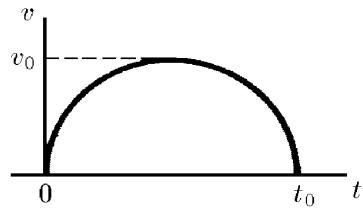
◊1.2.3. სხეული t_0 დროის განმავლობაში მოძრაობს მუდმივი v_0 სიჩქარით. შემდეგ მისი სიჩქარე დროთა განმავლობაში წრფივად იზრდება ისე, რომ $2t_0$ დროის მომენტში ის უდრის $2v_0$. განსაზღვრეთ $t > t_0$ დროში სხეულის მიერ გავლილი გზა.



1.2.4. დახატეთ კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი წრფივი მოძრაობისთვის, რომელიც ერთდროულად აკმაყოფილებს ორ პირობას: ა) 2ნმ -დან 6ნმ -მდე დროის მონაკვეთში საშუალო სიჩქარე უდრის $5\text{d}/\beta^2$; ბ) მაქსიმალური სიჩქარე იმავე მონაკვეთში უდრის $15\text{d}/\beta^2$.

1.2.5. გზატკეცილის დაზიანებულ მონაკვეთზე შესვლისას კოლონის ყველა ავტომობილი ამცირებს სიჩქარეს v_1 -დან v_2 -მდე. როგორი უნდა იყოს მანძილი l .

◊1.2.6. სხეულის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკს გააჩნია ნახევარწრენირისფორმა. სხეულის მაქსიმალური სიჩქარეა v_0 , მოძრაობის დრო t_0 . განსაზღვრეთ სხეულის მიერ გავლილი მანძილი.



1.2.7. ავტობუსი 20 წმ-ისგანმავლობაში მოძრაობს წრფივად გაჩერებამდე და გადის 320მ მანძილს. მისი საწყისი სიჩქარეა 15 მ/წმ. დაამტკიცეთ, რომ ავტობუსის აჩქარება იცვლის მიმართულებას.

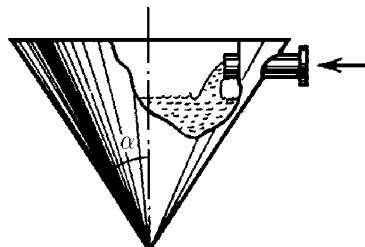
1.2.8*. წყაროდან გამოსვლის შემდეგ ნაწილაკი მუდმივი სიჩქარით გადის L მანძილს, შემდეგ კი ამუსრუქებს a აჩქარებით. რა სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ნაწილაკს, რომ მისი მოძრაობის დრო იყოს უმცირესი?

1.2.9. მიგრაციაში მყოფი თევზები, ზღვაში ცხიმის დაგროვების შემდეგ მდინარეების შესართავებში შედიან. მტკნარ წყალში ისინი არ იკვებებიან, ამიტომ მათთვის მნიშვნელოვანია მიაღწიონ მდინარის სათავეში ქვირითის ყრის ადგილამდე მასის უმცირესი დანაკარგით. თევზის ორგანიზმი ნივთიერებათა ძირითადი ცვლის შესანარჩუნებლად დროის ერთეულში ცხიმის ხარჯვა ტოლია N , დამატებითი $b n^2$ ხარჯი კი ხმარდება მოძრაობას v სიჩქარით. რა სიჩქარით უნდა იმოძრაონ თევზებმა, რომ ცხიმის ხარჯვა ქვირითის ყრის ადგილამდე იყოს მინიმალური? (თევზები მშვენივრად გრძნობენ ამ სიჩქარეს).

1.2.10. წყლით გავსებული R რადიუსის ნახევარსფერული აკვარიუმიდან წყლის ზედაპირის ერთეულიდან დროის ერთეულში სითხის q მოცულობა ორთქლდება. რა დროში აორთქლება წყლი მთლიანად?

◊1.2.11*. ა) კონუსურ ჭურჭელში წყლის დონე მუდმივი სიჩქარით იწევს მაღლა. როგორაა დამოკიდებული ჭურჭელში s განივალეთის ფართობის მიღით წყლის მიწოდების სიჩქარე დროზე? დროის საწყის მომენტში ჭურჭელი ცარიელია.

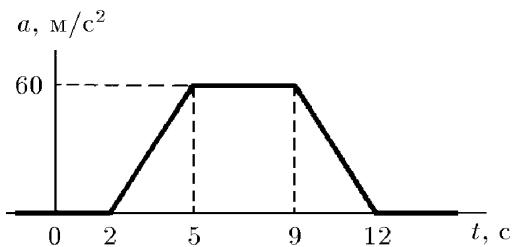
ბ) წყლის ზედაპირზე მოხვედრილი ზეთის ნაკადი განირთხმება მასზე h სისქის მრგვალი ლაქის სახით. როგორაა დამოკიდებული ლაქის საზღვრების მოძრაობის სიჩქარე დროზე, თუ დროის ერთეულში მიეწოდება ზეთის q მოცულობა? დროის საწყის მომენტში ლაქის რადიუსი ნულის ტოლია.



1.2.12. ბიქი ბერავს საპარო ბუშტს. ბუშტის 10 სმ რადიუსის დროს რადიუსის 8რდის სიჩქარე უდრის 1 მმ/წმ. პარის რა მოცულობას შეისუნთქვს ბიქი ყოველ წამში?

1.2.13. „გემი ზღვრული სიჩქარით მიდიოდა, შემდგომი აჩქარება კოსმოფლოტის ინსტრუქციებით გათვალისწინებული არ იყო. ერთ საათში სიჩქარე ათასი კილომეტრით წამში გაიზარდა“ (კირ ბულიჩოვი. კი აგენტი//ქიმია და ცხოვრება. - 1984. - № 12. - გვ. 111). იპოვეთ გემის აჩქარება. რამდენჯერ მეტია ის დედამიწაზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაზე?

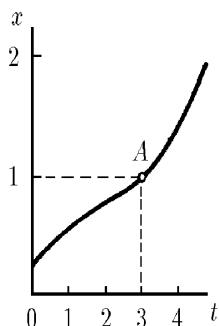
◊ **1.2.14.** აჩქარების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით დაადგინეთ სიჩქარე 4 და 15 წმ დროის მომენტებში, თუ 1 წმ დროის მომენტში სიჩქარე 3 მ/წმ ტოლია.



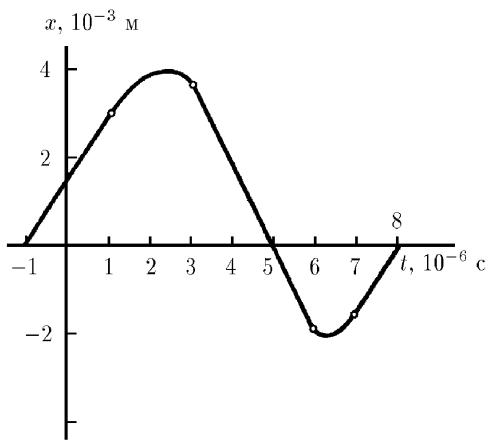
1.2.15. სარაკეტო ურიკის აჩქარება სტარტიდან გაჩერებამდე პირველი 6 წმ განმავლობაში შეადგენს $100 \text{ } \text{d}/\sqrt{\text{d}}^2$, შემდეგ 7 წმ განმავლობაში ის მოძრაობს აჩქარების გარეშე, ბოლო 3 წმ კი ურიკას აქვს უარყოფითი აჩქარება – $200 \text{ } \text{d}/\sqrt{\text{d}}^2$.

ააგეთ აჩქარების, სიჩქარისა და კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. რა უდიდეს მნიშვნელობას მიაღწია ურიკის სიჩქარემ? გზის რომელ მონაკვეთზე ხდებოდა დამუხრუჭება? რას უდრის ურიკის მიერ გავლილი სრული მანძილი? როგორ შევამოწმოთ აჩქარების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით, ურიკა ნამდვილად გაჩერდა, თუ არა?

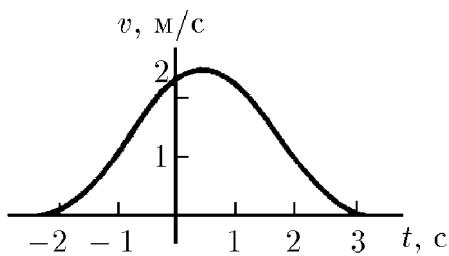
◊ **1.2.16.** კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები, რომლებიც აგებულია ორი ნაწილაკისათვის დროის სხვადასხვა მასშტაბში, ერთმანეთის მსგავსი აღმოჩნდა. პირველი ნაწილაკის გრაფიკისათვის დროის ღერძის ერთი დანაყოფი პასუხობს 4 წმ, ხოლო მეორე ნაწილაკის გრაფიკისათვის – 1 წმ. იპოვეთ სიჩქარეების ფარდობა და ნაწილაკების აჩქარებების ფარდობა გრაფიკის A ნერტილისათვის.



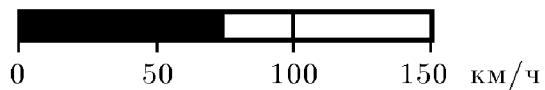
◊ **1.2.17.** კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის ნაწილი, რომელიც განთავსებულია ღერძზე დაბლა, მსგავსია გრაფიკის იმ ნაწილისა, რომელიც ამ ღერძზე მაღალია. ააგეთ სიჩქარისა და აჩქარების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები. შეადარეთ აჩქარებები $x-t$ უდიდესი და უმცირესი მნიშვნელობის დროს.



◇1.2.18. სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით ააგეთ კოორდინატისა და აჩქარების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები, თუ $x(0)=0$.



◇1.2.19. სპიდომეტრის სკალის სიგრძე არის 15 სმ; ის ავტომობილის სიჩქარეს გომავს ნულიდან 150 კმ/სთ საზღვრებში. იპოვეთ სპიდომეტრის მაჩვენებლის სიჩქარე, თუ ავტომობილი $2 \frac{\partial}{\partial t^2}$ აჩქარებით მოძრაობს.

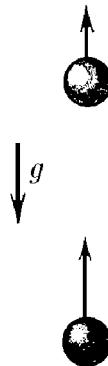


1.2.20*. სხეული მოძრაობას იწყებს A ნერტილიდან და თავდაპირველად მოძრაობს თანაბარი აჩქარებით t_0 დროის განმავლობაში, შემდეგ კი მოდულით იმავე აჩქარებით მოძრაობს თანაბარშენელებულად. მოძრაობის დაწყებიდან რა დროში დაბრუნდება სხეული A ნერტილში?

1.2.21*. გრაფიკის მიხედვით მატარებლის გასვლის დროა 12.00. თქვენ საათზე 12.00, მაგრამ თქვენ წინ უკვე იწყებს მოძრაობას ბოლოდან მეორე ვაგონი, რომელიც 10 წმ განმავლობაში ჩაგივლით. ბოლო ვაგონი თქვენს წინ ჩაივლის 8წმ-ის განმავლობაში. მატარებელი დროზე გავიდა და მოძრაობს თანაბარაჩქარებულად. რამდენით ჩამორჩება თქვენი საათი?

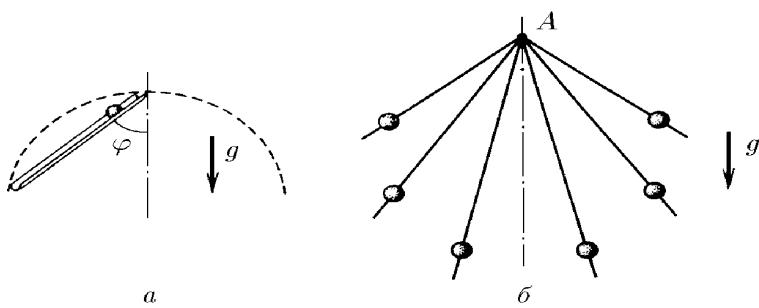
§ 1.3. მოძრაობა სიმძიმის ველში^{*)}. მრუდნირული მოძრაობა

◊ 1.3.1. ერთი და იგივე წერტილიდან ვერტიკალურად ჩევით v სიჩქარით აისროლეს ორი ბურთულა Δt დროის ინტერვალით. მეორე ბურთულის ასროლიდან რა დროის შემდეგ შეეჭახებიან ისინი ერთმანეთს?

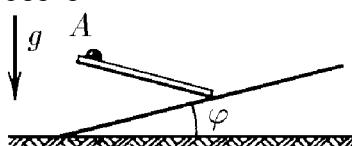


◊ 1.3.2. ა) წრენირის ზედა წერტილიდან ვერტიკალისადმი φ კუთხით დახრილ გლუვ ღარში იწყებს სრიალს ბურთულა. რა დროში მიაღწევს ის წრენირს, რომლის დიამეტრია D ?

◊ ბ) A წერტილიდან სხადასხვა დაქანების მქონე ღეროებზე ერთდროულად ხახუნის გარეშე იწყებენ სრიალს მძივის პატარა მარცვლები. როგორ მრუდზე განთავსდებიან ისინი დროის t მომენტისათვის?



◊ 1.3.3*. A წერტილიდან ვერტიკალისადმი რა კუთხით უნდა იყოს მიმართული გლუვი ღარი, რომ მასზე მოძრავი ბურთულა უმოკლეს დროში ჩამოსრიალდეს დახრილ სიბრტყეზე?



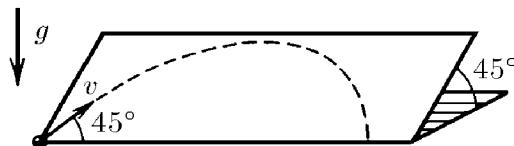
1.3.4. თავისუფლად ვარდნილმა სხეულმა A წერტილს ჩაუარა v_A სიჩქარით. რა სიჩქარით ჩაუფრენს ის B წერტილს, რომელიც A წერტილზე h - ით დაბლა მდებარეობს?

^{*)} თუ ამოცანის სურათზე მითითებულია თავისუფალი ვარდნის აჩქარება g , საჭიროა სიმძიმის ველის გათვალისწინება.

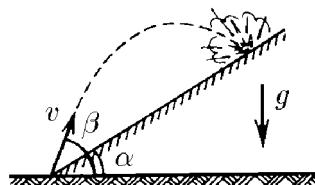
1.3.5. ქვას ისვრიან v სიჩქარით ჰორიზონტისადმი φ კუთხით. რა დროში შეადგენს სიჩქარე ჰორიზონტან α კუთხეს?

1.3.6. ქვემებიდან ჰორიზონტისადმი φ კუთხით მოახდინეს გასროლა. ქურვის საწყისი სიჩქარეა v . მიწის ზედაპირი ჰორიზონტალურია. იპოვეთ: ა) სიჩქარის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური პროექციების დროზე დამოკიდებულება; ბ) x და y კოორდინატების დროზე დამოკიდებულება; გ) ტრაექტორიის განტოლება, ე.ი. y -ის დამოკიდებულება x -ზე; დ) ქურვის ფრენის დრო, ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე და ფრენის სიშორე.

◊1.3.7. გლუვ დახრილ სიბრტყეზე v სიჩქარით უშვებენ ბურთულას. რა მანძილს გაივლის ის ჰორიზონტალურად, მანამ სანამ ჩამოგორდება სიბრტყიდან? სიბრტყე ჰორიზონტან 45° კუთხით არის დახრილი. ბურთულას საწყისი სიჩქარე სიბრტყის ჰორიზონტალურ კიდესთან 45° -იან კუთხეს ქმნის.

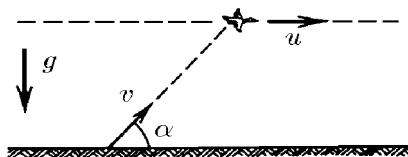


◊1.3.8. ნაღმმტყორცნიდან ესვრიან მთის ფერდობზე განლაგებულ ობიექტებს. ნაღმმტყორცნიდან რა მანძილზე დავარდება ნაღმი, თუ მისი საწყისი სიჩქარეა v , მთის დახრის კუთხა α , ხოლო ჰორიზონტისადმი გასროლის კუთხე β ?

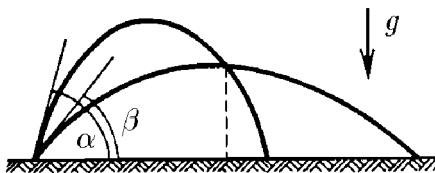


1.3.9. რა სიჩქარით უნდა გამოვარდეს ქურვი ზარბაზნიდან რაკეტის სტარტის მომენტში, რომ გაანადგუროს რაკეტა, რომელიც ვერტიკალურად a აჩქარებით მოძრაობს? ზარბაზნიდან რაკეტის სტარტის ადგილამდე მანძილია L , ზარბაზნი ისვრის ჰორიზონტისადმი 45° კუთხით.

◊1.3.10. იხვი მიფრინავს ჰორიზონტალური წრფის გასწვრივ მუდმივი u სიჩქარით. გამოუცდელმა „მონადირემ“ მას ქვა ესროლა წინსწრების გარეშე, ე.ი. სროლის მომენტში ქვის სიჩქარე მიმართული იყო ზუსტად იხვისკენ ჰორიზონტისადმი α კუთხით. რა სიმაღლეზე მიფრინავდა იხვი, თუ მას ქვა მაინც მოხვდა?



◊**1.3.11.** მილის ნახვრეტიდან გამოდის ორი ჭავლი ერთნაირი საწყისი v სიჩქარით და პორიზონტისადმი α და β კუთხით. ნახვრეტიდან პორიზონტის გასწვრივ რა მანძილზე გადაიკვეთებიან ისინი?



1.3.12*. მინაზე დადებული შლანგიდან პორიზონტისადმი 45° კუთხით და 10 m/s საწყისი სიჩქარით გამოდის წყალი. ნახვრეტის კვეთის ფართობი არის 5 m^2 . განსაზღვრეთ ჰაერში მყოფი ჭავლის მასა.

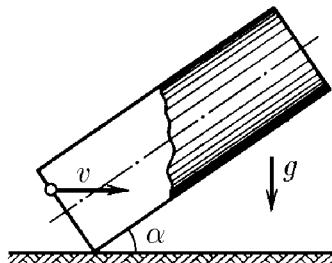
1.3.13*. საწყისი v სიჩქარით ქვემეხიდან გამოფრენილი ჭურვი მოხვდა წერტილში კოორდინატებით (x, y). იპოვეთ: ა) გასროლის კუთხის ტანგენსი; ბ) ჭურვის შესაძლებელი მოხვედრის უბნის საზღვარი; გ) ჭურვის უმცირესი საწყისი სიჩქარე, რომლის დროსაც ის შეიძლება მოხვდეს წერტილს x, y კოორდინატებით.

მითითება. ამოხსნის დროს გამოიყენეთ ტრიგონომეტრიული იგივეობა $1/\cos^2 \varphi = \tan^2 \varphi + 1$.

1.3.14. ერთიდაიგივე ადგილიდან დროის Δt ინტერვალით ერთიდაიმავე v საწყისი სიჩქარით პორიზონტისადმი φ კუთხით გასროლილია ორი სხეული. როგორ მოძრაობს პირველი სხეული მეორის მიმართ? რატომ არის ფარდობითი სიჩქარე მხოლოდ Δt -ზე დამოკიდებული?

1.3.15. R რადიუსის მქონე გლუვი ვერტიკალური ცილინდრის შიდა ზედაპირზე ვერტიკალისადმი α კუთხით უშვებენ ბურთულას. როგორი საწყისი სიჩქარე უნდა ჰქონდეს მას, რომ ის საწყის წერტილში დაბრუნდეს?

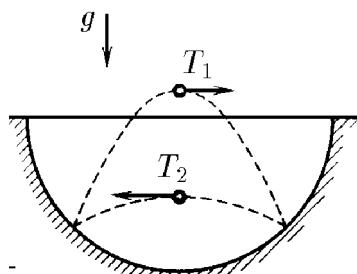
◊1.3.16*. პორიზონტისადმი α კუთხით დახრილ l სიგრძის მილში პორიზონტალური v სიჩქარით შეფრინდა ბურთულა. განსაზღვრეთ მასში ბურთულას ყოფნის დრო, თუ ბურთულას დარტყმები კედლებზე დრეკადია.



◊1.3.17. მართკუთხა კოლოფში ფსკერსა და მარჯვენა კედელთან დრეკადი დაჭახებების შემდეგ ბურთულა მოძრაობს იქით და აქეთ ერთიდაიმავე ტრაექტორიაზე. ფსკერზე და კედელზე დარტყმებს შორის დროა Δt . კოლოფის ფსკერი

პორიტონტან ქმნის α კუთხეს. იპოვეთ ბურთულას სიჩქარე მყისვე დარტყმების შემდეგ.

◊1.3.18*. სფერულ ბურთულა, რომელიც კედელს ერთ დონეზე დაჭახებებს შორის დრო ფორმის ღარში დახტის დრეკადად ეკახება მის მდებარე ორ წერტილში. მარცხნიდან მარჯვნივ მოძრაობისას მოძრაობის დროს ყოველთვის არის T_1 , ხოლო მარჯვნიდან მარცხნივ მოძრაობისას – $T_2 \neq T_1$. განსაზღვრეთ ღარის რადიუსი.

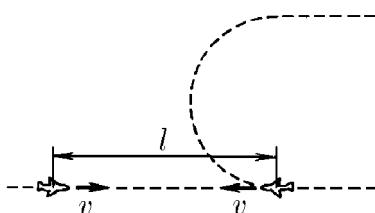


1.3.19*. რა მინიმალური სიჩქარე უნდა გააჩნდეს ბიჭის მიერ გასროლილ ქვას, რომ ქვამ გადაუფრინოს H სიმაღლისა და L სიგრძის სახლს, თუ ტყორცნა განხორციელდა h სიმაღლიდან და ბიჭს ამისათვის ნებისმიერი ადგილის არჩევა შეუძლია?

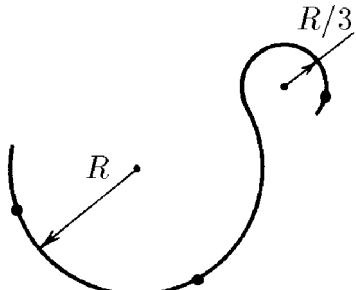
1.3.20. განსაზღვრეთ სიჩქარე და აჩქარება, რომელიც დედამიწის დღედამური ბრუნვის გამო გააჩნია დედამიწის ზედაპირის წერტილებს ეკვატორზე და სანკტ-პეტერბურგში. დედამიწის რადიუსი მივიჩნიოთ 6400 კმ-ის ტოლი. სანკტ-პეტერბურგის განედია 60° .

1.3.21. რა სიჩქარით უნდა მიფრინავდეს თანამგზავრი, რომ დედამიწაზე g აჩქარებით მუდმივი „ვარდნის“ დროს იმოძრაოს წრენირზე? მივიჩნიოთ ორბიტის რადიუსი $R=6400 \text{ კმ}$, ხოლო $g=10 \text{ მ/ს}^2$.

◊1.3.22*. ორი თვითმფრინავი მოძრაობს შემხვედრი მიმართულებით ერთი წრფის გასწროვ ერთნაირი v სიჩქარით. ერთმანეთის აღმოჩენის ზღვრული სიშორე არის l . ერთი თვითმფრინავი მეორის აღმოჩენის შემდეგ ახდენს მობრუნებას სიჩქარის მოდულის ცვლის გარეშე და მიფრინავს მეორის პარალელურად. რა მუდმივი აჩქარების დროს დაკარგავენ თვითმფრინავები მხედველობიდან ერთმანეთს მობრუნების ბოლოს?



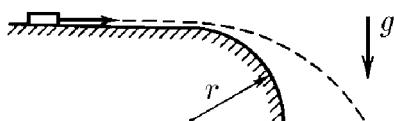
◊1.3.23. მცირე ზომის სხეული მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს ტრაექტორიაზე, რომელიც შედგება ერთმანეთთან მდოვრედ შეერთებული R და $R/3$ რადიუსის მქონე ორი რკალისგან. ააგეთ აჩქარების ვექტორები ტრაექტორიის მონიშნულ წერტილებში.



1.3.24. როდესაც ნაწილაკის სიჩქარე $10^6 \partial/\tilde{\beta}$ მ-ია მისი აჩქარებაა $10^4 \partial/\tilde{\beta} \partial^2$ და მიმართულია სიჩქარისადმი 30° კუთხით. რამდენით გაიზრდება სიჩქარე $10^{-2} \tilde{\beta}$ -ში? რა კუთხით შეიცვლება სიჩქარის მიმართულება? როგორია ამ მომენტში სიჩქარის ვექტორის ბრუნვის კუთხეური სიჩქარე?

1.3.25. მცირე ზომის სხეული მოძრაობს r რადიუსის წრენირზე სიჩქარით, რომელიც დროში წრფივად იზრდება $v=kt$ კანონის მიხედვით. იპოვეთ სრული აჩქარების დროზე დამოკიდებულება.

◊1.3.26. ჰორიზონტალური მაგიდის გლუვი კიდე გადადის r რადიუსის მქონე წრენირში. როგორი უმცირესი სიჩქარით უნდა გავუშვათ მაგიდაზე მცირე ზომის სხეული, რომ დამრგვალებული ადგილის მიღწევისას ის მყისვე გაფრინდეს პარაბოლაზე?



1.3.27*. მიწაზე მდგარ სფერულ რეზერვუარს აქვს R რადიუსი. როგორი მინიმალური სიჩქარე უნდა გააჩნდეს მიწიდან აგდებულ ქვას, რომ ამ ქვამ გადაუფრინოს რეზერვუარს ისე, რომ მხოლოდ მის წვეროს შეეხოს?

1.3.28. ჭურვები გამოფრინდებიან საწყისი $600 \partial/\tilde{\beta}\partial$ სიჩქარით ჰორიზონტისადმი $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ კუთხით. განსაზღვრეთ ჭურვების ტრაექტორიის სიმრუდის რადიუსი ტრაექტორიის უმაღლეს და საწყის წერტილებში.

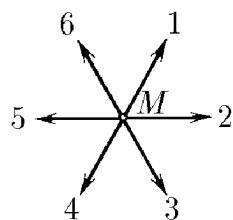
1.3.29. ადგილის ეკონომიკის მიზნით იაპონიაში ერთ-ერთ ყველაზე მაღალ ხიდზე ასასვლელი მოწყობილია, როგორც R რადიუსის მქონე ცილინდრზე დახვეული სპირალურიგზა. გზის საფარი ჰორიზონტან ქმნის α კუთხეს. როგორია მასზე მოდულით მუდმივი v სიჩქარით მოძრავი ავტომობილის აჩქარება?

§ 1.4. გალილეის გარდაქმნები

◊ **1.4.1.** ნახატზე მოცემულია ორი გემის საწყისი მდებარეობა და სიჩქარეები. გემები აჩქარების გარეშე მოძრაობენ. იპოვეთ მათ შორის უმცირესი მანძილი.

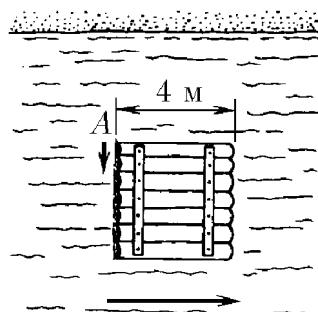


◊ **1.4.2.** ნახატზე გამოსახულია მონადირის მიერ გაშვებული ექვსი კურდღლის სიჩქარეები მონადირესთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში. დახატეთ მონადირისა და კურდღლების სიჩქარეები კოორდინატთა სისტემაში, რომელიც უძრავია 1 კურდღლის მიმართ.



1.4.3. მტვრის ღრუბლის ერთ-ერთი ნაწილაკი (A ნაწილაკი) უძრავია, ხოლო ყველა დანარჩენი მიფრინავს მისგან ყველა მიმართულებით სიჩქარეებით, რომლებიც მათგან A ნაწილაკამდე მანძილების პროპორციულია. მოძრაობის როგორ სურათს აღმოაჩენს დამკვირვებელი, რომელიც მოძრაობს B ნაწილაკთან ერთად?

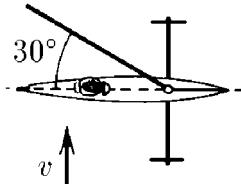
◊ **1.4.4.** ძაღლი კვადრატული ტივის A კუთხიდან ჩახტა წყალში და გაცურა ტივის ირგვლივ. დახატეთ ძაღლის მოძრაობის ტრაექტორია ნაპირის მიმართ, თუ ის დაცურავს ტივის გვერდების გასწვრივ, ხოლო მისი სიჩქარე წყლის მიმართ შეადგენს მდინარის დინების სიჩქარის 4/3-ს.



1.4.5. ა) ჰაერის წინააღმდეგობის გამო წვიმის წვეთები ეცემიან ვერტიკალურად მუდმივი v სიჩქარით. როგორ უნდა განვათავსოთ u სიჩქარით მოძრავ პლატფორმაზე ცილინდრული ვედრო ისე, რომ წვეთები მის კედლებს არ მოხვდეს?

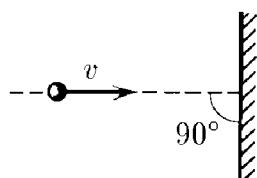
ბ) ქარის 10 მ/წმ სიჩქარის დროს წვიმის წვეთები ვერტიკალისადმი 30° კუთხით ეცემიან. რა სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ქარს, რომ წვიმის წვეთები 45° კუთხით დაეცნენ?

◊**1.4.6***. ნავი წარმოადგენს იალქნებიან მარხილს. მას შეუძლია მოძრაობა მხოლოდ იმ წრფის გასწროვ საითაცაა მიმართული მისი ციგურები. ქარი უბერავს ნავის მოძრაობის მიმართულების მართობულად v სიჩქარით. იალქანი კი მოძრაობის მიმართულებასთან 30° კუთხეს ქმნის. რა სიჩქარეს ვერ გადააჭარბებს ნავი ასეთი ქარის დროს?

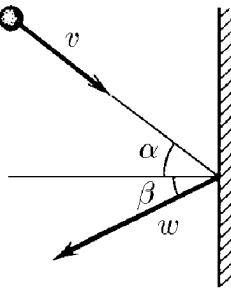


1.4.7*. როგორი იქნება ფრენის ხანგრძლივობა ნოვოსიბირსკიდან მოსკოვში და უკან თვითმფრინავის ერთი წრფის გასწროვ ფრენისას, თუ ფრენის მთელი დროს განმავლობაში ტრაექტორიისადმი α კუთხით უბერავს v სიჩქარის ქარი? თვითმფრინავის სიჩქარე ჰაერის მიმართ არის v , ტრასის სიგრძე L . ქარის რა მიმართულების დროს არის ფრენის ხანგრძლივობა მაქსიმალური?

◊**1.4.8.** უძრავ კედელზე სხეულის დრეკადი დაჯახებისას მისი v სიჩქარე იცვლის მხოლოდ მიმართულებას. იპოვეთ ამ სხეულის სიჩქარის ცვლილება დარტყმის შემდეგ, თუ კედელი მოძრაობს: ა) w სიჩქარით სხეულის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ; ბ) $w < v$ სიჩქარით, სხეულის მოძრაობის მიმართულებით.



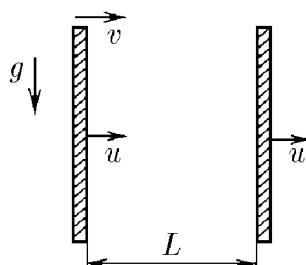
◊**1.4.9.** სხეული ეჯახება კედელს v სიჩქარით კედლის მართობული წრფის მიმართ α კუთხით. განსაზღვრეთ სხეულის სიჩქარე დრეკადი დაჯახების შემდეგ, თუ კედელი: ა) უძრავია; ბ) მოძრაობს w სიჩქარით თავისი თავის მართობულად სხეულის შემხვედრი მიმართულებით; გ) მოძრაობს w სიჩქარით სხეულის შემხვედრი მიმართულებით და თავისი თავის მართობულ წრფესთან ადგენს β კუთხეს.



1.4.10. u სიჩქარით მოძრავი R რადიუსის სფეროს შიგნით მოთავსებულია r რადიუსის ბურთულა, რომელსაც სფეროს ცენტრზე გავლის მომენტი აქვს u სიჩქარის მართობული v სიჩქარე. სფეროს მასა ბურთულას მასაზე ბევრად მეტია. განსაზღვრეთ, რა სიხშირით ეჭახება ბურთულა სფეროს კედლებს. დარტყმები აბსოლუტურად დრეკადია.

1.4.11. h სიმაღლიდან სხეული ვარდება ფილაზე. ფილა მოძრაობს ვერტიკალურად ზევით u სიჩქარით. განსაზღვრეთ ფილაზე სხეულის ორ თანმიმდევრულ დარტყმას შორის დრო. დარტყმები აბსოლუტურად დრეკადია.

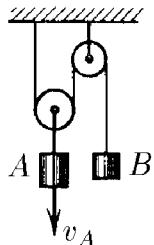
◊1.4.12. სხეული ჰორიზონტალურად v სიჩქარით შედის ორ ვერტიკალურ კედლებს შორის სივრცეში. კედლები მოძრაობენ u სიჩქარით. განსაზღვრეთ სხეულის სიჩქარე წინა კედელზე n -ური დაჭახების შემდეგ. მანძილი კედლებს შორის არის L . დარტყმები აბსოლუტურად დრეკადია.



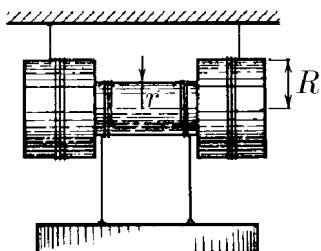
1.4.13. R რადიუსის კბილანა მოთავსებულია ორ პარალელურ კბილანებიან დაფას შორის. დაფები მოძრაობენ ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით v_1 და v_2 სიჩქარეებით. როგორია კბილანას ბრუნვის სიხშირე?

§ 1.5. მოძრაობა კავშირებით

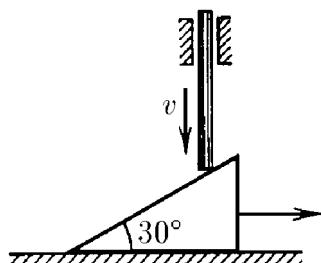
◊**1.5.1.** A ტვირთის სიჩქარეა v_A . რას უდრის B ტვირთის სიჩქარე?



◊**1.5.2.** კოჭას კუთხური სიჩქარეა ω , შიდა ცილინდრის რადიუსი r , ხოლო გარე ცილინდრების რადიუსებია R . როგორია კოჭას ღერძისა და ტვირთის სიჩქარეები დედამიწის მიმართ?

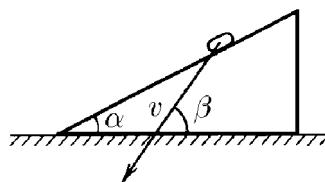


◊**1.5.3.** 30° -იანი კუთხის მქონე სოლი ძევს პორიტონტალურ სიბრტყეზე. ვერტიკალური ღერძი v სიჩქარით ემვება და ასრიალებს სოლს ამ სიბრტყეზე. როგორია სოლის სიჩქარე?



1.5.4. α კუთხის მქონე სოლზე დევს მონეტა. პორიტონტალურ სიბრტყეზე რა უმცირესი აჩქარებით უნდა იმოძრაოს სოლმა, რომ მონეტა თავისუფლად ვარდებოდეს?

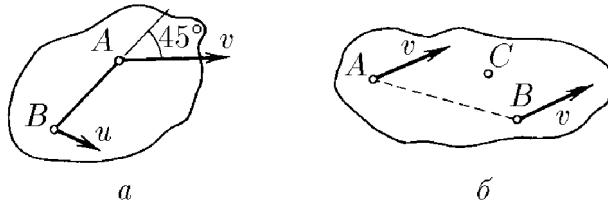
◊**1.5.5*.** სოლიდან ჩამოსრიალებული მონეტას სიჩქარე გამოსახულია ნახატზე. გრაფიკული აგებით იპოვეთ სოლის სიჩქარე.



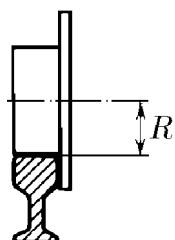
1.5.6. ბრტყელი მყარი სხეული ბრუნავს მისი სიბრტყის პერპენდიკულარული ღერძის გარშემო. ამ სხეულის A და B წერტილების საწყისი მდებარეობის კოორდინატებია $(-1, 2)$ და $(3, 1)$, ხოლო საბოლოოსი კი – $(-3, 1)$ და $(-2, -3)$. გრაფიკული აგებით იპოვეთ ბრუნვის ღერძის კოორდინატები.

◊1.5.7. ა) მყარი სხეულის A წერტილის სიჩქარეა v და AB წრფის მიმართულებასთან ქმნის 45° კუთხეს. B წერტილის სიჩქარეა u . განსაზღვრეთ B წერტილის სიჩქარის გეგმილი AB მიმართულებაზე.

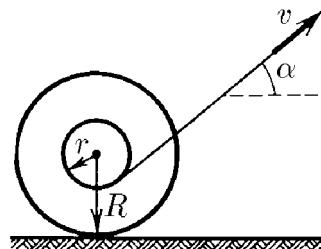
ბ) მყარი სხეულის A და B წერტილების სიჩქარეები უდრის v . AB წრფესა და v ვექტორზე გამავალ სიბრტყეში მდებარე C წერტილის სიჩქარე უდრის $u > v$. იპოვეთ C წერტილის სიჩქარის გეგმილი ღერძზე, რომელიც მოცემული სიბრტყის მართობულია.



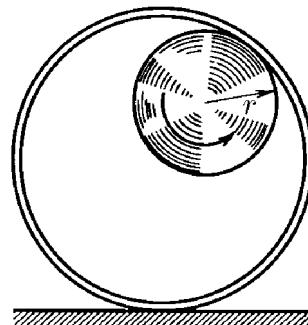
◊1.5.8. ააგეთ ლიანდაგზე სრიალის გარეშე მოძრავი ბორბლის წერტილების ტრაექტორიები. განიხილეთ შემთხვევები, როდესაც წერტილები იმყოფება ბორბლის ღერძიდან მანძილებზე: $r > R, r = R, r < R$. იპოვეთ ამ წერტილის აჩქარება, თუ ბორბლის ღერძი მოძრაობს მუდმივი v სიჩქარით. იპოვეთ ბორბლის ღერძიდან $r \neq R$ მანძილზე უმაღლესსა და უდაბლესს მდებარეობებში წერტილების ტრაექტორიის სიმრუდის რადიუსები.



◊ 1.5.9*. კოქას ღერძზე დახვეულ ძაფს ეწევიან v სიჩქარით და ჰორიზონტისადმი α კუთხით. კოქა ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მიგორავს სრიალის გარეშე. იპოვეთ კოქას ღერძის სიჩქარე და ბრუნვის კუთხური სიჩქარე. α კუთხეების როგორი მნიშვნელობების დროს მოძრაობს ღერძი მარჯვნივ? მარცხნივ? ძაფი იმდენად გრძელია, რომ α კუთხე მოძრაობისას არ იცვლება.



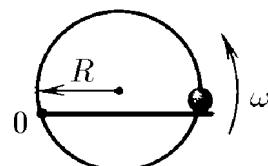
◊1.5.10. $2r$ რადიუსის დამაგრებული ცილინდრის შიდა ზედაპირზე სრიალის გარეშე მიგორავს r რადიუსის ბორბალი. იპოვეთ ბორბლის ფერსოს წერტილთა ტრაექტორია.



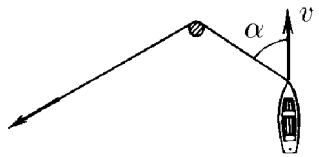
1.5.11. ა) მთვარე დედამიწისკენ მუდამ ერთი მხარით არის შებრუნებული. რამდენ ბრუნს შეასრულებს ის თავისი ღერძის გარშემო დედამიწის ირგვლივ ერთი სრული ბრუნის განმავლობაში?

ბ) საშუალოდ რამდენით მოკლეა ვარსკლავური დღე-ლამე მზიურ დღე-ლამეზე? დედამიწა მზეს შემოუვლის 365,25 მზიურ დღე-ლამეში.

◊1.5.12. R რადიუსის რგოლზე წამოცმულ მძივს ამოძრავებს რგოლის სიბრტყეში ω კუთხეური სიჩქარით თანაბრად მბრუნავი ჩხირი. ჩხირის ბრუნვის ღერძი რგოლზე მდებარეობს. იპოვეთ მძივის აჩქარება.



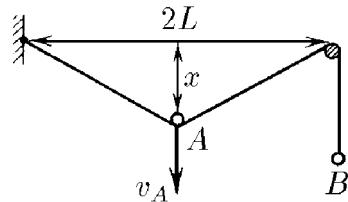
◊1.5.13. ნავზე მიბმული თოკის თავისუფალ ბოლოს ქაჩავენ იმდაგვარად, რომ ის მუდმივად დაჭიმული იყოს. ნავი მოძრაობს მუდმივი v სიჩქარით და დროის რაღაც მომენტში ბოძსა და ნავს შორის მდებარე თოკთან ქმნის α კუთხეს. როგორი სიჩქარით უნდა გამოვქაჩოთ დროის ამ მომენტში თოკის თავისუფალი ბოლო?



1.5.14*. ოთხი კუ იმყოფება a გვერდის მქონე კვადრატის წვეროებში.

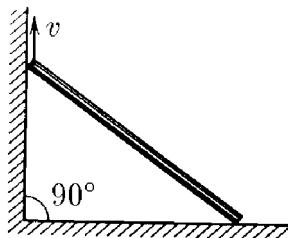
ისინი ერთდროულად იწყებენ მოძრაობას მოდულით მუდმივი v სიჩქარით. თითოეული კუ მოძრაობს თავისი მეზობლისაკენ საათის ისრის ბრუნვის მიმართულებით. სად და რამდენ ხანში შეხვდებიან კუები ერთმანეთს?

◊1.5.15. ააგეთ B წერტილის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების მიახლოებითი გრაფიკი, თუ A წერტილის v_A სიჩქარე მუდმივია. იპოვეთ ამ დამოკიდებულების ფორმულა, თუ $x(0)=0$.

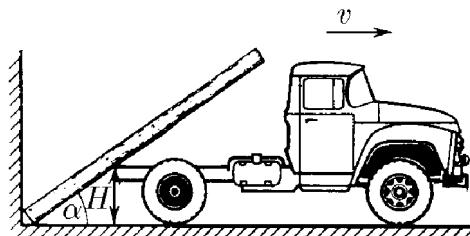


◊1.5.16. ღერო თავისი ბოლოებით ებჯინება მართი კუთხის კედლებს.

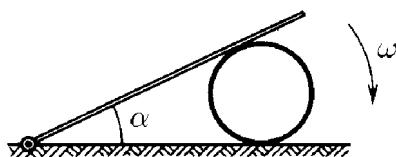
ღეროს ზედა ბოლო მოძრაობს v სიჩქარით ვერტიკალური კედლის გასწვრივ. იპოვეთ, მისი ქვედა ბოლოს სიჩქარის დროზე დამოკიდებულება. დროის ათვლის დასაწყისად აიღეთ მომენტი, როდესაც ზედა ბოლო კუთხის წვეროში იმყოფება. ღეროს სიგრძე არის L .



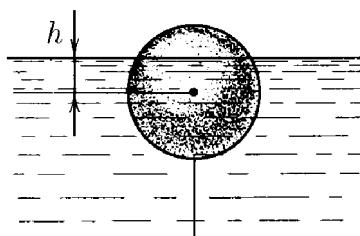
◊1.5.17. მორი თავისი ქვედა ბოლოთი ებჯინება კედელსა და მიწას შორის კუთხეს და მიწიდან H სიმაღლეზე ეხება სატვირთო მანქანის ფსკერს. იპოვეთ მორის კუთხური სიჩქარის მორსა და ჰორიზონტური შორის α კუთხეზე დამოკიდებულება, თუ სატვირთო მანქანა v სიჩქარით შორდება კედელს.



◊1.5.18*. ღერო, რომელიც ერთი ბოლოთი სახსრულადაა მიმაგრებული ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე, დევს ცილინდრზე. ღეროს კუთხური სიჩქარეა ω . ცილინდრსა და სიბრტყეს შორის სრიალი არაა. იპოვეთ ცილინდრის კუთხური სიჩქარის ღეროსა და სიბრტყეს შორის α კუთხეზე დამოკიდებულება.



◊1.5.19. R რადიუსის სფერული ტივტივა მიბმულია წყალსაცავის ფსკერზე. წყლის დონე წყალსაცავში u სიჩქარით იწევს. როგორია ტივტივას წყალში ჩაძირული ნაწილის საზღვრის ტივტივას ზედაპირზე გადაადგილების სიჩქარე იმ მომენტში, როდესაც წყლის დონე ტივტივას ცენტრიდან h -ით აიწევს?



1.5.20. მაგნიტოფონის ბაბინა ლენტის v სიჩქარით გადახვევისას უკრავს t დროის განმავლობაში. ბაბინის საწყისი რადიუსი (ლენტაზე ერთად) უდრის R , ხოლო საბოლოო (ლენტის გარეშე) – r . როგორია ლენტის სისქე?

თავი 2

დინამიკა

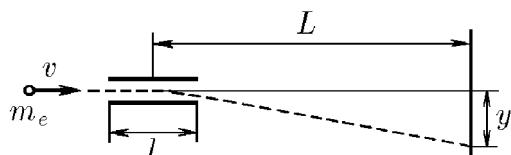
§ 2.1. ნიუტონის კანონები

2.1.1. სანდო წყაროების ცნობით, ერთხელ ბარონი მიუნპაუზენი ჩაეფლო ჭაობში, მაგრამ შეძლო თავისი თავის საკუთარი თმებით ამოყვანა. ფიზიკის რომელი კანონების დარღვევა შეძლო ბარონმა?

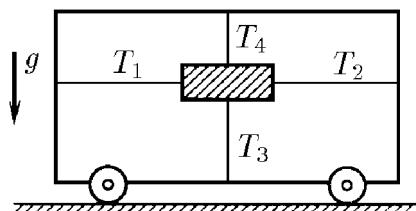
2.1.2. $m=100\text{ kg}$ მასის შაიბა გაჩერდა მოძრაობის დაწყებიდან $t=5\sqrt{\ell}/g$

ის შემდეგ, ამასთან გაიარა $l=20\text{ m}$ მანძილი. განსაზღვრეთ შაიბაზე მოქმედი ხახუნის ძალა.

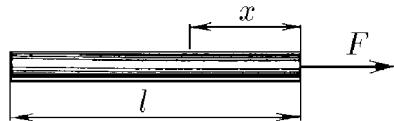
2.1.3. ელექტრონულ-სხივურ მიღაკის l სიგრძის ელექტრული ველის უბანში შედიან ელექტრონები საწყისი ჰორიზონტალური v სიჩქარით, სადაც მათზე დამუხტული გადამხრელი ფირფიტების მხრიდან მოქმედებს ვერტიკალური ძალა. რისი ტოლია ეს ძალა, თუ ეკრანზე მოხვედრისას ელექტრონები გადაიხრებიან y მანძილზე დაუმუხტავი ფირფიტების შემთხვევასთან შედარებით? ეკრანი იმყოფება ელექტრული ძალის მოქმედების უბნის ცენტრიდან L მანძილზე. ელექტრონის მასაა m_e .



2.1.4. ოთხი დაჭიმული ძაფით ტვირთი დამაგრებულია ურიკაზე. ჰორიზონტალური ძაფების დაჭიმულობის ძალა შესაბამისად არის T_1 და T_2 , ხოლო ვერტიკალურის – T_3 და T_4 . რა აჩქარებით მოძრაობს ურიკა ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე?



2.1.5. რა ძალა მოქმედებს l სიგრძის ერთგვაროვანი ღეროს განივევეთში x მანძილზე იმ ბოლოდან, რომელზეც მოქმედებს ღეროს გასწრივ მიმართული F ძალა?

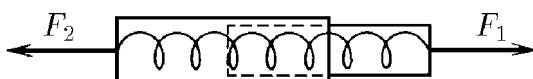


◊**2.1.6.** m_1 და m_2 მასის ორი სხეული დაკავშირებულია თოკით, რომელიც უძლებს T დაჭიმულობის ძალას. სხეულებზე მოდებულია $F_1=at$ და $F_2=2at$ ძალები, სადაც α განზომილების მქონე მუდმივი კოეფიციენტია, ხოლო t - ძალის მოქმედების დრო. განსაზღვრეთ, დროის რა მომენტში გაწყდება ძაფი.



2.1.7. კოსმონავტის მასის გასაზომად ორბიტალურ სადგურზე გამოიყენება m_0 ცნობილი მასის მოძრავი სკამი, რომელიც ზამბარაზეა მიმაგრებული. ზამბარის ერთიდაიგივე საწყისი დეფორმაციის (შეკუმშვის) დროს ცარიელი სკამი საწყის მდებარეობას უბრუნდება t_0 დროის შემდეგ, ხოლო თუ კი მასზე იმყოფება კოსმონავტი – $t > t_0$ დროის შემდეგ. როგორია კოსმონავტის მასა?

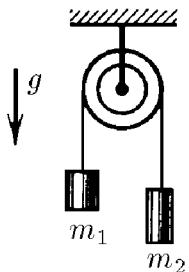
◊**2.1.8.** დინამომეტრი შედგება მსუბუქი ზამბარით შეერთებული ორი ცილინდრისგან. იპოვეთ ამ ცილინდრების მასათა ფარდობა, თუ მათზე F_1 და F_2 ძალების მოქმედებისას დინამომეტრი აჩვენებს F ძალას.



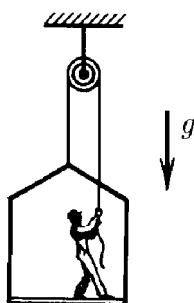
2.1.9. უწონობის პირობებში მოწყობილობის გამოსაცდელად კონტეინერს აგდებენ ზევით პნევმატური დგუშიანი მოწყობილობით, რომელიც ვაკუუმირებული შახტის ფსკერზეა მოთავსებული. დგუში კონტეინერზე Δt დროის განმავლობაში მოქმედებს $F=nmg$ ძალით, სადაც m კონტეინერის მასაა მოწყობილობასთან ერთად. რა დროის შემდეგ დავარდება კონტეინერი შახტის ფსკერზე? რა დროის განმავლობაში გრძელდება მოწყობილობისათვის უწონობის მდგომარეობა, თუ $\Delta t=0,04 \text{ წ}\delta$, ხოლო $n=125$?

2.1.10. უწონობის პირობებში მუშაობისთვის მოსამზადებლად სკაფანდრებში ჩაცმული კოსმონავტები ვარჯიშობენ წყალში. ამასთან მათზე მოქმედი სიმძიმის ძალა განონასწორდება გამომვდები ძალით. რაში მდგომარეობს ასეთი „უწონობის“ განსხვავება ნამდვილისაგან?

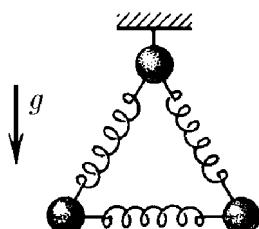
◊ **2.1.11.** იპოვეთ ტვირთების აჩქარება და ძაფების დაჭიმულობის ძალა სურათზე გამოსახულ სისტემაში. ბლოკი და ძაფები უწონოა, ხახუნი არაა.



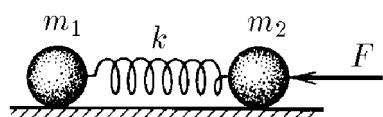
◊2.1.12. მღებავი მუშაობს საკიდელაში. მას სასწრაფოდ დასჭირდა ზევით ასვლა. ის იწყებს თოკის დაჭიმვას ისეთი ძალით, რომ აწვება საკიდელას იატაკზე 400 N -ით შემცირებული ძალით. საკიდელას მასაა 12 კგ, მღებავის - 72 კგ. რას უდრის საკიდელას აჩქარება? რისი ტოლია იმ თოკის დაჭულობის ძალა, რომელზედაც ჩამოკიდებულია მსუბუქი ბლოკი?



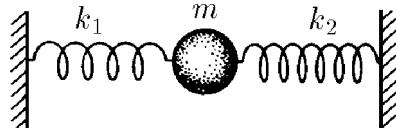
◊2.1.13. ერთნაირი ზამბარებით შეკრული სამი ერთნაირი ბურთისგან შემდგარი სისტემა ჩამოკიდებულია ძაფით. ძაფს ჭრიან. იპოვეთ ბურთების აჩქარება მყისვე ძაფის გადატრის შემდეგ.



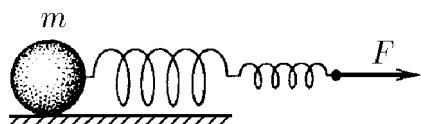
◊2.1.14. m_1 და m_2 მასის სხეულები შეერთებულია k სიხისტის ზამბარით. m_2 მასის სხეულზე მოქმედებს მუდმივი F ძალა, რომელიც ზამბარის გასწროვ m_1 მასის სხეულისკენაა მიმართული. იპოვეთ, რამდენით არის შეკუმშული ზამბარა, თუ არანაირი სხვა გარეშე ძალა არაა, ხოლო რხევები უკვე შეწყდა. როგორი იქნება სხეულების აჩქარება მყისვე F ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ?



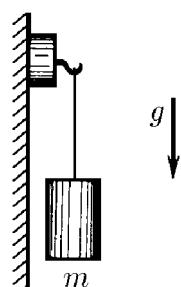
◊2.1.15. m მასის სხეული k_1 და k_2 სიხისტის ორი გამბარით შეერთებულია უძრავ კედლებთან. თავდაპირველად გამბარები არაა დეფორმირებული. წარმოქმნილი რხევების დროს სხეულის უდიდესი აჩქარება უდრის a . იპოვეთ წონასწორობის მდგომარეობიდან სხეულის მაქსიმალური გადახრა და მაქსიმალური ძალები, რომლებითაც გამბარები მოქმედებენ კედლებზე.



◊2.1.16. m მასის სხეული მიმაგრებულია თანმიმდევრულად შეერთებულ k_1 და k_2 სიხისტის ორ გამბარაზე. გამბარების ჭაჭვის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს მუდმივი F ძალა. როგორია გამბარების ჭამური წაგრძელება, თუ რხევები უკვე შეწყდა?



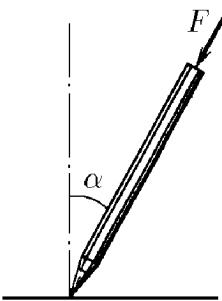
◊2.1.17. ვერტიკალურ ფოლადის ფილაზე კაუჭიანი მსუბუქი მაგნიტი უძრავი რჩება, სანამ მასზე ჩამოკიდებული ტვირთის მასა არ გადააჭარბებს m_0 -ს. რა ძალით მოქმედებს მაგნიტი ფილაზე, თუ მაგნიტის ხახუნის კოეფიციენტი ფოლია μ ? როგორი აჩქარებით სრიალებს მაგნიტის საკიდარი, თუ ტვირთის მასა $m > m_0$?



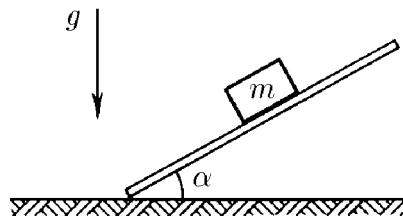
2.1.18. ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მყოფ სხეულს ეწევიან ძაფით ჰორიზონტალური მიმართულებით. დახატეთ სიბრტყის მხრიდან სხეულზე მოქმედი ხახუნის ძალის ძაფის დაჭიმულობის ძალაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. თავდაპირველად სხეული უძრავია. სხეულის მასაა 10 კგ, ხახუნის კოეფიციენტი - 0,51.

◊2.1.19. თუ მყარ ზედაპირზე მიბჯენილ ბურთულოვან საწერ კალამს თითს დავაჭროთ და ამასთან ერთად გადავხრით, მაშინ მანამ, სანამ კალამი ზედაპირის მართობთან ქმნის მცირე კუთხეს, ის მორჩილად გაყვება ხელის თითს. როგორც კი კალმის დახრის კუთხე გადააჭარბებს რაღაც მაქსიმალურ $\alpha_{\text{მაქ}}$ მნიშვნელობას, ის

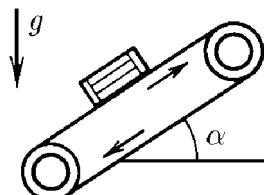
გამოსრიალდება თითიდან, რაც არ უნდა ძლიერად ან სუსტად დავაწვეთ მას. თავად ჩატარეთ ექსპერიმენტი და შეაფასეთ ხახუნის კოეფიციენტი კალმის ბურთულასა და იმ ზედაპირს შორის, რომელსაც ის ეყრდნობა.



◊2.1.20. პორიზონტალურ დაფაზე დევს m მასის ძელაკი. დაფას ნელა ხრიან. განსაზღვრეთ ძელაკზე მოქმედი ხახუნის ძალის დამოკიდებულება დაფის დახრის α კუთხეზე. ხახუნის კოეფიციენტია μ .



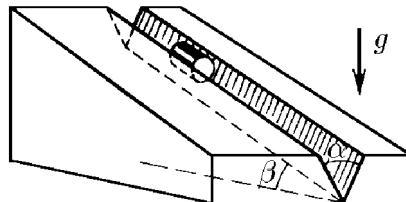
◊2.1.21. ესკალატორი პორიზონტან ქმნის α კუთხეს. როგორი მაქსიმალური აჩქარებით შეუძლია ასეთ ამწეზე ყეთის აწევა, თუ ხახუნის კოეფიციენტია μ ? ესკალატორის ლენტი არ იღუნება.



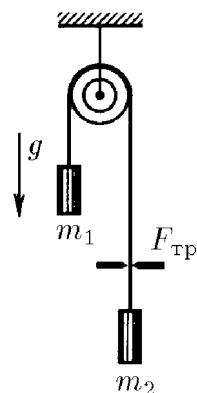
2.1.22. სხეულს დახრილ სიბრტყის გასწვრივ ზევით მიანიჭეს v სიჩქარე. რა დროის შემდეგ იქნება სხეულის სიჩქარე ისევ v -ს ტოლი? ხახუნის კოეფიციენტია μ , სიბრტყესა და პორიზონტს შორის კუთხეა α , $\operatorname{tg} \alpha > \mu$.

2.1.23. პორიზონტალურ სიბრტყეზე დადებულ m მასის სხეულზე მოქმედებს პორიზონტისადმი α კუთხით მიმართული F ძალა. ხახუნის კოეფიციენტია μ . იპოვეთ სხეულის აჩქარება, თუ ის სიბრტყეს არ შორდება.

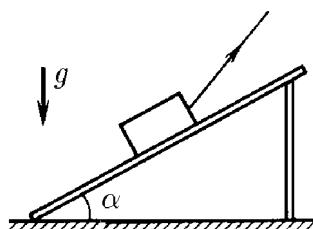
◊2.1.24. ცილინდრი მისრიალებს დარში, რომელსაც აქვს α გაშლილობის მქონე ორწახნაგოვანი კუთხის ფორმა. ორწახნაგოვანი კუთხის ნიბო ჰორიზონტისადმი β კუთხითაა დახრილი. ორწახნაგოვანი კუთხის სიბრტყეები ჰორიზონტან ერთნაირ კუთხებს ქმნიან. განსაზღვრეთ ცილინდრის აჩქარება. ცილინდრსა და ლარის ზედაპირს შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ .



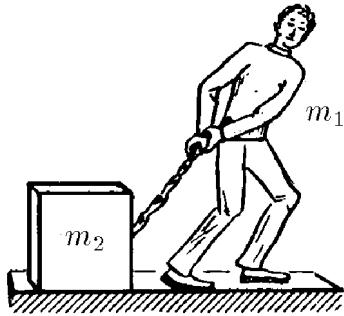
◊2.1.25. ძაფი გადადებულია უძრავი ღერძის მქონებლოკზე და გატარებულია ნახვრეტში. ძაფის ბოლოებზე ჩამოკიდებულია ტვირთები, რომელთა მასებია m_1 და m_2 . განსაზღვრეთ ტვირთების აჩქარება, თუ ძაფის მოძრაობის დროს ნახვრეტის მხრიდან მასზე მუდმივი ხახუნის ძალა $F_{\text{ზა}}$ მოქმედებს.



◊2.1.26*. ჰორიზონტისადმი α კუთხით დახრილ სიბრტყეზე თოკით ააქვთ ყუთი. ყუთის სიბრტყესთან ხახუნის კოეფიციენტია μ . ჰორიზონტისადმი რა კუთხით უნდა მოქანონ თოკი, რომ ყუთის ატანას უმცირესი ძალა დასჭირდეს?



◊2.1.27*. ერთ ადგილზე მყოფი m_1 მასის ადამიანი თოკით ეზიდება m_2 მასის ტვირთს. ჰორიზონტალურ სიბრტყესთან ხახუნის კოეფიციენტია μ . რა უმცირესი დაჭიმულობისას დაიძრება ტვირთი ადგილიდან? ჰორიზონტისადმი რა კუთხით უნდა იყოს თოკი მიმართული?



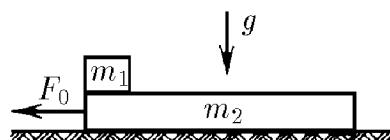
2.1.28. გზატკეცილის მოყინულ უბანზე ბორბლებსა და გზას შორის ხახუნის კოეფიციენტი ათჟერ ნაკლებია, ვიდრე მოუყინავზე. რამდენჯერ უნდა შემცირდეს ავტომობილის სიჩქარე, რომ გზატკეცილის მოყინულ უბანზე სამუხრუჭო გზა იგივე დარჩეს?

2.1.29. მძლავრი ძრავის მქონე ავტომობილი ადგილიდან დაძვრის შემდეგ 5 წმ-ში 72კმ/სთ სიჩქარეს ანვითარებს. იპოვეთ ბორბლებსა და გზას შორის ხახუნის კოეფიციენტი. როგორია ავტომობილის უმცირესი სამუხრუჭო გზა, თუ მან ეს სიჩქარე განავითარა?

◊**2.1.30***. m_1 მასის სხეული დევს m_2 მასის დაფაზე, რომელიც იმყოფება გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე. სხეულსა და დაფას შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ .

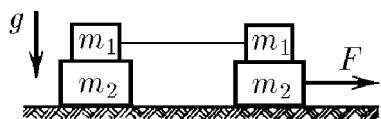
ა) რა ძალა უნდა მოვდოთ ფიცარს, რომ სხეული ფიცრიდან ჩამოსრიალდეს? რა დროში ჩამოსრიალდება სხეული, თუ ფიცარზე მოქმედებს F_0 ძალა, ხოლო ფიცრის სიგრძეა l ?

ბ) რა აჩქარებით მოძრაობს სხეული და ფიცარი, თუ F_0 ძალა მოქმედებს m_1 მასის სხეულზე?

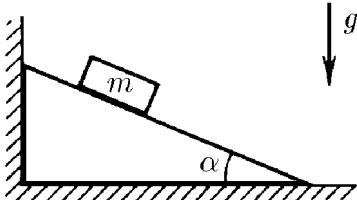


◊2.1.31. გლუვ ჰორიზონტალურ მაგიდაზე მოთავსებულია ნახატზე გამოსახული ტვირთების სისტემა. ქვედა მარჯვენა ტვირთს ეწვიან მაგიდის გასწრივ F ძალით, როგორც ნაჩვენებია ნახატზე. ხახუნის კოეფიციენტი m_1 და m_2 მასის ტვირთებს შორის

μ -ს ტოლია. იპოვეთ სისტემის ყველა ტვირთის აჩქარება.



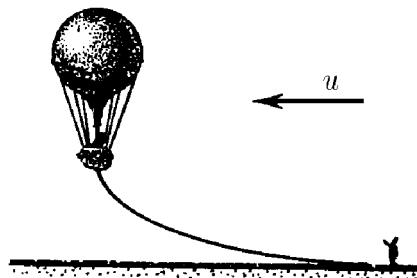
◊2.1.32. განსაზღვრეთ ვერტიკალურ კედელზე სოლის მხრიდან მოქმედი ძალა, თუ მას დაადეს m მასის ტვირთი. სოლის ფუძესთან კუთხეა α . ხახუნის კოეფიციენტი ტვირთსა და სოლის ზედაპირს შორის არის μ . იატაკსა და სოლს შორის ხახუნი არაა.



2.1.33. რატომ არ არის დამოკიდებული წვიმის წვეთების სიჩქარე ღრუბლების სიმაღლეზე და ძლიერ არის დამოკიდებული წვეთების ზომებზე?

2.1.34. ველოსიპედისტზე მოქმედი ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა ველოსიპედისტის სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია: $F = \alpha v^2$. ჰორიზონტალურ გზაზე ველოსიპედისტის უდიდესი სიჩქარე დაახლოებით 20 მ/წმ შეადგენს. შეაფასეთ პროპორციულობის კოეფიციენტი α , თუ ველოსიპედისტის მასა ველოსიპედთან ერთად ა 70 კგ, ხოლო ხახუნის კოეფიციენტი ბორბლებსა და გზას შორის არის 0,4.

◊2.1.35*. საპარო ბურთის მასა მიწაზე მოსრიალე ბაგირთან ერთად უდრის m ; ბურთზე მოქმედი ამომგდები ძალაა F ; ბაგირის მიწაზე ხახუნის კოეფიციენტა μ . საპარო ბურთზე მოქმედი ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა პროპორციულია ჰაერის მიმართ ბურთის სიჩქარის კვადრატისა: $f = \alpha v^2$. იპოვეთ ბურთის სიჩქარე დედამიწის მიმართ, თუ უბერავს ჰორიზონტალური ქარი v სიჩქარით.



2.1.36*. m მასის სხეულის სიჩქარე ბლანტ სითხეში კლებულობს l გავლილ მანძილთან ერთად $v = v_0 - \beta l$ კანონით, სადაც v_0 საწყისი სიჩქარეა, ხოლო β მუდმივი კოეფიციენტია. როგორაა დამოკიდებული სითხის მხრიდან სხეულზე მოქმედი ბლანტი ხახუნის ძალა სხეულის სიჩქარეზე?

2.1.37. წვიმის წვეთებზე მოქმედი ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა წვეთების სიჩქარის კვადრატის მათი რადიუსის კვადრატზე ნამრავლის პროპორციულია:

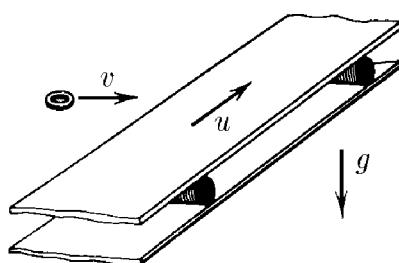
$$f = A \rho_0 r^2 v^2, \quad \text{სადაც} \quad \rho_0 \approx 1,3 \text{ კგ/მ}^3 \quad \text{პარის სიმკვრივეა, ხოლო უგანბომილებო}$$

კოეფიციენტი A მრგვალი წვეთებისთვის 1-ის რიგისაა. როგორი წვეთები, მსხვილი თუ წვრილი, უფრო დიდი სიჩქარით ეცემა დედამიწაზე? შეაფასეთ $r=1 \text{ მ}$ რადიუსის წვეთის სიჩქარე დიდი სიმაღლიდან ვარდნის დროს.

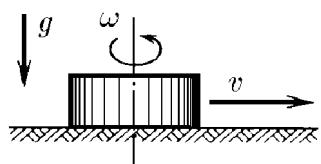
2.1.38. ნისლის წვეთებზე მოქმედი პარის წინააღმდეგობის ძალა სიჩქარეზე რადიუსის ნამრავლის პროპორციულია: $f = \gamma r v$. $r = 0,1$ მმ რადიუსის წვეთებს დიდი სიმაღლიდან ვარდნისას დედამიწასთან აქვთ დაახლოებით 1 მ/წმ სიჩქარე. რა სიჩქარე ექნება წვეთებს, რომელთა რადიუსი ორჯერ ნაკლებია? ათჯერ ნაკლებია?

2.1.39*. სითხის ან აირის წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც მოძრავი სხეულის სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია, დაკავშირებულია ამ სხეულის ზედაპირის მახლობელ გარემოში გრიგალების წარმოქმნასთან. წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც მოძრავი სხეულის სიჩქარის პროპორციულია, დაკავშირებულია გარემოს ფენების ასრიალებასთან ამ სხეულზე მისი გარსშემოდენის დროს. ორივე ძოვლენა ერთდღრულად ხდება. რატომაა, რომ მიუხედავად ამისა, ამა თუ იმ პირობებში შეიძლება გავითვალისწინოთ წინააღმდგობის მხოლოდ რომელიმე ერთი ძალა? წინა ორი ამოცანის მონაცემთა მიხედვით შეაფასეთ, მრგვალი წვეთის რადიუსის მის სიჩქარეზე ნამრავლის როგორი მნიშვნელობის დროს შეეძრება ერთმანეთს პარის წინააღმდეგობის ორივე სახეობა თავისი ზემოქმედებით წვეთის მოძრაობისას?

◊2.1.40. პორიტონტალური ტრანსპორტიორის ლენტი მოძრაობს u სიჩქარით. ლენტზე პორიტონტალურად შეფრინდა შაიბა ისე, რომ ეხება ლენტის ზედაპირს და მისი v საწყისი სიჩქარე ლენტის კიდის მართობულია. იპოვეთ ლენტის მაქსიმალური სიგანე, რომლის დროსაც შაიბა მიაღწევს მეორე კიდეს, თუ ხახუნის კოეფიციენტი შაიბასა და ლენტს შორის არის μ .

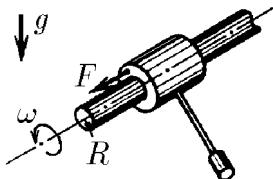


◊2.1.41. გვაქვს ორი შაიბა: ერთი, რომელიც ასრულებს მხოლოდ გადატანით მოძრაობას და მეორე, რომელიც გადატანით მოძრაობასთან ერთად ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო. ხორკლიან პორიტონტალურ ზედაპირზე რომელი მათგანი გაივლის უფრო მეტ გზას გაჩერებამდე? შაიბების ცენტრების საწყისი სიჩქარეები ერთნაირია.

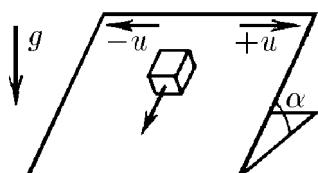


2.1.42. რატომ არის მორში მჯიდროდ ჩასობილი ლურსმანი უფრო ადვილი ამოსაძრობი, თუ ამოღების დროს მას ერთდროულად ვაბრუნებთ თავისი ღერძის ირგვლივ?

◊**2.1.43*.** ω კუთხური სიჩქარით მბრუნავ R რადიუსის პორიზონტალურ ღერძები შემოჭერილია მიღისი, რომელიც აღჭურვილია საპირწონით იმისათვის, რომ ღერძები მისი სრიალის დროს ის არ ბრუნავდეს. განსაზღვრეთ მიღისას დამყარებული სიჩქარე მასზე ღერძის გასწვრივ F ძალის მოქმედებისას. ღერძის მიღისზე გადაადგილებისას ხახუნის მაქსიმალური ძალა $F_{bzb} > F$.



◊**2.1.44*.** განსაზღვრეთ დახრილ სიბრტყეზე მყოფი სხეულის დამყარებული სიჩქარე, თუ ეს სიბრტყე დიდი სიხშირით იცვლის თავისი μ სიჩქარის ერთ მიმართულებას საპირისპიროთი. სიბრტყის მოძრაობის მიმართულება ნაჩვენებია სურათზე. ხახუნის კოეფიციენტია μ , სიბრტყის დახრის კუთხე α , $\operatorname{tg} \alpha < \mu$.

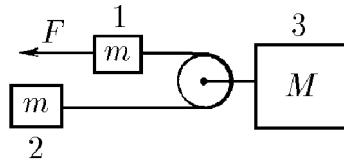


2.1.45*. სიბრტყეზე, რომლის დახრის კუთხის ტანგენსი უდრის ხახუნის კოეფიციენტს, დევს მონეტა. სიბრტყის გასწვრივ პორიზონტალურ მიმართულებით მონეტას მიანიჭეს ν სიჩქარე. იპოვეთ მონეტის დამყარებული სიჩქარე.

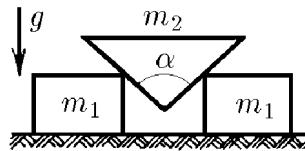
2.1.46. დახრილ სიბრტყეზე მისრიალებს თოკით გადაბმული ერთნაირი მასის ორი სხეული. ძაფის დაჭიმულობის ძალაა T . ხახუნი ერთ სხეულსა და დაფას შორის არ არის. განსაზღვრეთ ხახუნის ძალა დაფასა და მეორე სხეულს შორის.

◊ **2.1.47*.** იპოვეთ სურათზე გამოსახული სისტემის სხეულების აჩქარებები. F ძალა მოდებულია ძაფის მიმართულებით m მასის მქონე ერთ-ერთ სხეულზე.

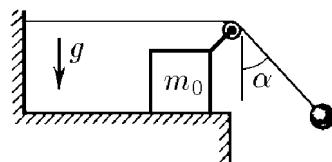
M მასის სხეულზე მიმაგრებული მსუბუქი ბლოკის ორივე მხარეს ძაფის უბნები პარალელურია.



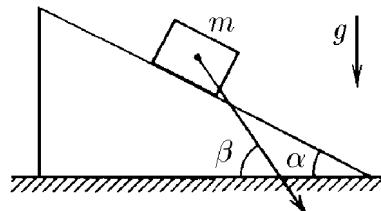
◊ 2.1.48. m_1 მასის ორ ერთნაირ გლუვ ძელს შორის ჩადგმულია α კუთხის მქონე m_2 მასის სოლი. განსაზღვრეთ სხეულების აჩქარებები.



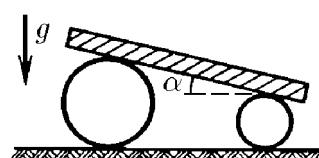
◊ 2.1.49*. კედელზე მიმაგრებული და გორგოლაქტე გადადებული ძაფის თავისუფალ ბოლოზე მიბმულია ტვირთი. გორგოლაქტი m_0 მასის ძელაკზეა დამაგრებული. ამ ძელაკს შეუძლია ხახუნის გარეშე ისრიალოს პორიტონტალურ სიბრტყებე. საწყის მომენტში ტვირთმობმულ ძაფს α კუთხით ხრიან ვერტიკალიდან, შემდეგ კი უშვებენ. განსაზღვრეთ ძელაკის აჩქარება, თუ ძაფსა და ვერტიკალს შორის კუთხე სისტემის მოძრაობისას არ იცვლება. რისი ტოლია ტვირთის მასა?



◊ 2.1.50. გლუვ პორიტონტალურ სიბრტყებე დევს სოლი ფუძესთან α კუთხით. სოლზე მოთავსებული m მასის სხეული მოძრაობს ქვემოთ აჩქარებით, რომელიც მიმართულია პორიტონტან $\beta > \alpha$ კუთხით. განსაზღვრეთ სოლის მასა.

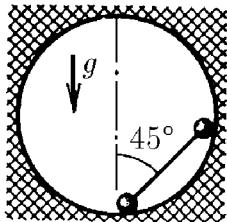


◊ 2.1.51*. სხვადასხვა რადიუსის მქონე ორ საგორავზე მოათავსეს მძიმე ფილა, რომელიც პორიტონტან ქმნის α კუთხეს. იპოვეთ ამ ფილის აჩქარება. სრიალი არ არის. საგორავების მასა უგულვებელყავით.



2.1.52. ორმაგი ვარსკლავის შემადგენლობაში მყოფი ვარსკლავების აჩქარება არის a_1 და a_2 . იპოვეთ მეორე ვარსკლავის მასა, თუ პირველის მასაა m_1 ?

◊2.1.53. სფერულ სიღრუეში მოათავსეს ჰანტელი (m მასის მქონე უწონო ღეროთი შეერთებული ორი ბურთულა) ისე, როგორც ნაჩვენებია ნახატზე. განსაზღვრეთ რა ძალით დააწვება ბურთულები კედელს მყისვე ხელის გაშვების მომენტში? ჰანტელის ბურთულების რადიუსები ბევრად ნაკლებია სიღრუის რადიუსზე.

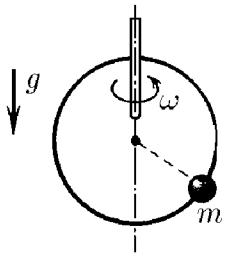


2.1.54. დამუხტული ძაფის ირგვლივ წებისმიერი რადიუსის წრეხაზე მოძრავ ელექტრონებს გააჩნიათ ერთიდაიგივე v სიჩქარე. ელექტრონის მასა არის m_e . როგორ არის დამოკიდებული ელექტრონზე ძაფის მხრიდან მოქმედი ძალა ელექტრონსა და ძაფს შორის მანძილზე? აღწერეთ ხარისხობრივად იმ ტრაქტორის საწყისი მონაკვეთი, რომლითაც იმოძრავებს ელექტრონი, თუ მისი სიჩქარე წრეხაზე მოძრაობის დროს უცებ გახდება v -ზე ოდნავ ნაკლები; v -ზე ოდნავ მეტი.

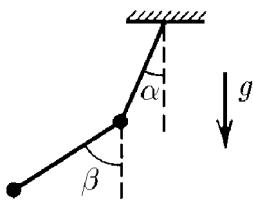
2.1.55. l სიგრძის ძაფით გადაბმული m მასის მქონე ორი ბურთულა v სიჩქარით მოძრაობს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მათი შემაერთებელი ძაფის მართობულად ისე, რომ ძაფი არაა მოშვებული. ძაფის შუა ნაწილი ედება ლურსმანს. რისი ტოლია მყისვე ამის შემდეგ ძაფის დაჭიმულობის ძალა?

2.1.56. M მასის სხეული l სიგრძის ძაფით მიბმულია ღერძზე და ბრუნავს მის გარშემო ω კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ ძაფის დაჭიმულობის ძალა. სხეულის ზომები მცირეა, სიმძიმის ძალა შეიძლება უგულებელყოთ. შეცვალეთ ძაფი m მასის ერთგვაროვანი თოკით და იპოვეთ დაჭიმულობის ძალის ბრუნვის ღერძამდე x მანძილზე დამოკიდებულება.

◊2.1.57. ვერტიკალურად განლაგებულ R რადიუსის მქონე მავთულის გლუვ რგოლზე ჩამოცმულია მცირე ზომის სხეული. რგოლი ω კუთხური სიჩქარით ბრუნავს დიამეტრზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. სად იმყოფება სხეული?



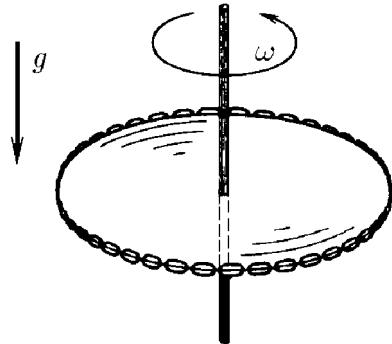
◊ 2.1.58. ¹ სიგრძის ძაფზე მიბმულ მძიმე ბურთულას მიაბეს იმავე სიგრძის ძაფზე მეორე მძიმე ბურთულა. საკიდელის ზედა წერტილზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ ბურთულების ბრუნვისას ორივე ძაფი ერთ სიბრტყეში ძევს და ვერტიკალთან ქმნის α და β მუდმივ კუთხეებს. იპოვეთ ბურთულების ბრუნვის კუთხური სიჩქარე.



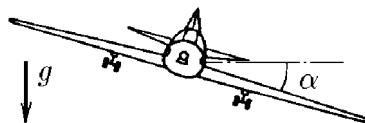
2.1.59. m მასის ტვირთი k სიხისტის ზამბარით მიმაგრებულია ღერძზე და მოძრაობს თავისი ღერძის ირგვლივ R რადიუსის მქონე წრეწირზე ω კუთხური სიჩქარით. როგორია არადეფორმირებული ზამბარის სიგრძე?

2.1.60*. m მასისა და k სიხისტის რეზინის წვრილი ჩალიჩისგან გააკეთეს R_0 რადიუსის რგოლი. ეს რგოლი დაატრიალეს თავისი ღერძის ირგვლივ. იპოვეთ რგოლის ახალი რადიუსი, თუ მისი ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა ω .

◊ 2.1.61*. m მასის რგოლური ჭაჭვი ჩამოცმულია R რადიუსის მქონე ჰორიზონტალურ დისკზე. ჩამოცმული ჭაჭვის დაჭიმულობის ძალა არის T . იპოვეთ ხახუნის კოეფიციენტი დისკსა და ჭაჭვს შორის, თუ დისკის ბრუნვისას კუთხური სიჩქარით, რომელიც ტოლია ან აღემატება ω -ს, ჭაჭვი ჩამოცურდება.



◊2.1.62. თვითმფრინავი ახდენს ვირაჟს R რადიუსის მქონე პორიტონტალურ წრენირზე მუდმივი ν სიჩქარით მოძრაობისას. რა კუთხეს შეადგნს თვითმფრინავის ფრთების სიბრტყე პორიტონტან?



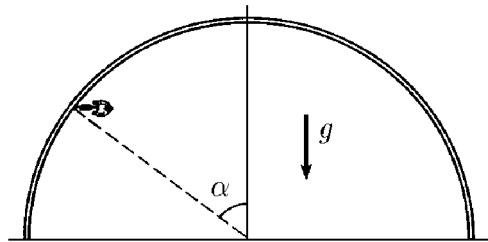
2.1.63. პორიტონტალურ დისკს აბრუნებენ თავისი ღერძის გარშემო დროზე წრფივად დამოკიდებული კუთხური სიჩქარით $\omega = et$. რა კუთხური სიჩქარის დროს დაიწყებს დისკის ღერძიდან r მანძილზე მდებარე სხეული ღერძიდან გაცოცებას? ხახუნის კოეფიციენტია μ .

2.1.64. რა მაქსიმალური სიჩქარით შეუძლია იმოძრაოს პორიტონტალურ სიბრტყეზე მოტოციკლისტს R რადიუსიანი წრეხაზის შემოწერისას, თუ ხახუნის კოეფიციენტია μ ? ვერტიკალიდან რა კუთხით უნდა გადაიხაროს ის ამასთან? რამდენჭერ გაიზრდება მოტოციკლისტის მაქსიმალურად დასაშვები სიჩქარე α კუთხით დახრილ ტრეკზე მოძრაობისას პორიტონტალურ ტრეკზე მაქსიმალურად დასაშვებ სიჩქარესთან შედარებით მოსახვევის იგივე რადიუსისა და ხახუნის იგივე კოეფიციენტის შემთხვევაში?

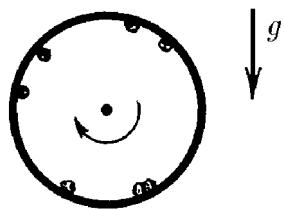
2.1.65*. მოციგურავე ცდილობს გაიაროს ყინულის ბილიკზე ვირაჟი შიდა კიდესთან რაც შეიძლება უფრო ახლოს. ველოსიპედისტი ველოტრეკზე, პირიქით, გადის ვირაჟს შიდა კიდესთან მაქსიმალურად შორს. როგორი ახსნა ექნება ვირაჟის გავლის ტაქტიკაში განსხვავებას? ველოტრეკის პროფილის დახრილობის კუთხე იზრდება შიდა კიდიდან დაშორებისას.

◊2.1.66*. მოტოციკლისტი ცირკის ატრაკციონზე მოძრაობს R რადიუსის სფეროს შიდა ზედაპირზე. სიჩქარის აღების შემდეგ ის იწყებს პორიტონტალურ სიბრტყეში წრენირის შემოხაზვას ზედა ნახევარსფეროში. ამის შემდეგ უფრო მეტი ეფექტის შესაქმნელად გააქვთ ქვედა ნახევარსფერო. განსაზღვრეთ მოტოციკლისტის მინიმალური სიჩქარე, თუ სფეროს ზედაპირთან საბურავების

ხახუნის კოეფიციენტია μ , ხოლო ვერტიკალსა და სფეროს ცენტრიდან მოტოციკლისტისკენ მიმართულებას შორის კუთხე α -ს ტოლია. იპოვეთ სიჩქარის მინიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც მოტოციკლისტს შეუძლია ზედა სფეროში წრებე მოძრაობა $R = 5 \text{ m}$, $\mu = 0,5$ დროს.



◊2.1.67*. რა კუთხური სიჩქარით უნდა იბრუნოს თავისი ღერძის გარშემო ჰორიზონტალურად მოთავსებულმა ცილინდრმა, რომ ცილინდრის შიგნით მცირე ზომის ნაწილაკები არ ჩამოსრიალდეს მისი ზედაპირიდან? ხახუნის კოეფიციენტი ცილინდრის ზედაპირსა და ნაწილაკებს შორის უდრის 1, ცილინდრის შიდა რადიუსია R .



§ 2.2. იმპულსი. მასათა ცენტრი

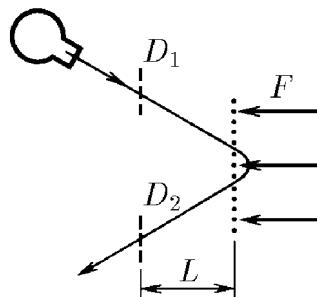
2.2.1. m და $2m$ მასის ნაწილაკები მოძრაობენ ერთმანეთის მართობულად შესაბამისად v და $2v$ სიჩქარეებით. ორივე ნაწილაკზე მოქმედებას იწყებს ერთნაირი ძალები, რომელთა მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ პირველი ნაწილაკი მოძრაობს თავდაპირველი მიმართულების საწინააღმდეგოდ $2v$ სიჩქარით. განსაზღვრეთ მეორე ნაწილაკის სიჩქარე ამ მომენტისათვის.

2.2.2. პორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებული თავდაპირველად უძრავი სხეული გაქაჩეს მასზე მიბმული თოკით პორიზონტალური მუდმივი F ძალით.

Δt დროის შემდეგ ამ ძალის მოქმედება შეწყდა. იპოვეთ მოძრაობისას სხეულზე მოქმედი ხახუნის ძალა, თუ სხეული მოძრაობის დაწყებიდან $3\Delta t$ დროის შემდეგ გაჩერდა?

2.2.3. კოსმოსურმა ხომალდმა უნდა შეცვალოს კურსი და იმოძრაოს მოდულით უცვლელი P იმპულსით, რომელიც თავდაპირველ მიმართულებასთან ადგენს α კუთხეს. რა უმცირესი დროით უნდა ჩაირთოს F წევის ძალის ძრავა და ამასთან როგორ უნდა იყოს ორიენტირებული ძრავის ღერძი?

◊2.2.4.* მას-სპექტრომეტრში წყარო უშვებს დამუხტული ნაწილაკების ნაკადს, რომლებიც თავდაპირველად თავისუფლად მიფრინავენ და გაიფრენენ პირველ D_1 მრიცხველში, რომელიც ბადიდან L მანძილზეა განლაგებული. ბადის უკან ნაწილაკებზე მოქმედებს ბადის მართობული ელექტრული F ძალა. ნაწილაკები მოტრიალდებიან და გამოდიან ბადიდან უკან, გაიფრენენ მეორე D_2 მრიცხველში, რომელიც მოთავსებულია ბადიდან იგივე მანძილზე. წყაროს დაძაბულობაზე დამოკიდებულია გამოსული ნაწილაკების სიჩქარე, მაგრამ მისი ზუსტი მნიშვნელობა რჩება უცნობი. ცვლიან დაძაბულობას, ზომავენ მრიცხველების ამოქმედებებს შორის დროს და პოულობენ მის უმცირეს Δt მნიშვნელობას. როგორია ნაწილაკის მასა? როგორ შეიძლება ვიპოვოთ ნაწილაკის მასა, თუ წყარო უშვებს სხვადასხვა მასის ნაწილაკების რამდენიმე სახეობას?



2.2.5*. M მასის ქვიშით სავსე ყუთი დევს პორიზონტალურ სიბრტყეზე,
რომლთანაც ხახუნის კოეფიციენტია μ . ვერტიკალისადმი α კუთხით და ν
სიჩქარით ყუთს ხვდება m მასის ტყვია და მყისვე ჩერდება სილაში. α -ს რა
მნიშვენლობისათვის იქნება ყუთი უძრავი? მოძრაობის დაწყებიდან რა დროის
შემდეგ გაჩერდება ყუთი?

2.2.6. დები დგანან ციგურებით გლუვ ყინულზე. უფროსი და უჭიკებს უმცროსს.
„მოდი, ახლა მე გივიკებ“, – ამბობს უმცროსი. მისი მოლოდინის საწინააღმდეგოდ,
ის ისევ მისრიალებს უკან უფრო დიდი სიჩქარით, ვიდრე უფროსი და, ამასთან მისი
სიჩქარე იძენჯერვე მეტია, როგორც ადრე. რატომ ხდება ასე?

2.2.7. დედამიწიდან დაკვირვებებისას შესაძლებელია ორმაგი ვარსკლავის
შემადგენლობაში მყოფი პარტნიორ-ვარსკლავების მხოლოდ რადიალური სიჩქარის
განსაზღვრა (ე.ი. დედამიწა-ვარსკლავის შემაერთებელ წრფეზე სიჩქარის
პროექციის). გაზომვების დროს მიღებულია ორმაგი ვარსკლავის პარტნიორ-
ვარსკლავების რადიალური სიჩქარის ν_1 და μ_1 მნიშვნელობები. ერთი წლის
შემდეგ ჩატარებული განმეორებითი გაზომვების შემდეგ ამ სიჩქარის მნიშვნელობები
გახდა ν_2 და μ_2 . იპოვეთ ორმაგი ვარსკლავის პარტნიორ-ვარსკლავების
მასების ფარდობა. რატომ უნდა შეიცვალოს გამოანგარიშებები, თუ განმეორებითი
გაზომვა ტარდება ერთი თვის ან ნახევარი წლის შემდეგ?

2.2.8. ადამიანმა გადაწყვიტა ირბინოს ორ პორიზონტალურ გორგოლაჭზე
გადაჭიმულ რეზინის ლენტზე. გორგოლაჭების ლერძებში ხახუნი არ არის. პირველი
შეხედვით ეს შეუძლებელი ჩანს: ადამიანს არ შეუძლია გადასცეს იმპულსი არც
ლენტს, არც გორგოლაჭებს, რადგან მათი სრული იმპულსი ნულის ტოლია.
გამომდინარეობს, თუ არა აქედან, რომ ადამიანი დარჩება ერთ ადგილზე?

◊2.2.9*. m_1 მასის უძრავ სხეულს ν სიჩქარით ეჯახება m_2 მასის
სხეული. სხეულების ურთიერთქმედების დროს წარმოქმნილი ძალა წრფივადაა
დამოკიდებული დროზე და t_0 დროში იზრდება ნულიდან F_0 მნიშვნელობამდე,
ხოლო შემდეგ თანაბრად კლებულობს ნულამდე იმავე დროში. განსაზღვრეთ
სხეულების სიჩქარე ურთიერთქმედების შემდეგ. ჩათვალეთ, რომ მთელი მოძრაობა
ხდება ერთ წრფეზე.

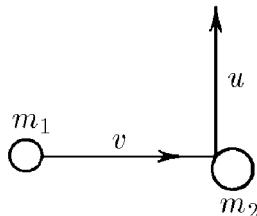
2.2.10. კოსმოსურ ხომალდს რაკეტა-მატარებელის ბოლო საფეხურის
მოცილებამდე გააჩნია ν სიჩქარე, ხოლო მისი მოცილების შემდეგ ხომალდის
სიჩქარე გახდა $1,01\nu$ ტოლი, ამასთან მოცილებული საფეხური ხომალდს
შორდება $0,04\nu$ სიჩქარით. განსაზღვრეთ ბოლო საფეხურის მასა, თუ
ხომალდის მასაა m_0 ?

2.2.11. პროტონი v საწყისი სიჩქარით მიფრინავს თავდაპირველად უძრავი ჰელიუმის ბირთვისაკენ. როგორია ნაწილაკების სიჩქარე მათი ყველაზე დიდი დაახლოების დროს? ჰელიუმის ბირთვის მასა ახლოსაა პროტონის გაოთხმაგებულ მასასთან.

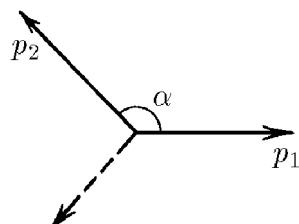
2.2.12. ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილში, ზარბაზნიდან პორიზონტის გასწვრივ L მანძილზე ჭურვი სკდება ორ ერთნაირ ნამსხვრევად. ერთი ნამსხვრევი ჭურვის თავდაპირველი ტრაექტორიით ბრუნდება ზარბაზანთან. სად დავარდება მეორე ნამსხვრევი?

2.2.13. არტილერისტი ისვრის ზარბაზნიდან m მასის ბირთვს ისე, რომ ის ჩავარდეს მოწინააღმდეგის ბანაკში. ზარბაზნიდან გამოვარდნილ ბირთვს აჯდება ბარონი მიუნხჰაუზენი, რომლის მასაა $5m$. გზის რა ნაწილის გავლა მოუწევს მას ფეხით მოწინააღმდეგის ბანაკამდე?

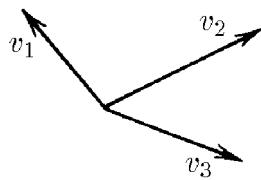
◊2.2.14. v სიჩქარის მქონე m_1 მასის ნაწილაკი ეჭახება m_2 მასის უძრავ სხეულს და აირეკლა მისგან u სიჩქარით, რომელიც თავდაპირველი მოძრაობის მიმართულებასთან ადგენს მართ კუთხეს. როგორია m_2 მასის სხეულის სიჩქარე?



◊2.2.15. თავდაპირველად უძრავი ნეიტრონის β -დაშლის დროს წარმოიქმნება პროტონი, ელექტრონი და ნეიტრინო. პროტონისა და ელექტრონის იმპულსებია p_1 და p_2 . მათ შორის კუთხეა α . განსაზღვრეთ ნეიტრინოს იმპულსი.

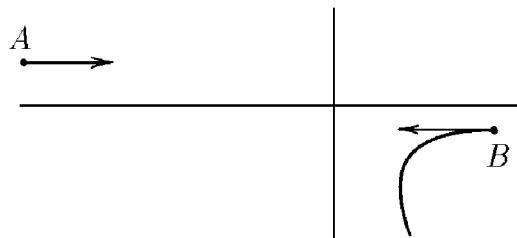


◊2.2.16. რადიოაქტიური ბირთვი იშლება m_1 , m_2 , m_3 მასის სამ ნამსხვრევად, რომელთა სიჩქარებია შესაბამისად v_1 , v_2 , v_3 . როგორი იყო ბირთვის სიჩქარე დაშლამდე?

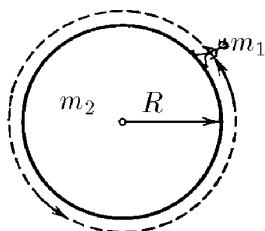


2.2.17. m_1 მასის კოსმონავტი მსუბუქი ბაგირის გამოყენებით უახლოვდება m_2 მასის კოსმოსურ ხომალდს. თავდაპირველად ხომალდი და კოსმონავტი უძრავნი არიან, ხოლო მათ შორის მანძილია l . რა მანძილს გაივლიან ხომალდი და კოსმონავტი შეხვედრამდე?

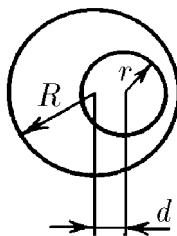
◊2.2.18. A და B წერტილებიდან ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით მოდულით ტოლი იმპულსებით გამოფრინდა m და $2m$ მასის ორი დამუხტული ნაწილაკი. ნაწილაკები ურთიერთქმედებენ მხოლოდ ერთმანეთთან. ნახატზე მოცემული $2m$ მასის ნაწილაკის ტრაექტორიის მიხედვით აღადგინეთ მეორე ნაწილაკის ტრაექტორია.



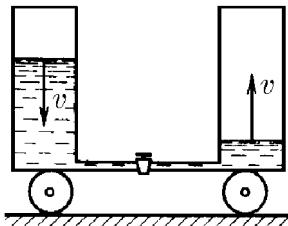
◊ 2.2.19. კოსმოსური სადგური წარმოადგენს R რადიუსისა და m_2 მასის ცილინდრს. m_1 მასის კოსმონავტმა დაიწყო სადგურის ზედაპირზე წრიული შემოვლა. განსაზღვრეთ კოსმონავტის ტრაექტორია და სადგურის ცენტრის ტრაექტორია. თავდაპირველად კოსმონავტი და სადგური უძრავი არიან.



◊2.2.20. იპოვეთ: მართი კუთხით შუაში მოხრილი ერთგვაროვანი მავთულის, ერთგვაროვანი სამკუთხა ფირფიტის, მრგვალი ნახვრეტის მქონე ერთგვაროვანი დისკოს მასათა ცენტრები.



◊2.2.21. უძრავ ურიკაზე დადგმულია ორი ვერტიკაური ცილინდრული ჭურჭელი, რომლებიც შეერთებულია წვრილი მიღით. ორივე ჭურჭლის განივაკვეთის ფართობია S , მათ ღერძებს შორის მანძილი l . ერთერთი ჭურჭელი ავსებულია ρ სიმკვრივის სითხით. შემაერთებელ მიღზე აღებენ ონკანს. იპოვეთ ურიკის სიჩქარე დროის იმ მომენტში, როცა სითხის დონეების სიჩქარეა v . მთელი სისტემის სრული მასაა m .



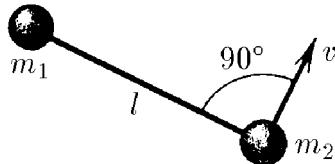
◊2.2.22*. გლუვ იატაკზე დგას ρ_0 სიმკვრივის წყლით სავსე ჭურჭელი; წყლის მოცულობაა V_0 . ჭურჭლის ფსკერზე V მოცულობისა და ρ სიმკვრივის ხოჯო იწყებს ხოხვას ჭურჭლის მიმართ u სიჩქარით. როგორი სიჩქარით დაიწყებს ჭურჭელი იატაკზე მოძრაობას? ჭურჭლის მასა უგულებელყავით, წყლის დონე ყოველთვის ჰორიზონტალური რჩება.



2.2.23. ხელოვნური სიმძიმის ძალის შესაქმნელად ორბიტალური სადგურის ორი ნაწილი (მასების შეფარდება 1:2) დააშორეს ერთმანეთს R მანძილით და დააბრუნეს მათი საერთო მასათა ცენტრის გარშემო. განსაზღვრეთ ამ ნაწილების სრული ბრუნვის დრო, თუ უფრო მასიურ ნაწილში ხელოვნური სიმძიმის ძალა დედამიწის სიმძიმის ძალაზე ორჟერ ნაკლებია.

◊2.2.24*. l სიგრძის დაჭიმული ძაფით გადაბმული m_1 და m_2 მასის ორი სხეული მოძრაობს გლუვ ჰორიზონტალურ ბედაპირზე. დროის რაღაც მომენტში აღმოჩნდა, რომ პირველი სხეული უძრავია, ხოლო მეორე სხეულის სიჩქარე,

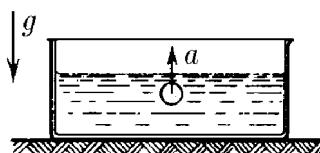
რომელიც v -ს ტოლია, ძაფის მართობულია. განსაზღვრეთ ძაფის დაჭიმულიბის ძალა ამ მომენტში.



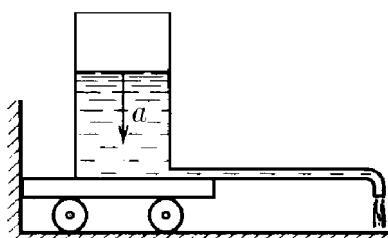
2.2.25*. კოსმოსური სადგური შედგება m_1 და m_2 მასის L სიგრძის გრძელი ერთგვაროვანი ბაგირით შეერთებული ორი ნაწილისაგან. სადგური ბრუნავს ბაგირის მართობული ღერძის გარშემო. იპოვეთ ბრუნვის კუთხური სიჩქარე, თუ ბაგირის დაჭიმულობის ძალა პირველი ნაწილის მახლობლად არის T_1 , ხოლო მეორე ნაწილის მახლობლად T_2 ? როგორია ბაგირის მასა?

2.2.26*. m_1 , m_2 , m_3 მასის სამი წერტილოვანი სხეული დაკავშირებულია ერთმანეთთან l სიგრძის თოკებით და ბრუნავენ ω კუთხური სიჩქარით მასათა ცენტრის გარშემო, ამასთან ტოლგვერდა სამკუთხედის კონფიგურაცია არ იცვლება. იპოვეთ ძაფების დაჭიმულობის ძალა.

◊2.2.27. ρ სიმკვრივის წყლით სავსე ჭურჭელში a აჩქარებით ამოდის ზევით V მოცულობის პარის ბუშტი. იპოვეთ, როგორი ძალით აწვება ჭურჭელი საყრდენს. ჭურჭლის მასა წყალთან ერთად უდრის m .

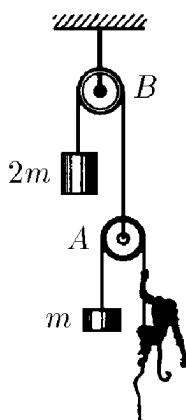


◊2.2.28*. ურიკაზე დგას ρ სიმკვრივის წყლით სავსე S განივავეთის ფართობის მქონე ცილინდრული ჭურჭელი. იატაკის პარალელურად ჭურჭლიდან გამოდის გრძელი და წვრილი პორიზონტალური მილი, რომლის მცირე მონაკვეთი ბოლოს მახლობლად დახრილია ვერტიკალურად ქვევით. ჭურჭლის ღერძიდან მილის ნახვრეტამდე მანძილია L . სითხის დონე ჭურჭელში ეშვება a აჩქარებით. რა პორიზონტალური ძალით შეიძლება ურიკის ადგილზე შეკავება?



◊2.2.29*. m მასის მაიმუნი საპირნონით გაწონასწორებულია A

ბლოკზე. A ბლოკი გაწონასწორებულია $2m$ მასის ტვირთით B ბლოკზე. სისტემა უძრავია. როგორ იმოძრავებს ტვირთი, თუ მაიმუნი დაიწყებს თოკის თანაბრად გამოწევას α სიჩქარით თავისი თავის მიმართ? ბლოკების მასა და ხახუნი უგულებელყავით.



2.2.30. თოკზე ჰკიდია სილით სავსე პატარა ყუთი, რომელშიც რჩებიან v სიჩქარით ჰორიზონტალურად მოძრავი ტყვიები. ტყვიის m_1 მასა ბევრად ნაკლებია ყუთის m_2 მასაზე. გვარღი იხრება ვერტიკალიდან α კუთხით. რამდენი ტყვია ხვდება სილაში დროის ერთეულში?

2.2.31. სასწორის ჭამზე ხტუნავს m მასის N ბურთულა. იპოვეთ საშუალო ძალა, რომელიც მოქმედებს სასწორის ჭამზე, თუ დარტყმისას ბურთულების სიჩქარე მოდულით არ იცვლება? როგორ შეიცვლება ეს ძალა, თუ დარტყმის შემდეგ ყოველი ბურთულის სიჩქარე მცირდება?

◊2.2.32*. ცილინდრში M მასის დგუშის ქვეშ ხტუნავენ m მასის მქონე N რაოდენობის ბურთულები და დრეკადად ეჭახებიან დგუშსა და ცილინდრის ფსკერს. დგუშზე მოქმედი სიმძიმის ძალა გაწონასწორებულია ბურთულების დარტყმებით. მანძილი ცილინდრის ფსკერსა და დგუშს შორის უდრის h . თითოეული ბურთულის სრული ენერგია ერთნაირია. რა სიმაღლეზე ახტებიან ბურთულები, თუ დგუშს უცებ მოვაცილებთ? $N \gg 1$.

◊2.2.33*. m მასის ნაწილაკი v სიჩქარით მოძრაობს R რადიუსის სფეროს შიგნით და დრეკადად ეჭახება მის კედლებს. ნაწილაკის სიჩქარე ქმნის α კუთხეს დაჭახების წერტილში გატარებულ რადიუსთან. მოდულით რა საშუალო ძალით მოქმედებს სფეროს კედლები ნაწილაკზე? იპოვეთ საშუალო ძალა,

რომელიც მოქმედებს სფეროს ფართობის ერთეულზე, თუ მოცულობის ერთეულში არის N ასეთი ნაწილკი? ნაწილაკები ერთმანეთს არ ეჯახებიან.

◊2.2.34. თითოეული M მასის ორი ურიკა პარალელურად მოძრაობენ

v_1 და v_2 საწყისი სიჩქარეებით. m მასის ტვირთი, რომელიც თავდაპირველად პირველ ურიკაზე დევს, ამ ურიკას მიმართ თითქმის ნულოვანი სიჩქარით გადაისროლეს მეორე ურიკაზე. შემდეგ უკვე მეორე ურიკის მიმართ თითქმის ნულოვანი სიჩქარით ის გადაისროლეს ისევ პირველ ურიკაზე. იპოვეთ ურიკების სიჩქარეების სხვაობა ტვირთის იქით და აქეთ N ასეთი გადასროლის შემდეგ. შეეცადეთ ხარისხობრივად ახსნათ ბლანტი ხახუნი, რომელიც ჩნდება აირის ფენების ერთმანეთის მიმართ მოძრაობის დროს.

2.2.35. S განივივეთის რაკეტა მოძრაობს კოსმოსურ სივრცეში u

სიჩქარით და ხვდება ρ სიმკვრივის უძრავი მტვრის ღრუბელში. წევის რა ძალა უნდა განავითაროს რაკეტის ძრავამ, რომ მან შეძლოს მოძრაობის გაგრძელება იმავე მუდმივი სიჩქარით? ჩათვალეთ, რომ მტვერი რაკეტას ეჯახება აბსოლუტურად არადრეკადად. რაკეტის მასის ცვლილება უგულებელყავით.

2.2.36. m მასის რაკეტა დაკიდებულია დედამიწის ზედაპირის თავზე. რამდენი საწვავის დახარჯვა მოუწევს მას დროის ერთეულში, თუ აირის გამოდინების სიჩქარე არის u . როგორ შეიცვლება შედეგი, თუ რაკეტა a აჩქარებით ადის?

2.2.37. განსაზღვრეთ v სიჩქარით მოძრავი თვითმფრინავის საჰაერო-რეაქტორული ძრავის წევის ძალა. საწვავისა და ძრავაში მიწოდებული პარის მასური ხარჯი შესაბამისად არის μ_1 და μ_2 . წვის პროდუქტების სიჩქარე თვითმფრინავის მიმართ ძრავიდან გამოსვლის დროს არის u .

2.2.38. წყლისმფრქვევი კატარლა მოძრაობს მშვიდ წყალზე. წყლის წინააღმდეგობის ძალაა $F = k v^2$. ამოფრქვეული წყლის სიჩქარე კატარლის მიმართ არის u . განსაზღვრეთ კატარლის მოძრაობის დამყარებული სიჩქარე, თუ ძრავის მიერ შეწოვილი წყლის ნაკადის განივივეთი არის S , წყლის სიმკვრივეა ρ .

2.2.39. r რადიუსის მილი ავსებულია ρ_0 სიმკვრივის ფორიანი ნივთიერებით. დგუში, რომელზეც მოქმედებს მუდმივი F ძალა, მოძრაობს მილში და ამკვრივებს ნივთიერებას ρ სიმკვრივემდე. როგორი სიჩქარით მოძრაობს დგუში, თუ ნივთიერების გამკვრივება ხდება ნახტომისებურად, ე.ი. მილში რაღაც

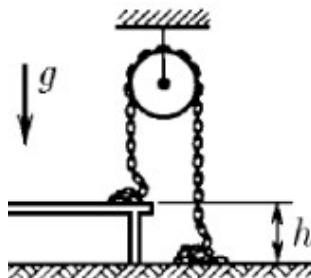
სიჩქარით გადაადგილდება გაყოფის საზღვარი, რომლის მარჯვენა მხარეს ნივთიერების სიმკვრივეა ρ , ხოლო მარცხენა მხარეს – ρ_0 ? საწყის მომენტში ეს საზღვარი ემთხვევა დგუშის ზედაპირს.

2.2.40. სასწორის ჰამბე მოთავსებულია ქვიშის საათი. როდესაც ქვიშა ქვევითაა, სასწორი აჩვენებს $2P_0$. ქვიშის წონაა P_0 . საათს გადააბრუნებენ. დახატეთ სასწორის ჩვენებების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. ქვიშის თითოეული მარცვლის ვარდნის დროა Δt , ქვიშის ჩამოსვლის დრო – T .

2.2.41. ერთგვაროვანი ჰაჭვის ერთი ბოლო ჰკიდია ძაფზე ისე, რომ მისი მეორე ბოლო ეხება მაგიდის ზედაპირს. ძაფი გადაწვეს. განსაზღვრეთ მაგიდაზე ჰაჭვის წნევის ძალის დამოკიდებულება მისი ჰერ კიდევ ჰარში მყოფი ნაწილის სიგრძეზე. რგოლების დარტყმა მაგიდაზე არადრეკადია, ჰაჭვის მასაა m , მისი სიგრძე – l .

2.2.42. რა ძალით აწვება მიწას კობრა, როცა ის ემზადება ნახტომისათვის და მოძრაობს ვერტილაკურად ზევით მუდმივი v სიჩქარით. გველის მასაა m , ხოლო სიგრძე l .

◊2.2.43. არადრეკადი რგოლებიანი ჰაჭვი გადადებულია ბლოკზე ისე, რომ მისი ერთი ნაწილი დევს მაგიდაზე, ხოლო მეორე – იატაკზე. მას შემდეგ რაც ჰაჭვს გაუშვეს ხელი, ის ამოძრავდა. იპოვეთ ჰაჭვის დამყარებული თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე. მაგიდის სიმაღლეა h .



◊ **2.2.44***. გლუვ ლურსმანზე გადადებულ თოკს v სიჩქარით ატარებენ ჭუქრუტანაში. ჭუქრუტანაში ხახუნის ძალაა F , თოკის სიგრძის ერთეულის მასაა ρ . განსაზღვრეთ ლუსმანზე მოქმედი ძალა, თუ თოკის უბნები ლურსმნის სხვადასხვა მხარეს ქმნიან α კუთხეს. რა სიჩქარე უნდა ჰქონდეს თოკს, რომ ის დაშორდეს ლურსმანს?

2.2.45. კოსმოსური ხომალდის სიჩქარის v -თი შეცვლისას მისი მასა შემცირდა k ჰერ. რამდენჯერ შემცირდებოდა მისი მასა აირის გამოდინების იმავე

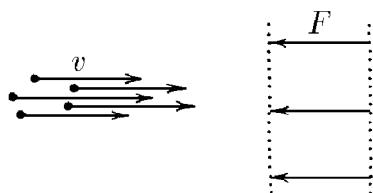
სიჩქარის დროს (რაკეტის მიმართ), თუ მისი სიჩქარე შეიცვლებოდა სიდიდით,
რომელიც n ჯერ მეტია ν -გვ?

2.2.46*. რაკეტიდან გამოტყორცნილ აირს რაკეტის მიმართ აქვს ν სიჩქარე. განსაზღვრეთ რაკეტის სიჩქარის ცვლილება მას შემდეგ, რაც მისი მასა აირის გამოდინების გამო n ჯერ შემცირდა.

2.2.47*. რაკეტიდან ამოტყორცნილი აირის სიჩქარე რაკეტის მიმართ არის 2 კმ/სთ. შეაფასეთ რაკეტის საწყისი მასა, თუ მას შეუძლია დედამიწის ორბიტაზე გაიყვანოს 10^4 კგ მასის თანამგზავრი. როგორ შეიცვლება შედეგი, თუ აირის გამოდინების სიჩქარე ორჯერ მეტი იქნება?

§ 2.3. კინეტიკური ენერგია. მუშაობა. პოტენციალური ენერგია.

◊2.3.1. ერთნაირი v სიჩქარის მქონე სხვადასხვა მასის დამუხტული ნაწილაკების კონა მიმართეს ორი ბადისებური ელექტროდების მართობულად, რომელთა შორის თითოეულ ნაწილაკზე მოქმედებს ერთიდაიგივე F ძალა. კონაში ნაწილაკების რა უმცირესი მასის შემთხვევაში მიაღწევს მეორე ბადეს ყველა ნაწილაკი, თუ ელექტროდებს შორის მანძილი არის l ?

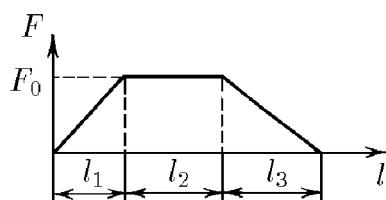


2.3.2. განსაზღვრეთ l მანძილით დაშორებულ ბადისებრ ელექტროდებს შორის m მასის ნაწილაკზე მოქმედი ძალა, თუ მისი სიჩქარე შეიცვალა პირველ და მეორე ელექტროდებს შორის v_1 -დან v_2 მნიშვნელობამდე. როგორ შეიძლება განისაზღვროს ნაწილაკზე მოქმედი ძალის მიმართულება ნაწილაკის სიჩქარის მნიშვნელობების მიხედვით?

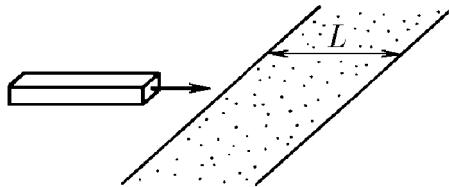
2.3.3. გადატვირთვისა და უწონობის პირობებში მოწყობილობის გამოსაცდელად კონტეინერი, რომელშიც ეს მოწყობილობაა მოთავსებული, ააგდეს 125 მ სიმაღლეზე ვაკუუმური შახტის ფსკერზე განთავსებული პნევმატურ დგუშიანი დანადგარის მეშვეობით. რა ძალით მოქმედებს ამომგდები დგუში კონტეინერზე, თუ დგუში ადის $h=1$ მ სიმაღლეზე, ხოლო კონტეინერის მასა მოწყობილობასთან ერთად არის $m=2$ ტ?

2.3.4. შეაფასეთ საშუალო ძალა, რომელსაც ავითარებენ ადამიანის ფეხები, როცა ის ეშვება მინაბე მეორე სართულის ფანჯრიდან გადმოხტომის დროს.

◊2.3.5. ქვემეხის ლულაში m მასის ჭურვზე მოქმედი ძალა ლულის l_1 სიგრძის უბანზე თანაბრად იზრდება ნულიდან F_0 -მდე, არ იცვლება ლულის l_2 სიგრძის უბანზე და ბოლოს, თანაბრად მცირდება ნულამდე ლულის l_3 სიგრძის უბანზე. როგორია ჭურვის სიჩქარე ლულიდან გამოფრენისას?

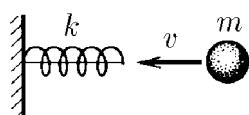


◊2.3.6. ერთგვაროვანი ძელაკი, რომელიც მისრიალებს გლუვ პორიზონტალურ ზედაპირზე, ხვდება ამ ზედაპირის L სიგრძის ხაოიან უბანზე, რომელზეც მისი ხახუნის კოეფიციენტია μ . როგორი საწყისი სიჩქარე უნდა ჰქონდეს მას ამ უბანის გადასალახავად?



2.3.7. 2 მ სიგრძისა და 1 კგ მასის ფანჯრის ფარდას ახვევენ პატარა მუთაქად ფანჯრის თავზე. რა მინიმალური მუშაობა დაიხარჯება ამ დროს? ხახუნი უგულებელყავით.

◊2.3.8. ^k სიხისტის ზამბარის ერთი ბოლო მიმაგრებულია უძრავ კედელზე. მის მეორე ბოლოს ზამბარის გასწვრივ საწყისი ^v სიჩქარით ეჭახება m მასის ბურთი. იპოვეთ ზამბარის მაქსიმალური დეფორმაცია. გაეცით პასუხი ამ კითხვას იმ შემთხვევისათვის, როცა ზამბარა წინასწარაა შეკუმშული და მას აკავებს უჭიმვადი ძაფი, რომლითაც შეკრულია მისი ბოლოები (ზამბარის საწყისი დეფორმაცია უდრის x_0).

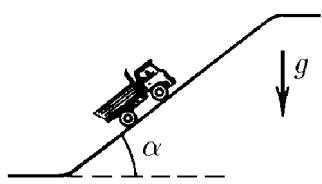


2.3.9. ^k სიხისტის რეზინის გრძელი ზონრიდან გააკეთეს ორგაპი. იპოვეთ ამ ორგაპიდან ნასროლი „ჭურვის“ კინეტიკური ენერგია, თუ რეზინა გაჭიმეს F ძალით, შემდეგ კი ხელი გაუშვეს.

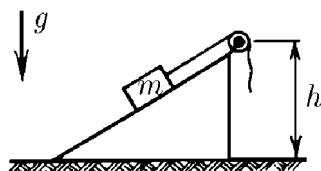
2.3.10. რატომ ისვრის ცუდად ზედმეტად დაჭიმული და ზედმეტად მოშვებული მშვილდები?

2.3.11. ^l სიგრძის ფიცრის ზედა ბოლოდან, რომელიც ვერტიკალთან ქმნის α კუთხეს, იწყებს სრიალს m მასის სხეული. იპოვეთ ფიცრის ბოლოში მისი კინეტიკური ენერგია. განიხილეთ შემთხვევა ხახუნის გარეშე და ხახუნით, როცა ხახუნის კოეფიციენტი $\mu < \operatorname{ctg} \alpha$.

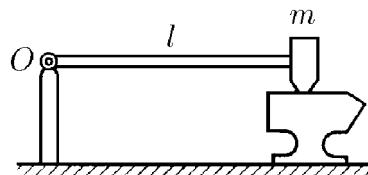
◊2.3.12. ავტომობილი მომუშავე ძრავით ადის მოყინულ მთაზე, რომლის ზედაპირი პორიზონტან ქმნის α კუთხეს. რა სიმაღლის უნდა იყოს მთა, რომ ავტომობილმა შეძლოს მასზე ასვლა, თუ მთაზე ასვლისას მისი საწყისი სიჩქარეა ^v, ხოლო ბორბლების ყინულზე ხახუნის კოეფიციენტი $\mu < \operatorname{tg} \alpha$?



◊2.3.13. დახრილ სიბრტყეზე m მასის ტვირთს ბლოკისა და ბაგირის მეშვეობით ნელა წევენ h სიმაღლეზე. ამასთან სრულდება A მუშაობა. შემდეგ ბაგირს ხელს უშვებენ და ტვირთი ქვემოთ მისრიალებს. რა სიჩქარეს განავითარებს ის საწყის წერტილში დაშვებისას?

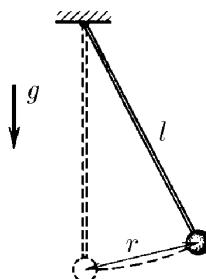


◊2.3.14. l სიგრძის მსუბუქ ღეროს ბოლოს მიმაგრებული აქვს m მასის მძიმე ტვირთი (შუა საუკუნეების ურო). მას აბრუნებენ ღეროს მეორე ბოლოზე გამავალი ღერძის გარშემო და ჰორიზონტალური მდებარეობიდან გადაჰყავთ თითქმის ვერტიკალურ მდებარეობაში. რა უმცირესი მუშაობაა საჭირო უროს ასაწევად? ღერძში ხახუნი უგულებელყოფილია.



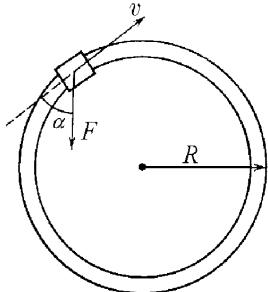
2.3.15. რა უმცირესი მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ მიწაზე დადებული l სიგრძისა და m მასის გრძელი ერთგვაროვანი ბოძი დავაყენოთ ვერტიკალურად?

◊2.3.16. l სიგრძის ძაფზე ჩამოკიდებული ტვირთი r მანძილით გადახარეს წონასწორობის წერტილიდან და გაუშვეს. იპოვეთ მისი მაქსიმალური სიჩქარე.

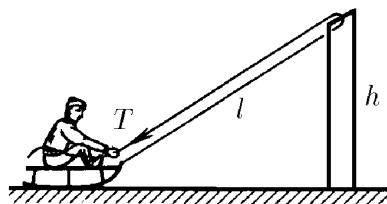


◊2.3.17. რელსებზე, რომლებიც ქმნიან R რადიუსიან ჰორიზონტალურ წრიულ გზას, v სიჩქარით მიგორავს m მასის ვაგონეტი. მუშა მისდევს მას და

ექანიკური უკან F ძალით, რომელიც ვაგონების მოძრაობის მიმართულებასთან ადგენს $\pi - \alpha$ კუთხეს. რამდენ წრიულ ბრუნს შეასრულებს ვაგონები გაჩერებამდე? ხახუნი არაა.

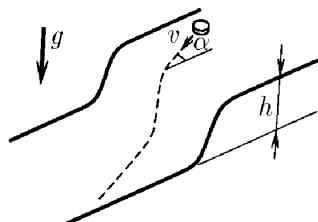


◊**2.3.18***. თოკი მიბმულია მარხილზე და გადადებულია h სიმაღლის ჭიშკრის ხარიხაზე. მარხილში მჯდომი ბიჭი იწყებს თოკის მოქანვას და ჭიმავს მას T ძალით. რა სიჩქარე ექნება მას ხარიხის ქვეშ გავლისას? თოკის დაჭიმული ნაწილის საწყისი სიგრძეა $2l$, ბიჭისა და მარხილის მასაა m . ხახუნი არაა.



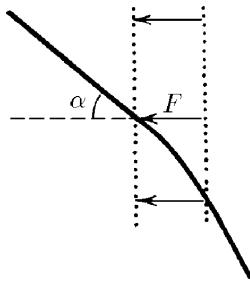
2.3.19. ორი ერთნაირი სხეული გაისროლეს პორიტონტისადმი ერთნაირი კუთხით და მოდულით ერთნაირი სიჩქარეებით. ერთი სხეული გასროლის შემდეგ მოძრაობს თავისუფლად, ხოლო მეორე მოძრაობს ხახუნის გარეშე სწორ მილში. რომელი სხეული ავა უფრო მაღლა?

◊**2.3.20.** ერთმანეთისაგან h სიმაღლით დაშორებული პორიტონტალური სიბრტყეები მდოვრედ ერთდებიან. 8ედა 8ედაპირზე მორაობს სხეული v სიჩქარით, რომელიც სიბრტყეების შემაერთებელი წრფის ნორმალთან ქმნის α კუთხეს. იპოვეთ ქვედა სიბრტყეზე კუთხე სხეულის სიჩქარესა და სიბრტყეების შემაერთებელი წრფის ნორმალს შორის. ხახუნი არაა.



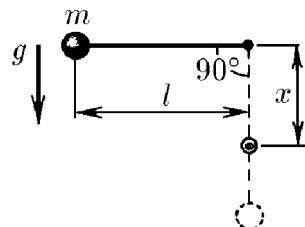
◊**2.3.21.** m მასის ნაწილაკი v სიჩქარით შედის დამამუხრუქებელი F ძალის მოქმედების არეში ამ ძალის მიმართულებასთან α კუთხით. F ძალის

მიმართულებასთან რა კუთხით გამოფრინდება ის ამ არიდან? ძალის მოქმედების არის სიგანეა¹. რა პირობის დროს ვერ შეძლებს ნაწილაკი ამ არის გადალახვას?



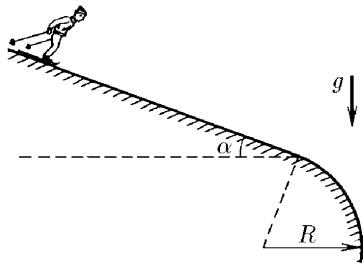
2.3.22. ძაფზე ჩამოკიდებულია ბურთულა. ძაფი მოჰყავთ პორიზონტალურ მდგომარეობაში და შემდეგ ბურთულას უშვებენ ხელს. ტრაექტორიის რომელ წერტილშია ბურთულას აჩქარება მიმართული ვერტიკალურად ზევით? ვერტიკალურად ქვევით? პორიზონტალურად?

◊**2.3.23.** ¹ სიგრძის ძაფი მასზე მიბმულ m მასის ბურთულასთან ერთად გადახარეს ვერტიკალიდან 90° -ით და გაუშვეს ხელი. საკიდელის წერტილის ქვეშ რა უმცირეს მანძილზე უნდა ჩავასოთ ლურსმანი, რომ ძაფი მასთან შეჯახების დროს გაწყდეს? ძაფი უძლებს დაჭიმულობის T ძალას.



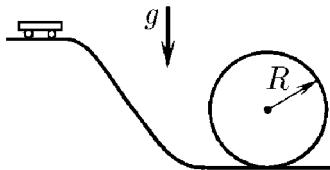
2.3.24. m მასის ქანქარის ბურთულას მიანიჭეს მინიმალური სიჩქარე, რომლის დროს მას ჭერ კიდევ შეუძლია შემოწეროს წრენირი ვერტიკალურ სიბრტყეში. რა ძალა მოქმედებს ღერძზე, როდესაც ქანქარა გადის წონასწორობის მდებარეობას? განიხილეთ შემთხვევები, როდესაც ბურთულა ჩამოკიდებულია მსუბუქ ღერძზე და ძაფზე.

◊**2.3.25.** ფერდობის მომრგვალების ადგილიდან რა მინიმალურ მანძილზე უნდა იყოს განლაგებული მოთხილამურეების სასტარტო ბაქანი, რომ მომრგვალებულ ადგილამდე მისვლის შემდეგ მათ დაიწყონ თავისუფალი ფრენა? ფერდობის კუთხე არის α , მისი დამრგვალების რადიუსია R , თხილამურებსა და თოვლს შორის ხახუნის კოეფიციენტია $\mu < \tan \alpha$. მოთხილამურეების სასტერტო სიჩქარე უგულებელყავით.



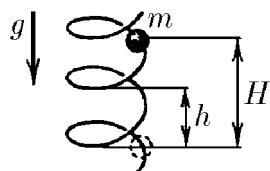
2.3.26. პორიზონტალურ სიბრტყეზე უძრავად მდგარ R რადიუსის გლუვი ნახევარსფეროს წვეროდან ჩამოსრიალდა მცირე ზომის სხეული. ამ სიბრტყიდან რა სიმაღლეზე მოწყდება სხეული ნახევარსფეროს?

◊2.3.27. ურიკა მისრიალებს გლუვ რელსებზე, რომლებიც ქმნიან R რადიუსიან ვერტიკალურ მარყუჟს. მარყუჟის ქვედა წერტილიდან რა მინიმალური სიმაღლიდან უნდა ჩამოგორდეს ურიკა იმისათვის, რომ არ აშორდეს რელსებს მთელი მოძრაობის განმავლობაში?



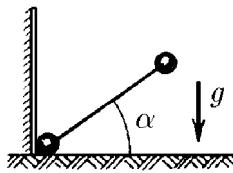
К задаче 2.3.27

◊2.3.28*. ვერტიკალურად განლაგებულ გლუვ და მყარ სპირალზე მისრიალებს m მასის მძივის მარცვალი. სპირალის მარყუჟის რადიუსია R , სპირალის ბიჭი (მანძილი ორ მეტობელ ხვიას შორის ვერტიკალის გასწვრივ) არის h . რა ძალით მოქმედებს მძივის მარცვალი სპირალზე ვერტიკალურად H მანძილით დაშვების მომენტში? მძივის მარცვლის საწყისი სიჩქარე ნულია.



2.3.29*. m მასის მცირე ზომის სხეული მისრიალებს გლუვი მავთულის ვერტიკალურად განლაგებულ ტალღისებურ უბანზე. ტალღის სიგრძე ბევრად მცირეა უბნის სიგრძეზე და ბევრად მეტია სხეულის ზომებზე, ხოლო მავთულის სიგრძე უბანზე k ჰერ მეტია თვითონ უბნის სიგრძეზე. რა საშუალო ძალით მოქმედებს სხეული მავთულის ამ უბანზე?

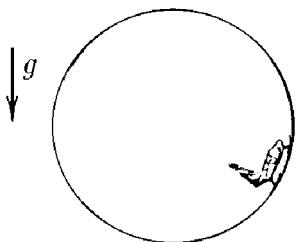
◊2.3.30. განსაზღვრეთ ძალა, რომლითაც ვარდნილი ჰანტელი მოქმედებს ვერტიკალურ კედელზე იმ მომენტში, როდესაც ჰანტელის ღერძი პორიზონტან ქმნის α კუთხეს. ჰანტელი იწყებს მოძრაობას ვერტიკალური მდებარეობიდან საწყისი სიჩქარის გარეშე. ჰანტელის თითოეული ბურთულის მასაა m .



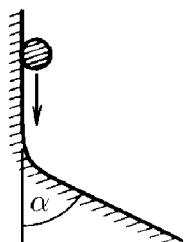
К задаче 2.3.30

2.3.31. 1 Сигурдис პანტელი ბოლოებში ერთნაირი მასის ბურთულებით მოთავსებულია ვერტიკალურად გლუვ პორიზინტალურ სიბრტყეზე. შემდეგ პანტელს უშვებენ. განსაზღვრეთ ზედა ბურთულის სიჩქარე სიბრტყეზე დარტყმის წინ.

◊2.3.32*. იპოვეთ ხახუნის ძალის მუშაობა ვერტიკალურ წრიულ ბილიკზე მოძრავი აერომარხილის ერთი ბრუნისას. მარხილის სიჩქარე მუდმივია და უდრის v , მარხილის მასაა m , ხოლო ხახუნის კოეფიციენტი μ .



◊2.3.33*. სხეული მისრიალებს ბრტყელ ზედაპირზე, რომელიც მდოვრედ გადადის სხვა ბრტყელ ზედაპირში. მეორე სიბრტყე განთავსებულია პირველთან α კუთხით. ხახუნის კოეფიციენტია μ . განსაზღვრეთ ზედაპირების შეუღლების უბნის ბოლოში კინეტიკური ენერგია, თუ დასაწყისში ის უდრის K_0 .



2.3.34*. ცხრილში მოყვანილია ფოტოემულსიაში წყალბადის იზოტოპთა ბირთვების გარბენის სიგრძის დამოკიდებულება საწყის კინეტიკურ ენერგიაზე. ამ მონაცემთა მიხედვით ააგეთ ბირთვების დამამუხრუჭელი ძალის დამოკიდებულება სიჩქარის კვადრატზე და დაადასტურეთ ან უარყავით მოსაზრება, რომ ეს ძალა არ არის დამოკიდებული ბირთვების მასაზე. კარგი სიზუსტით დეიტერონის მასა არის $m_d = 2m_p$, ტრიტონის მასა $m_t = 3m_p$, პროტონის მასა - m_p .

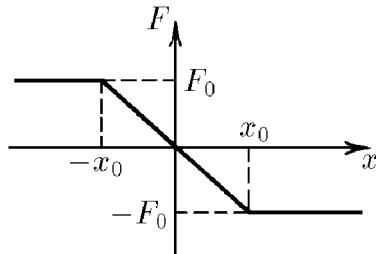
გარბენი ,	ენერგია, მევ	გარბენი ,	ენერგია, მევ
--------------	--------------	--------------	--------------

	პროტონი	დეიტრონი	ტრიტონი		პროტონი	დეიტრონი	ტრიტონი

2.3.35. m მასის ნაწილაკი შეფრინდა არეში, სადაც მასზე მოქმედებს დამამუხრუჭებელი ძალა, რომელიც დამოკიდებულია მხოლოდ ნაწილაკსა და უბნის საზღვარს შორის მანძილზე. იპოვეთ ეს დამოკიდებულება, თუ დამამუხრუჭების არეში ნაწილაკის შეღწევის სიღრმე მისი საწყისი იმპულსის პროპორციულია: $I=ap$.

2.3.36*. აჩვენეთ, რომ თუ ნაწილაკის დამამუხრუჭებელი ძალა მისი სიჩქარის პროპორციულია, მაშინ ამ ნაწილაკის გარბენის სიგრძე ნაწილაკის საწყისი იმპულსის პროპორციული იქნება (იხ. წინა ამოცანა). მოცემული α -ს დროს ($I=ap$) იპოვეთ დამამუხრუჭებელი ძალის მუშაობა x გზაზე ნაწილაკისთვის, რომლის მასა არის m , ხოლო საწყისი იმპულსი P .

2.3.37. წრფივად მოძრავ ნაწილაკზე მოქმედი ძალის ნაწილაკის კოორდინატზე დამოკიდებულება მოყვანილია გრაფიკზე. იპოვეთ ნაწილაკის პოტენციალური ენერგიის დამოკიდებულება კოორდინატზე. რა არეში იმოძრავებს ნაწილაკი, თუ მისი მაქსიმალური კინეტიკური ენერგიაა K ?



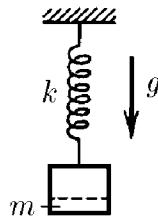
2.3.38. ერთმანეთისაგან r მანძილზე დაშორებული q და Q წერტილოვანი მუხტების ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიაა $U=kqQ/r$. იპოვეთ მუხტების ურთიერთქმედების ელექტროსტატისტიკური ძალა. როგორი მუხტებისთვის ექნება ადგილი განზიდვას, და როგორისთვის – მიზიდვას?

2.3.39. ერთერთ სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში გადაწყვიტეს გამოეყენებინათ წერტილოვანი მუხტების პოტენციალური ენერგია $U'=kqQ/r-kqQ/R$ სახით, სადაც R არის მუდმივი მანძილი, რომელიც ერთხელ და სამუდამოდაა დადგენილი. მოახდენს თუ არა გავლენას ნაწილაკების მოძრაობის შესწავლაზე U' -ს გამოყენება $U=kqQ/r$ -ს მაგივრად?

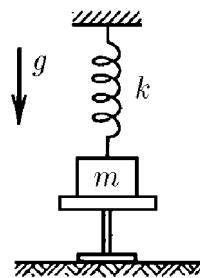
2.3.40. უძრავ წერტილოვან წყაროსთან ნაწილაკის ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიაა $U=V(l^2/r^2-2l/r)$, სადაც r ნაწილაკსა და წყაროს შორის მანძილია, ხოლო V და l დადებითი მუდმივი სიდიდეები, რომლებსაც

გააჩნიათ შესაბამისად ენერგიისა და მანძილის განზომილებები. იპოვეთ ნაწილაკის წრფივი მოძრაობისას წყაროდან მისი მაქსიმალური და მინიმალური დაშორება, თუ სისტემის სრული ენერგიაა E .

◊2.3.41. k სიხისტის ზამბარაზე ჩამოკიდებულ ტვირთს მოწყდა m მასის ნაწილი. რა სიმაღლეზე ავა ამის შემდეგ ტვირთის დარჩენილი ნაწილი?

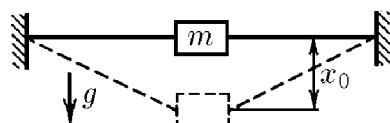


◊2.3.42. k სიხისტის ზამბარაზე ჩამოკიდებული m მასის ტვირთი იმყოფება სადგამზე. ამ დროს ზამბარა არაა დეფორმირებული. სადგამი უცებ მოაშორეს. განსაზღვრეთ ზამბარის მაქსიმალური წაგრძელება და ტვირთის მაქსიმალური სიჩქარე.



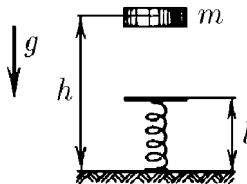
2.3.43. ჭერბე მიბმულია რეზინის ზონარი, რომლის თავისუფალი ბოლო იმყოფება იატაკიდან h სიმაღლეზე. თუ მასზე ჩამოკიდებოთ მცირე ზომის მძიმე ტვირთს, რომელსაც შემდეგ ნელნელა დავუშვებთ, მაშინ ზონრის ბოლო ტვირთთან ერთად დაეშვება $h/3$ მანძილზე. იატაკიდან რა უმცირეს მანძილზე უნდა ავნიოთ ტვირთი, რომ გაშვების შემდეგ ის შეეხოს იატაკს? როგორ შეიცვლება პასუხი, თუ რეზინის ზონარს შევცვლით ზამბარით?

◊2.3.44. ²¹ სიგრძის გაუჭიმავი რეზინის ზონარი თავისი ბოლოებით მიმაგრებულია კედლებს. ზონარის შუაში მიაბეს m მასის ტვირთი, რომელიც ბიძგის გარეშე გაუშვეს. წარმოშობილი რხევების დროს უდიდესი მანძილი, რომელზეც ტყირთი დაეშვება არის x_0 . როგორია ამ ზონრის სიხისტე?

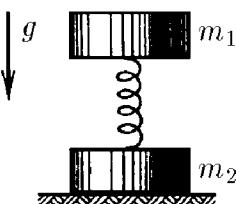


◊2.3.45. m მასის სხეული h სიმაღლიდან ვარდება იატაკზე ვერტიკალურად მდგარ k სიხისტისა და l სიგრძის ზამბარაზე. განსაზღვრეთ

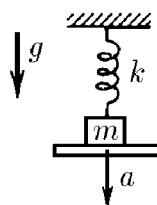
იატაკზე მაქსიმალური წნევის ძალა. ახსენით, რატომ იზრდება ეს ძალა ზამბარის სიხისტის გაზრდით.



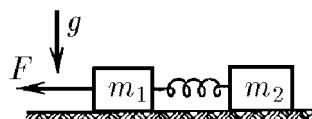
◊2.3.46. რა ძალით უნდა დააწვე m_1 მასის ზედა ტვირთს, რომ m_2 მასის ქვედა ტვირთი, რომელიც ზამბარით უერთდება ზედას, ამ ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ მოწყდეს იატაკს?



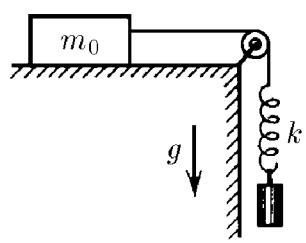
◊2.3.47*. m მასის სხეული ჰქონდა k სიხისტის ზამბარაზე და დევს ფიცარზე ისე, რომ ზამბარა არაა დეფორმირებული. ფიცარს ამოძრავებენ ქვემოთ a აჩქარებით. რისი ტოლი იქნება ზამბარის წაგრძელება იმ მომენტში, როცა სხეული იატაკს მოწყდება? როგორი იქნება ზამბარის მაქსიმალური წაგრძელება?



◊2.3.48*. ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე დევს m_1 და m_2 მასის არადეფორმირებული ზამბარით შეერთებული ორი ძელაკი. განსაზღვრეთ, რა უმცირესი მუდმივი ძალა უნდა მოვდოთ მარცხენა ძელაკს, რომ დავძრათ მარჯვენაც, თუ ტვირთების სიბრტყეზე ხახუნის კოეფიციენტია μ .



◊2.3.49. ჰორიზონტალურ მაგიდაზე მოთავსებულია m_0 მასის სხეული. სხეულზე მიბმულია უქიმვადი ძაფი, რომელიც გადადებულია ბლოკზე. ძაფის თავისუფალ ბოლოზე მიბმულია ზამბარა. რა მასის ტვირთი უნდა მივაბათ ზამბარას, რომ დაშვებისას მან შეძლოს დაძრას აღგილიდან m_0 მასის სხეული, თუ სხეულის მაგიდაზე ხახუნის კოეფიციენტა μ ?



§2.4. სისტემის ენერგია. ენერგიის გადაცემა. სიმძლავრე.

2.4.1. m მასის ორი ბურთულა გადაბმულია ძაფით და მოძრაობენ წრეწირზე მუდმივი v სიჩქარით. თითოეული ბურთულის კინეტიკური ენერგიაა $mv^2/2$ და არ იცვლება. თუ გადავალთ ათვლის სისტემაში, რომელშიც ძაფის შუა წერტილი მოძრაობს ბრუნვის სიბრტყეში წრფივად v სიჩქარით, თითოეული ბურთულის ენერგია იცვლება ნულიდან

4($mv^2/2$)-მდე. რა იწვევს ენერგიის ასეთ ცვლილებას? იცვლება თუ არა მითითებულ ათვლის სისტემაში ჯამური კინეტიკური ენერგია?

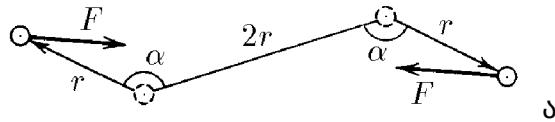
2.4.2. m_1 მასისა და $2l$ სიგრძის ღეროზე შუაში დევს m_2 მასის მცირე ზომის სხეული. ღეროს დარტყმით ანიჭებენ გრძივ v სიჩქარეს. ამ ღეროს სხეული ჩამოსრიალდება ღეროდან. როგორი იქნება ამის შემდეგ სისტემის კინეტიკური ენერგია, თუ ხახუნის ძალა ტოლია F ?

2.4.3*. k სიხისტის გამბარა ჩაჭერილია ორ სხეულს შორის. მას შემდეგ რაც ორივე სხეული ერთოულად გაანთავისუფლეს, ისინი გამბარის მაქსიმალურ გაფიმვამდე გადიან x_1 და x_2 მანძილებს. რა კინეტიკური ენერგია შეიძინა თითოეულმა სხეულმა?

◊2.4.4*. ტრანსპორტიორის ლენტი მოძრაობს ჰორიზონტალურად u სიჩქარით. მცირე ზომის სხეული მიფრინავს ლენტის სიბრტყის პარალელურ სიბრტყეში ლენტის მოძრაობის მიმართულების პერპენდიკულარულად და იმ მომენტში, როცა სხეული ხვდება ლენტზე, უდრის v . სხეული იწყებს სრიალს ლენტზე და შემდეგ ჩერდება. იპოვეთ ლენტის მხრიდან სხეულზე მოქმედი და სხეულის მხრიდან ლენტზე მოქმედი ხახუნის ძალების მუშაობა. რატომაა ეს მუშაობები განსხვავებული?

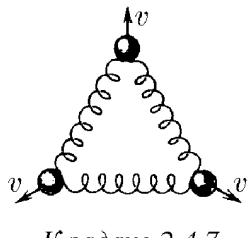


◊2.4.5. ნაწილაკებს, რომელთა შორის მოქმედებს ურთიერთ მიზიდულობის მუდმივი F ძალა, აკავებენ ერთმანეთისაგან $2r$ მანძილზე. შემდეგ მათ ნელანელა გადაადგილებენ საწინააღმდეგო მიმართულებებით ნაწილაკების პირვანდელი მდებარეობის შემაერთებელი წრფის მიმართ α კუთხით. რა მუშაობა უნდა შესრულდეს, რომ გადავაადგილოთ ნაწილაკები ერთმანეთისაგან r მანძილზე? როგორი α -ს დროს იქნება ეს მუშაობა ნულის ტოლი?



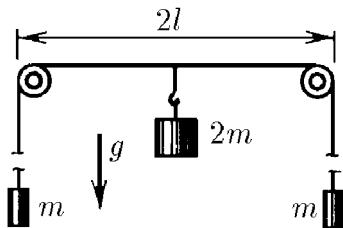
2.4.6*. რატომაა ნაწილაკების ცენტრალური ურთიერთქმედების დროს სრული კინეტიკური ენერგიის ცვლილება დამოკიდებული მხოლოდ ნაწილაკებს შორის მანძილის ცვლილებაზე, და არა მათი როგორც მთლიანის გადანაცვლებაზე ან მობრუნებაზე?

◊2.4.7. თითოეული m მასის სამი ბურთულა დაკავშირებულია ერთმანეთთან k სიხშირის ერთნაირი ზამბარებით. ერთდროულად ყველა ბურთულას მიანიჭეს v სიჩქარე, რომელიც მიმართულია სისტემის ცენტრიდან. რა მაქსიმალური მანძილით გადაადგილდებიან ბურთულები ამ მიმართულებით?

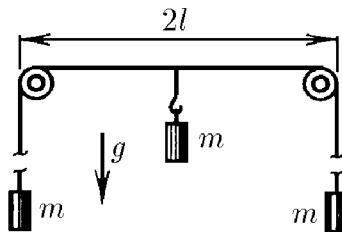


2.4.8. l მანძილზე დაშორებული ორი ერთნაირი მუხტი განთავისუფლების შემდეგ იწყებენ მოძრაობას ერთნაირი სიჩქარეებით, რომლებიც მუხტების ერთმანეთისაგან უსასრულო დაშორებისას მიისწრაფვიან v ზღვრული მნიშვნელობისაკენ. როგორი იქნება ზღვრული სიჩქარე, თუ თავდაპირველად სამი ასეთივე მუხტი მოთავსებულია წესიერი სამკუთხედის წვეროებში, რომლის გვერდის სიგრძეა l ?

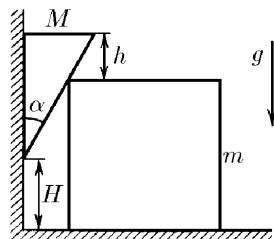
◊2.4.9*. გრძელი ძაფის ბოლოებზე ჩამოკიდებულია m მასის ტყვირთები. ძაფი გადადებულია ორ მსუბუქ პატარა ბლოკზე, რომლებიც ერთმანეთისაგან $2l$ მანძილზე არიან განლაგებულნი. ძაფს შეა ნაწილში ჩამოკიდეს $2m$ მასის ტვირთი, და სისტემა იწყებს მოძრაობას. იპოვეთ ტვირთების სიჩქარე დიდი დროის შემდეგ.



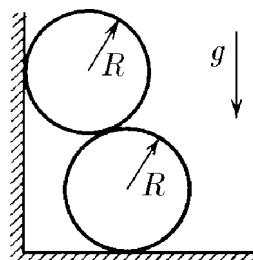
◊2.4.10*. სურათზე გამოსახული სისტემა მოძრაობაში მოჰყავს m მასის ცენტრალურ ტვირთს. იპოვეთ ტვირთის მაქსიმალური დაშორება მისი საწყისი მდებარეობიდან.



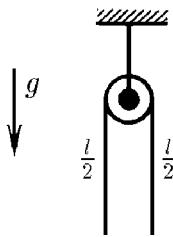
◊2.4.11*. წვეროსთან α კუთხის მქონე M მასის სოლი მჭიდროდაა მიკრული ვერტიკალურ კედელზე და ეყრდნობა m მასის ძელაკს, რომელიც მოთავსებულია პორიტონტალურ სიბრტყეზე. სოლის წვერო იმყოფება ამ სიბრტყიდან H სიმაღლეზე, ხოლო სოლის ფუძე ძელაკის ზედა ზედაპირიდან $h < H$ სიმაღლეზე. თავდაპირველად სისტემას აჩერებენ ამ მდგომარეობაში, ხოლო შემდეგ სხეულებს ხელს უშვებენ. იპოვეთ მათი სიჩქარე პორიტონტალურ სიბრტყეზე სოლის დაცემის მომენტში. ხახუნი უგულვებელყოფილია.



◊2.4.12*. R რადიუსის ორი გლუვი ერთნაირი ცილინდრი ეყრდნობა კედელს. იმის გამო რომ ქვედა ცილინდრი ოდნავ გადაიწია მარჯვნივ პორიტონტალურ სიბრტყეზე, ზედა ცილინდრმა დაიწყო ვერტიკალურად დაშვება, და სისტემა ამოძრავდა. იპოვეთ ქვედა ცილინდრის საბოლოო სიჩქარე.



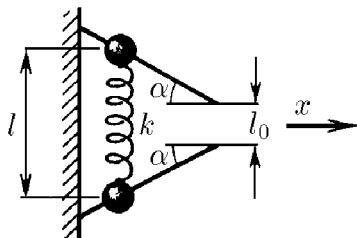
◊2.4.13*. l სიგრძის და m მასის გლუვი ერთგვაროვანი ბანარი გადადებულია პატარა ბლოკზე ისე, რომ საწყის მომენტში წონასწორობაშია. ბანარი ოდნავ წაანაცვლეს და ის იწყებს ბლოკიდან ჩამოსრიალებას. რა ძალით მოქმედებს ის ბლოკზე იმ მომენტში, როცა ბანრის სიგრძე მისგან ერთ მხარეს უდრის $l/3$?



2.4.14*. ჩოგბურთის ბურთზე 1მ სიმაღლიდან ეცემა ფოლადის ბურთულა და ისევ ხტება თითქმის ერთ მეტრზე. შეაფასეთ, დარტყმის შემდეგ რა სიმაღლეზე ახტება ბურთი.

2.4.15*. სისტემა შედგება შეკუმშული ზამბარით შეერთებული ორი ბურთულისაგან. ზამბარის ბოლოები შეკრულია ძაფით. ძაფის გადაწვის შემდეგ წინა ბურთულის საწყისი K კინეტიკური ენერგია გაიზარდა 21%-ით. რა ენერგიას შეიძენდა ეს ბურთულა ძაფის გადაწვის შემდეგ, თუ აქამდე ორივე ბურთულა უძრავი იქნებოდა? რატომ ხდება რომ ზამბარის პოტენციალური ენერგიის ერთნაირი შეცვლის დროს მიიღება კინეტიკური ენერგიის ამდენად განსხვავებული მატება?

◊**2.4.16.** ერთმანეთან k სიხისტის ზამბარით დაკავშირებულ მძივის ორ m მასის მარცვალს აკავებენ კედელში ხისტად დამაგრებულ გლუვ ღეროებზე. ზამბარა გაჭიმულია და მისი სიგრძეა l . ღეროების თავისუფალ ბოლოებს შორის მანძილი არადეფორმირებული ზამბარის სიგრძის ტოლია. მარცვლებს ათავისუფლებენ. რა სიჩქარით იმოძრავებს ზამბარა x მიმართულებით მას შემდეგ, რაც მარცვლები ღეროდან მოწყდებიან? იპოვეთ ზამბარის შეკუმშვის მაქსიმალური დეფორმაცია?



2.4.17. a) $MV^2/2$ სიდიდეს დავარქვათ სისტემის მასათა ცენტრის მოძრაობის ენერგია, სადაც M არის სისტემის მასა, ხოლო V მისი მასათა ცენტრის სიჩქარეა. რა შემთხვევაში დაემთხვევა მასათა ცენტრის მოძრაობის ენერგია სისტემის სრულ კინეტიკურ ენერგიას?

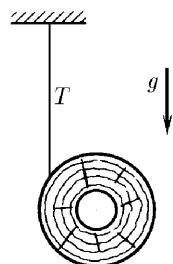
ბ) დაამტკიცეთ, რომ მასათა ცენტრის მოძრაობის ენერგიის ნაზრდი გარეშე ძალების ტოლქმედის მუშაობის ტოლია, თუ ტოლქმედის მოდების წერტილად აღებულია მასათა ცენტრი.

◊**2.4.18.** ვერტიკალურ სიბრტყეში დაბრუნებული და ტანმოვარჯიშის მიერ იატაკზე ნასროლი რგოლი რამდენიმე წამში თავისით ბრუნდება მასთან. ახსენით ეს

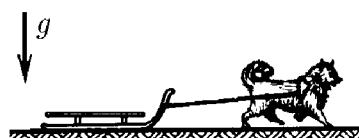
მოვლენა. განსაზღვრეთ ხახუნის კოეფიციენტი რგოლსა და იატაკს შორის, თუ რგოლის ცენტრის საწყისი სიჩქარეა v , ხოლო მანძილი, რომელზეც ის გაგორედება უდრის l .



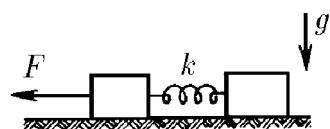
◊2.4.19. m მასის კოქაზე დახვეული ძაფის თავისუფალ ბოლოს ამაგრებენ, ხოლო კოქას უშვებენ. რა სიჩქარეს შეიძენს კოქას ღერძი h მანძილზე დაშვებისას, თუ ძაფის ვერტიკალური უბნის დაჭიმულობის ძალა $T < mg$? რისი ტოლი იქნება ამ მომენტში სრული კინეტიკური ენერგია და კოქას თავისი ღერძის გარშემო ბრუნვის კინეტიკური ენერგია? ძაფის მასა და ხახუნი უგულებელყავით.



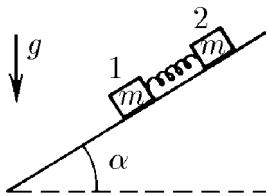
◊2.4.20*. m მასის ძაღლი L სიგრძის თოკით მიბმულია $M > m$ მასის მარხილზე. საწყის მომენტში ძაღლი მარხილის გვერდით იმყოფება. ერთი ბიძგით რა მაქსიმალურ მანძილზე შეუძლია დაძრას ძაღლმა მარხილი, თუ ძაღლის თათებსა და ჰორიზონტალურ ზედაპირთან, აგრეთვე მარხილსა და ჰორიზონტალურ ზედაპირთან ხახუნის კოეფიციენტები ერთნაირია?



◊2.4.21. გლუვ ჰორიზონტალურ მაგიდაზე დევს ორი ერთნაირი ძელაკი, რომლებიც შეერთებულია k სიხისტისა და l_0 სიგრძის ზამბარით. მარცხენა ძელაკზე მოქმედებას იწყებს ზამბარის გასწვრივ მიმართული მუდმივი F ძალა. იპოვეთ ძელაკებს შორის მინიმალური და მაქსიმალური მანძილი.



◊2.4.22*. დახრილი სიბრტყიდან, რომელიც პორიზონტან α კუთხეს ქმნის, იწყებს სრიალს ორი, თითოეული m მასის, სხეული. სხეულები შეერთებულია k სიხისტის თავდაპირველად არადეფორმირებული ზამბარით. განსაზღვრეთ ზამბარის უდიდესი წაგრძელება, თუ ხახუნი ქვედა სხეულსა და სიბრტყეს შორის უგულვებელყოფილია, ხოლო ხახუნის კოეფიციენტი ზედა სხეულსა და სიბრტყეს შორის არის μ .

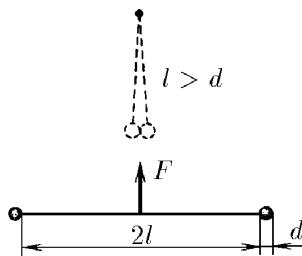


2.4.23. დაამტკიცეთ, რომ ნაწილაკთა სისტემის სრული კინეტიკურ ენერგია არის მასათა ცენტრის მოძრაობის ენერგიისა და მასათა ცენტრის მიმართ სისტემის ნაწილაკების მოძრაობის კინეტიკური ენერგიების (შიდა კინეტიკური ენერგია) ჯამი.

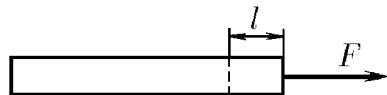
2.4.24. m_1 და m_2 მასი ორი სხეული შეერთებულია k სიხისტის არადეფორმირებული ზამბარით. შემდეგ სხეულებზე ერთდროულად მოდეს საპირისპიროდ მიმართული F ძალები. იპოვეთ სხეულების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია და ზამბარის მაქსიმალური პოტენციალური ენერგია. როგორია სხეულების უდიდესი ფარდობითი სიჩქარე?

2.4.25. სისტემის შინაგანი ენერგია არის მისი ნაწილაკების ერთმანეთთან ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიისა და სისტემის მასათა ცენტრის მიმართ ამ ნაწილაკების მოძრაობის (შინაგანი მოძრაობა) კინეტიკური ენერგიების ჯამი. რა შემთხვევაში დაიყვანება სისტემის სრული ენერგია შინაგანზე. დაამტკიცეთ, რომ სისტემის შინაგანი ენერგიის ნაზრდი უდრის მასათა ცენტრის მიმართ ნაწილაკების გადაადგილებისას ნაწილაკებზე მოდებული გარეშე ძალების მუშაობას.

◊2.4.26. ორი ერთნაირი ბურთი შეერთებულია $2l$ სიგრძის ძაფით, რომლის შუა წერტილში მოდეს მუდმივი F ძალა. წინა ამოცანის შედეგების გამოყენებით იპოვეთ შინაგანი ენეგიის ნაზრდი პირველი დარტყმის მომენტისათვის.



◊2.4.27. m მასის უძრავი პლასტელინის ძელაკის გასწრივ მოდეს მუდმივი F ძალა. ძალის მოქმედების t დროის განმავლობაში ძელაკის ბოლო, რომელზედაც მოდებულია ეს ძალა, გადაადგილდა ძალის მიმართულებით l მანძილზე. რამდენით გაიზარდა ძელაკის შინაგანი ენერგია t დროში?



2.4.28*. m_1 და m_2 მასის ორი სხეული შეერთებულია k სიხისტის არადეფორმირებული ზამბარით. m_1 მასის სხეულზე მოდეს მუდმივი F ძალა. ზამბარაში მცირე შინაგანი ხახუნის გამო აღძრული რხევები მიიღია. რამდენით გაიზარდა სისტემის შინაგანი ენერგია? როგორია ზამბარის საბოლოო ენერგია? თუ რხევების მიღევის მომენტისათვის m_2 მასის სხეულმა გაიარა F ძალის მიმართულებით l მანძილი, მაშინ როგორი იქნება ამ მომენტში სისტემის კინეტიკური ენერგია?

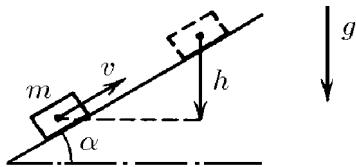
2.4.29. საჭიროა ვაგონების ნახშირით გავსება მატარებლის მოძრაობისას. იპოვეთ დამატებითი მუშაობა, რომელსაც ასრულებს ლოკომოტივის ძრავა m მასის ნახშირის ჩატვირთვის დროს, თუ მატარებლის სიჩქარე მუდმივია და უდრის μ . შეადარეთ ეს მუშაობა კინეტიკურ ენერგიასთან, რომელიც შეიძინა ჩატვირთულმა ნახშირმა. რატომ განსხვავდებიან ეს სიდიდეები?

2.4.30. დახრილ სიბრტყეზე დახრის α კუთხით და ხახუნის μ კოეფიციენტით ტვირთის ნელი აწევის დროს დაიხარჯა A მუშაობა. განსაზღვრეთ, მუშაობის რა ნაწილი მოხმარდა ტვირთისა და დახრილი სიბრტყის შინაგანი ენერგიის გაზრდას.

2.4.31. m_1 და m_2 მასის ორი სხეულის შინაგანი ენერგიაა W_1 და W_2 , ხოლო მასათა ცენტრების სიჩქარეები V_1 და V_2 . როგორია ამ ორი სხეულისაგან შემდგარი სისტემის შინაგანი ენერგია, თუ მათ შორის ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგია შეიძლება უგულებელვყოთ? შეიცვლება თუ არა ეს ენერგია მათი ერთმანეთთან შეჰაებისა და შემდგომი გაფანტვისას?

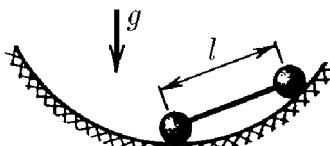
2.4.32. აჩვენეთ, რომ აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახების დროს ხდება შეჰაებული სხეულების ჯამური შენაგანი ენერგიის მაქსიმალური ზრდა. იგულისხმება, რომ სხეულების ერთმანეთთან ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგია შეიძლება უგულებელვყოთ.

◊2.4.33. m მასის სხეულს დახრილ სიბრტყის გასწვრივ ზევით მიანიჭეს v სიჩქარე. h სიმაღლეზე ასვლის შემდეგ ის გაჩერდა. სითბოს¹ რა რაოდენობა გამოიყო ამ დროს?



◊2.4.34. m_1 და m_2 მასის ორი ტვირთი ($m_1 > m_2$) გადაბმულია ძაფით, რომელიც გადადებულია უძრავ ბლოკზე. m_1 მასის ტვირთს საწყის მომენტი აკავებენ იატაკიდან h სიმაღლეზე. შემდეგ მას ბიძგის გარეშე უშვებენ. სითბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა ტვირთის იატაკზე დაცემისას? დარტყმა აბსოლუტურად არადრეკადია.

◊2.4.35. R რადიუსის სფერულ ჭამში ჰანტელს აკავებენ მდგომარეობაში, როცა ერთერთი ბურთულა არის ჭამის ფსკერზე, ხოლო შემდეგ უშვებენ. სითბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა მომენტისთვის, როცა ჰანტელი შეწვეტს თავის მოძრაობას ჭამსა და ჰანტელს შორის მცირე ხახუნის გამო? ჰანტელის სიგრძეა l , თითოეული ბურთულის მასა კი m .



2.4.36. ქალაქის ტროლეიბუსი მოძრაობს დაახლოებით 36 კმ/სთ სიჩქარით და ყოველ 500 მ ჩერდება. შეაფასეთ ტროლეიბუსის მუშაობისას 10 სთ განმავლობაში ელექტროენერგიის ხარჯი, თუ მისი მასაა 5 ტ.

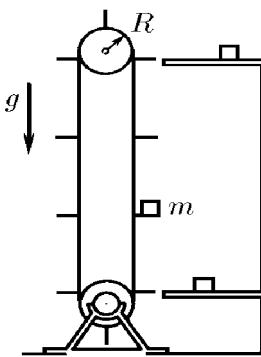
2.4.37. მურაბის ჭამის შემდეგ კარლსონი ბიჭუნას ფანჯრიდან სახურავზე ავიდა, როგორც ყოველთვის, მუდმივი სიჩქარით და ასვლაზე დახარჯა 4 წმ-ით მეტი, ვიდრე სხვა დროს. რა მასის მურაბა შექამა მან, თუ ძრავის სიმძლავრე ყოველთვის არის 75 ვტ, ხოლო ასვლის სიმაღლე - 10 მ.

2.4.38. წყალში მყოფ გემზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა მისი სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია. რადენჭერ უნდა გაიზარდოს იმავე გემის ძრავის სიმძლავრე, რომ მოძრაობის სიჩქარე ორჯერ გაიზარდოს?

¹ სხეულების ჭამური შინაგანი ენერგიის ნაზრდი ერთმანეთზე ხახუნის დროს ან არადრეკადი შეჯახების დროს როგორც წესი გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ტოლია.

2.4.39*. m მასის ავტომობილი დაიძრა ადგილიდან. გზაზე ბორბლების ხახუნის კოეფიციენტია μ . ავტომობილის ორივე ღერძი წამყვანია. იპოვეთ ავტომობილის სიჩქარის დამოკიდებულება დროზე. ძრავის სიმძლავრეა N .

◊2.4.40*. m მასის ტვირთის თანაბარი აწევის დროს ამწეს ძრავის კუთხური სიჩქარეა $\omega = \omega_0(1 - m/m_0)$, სადაც ω_0 ლილვის კუთხური სიჩქარეა ტვირთის არქონის დროს, ხოლო m_0 არის ყველაზე მძიმე ტვირთის მასა, რომელიც შეიძლება ამ ამწემ აწიოს. როგორაა დამოკიდებული ამწეს სასარგებლო სიმძლავრე ლილვის კუთხურ სიჩქარეზე? რა პორციებით უნდა ავწიოთ ტვირთი, რომ განსაზღვრულ დროში რაღაც სიმაღლეზე ავწიოთ უდიდესი მასის ტვირთი?

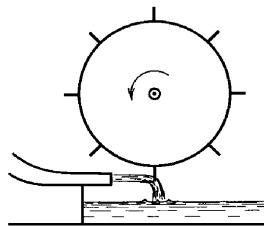


2.4.41*. ამწე წინა ამოცანიდან გადააწყვეს: ძრავის ლილვი შეუერთეს ბარაბანს არა უშუალოდ, არამედ კბილა გადაცემით. ძრავის ლილვები წამოცმულ კბილანას აქვს n_1 კბილი; ბარაბანთან ხისტად შეერთებულ კბილა ბორბალს აქვს n_2 კბილი. ასაწევი ტვირთის როგორი მასის დროს მიიღწევა ამწეს მაქსიმალური სასარგებლო სიმძლავრე? სიმაძლავრის დანაკარგი გადაცემაში უგულებელყავით.

2.4.42*. ელექტროძრავის მქონე ავტომობილის სიმძლავრე დამოკიდებულია ბორბლების ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეზე $N = (A - B\omega)\omega$, $N \geq 0$ კანონით. ჰორიზონტალურ გზატკეცილზე ავტომობილის დამყარებული სიჩქარეა 70 კმ/სთ. ტვირთის გარეშე მას შეუძლია დაძლიოს აღმართი ჰორიზონტისადმი 45° -იანი დახრის კუთხით. როგორია ავტომობილის დამყარებული სიჩქარე აღმართზე ასვლისას, როცა გზატკეცილის დახრის კუთხეა 30° ? როგორი აღმართების გადაღახვას შეძლებს ის, თუ ტვირთის მასა იქნება ავტომობილის მასის ტოლი?

◊2.4.43*. ρ სიმკვრივისა და S კვეთის წყლის ჭავლი v ჰორიზონტალური სიჩქარით ეცემა წყლის ბორბლის ქვედაფრთას, დარტყმის შემდეგ კი ფრთიდან არეკვლის გარეშე იღვრება ქვევით. იპოვეთ ამ წყლის ძრავის სიმძლავრე ბორბლის ω კუთხური სიჩქარით ბრუნვისას. ბორბლის რადიუსია R . ფრთების

რიცხვი იმდენად დიდია, რომ ჭავლის ზემოქმედება შეიძლება ჩათვალოთ უწყვეტად და უგულვებელყოთ ცვლილებები ჭავლში ფრთის შესვლისა და იქედან გამოსვლის დროს.



2.4.44. წყლის მფრქვეველი კატარლა მოძრაობს წყნარ წყალზე მუდმივი v სიჩქარით. ამოფრქვეული წყლის სიჩქარე კატარლის მიმართ არის u . განსაზღვრეთ კატარლის ძრავის მ. ქ. კ. რა უნდა ჩაითვალოს ამ შემთხვევაში სასარგებლო სიმძლავრედ?

2.4.45. m მასის ვერტმფრენი ჰაერში უძრავად ჰკიდია. თავისი ხრახნებით ის ქვევით მიმართავს ჰაერის ჭავლს. როგორი იქნება თვითმფრინავის ძრავის მიერ დახარჯული სიმძლავრე, თუ ჰაერის ჭავლის სიჩქარეა u ?

§ 2.5. დაჯახებები

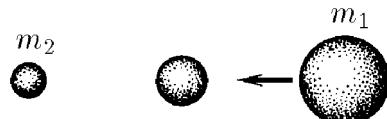
2.5.1. ორი სხეული დაჯახების შედეგად ცვლიან სიჩქარეებს და აგრძელებენ მოძრაობას ერთი და იმავე წრფის გასწვრივ. როგორია ამ სხეულების მასების ფარდობა? არის თუ არა მათი დაჯახება დრეკადი?

2.5.2*. უძრავად მყოფ ბირთვს ეჯახება იმავე მასის ბირთვი. იპოვეთ ბირთვების გაფანტვის კუთხე არაცენტრალური დრეკადი დაჯახების შემდეგ.

2.5.3. უძრავ ბირთვს „ სიჩქარით ეჯახება ბირთვი, რომლის მასა უძრავი ბირთვის მასაზე k ჰერ მეტია. იპოვეთ ბირთვების სიჩქარეების ფარდობა ცენტრალური დრეკადი დაჯახების შემდეგ „ სიჩქარესთან. ააგეთ ამ ფარდობების k რიცხვზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

2.5.4. არც ტყვია და არც მძიმე წყალი თითქმის არ შთანთქავენ ნეიტრონებს. მაშ რატომ იყენებენ ატომურ რეაქტორებში სწრაფი ნეიტრონების შესანელებლად მძიმე წყალს და არ იყენებენ ტყვიას?

2.5.5. m_2 მასის უძრავ ბირთვსა და მისკენ მოძრავ m_1 მასის ბირთვს შორის მოთავსებულია უძრავი ბირთვი. იპოვეთ შუალედური ბირთვის ის მასა, რომლის დროსაც m_2 მასის ბირთვი დაჯახების შემდეგ იძენს მაქსიმალურ სიჩქარეს. ყველა დაჯახება ცენტრალურია და დრეკადი.



2.5.6. ორი ერთნაირი ნაწილაკი მოძრაობს ერთმანეთის მიმართ α კუთხით საწყისი v_1 და v_2 სიჩქარეებით. დრეკადი ურთიერთმქმედების შედეგად ერთერთი ნაწილაკის სიჩქარე გახდა v_1 . იპოვეთ გაფანტვის კუთხე.

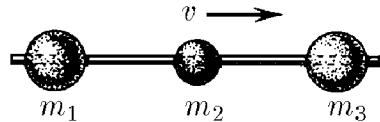
2.5.7. დრეკადი დაჯახებისას სხეულების მაქსიმალური დაახლოების მომენტში მათი სიჩქარეები ერთნაირია და უდრის v -ს. როგორი იქნება ამ სხეულების სიჩქარეები გაფანტვის შემდეგ, თუ დაჯახებამდე მათი სიჩქარეები იყო შესაბამისად v_1 და v_2 ? სხეულები მოძრაობენ ერთ წრფეზე.

2.5.8. m_1 და m_2 მასის ბურთულები მოძრაობენ უძრავ წრიულ მიღწი საწყისი v_1 და v_2 სიჩქარეებით. როგორი იქნება მათი სიჩქარეები 1987, 1988 შეჯახებების შემდეგ? დარტყმები დრეკადია, მიღლი გლუვია.

◊2.5.9*. m_1 , m_2 , m_3 მასის მძივის მარცვლებს შეუძლიათ სრიალი

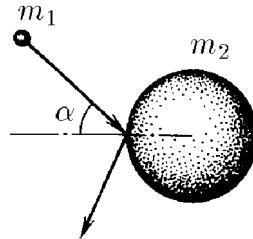
პორიტონტალური წკირის გასწვრივ ხახუნის გარეშე, ამასთან $m_1 \gg m_2$ და $m_3 \gg m_2$.

განსაზღვრეთ განაპირა მარცვლების სიჩქარეები, თუ თავდაპირველად ისინი უძრავი იყვნენ, ხოლო შუათანა მარცვალს ჰქონდა v სიჩქარე. დარტყმები დრეკადია.



◊2.5.10. m_1 მასის ნაწილაკი ეჭახება m_2 მასის ბირთვს. მისი მოძრაობის

მიმართულება ბირთვის ზედაპირის ნორმალთან ადგენს α კუთხეს. ნორმალისადმი რა კუთხით აირეკლება ნაწილაკი ბირთვიდან, თუ თავდაპირველად ბირთვი უძრავი იყო, ხოლო დარტყმა დრეკადი?



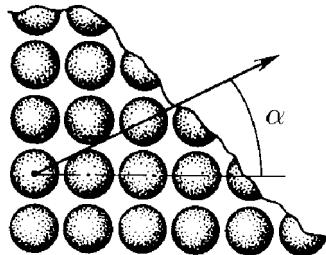
◊2.5.11. ორ ერთნაირ უძრავ ბირთვს ეჭახება ისეთივე მესამე ბირთვი, რომლის ცენტრი მოძრაობს უძრავი ბირთვების ცენტრების შემაერთებელი მონაკვეთის შუახაზზე. დრეკადი დარტყმის შემდეგ დამჯახებელი ბურთი ჩერდება. როგორია მანძილი თავდაპირველად უძრავ ბირთვებს შორის, თუ ბირთვების რადიუსებია R ?



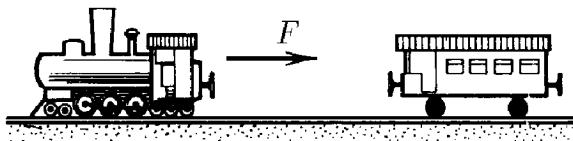
2.5.12. ნეიტრონების ნაკადით კრისტალის დასხივების დროს მისი ზედაპირიდან, რომელიც დაბომბილი მხარის საბირისპიროა, ამოფრინდება ატომები, ამასთან ამოფრენის მიმართულება დამოკიდებულია მხოლოდ კრისტალის ორიენტაციაზე და არაა დამოკიდებული ნეიტრონების ნაკადის მიმართულებაზე. ახსენით ეს მოვლენა.

◊2.5.13. ერთნაირი ბირთვები განლაგებულია სიბრტყეზე ისე, რომ მათი ცენტრები ქმნიან კვადრატული მესრის წვეროებს. უახლოეს ბირთვებს შორის ღრეჩო ერთნაირია და ძალიან მცირეა მათ რადიუსებთან შედარებით. თავდაპირველად უძრავად მყოფ ბირთვებიდან ერთერთს კვადრატის გვერდისადმი α კუთხით მიანიჭეს v სიჩქარე. როგორი იქნება ბირთვების მომდევნო მოძრაობა, თუ ყველა

დარტყმა დრეკადია? განიხილეთ თვისობრივად შემთხვევა, როდესაც მესერს აქვს წესიერი სამკუთხედის ფორმის უჯრედები.

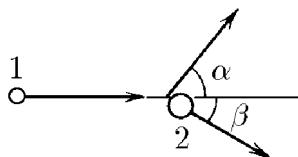


◊2.5.14. ლოკომოტივმა წევის F მუდმივი ძალით დაიწყო მოძრაობა უძრავად მყოფი ვაგონისაკენ და Δt დროის შემდეგ დაჭახა მას. იპოვეთ ამ ვაგონთან ლოკომოტივის მომდევნო დაჭახებებს შორის დრო. დარტყმა დრეკადია. ხაუნი ბორბლების ღერძებს შორის უგულვებელყავით. ვაგონისა და ლოკომოტივის მასები განსხვავდება.



2.5.15. R რადიუსის ერთგვაროვანი გლუვი უძრავი სფეროს შიგნით მოთავსებულია ბურთულა, რომლის სიჩქარეა v . რაღაც საწყის მომენტში ბურთულა დრეკადად ეჭახება სფეროს. იპოვეთ ბურთულას სფეროსთან პირველ და მომდევნო დაჭახებებს შორის დროის მონაკვეთი, თუ მისი v სიჩქარე α კუთხეს ქმნის პირველი დარტყმის წერტილში გავლებულ რადიუსთან.

◊2.5.16. მოძრავი ნაწილაკის უძრავ ნაწილაკთან დრეკადი დაჭახების შემდეგ პირველი ნაწილაკი თავდაპირველი მოძრაობის მიმართულებისადმი გაფრინდა α კუთხით, ხოლო მეორე – β კუთხით. იპოვეთ ამ ნაწილაკების მასების ფარდობა.



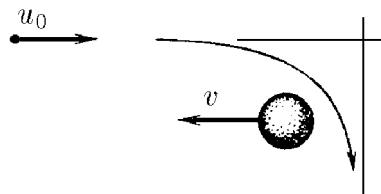
2.5.17*. m_1 მასის მძიმე ნაწილაკი ეჭახება m_2 მასის უძრავ მსუბუქ ნაწილაკს. რა უდუდესი კუთხით შეიძლება გადაიხაროს მძიმე ნაწილაკი დრეკადი დარტყმის შედეგად?

2.5.18*. m_1 მასის ნაწილაკი v სიჩქარით ეჭახება m_2 მასის უძრავ ნაწილაკს, რომელიც დრეკადი დარტყმის შემდეგ გაფრინდა α კუთხით მოძრავი

ნაწილაკის მოძრაობის თავდაპირველ მიმართულებასთან. განსაზღვრეთ m_2 მასის ნაწილაკის სიჩქარე დარტყმის შემდეგ.

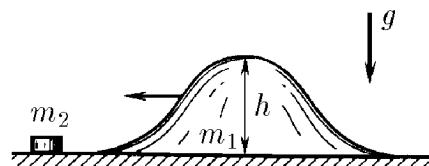
2.5.19. m_1 მასის კოსმოსურმა ხომალდმა გამორთული ძრავებით ჩაიარა თავდაპირველად უძრავი კოსმოსური სხეულის ახლოს. ხომალდის იმპულსი, რომელიც დასაწყისში P_0 იყო, გახდა P , ხოლო მისი მოძრაობის მიმართულება α კუთხით შეიცვალა. განსაზღვრეთ კოსმოსური სხეულის მასა.

◊2.5.20. საწვავის დახარჯვის გარეშე კოსმოსური აპარატის სიჩქარისა და მიმართულების შესაცვლელად შეიძლება ვისარგებლოთ „გრავიტაციული დარტყმით“ რომელიმე პლანეტის ახლოს მისი მოძრაობისას. საწყის მომენტში პლანეტიდან შორ მანძილზე აპარატის სიჩქარეა u_0 , ხოლო პლანეტა მოძრაობს შემხვედრი მიმართულებით v სიჩქარით. აპარატი ჩაივლის პლანეტასთან ისე ახლო მანძილზე, რომ ამ პლანეტის ათვლის სისტემაში აპარატის მოძრაობის მიმართულება იცვლება 90° -ით ^{*)}. როგორია აპარატის სიჩქარე პლანეტასთან დაშორების შემდეგ? როგორ იცვლება აპარატის ფრენის მიმართულება მზის მიმართ?



◊2.5.21*. h სიმაღლისა და m_1 მასის გლუვ „ბორცვს“ შეუძლია სრიალი ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე ხახნის გარეშე. ბორცვი მდოვრედ გადადის სიბრტყეში.

m_2 მასის პატარა სხეული უძრავად დევს ბორცვის მოძრაობის გზაზე. ბორცვის რა უმცირესი სიჩქარის დროს გადაევლება სხეული მის წვეროს?

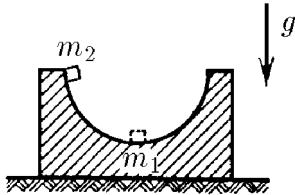


2.5.22. m_2 მასის სხეული v სიჩქარით უჭახება თავდაპირველად უძრავ ბორცვს, რომელიც აღწერილია წინა ამცანაში. იპოვეთ ამ სხეულისა და ბორცვის სიჩქარე, თუ სხეული ისევ აღმოჩნდება ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე.

^{*)} კოსმოსური სხეულების სიჩქარის მნიშვნელობები, თუ ეს არ არის წინასწარ შეთანხმებული, მოცემულია მზის მიმართ.

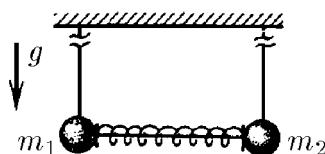
◊2.5.23*. m_1 მასის ქვესადგამი R რადიუსის ნახევარცილინდრული ღარით

დევს გლუვ მაგიდაზე. m_2 მასის სხეულს დებენ ღარის კიდეში და უშვებენ. იპოვეთ სხეულისა და ქვესადგამის სიჩქარე იმ მომანტში, როცა სხეული გადის ნახევარსფეროს ქვედა წერტილს. რა ძალით აწვება ის ქვესადგამს ამ წერტილში? ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.

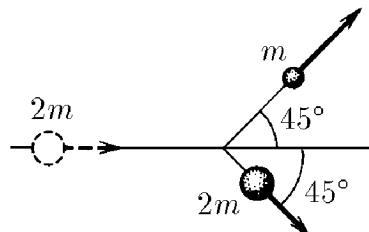


2.5.24. m_1 და m_2 მასის სხეულები გადაბმულია k სიხისტის არადეფორმირებული ზამბარით. განსაზღვრეთ უმცირესი სიჩქარე, რომელიც უნდა მივანიჭოთ m_1 მასის სხეულს, რომ ზამბარა შეიკუმშოს x სიდიდით. როგორი იქნება სხეულების სიჩქარეები, როცა ზამბარა ისევ არადეფორმირებული აღმოჩნდება?

◊2.5.25. m_1 და m_2 მასის ორი ბურთულა ჰკიდია ერთნაირ გრძელ ძაფებზე. ბურთულებს შორის არის შეკუმშული ზამბარა, რომელსაც შეკუმშულ მდგომარეობაში მასზე მიბმული ძაფი აკავებს. ზამბარის დეფორმაციის პოტენციალური ენერგიაა U . ძაფი გადაწვეს. იპოვეთ ბურთულების ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე.



◊2.5.26. $2m$ მასის ნაწილაკი ეჭახება m მასის უძრავ ნაწილაკს. შეჭახების შემდეგ ნაწილაკები სიმეტრიულად იფანტებიან საწყისი სიჩქარის მიმართულებასთან 45° -იანი კუთხით. რამდენჯერ გაიზარდა ჯამური კინეტიკური ენერგია შეჭახების შემდეგ?



2.5.27. 250 კევ ენრგიის მქონე ნეიტრონი ეჭახება ⁶ Li ბირთვს და მიიღება ალგზნებული ⁷ Li ბირთვი. იპოვეთ წარმოქმნილი ბირთვის კინეტიკური ენერგია.

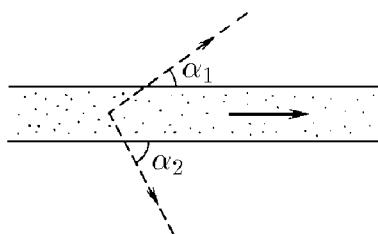
2.5.28. m მასის ატომს აღგზნებულ მდგომარეობაში გააჩნია ძირითად მდგომარეობაზე E -თი მეტი შინაგანი ენერგია. რა უმცირესი ენერგიის დროს შეუძლია m_e მასის ელექტრონს აღაგზნოს თავდაპირველად უძრავი ატომი?

2.5.29. ელექტრონს შეუძლია წყალბადის უძრავი ატომის იონიზება, როცა მას გააჩნია არანაკლებ 13,6 ევ ენერგია. რა მინიმალური ენერგია უნდა ჰქონდეს პროტონს, რომ შეძლოს ასევე უძრავი წყალბადის ატომის იონიზება? პროტონის მასაა $m_p = 1836 m_e$, სადაც m_e არის ელექტრონის მასა.

2.5.30. უძრავი ატომური ბირთვი იშლება m_1 და m_2 მასის ორ ნამსხვრევად. განსაზღვრეთ ნამსხვრევების სიჩქარე, თუ ბირთვის დაშლის დროს გამოიყოფა E ენერგია.

2.5.31. მოძრავი ბირთვის დაშლის შედეგად წარმოიქმნა m_1 და m_2 მასის, P_1 და P_2 იმპულსის მქონე ორი ნამსხვრევი, რომელთა მოძრაობის მიმართულებებს შორის კუთხეა θ . განსაზღვრეთ ბირთვის დაშლის დროს გამოიყოფილი ენერგია.

2.5.32. K კინეტიკური ენერგიის მქონე ნაწილაკების ორნაწილაკიანი დაშლის დროს წარმოიქმნება ორი სახის ნაწილაკი. მაქსიმალური კუთხე, რომლითაც დაშლის პროდუქტები გამოდიან პირველადი ნაწილაკების კონიდან, უდრის შესაბამისად α_1 და α_2 . რა ენერგია გამოიყოფა პირველადი ნაწილაკის დაშლის დროს?



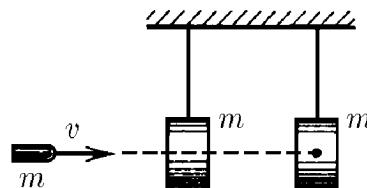
2.5.33. წყალბადის მძიმე იზოტოპების შერწყმის რეაქციის, რომელიც მიმდინარეობს ზემდიმე იზოტოპისა და პროტონის წარმოქმნით (${}^2 H + {}^1 H \rightarrow {}^3 H + {}^1 H$), შესწავლის მიზნით 1,8 მევ ენერგიამდე აჩქარებულ დეიტერიუმის იონებს მიმართავენ ისევ დეიტერიუმის სამიზნისაკენ. წარმოქმნილი ტრიტიუმის ბირთვების ენერგიის გაზომვა რთულია, და მას არ გომავენ. გომავენ მხოლოდ პროტონების ენერგიას, რომლებიც გამოფრინდებიან დეიტერონების კონის პერპენდიკულარულად, ის ტოლია 3,5, მევ. განსაზღვრეთ რეაქციაში გამოიყოფილი ენერგია.

2.5.34*. P იმპულსის მქონე m მასის ნაწილაკი იშლება ორ ერთნაირ ნაწილაკად. როგორია მეორადი ნაწილაკების გაფანტვის მინიმალური α კუთხე, თუ დაშლის დროს გამოიყოფა E ენერგია?

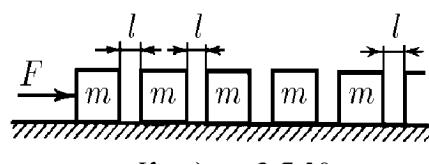
2.5.35. m_1 და m_2 მასის ორი სხეული მიმაგრებულია დაკიდების საერთო წერტილის მქონე ერთნაირი სიგრძის ძაფებზე და გადახრილი არიან ერთნაირი კუთხით – ერთი მარცხნივ, მეორე მარჯნივ. სხეულებს ერთდროულად უშვებენ. ერთმანეთთან შეჯახებისას ისინი ერთმანეთს ეწებებიან. განსაზღვრეთ შენებების შემდეგ მიღწეული სიმაღლის ფარდობა იმ სიმაღლესთან, საიდანაც მათ დაიწყეს მოძრაობა.

2.5.36. m_1 მასის ტყვიამ, რომელსაც საწყისი v სიჩქარე გააჩნია, გახვრიტა ძაფზე ჩამოკიდებული m_2 მასის ტყვიის ბურთი და გამოვიდა იქედან განახევრებული სიჩქარით. ტყვიის კინეტიკური ენერგიის რა ნაწილი გადავიდა სითბოში?

◊2.5.37. v საწყისი სიჩქარისა და m მასის ტყვია ხვრეტს თოკზე ჩამოკიდებულ იმავე m მასის ტვირთს და ეჩირება მეორე ისეთივე ტვირთში. იპოვეთ პირველ სხეულში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, თუ მეორე სხეულში გამოიყო Q_2 რაოდენობის სითბო. ტყვიის ტვირთთან ურთიერთქმედების დროს ნუ გაითვალისწინებთ.



◊2.5.38*. გლუვ პორიზონტალურ ზედაპირზე ერთ წრფეზე ტოლი მანძილებით განლაგებულია ძელაკები, თითოეული m მასით. პირველ ძელაკს მოსდეს მუდმივი პორიზონტალური F ძალა. განსაზღვრეთ ძელაკების სიჩქარე მათი n -ური დაჭახების წინ და უშუალოდ მის შემდეგ. განიხილეთ სიჩქარის გლვრული მნიშვნელობა უსარულოდ დიდი n -თვის, თუ მეზობელ ძელაკებს შორის მანძილია l . ძელაკების შეჯახებები აბსოლუტურად არადრეკადია.



2.5.39. სხეული ეჭახება უძრავ კედელს ნორმალისადმი α კუთხით. კედელთან ხახუნის კოეფიციენტია μ . რა კუთხით აირეკლება სხეული კედელიდან?

§ 2.6. მიზიდულობის ძალა. კეპლერის კანონები.

2.6.1. რატომაა ორბიტალურ სადგურზე უწონობის მდგომარეობა დედამიწის მიზიდულობის ძალის ურთიერთქმედ სხეულების მასების პროპორციულობის დასტური?

2.6.2. მზის სისტემის ზოგიერთ პლანეტას აქვს წრიულის მსგავსი ორბიტა, რომლის ცენტრი არის მზე. ამასთან, მზის ირგვლივ ისინი თითქმის თანაბრად მოძრაობენ. როგორაა მიმართული ამ პლანეტების აჩქარება? როგორაა ეს აჩქარება დამოკიდებული პლანეტასა და მზეს შორის მანძილზე, თუ დადგენილია, რომ პლანეტების ბრუნვის პერიოდის კვადრატი მათი ორბიტის რადიუსის კუბის პროპორციულია? (წარმოიდგინეთ, რომ ჰერ კიდევ არ იცით მსოფლიო მიზიდულობის კანონი).

2.6.3. ბირთვის მასის სფერულად სიმეტრიული განაწილების შემთხვევაში ბირთვი იზიდავს გარეთ მოთავსებულ სხეულებს ისე, თითქოს მთელი მისი მასა ბირთვის ცენტრშია თავმოყრილი. დედამიწიდან რა სიმაღლეზე შეადგენს სიმძიმის ძალა დედამიწის ზედაპირზე სიმძიმის ძალის მნიშვნელობის 81%?

2.6.4. მთვარის აჩქარება შეიძლება ვიპოვოთ კინემატიკური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, თუ ვიცით, რომ მისი ორბიტის საშუალო რადიუსი 385 000 კმ-ია, ხოლო დედამიწის ირგვლივ მისი მიმოქცევის პერიოდი შეადგენს 27,3 დღედამეს. შეადარეთ ამგვარად მიღებული აჩქარების მნიშვნელობა აჩქარებასთან, რომელსაც ქმნის მთვარის ორბიტაზე მზის მიზიდულობა. დედამიწის რადიუსია 6370 კმ, თავისუფალი ვარდნის აჩქარება მის ზედაპირზე არის 9,81 მ/წმ².

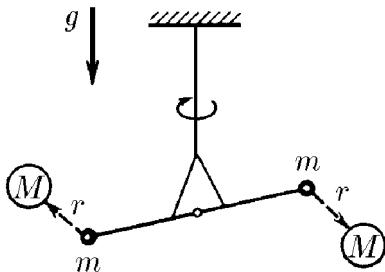
2.6.5. შემოთავაზებულია გრავიტაციული მუდმივას განსაზღვრის მეთოდი. ქანების გეოლოგიური ნიმუშებისა და დედამიწაზე ამ ქანების გავრცელების მიხედვით პოულობენ ნივთიერების საშუალო სიმკვრივეს. თუ კი იციან დედამიწის რადიუსი და თავისუფალი ვარდნის აჩქარება მის ზედაპირზე პოულობენ გრავიტაციულ მუდმივას. რაში მდგომარეობს ამ მეთოდის არსებითი ნაკლი?

2.6.6. განვიხილოთ კავენდიშის დანადგარი გრავიტაციული მუდმივას გაზომვისთვის (ეგრეთ წოდებული გრეხითი სასწორი). მსუბუქი ღერო (მხრეული), რომლის ბოლოებზე დამაგრებული m მასის ორი ერთნაირი ბურთულა ჩამოკიდებულია წვრილ და გრძელ ძაფზე. ბურთებს შეიძლება მივუახლოვოთ

$M \gg m$ მასის ორი ბურთულა. მხრეული აღჭურვილია სარკით, რომელიც სინათლის „ათინათს“ არეკლავს მოშორებით განლაგებულ სკალაზე და ამიტომ იძლევა ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ მხრეულის მობრუნების ძალიან მცირე კუთხების გაზომვის საშუალებას. (თუ მხრეულის სიგრძე არის 10მ და სარკიდან სკალამდე მანძილი არის 40 მ, „ათინათის“ გადანაცვლება 1600 ჰერ აღემატება ბურთების გადანაცვლებას).

გაზომვას შემდეგნაირედ ატარებენ. M მასის ბურთებს ათავსებენ სიმეტრიულად m მასის ბურთების ახლოს. ამასთან მხრეული მობრუნდება და ძაფი რაღაც კუთხით დაიხვევა. შემდეგ, როცა გრეხითი რხევების შეწყვეტის შემდეგ დიდ ბურთებს გადაიყვანენ ახალ სიმეტრიულ მდგომარეობაში, ზომავენ მხრეულის მობრუნების კუთხეს. იცით ძაფის დრეკადი თვისებები. განსაზღვრეთ მსუბუქი ბურთულების მაქსიმალური აჩქარება.

კავენდიშის დანადგარზე (მხრეულზე) მიღებული მონაცემების მიხედვით გამოიანგარიშეთ გრავიტაციული მუდმივა: m და M მასის ბურთებს შორის მანძილი ტოლია $2r = 10$ სმ, მძიმე ბურთების მასაა $M = \textcolor{red}{i} 7,0$ კგ, მსუბუქი ბურთულების მაქსიმალური აჩქარებაა $a = 2,8 \cdot 10^{-7}$ მ/ნმ².



2.6.7. თავის ექსპერიმენტს გრავიტაციული მუდმივას გაზომვაში კავენდიშმა უწოდა „დედამიწის აწონა“. განსაზღვრეთ დედამიწის მასა, თუ მის ზედაპირზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარება $g = 9,81$ მ/ნმ², ხოლო დედამიწის რადიუსი $R = 6370$ კმ.

2.6.8. იპოვეთ მზის მასა. დედამიწის ორბიტის რადიუსია $1,5 \cdot 10^8$ კმ, წელიწადში არის დაახლოებით $3,14 \cdot 10^7$ ნმ.

2.6.9. იპოვეთ გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა, რომელიც თქვენზე მოქმედებს დედამიწის, მთვარის, მზის მხრიდან.

2.6.10. მარსის თანამგზავრი ფობოსი ბრუნავს მის ირგვლივ 9400 კმ რადიუსიან ორბიტაზე 7 სთ 39 წთ პერიოდით. რამდენჯერ ნაკლებია მარსის მასა დედამიწის მასაზე?

2.6.11. მთვარის მასა 81 ჯერ ნაკლებია დედამიწის მასაზე, ხოლო მთვარის რადიუსია 1700 კმ. რამდენჯერ ნაკლებია თავისუფალი ვარდნის აჩქარება მთვარის ზედაპირის მახლობლად, ვიდრე დედამიწის მახლობლად.

2.6.12. განსაზღვრეთ ასტეროიდის წრიული ორბიტის რადიუსი, თუ მზის ირგვლივ მისი მიმოქცევის კუთხეური სიჩქარეა ω , ხოლო მზის მასაა m_o .

2.6.13. როგორ შეიცვლებოდა დედამიწის წელიწადის ხანგრძლივობა, დედამიწის მასა მზის მასის ტოლი რომ გამხდარიყო, ხოლო მათ შორის მანძილი იგვე დარჩენილიყო?

2.6.14*. m_1 და m_2 მასის ორი ვარსკლავი ქმნის ორმაგ სისტემას ვარსკვლავთა შორის უცვლელი R მანძილით. როგორია ვარსკლავების მიმოქცევის პერიოდი მასათა საერთო ცენტრის გარშემო?

2.6.15. ასტრონომიაში მანძილს ხშირედ ზომავენ დედამიწის ორბიტის რადიუსებში, პერიოდებს – დედამიწის წელიწადებში, ხოლო ვერსკლავების მასებს – მზის მასებში. განსაზღვრეთ ორმაგი სისტემის ჯამური მასა, თუ ამ ერთეულებში

ვარსკლავთა შორის მანძილი არის მუდმივი და უდრის r , ხოლო მათი მიმოქცევის პერიოდი T .

2.6.16. თითოეული m მასის სამი ვარსკლავი თავის მოძრაობისას ინარჩუნებს L გვერდის მქონე ტოლგვერდა სამკუთხედის კონფიგურაციას. რა კუთხური სიჩქარით ბრუნავს ეს სამკუთხედი?

2.6.17. იპოვეთ პირველი კოსმოსური სიჩქარე დედამიწისა და მთვარისათვის, და აგრეთვე დედამიწისა და მთვარის ახლო ორბიტებზე მიმოქცევის პერიოდები.

2.6.18. m_0 მასის თანამგზავრი m მასის პლანეტის ირგვლივ მოძრაობს R რადიუსის წრიულ ორბიტაზე. რა იმპულსი უნდა მივანიჭოთ მყისიერად თანამგზავრს, რომ მისი ორბიტის სიბრტყე α კუთხით შემოტრიალდეს, რადიუსი კი არ შეიცვალოს?

2.6.19. კოსმოსური ხომალდი მოძრაობს დედამიწის ირგვლივ R რადიუსის წრიულ ორბიტაზე v სიჩქარით, რომელიც იმავე ორბიტაზე თავისუფალი მოძრაობის სიჩქარეზე ორჯერ მეტია. რა წევის ძალას ანვითარებს ხომალდის ძრავები, თუ მისი მასაა m ?

2.6.20. თითოეული 1000 ტ მასის ორი ერთნაირი მატარებელი მოძრაობს ეკვატორზე ერთმანეთის შესახვედრად 30 მ/წმ სიჩქარით. რამდენით განსხვავდებიან ძალები, რომლითაც ისინი რელსებს აწვებიან?

2.6.21. ა) როგორია ეკვატორიულ სიბრტყეში მდებარე თანამგზავრის ორბიტის რადიუსი, თუ ის მუდმივად იმყოფება ზენიტში დედამიწის ზედაპირის ერთსადამავე წერტილის თავზე.

ბ) აღნერეთ ხარისხობრივად თანამგზავრის ტრასა, თუ იგივე რადიუსის ორბიტის დროს ორბიტის სიბრტყე 60° -იან კუთხეს ქმნის ეკვატორის სიბრტყესთან. (თანამგზავრის ტრასას უწოდებენ ხაზს, რომელიც დედამიწაზე აერთებს წერტილებს, საიდანაც თანამგზავრი მოჩანს ზენიტში).

2.6.22. m მასის მცირე სხეულის დედამიწასთან გრავიტაციული ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიაა $U = -\gamma Mm/r$, სადაც M დედამიწის მასაა, ხოლო r – მანძილი სხეულიდან დედამიწის ცენტრამდე. იპოვეთ პოტენციალური ენერგიის ΔU ცვლილება დედამიწის ზედაპირიდან სხეულის h სიმაღლეზე აწევის დროს. რა ფარდობითი შეცდომა ჩნდება ΔU -ს ნაცვლად mgh მიახლოებითი გამოსახულების გამოყენებისას? თავისუფალი ვარდნის აჩქარება დედამიწის ზედაპირზე არის g , დედამიწის რადიუსია R .

2.6.23*. სხეული გაუშვეს ეკვატორის გასწრივ აღმოსავლეთიდან დასავლეთისკენ ისეთი სიჩქარით, რომ დედამიწიდან ძალიან შორს მისი სიჩქარე ნულის ტოლი გახდა. რა სიჩქარე ექნება სხეულს დედამიწის მიმართ დედამიწიდან ძალიან შორ მანძილზე, თუ სხეული გაუშვეს იგივე საწყისი სიჩქარით ეკვატორის გასწრივ, ოღონდ დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ.

2.6.24. პლანეტისგან ძალიან შორ მანძილზე მეტეორიტს გააჩნია v_0 სიჩქარე. პლანეტაზე ვარდნის დროს მისი ზედაპირის ახლოს ის იძენს v სიჩქარეს. ამ პლანეტის ზედაპირის მახლობლად რა უმცირესი სიჩქარე უნდა ჰქონდეს კოსმოსურ ხომალდს, რომ სამუდამოდ დატოვოს ეს პლანეტა? (ასეთ სიჩქარეს უწოდებენ მეორე კოსმოსური სიჩქარე).

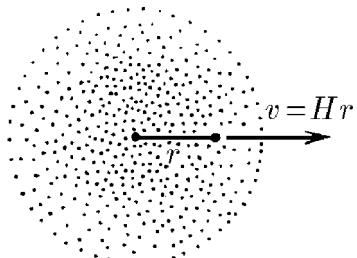
2.6.25. პლანეტის ზედაპირზე სხეულს მიანიჭეს სიჩქარე, რომელიც $0,5\%$ -ით აჭარბებს მეორე კოსმოსურ სიჩქარეს. რამდენჯერ ნაკლები იქნება სხეულის სიჩქარე მეორე კოსმოსურ სიჩქარეზე პლანეტიდან შორს?

2.6.26. იპოვეთ მეორე კოსმოსური სიჩქარე დედამანისა და მთვარისათვის. პლანეტების ბრუნვას თავისი ღერძის გარშემო ნუ გაითვალისწინებთ.

2.6.27. თანამგზავრი დედამიწის ირგვლივ წრიულ ორბიტაზე მოძრაობს v სიჩქარით. რა უმცირესი დამატებითი სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ თანამგზავრს, რომ სამუდამოდ დაშორდეს დედამიწას?

2.6.28. კოსმოსური ხომალდი უახლოვდება მთვარეს. მთვარიდან დიდ მანძილზე მთვარის მიმართ მისი სიჩქარე იყო ნული. რა სიმაღლეზე უნდა გამოვრთოთ სამუხრუქე d რავა, რომელიც ქმნის ხუთმაგ გადატვირთვას ($5g$), რათა დაშვება რბილი იყოს? ხომალდის მასის ცვლილებას ნუ გაითვალისწინებთ. მთვარის რადიუსი დაახლოებით 1700 კმ-ია, მის ზედაპირზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარება $6 - 7$ ნაკლებია, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე.

◊2.6.29. ერთგვაროვანი სფერული ღრუბლის მტვრის ნაწილაკების სიჩქარე რადიალურადაა მიმართული და ცენტრამდე მანძილის პროპორციულია: $v = Hr$; ეს ეხება საწყის მომენტს. როგორი უდიდესი საწყისი სიმკვრივე უნდა ჰქონდეს ღრუბელს, რომ ის განუსაზღვრელად ფართოვდებოდეს? (ერთგვაროვანი სფერული გარსის შიგნით მყოფი სხეულისათვის გარსის მხრიდან მოქმედი ჰამური გრავიტაციული ძალა ნულის ტოლია).



2.6.30*. რა სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ ასტეროიდის ცენტრში მცირე ზომის m მასისა და R რადიუსის სხეულს, რომ რადიალური შახტით ის უსასრულოდ დაშორდეს ასტეროიდს? ჩათვალეთ, რომ ასტეროიდი ერთგვაროვანია.

2.6.31. კოსმოსური ხომალდი იმყოფება დედამიწიდან შორს იმავე მანძილზე, რაზეც დედამიწა მზიდან. რა მინიმალური სიჩქარის დროს დატოვებს ის მზის სისტემას?

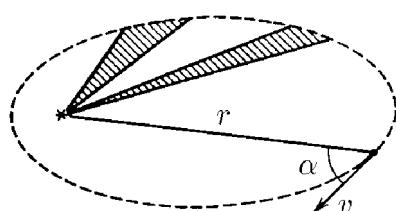
2.6.32*. დედამინის ზედაპირზე სხეულის უმცირეს სიჩქარეს, რომელიც უზრუნველყოფს მის გასვლას მზის სისტემის საზღვრებს იქით, უწოდებენ მესამე კოსმოსურ სიჩქარეს. იპოვეთ ის, თუ ცნობილია, რომ დედამინის ორბიტალური მოძრაობის სიჩქარეა 30 კმ/სთ .

2.6.33*. ფანტასტიკურ მოთხრობაში აღწერილია, რომ საწყისი სიჩქარის არჩევაში დაშვებული უმნიშვნელო შეცდომის გამო დედამინის ზედაპირიდან სტარტის დროს საპლანეტაოშორისო ხომალდი ვარდება მჩებე. დედამინის ზედაპირზე რა უმცირესი სიჩქარის დროსაა ეს შესაძლებელი?

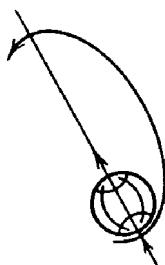
2.6.34. თანამგზავრის კინეტიკური ენერგია K -ს ტოლია. რისი ტოლი იქნება მისი პოტენციალური ენერგია?

2.6.35*. წრიული ორბიტიდან პლანეტის ზედაპირზე სპირალით დაშვების დროს ატმოსფეროს გაუხშოებულ ფენებში თანამგზავრი აკეთებს თითქმის წრიულ ხვიებს, რომელთა რადიუსი თანდათან მცირდება. ამასთან მისი სიჩქარე იზრდება ისე, თითქოს ატმოსფეროს წინააღმდეგობის ძალა თანამგზავრს უბიძგებს წინ, მისი ფრენის მიმართულებით! ახსენით თვისობრივად და რაოდენობრივად თანამგზავრის ასეთი პარადოქსული საქციელი.

◊2.6.36*. სხეულზე ცენტრალური ძალის მოქმედებისას რადიუს-ვექტორი, რომელიც მასთან ცენტრიდან არის შეერთებული, დროის ტოლ შუალედებში ტოლ ფართობებს შემოხაბავს. (სწორედ ამაში მდგომარეობს კეპლერის მეორე კანონი). რა ფართობს შემოხაბავს t დროში რადიუს-ვექტორი, რომელიც შეერთებულია მზიდან პლანეტასთან, თუ საწყის მომენტში მანძილი მისგან მზემდე არის r , სიჩქარე v , ხოლო პლანეტის სიჩქარესა და რადიუს-ვექტორს შორის კუთეა α ?

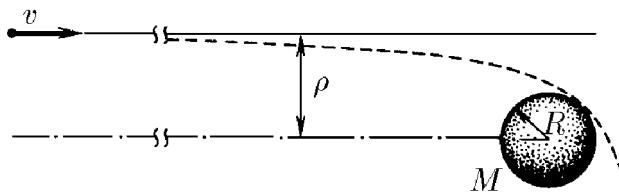


◊2.6.37. კავშირგაბმულობის თანამგზავრს „ელვა-1“ აქვს პერიგეი დედამინის სამხრეთის ნახევარსფეროს თავზე დაახლოებით 500 კმ სიმაღლეზე, ხოლო აპოგეი – ჩრდილოეთის ნახევარსფეროს თავზე დაახლოებით $40\,000 \text{ კმ}$ სიმაღლეზე. როგორ შეეფარდება ამ თანამგზავრის მიმოქცევის კუთხური სიჩქარეები პერიგეაში და აპოგეაში?



◊2.6.38*. R რადიუსისა და M მასის პლანატის მიმართულებითამ მის მიმართ v სიჩქარით შორიდან მოძრაობს კოსმოსური ზონდი. რა ρ სამიზნე

პარამეტრის დროს გაივლის ზონდი პლანეტასთან ყველაზე ახლოს და არ დაიმსხვრევა?



2.6.39*. პერიგეაში თანამგზავრის სიჩქარეა v , ხოლო დედამიწის ცენტრამდე მანძილია r ტოლია. იპოვეთ თანამგზავრის სიჩქარე და დედამიწის ცენტრამდე მანძილი აპოგეაში.

2.6.40*. M მასის პლანეტის ირგვლივ მოძრაობს m მასის კოსმოსური ზონდი პლანეტის ცენტრიდან უდიდესი r_s (აპოცენტრში) და უმცირესი – r_3 (პერიცენტრში) დაშორებით. რა მინიმალური ენერგია უნდა მივანიჭოთ ზონდს, რომ მან დატოვოს პლანეტა?

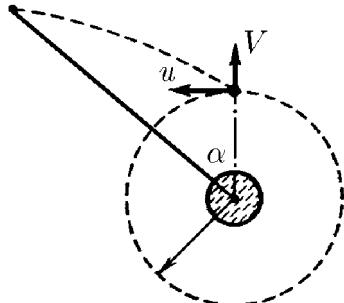
2.6.41*. პლანეტის გარშემო წრიულ ორბიტაზე u სიჩქარით მოძრავი ორბიტალური სადგურიდან უშვებენ ორ ზონდს. ზონდების საწყისი სიჩქარე პლანეტის მიმართ არის v ($\sqrt{2}u > v > u$). ერთი ზონდი მოძრაობს პლანეტის რადიუსის მიმართულებით; მეორე ზონდის საწყისი სიჩქარე მისი რადიუსის პერპენდიკულარულია. იპოვეთ ზონდებიდან პლანეტის ცენტრამდე მაქსიმალურად შესაძლებელი მანძილების ფარდობა.

◊2.6.42*. თანამზავრის ორბიტის სიბრტყე დაყოფილია საერთო წვეროს მქონე სექტორებად M მასის პლანეტის ცენტრით და $d\varphi$ ერთნაირად მცირე კუთხეებით. იპოვეთ როგორ იცვლება თანამგზავრის სიჩქარე თითოეული სექტორის გავლის შემდეგ, თუ მისი სიჩქარე პერიცენტრში არის v_3 , ხოლო თანამგზავრიდან პლანეტის ცენტრამდე მანძილი პერიცენტრში არის r_3 .

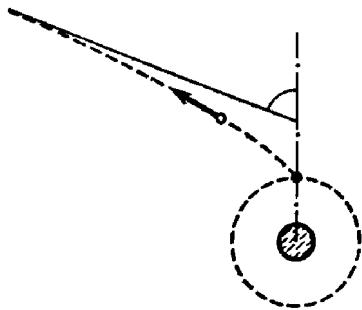


◊2.6.43*. R რადიუსის წრიული ორბიტისა და u სიჩქარის მქონე ორბიტალური სადგურიდან გაუშვეს ზონდი, რომელსაც რადიალური მიმართულებით მყისვე მიანიჭეს დამატებითი V სიჩქარე. დაამტკიცეთ, რომ როცა ზონდი და სადგური პლანეტის ცენტრიდან სტარტის წერტილის მიმართულების მიმართ

ერთნაირი კუთხით მოსჩანს, მათი სიჩქარეები ისევე V სიდიდით განსხვავდებიან. პლანეტის ცენტრიდან რა მანძილზე მდებარეობს ზონდი, როცა დაკვირვების ეს კუთხე უდრის α ?



◊2.6.44*. წინა ამოცანიდან რა V სიჩქარისათვის იქნება ზონდის ორბიტა ჩაკეტილი? იპოვეთ მისი პერიცენტრი და აპოცენტრი. ღია ორბიტის შემთხვევაში კი იპოვეთ პლანეტის ცენტრიდან სტარტის წერტილის მიმართულებით ზღვრული კუთხე, რომელსაც ქმნის ზონდის სიჩქარე პლანეტიდან მისი უსასრულოდ დაშორების შემდეგ.



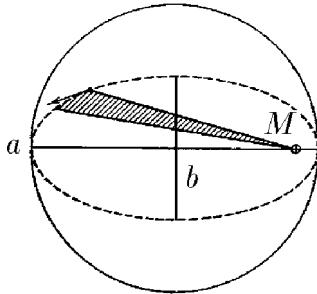
2.6.45*. ელიფსური ორბიტის პერიცენტრისა და აპოცენტრის შემაერთებელ მონაკვეთს დიდი ღერძი ეწოდება. მის მიმართ ელიფსი სიმეტრუილია. მონაკვეთს, რომელიც აერთებს დიდი ღერძიდან ყველაზე დაშორებულ ორბიტის წერტილებს, უწოდებენ მცირე ღერძს. ის დიდი ღერძის მართობულია და ასევე წარმოადგენს ელიფსის სიმეტრიის ღერძს. 2.6.43 ამოცანის პირობების გამოყენებით იპოვეთ ზონდის სიჩქარე მცირე ღერძის წვეროებში. გამოსახეთ ეს სიჩქარე α დიდი ნავესარღერძის სიგრძისა და პლანეტის M მასის მეშვეობით.

◊2.6.46*. თანამგზავრი მოძრაობს M მასის პლანეტის გარშემო a და b დიდი და მცირე ნახევარღერძების მქონე ელიფსზე^{*}. განსაზღვრეთ ფართობი,

^{*}) ელიფსი a და b ნახევარღერძებით მიღება a რადიუსის წრენირისგან მისი ზომების ერთ-ერთი მიმართულებით $k = a/b$ -ჯერ შემცირების შედეგად.

$$\text{ელიფსის პართობი } a \text{ არის } S = \frac{\pi a^2}{k} = \pi ab .$$

რომელსაც პლანეტის ცენტრის თანამგზავრთან შემაერთებელი რადიუს-ვექტორი შემოწერს დროის ერთეულში. იპოვეთ თანამგზავრის მიმოქცევის პერიოდი.



2.6.47. მზიდან გაღეის კომეტამდე უდიდესი მანძილი დედამიწის ორბიტის რადიუსის 35,4 შეადგენს, უმცირესი კი – 0,6. მზის სიახლოვეში მისი გავლის მომენტს აკვირდებოდნენ 1986 წელს; რომელ წელს გაივლიდა კომეტა წინა ჭერებე?

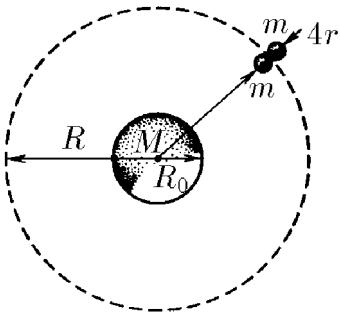
2.6.48*. R_c რადიუსის წრიულ ორბიტაზე მოძრავი თანამგზავრი მყისიერი დამუხრუქების შემდეგ ამოძრავდა ელიფსურ ორბიტაზე, რომელიც საწყის ორბიტასა და პლანეტის ზედაპირს ეხება. განსაზღვრეთ თანამგზავრის პლანეტაზე დაცემის დრო. პლანეტის რადიუსია R , მის ზედაპირზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარება g .

2.6.49*. განსაზღვრეთ დედამიწის მზეზე დაცემის დრო, თუ ის უეცრად გაჩერდება.

2.6.50*. დედამიწის პოლუსზე ორი გოლიათი ვერტიკალურად ზევით ისვრის კვერთხს. პირველი ერთი კვირის შემდეგ ჩამოვარდა, მეორე – 30 დღის შემდეგ. შეაფასეთ, რამდენით განსხვავდებოდა მათი საწყისი სიჩქარეები.

2.6.51. განსაზღვრეთ დედამიწის ცენტრიდან R_1 და R_2 მანძილებზე მის ირგვლივ მბრუნავი m მასის ორი თანამგზავრის შემაერთებელი ტროსის დაჭიმულობის ძალა. ტროსი ყოველთვის რადიალურად არის მიმართული. დედამიწის მასაა M .

◊2.6.52*. თითოეული m მასისა და r რადიუსის ორი შემხები სფერული ლოდი მოძრაობს M მასის პლანეტის გარშემო წრიული ორბიტაზე. ლოდების ცენტრები ერთ რადიუსზე მდებარეობენ, მათი შეხების წერტილიდან პლანეტის ცენტრამდე მანძილია R . რა ძალით აწვება ერთი ლოდი მეორეს? როგორი უნდა იყოს ორბიტის რადიუსი, რომ ლოდების ურთიერთმიზიდულობამ ვეღარ შეძლოს მათი ერთად შეკავება? პლანეტის რადიუსი $R_0 \gg r$. ლოდების სიმკრივე ჩათვალეთ პლანეტის საშუალო სიმკვრივის ტოლი.



2.6.53*. ცნობილმა ფიზიკოსმა ფ. დაისონმა გამოთქვა ვარაუდი, რომ ვარსკლავთა ენერგიის სრული გამოყენება შესაძლებელი იქნებოდა, თუ კოსმოსური ცივილიზაციები სფერული გარსებით გარშემოარტყამდნენ ვარსკლავებს. იპოვეთ დაძაბულობა, რომელიც გაჩნდება ამ ვარაუდის შესაბამისად მზის ირგვლივ გარშემორტყმული უძრავი ერთგვაროვანი გარსის მასალაში, როცა გარსის რადიუსი დედამიწის ორბიტის რადიუსის ტოლია. გარსის მასალის სიმკვრივეა $\rho = 4 \cdot 10^3 \text{ კგ/მ}^3$.

§ 2.7. მყარი სხეულის ბრუნვა

2.7.1. ფორმით აბსოლუტურად მსგავსი ორი მყარი სხეული დამზადებულია ერთნაირი ლითონისგან, ამასთან ერთის წრფივი ზომები ათვერ მეტია მეორისაზე. იპოვეთ ერთიდამავე ღერძის გარშემო ერთნაირი კუთხერი სიჩქარით ბრუნვის დროს ამ სხეულების კინეტიკური ენერგიების შეფარდება.

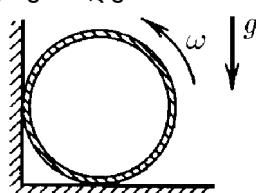
2.7.2. R რადიუსისა და m მასის წვრილი რგოლი დააბრუნეს საკუთარი ღერძის გარშემო ω კუთხერ სიჩქარემდე. განსაზღვრეთ მისი კინეტიკური ენერგია. ეს ენერგია მეტია თუ ნაკლები იმავე რადიუსისა და მასის მთლიანი დისკის ენერგიაზე?

2.7.3. m მასისა და R რადიუსის რგოლის ფორმის მქნევარა დააბრუნეს ω კუთხერ სიჩქარემდე. ხახუნის გამო ის გაჩერდა. იპოვეთ ხახუნის ძალის მომენტი, თუ მქნევარა t დროის შემდეგ გაჩერდა და სრულ გაჩერებამდე გააკეთა N ბრუნი.

2.7.4. R რადიუსის წვრილი რგოლი საკუთარი ღერძის გარშემო დააბრუნეს ω კუთხერი სიჩქარით და ბრტყლად დადეს ჰორიზონტალურ მაგიდაზე. რა დროის შემდეგ გაჩერდება რგოლი, თუ მაგიდასა და რგოლს შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ ? რამდენ ბრუნს გააკეთებს რგოლი სრულ გაჩერებამდე?

2.7.5*. ღერძის ირგვლივ მბრუნავი მყარი სხეულის კინეტიკური ენერგია კუთხერი სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია: $K=J\omega^2/2$. J კოეფიციენტს უწოდებენ ინერციის მომენტს მოცემული ღერძის მიმართ. იპოვეთ ინერციის მომენტი ჰანტელისთვის, რომელიც წარმოადგენს მსუბუქი ღეროს ბოლოებზე დამაგრებულ m_1 და m_2 მასის წერტილოვან სხეულებს, ხოლო ბრუნვის ღერძი ღეროს მართობულია და წერტილოვანი მასებიდან $\text{ძღებარეობა } r_1$ და r_2 მანძილზე.

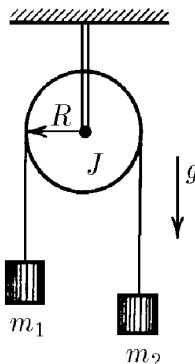
2.7.6. R რადიუსის თხელკედლებიანი ცილინდრი დააბრუნეს ω კუთხერ სიჩქარემდე და დააყენეს კუთხეში, როგორც ეს ნაჩვენებია სურათზე. კუთხის კედლებსა და ცილინდრს შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ . რამდენ ბრუნს გააკეთებს ცილინდრი სრულ გაჩერებამდე?



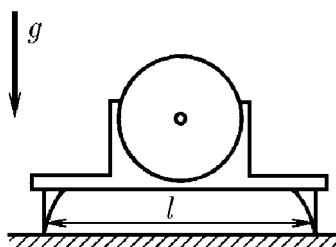
2.7.7. ამოხსენით 2.7.6. ამოცანა შემთხვევისთვის, როცა კუთხეში დააყენეს
კუთხურ სიჩქარით დაბრუნებული მთლიანი ერთგვაროვანი ცილინდრი. ასეთი
ცილინდრის ინერციის მომენტი $J = m R^2 / 2$, სადაც m ცილინდრის მასაა.

2.7.8. მყარ სხეულზე მოქმედი ძალების მომენტი მისი ბრუნვის ღერძის
მიმართ უდრის M . დაამტკიცეთ, რომ ამ ძალების მუშაობა უდრის $M\varphi$, ხოლო
სხეულის კუთხური აჩქარება M/J , სადაც φ არის სხეულის მობრუნების კუთხე,
 J - სხეულის ინერციის მომენტი ბრუნვის ღერძის მიმართ.

◊2.7.9*. განსაზღვრეთ R რადიუსიანი და J ინერციის მომენტის მქონე
ბლოკის კუთხური აჩქარება, რომელიც გამოწვეულია ბლოკზე გადადებული ძაფის
ბოლოებზე დამაგრებული m_1 და m_2 მასის ორი ტვირთით. ძაფი ბლოკზე
მოძრაობს სრიალის გარეშე.

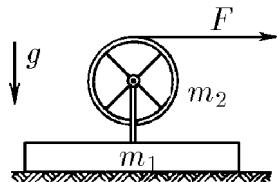


◊2.7.10. ელექტროძრავა ქვესადგამზე ისეა დამაგრებული, რომ მისი ღერძი
და მასათა საერთო ცენტრი მოთავსებულია ერთმანეთისაგან I მანძილით
დაშორებული საყრდენების შუაში. ის დააყენეს გლუვ პორიტონტალურ ზედაპირზე.
იპოვეთ რა ძალით აწვება ქვესადგამის საბჭენები ზედაპირს, თუ ჩართვის შემდეგ
ძრავის როტორი w კუთხური აჩქარებით ტრიალებს, მისი ინერციის მომენტი კი
უდრის J . ძრავის მასა ქვესადგამთან ერთად არის m .



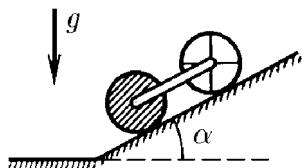
◊2.7.11. გლუვ ჰორიზინტალურ მაგიდაზე მოთავსებულია m_1 მასის

ძელაკი. მასზე დამაგრებულია m_2 მასისა და R რადიუსის თხელკედლიანი ცილინდრი, რომელსაც შეუძლია ხახუნის გარეშე იბრუნოს თავისი ღერძის გარშემო. ცილინდრზე დახვეულ უმასო წვრილ ძაფს ეწვიან ბოლოში ჰორიზონტალური F ძალით. იპოვეთ ძელაკის აჩქარება და ცილინდრის კუთხური აჩქარება.

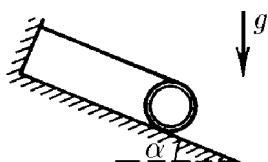


2.7.12. თხელკედლიანი ცილინდრი სრიალის გარეშე მიგორავს α კუთხით დახრილ სიბრტყეზე. იპოვეთ ცილინდრის ცენტრის აჩქარება და ცილინდრზე მოქმედი ხახუნის ძალა.

◊2.7.13*. თხელკედლიანი და მთლიანი ცილინდრების ღერძები შეერთებულია უმასო შტანგით. ცილინდრები სრიალის გარეშე მიგორავენ α კუთხით დახრილ სიბრტყეზე. ცილინდრების რადიუსები ტოლია, თითოეული ცილინდრის მასაა m . განსაზღვრეთ შტანგის დაჭიმულობის ძალა.

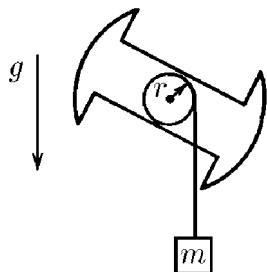


◊2.7.14*. თხელკედლიან ცილინდრზე დახვეულია ძაფი, რომლის ბოლო ისეა დამაგრებული, რომ დახრილი სიბრტყიდან ცილინდრის ჩამოსრიალებისას ძაფი დახრილი სიბრტყის პარალელური რჩება. რა სიჩქარეს შეიძინს ცილინდრიმისი ღერძის l მანძილის გავლის შემდეგ? სიბრტყის დაქანების კუთხეა α , სიბრტყესა და ცილინდრს შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ .

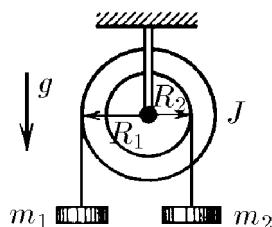


2.7.15. m_1 მასის მთლიანი ცილინდრი ჩამოცმულია ჰორიზონტალურ ღერძზე. ცილინდრზე დახვეულია ზონარი, რომლის თავისუფალ ბოლოზე ჩამოკიდებულია m_2 მასის საწონი. რა აჩქარებით დაიწყებს საწონი მოძრაობას გაშვების მომენტში?

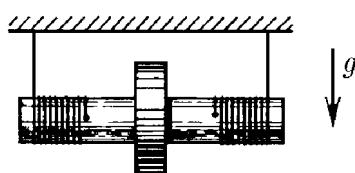
◊2.7.16. მყარი სხეული ჩამოცმულია ჰორიზონტალურ ღერძზე, რომელიც გადის მის მასათა ცენტრზე. იმავე ღერძზე ჩამოცმულია r რადიუსის მსუბუქი ბლოკი, რომელიც ხისტადაა მიმაგრებული სხეულზე. ბლოკზე დახვეული ძაფის თავისუფალ ბოლოზე ჩამოკიდებულია m მასის საწონი. საწონს ათავისუფლებენ. t დროის შემდეგ ის h მანძილზე ეშვება. იპოვეთ სხეულის ინერციის მომენტი.



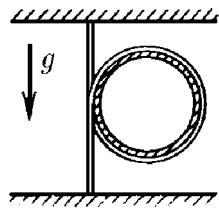
◊2.7.17. საფეხურებიან ცილინდრულ ბლოკზე საპირისპირო მიმართულებებით დახვეულია ორი ძაფი, რომლებზეც ჩამოკიდებულია m_1 და m_2 მასის ტვირთები. იპოვეთ ტვირთების აჩქარება და ძაფების დაჭიმულობის ძალები. ბლოკის ინერციის მომენტია J , ბლოკის შესაბამისი უბნების რადიუსებია R_1 და R_2 .



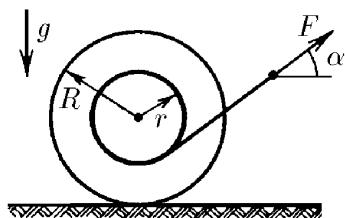
◊2.7.18. r რადიუსის ლილვზე მჯიდროდაა ჩამოცმულია მთლიანი დისკი. ამ სისტემის ინერციის მომენტი ღერძის მიმართ არის J , მასა m . ლილვზე სიმეტრიულადაა დახვეული ორი ძაფი, რომლითაც სისტემა ჩამოკიდებულია უძრავ შტატივზე. ძაფები ვერტიკალურია. სისტემას ატავისუფლებენ. იპოვეთ დისკის ღერძის აჩქარება და ძაფის დაჭიმულობის ძალა.



◊2.7.19*. ერთგვაროვანი მძიმე ბანარი, რომლის ბოლოები ერთ ვერტიკალზეა დამაგრებული, შემორტყმულია უმასო რგოლზე. რა აჩქარებით ვარდება რგოლი, თუ მას გავუშვებთ?



◊2.7.20*. პორიზონტალურ სიბრტყეებე დევს ძაფიანი კოქა. ძაფს მოქაჩეს. ძალასა და პორიზონტს შორის რა α კუთხის დროს დაიწყებს კოქა აჩქარებას დაჭიმული ძაფის მხარეს?



2.7.21*. R რადიუსისა და m მასის წვრილი რგოლი დააბრუნეს ω_0 კუთხურ სიჩქარემდე და დადეს ვერტიკალურად პორიზონტალურ სიბრტყეებე. როგორ იმოძრავებს რგოლი, თუ რგოლის სიბრტყესთან ხახუნის კოეფიციენტია μ ? განსაზღვრეთ ღერძის სიჩქარისა და რგოლი ბრუნვის კუთხური სიჩქარის დამოკიდებულება დროზე. რამდენ ხანში შეწყდება სრიალი? საწყისი ენერგიის რა ნაწილი გადავა სითბოში?

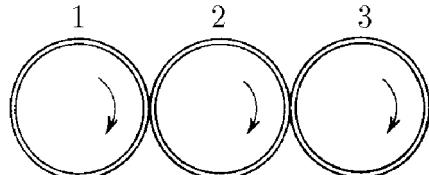
2.7.22*. პორიზონტალური სიბრტყის გასწვრივ R რადიუსისა და m მასის ერთგვაროვან ცილინდრს ბრუნვის გარეშე მიანიჭეს v_0 საწყისი სიჩქარე. რა დროში შეწყდება სრიალი, თუ ცილინდრის სიბრტყესთან ხახუნის კოეფიციენტია μ ? საწყისი ენერგიის რა ნაწილი გადავა სითბოში?

2.7.23*. ხორკლიან პორიზონტალურ ზედაპირზე სრიალის გარეშე v სიჩქარით მიგორავს წვრილი რგოლი. გლუვ ვერტიკალურ კედელთან დრეკადი დარტყმის შემდეგ რამდენ ხანში გაჩერდება რგოლი, თუ რგოლის ზედაპირთან ხახუნის კოეფიციენტია μ ? აღწერეთ ხარისხობრივად მთელი დისკის მოძრაობა დარტყმის შემდეგ.

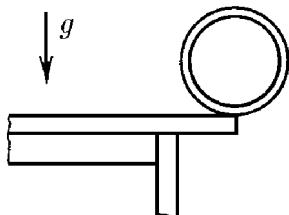
2.7.24. გაეცანით 2.4.18. ამოცანის პირობას. რა საწყისი კუთხური სიჩქარის დროს დაბრუნდება R რადიუსის რგოლი საწყის წერტილში, თუ ის პორიზონტალურ იატაკზე მოძრაობს მუდმივი აჩქარებით? რგოლის ცენტრის საწყისი სიჩქარეა v .

◊2.7.25. სამი ერთნაირი ცილინდრი დააბრუნეს ω კუთხურ სიჩქარემდე და მოიყვანეს შეხებაში ისე, რომ მარცხენა და მარჯვენა ცილინდრები აღმოჩნდნენ ცენტრალურზე ერთნაირი ძალით მიბჯენილი. ცილინდრების ღერძები პარალელურია

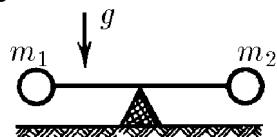
და დამაგრებული. როგორი იქნება საბოლოოდ ცილინდრების ბრუნვის კუთხური სიჩქარეები?



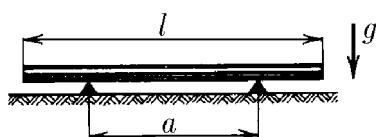
◊2.7.26. თხელი რგოლის ცენტრი პირდაპირ მაგიდის კიდის თავზე მდებარეობს. რგოლი უძრაობის მდგომარეობიდან სრიალის გარეშე იწყებს ჩამოგორებას. რა კუთხით შემობრუნდება რგოლი მაგიდის კიდიდან მისი მოწყვეტის მომენტში? ეს კუთხე მეტი იქნება, თუ ნაკლები, თუ მაგიდიდან წყდება ბირთვი?



◊2.7.27*. მსუბუქი ღერო ბოლოებზე m_1 და m_2 მასის დამაგრებული ტვირთებით შეა ნაწილით ეყრდნობა ხისტ სადგამს. საწყის მომენტში ღეროს ჰორიზონტალურად აკავებენ, ხოლო შემდეგ ათავისუფლებენ. რა ძალით აწვება ის სადგამს მყისვე გაშვების მომენტში?

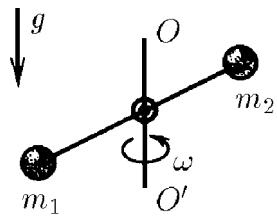


◊2.7.28*. წვრილი ერთგვაროვანი l სიგრძისა და m მასის პატარა ჭოხი სიმეტრიულად დევს საყრდენებზე, რომელთა შორის მანძილია a . ერთ საყრდენს სწრაფად აშორებენ. როგორი იქნება მყისვე ამის შემდეგ დარჩენილი საყრდენის რეაქციის ძალა?



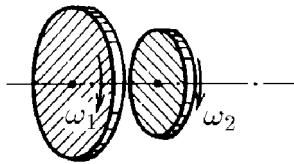
◊2.7.29. პანტელი წარმოადგენს l სიგრძის უწონო ღეროთი შეერთებულ

m_1 და m_2 მასის ბურთულებს. პანტელი ω კუთხური სიჩქარით ტრიალებს ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ, რომელიც გადის პანტელის ცენტრზე. განსაზღვრეთ კუთხე, რომელსაც პანტელის ღერძი ქმნის ბრუნვის ღერძთან.



◊2.7.30. J_1 და J_2 ინერციის მომენტების მქონე ორი დისკი ხახუნის

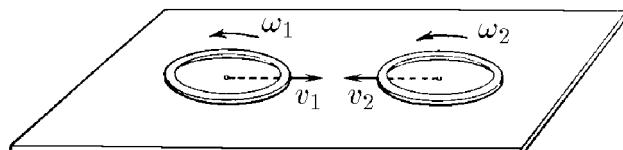
გარეშე ბრუნავს ერთსადაიმავე ღერძის გარშემო შესაბამისად ω_1 და ω_2 კუთხური სიჩქარით. დისკები ერთმანეთს შეეხენ. დისკებს შორის გაჩენილი ხახუნის გამო რამდენიმე ხანში ერთი დისკის მეორეზე სრიალი შეწყდა. როგორი გახდება დისკების ბრუნვის კუთხური სიჩქარე? სითბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა?



2.7.31*. R რადიუსის მბრუნავი რგოლი ვერტიკალურად ვარდება

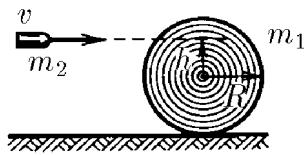
ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე და დაცემის შემდეგ აირეკლება ბრუნვის გარეშე v სიჩქარითა და 30° კუთხით. იპოვეთ რგოლის კუთხური სიჩქარე სიბრტყესთან დაკახებამდე.

◊2.7.32*. გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე ერთმანეთის შესახვედრად მოძრაობს ორი ერთნაირი თხელი მბრუნავი რგოლი. მათი v_1 და v_2 სიჩქარეები მიმართულია რგოლების ცენტრების შემაერთებელი წრფის გასწრივ. რგოლების კუთხური სიჩქარეებია ω_1 და ω_2 . განსაზღვრეთ რგოლების კუთხური სიჩქარეები დაკახების შემდეგ, თუ რგოლებს შორის სრიალი ქრება დაკახების ბოლო მომენტში.



◊2.7.33. გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე უძრავად დევს m_1 მასისა და

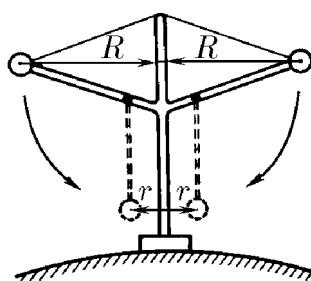
R რადიუსის ცილინდრი. მას ხვდება m_2 მასის ტყვია, რომელიც v სიჩქარით მიფრინავს ცილინდრის ღერძიდან h სიმაღლეზე. ჩათვალეთ, რომ დარტყმა აბსოლუტურად არადრეკადია, $m_2 \ll m_1$, და იპოვეთ ღერძის სიჩქარე და ცილინდრის კუთხური სიჩქარე.



2.7.34. m_1 მასისა და R რადიუსის ერთგვაროვან პორიზონტალურ უძრავ დისკობე დგას m_2 მასის ადამიანი. დისკოს შეუძლია ხახუნის გარეშე ბრუნვა მის ცენტრზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. რა კუთხური სიჩქარით დაიწყებს დისკო ბრუნვას, თუ ადამიანი დისკოს მიმართ v სიჩქარით ივლის დისკოს ღერძის ირგვლივ r რადიუსიან წრენირზე? დისკოს რადიუსი ბევრად მეტია ადამიანის სიმაღლეზე.

2.7.35. თავისი ვერტიკალური ღერძის მიმართ J ინერციის მომენტის მქონე R რადიუსის დისკო თავისუფლად ბრუნავს ამ ღერძის გარშემო ω კუთხური სიჩქარით. მის კიდეში დგას m მასის ადამიანი. როგორ შეიცვლება დისკოს ბრუნვის კუთხური სიჩქარე, თუ ადამიანი დისკოს კიდიდან გადაინაცვლებს ცენტრისკენ? ამასთან, როგორ შეიცვლება სისტემის კინეტიკური ენერგია? ადამიანის ზომები დისკოს ზომებთან შედარებით მხედველობაში არ მიიღოთ.

◊**2.7.36.** დედამიწის პოლუსზე მყოფ დანადგარში მცირე ზომის, მაგრამ მძიმე ტვირთებს ვერტიკალური ღერძიდან R მანძილზე იკავებს თოკი. თოკი გადაწვეს. ტვირთები ეშვებიან და აღმოჩნდნენ ღერძიდან $r=0,1R$ მანძილზე. ამის შემდეგ რამდენ ბრუნს შეასრულებს დანადგარი საათში, თუ თავდაპირველად ის დედამიწის მიმართ არ ბრუნავდა? ხახუნი არ გაითვალიწინოთ.

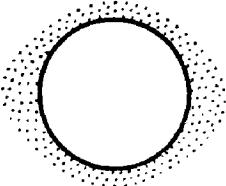


2.7.37. მომატებული წნევის სუბტროპიკული სარტყელის ჰაერი გადადის დაბალი წნევის ეკვატორულ სარტყელში. რომელ მხარეს – დასავლეთით თუ აღმოსავლეთით – გადაიხრება ის თავისი მოძრაობის დროს?

2.7.38*. უკანასკნელ 40 წლითადში დღე-ღამებ დაახლოებით 10^{-3} მ-ით მოიმატა. ზოგიერთი გეოფიზიკოსი ამის ძირითად მიზებად თვლის ანტარქტიდაში პოლარული ყინულოვანი საფარის დნობას. შეაფასეთ, ყინულის რა მასა დადნა ანტარქტიდაში, თუ ეს ვარაუდი მართალია 40 წლის განმავლობაში.

◊**2.7.39*.** ა) ცნობილია, რომ საკუთრივ დედამიწის მოქცევითი დეფორმაცია და ოკეანეების მოქცევა ანელებენ დედამიწის ბრუნვას. ახსენით, როგორ ჩნდება ამისათვის საჭირო ძალთა მომენტი.

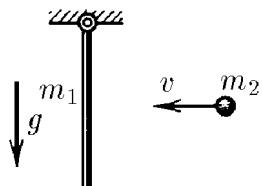
ბ) დედამიწის ატმოსფეროში მზის მოქცევა მაქსიმუმს აღწევს ორი საათით ადრე, ვიდრე მზე ზენიტს გაივლის. ხელს უწყობს თუ უშლის ეს მოქცევა სადღელამისო ბრუნვის შენელებას?



2.7.40*. ^l სიგრძის ერთგვაროვანი ღერო დგას გლუვ პორიზონტალურ ზედაპირზე და იწყებს ვარდნას ვერტიკალური მდებარეობიდან. განსაზღვრეთ ჭოხის ზედა ბოლოს სიჩქარე პორიზონტალურ ზედაპირთან დაჯახების წინ.

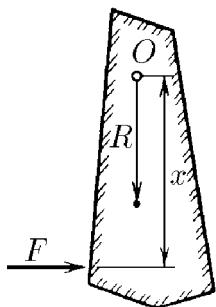
2.7.41. ^m მასისა და ^l სიგრძის ღერო დევს გლუვ პორიზონტალურ ზედაპირზე. ^m მასის პლასტელინის ბურთულა ეჯახება ღეროს მართობული ^v სიჩქარით მის ერთ-ერთ ბოლოს და ეწებება მას. სითბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა ასეთი დარტყმის დროს?

◊2.7.42. ^{m₁} მასისა და ^l სიგრძის ღერო ჰკიდია სახსარზე. ^{m₂} მასის პლასტელინის პატარა ნაჭერი მოძრაობს პორიზონტალურად ^v სიჩქარით და ღეროს შუა წერტილთან დაჯახების შემდეგ ეწებება მას. იპოვეთ ღეროს ვერტიკალიდან გადახრის მაქსიმალური კუთხე. ხახუნი სახსარში არ გაითვალისწინოთ.

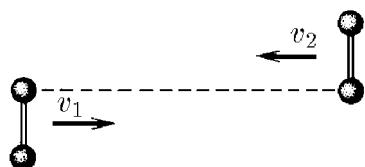


2.7.43*. ფარიკაობის დროს რომელი ადგილით უნდა დაარტყათ ჭოხი ჭოხს, რათა არ იგრძნოთ უკუცემა? ჭოხი გიკავიათ ბოლოთი ცალი ხელით.

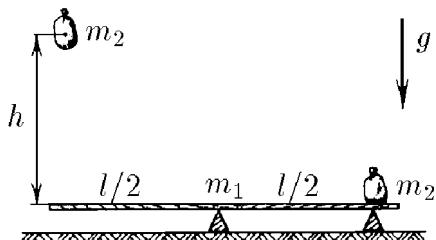
◊2.7.44. ^m მასის მყარი სხეულის ინერციის მომენტი ^O ღერძის მიმართ არის ^J. სხეულის მასათა ცენტრი მდებარეობს ამ ღერძიდან ^R მანძილზე. მყარ სხეულზე მცირე დროით მოქმედებს ^F ძალა, რომელიც მართობია მოდების წერტილსა და ღეროს შემაერთებელი ^x სიგრძის მონაკვეთის. იპოვეთ ამ დროს ღერძზე მოქმედი ძალა. ^x-ის რა მნიშვნელობისთვისაა ღერძზე მოქმედი ძალა უმცირესი?



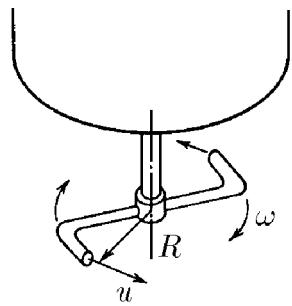
◊2.7.45. ორი ერთნაირი ჰანტელი მოფრინავს ერთმანეთის შესახვედრად v_1 და v_2 სიჩქარით ისე, როგორც ნახატზეა ნაჩვენები. ჰანტელის ბურთულებს შორის მანძილია l . როგორ იმოძრავებს ჰანტელები დრეკადი დაჯახების შემდეგ?



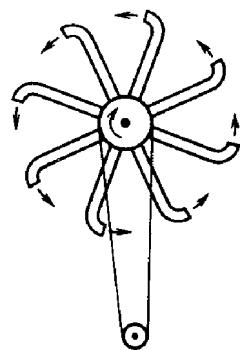
◊2.7.46*. რა სიმაღლეზე შეიძლება ავაგდოთ სილიანი ტომარა m_1 მასისა და l სიგრძის ფიცრის მეშვეობით, თუ ამ ფიცრის მეორე ბოლოზე H სიმაღლიდან ვარდება ასეთივე სილიანი ტომარა? სილიანი ტომრის მასაა m_2 .



◊2.7.47*. სითხით სავსე ჭურჭლის ფსკერიდან გამავალ ვერტიკალურ მილზე ჩამოცმულია მუხლისებურად მოღუნული საცობი – სეგნერის ბორბალი. თუ ჭურჭელში ვამატებთ სითხეს ისე, რომ მასში სითხის გამოდინებისას სითხის დონე არ იცვლება, სეგნერის ბორბალი იბრუნებს მუდმივი ω კუთხური სიჩქარით. განსაზღვრეთ საცობზე მოქმედი ხახუნის ძალების მომენტი, თუ მის მიმართ სითხე გამოედინება R რადიუსის წრენირის მხების გასწვრივ u სიჩქარით. სითხის მასის ხარჯია m .

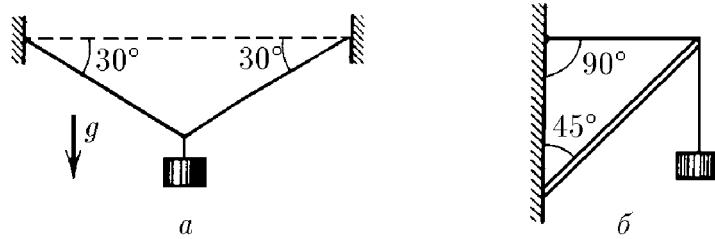


◊2.7.48*. იპოვეთ სეგნერის ბორბლის პრინციპით მოწყობილი ტურბინის სასარგებლო სიმძლავრე. ხაუნი არ გაითვალისწინოთ. მონაცემები აიღეთ წინა ამოცანიდან. როგორაა დამოკიდებული ტურბინის ბრუნვის კუთხეური სიჩქარე და ტვირთვის ძალების მომენტები?

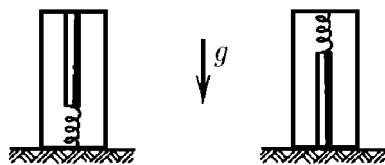


§ 2.8. სტატიკა

◊**2.8.1.** ნახატზე გამოსახულია კონსტრუქციები, რომლებიც აკავებენ 10 კგ მასის ტვირთს. გვარლები წვრილი ხაზებით არის გამოსახული, ღერო – ორმაგი ხაზით. განსაზღვრეთ გვარლების დაქიმვის ძალა a შემთხვევისთვის და ღეროზე გადადებული გვარლის მხრიდან ღეროზე მოქმედი ძალა b შემთხვევისთვის.

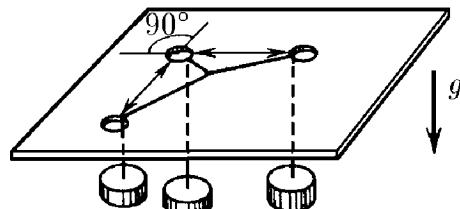


◊**2.8.2.** დახურულ საკალმაში 0,01 კგ მასის ფანქარი ვერტიკალურად დგას ზამბარაზე. როცა საკალმე გადააბრუნეს, ფანქარი დააწვა თავსახურს 1,2 ჭერ მეტი ძალით. რა ძალით აწვებოდა ის მას თავდაპირველად?

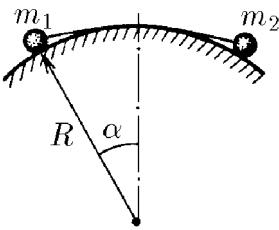


2.8.3. განსაზღვრეთ რა უდიდესი სიმაღლე შეიძლება ჰქონდეს აგურიდან აშენებულ კედელს, თუ აგურის სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას არის 10^7 პა, ხოლო მისი სიმკვრივე უდრის $1,5 \cdot 10^3$ გ³.

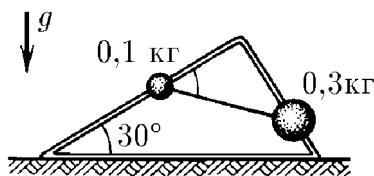
◊**2.8.4.** მაგიდის ზედაპირის სამ ნახვრეტში გატარებულია ძაფები, რომლებიც ერთი ბოლოდან საერთო კვანძით არიან გაფსკვნილი. თითოეული ძაფის მეორე ბოლოს დამაგრებულია ერთნაირი ტვირთები. იპოვეთ კუთხეები ძაფებს შორის. ხახუნი არ გაითვალისწინოთ.



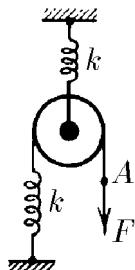
◊**2.8.5.** მცირე ზომის ორი ტვირთი შეერთებულია l სიგრძის ძაფით და დევს R რადიუსის ცილინდრულ გლუვ ზედაპირზე. ტვირთების წონასწორობის დროს კუთხე ვერტიკალსა და m_1 მასის ტვირთთან გავლებულ რადიუსს შორის არის α . იპოვეთ მეორე ტვირთის მასა.



◊2.8.6. მავთულისგან დამზადებულია მართკუთხა სამკუთხედის ფორმის ჩარჩო, რომელიც ვერტიკალურ სიბრტყეში ისეა მოთავსებულია, როგორც ნახატზე ნაჩვენები. მავთულზე ხახუნის გარეშე შეუძლიათ სრიალი ძაფით შეერთებულ $m_1=0,1$ კგ და $m_2=0,3$ კგ მასის ტვირთებს. იპოვეთ ძაფის დაჭულობის ძალა და კუთხე ძაფსა და სამკუთხედის გრძელ კათეტს შორის წონასწორობის დროს.

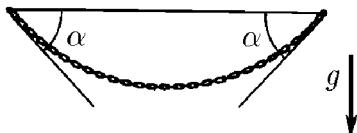


◊2.8.7. რამდენით გადაინაცვლებს მოძრავ ბლოკზე გადადებული ძაფის ბოლო (წერტილი A), თუ მას მოვდებთ F ძალას? ზამბარების სიხისტეა k .

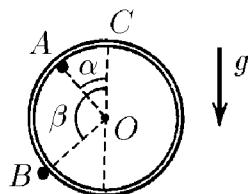


2.8.8. თუ ვერტიკალურად ჩამოკიდებული ზამბარის ბოლოს მივამაგრებთ ტვირთს, მაშინ მისი სიგრძე გახდება l_1 . თუ ამავე ტვირთს დავამაგრებთ ზამბარის შუა წერტილში, მისი სიგრძე გახდება l_2 . იპოვეთ არადეფორმირებული ზამბარის სიგრძე.

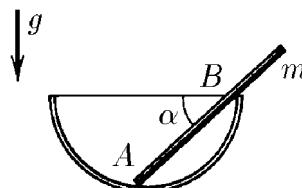
◊2.8.9. m მასის ძენცვი ბოლოებით ისეა ჩამოკიდებული, რომ დაკიდების წერტილების მახლობლად ჰორიზონტან ქმნის α კუთხეს. განსაზღვრეთ ძენცვის დაჭიმულობის ძალა მის ქვედა და დაკიდების წერტილებში.



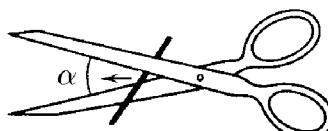
◊2.8.10. m მასის გლუვი თხელი რგოლი ჰქიდია კედელზე ცალ ლურსმანზე (A) და მეორეს (B) ეყრდნობა. რგოლის ცენტრიდან A ლურსმანთან შეერთებული რადიუსი ვერტიკალთან ქმნის α კუთხეს. ხოლო B ლურსმანთან β კუთხეს. იპოვეთ რა ძალით მოქმედებს რგოლი თითოეულ ლურსმანზე.



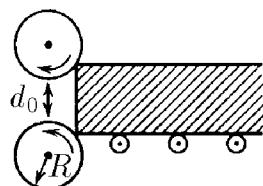
◊2.8.11. გლუვ დამაგრებულ ნახევარსფეროში m მასის პატარა ჭოხი თავისუფლად დევს ისე, რომ პორიზონტთან ქმნის α კუთხეს, ხოლო ერთი ბოლო ნახევარსფეროდან გარეთ გამოდის. რა ძალით აწვება ჭოხი ნახევარსფეროს შეხების A და B წერტილებში?



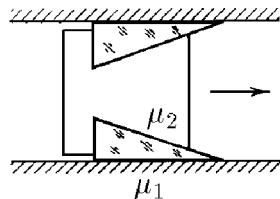
◊2.8.12. მავთული, როცა მას ჭრიან მაკრატლით, გასრიალდება მაკრატლის ბოლოებისაკენ და მხოლოდ მაშინ, როცა მაკრატლის გაშლილობის კუთხე მავთულის მოძრაობისას შემცირდება $\alpha_{\text{ზო}}$ მნიშვნელობამდე, მაკრატელი გადაჭრის მავთულს. რატომ ხდება ასე? განსაზღვრეთ მაკრატლის პირზე მავთულის ხახუნის კოეფიციენტი. სიმძიმის ძალა არ გაითვალისწინოთ. მავთული დამაგრებული არაა.



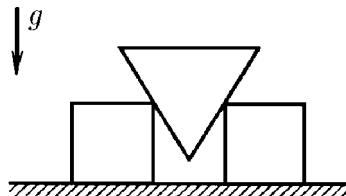
◊2.8.13. გადამაადგილებელი ჩარხის ლილვების რადიუსებია R . ბრუნვისას ისინი შეითრევენ ნამზადს, თუ მისის სისქე საკმაოდ მცირეა. ლილვებსა და ნამზადს შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ , ხოლო მანძილი ლილვებს შორის არის d_0 . იპოვეთ ნამზადის მაქსიმალური სისქე. ნამზადს არ აწვებიან.



◊2.8.14*. სხეული მასში დაყენებული სოლებით ორ პარალელურ კედელს შორის ისეა მოთავსებული, როგორც ნახატზეა ნაჩვენები. იპოვეთ სოლების წვეროებთან ზღვრული კუთხე, რომლის დროსაც სხეულს შეუძლია მარჯვნივ მოძრაობა და არ შეუძლია მარცხნივ. სოლების კედლებთან და სხეულთან ხახუნის კოეფიციენტები შესაბამისად ტოლია μ_1 და μ_2 .



◊2.8.15. პორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებულ კვადრატული კვეთის ერთნაირ ძელაკებს შორის ჩადგმულია იგივე მასის გლუვი სოლი ტოლგვერდა სამკუთხედის მსგავსი კვეთით. ძელაკების ზედაპირთან რა ხახუნის კოეფიციენტის დროს დაიწყებენ ისინი გაშლას?

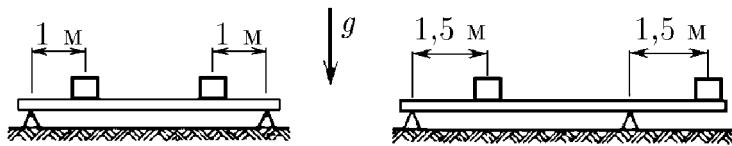


2.8.16*. ცილინდრულ ბოძზე დახვეულია ბაგირის ერთი ხვია. იმისათვის რომ ბაგირმა ბოძზე არ ისრიალოს, როდესაც მას ერთ-ერთ ბოლოზე ქაჩავენ F ძალით, საკმარისია მისი მეორე ბოლო დავაკავოთ f ძალით. როგორ შეიცვლება დამკავებელი ძალა, თუ ბოძზე n ხვია არის დახვეული? ბაგირის ხვიები არ ეხებიან ერთმანეთს.

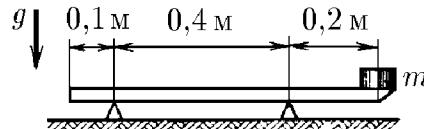
◊2.8.17*. ბანარი შემოხვეულია ბოძზე θ კუთხის მქონე რკალზე. მას ერთ ბოლოში F_0 ძალით ქაჩავენ. რა მინიმალური ძალა უნდა გამოვიყენოთ ბანრის მეორე ბოლოზე მის დასაკავებლად, თუ ბოძზე ბანრის ხახუნის კოეფიციენტია μ ?



◊2.8.18. სურათზე გამოსახულია ბერკეტები, რომლებზეც მოთავსებულია ორ-ორი თითოეული 10 კგ მასის ტვირთი. მანძილი ბერკეტების სადგამებს შორის არის 4 მ. იპოვეთ რა ძალით აწვება ბერკეტები სადგამებს.

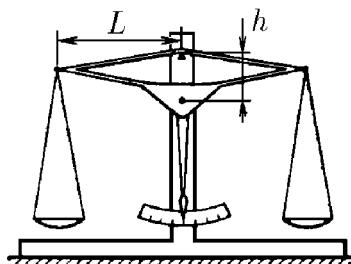


◊2.8.19. 0,01 კგ მასის სახაზავი ორ საყრდენზე ისე დევს, როგორც სურათზე ნაჩვენები. სახაზავის ერთ ბოლოზე დადებულია ტვირთი. როგორია ტვირთის მასა, რომლის დროსაც შესაძლებელია წონასწორობა?

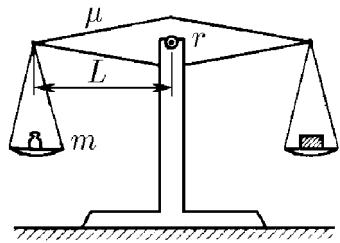


2.8.20. არატოლმხარა სასწორი იმყოფება წონასწორობაში. თუ სასწორის მარცხენა ჭამზე დავდებთ ტვირთს, მისი გაწონასწორება მოხდება m_1 მასის საწონით მარჯვენა ჭამზე. თუ იგივე ტვირთს სასწორის მარჯვენა ჭამზე დავდებთ, მისი გაწონასწორება მოხდება m_2 მასის საწონით მარცხენა ჭამზე. იპოვეთ ტვირთის მასა.

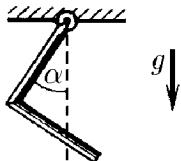
◊2.8.21. ტოლმხარა სასწორის მასათა ცენტრი მდებარეობს საკიდელის წერტილისაგან დაბლა h მანძილზე, ხოლო სასწორის მასაა m_0 . სასწორის მხრების ბოლოებზე, რომელთა შორის მანძილია $2L$, ძაფებზე ჩამოკიდებულია ერთნაირი ჭამები. რამდენით განსხვავდება ჭამებზე დადებული ტვირთების მასები, თუ სასწორის ისარი ვერტიკალიდან α კუთხით გადაიხარა?



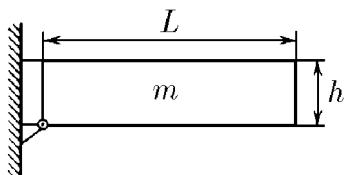
◊2.8.22. ტოლმხარა სასწორის r რადიუსის ღერძი ჩადგმულია სადგამის ქრილში. თუ ერთ ჭამზე m მასის საწონი და მეორეზე ტვირთი დევს სასწორი გაწონასწორებულია. სასწორის მხრების მასა ჭამებთან ერთად M -ის ტოლია, ხოლო სიგრძე - $2L$. რამდენით შეიძლება განსხვავდებოდეს ტვირთის მასა საწონის მასისაგან, თუ ღერძსა და სადგამს შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ ?



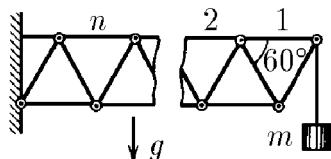
◊2.8.23. მძიმე ღერო შეაში მოხრილია მართი კუთხით და თავისუფლად ჰქიდია ერთ-ერთ ბოლოზე. რა კუთხეს ქმნის ვერტიკალთან ღეროს ზედა ნახევარი.



◊2.8.24. L სიგრძისა და h სიმაღლის ერთგვაროვანი ძელის მასაა m . ძელის ქვედა მარცხენა კუთხე სახსრულად უერთდება კედელს, ხოლო ზედა მარცხენა კუთხე ჰორიზონტალური თოკით კედელზე მიმაგრებული. ძელის მდებარეობა ჰორიზონტალურია. განსაზღვრეთ თოკის დაჭიმულობის ძალა და წნევის ძალა, რომლითაც ძელი აწვება სახსრის ღერძს.



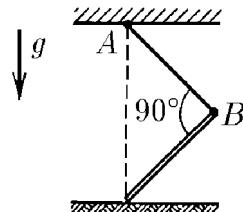
◊**2.8.25***. სისტემა შედგება სახსრულად შეერთებული ერთნაირი ღეროებისაგან. მასზე ჩამოკიდეს m მასის ტვირთი ისე, როგორც ნახატგეა ნაჩვენები. განსაზღვრეთ $\mathbf{d}_\text{ალა}$, რომელიც ჭიმავს n -ურ ზედა პორიტონტალურ ღეროს.



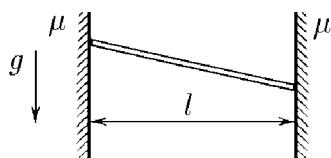
◊2.8.26. რა ძალით აწვება ცილინდრული ჭიქის გვერდებს m მასის პატარა ჭოხი, რომელიც წყალში ნახევრამდეა ჩაშვებული? პორიზონტან ჭოხის დახრილობის კუთხება α . ხახუნი არ გაითვალისწინოთ.



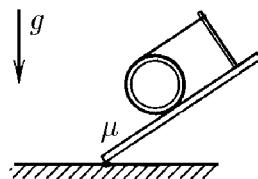
◊2.8.27. როგორი უნდა იყოს იატაკზე ერთგვაროვანი ღეროს ხახუნის კოეფიციენტი, რომ ის გაჩერდეს ისეთ მდგომარეობაში, როგორც ეს ნახატზეა ნაჩვენები? AB ძაფის სიგრძე ღეროს სიგრძის ტოლია.



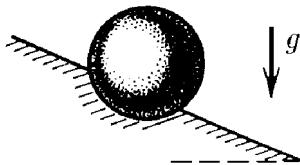
◊2.8.28. ვერტიკალურ კედლებს შორის მანძილია l . რა სიგრძე უნდა ჰქონდეს კედლებს შორის დახრილად ჩადგმულ ღეროს, რომ ის არ ჩასრიალდეს? ღეროსა და კედლებს შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ .



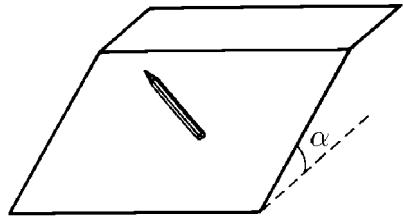
◊2.8.29. ცილინდრზე დახვეულია ძაფი, რომლის ერთი ბოლო დახრილი სიბრტყის ზედა წერტილშია დამაგრებული (იხ. ნახ.). რა კუთხე უნდა ჰქონდეს დახრილ სიბრტყეს, რომ ცილინდრი არ ჩამოსრიალდეს მისი ზედაპირიდან, თუ სიბრტყესთან ცილინდრის ხახუნის კოეფიციენტია μ ?



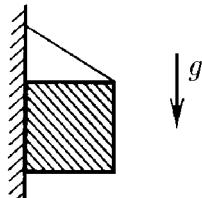
◊2.8.30. ფიცრის სიღრუეში ჩადგმულია ბურთი, რომლის რადიუსი სიღრუის სიღრმეზე ორჯერ მეტია. პორიზონტთან დაფის დახრის კუთხის რა მნიშვნელობისათვის ამოვარდება ბურთი სიღრუიდან?



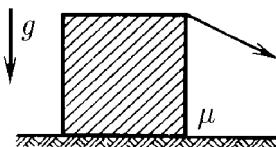
◊2.8.31*. $\alpha > 30^\circ$ დახრილობის კუთხის მერხე დებენ ექვსწანაგიან ფანქარს ისე, რომ ის არ ჩამოგორდეს ქვევით და არ ისრიალოს. ფანქარსა და მერხის პორიზონტალურ კიდეს შორის რა უმცირესი კუთხისთვისაა ეს შესაძლებელი?



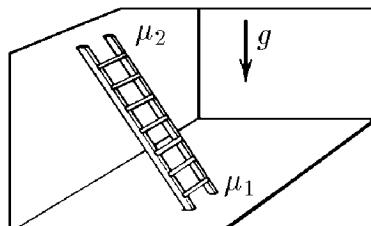
◊2.8.32. ერთგვაროვან კუბს მისი წიბოს შეა ნაწილში მიაბეს თოვი და კედელზე ჩამოკიდეს. რა მნიშვნელობები უნდა ჰქონდეს კუთხეს ბანარსა და კედელს შორის, რომ კუბი მთელი წიბოთი შეეხოს კედელს, თუ სიბრტყეზე მისი ხახუნის კოეფიციენტი უდრის μ ?



◊2.8.33*. m მასის კუბი დევს პორიტონტალურ სიბრტყეზე. რა მინიმალური ძალით და პორიტონტან რა კუთხით უნდა მოვქაჩოთ კუბი ზედა წიბოზე, რომ მან სრიალის გარეშე დაიწყოს გადყირავება, თუ სიბრტყეზე კუბის ხახუნის კოეფიციენტია μ ?

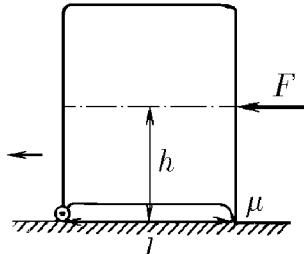


◊2.8.34. კიბე ეყრდნობა ვერტიკალურ კედელსა და იატაკს. რა მნიშვნელობები უნდა ჰქონდეს კიბესა და იატაკს შორის კუთხეს, რომ კიბე იდგეს, თუ იატაკზე და კედელზე მისი ხახუნის კოეფიციენტები შესაბამისად μ_1 და μ_2 ტოლია?



◊2.8.35*. მაცივრის მასის ცენტრი მდებარეობს საბჭენების ცენტრში იატაკიდან h სიმაღლეზე. საბჭენებს შორის მანძილია l . უკანა საბჭენებს წარმოადგენენ პატარა ბორბლები ღერძებში ძალზე უმნიშვნელო ხახუნით, ხოლო წინა საბჭენები – უძრავ შვერილებს, რომელთა იატაკზე ხახუნის კოეფიციენტი უდრის μ . თუ მაცივარზე

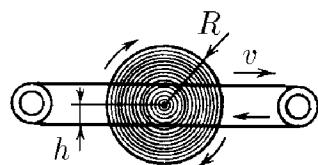
ვიმოქმედებთ მასათა ცენტრის დონეზე პორიტონტალური F ძალით, მაშინ მაცივარი უკან, ბორბლების მიმართულებით წაინაცვლებს. რა პორიტონტალური ძალა უნდა მოვდოთ იმავე დონეზე საპირისპირო მიმართულებით მაცივარის წინ გადასაადგილებლად?



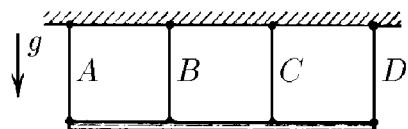
2.8.36. R რადიუსი მბრუნავ პორიტონტალურ ღერძზე ჩამოცმულია მცირე

ღრეჩოთი მსუბუქი მილისა, რომელზეც რადიალურადაა მიმაგრებული l სიგრძის მსუბუქი ღერო. ღეროს ბოლოს მძიმე ტვირთია დამაგრებული. ღერძთან ერთად მილისას ბრუნვისას იპოვეთ რადიალური მიმართულებიდან ღეროს გადახრის კუთხე, თუ მილისა და ღერძს შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ .

◊2.8.37*. R რადიუსის ბობალს შეუძლია თავისუფლად იბრუნოს თავისი ღერძის გარშემო. ბრუნვის ღერძიდან h მანძილზე ბორბლის გვერდის მხარეს მიკრულია v სიჩქარით მოძრავი ამძრავი ღვედები. განსაზღვრეთ ბორბლის დამყარებული კუთხური სიჩქარე, თუ მისი შეხება ამძრავ ღვედთან მხოლოდ ფერსობების დეგება.

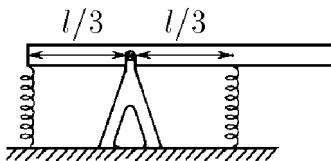


◊2.8.38. l სიგრძის ერთგვაროვანი ძელი ჰკიდია ერთმანეთისაგან $l/3$ მანძილზე დამაგრებულ ოთხ ერთნაირ ბაგირზე. A ბაგირი მოაშორეს. ბაგირების გაწყვეტის საშიშროების შესამცირებლად კიდევ D ბაგირის მოშორებას გვთავაზობენ. სწორია თუ არა ეს წინადადება?

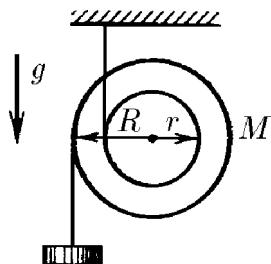


◊2.8.39. l სიგრძისა და m მასის ერთგვაროვან ძელს ბოლოდან $l/3$ მანძილზე აქვს ბრუნვის ღერძი. ძელის ბოლოს იატაკზე დამაგრებული ზამბარაა მიერთებული, ასეთივე ზამბარაა მიერთებული სიმეტრიულად ღერძის მეორე მხარეს.

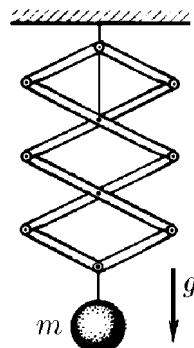
ძელის ჰორიზონტალური მდებარეობის დროს ორივე ზამბარა არადეფორმირებულია . იპოვეთ ძალები, რომლითაც ძელი მოქმედებს ღერძზე და ზამბარებზე. ზამბარების დეფორმაციები მცირეა, ამიტომ ძელი თითქმის ჰორიზონტალურია.



2.8.40. კოქა ჩამოკიდებულია ძაფზე, რომელიც მის მცირე r რადიუსზეა დახვეული. კოქას დიდ R რადიუსზე აგრეთვე შემოხვეულია ძაფი, რომლის ბოლოს ჰკიდია ტვირთი. იპოვეთ ტვირთის მასა, თუ სისტემა იმყოფება წონასწორობაში. კოქის მასა არის M .



2.8.41. ძაფი აერთებს ზედა რომბის სახსრების ღერძებს. იპოვეთ ძაფის დაჭიმულობის ძალა. ტვირთის მასაა m , საკიდის მასა შეიძლება უგულებელყოთ.

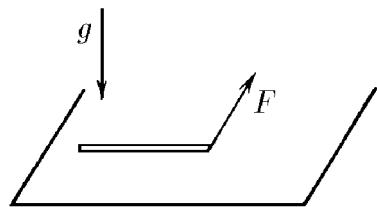


2.8.42*. φ დახრილობის კუთხის მქონე სახლის სახურავზე დევს ტყვიის ფურცელი. ჰაერის ტამპერატურა დღე-ღამის განმავლობაში მატულობს და აღწევს მაქსიმალურ t_2 მნიშვნელობას, შემდეგ კი კლებულობს მინიმალურ t_1 ტემპერატურამდე, რომლის დროსაც ფურცლის სიგრძე უდრის l . იპოვეთ ფურცლის წერტილები, რომლებიც უძრავი არიან გახურების დროს; გაცივების დროს. N დღე-ღამის განმავლობაში რა მანძილზე ჩამოსრიალდება ფურცელი მდგრადი ამინდის

დროს? სახურავზე ფურცლის ხახუნის კოეფიციენტი $\mu > \tan \varphi$. ტყვის წრფივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტია α .

2.8.43. ჭიანჭველამ გადაწყვიტა ჩალის ღერი ბუდესთან მიათრიოს. როგორ უნდა მოიქცეს ის, თუ ძალა, რომლითაც მას შეუძლია ღეროს მოქაჩვა, უძრაობის ხახუნის მაქსიმალურ ძალაზე ცოტაოდენ ნაკლებია?

2.8.44*. m მასის ერთგვაროვანი თხელი ძელაკი დევს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე. რა უმცირესი ჰორიზონტალური ძალა უნდა მოვდოთ ძელაკის ბოლოს მის მართობულად, რომ იგი ადგილიდან დავძრათ? ძელაკსა და სიბრტყეს შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ .

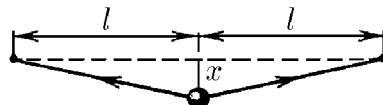


თავი 3

რხევები და ტალღები

§ 3.1. წონასწორობიდან მცირე გადახრები

3.1.1. ²¹ სიგრძის დაჭიმული სიმის შუაში დამაგრებულია ბურთულა. რა ძალით მოქმედებს სიმი მასზე, თუ წონასწორობის მდებარეობიდან ბურთულას განივი გადაადგილება $x \ll l$, ხოლო სიმის დაჭიმულობის F ძალა არაა დამოკიდებული გადაადგილებაზე? რატომ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ მცირე წანაცვლებების დროს ბურთულაზე მოქმედი ძალის დამოკიდებულება x -ზე წრფივია? როგორაა მიმართული ეს ძალა? იპოვეთ ბურთულას პოტენციალური ენერგია მცირე x -თვის. როგორია ბურთულას სიჩქარე წონასწორობის მდებარეობის გავლისას, თუ მისი მაქსიმალური წანაცვლებაა x_0 ? ბურთულას მასაა m .



3.1.2. m მასის ტვირთი ჰარიდა k სიხშისტის ზამბარაზე. როგორაა დამოკიდებული ტვირთზე მოქმედი ძალა წონასწორობის მდგომარეობიდან მისი x -ით წანაცვლებაზე? იპოვეთ ტვირთის პოტენციალური ენერგიის x -ზე დამოკიდებულება.

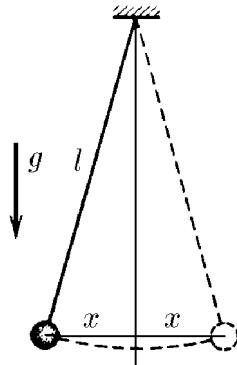
3.1.3. ა) m მასის სხეული ჰარიდა ზამბარაზე და ირხევა ისე, რომ მაქსიმალური სიჩქარეა v_0 , ხოლო წონასწორობის მდებარეობიდან მაქსიმალური გადახრაა x_0 . განსაზღვრეთ ზამბარის სიხშისტე.

ბ) ზამბარაზე დაკიდებული m მასის სხეულის რხევისას სხეულის სიჩქარე x კოორდინატზე დამოკიდებულებია $v = v_0 \sqrt{1 - (x/x_0)^2}$ კანონის მიხედვით. იპოვეთ სხეულზე მოქმედი ძალისა და ამ სხეულის პოტენციალური ენერგიის x კოორდინატზე .დამოკიდებულება. დამოკიდებულია თუ არა მიღებული შედეგი იმ ძალის ბუნებაზე, რომელიც აიძულებს სხეულს იმოძრაოს მოცემული კანონის მიხედვით?

3.1.4. რატომ გვეჩვენება, რომ ზამბარაზე სწრაფად მერხევი ნათურა თავისი ტრაექტორიის კიდურა წერტილებში ინთება?

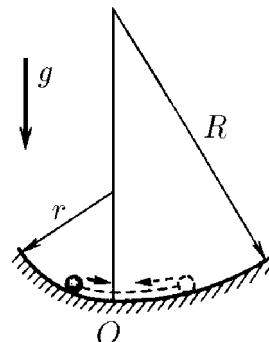
◊3.1.5. მათემატიკური ქანქარის ძაფის სიგრძა l , ბურთულას მასა m .

განსაზღვრეთ ბურთულაზე მოქმედი ძალა წონასწორობის მდგომარეობიდან მისი x -ით გადახრის დროს, თუ $x \ll l$? როგორაა დამოკიდებული ბურთულას პოტენციალური ენერგია x -ზე?



3.1.6. განსაზღვრეთ ერთ სიბრტყეში მოძრავი l სიგრძის მატემატიკური ქანქარის მაქსიმალური სიჩქარე, თუ წანაცვლების ამპლიტუდა ქანქარის მცირე რხევების დროს უდრის x_0 .

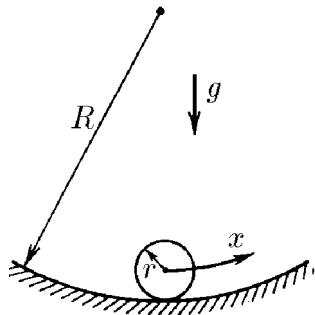
◊3.1.7. პორიზონტალური ღარი უდაბლესი 0 წერტილიდან მარცხენა მხარეს წარმოადგენს r რადიუსის ცილინდრულ ზედაპირს, ხოლო მარჯვენა მხარეს – R რადიუსის ზედაპირს. განსაზღვრეთ ამ ღარში მარჯვნივ და მარცხნივ უდიდესი გადახრების შეფარდება სხეულის მცირე რხევების დროს.



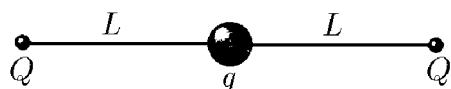
◊3.1.8*. $\pm q$ მუხტების მქონე ორი ბურთულა l სიგრძის უწონო ღეროს მეშვეობით ხისტადაა შეკრული და იმყოფება ელექტრულ ველში, რომელიც მათზე $\pm qE$ ძალით მოქმედებს. განსაზღვრეთ თითოეული ბურთულის მასა, თუ ბურთულების მცირე განივი რხევების ამპლიტუდაა x_0 , ხოლო ბურთულების მაქსიმალური სიჩქარე v_0 .



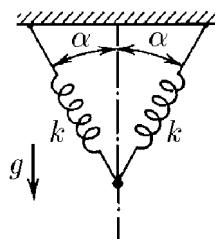
◇3.1.9. m მასისა და r რადიუსის ბურთულა სრიალებს R რადიუსის მქონე სიღრუის ზედაპირზე. იპოვეთ ბურთულის პოტენციალური ენერგიის დამოკიდებულება წონასწორობის მდებარეობიდან x -ით მცირე წანაცვლებაზე.



◇3.1.10*. q მუხტის მქონე მძივის მარცვალს შეუძლია ხახუნის გარეშე სრიალი $2L$ სიგრძის დაჭიმული ძაფის გასწვრივ, რომლის ბოლოებში დამაგრებულია Q მუხტები. იპოვეთ პოტენციალური ენერგიის ნაზრდი ძაფის ცენტრიდან მძივის მარცვლის x -ით წანაცვლების დროს. დარწმუნდით, რომ მცირე x -თვის პოტენციალური ენერგიის ნაზრდის x -ზე დამოკიდებულება არის კვადრატული. იპოვეთ m მასის მძივის მარცვლის მაქსიმალური წანაცვლება, თუ წონასწორობის მდებარეობაში მას მიანიჭეს მცირე v სიჩქარეს.

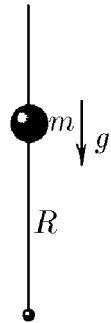


◇3.1.11. k სიხისტის ორი ზამბარა შეერთებულია ისე, როგორც ნახატზეა ნაჩვენები და არაა დეფორმირებული. რა მასის ტვირთი უნდა ჩამოვკიდოთ ზამბარების შეერთების წერტილში, რომ ის წონასწორობის მდებარეობაში მცირე x მანძილზე დაეშვას?



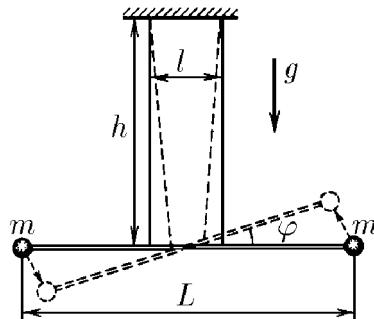
◇3.1.12. а) m მასის მცირე ზომის დამუხტულ სხეულს შეუძლია ისრიალოს ვერტიკალურ ღერობე, რომლის ქვედა წერტილში დამაგრებულია იმავე ნიშნის მუხტი. სხეულის წონასწორობის მდებარეობა ამ მუხტიდან R მანძილზეა. როგორაა სხეულზე მოქმედი ძალა დამოკიდებული წომასწორობის მდგომარეობიდან მის მცრე x გადახრაზე?

ბ) სხეულის მასა სამჭერ გაზარდეს, ამასთან მუხტები უცვლელი დატოვეს. ღეროს ქვედა ბოლოდან რა მანძილზე იმყოფება ახლა სხეულის წონასწორობის მდებარეობა? როგორაა დამოკიდებული სხეულზე მოქმედი ძალა წონასწორობის მდებარეობიდან მის მცირე გადახრაზე?

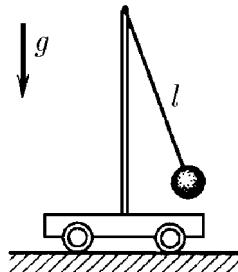


3.1.13. m მასის სხეულს 3.1.12.ა) ამოცანაში დაადეს Δm მასის მცირე ტვირთი და გაუშვეს. იპოვეთ ტვირთთან ერთად სხეულის მაქსიმალური სიჩქარე.

◇3.1.14*. h სიგრძის ძაფებზე, რომლებიც ერთმანეთისაგან l მანძილზე იმყოფებიან, ჰკიდია $L > l$ სიგრძის უწონო ღერო m მასის ტვირთებით ბოლოებზე. ღერო არის ჰორიზონტალური. აჩვენეთ, რომ როცა ღერო თავისი სიმეტრიის ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ მცირე φ კუთხით მობრუნდება, ტვირთებზე მოქმედი ძალების მომენტი არის φ -ს პროპორციული, ხოლო ტვირთების პოტენციალირი ენერგიის ცვლილება არის φ^2 პროპორციული. იპოვეთ ღეროს მაქსიმალური კუთხური სიჩქარე, თუ ის მოაბრუნეს φ_0 კუთხით და გაუშვეს.



◊3.1.15. ურიკაზე მდგარი მათემატიკური ქანქარის მცირე რხევების ამპლიტუდა უდრის x_0 , ხოლო ურიკას რხევების ამპლიტუდა – y_0 . ქანქარის ძაფის სიგრძეა l . განსაზღვრეთ ქანქარისა და ურიკის მაქსიმალური სიჩქარე. ხახუნი არ გაითვალისწინოთ.



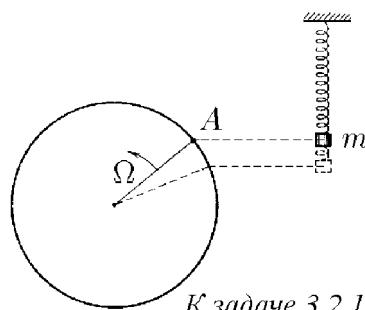
3.1.16. მათემატიკური ქანქარის რხევების ამპლიტუდა x_0 ბევრად ნაკლებია ძაფის l სიგრძეზე. განსაზღვრეთ რა საზღვრებში იცვლება მათემატიკური ქანქარის ძაფის დაჭიმულობის ძალა. ქანქარის მასაა m .

3.1.17. R რადიუსის ღარში წონასწორობის მდებარეობის მახლობლად მცირე ზომის სხეულის მცირე რხევების დროს სხეულზე მოქმედი რეაქციის ძალა იცვლება N - დან $N+\Delta$ -მდე, $\Delta \ll N$. განსაზღვრეთ ამ სხეულის რხევის ამპლიტუდა.

§ 3.2. თავისუფალი რხევების პერიოდი და სიხშირე

◊3.2.1. ა) გამხარაზე დაკიდებული m მასის ტვირთი ასრულებს რხევებს. გვერდით მოთავსებულია ვერტიკალურ სიბრტყეში Ω კუთხური სიჩქარით მბრუნავი ბორბალი, ამასთან, ბორბლის A წერტილი და ტვირთის მასათა ცენტრი მუდამ ერთ დონეზეა. იპოვეთ ტვირთის წონასწორობის მდებარეობა. რა ძალა მოქმედებს ტვირთზე, თუ წონასწორობის მდებარეობიდან მისი გადახრაა x ? რა უმცირეს T დროში მეორდება ტვირთის სიჩქარისა და წონასწორობის მდებარეობიდან გადახრის მნიშვნელობები? როგორ შეიცვლება ეს მნიშვნელობები $T/2$ დროის შემდეგ?

ბ) გამოიყენეთ წინა ამოცანის შედეგები და შეადარეთ წრფეზე $F = -kx$ ძალის მოქმედებით m მასის ტვირთის რხევითი მოძრაობა და ბრუნვითი მოძრაობა. განსაზღვრეთ ბორბლის კუთხური სიჩქარე, თუ ცნობილია k და m სიდიდეები. ბორბლის ღერძიდან რა მანძილზე იმყოფება A წერტილი, თუ ტვირთის უდიდესი გადახრა წონასწორობის მდებარეობიდან უდრის x_0 ?



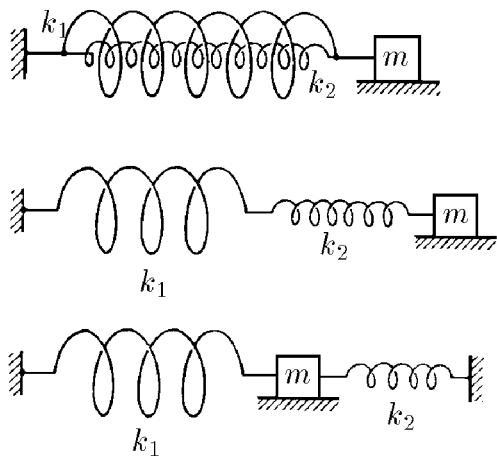
К задаче 3.2.1

3.2.2. უძრავი ტვირთი ჰკიდია გამბარაზე და წონასწორობის მდებარეობაში ყოფნისას ჭიმავს მას Δl -ით. იპოვეთ ტვირთის ვერტიკალური რხევების პერიოდი.

3.2.3. ტვირთი ირხევა რეზინის ზონარზე ვერტიკალურად. რამდენჯერ შეიცვლება ტვირთის ვერტიკალური რხევების პერიოდი, თუ მას ჩამოვკიდებთ ორად გაკეცილ იგივე ზონარზე?

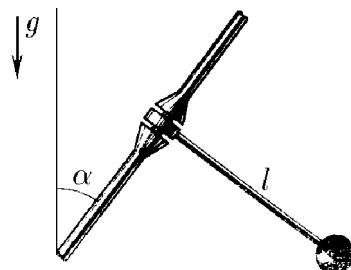
◊3.2.4. იპოვეთ სურათზე გამოსახულ ოსცილატორთა სისტემების რხევების პერიოდები. დამოკიდებულია თუ არა მე-3 სურათზე გამოსახული ოსცილატორის

რხევების პერიოდი კედლებს შრის მანძილზე? k_1 და k_2 გამბარის სიხისტეებია,
 m – სხეულია მასა.



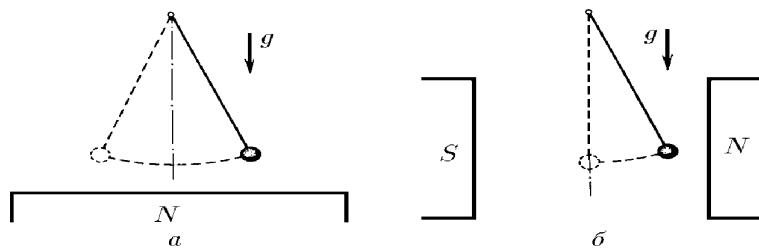
3.2.5. იპოვეთ მათემატიკური ქანქარის სიგრძე. ქანქარის რხევების პერიოდი
*) უდრის 1 წმ.

◊**3.2.6.** ქანქარა წარმოადგენს l სიგრძის მსუბუქ და ხისტ ღეროს, რომლის
ბოლოზე დამაგრებულია ტვირთი. იმისათვის რომ ქანქარის რხევების პერიოდი
გახადონ მეტი ქანქარის ზომების მეტისმეტი გაზრდის გარეშე, მის ღერძს
ვერტიკალთან α კუთხით ათავსებენ. განსაზღვრეთ რხევების პერიოდი.



◊**3.2.7.** ა) მათემატიკური ქანქარა წარმოადგენს m მასის რკინის
ბურთულას, რომელიც გრძელ ძაფზე ჰკიდია. მას აქვს T_0 პერიოდი. მაგნიტის
სიახლოვეს, რომელიც ბურთულაზე ოდნავ ქვევით მდებარეობს, რხევების*) პერიოდი
გახდა T ტოლი. განსაზღვრეთ ბურთულაზე მოქმედი მაგნიტური ძალა.
ბ) ქანქარას რკინის ბურთულა მაგნიტის პოლუსებს შორის ისე განათავსეს, რომ
მასზე მოქმედებს ჰორიზონტალური მაგნიტური ძალა. იპოვეთ ეს ძალა და
ბურთულას წონასწორობის ახალი მდებარეობა, თუ მისი რხევების პერიოდი
მაგნიტური ველის ჩართვის შემდეგ გახდა T .

*) აქ და შემდგომში, თუ ეს წინასწარ არაა შეთანხმებული, განიხილება მცირე
რხევები.



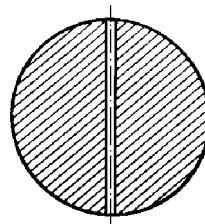
3.2.8. მაღნის საბადოს სიახლოვეს ქანქარას რხევების პერიოდი $0,1\text{-ით}$ შეიცვალა. მაღნის სიმკვრივე საბადოში არის $8 \cdot 10^3 \text{ კგ/მ}^3$. შეაფასეთ საბადოს ზომები, თუ დედამიწის საშუალო სიმკვრივე არის $5,6 \cdot 10^3 \text{ კგ/მ}^3$, ხოლო მისი რადიუსი – 6400 კმ .

3.2.9. რამდენით ჩამორჩება დღეღამეში ქანქარის საათი, თუ მას ევერესტის სიმაღლეზე ($8,9 \text{ კმ}$) ავიტანთ? ოსტანკონოს კოშკის სიმაღლეზე ($0,5 \text{ კმ}$)?

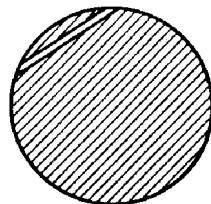
3.2.10. $m \text{ მასის } \text{სხეული } \text{დამაგრებულია } \text{გაჭიმული } 2^l \text{ სიგრძის } \text{სიმის } \text{შუაში.} \text{ ამ } \text{სხეულის } \text{რხევის } \text{წრიული } \text{სიხშირეა}^{**}) \omega. \text{ იპოვეთ } \text{სიმის } \text{დაჭიმულობის } \text{ძალა.}$

3.2.11. იპოვეთ 3.1.10. ამოცანაში აღწერილი სისტემის მცირე რხევების სიხშირე.

◊3.2.12. იპოვეთ ქვის ფრენის დრო დედამიწის ერთი პოლუსიდან მეორემდე მის ცენტრზე გამავალ სწორ გვირაბში. ჩათვალეთ, რომ დედამიწის სიმკვრივე მუდმივია, ხოლო მისი რადიუსია 6400 კმ .

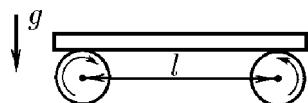


◊3.2.13. დედამიწაში გათხრილია სწორი გვირაბი, რომელიც არ გადის მის ცენტრზე. განსაზღვრეთ ასეთ გვირაბში გამორთული ძრავებით მატარებლის მოძრაობის დრო, თუ მატარებლის მოძრაობაზე დედამიწის ბრუნვის გავლენასა და ხახუნს არ გავითვალისწინებთ.



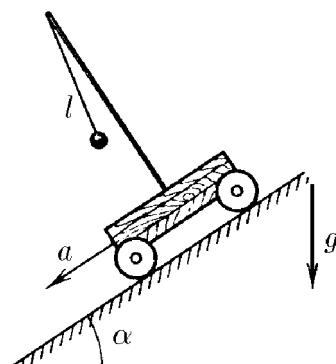
)) შემდგომში წრიული სიხშირეს $\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T$, სადაც T არის რხევის პერიოდი, თუ ეს წინასწარ არ არის ხაზგასმული, ეწოდება რხევების სიხშირე.

◊3.2.14. m მასის ფიცარი დევს ერთმანეთის შესახვედრად დიდი სიჩქარით მბრუნავ ორ საგორავზე. საგორავების ღერძებს შორის მანძილია l , საგორავზე ფიცრის სრიალის დროს ხახუნის კოეფიციენტია μ . იპოვეთ ფიცრის გრძივი რხევების სიხშირე.



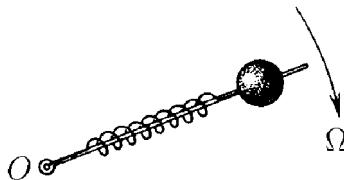
3.2.15*. შახტში, რომლის სიღრმე 400 მ-ია, ლიფტი ადის ან ჩადის 40 წმ-ში. თავდაპირველად ის იკრებს სიჩქარეს მუდმივი აჩქარებით, ხოლო შემდეგ მოდულით იგივე აჩქარებით ანელებს სვლას. რამდენით ჩამორჩება დღელამეში ლიფტის ქანქარის საათი უძრავ საათთან შედარებით? ლიფტი ყოველდღიურად მოძრაობაში იმყოფება 5 სთ განმავლობაში.

◊3.2.16*. მძიმე ურიკა a აჩქარებით ჩამოსრიალდა დახრილ სიბრტყეზე, რომელიც ჰორიზონტალურ კუთხეს ქმნის. იპოვეთ ურიკაზე მოთავსებული სიგრძის ქანქარის რხევების პერიოდი.

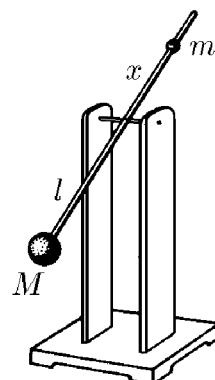


3.2.17*. კოსმოსური ხომალდი ბრუნავს Ω კუთხური სიჩქარით თავისი ღერძის გარშემო. როგორაა დამოკიდებული l სიგრძის ქანქარის რხევების პერიოდი დაკიდების წერტილიდან ბრუნვის ღერძამდე R მანძილზე? რხევების სიბრტყე გადის ბრუნვის ღერძზე.

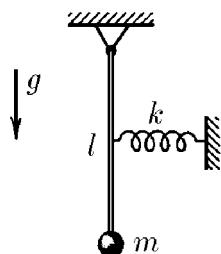
◊3.2.18. m მასის ბურთულა ჩამოცმულია ღეროზე და ბრუნავს Ω კუთხური სიჩქარით O ღერძის გარშემო. ღერძს ის უერთდება k სიხისტის განსაზღვრეთ ბურთულის რხევების სიხშირე გამბარის გასწრივ, თუ $\Omega^2 < k/m$.



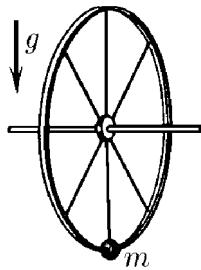
◊3.2.19. მეტრონომი წარმოადგენს მსუბუქ ღეროს, რომლის ქვედა ბოლოზე ღერძიდან l მანძილზე M მასის ტვირთია მოთავსებული. ღერძის ზემოთ მისგან სხვადასხვა x მანძილებზე შეიძლება ღეროზე დავამაგროთ m მასის პატარა ტვირთი და ამით შევარჩიოთ მეტრონომის რხევების საჭირო სიხშირე. ჩათვალეთ, რომ მასები წერტილოვანია და იპოვეთ როგორაა დამოკიდებული რხევების სიხშირე x მანძილზე.



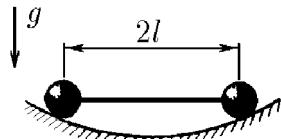
◊3.2.20. ქანქარა წარმოადგენს ტვირთს მსუბუქ ღერძზე. როგორ შეიცვლება ასეთი ქანქარის რხევების სიხშირე, თუ ღეროს შუაში k სიხისტის პორიტონტალურ ზამბარას დავამაგრებთ? ნახატზე გამოსახულია წონასწორობის მდებარეობა.



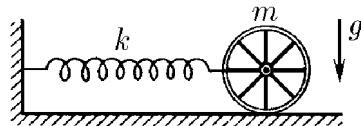
◊3.2.21. პორიტონტალურად განლაგებული ღერძის მქონე ბორბლის ფერსოს მიამაგრეს m მასის პატარა ტვირთი. იპოვეთ ბორბლის მასა, თუ ღერძის გარშემო ტვირთთან ერთად ბორბლის რხევების სიხშირე უდრის ω , ხოლო მისი რადიუსი R -ის ტოლია.



◊3.2.22. R რաდիուսის სფერულ სიღრუეში մოտաვსებულია $2l$ სიგრძის უწონო ღეროთი შეერთებული ორი წერტილოვანი სხეული. განსაზღვრეთ რხევების სიხშირე, თუ მოძრაობა ხდება: а) ნახატის სიბრტყის მართობულ სიბრტყეში; ბ*) ამ სიბრტყის პარალელურ სიბრტყეში.



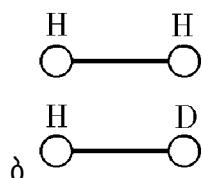
◊3.2.23. k სიხისტის გამბარა ერთი ბოლოთი მიმაგრებულია m მასის ბორბლის ღერძზე, რომელიც გორავს სრიალის გარეშე, ხოლო მეორე ბოლოთი – კედელზე. იპოვეთ სისტემის რხევების სიხშირე. ბორბლის მასა ფერსობე თანაბრადაა განაწილებული.



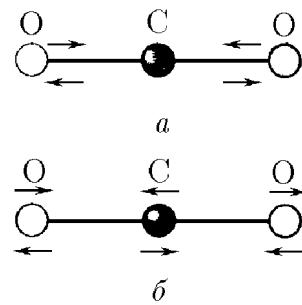
3.2.24. იპოვეთ ლურსმანზე ჩამოკიდებული R რადიუსის წვრილი რგოლის რხევების სიხშირე. სრიალი არაა. რხევები რგოლის სიბრტყეში სრულდება.

3.2.25. m_1 და m_2 მასის ორი სხეული k სიხისტის გამბარითაა შეერთებული. როგორია ასეთი სისტემის თავისუფალი რხევების სიხშირე, თუ ბრუნვა არ არის?

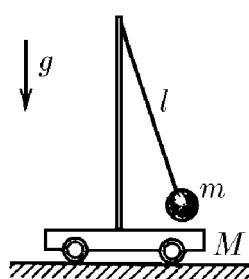
◊3.2.26. იპოვეთ H_2 და HD მოლეკულების (D არის დეიტერიუმის ატომი) რხევათა სიხშირეების ფარდობა.



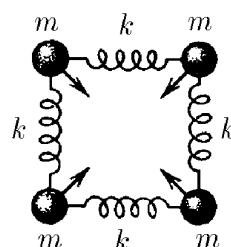
◊3.2.27*. შესაძლებელია ნახშიროჟანგის აირის მოლეკულის წრფივი რხევების ორი ტიპი: а) უანგბადის ბირთვები მოძრაობენ საპირისპირო მიმართულებებით, ხოლო ნახშირბადის ბირთვი ადგილზე რჩება; ბ) უანგბადის ბირთვები ერთნაირი სიჩქარეებით ნახშირბადის ბირთვის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით მოძრაობენ. განსაზღვრეთ ამ რხევების სიხშირეების ფარდობა.



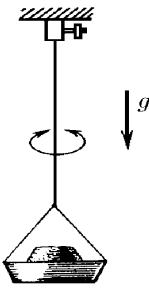
◊3.2.28. გლუვ პორიზონტალურ ზედაპირზე დევს M მასის ურიკა. ურიკაზე მოათავსეს l სიგრძისა და m მასის მათემატიკური ქანქარა. იპოვეთ სისტემის რხევების პერიოდი.



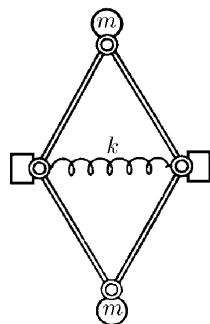
◊3.2.29. თითოეული m მასის ოთხი ერთნაირი ბურთულა შეერთებულია k სიხისტის ერთნაირი ზამბარით ისე, რომ ქმნიან კვადრატს. ერთდროულად ოთხივე ბურთულას მიანიჭეს კვადრატის ცენტრისკენ მიმართული მოდულით ერთნაირი სიჩქარეები. ამის შემდეგ რა დროში იქნება ზამბარები ა) მაქსიმალურად შეკუმშული; ბ) მაქსიმალურად გაფიმული?



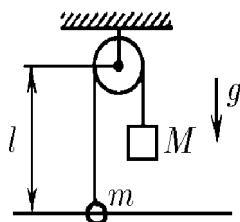
◊3.2.30. მავთულის გრეხის ღერძის მიმართ მასზე ჩამოკიდებული ჯამის ინერციის მომენტი უდრის I_0 . სისტემის გრეხითი რხევების პერიოდია T_0 . ჯამზე დადეს ტვირთი. ამასთან გრეხითი რხევების პერიოდი შეიცვალა და გახდა T . იპოვეთ ტვირთის ინერციის მომენტი გრეხის იგივე ღერძის მიმართ. მავთულის დაგრეხის დროს გაჩენილი ძალების მომენტი გრეხის კუთხის პროპორციულია.



◊3.2.31*. მსუბუქი ღეროები შეერთებულია სახსრულად და ქმნიან რომბს. რომბის ორი საპირისპირო წვერო k სიხისტის ზამბარითაა დაკავშირებული, ხოლო დანარჩენ ორ წვეროზე ერთნაირი m მასის ბურთულებია მიმაგრებული. იპოვეთ სისტემის რხევების სიხშირე, თუ ზამბარის სიგრძე არადეფორმირებულ მდებარეობაში ღეროს სიგრძეს ემთხვევა.



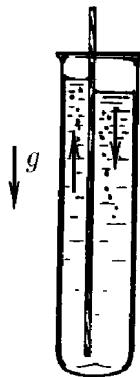
◊3.2.32*. გლუვ ჰორიზონტალურ უძრავ წკირბე ჩამოცმულ m მასის ბურთულაბე მიბმულია ძაფი, რომელიც წკირისაგან l მანძილზე მყოფ ბლოკზეა გადებული. ძაფის მეორე ბოლოზე M მასის ტვირთია მიბული. ბურთულას რხევების დროს ტვირთის რხევების გამო გაჩენილი ძაფის დაჭიმულობის ცვლილებები არ გაითვალისწინოთ. იპოვეთ ბურთულასა და ტვირთის რხევათა სიხშირეები.



3.2.33. იპოვეთ სითხის რხევათა პერიოდი მუდმივი კვეთის \cup -ს მაგვარ ჭურჭელში. სითხით დაკავებული ჭურჭლის ნაწილის საერთო სიგრძე უდრის l .

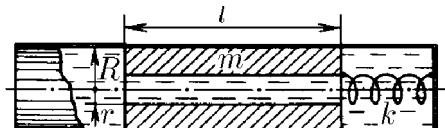
◊3.2.34*. მაღალ ჭურჭელში ვერტიკალური ტიხარი ყოფს მას სხვადასხვა კვეთის ორ ზიარ ნაწილად. იპოვეთ სითხის მცირე რხევების პერიოდი. ჩათვალეთ,

რომ სითხის თავისუფალი ზედაპირი ჭურჭლის თითოეულ ნაწილში რჩება პორიტონტალური. სითხის სიღრმე წონასწორობის მდებარეობაში უდრის H .



3.2.35. გრძელი ცილინდრული არეომეტრი ჩაშვებულია ცილინდრულ ჭიქაში ჩასხმულ სითხეში. განსაზღვრეთ მისი ვერტიკალური რხევების სიხშირე, თუ ჭიქის რადიუსი ბავრად ნაკლებია იმ H სიღრმეზე, რომელზეც არეომეტრი იმყოფება წონასწორობის მდებარეობაში.

◊3.2.36*. R რადიუსის ცილინდრულ ჭურჭელში იმყოფება l სიგრძის დგუში, რომელიც ჭურჭლის კედლებთან k სიხისტის ზამბარითაა შეერთებული. დგუშის ღერძის გასწვრივ არსებობს r რადიუსის გამჭოლი არხი. ჭურჭლის მთელი თავისუფალი სივრცე P სიმკვრივის სითხითაა დაკავებული. იპოვეთ დგუშის რხევების სიხშირე, თუ $l \gg R$ და დგუშის მასაა m .



3.2.37*. გემის დატვირთვის შემდეგ მისი ვერტიკალური რხევების პერიოდი 7 წმ-დან 7,5 წმ-მდე გაიზრდება. როგორია ტვირთის მასა? კვეთა ვატერსაზის მიხედვით არის $S = \text{red } 500 \text{ m}^2$. ჩათვალეთ, რომ წყლის ჩაბმა მოძრაობაში დატვირთვის დროს არ იცვლება.

§ 3.3. პარმონიული მოძრაობა

3.3.1. m მასის სხეული დამაგრებულია ზამბარაზე და თავისუფლად ირხევა. სხეულის წანაცვლება $x = A \cos \omega t$ კანონის მიხედვითაა დროზე დამოკიდებული. როგორ იცვლება დროთა განმავლობაში სიჩქარე და აჩქარება? როგორაა დამიკიდებული სხეულზე მოქმედი ძალა მის წანაცვლებაზე და დროზე? რას უდრის ზამბარის სიხისტე?

3.3.2. მათემატიკური ქანქარის რხევის ამპლიტუდა 5 მმ-ია, მისი ძაფის სიგრძე - 1 მ. როგორაა დამოკიდებული ბურთულას წანაცვლება დროზე? დროის ათვლის დასაწყისად ჩათვალეთ: ა) წონასწორობის მდგომარეობის მარცხნიდან მარჯვნივ გავლის მომენტი; ბ) განაპირა მარჯვენა მდგომარეობის გავლის მომენტი.

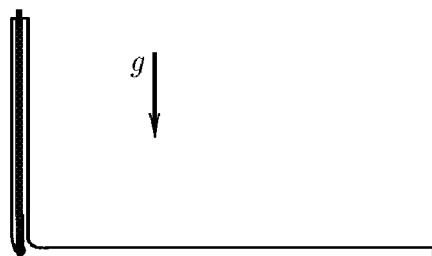
3.3.3. ზამბარაზე თავისუფლად მერხევი ტვირთი 0,01 წმ-ში გადაადგილდა წონასწორობის მდგომარეობიდან 0,5 სმ მანძილიდან მაქსიმალურ მანძილამდე, რომელიც 1 სმ-ის ტოლია. როგორია მისი რხევების პერიოდი?

3.3.4. სხეულის თავისუფალი რხევების სიხშირე უდრის ω . რა უმცირესი დრო დასჭირდება მას, რომ მისის კინეტიკური ენერგია თავის უდიდეს მნიშვნელობასთან შედარებით ორჯერ შემცირდეს?

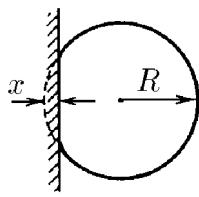
3.3.5. იპოვეთ l სიგრძის მათემატიკური ქანქარის რხევის პერიოდი, თუ ძაფის მოძრაობის გზაზე დაკიდების წერტილიდან $l/2$ მანძილზე ვერტიკალის გასწრივ ლურსმანია ჩატედილი.

3.3.6. იპოვეთ სხეულის რხევების პერიოდი 3.1.7. ამოცანაში.

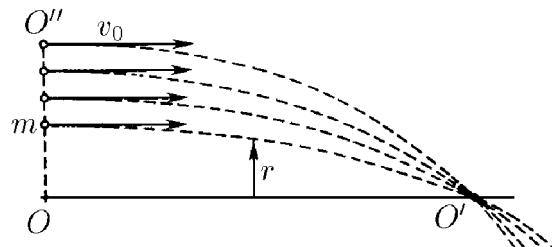
◊3.3.7*. l სიგრძის გლუვ ერთგვაროვან ბაზარს აკავებენ მოღუნული მილის ვერტიკალურ მუხლში ისე, რომ მისი ქვედა ბოლო მილის პორიტონტალურ ნაწილს ეხება. ბაზარს უშვებენ. რა დროში აღმოჩნდება ის მთლიანად პორიტონტალურ მუხლში? ხახუნი არ გაითვალისწინოთ. როგორ შეიცვლება ეს დრო, თუ თავდაპირველად ბაზრის ნაწილი უკვე იმყოფებოდა პორიტონტალურ მუხლში?



◊3.3.8*. კედელზე მსუბუქი დარტყმის დროს საპაერო ბუშტი დეფორმირდება, როგორც ეს ნახატზეა ნაჩვენები. ამასთან ბუშტის x მაქსიმალური დეფორმაცია ბევრად ნაკლებია მის R რადიუსზე. შეაფასეთ ბუშტის კედელთან დაჯახების დრო. ბუშტის მასა არის m . ბუშტში ჰაერის ჭარბი წნევის Δp ცვლილება და გარსის დრეკადობა არ გაითვალისწინოთ.



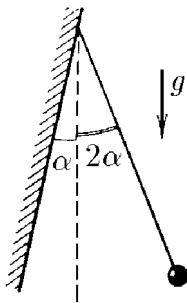
◊ **3.3.9.** დაამტკიცეთ, რომ ნაწილაკების კონა დაიწყებს თავმოყრას (ფოკუსირებას) OO' ღერძის ზოგიერთ გარკვეულ წერტილებში, თუ კონის ყველა ნაწილაკის სიჩქარე OO'' კვეთაში უდრის v_0 , ხოლო ნაწილაკზე მოქმედი ძალა $F = -kr$, სადაც r არის მანძილი ნაწილაკიდან OO' ღერძამდე. OO'' კვეთიდან რა მანძილზე ფოკუსირდება ნაწილაკები, თუ თითოეული მათგანის მასაა m ?



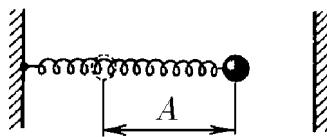
◊ **3.3.10.** R რადიუსის გლუვი პორიზონტალური ცილინდრული ღარის უდაბლესი წერტილიდან მსახველისადმი მცირე კუთხით v_0 სიჩქარით გამოსრიალდა პატარა ზომის ბურთულა. რამდენჯერ გადაკვეთს ის ღარის ქვედა მსახველს l სიგრძეზე?



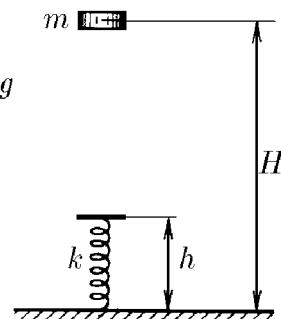
◊ **3.3.11.** დახრილ კედელზე ჩამოკიდებულია l სიგრძის ქანქარა. ქანქარა მცირე კუთხით, რომელიც ვერტიკალთან კედლის დახრილობის კუთხეს ორჯერ აღემატება, გადახარეს ვერტიკალიდან და გაუშვეს. იპოვეთ ქანქარის რხევის პერიოდი, თუ კედელზე დაჭახებები აბსოლუტურად დრეკადია.



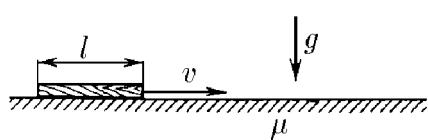
◊3.3.12. ბამბარის ერთი ბოლო კედელზეა მიმაგრებული, მეორეზე არის ბურთულა, რომელიც A ამპლიტუდით და T_0 პერიოდით ირხევა. ბურთულას წონასწორობის მდგომარეობიდან რა მანძილზე უნდა მოვათავსოთ ფილა, რომ მისი რხევების პერიოდი T -ს გაუტოლდეს? ფილასთან ბურთულას დაჭახება აბსოლუტურად დრეკადია.



◊3.3.13. m მასის ტვირთი H სიმაღლიდან ეცემა k სიხისტისა და h სიგრძის ბამბარაზე. ბამბარის ქვედა ბოლო იატაკზეა დამაგრებული. განსაზღვრეთ ბამბარასთან ტვირთის კონტაქტის დრო, თუ $mg < 2k(H-h)$.

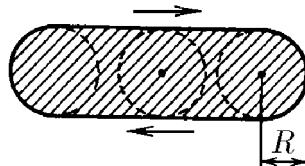


◊3.3.14. გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე v სიჩქარით მისრიალებს l სიგრძის თხელი ერთგვაროვანი ძელაკი. ძელაკი გადადის სიბრტყის ხაოიან უბანზე. რა დროს შემდეგ გაჩერდება ძელაკი, თუ ხახუნის კოეფიციენტი უდრის μ ?

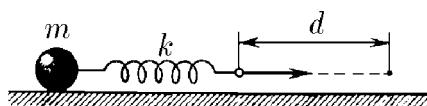


◊3.3.15*. მსროლელი ცდილობს მოარტყას R რადიუსის დისკოს, რომელიც პარმონიულად ირხევა ისე სწრაფად, რომ მსროლელი თვალს ვერ

აყოლებს. ამიტომ ის უმიზნებს დისკოს მოძრაობის უბნის ცენტრს. იპოვეთ დისკობე მოხვედრის ალბათობა, თუ დისკოს რხევის ამპლიტუდა $A \gg R$? თუ $A=2R$? გაიზრდება თუ არა მოხვედრის ალბათობა, თუ მსროლელი დაუმიზნებს წერტილს უბნის განაპირიდან R მანძილზე?

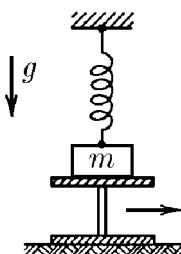


3.3.16. k სიხისტის თავდაპირველად არადეფორმირებული და უძრავი ზამბარის ერთ ბოლოზე m მასის ტვირთია მიმაგრებული. ზამბარის თავისუფალი ბოლო მუდმივი სიჩქარით მოქაჩეს ისე, როგორც ნაჩვენებია ნახატზე, სანამ ის d მანძილით არ გადაადგილდა. შემდეგ ის უეცრად გააჩერეს. რა სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ზამბარის ამ ბოლოს, რომ გაჩერების შემდეგ ტვირთი არ ირხეოდეს?

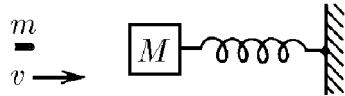


3.3.17. ორ ერთნაირ ქანქარას საკიდელის საერთო წერტილი აქვთ. ერთ ქანქარას ბიძგით მიანიჭეს გარკვეული სიჩქარე, ხოლო τ დროის შემდეგ მეორე ქანქარას აგრეთვე ბიძგით იგივე სიჩქარე. პირველი ქანქარის მოძრაობის დაწყებიდან რა დროის შემდეგ შეხვდება ორივე ქანქარა ერთმანეთს, თუ მათი რხევების პერიოდი უდრის T , ხოლო $\tau < T/2$?

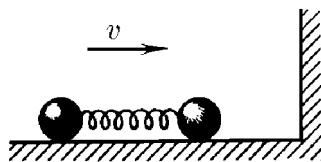
3.3.18. m მასის სხეული k სიხისტის ზამბარაზე ჰკიდია და დგას ქვესადგამზე. ქვესადგამს უეცრად აშორებენ. აღწერეთ სხეულის მოძრაობა, თუ თავდაპირველად ზამბარა: а) არაა დეფორმირებული; ბ) არის შეკუმშული და მისი დეფორმაცია უდრის l -ს.



3.3.19. m მასის ტყვია v სიჩქარით მიფრინავს, ხვდება M მასის სხეულს, რომელიც k სიხისტის ზამბარით უკავშირდება კედელს, და მასში გაიჩხირება. დროის ათვლის დასაწყისად აირჩიეთ ტყვიის მოხვედრის მომენტი და იპოვეთ სხეულის სიჩქარისა და კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება.



3.3.20. პორიტონტალურ სიბრტყეზე v სიჩქარით მისრიალებს ორი ერთნაირი m მასის ბურთულა. ბურთულები გადაბმულია k სიხისფის არადეფორმირებული ზამბარით. ბურთულები ვერტიკალურ ხისტ კედელს ეჭახებიან. აღწერეთ ბურთულების მომდევნო მოძრაობა. განმეორდება თუ არა კედელთან მათი შეჯახება?



3.3.21*. m_1 და m_2 მასის სხეულები გადაბმულია თავდაპირველად არადეფორმირებული ზამბარით. m_1 მასის სხეულს დარტყმით ანიჭებენ ზამბარის გასწრივ მიმართულ v სიჩქარეს. როგორ შეიცვლება დროთა განმავლობაში ამ სხეულების სიჩქარეები, თუ სხეულების თავისუფალი რხევების სიხშირე უდრის ω ?

3.3.22. სხეულზე, რომელიც კედელზე ზამბარითაა მიბმული და იმყოფება წონასწორობაში, დაიწყო მოქმედება ზამბარის გასწრივ მუდმივმა F ძალამ. რას უდრის ზამბარის დაჭიმულობის ძალის უდიდესი მნიშვნელობა და სხეულზე F ძალის მოქმედების დაწყების ჩართვიდან რა დროის შემდეგ მიიღწევა ის? სხეულის თავისუფალი რხევების პერიოდი არის T .

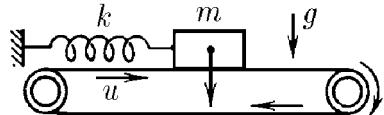
3.3.23*. სხეული ასრულებს რხევებს ω სიხშირით. დროის t_0 მომენტში სხეულის კოორდინატია x_0 , ხოლო სიჩქარე v_0 . დაამტკიცეთ, რომ სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$x = x_0 \cos \omega(t - t_0) + (v_0 / \omega) \sin \omega(t - t_0).$$

3.3.24*. m მასის სხეული ჰკიდია ზამბარაზე და $x = A_0 \cos \omega t$ კანონის მიხედვით ირხევა. t_0 დროის მომენტშიდან სხეულზე ზამბარის გასწრივ იწყებს მოქმედებას მუდმივი F ძალა. განსაზღვრეთ რხევების ამბლიტუდა

წონასწორობის ახალი მდებარეობის მიმართ. t_0 -ის რა მნიშვნელობისთვისაა ეს ამპლიტუდა უდიდესი? უმცირესი?

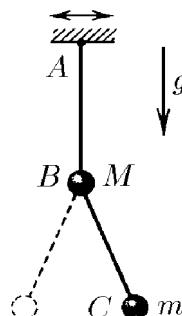
3.3.25*. ტრანსპორტიორის ჰორიზონტალური ლენტი მოძრაობს u სიჩქარით. მასზე იმყოფება უძრავ კედელზე k სიხისტის ზამბარით მიბმული m მასის ტვირთი. ვთქვათ საწყის მომენტში ზამბარა არაა დეფორმირებული და ტვირთი ხახუნის გამო მოძრაობს ლენტაზე ერთად. განსაზღვრეთ გაჩენილი რხევების ამპლიტუდა.



3.3.26*. დავუშვათ, რომ 3.3.25* ამოცანის პირობაში ტვირთის საწყისი სიჩქარე ნულის ტოლია, ხოლო ხახუნის კოეფიციენტი იყოს μ . ლენტის რა სიჩქარისას იქნება ტვირთის მოძრაობა ჰარმონიული რხევა? როგორაა დამოკიდებული დამყარებული რხევების ამპლიტიდა ლენტის u სიჩქარეზე?

3.3.27*. ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე დევს M მასის სხეული, რომელიც k სიხისტის ზამბარითაა მიბმული უძრავ კედელზე. სხეული წონასწორობის მდებარეობიდან გადაადგილეს l მანძილზე და გაუშვეს. სხეულმა შეასრულა n რხევა და გაჩერდა. რას უდრის სხეულსა და სიბრტყეს შორის ხახუნის კოეფიციენტი, თუ სხეულის გაჩერების შემდეგ ზამბარა არადეფორმირებული აღმოჩნდა?

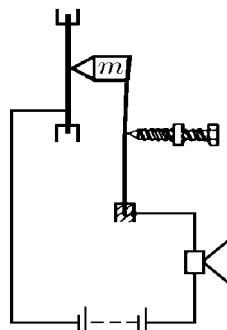
3.3.28. AB ქანქარას აქვს M მასის ბურთულა. BC ქანქარას აქვს m მასის ბურთულა. AB ქანქარა მიაბეს BC ქანქარას. A წერტილი ასრულებს ჰორიზონტალურად ω სიხშირით ჰარმონიულ რხევებს. იპოვეთ BC ძაფის სიგრძე, თუ ცნობილია, რომ AB ძაფი ყოველთვის ვერტიკალური რჩება.



3.3.29. m მასის სხეული $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ კანონით ირხევა. იპოვეთ სხეულზე მოქმედი ძალის დრობები დამოკიდებულება. რას უდრის მისი უდიდესი მნიშვნელობა? რა მომენტებში ღებულობს ძალა მოდულით მაქსიმალურ მნიშვნელობას?

3.3.30. ჰორიზონტალური მემბრანა ასრულებს ვერტიკალურ ჰარმონიულ რხევებს ω სიხშირითა და A ამპლიტუდით. მემბრანაზე დევს პატარა ტვირთი. რა პირობის დროს დაიწყებს ის მემბრანასთან ერთად რხევას და რა პირობის დროს ახტება? მემბრანის საშუალო მდებარეობიდან დაბლა თუ მაღლა მოწყდება ტვირთი მის ზედაპირს?

◊3.3.31. მემბრანა ასრულებს მაღლა ω სიხშირის ჰარმონიულ რხევებს. მისი მცირე ამპლიტუდების გასაზომად გამოიყენება „ჩაქუჩი“, რომელიც მემბრანასთან და ტელეფონთან ერთად ელექტრულ წრედშია ჩართული. m მასის ჩაქუჩი ეკვრის მემბრანას ძალით, რომელიც მიკრომეტრული ხრახნით რეგულირდება. როცა მემბრანასთან ჩაქუჩის კონტაქტი წყდება, წრედში დენი წყდება და ტელეფონში ზარი ისმის. განსაზღვრეთ რხევების ამპლიტუდა, თუ ზარი იწყება მომენტიდან, როცა ძალა, რომლითაც ჩაქუჩი მემბრანას ეკვრის, აღნევს F მნიშვნელობას.

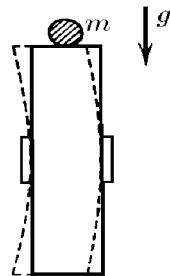


3.3.32. ჰორიზონტალურ ფილაზე დევს ტვირთი. ფილა იწყებს ვერტიკალურ ჰარმონიულ რხევებს ω სიხშირითა და A ამპლიტუდით ისე, რომ მისი საწყისი სიჩქარე მიმართულია ვერტიკალურად ზევით. ფილას საწყისი მდებარეობიდან რა სიმაღლეზე ახტება ტვირთი მას შემდეგ, რაც მოწყდება მის ზედაპირს?

3.3.33*. რა ამპლიტუდით უნდა ირხეოდეს ფილა (იხ. 3.3.32 ამოცანა), რომ დამყარდეს თავისებური რეზონანსი: ფილით ატყორცნილი ტვირთი ყოველი დარტყმის შემდეგ გაზრდიდა თავისი ასვლის სიმაღლეს? შეჯახებები აბსოლუტურად დრეკადად ჩათვალეთ.

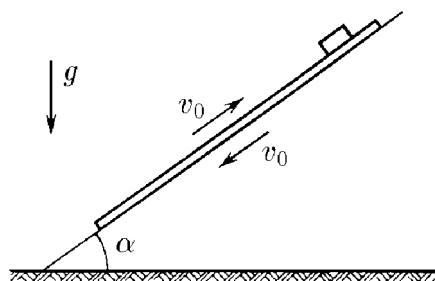
◊3.3.34*. პიეზოკვარცული ფირფიტა ირხევა $\omega = 10^7 \text{ rad}^{-1}$ სიხშირით. ფირფიტის ტორსზე დადეს სხეული, რომლის მასა ფირფიტის მასის შესადარია. სხეულსა და ფირფიტას შორის ხახუნის კოეფიციენტი $\mu = 1$. შეაფასეთ, რხევების როგორი ამპლიტუდის დროს მოქმედებს არსებითად ამ სხეულის არსებობა

ფირფიტის რხევათა სიხშირეზე. შეაფასეთ სხეულის უდუდესი სიჩქარე დამყარებულ რხევით რეჟიმში, როცა ფირფიტის რხევების ამპლიტუდა $A=10^{-6}$ სმ.



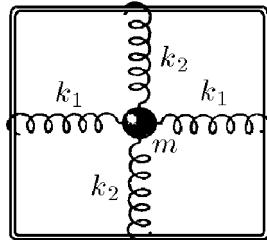
3.3.35. როცა სხეულები ულტრაბგერული სიხშირით ირხევიან, მათი ზედაპირი მოლიპული ჩანს, ხოლო ამ ზედაპირზე მოთავსებული სხეულები უმცირესი ძალის გამოყენების შემდეგ „მიცურავენ“ მასზე. ახსენით ეს მოვლენა.

◊3.3.36*. დახრილი სიბრტყე თავისი ზედაპირის გასწვრივ ასრულებს დიდი სიხშირით ჰარმონიულ რხევებს. როგორი იქნება მასზე მოთავსებული სხეულის დამყარებული მოძრაობა? იპოვეთ ამ სხეულის საშუალო სიჩქარე ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, თუ $\operatorname{tg} \alpha \ll \mu$, სადაც α არის სიბრტყის დახრილობის კუთხე, μ - ხახუნის კოეფიციენტი, v_0 - დახრილი სიბრტყის სიჩქარის ამპლიტუდა.



§ 3.4. რხევათა ზედდება

◊**3.4.1.** უძრავ ვერტიკალურ ჩარჩოზე ხახუნის გარეშე შეუძლია სრიალი გამბარის ბოლოებს. მეორე ბოლოებით ისინი m მასის სხეულზე არიან დამაგრებული. როგორ ხასიათს ატარებს სხეულის მოძრაობა ზოგად შემთხვევაში, როდესაც $k_1 \neq k_2$? რა მიმართულებით არის შესაძლებელი წრფივი მოძრაობა და როგორ უნდა ავღძრათ იგი?



3.4.2. დავუშვათ, რომ 3.4.1 ამოცანის პირობაში რომ $k_1 = k_2 = k/2$.

დარწმუნდით, რომ ჩარჩოს სიბრტყეში შესაძლებელია წრფივი რხევები ნებისმიერი მიმართულებით. როგორ უნდა აღვძრათ რხევები, რომ სხეული მოძრაობდეს წრეწირზე? დაამტკიცეთ, რომ აღგზნების ნებისმიერი ხერხის დროს სხეულის მოძრაობის ტრაექტორია იქნება ჩაკეტილი. იპოვეთ სხეულის მოძრაობის პერიოდი.

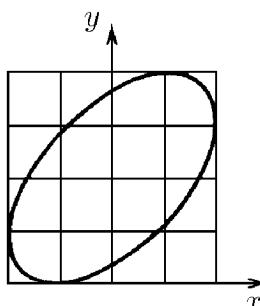
3.4.3. ა. მათემატიკური ქანქარა ერთ სიბრტყეში ასრულებს მცირე რხევებს. მისი რხევების ამპლიტუდაა A , სიხშირე ω . მაქსიმალური გადახრის მომენტში ქანქარის ბურთულას მიანიჭეს მცირე v სიჩქარე, რომელიც რხევების სიბრტყის პარალელურადაა მიმართული. იპოვეთ ქანქარის ბურთულას მოძრაობის ტრაექტორია. რა საზღვრებში შეიცვლება მანძილი ბურთულიდან წონასწორობის მდებარეობამდე?

ბ*. გაეცით პასუხი პირველ შეკითხვას იმ შემთხვევისათვის, როცა ბურთულას წონასწორობის მდებარეობიდან x მანძილზე მიანიჭეს v სიჩქარე.

◊**3.4.4.** ოსცილოგრაფის ეკრანზე ელექტრული სხივის მოძრაობა აღწერილია შემდეგი განტოლებებით:

$$x = A \cos(\omega t - \varphi), \quad y = A \cos(\omega t + \varphi)$$

გაზომვების მოხერხებულად ჩატარებისათვის ეკრანის წინ მოათავსეს კვადრატული ბადე. სურათის მიხედვით განსაზღვრეთ ორივე რხევის ფაზათა წანაცვლება.



3.4.5*. 3.4.4 ამოცანის პირობებში განსაზღვრეთ ფაზების როგორი წანაცვლებისას მოსჩანს ეკრანზე მონაკვეთი; წრეწირი. $2\pi/\omega$ დროში ეკრანზე სხივის კვალი ვერ ასწრებს ჩაქრობას. დაამტკიცეთ, რომ ნებისმიერი მუდმივი φ შემთხვევაში სხივის კვალი ეკრანზე წარმოადგენს ელიფსს ნახევარღერძებით, რომლებიც კვადრატის დიაგონალებზე ძევს. იპოვეთ ეს ნახევარღერძები.

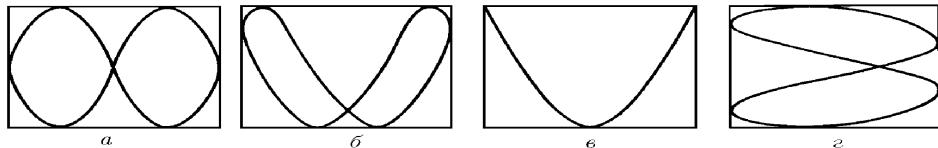
3.4.6. ოსცილატორის პარმონიული რხევების შესწავლისას ელექტრული ძაბვა, რომელიც ოსცილატორის წანაცვლების პროპორციულია, მიეწოდება ოსცილოგრაფის x -ფირფიტებზე, ხოლო სიჩქარის პროპორციული ძაბვა – y -ფირფიტებზე. რა სურათს დავინახავთ ეკრანზე?

3.4.7. ოსცილოგრაფის სხივის გადახრა აღინერება შემდეგი განტოლებებით:

$$x = A \cos[(\omega - \epsilon \Omega/2)t], \quad y = A \cos[(\omega + \Omega/2)t],$$

სადაც $\Omega \ll \omega$, ამასთან სხივის კვალი ეკრანზე ქრება $2\pi/\Omega$ დროზე ბევრად ნაკლებ ხანში. რა სურათს დავინახავთ ოსცილოგრაფის ეკრანზე?

◊3.4.8. ოსცილოგრაფის x და y -ფირფიტებზე აწოდებენ პარმონიულ სიგნალებს, და ეკრანზე ჩნდება ნახატები გამოსახული სურათები. როგორ შეეფარდება რხევების პერიოდები x და y ღერძების გასწვრივ α – გ შემთხვევებში?

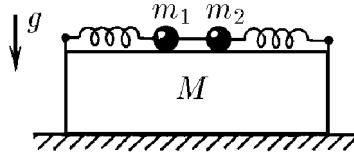


3.4.9. წერტილი ასრულებს პარმონიულ რხევებს ორი ურთიერთპერიოდიკულარული x , y ღერძების მიმართულებებით და მოძრაობს ტრაექტორიაზე, რომელსაც ქვია ლისაჟუს ფიგურა. დაამტკიცეთ, რომ, თუ რხევების სიხშირეები შეეფარდება ერთმანეთს როგორც მთელი რიცხვები, მაშინ ეს ფიგურა ჩაკეტილი წირია. როგორ გამოიყერება ლისაჟუს ფიგურა ტოლი სიხშირეების დროს?

3.4.10. დაამტკიცეთ, რომ თუ წერტილის პარმონიული რხევების ამპლიტუდა x ღერძის A -ს ტოლია, ხოლო y ღერძის გასწვრივ B , მაშინ ლისაჟუს ფიგურა ჩაიხატება მართკუთხედში, რომლის გვერდები x ღერძის გასწვრივ არის $2A$, y ღერძის გასწვრივ კი $2B$. ვთქვათ, ფიგურა ეხება ამ მართკუთხედის ჰორიზონტალურ გვერდებს $p=3$ წერტილში, ხოლო ვერტიკალურ გვერდს – $q=4$ წერტილში. როგორ შეეფარდება ამ რხევების სიხშირეები?

◊3.4.11*. ერთნაირ ზამბარებზე დამაგრებული m_1 და m_2 მასის ორ ბურთლას შეუძლია რხევა ისე, რომ ხახუნის გარეშე ისრიალონ M მასის ძელაკზე. ძალაკი დევს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე. ბურთულები გადაბმულია ძაფით,

რომლის დაჭიმულობის ძალაა F . ძაფი გადაწვეს. სიბრტყესა და ძელაკს შორის ხახუნის რა უმცირესი კოეფიციენტის დროს არ დაიძვრება ძელაკი ადგილიდან?



3.4.12*. k სიხისტის ზამბარის ბოლოებს გრძივი მიმართულებით გადაადგილებენ ჰარმონიული კანონის მიხედვით :

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1), x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2),$$

ამასთან ზამბარის დაჭიმულობის საშუალო ძალა პერიოდის განმავლობაში ნულის ტოლია. იპოვეთ ძალის დროზე დამოკიდებულება. განსაზღვრეთ ზამბარის უდიდესი და საშუალო ენერგია ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ფაზების როგორი $\varphi_2 - \varphi_1$ სხვაობის დროს არის ზამბარის საშუალო ენერგია უდიდესი? უმცირესი?

3.4.13*. ვთქვათ, ზამბარის ბოლოები (იხ. 3.4.12 ამოცანა) გადაადგილდება სხვადასხვა სიხშირით:

$$x_1 = A \cos \omega_1 t, x_2 = A \cos \omega_2 t.$$

ამ შემთხვევაში როგორ იცვლება დროთა განმავლობაში ზამბარის დაჭიმულობის ძალა? ააგეთ დაჭიმულობის ძალის დროზე დამოკიდებულობის გრაფიკი ახლო სიხშირეების შემთხვევისთვის. რატომ შეიძლება ამ შემთხვევაში ვისაუბროთ ცემებზე? განსხვავებული ამპლიტუდებისა და სიხშირეების შემთხვევაში განსაზღვრეთ ზამბარის საშუალო ენერგია ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

3.4.14. ნაწილაკი $F = F_0 \cos \omega t$ ძალის მოქმედებისას $x = A \cos(\omega t - \varphi)$

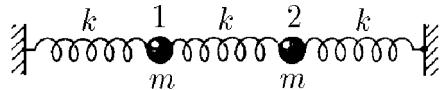
კანონის მიხედვით ირხევა. იპოვეთ ამ ძალის საშუალო სიმძლავრე.

◊3.4.15. ა) m მასის ორი ბურთულა მიბმულია ერთმანეთზე და კედელზე

k სიხისტის სამი ზამბარით. ზამბარის გასწვრივ მათ ერთდროულად მიანიჭეს მოდულით ტოლი სიჩქარეები. იპოვეთ ბურთულების რხევათა სიხშირეები, თუ მათი სიჩქარეები მიმართულია ერთმანეთის საპირისპიროდ; ერთნაირადაა მიმართული.

ბ) რთული სისტემების თავისუფალი რხევები წარმოადგენენ სხვადასხვა სიხშირეების მქონე რამდენიმე ჰარმონიული რხევის ჯამს (ზედდებას). თუ პირველ ბურთულას 3.4.15ა ამოცანიდან ზამბარის გასწვრივ მივანიჭებთ v სიჩქარეს, მაშინ ბურთულების შემდგომი მოძრაობა იქნება ორი მოძრაობის ჯამი: ბურთულების მოძრაობისა, რომლებსაც მიანიჭეს $v/2$ და $-v/2$ სიჩქარეები და ბურთულების მოძრაობისა, რომლებსაც მიანიჭეს $v/2$ და $v/2$ სიჩქარეები. ამის გამოყენებით განსაზღვრეთ ბურთულების სიჩქარეები რხევების დაწყებიდან t დროის შემდეგ. რისი ტოლი იქნება პირველი ბურთულის მაქსიმალური გადაადგილება? მეორესი? შეა ზამბარის მაქსიმალური წაგრძელება?

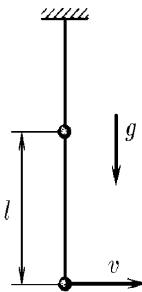
გ. ამოხსენით 3.4.15ბ ამოცანა იმ შემთხვევისთვის, როცა პირველ ბურთულას მიანიჭეს $3v$ სიჩქარე, მეორეს v .



3.4.16*. ნახშირორჟანგის მოლეკულაში ჟანგბადის მოლეკულას ნახშირბადის ატომის მიმართულებით მიანიჭეს მცირე ν სიჩქარე. განსაზღვრეთ, რამდენით მიუახლოვდება ჟანგბადის ატომი ნახშირბადის ატომს. ჟანგბადის ატომის მასაა M , ნახშირბადის ატომის – m , ხოლო ატომებს შორის კავშირის სიხისტე უდრის k .

◊3.4.17*. ორმაგი ქანქარის საკუთარი სიხშირეები ტოლია ω_1 და ω_2 .

ქანქარის ბურთულები ერთმანეთთან შეერთებულია l სიგრძის ძაფით. წონასწორობის მდებარეობაში ქვედა ბურთულას მიანიჭეს მცირე ν სიჩქარე. განსაზღვრეთ ქვედა ბურთულის მაქსიმალური გადახრა წონასწორობის მდგომარეობიდან და ძაფის სიგრძე, რომლითაც ზედა ბურთულა უერთდება ჭერს.

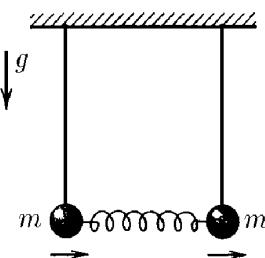


◊3.4.18. გამბარით დაკავშირებული ორი ქანქარის მცირე რხევები შემდეგი კანონით სრულდება:

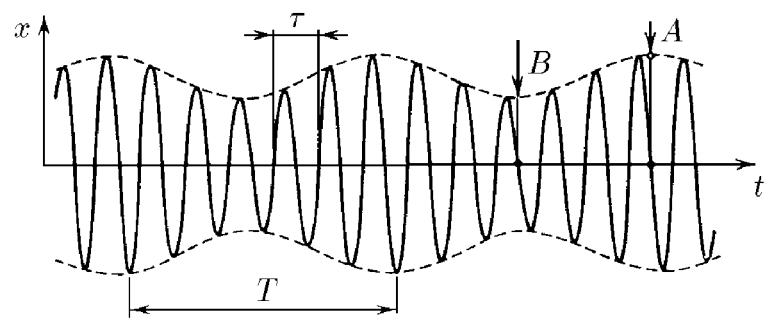
$$x_1 = B \cos(\omega_0 t + \varphi) + A \cos \omega t,$$

$$x_2 = B \cos(\omega_0 t + \varphi) - A \cos \omega t$$

იპოვეთ დამაკავშირებელი გამბარის სიხისტე. წონასწორობის მდებარეობაში ორივე ქანქარა ვერტიკალურია, თითოეული ბურთულის მასაა m .



◊3.4.19. ნახატზე გამოსახულია კოორდინატის დროზე დამოკიდებულობის გრაფიკი მოძრაობისთვის, რომელიც წარმოადგენს ორი ჰარმონიული რხევის ჯამს. მისი მიხედვით განსაზღვრეთ ამ რხევების ამპლიტუდები და სიხშირეები.



§ 3.5. იძულებითი და მიღევადი რხევები

3.5.1. m მასის ქანქარა განიცდის ხანმოკლე დარტყმებს. თითოეული მათგანი ანიჭებს მას P_0 იმპულს. ააგეთ ქანქარის მოძრაობის გრაფიკი, თუ ცნობილია, რომ თავდაპირველად ის უძრავია და რხევების მიღევა არ ხდება, ხოლო დარტყმები მეორდება T_0 და $T_0/2$ დროის შუალედების შემდეგ (T_0 არის ქანქარის თავისუფალი რხევის პერიოდი).

3.5.2. m მასის სხეულის ჰარმონიული რხევები შეიძლება შევადაროთ წერტილის მოძრაობას წრენირზე, რომლის რადიუსიც სხეულის რხევის A ამპლიტუდას ემთხვევა, ხოლო კუთხეური სიჩქარე – ω სიხშირეს. ამ წერტილის x კოორდინატი ემთხვევა სხეულის კოორდინატს, ხოლო y კოორდინატი, გამრავლებული $m\omega$ -ზე, – სხეულის P იმპულსს. მრუდებს, რომლებიც აღწერენ სხეულის მოძრაობას P, x ცვლადებში, ეწოდება ფაზური პორტრეტი. ააგეთ ფაზური პორტრეტი 3.5.1 ამოცანის ქანქარასათვის.

3.5.3*. 3.5.1 ამოცანის პირობებში ნულოვან მომენტში ქანქარას ჰქონდა v_0 სიჩქარე და x_0 კოორდინატი. როგორი იქნება რხევის ამპლიტუდა n დარტყმის შემდეგ, თუ მათ შორის პირველი მოხდა ნულოვან მომენტში? ააგეთ ფაზური პორტრეტი.

3.5.4. თქვენი მეგობარი გის საქანელაზე. თქვენ არწევთ საქანელას ხანმოკლე ბიძგებით. როგორ უნდა გაკეთდეს ეს, რომ გაქან-გამოქანება მაქსიმალურად წარმატებულად მიმდინარეობდეს?

3.5.5. ნაკადულზე გადებულია გრძელი დრეკადი ფიცარი. როცა მასზე ბიჭი უძრავად დგას, ის ჩაიზნიება 0,1 მ-ით. ხოლო როდესაც ის 3,6 კმ/სთ სიჩქარით მიდის, ფიცარი ისეთ რხევას იწყებს, რომ ბიჭი წყალში ვარდება. როგორია ბიჭის ნაბიჯის სიგრძე?

3.5.6. სატვირთო მანქანები გრუნტიანი გზით შედიან მარცვლეულის საწყობში ერთი მხრიდან, გადმოტვირთავენ მარცვალს და გამოდიან საწყობიდან იმავე სიჩქარით, მაგარამ უკვე სხვა მხრიდან. საწყობის ერთი მხარეს ორმოები გზაზე უფრო ხშირად გვხვდება, ვიდრე მეორე მხარეს. როგორ განვსაზღვროთ გზის მდგომარეობის მიხედვით, საწყობის რომელ მხარეს არის შესასვლელი და რომელ მხარეს გამოსასვლელი?

3.5.7. კატარლა მიცურავს ბლვაზე და იწყებს ძლიერ ქანაობას, თუმცა ტალღები შედარებით დაბალია. კაპიტანმა შეცვალა კატარლის კურსი და მისი სიჩქარე. ამ დროს ტალღების დაჯახება კატერზე ორჯერ გახშირდა, ამის მიუხედავად კატარლის რხევათა გასაქანი მნიშვნელოვნად შემცირდა. ახსენით ეს.

3.5.8. ისე ჩანს თითქოს, თუ ორკაპიდან ხიდს ვესვრით მისი საკუთარი რხევების ტაქტში ძალიან ბევრჯერ, შეიძლება ხიდის ძლიერი რხევა გამოვიწვიოთ. სინამდვილეში ამის გაკეთებას ვერ შევძლებთ. რატომ?

3.5.9. სითხეში ან აირად გარემოში, მცირე სიჩქარით მოძრაობისას, წინააღმდეგობის ძალა სხეულის სიჩქარის პროპორციულია და მისი მოძრაობის საწინააღმდეგოდაა მიმართული: $f = -bv$. როგორ არის დამოკიდებული სხეულის მოძრაობის დროს გაფანტული სიმძლავრე მის სიჩქარეზე?

3.5.10*. ვთქვათ ოსცილატორის კინეტიკური ენერგიაა $K = mv^2/2$, ხოლო პოტენციალური – $U = kx^2/2$. აჩვენეთ, რომ ოსცილატორის $N_{\varphi} = bv^2$ სიმძლავრის „დანაკარგების“ არსებობა ექვივალენტურია მასზე მოქმედი დამატებითი $f = -bv$ ძალის არსებობის.

3.5.11. ხარისხობრივად აღწერეთ თავდაპირველად უძრავი ოსცილატორის მოძრაობა, რომელიც გამოწვეულია ცალკეული ბიძგით და პერიოდის შემდეგ ერთანაირი მიყოლებით შესრულებული ერთნაირი ბიძგების სერიით. ააგეთ ამ ოცილატორის ფაზური პორტრეტი, თუ მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალა მისი სიჩქარის პროპორციულია.

3.5.12*. წინააღმდეგობის არსებობისას რხევით სისტემას უწოდებენ მილევად ოსცილატორს, ხოლო მის რხევებს, ხელშემწყობი ძალების არარსებობისას – მილევადს. აჩვენეთ, რომ, თუ ორი ოსცილატორის მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალა არის $f_1 = -b_1 v_1$, $f_2 = -b_2 v_2$, მაშინ, $\frac{k_1}{m_1} = \frac{k_2}{m_2} = \omega_0^2$ და $\frac{b_1}{m_1} = \frac{b_2}{m_2} = 2\gamma$ დროს, მათი მოძრაობის განტოლებებს გააჩნიათ ერთნაირი ამონასნი ერთნაირი საწყისი კოორდინატებისა და სიჩქარეების შემთხვევაში (ω_0 თავისუფალი რხევების სიხშირეა ხახუნის არარსებობისას, მილევის კოეფიციენტია γ , k_1 და k_2 წარმოადგენენ სიხისტეებს, ხოლო m_1 და m_2 ოსცილატორების მასებს).

3.5.13. აჩვენეთ, რომ თუ მილევადი ოსცილატორი ირხევა $x_1 = x_1(t)$ და $v_1 = v_1(t)$ კანონით, მაშინ $x_2(0) = n x_1(0)$, $v_2(0) = n v_1(0)$ საწყისი პირობების მქონე ასეთივე ოსცილატორი ირხევა $x_2 = n x_1(t)$, $v_2 = n v_1(t)$ კანონით.

3.5.14. ოსცილატორის მილევა შეიძლება იყოს იმდენად დიდი, რომ მის მოძრაობას დაეკარგოს რხევითი ხასიათი. შეაფასეთ სიდიდის რიგის მიხედვით, γ და ω_0 სიდიდეების რა თანაფარდობისთვის მოხდება ეს (იხ. ამოცანა 3.5.12).

3.5.15. ვთქვათ რხევა საკმაოდ ნელა მიიღევა, ასე რომ საწყისი წონასწორობის წერტილიდან v სიჩქარით გამოსული ოსცილატორი, T დროის შემდეგ ისევ

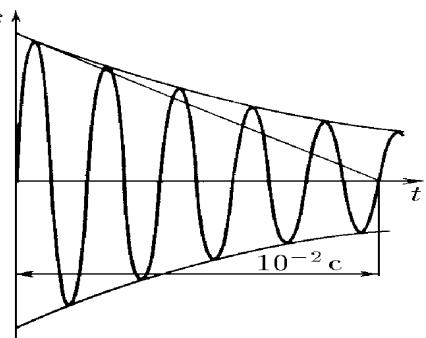
გაივლის წონასწორობის წერტილს v/n სიჩქარით, $n > 1$. რა შეიძლება ითქვას ოსცილატორის სიჩქარეზე $2T$, $3T$ დროის შემდეგ?

3.5.16. ოსცილატორის მიღევადი რხევების ამპლიტუდა T დროში ორჯერ შემცირდა. როგორ შეიცვალა ოსცილატორის მექანიკური ენერგია ამ დროში? რა დროში შემცირდა მისი ენერგია ორჯერ?

3.5.17. ოსცილოგრაფის რხევები ნელა მიიღევა, მის პორიტონტალურ ფირფიტებზე მიდის მისი გადაადგილების პროპორციული სიგნალი, ხოლო ვერტიკალურებზე – მისი სიჩქარის პროპორციული სიგნალი. გამოსახეთ სხივის კვალი ოსცილოგრაფის ეკრანზე.

3.5.18. თუ $t=0$ მომენტში ოსცილატორი, რომელიც ირხევა მიღევით, წონასწორობის წერტილშია და მისი სიჩქარეა v_0 , მაშინ მისი კოორდინატი $t \neq 0$ დროის მომენტში განისაზღვრება ფორმულით

$$x = \frac{v_0}{\omega} \exp(-\gamma t) \sin \omega t ,$$



სადაც $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$, $\gamma < \omega_0 = \sqrt{k/m}$. k, m და γ შესაბამისად არის ოსცილატორის სიხისტე, მასა და მიღევის კოეფიციენტი. აჩვენეთ, რომ 3.5.12 და 3.5.15 ამოცანებში აღწერილი ოსცილატორის თვისებები არ ენინააღმდეგება ამ მტკიცებას.

3.5.19. ოსცილოგრაფის ეკრანზე მიღებული მიღევადი რხევებისთვის, x -ის t -ზე დამოკიდებულების მიხედვით, განსაზღვრეთ γ და ω სიდიდეები. $\gamma \ll \omega_0$ დროს, რატომ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ $\omega \approx \omega_0$?

3.5.20. ა. სეკუნდის ქანქარის, ერთი მიმართულებით, ერთმანეთის მიყოლებით შესრულებული მაქსიმალური გადახრები ერთმანეთისაგან განსხვავდება 1%-ით. როგორია ამ ქანქარის მიღევის კოეფიციენტი?

ბ. ამ ქანქარის ბურთულა იმავე რადიუსის, მაგარამ ოთხჯერ მეტი მასის მქონე ბურთულით შეცვალეს. როგორ აისახება ეს რხევების მიღევაზე?

3.5.21*. ა. ოსცილატორის ვარგისიანობას უწოდებენ მისი საწყისი ენერგიის შეფარდებას მის მიერ ფაზის 1 რადიანით შეცვლისას დაკარგულ ენერგიასთან. გამოსახეთ ვარგისიანობა γ მიღევის კოეფიციენტით და $\omega_0(\gamma \ll \omega_0)$ თავისუფალი რხევების სიხშირით. როგორ არის დაკავშირებული Q ვარგისიანობა რხევათა რიცხვთან, რომელთა განმავლობაშიც ოსცილატორის ენერგია $e^{-\zeta t}$ მცირდება?

ბ. ვაკუუმში საფირონის მონოკრისტალის ვარგისიანობა, დაბალი ტემპერატურისა და შესაბამისად დაკიდების დროს, არის $Q=10^8-10^9$.

მონოკრისტალის რხევის სიხშირეა $\omega_0=10^4 \text{ rad}^{-1}$. შეაფასეთ, რამდენით შეიცველბა კრისტალის რხევის ამპლიტუდა ერთ დღე-ღამეში.

3.5.22*. ყოველ ჭერზე, როცა ოსცილატორი, ერთიდაიგივე მიმართულებით, წონასწორობის მდებარეობას გადის, სიჩქარის მიმართულებით მას დარტყმით ანიჭებენ დამატებით P იმპულსს. როგორი იქნება ოსცილატორის მოძრაობა და რა მაქსიმალური სიჩქარე დამყარდება? ოსცილატორის მახასიათებლები ცნობილია. განიხილეთ ორი ზღვრული შემთხვევა: $2\pi g/\omega \gg 1$ და $2\pi g/\omega \ll 1$.

3.5.23. მოიყვანეთ სისტემის მაგალითი, რომელშიც მისი ერთი ნაწილიდან მეორეზე ზემოქმედება აღინერება დროში ჰარმონიულად ცვლადი ძალით.

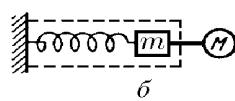
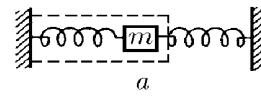
3.5.24. m მასის ნაწილაკზე მოქმედებს $F=F_0 \sin \omega t$ ძალა, რომელიც ნაწილაკს წონასწორობის წერტილის მახლობლობაში რხევას აიძულებს. წარმოიდგინეთ, რომ ამ ძალას ავითარებს ზამბარა, რომელიც უძრავ კედელზეა მიმაგრებული, და იპოვეთ ნაწილაკის რხევის ამპლიტუდა ამ შემთხვევაში.

◊**3.5.25***. სურათზე გამოსახულ სისტემებში სრულდება თავისუფალი რხევები ხახუნის გარეშე. აჩვენეთ, რომ ოსცილატორზე, დაშტრიხული ხაზით გამოყოფილ, მოქმედ ძალას გააჩნია ჰარმონიული ხასიათი.

3.5.26. ა. m მასის სხეული ორივე მხრიდან ზამბარებით ეკვრის კედელს და ω სიხშირით ირხევა (იხ. 3.5.25* ამოცანის სურათი). განსაზღვრეთ სხეულის რხევის ამპლიტუდა, თუ ცნობილია, რომ მარცხენა ზამბარის სიხისტეა k , ხოლო მარჯვენა ზამბარიდან სხეულზე მოქმედებს $F_0 \sin \omega t$ ძალა.

ბ. m მასის სხეული მარცხნიდან k სიხისტის ზამბარით ეკვრის კედელს, ხოლო მარჯვენიდან ხისტად ეკვრის სხვა სხეულს და ირხევა ω სიხშირით (იხ. 3.5.25* ამოცანის სურათი). განსაზღვრეთ ამ სხეულის რხევის ამპლიტუდა, თუ ცნობილია, რომ მეორე სხეულიდან m მასის სხეულზე მოქმედებს $F_0 \cos \omega t$ ძალა.

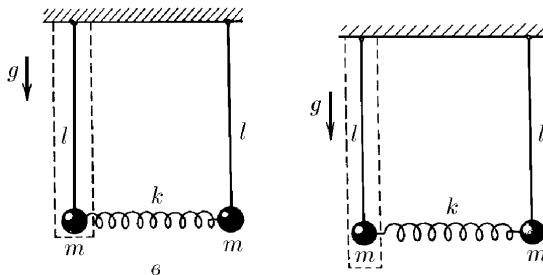
◊ **3.5.27***. თუ ქანქარის ტვირთებს ერთნაირად გადავხრით ერთ მხარეს და შემდეგ გავათავისუფლებთ, მაშინ სისტემაში აღიგზნება $\omega_0=\sqrt{g/l}$ სიხშირის რხევები. თუ კი მათ ერთნაირ მანძილზე გადავხრით საპირისპირო მიმართულებით, გაჩნდება $\omega=\sqrt{g/l+2k/m}$ სიხშირის რხევები. ზოგადი შემთხვევისთვის ტვირთების მოძრაობა არის ამ რხევების ზედდების შედეგი:



$$x_1 = B \cos(\omega_0 t + \varphi) + A \cos \omega t ,$$

$$x_2 = B \cos(\omega_0 t + \varphi) + A \cos \omega t .$$

ახლა მარცხენა ტვირთზე გამბარიდან მოქმედი $F_0 \cos \omega t$ ძალა განიხილეთ, როგორც მაიძულებელი ძალა და განსაზღვრეთ A სიდიდე F_0 , m , ω_0 და ω პარამეტრების მეშვეობით. შესაკრები $B \cos(\omega_0 t + \varphi)$ წარმოადგენს განცალკევებული ოსცილატორის თავისუფალ რხევას. რითი განისაზღვრება B და φ პარამეტრების არჩევა?



3.5.28*. 3.5.27* ამოცანის შედეგი ძალიან მნიშვნელოვანია: ზოგადი შემთხვევისთვის ოსცილატორის მოძრაობა, მაიძულებელი ძალის არსებობის დროს, წარმოადგენს თავისუფალი და იძულებითი რხევების ჯამს. რა საწყისი პირობებისთვის შესრულდება მხოლოდ იძულებითი რხევები?

3.5.29*. რატომ წარმოადგენს, მაიძულებელი ძალის ოსცილატორის გადანაცვლებასა და სიჩქარეზე წრფივი დამოკიდებულების დროს, ოსცილატორის ზოგადი მოძრაობა თავისუფალი და იძულებითი რხევების ჯამს?

3.5.30. რატომ არის, რომ, როცა ოსცილატორი იძულებით ირხევა საკუთარ სიხშირეზე ნაკლები სიხშირით, მისი გადანაცვლებისა და მაიძულებელი ძალის მიმართულებები ემთხვევა, ხოლო, როცა საკუთარ სიხშირეზე მეტით, ერთმანეთის საპირისიპიროა?

3.5.31. მაიძულებელი ძალის, ოსცილატორის საკუთარ სიმირესთან შედარებით, მცირე სიხშირით რხევისას, ოსცილატორის გადანაცვლება შეგვიძლია ჩავთვალოთ $F(t)/k$ -ს ტოლი, სადაც $F(t)$ არის მაიძულებელი ძალა, k არის მერხევი სისტემის სიხისტე. ხოლო მაიძულებელი ძალის შედარებით დიდი სიხშირით რხევისას, ოსცილატორის აჩქარება შეგვიძლია $F(t)/m$ - ის ტოლად ჩავთვალოთ, სადაც m არის ოსცილატორის მასა. ახსენით ეს.

3.5.32*. $t=0$ დროის მომენტში წინასწორობის მდგომარეობაში მყოფ უძრავ ოსცილატორზე მოქმედებას იწყებს მაიძულებელი $F=F_0 \cos \omega t$ ძალა. ოსცილატორის მასა არის m , მისი საკუთარი სიხშირე არის ω_0 . იპოვეთ ოსცილატორის

კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება და ააგეთ მისი გრაფიკი $|\omega - \omega_0| \ll \omega$
 შემთხვევისთვის. გრაფიკის აგებისას გამოიყენეთ იგივეობა
 $\cos \alpha - \cos \beta = 2 \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \sin \frac{\alpha + \beta}{2}$.

3.5.33*. რხევების გაქან-გამოქანებას, როგორც ჩანს 3.5.32* ამოცანის ამოხსნიდან, თან ახლავს ძგერები. $\omega \rightarrow \omega_0$ დროს ძგერების ზომა უსაზღვროდ იმატებს, მაგრამ სამაგიეროდ მათი პერიოდიც, ესე იგი მატების დრო, უსაზღვროდ იზრდება. ჩათვლეთ, რომ მაიძულებელი ძალის ზემოქმედების დაწყების შემდეგ გასული დრო ბევრად მცირეა, ვიდრე $2\pi/|\omega - \omega_0|$. გამოიყენეთ $\sin \varepsilon \varepsilon (\varepsilon \ll 1)$ მიახლოება და განსაზღვრეთ რხევათა გაქან-გამოქანების ხასიათი ამ შემთხვევისთვის.

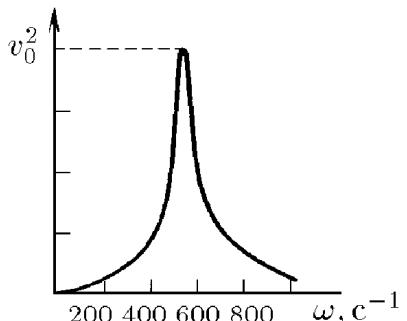
3.5.34*. რხევათა გაქან-გამოქანების ხასიათის გარკვევა შეგვიძლია $\omega = \omega_0$ დროს, თუ კოორდინატის $x(t)$ გამოსახულებაში $\omega \rightarrow \omega_0$ ზღვარზე გადავალთ (იხ. 3.5.32* ამოცანის პასუხი). როგორ აისახება, რომ რხევათა ამპლიტუდა, ამ შემთხვევაში, დროის პროპორციულად იზრდება?

3.5.35*. ვთქვათ ადგილი აქვს რხევებს მცირე მიღევით: მიღევის კოეფიციენტია $\gamma \ll \omega_0$. როგორ აისახება ის ოსცილატორის რხევათა გაქან-გამოქანებაზე უძრაობის მდგომარეობიდან წონასწორობის მდგომარეობაში $|\omega - \omega_0| \ll \gamma$ შემთხვევაში და $\omega = \omega_0$ შემთხვევაში? რატომ არ არის, ასეთ შემთხვევებში, იძულებითი რხევების დამყარებაზე საუბარი მართებული? როგორი იქნება ამ დამყარების მახასიათებელი დრო?

3.5.36. ა. როგორი მაიძულებელი ძალაა საჭირო, რომ m მასის ოსცილატორმა, მიღევის γ კოეფიციენტით, დაიწყოს $x = A \cos(\omega_0 t - \varphi)$ კანონის მიხედვით საკუთარი ω_0 სიხშირით ჰარმონიული რხევების შესრულება?

ბ. მაიძულებელი ძალის ამპლიტუდა უდრის F_0 -ს და მისი სიხშირეა $\omega = \omega_0$. განსაზღვრეთ იძულებითი რხევების ამპლიტუდა. რამდენჯერ მეტია ის ოსცილატორის გადახრაზე მუდმივი F_0 ძალის მოქმედების დროს?

3.5.37. ოსცილატორი მოძრაობს $x = x_0 \sin \omega t$ კანონის მიხედვით, ხოლო მასზე მოქმედი მაიძულებელი ძალა, $F = F_0 \cos \omega t$. რას უდრის ოსცილატორის მიღევის კოეფიციენტი? ოსცილატორის მასაა m .



◊3.5.38. სურათზე მოყვანილია იძულებითი რხევების სიჩქარის ამპლიტუდის კვადრატის დამოკიდებულება მუდმივი ამპლიტუდის მქონე მაიძულებელი ძალის სიხშირეზე. განსაზღვრეთ ოსცილატორის საკუთარი სიხშირე, მისი მილევის კოეფიციენტი და ვარგისიანობა.

3.5.39. მცირე მაიძულებელი ძალების რეზონანსური აღმოჩენისთვის შეიძლება გამოვიყენოთ საფირონის მონოკრისტალი $Q=10^9$ ვარგისიანობითა და საკუთარი რხევების $\omega_0=10^4 \text{ rad}^{-1}$ სიხშირით. რამდენ ხანს (სიდიდის რიგის მიხედვით) უნდა დაველოდოთ, რომ მონოკრისტალში დამყარდეს რხევები?

3.5.40. ხმისგამომცემის ნემსი გრამფირფიტის სინუსოიდალურ ღარბე მოძრაობს. ნემსის საკუთარი რხევების სიხშირეა ω_0 . ფირფიტის მიმართ ნემსის რა სიჩქარისთვის ამოსრიალდება ნემსი ღარიდან? ღარის ჩაღრმავება λ მანძილის შემდეგ მეორდება.

3.5.41*. ნაწილაკები, თითოეული m მასით, $t=0$ მომენტში თითქმის ნულოვანი საწყისი სიჩქარით გამოდიან წყაროდან. გამოფრენიდან თითქმის მყისვე მათზე $F=F_0 \sin \omega t$ ძალა იწყებს მოქმედებას. განსაზღვრეთ ნაწილაკების სიჩქარე გამოფრენიდან t დროის შემდეგ. როგორია ამ ნაწილაკების საშუალო სიჩქარე? წყაროდან რა მანძილზე მიიღწევა უდიდესი სიჩქარე? უპასუხეთ ამ კითხვებს $t=\frac{\pi}{\omega}, \pi/2\omega$ დროის მომენტში გამოშვებულ ნაწილაკებისათვის.

3.5.42*. $t=0$ დროის მომენტიდან m მასის ნაწილაკზე, x ღერძის მიმართულებით, იწყებს $F_x=F_0 \sin \omega t$ ძალა მოქმედებას, ხოლო y ღერძის მიმართულებით – $F_y=F_0 \cos \omega t$ ძალა. იპოვეთ ნაწილაკის ტრაექტორია, თუ საწყის მომენტში ის უძრავია. რისი ტოლია ნაწილაკის დიდ დროში საშუალო სიჩქარე? რა საწყისი სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ნაწილაკს, რომ ამ ძალების მოქმედებით იმოძრაოს წრეწირზე? რა რადიუსი ექნება ამ წრეწირს?

§ 3.6. დეფორმაციები და ძაბვები. ტალღების სიჩქარე

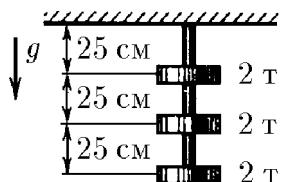
3.6.1. k სიხისტის ზამბარებით გადაბმული ბურთულების გრძელი ჭაჭვის ერთ ბოლოში მოდეს F ძალა. ჭაჭვის მეორე ბოლო დამაგრებულია. განსაზღვრეთ ზამბარების საერთო წაგრძელება და წონასწორობაში n -ური ბურთულის გადაადგილება.

3.6.2. 1 მ სიგრძის მავთული ბოლოებით გაჭიმეს $0,1$ მმ-ზე. როგორ შეიცვლება მანძილი მეზობელ ატომებს შორის, თუ არადეფორმირებულ მასალაში საშუალო ატომთშორისი მანძილი უდრის 10^{-10} მ?

3.6.3. მასალის იუნგის მოდული E ეწოდება ერთეული მოცულობის კუბის სიხისტეს, როცა ძალა მოდებულია მისი ერთ-ერთი წახნაგის პერპენდიკულარულად. როგორია L სიგრძისა და S კვეთის ღეროს სიხისტე გრძივი გაჭიმვისა და შეკუმშვის დროს? დავუშვათ, რომ ღეროს ერთი ბოლო დამაგრებულია. რა ძალა უნდა მოვდოთ მეორე ბოლოს ღეროს ΔL -ით გასაჭიმად?

3.6.4. შეაფასეთ ატომთშორისი კავშირის სიხისტე იუნგის E მოდულისა და ატომთაშორისი a საშუალო მანძილის მქონე ნივთიერებაში.

3.6.5. 1 $N\delta^2$ და 75 სმ ფოლადის ღეროზე ერთმანეთისაგან 25 სმ მანძილზე დაამაგრეს თითოეული 2 ტ მასის სამი ტვირთი. ქვედა ტვირთი ღეროს ბოლოზე ჰქიდია. დახატეთ ღეროს უბნების ფარდობითი წაგრძელებისა (დეფორმაციის) და წანაცვლების ამ უბნების სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკები. ფოლადის იუნგის მოდული $2 \cdot 10^{11}$ პა. როგორია მთელი ღეროს გაჭიმვა?



3.6.6. ტრამვაის რელსების დაგების დროს გამოიყენება პირაპირა შედუღება. რა დაძაბულებები ჩნდება მათში ზამთარში $-30^\circ C$ -დან ზაფხულში $30^\circ C$ -მდე ტემპერატურის ცვლილებისას, თუ დაგება მიმდინარეობდა $10^\circ C$ დროს? ფოლადის ნრფივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტია $1,25 \cdot 10^{-5} K^{-1}$.

3.6.7. კედლის ნაწილები ნაპრალის სხვადასხვა მხარეებზე შეაერთეს გავარვარებული ფოლადის ზოლით, რომელმაც გაცივების შემდეგ მიაკრა ისინი ერთმანეთს. ნაპრალის სიგანე იყოს 1 სმ, ზოლის სიგრძე 2 მ, ხოლო მისი კვეთა 2

$S\sigma^2$. რა ძალითაა მიკრული კედლის ნაწილები, თუ ზოლი თავდაპირველად 500 $^{\circ}\text{C}$ -ითაა გახურებული?

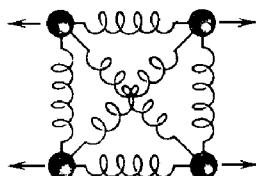
3.6.8. ისააკის ტაძრის სვეტს სანკტ-პეტერბურგში 30 მ სიმაღლე აქვს. საკუთარი სიმძიმის მოქმედებამ რამდენით შეკუმშა იგი? გრანიტის სიმკვრივეა $2,7 \cdot 10^3 \text{ კგ}/\text{მ}^3$, ხოლო იუნგის მოდული - 10^{11} ჰა.

3.6.9. m მასის, l სიგრძისა და S კვეთის ღერო მოქაჩეს ერთ ბოლოში გრძივი მიმართულებით a აჩქარებით. ღეროს მასალის იუნგის მოდულია E . რხევები ღეროში არ არის. რამდენით წაგრძელდება ღერო?

3.6.10. ღეროს ფარდობითი წაგრძელებაა ϵ . იპოვეთ მოცულობის ერთეულზე დრეკადი დეფორმაციის ენერგია, თუ ღეროს მასალის იუნგის მოდული უდრის E . გამოსახეთ მიღებული სიდიდე ძალით, რომელიც მოქმედებს კვეთის ფართობის ერთეულზე, და ნორმალური σ ძაბვით.

3.6.11*. რა უმცირესი მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ რგოლად მოვღუნოთ ღერო, რომელსაც გააჩნია კვადრატული კვეთა $a \times a$? მასალის იუნგის მოდული არის E , ღეროს სიგრძე $l \gg a$.

◊3.6.12*. როცა დრეკად სხეულზე მოქმედებენ გრძივი ძალები ხდება მისი გაჭიმვა ან შეკუმშვა, იცვლება არა მხოლოდ მისი სიგძივი, არამედ განივი ზომებიც. განიხილეთ კრისტალის უკრედის მოდელი, რომელშიც ატომების კავშირები წარმოდგენილია ზამბარებით. დიაგონალური ზამბარების სიხისტეა k , დანარჩენების – $-k_0$. განსაზღვრეთ განივი ზამბარების შეკუმშვის ფარდობა გრძივი ზამბარების წაგრძელებასთან მცირე დეფორმაციების დროს.



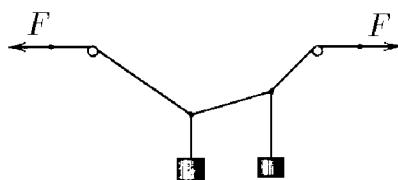
3.6.14. პუასონის კოეფიციენტი ფოლადისთვის $\nu = 0,3$. იზრდება თუ მცირდება ფოლადის ოროს მოცულობა გაძიმვის დროს? რეგინის გონარის მოცულობა

გაჭიმვის დროს თითქმის არ იცვლება. რისი ფოლი იქნება პუასონის კოეფიციენტი რეზინისთვის?

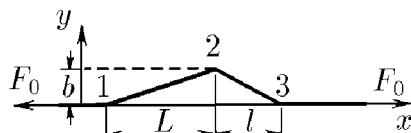
3.6.15. ნივთიერების კუმშვადობა გვიჩვენებს, რამდენით მცირდება სხეულის მოცულობა თავდაპირველ მოცულობასთან შედარებით მის ზედაპირზე წნევის ერთი ერთეულით მომატების შემდეგ. განიხილეთ ნივთიერების კუბის ყოველმხრივი შეკუმშვა როგორც სამი ერთმხრივი შეკუმშვის ჯამი და გამოხატეთ კუმშვადობა იუნგის E მოდულითა და პუასონის ν კოეფიციენტით.

3.6.16. წყლის კუმშვადობაა $5 \cdot 10^{-5} \text{ Аტ}^{\text{-1}}$. შეაფასეთ ოკეანეს სიღრმის ცვლილება იმ შემთხვევისთვის, თუ წყალს უკუმშველად ჩავთვლით. ოკეანეს საშუალო სიღრმე შეადგენს 3–4 კმ. რამდენით მეტია წყლის სიმკვრივე ამ სიღრმეზე, ვიდრე ზედაპირზე? რა დრეკადი ენერგიაა მომარაგებული წყლის მოცულობის ერთეულში?

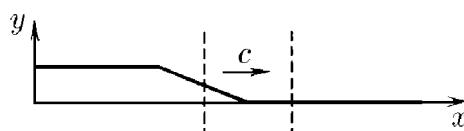
◊3.6.17. უნონო ძაფი გადადებულია ორ ლურსმანზე. მასზე ორი ტვირთი ჰქიდია. ძაფის პორიტონტალური უბნების დაჭიმულობის ძალაა F . ძაფის ფორმის მიხედვით როგორ ვიპოვოთ ტვირთების მასა და ლურსმნების მხრიდან რეაქციის ძალები?



◊3.6.18. სიმის ბოლოებს მოდეს გრძივი F_0 ძალები. სიმის ცალკეული უბნების განივი წარატებისას ჩნდება სურათზე გამოსახული პროფილი. ააგეთ სიმის დაჭიმულობის ძალის განივი მდგრენელის კოორდინატზე დამოკიდებულების გრაფიკი. რომელი განივი ძალები დააკავებენ სიმს ასეთ მდგომარეობაში?



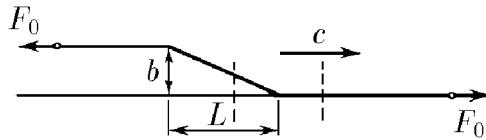
◊3.6.19. სიმის უბნები მოძრაობენ განივი მიმართულებით ისე, რომ გაღუნვის უბანი გადაინაცვლებს მარჯნივ c სიჩქარით და არ იცვლის თავის დახრილობას. როგორაა დაკავშირებული ერთმანეთთან სიმის ϵ დეფორმაცია გაღუნვის უბანში და სიმის უბნების u სიჩქარე?



◊3.6.20. ა. ახსენით, რატომ იზრდება სურათზე გამოყოფილი სიმის უბნის იმპულსი. განსაზღვრეთ ამ იმპულსის ცვლილების სიჩქარე სიმის სიგრძის ერთეულის

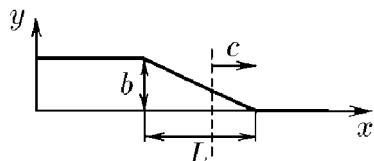
მასის ρ , გაღუნვის უბანში დეფორმაციის $\epsilon \ll 1$ და გაღუნვის უბნის წანაცვლების c სიჩქარის მიხედვით.

ბ. როგორია სურათზე მოცემული სიმის გამოყოფილ უბანზე მოქმედი ძალების ჯამი, თუ მისი დაჭიმულობის ძალაა F_0 ? გამოსახეთ სიმის ღუნვის უბნის წანაცვლების სიჩქარე F_0 -ით და ρ -თი.



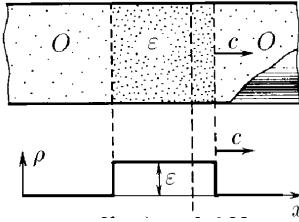
◊3.6.21. ა. ღეროს უბნების გრძივი წანაცვლების გრაფიკის მიხედვით განსაზღვრეთ შეშფოთების უბანში ღეროს მოცულობის ერთეულის დეფორმაცია და დრეკადი ენერგია. შეშფოთება ინარჩუნებს თავის სახეს და გადაადგილდება მარჯნივ ღეროს გასწვრივ c სიჩქარით. როგორი იქნება ღეროს ნაწილაკთა სიჩქარე შეშფოთების უბანში? ღეროს მასალის იუნგის მოდულია E .

ბ. დეფორმაციის მოძრავ უბანში (მორბენალ ტალღაში), რომელიც ინარჩუნებს თავის ფორმას ღეროს გასწვრივ გადაადგილებისას, ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია დრეკადი ენერგიის ტოლია. განსაზღვრეთ ტალღის სიჩქარე იუნგის E მოდულისა და ღეროს მასალის ρ სიმკრივის მიხედვით.



◊3.6.22. ა. ϵ გრძივი დეფორმაციის უბანი მოძრაობს ღეროს გასწვრივ მარჯვნივ c სიჩქარით. ღეროს კვეთის ფართობია S , მასალის სიმკვრივეა ρ . როგორია გამოყოფილი კვეთისაგან მარჯვენა უბანში ღეროს ნაწილაკების იმპულსის ცვლილების სიჩქარე?

ბ. დროის ერთეულში განივი კვეთის ფართობის ერთეულში გადატანილ იმპულსს უწოდებენ იმპულსის ნაკადის სიმკვრივეს. ამ უბანში იმპულსის ნაკადის სიმკვრივე რატომ უნდა იყოს σ ნორმალური ძაბვის ტოლი? გამოსახეთ σ დეფორმაციით და იპოვეთ აქედან c E და ρ -ს საშუალებით.

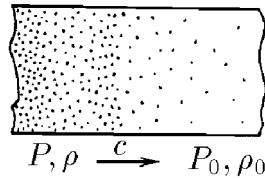


3.6.23. ფოლადის იუნგის მოდულია $2 \cdot 10^{11}$ პა, სიმკვრივე - $7,8 \cdot 10^3 \text{ კგ/მ}^3$.

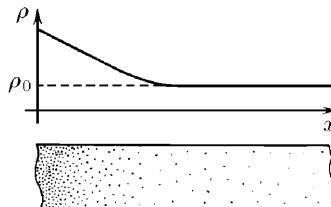
იპოვეთ განივი ტალღების სიჩქარე ფოლადის ღეროში. განივი ტალღების სიჩქარე ფოლადის ფურცლში მეტია, ვიდრე ფოლადის თხელ ღეროებში. რატომ?

3.6.24. ვერცხლისწყლის, წყლისა და ჰაერის კუმშვადობა შესაბამისად არის $3 \cdot 10^{-5}$, $5 \cdot 10^{-5}$ და $0,71 \text{ ატ} \text{ მ}^{-1}$, ხოლო მათი სიმკვრივეები – $13,6 \cdot 10^3$, $1 \cdot 10^3$ და $1,2 \text{ კგ/მ}^3$. განსაზღვრეთ ბგერის სიჩქარე ამ გარემოებში.

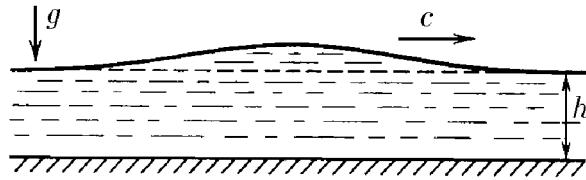
◊3.6.25. აირში ვრცელდება დარტყმითი ტალღა, რომელშიც აირის P და სიმკვრივე ρ ძლიერ აღემატება არაშეშფოთებული აირის P_0 წნევასა და ρ_0 სიმკვრივეს. ამ მონაცემების მიხედვით იპოვეთ დარტყმითი ტალღის სიჩქარე.



◊3.6.26*. მორბენალ ტალღაში აირის ρ სიმკვრივე უწყვეტად კლებულობს არაშეშფოთებული აირის სიმკვრივის ρ_0 მნიშვნელობამდე. აირის წნევა $P \propto \rho^\gamma (\gamma > 1)$. ახსენით, ასეთი ტალღიდან როგორ ვითარდება შეკუმშვის დარტყმითი ტალღა. რატომ არ წარმოიშვება გაუხშოების დარტყმითი ტალღები?

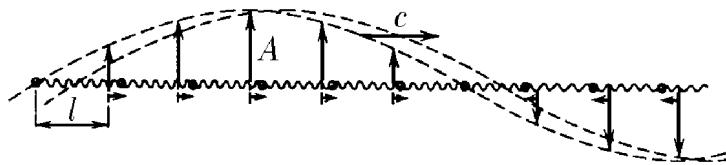


◊3.6.27*. განსაზღვრეთ ტალღების სიჩქარე „წყალმეჩერ“ ადგილზე, ე. ი. იმ ტალღებისა, რომელთა სიგრძე ბავრად მეტია წყალსატევის h სიღრმეზე. შეშფოთების გამო წყლის დონის ცვლილება მცირეა h -თან შედარებით.



◊3.6.28*. l სიგრძისა და $k = m\omega_0^2$ სიხისტის ზამბარებით გადაბმული m

მასის ბურთულების ჯაჭვში გარბის ω სიხშირის გრძივი სინუსოიდალური ტალღა. ბურთულების გრძივი წანაცვლლებები სურათზე გადიდებული მასშტაბით გამოსახულია ვერტიკალური ისრებით. წანაცვლების ამპლიტუდა A ბევრად ნაკლებია l -ზე. იპოვეთ ამ ტალღის გავრცელების სიჩქარე. მიიღეთ ამ ტალღის სიჩქარე დაბალსიხშიროვან ზღვარში ($\omega \ll \omega_0$) l -ის და k -ს მეშვეობით, ხოლო შემდეგ იუნგის E მოდულითა და ნივთიერების ρ სიმკვრივით. განიხილეთ ბურთულები, როგორც ნივთიერების ატომების ანალოგები. შეაფასეთ ω_0 რკინისთვის.

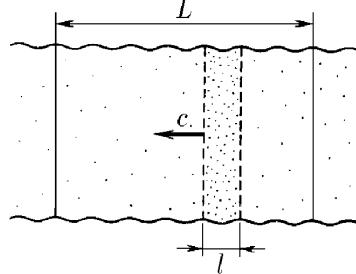


§ 3.7. ტალღების გავრცელება

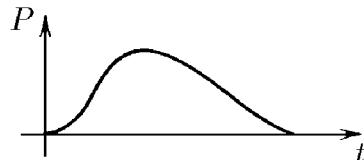
3.7.1. გრძივი შეკუმშვის მოკლე ტალღის გავლის შემდეგ, S განივივეთისა და ρ სიმკვრივის ღეროს შეა ნაწილმა გადაინაცვლა b მანძილით მარჯნივ. ტალღის სიჩქარე არის c . განსაზღვრეთ ამ ტალღის იმპულსი.

3.7.2. ა. ρ სიმკვრივის დრეკად გარემოში c სიჩქარით მოძრაობს შეკუმშვის ბრტყელი ტალღა, რომლის ამპლიტუდაა $\Delta\rho$. რას უდრის იმპულსის ნაკადის სიმკვრივე შეკუმშვის არეში?

ბ. გარემოს ფენის სიგრძე ტალღის გავრცელების მიმართულებით არის L , ხოლო თვით ტალღის სიგრძეა l . რა სიჩქარით მოძრაობს ამ ფენის მასათა ცენტრი? რამდენით გადაინაცვლვლებს ის მას შემდეგ, რაც ტალღა მთელ ფენას გაივლის?



3.7.3. გაზის მილში ტალღა c სიჩქარით გადის. უძრავი აღმრიცხველი ტალღის გავლისას აჩვენებს წნევას, რომელიც $P(t)$ -ს ტოლია. იპოვეთ, როგორ არის დამოკიდებული მილში წნევა აღმრიცხველამდე მანძილზე t_0 დროის მომენტში.



3.7.4. ღეროს ნაწილაკების სიჩქარე შეკუმშვის ტალღაში, რომელიც ღეროში c სიჩქარით ვრცელდება მარჯნივ, საწყის მომენტში განისაზღვრება $u=u(x)$ დამოკიდებულებით, სადაც x არის მანძილი ღეროს მარცხენა ბოლოდან ნაწილაკამდე. იპოვეთ, ღეროს განივივეთში იმპულსის ნაკადის სიმკვრივის დრობება დამოკიდებულება, მისი მარცხენა ბოლოდან x_0 მანძილზე.

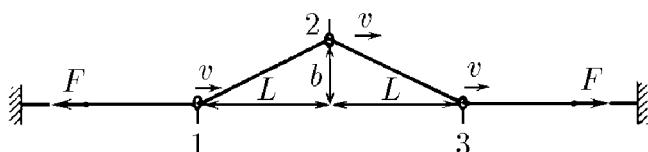
3.7.5. წყალი 2 მ/წმ სიჩქარით მიედინება წყალსაღენ მილში. ის უცებ ხისტი საფარით გადაკეტეს. განსაზღვრეთ საფარზე მოქმედი ძალა წყლის გაჩერების დროს, თუ ბგერის სიჩქარე წყალში არის 1,4 კმ/სთ. მილის განივცვეთია 5 Nm^2 .

3.7.6. უძრავი ნახევრადუსასრულო ღეროს ბოლოზე τ დროის განმავლობაში მოქმედებს სიგრძივი ძალა F . იპოვეთ ღეროს ნაწილაკთა სიჩქარე და მისი დეფორმაცია ტალღის გაჩენის უბანში, თუ ღეროს განივცვეთია S , მისი მასალის იუნგის მოდული უდრის E -ს, ხოლო სიმკვრივე ρ -ს. რას უდრის ღეროს სიმკვრივე ტალღის უბანში. იპოვეთ ღეროს გადანაცვლებული ნაწილაკების იმპულსი და ენერგია ძალის მოქმედების დაწყებიდან $0,5 \tau$ და $1,5 \tau$ დროის შემდეგ.

3.7.7. 10^2 Nm^2 და $0,5 \text{ m}$ კვეთის ცილინდრული ფოლადის ჭურვის ბოლოზე $5 \cdot 10^{-5}$ წმ-ის განმავლობაში მოქმედებდა 10^7 N ძალა. განსაზღვრეთ ამ ძალის მუშაობა და ჭურვის კინეტიკური ენერგიისა და ამ მუშაობის ფარდობა მაშ შემდეგ, რაც ჭურვში რხევები გაქრება.

3.7.8. სიმი, რომელიც შედგება წრფივი ρ_1 და ρ_2 სიმკვრივეების მქონე ორი ნაწილისაგან, დაჯიმულია გრძივი F_{\parallel} ძალებით. ნაწილთა შეერთების წერტილში სიმი მოქაჩეს განივი F_{\perp} ძალით. როგორ შეიცვლება დროთა განმავლობაში სიმის ფორმა?

3.7.9. F ძალით დაჯიმულ სიმზე, რომლის წრფივი სიმკვრივე უდრის ρ -ს, ჩამოცმულია სამი გლუვი რგოლი. რგოლები v სიჩქარით მოძრაობენ სიმზე და იწვევენ მის დეფორმაციას. იმავე სიჩქრით, ფორმის შეუცვლელად სიმზე მოძრაობს აგრეთვე რგოლების მიერ შექმნილი მოღუნული უბანი, რა ძალები მოქმედებს სიმზე რგოლების მხრიდან? რა ხდება, როცა v უახლოვდება $\sqrt{F/\rho}$ -ს?

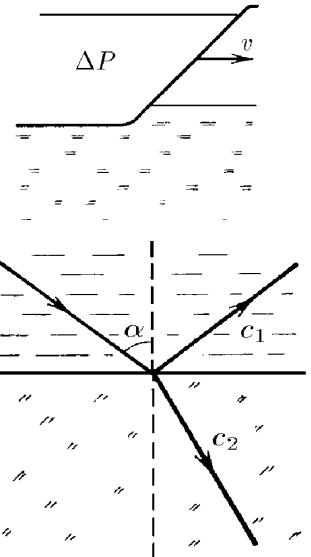
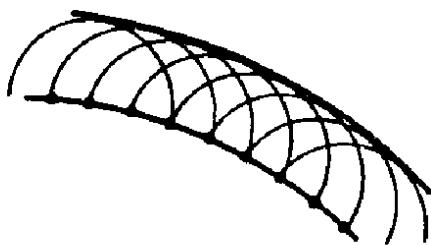


3.7.10. სალტეს „ღუნვის“ ტალღის სიჩქარე არის 160 – 200 კმ/სთ. რა მოხდება, როცა ავტომობილის სიჩქარე მიუახლოვდება ამ სიდიდეს?

3.7.11. „გემის ტალღების შესახებ“ წაკითხულ ლექციაში ლორდი კელვინი ყვებოდა: „...ერთი აღმოჩენა ფაქტიურად გააკეთა ცხენმა, რომელიც ყოველდღიურად ეზიდებოდა ნავს გლაზგოსა და არდროსანს შორის მყოფ არხზე. ერთხელ ცხენი დაფრთხა და გააჭენა. მენავე დაკვირვებული ადამიანი აღმოჩნდა და შეამჩნია, რომ

როცა ცხენმა გარკვეულ სიჩქარეს მიაღწია, ნავის წევა ბევრად გაუადვილდა და უკან ტალღების კვალს აღარ ტოვებდა“. ახსენით ეს მოვლენა.

◊3.7.12. ჰიუგენსის პრინციპის თანახმად ტალღის ზედაპირის ყოველი უბანი არის მეორადი სფერული ტალღების წყარო, ხოლო მეორადი ტალღების მხები ზედაპირი იძლევა ახალ ტალღურ ზედაპირს. ჰიუგენსის პრინციპიდან გამომდინარე აჩვენეთ, რომ ერთგვაროვან გარემოში ბგერის ბრტყელი ტალღის ტალღური ზედაპირი ბგერის სიჩქარით გადაადგილდება. როგორ ვრცელდება ცილინდრული ტალღის ტალღური ზედაპირი? სფერული ტალღის?



◊3.7.13. მომატებული წნევის უბანი გარემოთა საზღვარზე ვრცელდება მარჯვნივ
v სიჩქარით, რომელიც გარემოში ბგერის c სიჩქარეზე მეტია. როგორია ამ ტალღის ტალღური ზედაპირი გარემოში? როგორია მისი გავრცელების მიმართულება?

◊3.7.14. ორი გარემოს ბრტყელ საზღვარზე, c_1 ბგერის სიჩქარით და ნორმალთან α კუთხით, ეცემა ბრტყელი ტალღა. იპოვეთ არეკვლილი და გარდატეხილი ტალღის გავრცელების მიმართულება, თუ ტალღის გავრცელების სიჩქარე მეორე გარემოში უდრის c_2 -ს.

3.7.15. როცა თვითმფრინავი ჰაერში ბგერის სიჩქარეზე ნაკლები სიჩქარით მიფრინავს, დედამიწაზე ისმის მისი ძრავების ხმაური, ხოლო თუ თვითმფრინავი ზებგერითი სიჩქარით მიფრინავს, მაშინ თავდაპირველად ისმის ხმამაღალი ჭექა, ხოლო შემდეგ ძრავების ხმაური. რასთან არის ეს დაკავშირებული?

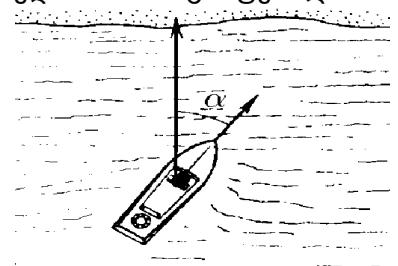
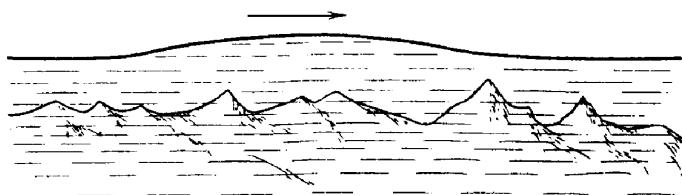
3.7.16. გარემოდან, რომელშიც ბგერის სიჩქარე მეტია, ორი გარემოს გაყრის საზღვარს ეცემა ბრტყელი ბგერის ტალღა საკმაოდ დახრილად, ამ დროს მეორე გარემოში ტალღა არ გარდატყდება. ამ მოვლენას სრული შინაგანი არეკვლა ეწოდება. იპოვეთ სრული შინაგანი არეკვლის კუთხე, თუ ბგერის სიჩქარე ამ გარემოებში არის c_1 და c_2 ($c_1 < c_2$).

3.7.17. წყლის ზედაპირზე მოძრაობს ჰაერის ნაკადი. როგორ იმოქმედებს ეს არეკვლილი და გარდატეხილი ბგერის ტალღების გავრცელების მიმართულებაზე?

◊3.7.18. а. ტალღის სიჩქარე, «თხელ წყალში», იკლებს სიღრმის კლებასთან ერთად. ასეთი ტალღის სწორი ტალღური ზედაპირი, დამრეც ნაპირთან მიახლოების დროს, მრუდდება მის სიახლოვეში და იმეორებს მის მოხაზულობას. რატომ ხდება ასე?

ბ. ხარისხობრივად გამოსახეთ, როგორ იცვლება ტალღის სწორი ტალღური ზედაპირი, როცა ის თავის გზაზე დიდ და დამრეც თავთხელს ხვდება.

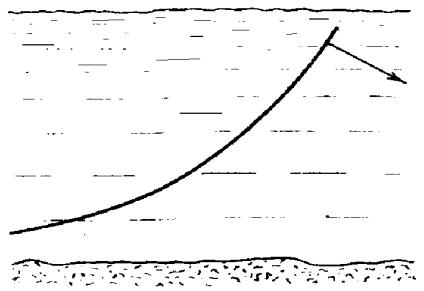
◊3.7.19. მიწისძვრების დროს ოკეანეში წყლის ზედაპირის განფენილი შემფოთება – ცუნამის ტალღები ჩნდება. ეს ტალღები განსაკუთრებით შორს ვრცელდება წყალქვეშა ქედების გასწრივ, ამასთან თითქმის არ კარგავენ თავის დამანგრეველ თვისებებს. ახსენით ეს.



3.7.20*. რატომ არის, რომ ბგერის სიგნალი, რომელიც ქარის მიმართულებით ვრცელდება, ბევრად უკეთესად ისმის, ვიდრე ქარის საწინააღმდეგოდ გავრცელებული? ქარის სიჩქარე შესამჩნევლად მცირდება მიწის ზეაპირთან მიახლოების დროს.

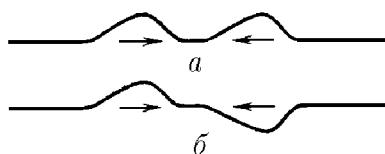
3.7.21. კამერტონის საკუთარი რხევების სიხშირე უდრის v_0 -ს. როგორი სიხშირის ბგერას გავიგონებთ, თუ აუღერებულ კამერტონს ყურთან მივიტანთ v სიჩქარით?

◊3.7.22. ტალღები ნაპირს v_0 სიხშირით აწყდებიან. როგორი სიხშირით ეძგერებიან ისინი კატარლას, რომელიც ნაპირის შორდება v სიჩქარით? უახლოვდება v სიჩქარით? წყალზე ტალღების გავრცელების სიჩქარეა c . განიხილეთ კატარლის მოძრაობა ტალღების გავრცელების მიმართულებასთან α კუთხით.



§ 3.8. ტალღების ზედდება და არეკვლა

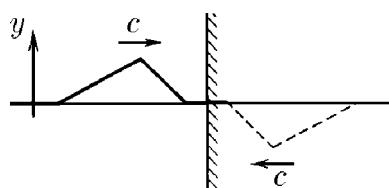
◊3.8.1. სიმზე ვრცელდება ერთნაირი ფორმის ორი შემხვედრი ტალღა. თითოეულ მათგანს გადააქვს E ენერგია. როგორი იქნება კინეტიკური და პოტენციური ენერგია სურათზე გამოსახული ტალღების ძირების თანხვედრის მომენტში?



◊3.8.2. 10 სმ სიგრძის ფოლადის ღერო შეკუმშეს მისი სიგრძის მეათასედი ნაწილით და გაათავისუფლეს. როგორი მსრბოლი ტალღები გაჩნდება ღეროში? დახატეთ ღეროს გათავისუფლებიდან $5 \cdot 10^{-6}$ ნმ-ის შემდეგ, მისი სიგრძის მიხედვით, დეფორმაციის გავრცელებისა და მასში ნაწილაკების სიჩქარის გრაფიკები.

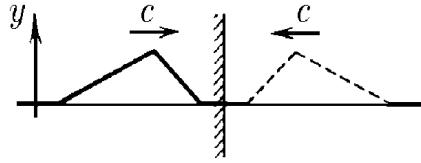


◊3.8.3. ხისტ კედელზე ტალღის მართობულად დაცემისას ჩნდება შეშფოთება, რომლის დროსაც კედლის მახლობლად გარემოს წანაცვლება და სიჩქარე არის ნულოვანი. თუ ამას წარმოვიდგენთ, როგორც დაცემული ტალღისა და კედლიდან სიმეტრიულად მომავალი წანაცვლების ამობრუნებული ტალღის ზედდებას, მაშინ მივიღებთ ნულოვანი წანაცვლებისა და კედლის მახლობლად საჭირო თვისებების მქონე შეშფოთებას. ააგეთ სურათზე გამოსახული დაცემული ტალღისთვის გარემოს წანაცვლების და სიჩქარის განაწილება, როცა ტალღა „შევა კედელში“ თავისი სიგრძის $1/6$, $1/2$, $2/3$ ნაწილით.



3.8.4. სინუსოიდური ბგერითი ტალღა ω სიხშირითა და წანაცვლების A ამპლიტუდით ეჭახება კედელს. იპოვეთ კედელზე მოქმედი წნევის დამოკიდებულება დროზე. გარემოს სიმკვრივეა ρ , ბგერის სიჩქარეა c . კედლიდან რა მანძილზე მიიღება სიჩქარის კვანძები და ბურცობები? წნევის კვანძები და ბურცობები?

◊3.8.5. თავისუფალ საზღვარზე გარემო არ არის დეფორმირებული. გამოიყენეთ 3.8.3 ამოცანაში გამოყენებული ხერხი და იპოვეთ, ტალღის თავისუფალ საზღვარზე დაცემისას გარემოში გაჩენილი შეშფოთება.

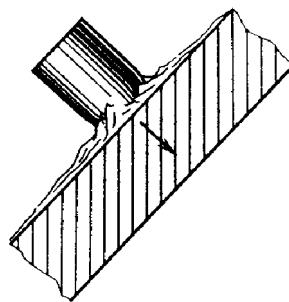


3.8.6. დაუმაგრებელი ღეროს სიჩქარემ, განივი წანაცვლების ტალღის მოსვლისას, დროის ნულოვანი მომენტიდან დაიწყო $v = v_0 \sin \omega t$ კანონის მიხედვით ცვლა. რას უდრის წანაცვლების ამპლიტუდა? ღეროს ბოლოებიდან რა მანძილზე წარმოიშობა სიჩქარის კვანძები და ბურცობები? წნევის კვანძები და ბურცობები?

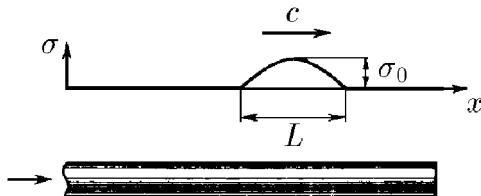
◊**3.8.7.** კოსმოსური ხომალდის ფანჯრის მინის გარე მხარეს აღინიშნება დაზიანებები, რომელიც გამოწვეულია მიკრომეტეორიტების დაჯახებით. ასეთივე დაზიანებები ჩანს შიდა მხარესაც. ახსენით მათი გაჩენის მიზეზი.



◊**3.8.8*.** ტანკებთან საბრძოლველად იყენებენ „პლასტიკურ“ ჭურვებს. ასეთი ჭურვის ტანკთან დაჭახებისას ასაფეთქებელი მოწყობილობა ჭავშანზე იფანტება, ხოლო შემდეგ ფეთქდება. აფეთქებით გამოწვეული ტალღა გადის ჭავშნის სისქეში, შიდა მხრიდან ახლეჩს ფენას და ისვრის დიდი სიჩქარით. იპოვეთ ეს სიჩქარე და ჭავშნის ახლეჩილი ფენის სისქე, თუ აფეთქებისას ჭავშანზე მოქმედებს $p = 5 \cdot 10^4$ ატმ წნევა $\tau = 4 \cdot 10^{-6}$ წმ დროის განმავლობაში. ჭავშანში ბგერის სიჩქარე $c = 5$ კმ/წმ, ჭავშნის სიმკვრივე $\rho = 8 \cdot 10^3$ კგ/ მ³.



◊**3.8.9*.** კერამიკისა და მინის სიმტკიცის ზღვარი გაწყვეტისას გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე შეკუმშვისას. მინის ღეროს მარცხენა ბოლოზე დარტყმის შედეგად გაჩნდა შეკუმშვის ტალღა – სინუსოიდის „ნახევარტალღა“ დაძაბულობის σ_0 ამპლიტუდითა და L განფენილობით. რა უბანი მოტყდება ღეროს, თუ სიმტკიცის ზღვარი გაწყვეტისას არის $\sigma < \sigma_0$? განიხილეთ $\sigma_0 \gg \sigma$ და $\sigma_0 \sigma$ შემთხვევები.



◊3.8.10. 1 მ სიგრძის ფოლადის ღერო ბოლოთი ეჭახება ხისტ უძრავ კედელს. მისი საწყისი სიჩქარეა 100 m/s . როგორი წნევით იმოქმედებს ის კედელზე? როგორი ტალღები გაივლის ღეროში? რას უდრის კონტაქტის დრო? რას უდრის ღეროს საბოლოო სიჩქარე?



◊3.8.11. ერთნაირი მასალისგან დამზადებული და ერთნაირი განივავეთის მქონე, მაგრამ სხვადასხვა l და L სიგრძის ორი დრეკადი ღერო v სიჩქარით მოძრაობს ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით. განსაზღვრეთ ღეროების მასათა ცენტრების სიჩქარე დაჭახების შემდეგ.



3.8.12*. ერთნაირი განივავეთის ორი დრეკადი ღერო ბოლოებით ეჭახება ერთმანეთს. დაჭახებით გამოწვეული შეკუმშვის ტალღებისა და მათი თავისუფალი ბოლოებიდან არეკვლის განიხილვით დაამტკიცეთ, რომ დაჭახების შედეგი ისეთივეა, როგორც სხეულების აბსოლუტურად დრეკადი დაჭახების დროს, თუ ღეროების სირგძეთა ფარდობა უდრის ამ ღეროებში ბგერათა სიჩქარეთა ფარდობას.

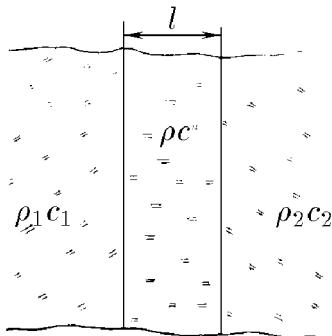
3.8.13*. l_1 სიგრძის დრეკადი ღერო მოძრაობს v სიჩქარით და თავისი ბოლოთი ეჭახება l_2 სიგრძის უძრავი ღეროს ბოლოს. ამასთან, $l_1/c_1 > l_2/c_2$, სადაც

c_1 და c_2 არის ბგერის სიჩქარეები შესაბამისად პირველ და მეორე ღეროში. ღეროების განივავეთი და მათი მასალების სიმკვრივე ერთნაირია. განსაზღვრეთ ღეროების მასათა ცენტრების სიჩქარე დაჭახების შემდეგ.

3.8.14. ტალღის სიგრძე, რომელიც ერთი გარემოდან მეორეში გამყოფი ბრტყელი საზღვრით გადის, იმდენჯერვე მცირდება, რამდენჯერაც მეორე გარემოში მცირდება ტალღის გავრცელების სიჩქარე. გამოიყენეთ ეს ფაქტი და აგრეთვე ენერგიისა და უმპულსის მუდმივობის კანონი და განსაზღვრეთ რანდენჯერ ნაკლებია არეკვლილი ტალღისა და მეორე გარემოში გასული ტალღის ამპლიტუდა დაცემული ტალღის ამპლიტუდაზე. გარემოთა სიმკვრივე და დრეკადობის მოდული შესაბამისად არის ρ_1 , E_1 და ρ_2 , E_2 .

3.8.15. ტალღის გავლის კოეფიციენტს უწოდებენ გასული ტალღის ენერგიის ფარდობას დაცემული ტალღის ენერგიასთან. იპოვეთ ეს კოეფიციენტი ბგერის ტალღისათვის წყალი – პარას გარემოთა გამყოფ საზღვარზე.

◊**3.8.16.** იმისათვის, რომ გაზარდონ პიეზოდეტექტორის მიერ მიღებული ტალღის გავლის კოეფიციენტი, მას სპეციალური ნივთიერებით უერთებენ გამოსაკვლევ გარემოს. ბგერის სიმკვრივე და სიჩქარე გამოსაკვლევ გარემოში შესაბამისად არის ρ_1 და c_1 , ხოლო ბგერის სიმკვრივე და სიჩქარე ნივთიერებაში და კრისტალში შესაბამისად არის ρ, c და ρ_2, c_2 . დავუშვათ, რომ $\rho_1 c_1 / \rho c = \rho c / \rho_2 c_2 = 4$. შეადარეთ, სიმძლავრის მიხედვით, დეტექტორთან ნივთიერებით მისული სიგნალი მის გარეშე მისულ სიგნალს, თუ სიგნალის ხანგრძლივობა ნაკლებია მის მიერ ნივთიერებაში გავლის დროზე.



3.8.17. ¹ სისქის ბრტყელ კედელს, მისი ზედაპირის მართობულად, ეცემა ბგერითი სიგნალი, რომლის განფენილობა ¹ -ზე ბავრად მცირეა. კედლის საზღვრებიდან სიგნალის მრავალჯერადი არეკვლის შედეგად ჩნდება მეორადი სიგნალების („ექო-სიგნალების“) თანმიმდევრობა, რომელთა ამპლიტუდა გეომეტრიული პროგრესით კლებულობს. კედლის ირგვლივ არსებული გარემოს და თვით კედლის სიმკვრივე შესაბამისად არის ρ_1 და ρ_2 . გარემოსა და კედელში ბგერის განაწილების სიჩქარე შესაბამისად არის c_1 და c_2 . განსაზღვრეთ ერთმანეთის მიყოლებით შესრულებული ორი „ექო-სიგნალის“ ამპლიტუდათა ფარდობა და აგრეთვე მათ შორის მანძილი კედლის ირგვლივ არსებულ გარემოში.

3.8.18*. კედელს (იხ. ამოცანა 3.8.17) თანმიმდევრულად ხვდება ერთნაირი ბგერითი სიგნალები. რა მანძილი უნდა იყოს მათ შორის, რომ კედელში გასული სიგნალის ამპლიტუდა იყოს მაქსიმალური? განსაზღვრეთ ამ სიგნალის მაქსიმალური ამპლიტუდის ფარდობა დაცემული სიგნალის ამპლიტუდასთან. შეიცვლება თუ არა ეს ფარდობა, თუ კედელზე დაცემა სინუსოიდური ტალღა?

3.8.19. ულტრაბგერითი ტალღა ვრცელდება პარას ვიწრო „დერეფანში“, დიდ მანძილზე შეუმჩნეველი შესუსტებით. „დერეფანი“ გადატიხრეს გარკვეული სისქის ბგერის ჩამხშობი ეკრანით, რამაც გამავალი ტალღის სიმძლავრე ბევრჯერ შეამცირა. შემდეგ ძველის ნაცვლად დააყენეს გაორმაგებული სისქის ეკრანი. აღმოჩნდა, რომ ამ

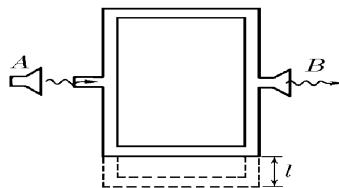
ეკრანში ულტრაბგერა თითქმის შეუსუსტებლად გადის. რაშია საქმე? ტალღის სიხშირეა 1 მჰც, ეკრანის მასალაში ბგერის სიჩქარეა 5 კმ/სთ, იპოვეთ ბგერის ჩამხმობი ეკრანის სისქე.

3.8.20. გარემოთა გამყოფ საზღვარზე ბგერა თითქმის სრულად აირეკლება, თუ $\rho_1 c_1 \gg \rho_0 c_0$. თუმცა ცნობილია, რომ ძალიან თხელი კედლები კარგად ვერ უზრუნველყოფენ ბგერის იზოლირებას. რაჭომ?

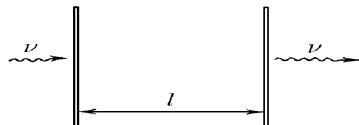
§ 3.9. ბგერა. აკუსტიკური რეზონატორები

3.9.1. ბგერის სიჩქარე ჰაერში $c=330$ მ/წმ. განსაზღვრეთ $v=50$ მ/წმ სიხშირის მქონე ბგერითი ტალღის სიგრძე.

◊**3.9.2.** ბგერის ინტერფერენციის სადემონსტრაციო ხელსაწყოს თავდაპირველად გააჩნია ორი ერთნაირი – ზედა და ქვედა – ბგერათგამტარი. რა მინიმალურ l მანძილზე უნდა დავუშვათ ქვედა ბგერათგამტარი, რომ მაქსიმალურად შესუსტდეს B შვერილის ულერადობა $v=100$ ჰც სიხშირეზე?



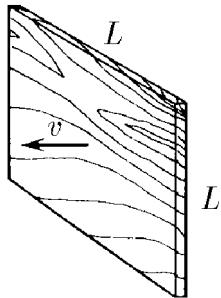
◊**3.9.3.** v სიხშირის ბგერითმა ტალღამ გაიარა ორ თხელ პარალელურ ფირფიტაში, რომლებიც l მანძილზეა გაშლილი. მისმა ინტენსიობამ მაქსიმუმს მიაღწია მეორე ფირფიტიდან l -ის ჭერად მანძილზე. ახსენით ეს მოვლენა და განსაზღვრეთ ბგერის სიჩქარე გარემოში, სადაც ფირფიტებია მოთავსებული.



3.9.4. განსაზღვრეთ სიჩქარის, წანაცვლებისა და წნევის ამპლიტუდა 1 კჰც სიხშირის ბგერით ტალღაში ტკივილის შეგრძნების უბანში (ტალღის ინტენსიობაა 1 ვტ/ dm^2) და სმენადობის ზღურბლის მახლობლად (ტალღის ინტენსიობაა 10^{-12} ვტ/ dm^2).

3.9.5*. ულტრაბგერის როგორი ინტენსიობის დროს გაჩნდება წყალში, ატმოსფერულ წნევისას, ვაკუუმის მიკროლრუები?

◊**3.9.6*.** $L \times L$ ზომების მქონე ფირფიტა ირხევა პარმონიული კანონის მიხედვით $\omega \gg c/L$ სიხშირით, სადაც c არის ბგერის სიჩქარე ჰაერში. შეაფასეთ ძალა, რომელიც მოქმედებს ფირფიტაზე ჰაერიდან იმ მომენტში, როცა ფირფიტის სიჩქარე უდრის v -ს. ჰაერის სიმკვრივეა ρ . როგორ მოძრაობს ჰაერი, თუ $\omega \ll c/L$? რატომ არის ამ შემთხვევაში ბგერის გამოსხივება სუსტი?



3.9.7. R რადიუსის ბურთულა სითხეში ასრულებს ჰარმონიულ რადიალურ რხევებს („სუნთქავს“) და A ამპლიტუდით. წყლის სიმკვრივეა ρ . როგორი პერიოდში საშუალო ენერგიით გამოსხივდება ტალღა? როგორ იცვლება სითხით გამოწვეული წნევის რხევათა ამპლიტუდა ბურთულიდან დაშორების მიხედვით, თუ ტალღის სიჩქარე სითხეში უდრის c -ს? ჩათვალეთ $A \gg R$.

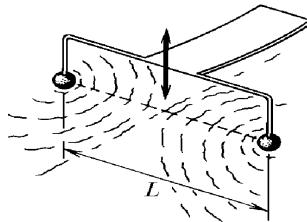
3.9.8*. ა. უსასრულო ღერობები გარკვეულ განივავეთში მოქმედებს $F = F_0 \cos \omega t$ გრძივი გარე ძალა. სიჩქარისა და დეფორმაციის როგორი ტალღები ჩნდება ღეროში? ღეროს განივავეთია S , მისი მასალის სიმკვრივეა ρ , ტალღის სიჩქარე ღეროში არის c .

ბ. უსასრულო ღეროს ერთმანეთისაგან I მანძილით დაშორებულ ორ განივავეთში მოქმედებს გარე $F = F_0 \cos \omega t$ ძალა. როგორი ტალღები ჩნდება ღეროში? I -ის როგორი მნიშვნელობებისთვის არის ტალღის სიმძლავრე ღეროში უდიდესი? უმცირესი? რატომ არ უდრის ღეროში მიღებული ტალღის ენერგია თითოეული წყაროს მიერ ცალ-ცალკე გამოშვებული ტალღების ენერგიათა ჯამს?

3.9.9*. უსასრულო ღეროს ორ განივავეთში ორი გრძივი გარე ძალა მოქმედებს. მარცხენა მხარეს ძალა $F_1 = F_0 \cos \omega t$ კანონით იცვლება, ხოლო მარჯვენაზე –

$F_2 = F_0 \cos \omega t$ კანონით. ძალათა წყაროებს შორის I მანძილის რა მნიშვნელობისთვის გავრცელდება მსრბოლი ტალღა მხოლოდ მარცხნიდან მარჯვნივ? მხოლოდ მარჯვნიდან მარცხნივ?

3.9.10. ა. სიხშირის ვიბრატორს მიმაგრებული აქვს ორი ერთნაირი პატარა ბურთულა ერთმანეთისაგან L მანძილზე. ისინი აღაგზნებენ ტალღებს წყლის ზედაპირზე. შეაფასეთ, სურათის გამოყენებით, ტალღების სიჩქარე წყალზე.



3.9.11*. а. L სიგრძიის თავისუფალ ღეროში, რომლის ბოლოზე ω

სიხშირით მოქმედებს ჰარმონიული ძალა, წარმოიშობა λ ტალღის სიგრძის მდგარი ტალღა. სად მდებარეობს ამ ტალღის ძაბვის კვანძები? როგორია მაიძულებელი ძალის ამპლიტუდა, თუ ძაბვების ამპლიტუდა მდგარ წყალში უდრის σ_0 -ს, ხოლო ღეროს განივჯეთია S ?

ბ. ააგეთ რეზონანსული მრუდი – $\sigma_0 S/F_0$ სიდიდის ω სიხშირეზე, რომლითაც მაიძულებელი ძალა ირხევა, დამოკიდებულობის გრაფიკი. განსაზღვრეთ სიხშირეები, რომლის დროსაც $\sigma_0 S/F_0$ სიდიდე უსაზღვროდ იზრდება. შეიძლება, თუ არა იმის მტკიცება, რომ ეს სიხშირეები ემთხვევა ღეროს საკუთარი რხევების სიხშირეებს, როცა მასზე გარე ძალები არ მოქმედებს?

3.9.12. იპოვეთ 1 მ სიგრძის რკინის ღეროს განივი რხევების საკუთარი სიხშირეები. რომელი წერტილებით უნდა ჩამოვკიდოთ ეს ღერო, რომ მეორე რეზონანსული სიხშირის რხევათა მილევა იყოს მინიმალური?

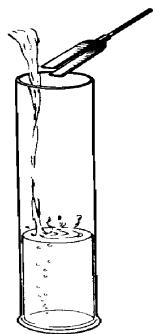
3.9.13. როგორ შეიცვლება ფოლადის ბურთულის საკუთარ რხევათა სიხშირეები, თუ მის რადიუსს ორჯერ გავადიდებთ?

3.9.14*. ორ ხისტ პარალელურ კედელს შორის არის ჰაერი. ერთ-ერთი კედელი იწყებს განივ ჰარმონიულ მოძრაობას A_0 ამპლიტუდითა და ω სიხშირით.

კედლებს შორის მანძილი $L \gg A_0$. ბურცობში წანაცვლების რა ამპლიტუდამდე „შეარყევს“ ჰაერს ეს კედელი? შეაფასეთ შერყევის დრო, თუ ბგერის სიჩქარე ჰაერში უდრის c -ს.

3.9.15. განსაზღვრეთ ჰაერის რხევების პირველი რეზონანსული სიხშირე ორ პარალელურ შენობას შორის, რომლებიც ერთმანეთისაგან $L=20$ მ მანძილით არიან დაშორებულები.

◊**3.9.16.** მივიტანოთ მერხევი კამერტონი მაღალ ცილინდრულ ჭურჭელთან, რომელშიც ნელა-ნელა ისხმება წყალი. გავიგონებთ ხმას, რომელიც ხან ძლიერდება, ხან სუსტდება, ხან ისევ ძლიერდება. როგორ აიხსება ეს? რატომ არის, რომ ჭურჭლის გარეშე კამერტონი სუსტად უდერს?



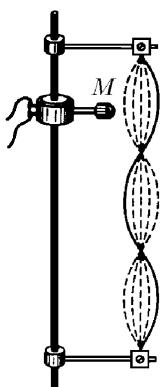
3.9.17. როგორი სიღრმე უნდა ჰქონდეს ოკეანეს, რომ მასში აღიძრას ფიზიოლოგიურად საშიში 7 ჰპ სიხშირის ინფრაბგერითი რხევები?

3.9.18. ორივე მხრიდან გაღებული ორღანის მილის პირველი რეზონანსული სიხშირე უდრის 300 ჰპ-ს. რისი ტოლი იქნება ორივე მხრიდან ჩაკეტილი ასეთივე ორღანის მილის პირველი რეზონანსული სიხშირე? ერთი მხრიდან ჩაკეტილი მილის?

3.9.19. რატომ აძლევენ ფიგურულ ფორმას ვიოლინოსა და ჩელოს ღრუ კორპუსს? როგორ არის დამოკიდებული მის ზომებზე უღერადობის ტონი?

3.9.20. ჰელიუმისა და ჟანგბადის ნარევით გავსებულ ბაროკამერაში ბგერის სიჩქარე ჰარმონიკაზე, ე.ი. პირველ რეზონანსულ სიხშირეზე?

◊3.9.22. ცვლადი დენის გატარებით სიმში აღაგზნებენ რხევებს ისე, რომ მაგნიტური ძალა პატარა M მაგნიტიდან ჰარმონიულად იცვლება. დენის სიხშირე პასუხობს სიმის მესამე ჰარმონიკას. სიმის სიგრძეა l . სად უნდა მოვათავსოთ მაგნიტი, რომ რხევათა ამპლიტუდა იყის უდიდესი?



3.9.23. თუ პირველ ჰარმონიკაზე ბგერის გამომცემ ღეროს ხელით ავიღებთ, ის თითქმის მაშინვე შეწყვეტს ხმის გამოცემას. ახსენით რატომ. რომელ ადგილას უნდა მივკიდოთ ხელი ღეროს, რომ ეს ეფექტი რაც შეიძლება სუსტად გამოვლინდეს? რაც შეიძლება ძლიერ?

3.9.24*. საფირონის მონოკრისტალის ვაკუუმში რხევისას პირველა ჰარმონიკაზე, დაბალ ტემპერატურებზე და შესაბამის საკიდის დროს, ერთ პერიოდში ენერგიის დანაკარგები შეადგენს $\text{რხევების ენერგიის } 10^{-8}$ ნაწილს. რამდენჯერ გაიზრდება ეს დანაკარგები ჰაერში რხევების დროს? საფირონის სიმკვრივეა $3 \cdot 10^3 \text{ კგ/მ}^3$, ბგერის სიჩქარე ჰაერში არის 330 მ/წმ, ჰაერის სიმკვრივეა $1,3 \text{ კგ/მ}^3$.

3.9.25*. აკადემიკოსმა ი.ვ. ობრეიმოვმა ასე დაიწყო ცალმხვრივი სმენადობის ახსნა-განმარტება: „მეთევზები ვერ იტანენ, როცა მათ უახლოვდებიან და ელაპარაკებიან. და ისინი მართლები არიან. თევზს წყალში შესანიშნავად ესმის საუბრები ნაპირზე. ხოლო ჩვენ, ნაპირზე, არ გვესმის „თევზების ლაპარაკი“. საქმე იმაშია, რომ ჰაერიდან წყალში და წყლიდან ჰაერში გადასვლის დროს ბგერითი ნაკადის ენერგია...“ (უილიამ ბრეგი. ბგერის სამყარო). განაგრძეთ ახსნა და განამტკიცეთ რაოდენობრივი შეფასებებით. ჩათვალეთ, რომ ადამიანის რეაქცია წნევის რხევებზე იწყება დაახლოებით იგივე ამპლიტუდიდან, საიდანაც თევზების.

3.9.26*. სხეული დაკავშირებულია ხისტ იატაკთან k სისტემისა და m მასის დრეკადი ქვესადგამით. განსაზღვრეთ სხეულის მასა, თუ ამ სისტემის გრძივი რხევების პირველი რეზონანსური სიხშირე უდრის ω -ს.

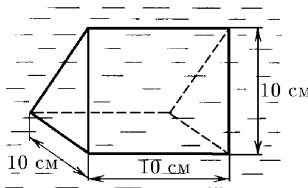
თავი 4

სითხეების მექანიკა

§ 4.1. სითხის წნევა

4.1.1. რა არის სითხის წნევა? მოიფიქრეთ წნევის გაზომვის ხერხი.

◊4.1.2. სითხეში მოთავსებულია მარტკუთხა პრიზმა, რომლის ზომები მოყვანილია სურათზე. იპოვეთ პრიზმის წინა და ქვედა წახნაგზე მოქმედი ძალების ჯამი, თუ სითხის წნევა უდრის $2 \cdot 10^5$ პა. რისი ტოლია პრიზმაზე მოქმედი ძალების ჯამი?

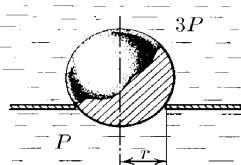


4.1.3*. შეკუმშული სითხის მხრიდან წესიერი ტეტრაედრის სამ წახნაგზე მოქმედი ძალების ტოლქმედია F . ტეტრაედრის წიბოს სიგრძე არის a . განსაზღვრეთ სითხის წნევა.

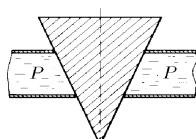
◊4.1.4. მიღწი მოთავსებულია დგუში, რომლის გრძივი კვეთი ნაჩვენებია სურათზე. სითხის წნევა დგუშის ორივე მხრიდან ერთნაირია. იმყოფება თუ არა დგუში წონასწორობაში?



◊4.1.5. ბურთი ფარავს r რადიუსის ნახვრეტს ბრტყელ კედელში, რომელიც ყოფს 3 P და P წნევის მქონე სითხეებს. რა ძალით აწვება ბურთი ნახვრეტს?



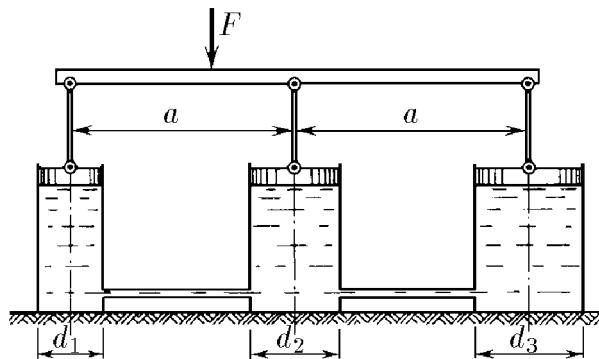
◊4.1.6. კონუსური საცობი ერთდროულად ფარავს ორ ნახვრეტს ბრტყელ ჭურჭელში, რომელიც გავსებულია P სითხის წნევით. ნახვრეტების რადიუსი არის r და R . განსაზღვრეთ სითხის მხრიდან საცობზე მოქმედი ძალა.



4.1.7. R რადიუსის სფერული ბალონი, რომელსაც Δ სისქის კედლები აქვს, გახეთქა P წნევამ. განსაზღვრეთ კედლების მასალის გამძლეობის ზღვარი.

4.1.8*. რატომ სკდება სოსისი მდუღარე წყალში სიგრძივ და არა განივ.

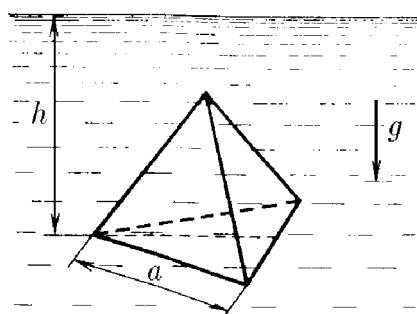
◊4.1.9. წყლით სავსე სამი ზიარი ჭურჭელი დაფარულია დგუშებით. ჰორიზონტალური ჭოხი ვერტიკალურ ღეროებით სახსრულადაა მიმაგრებულია დგუშებზე. რა ადგილას უნდა მოვდოთ ჭოხს F ძალა, რომ ის ჰორიზონტალური დარჩეს? ჭურჭლების დიამეტრი და მათ შორის მანძილები მითითებულია ნახატზე.



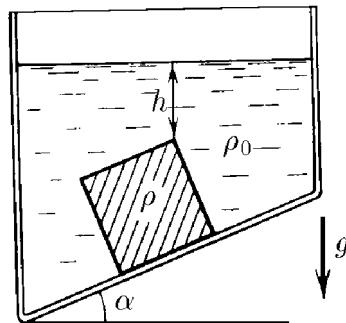
4.1.10. ჰიდრაულიკური წნევი გავსებულია წყლით. მას გააჩნია დგუშები, რომელთა კვეთი არის 100 და $10 \text{ } \text{ს}^2$. დიდ დგუშებები დგება 80 კგ მასის ადამიანი. რა სიმაღლეზე ავა ამის შემდეგ მცირე დგუში?

4.1.11. კუბი, რომლის წიბო არის 20 სმ, მოთავსებულია წყალში. კუბის ქვედა წახნაგი წყლის ზედაპირიდან 1 მ მანძილითაა დაშორებული. რა ძალით მოქმედებს წყალი კუბის ქვედა წახნაგზე? იპოვეთ წყლის მხრიდან სხეულზე მოქმედი ძალების ვექტორული ჯამის მოდული. ატმოსფერული წნევა არის 10^5 პა.

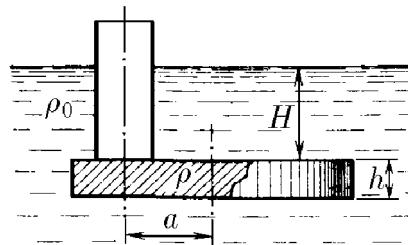
◊4.1.12. a წიბოს მქონე წესიერი ტეტრაედრი მთლიანადაა მოთავსებული P სიმკრივის სითხეში. მისი ქვედა წახნაგი h სიღრმეზე იმყოფება. განსაზღვრეთ სითხის მხრიდან ტეტრაედრის გვერდით წახნაგზე მოქმედი ძალა, თუ ატმოსფერული წნევაა P .



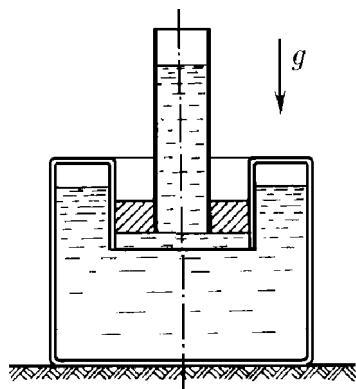
◊4.1.13*. ჭურჭელში, რომლის ფსკერი პორიზონტან α კუთხეს ქმნის, დგას ρ სიმკვრივის მასალისაგან დამზადებული a წიბოს მქონე კუბი. კუბის ზედა წიბო h სიღრმეზე იმყოფება. ჭურჭლის ფსკერსა და კუბის ძირის ქვეშ სითხე არაა. ატმოსფერული წნევაა P , სითხის სიმკვრივე ρ_0 . იპოვეთ ძალა, რომლითაც კუბი მოქმედებს ჭურჭლის ფსკერზე.



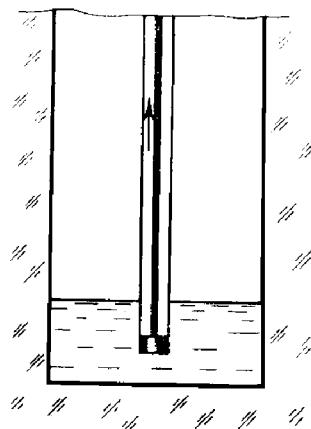
◊4.1.14. r რადიუსის მილი ქვევიდან ლითონის დისკოთი არის დახურული და ჩაშვებულია სითხეში H სიღრმეზე. დისკოს რადიუსი არის R , სიმაღლე - h . დისკოს ღერძი მილის ღერძს a მანძილით სცილდება. სითხის სიმკვრივეა ρ_0 , ლითონის სიმკვრივე ρ . რა სიმაღლემდე უნდა ჩავასხათ სითხე მილში, რომ დისკო მოწყდეს მილს?



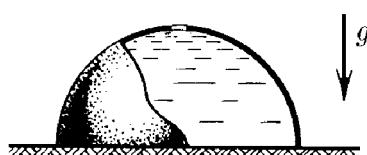
◊4.1.15. წყლით გავსებული ჭურჭლის ზედა ნაწილში არის ცილინდრული ნახვრეტი, რომელიც მოძრავი დგუშით მჯიდროდ არის ჩაკეტილი. დგუში ჩადგმულია ვერტიკალური მილი. დგუშის რადიუსი 10 სმ-ია, მილის რადიუსი 5 სმ, დგუშის მასა მილთან ერთად 20 კგ. განსაზღვრეთ წყლის სვეტის სიმაღლე მილში სისტემის წონასწორობის დროს.



◊4.1.16. დგუში კეტავს ცილინდრულ მილს, რომლის შიდა რადიუსი არის 10 სმ. დგუში დამაგრებულია ვერტიკალური ღერო, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია დგუშის ვერტიკალურად ზევით გადაადგილება. დგუშს უკავია განაპირა ქვედა მდებარეობა და მილთან ერთად ჩაშვებულია 1 მ რადიუსის ცილინდრულ ჭურჭელში $0,5$ მ სიღმეზე. ჭურჭელში წყლის თავდაპირველი დონიდან რა სიმაღლეზე შეიძლება ავნიოთ წყალი მიღწი? ატმოსფერული წნევა არის 10^5 პა.



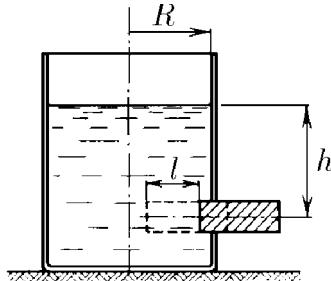
◊4.1.17*. ნახევრად სფერულ ბარში, რომლის კიდეები მქიდროდ ებჯინება მაგიდის ზედაპირს, თავზე გაკეთებული ნახვრეტიდან ასხამენ სითხეს. როდესაც სითხე აღწევს ნახვრეტს, ზარი იწევა და ქვეშიდან წყალი იწყებს გამოდინებას. იპოვეთ ზარის მასა, თუ მისი შიდა რადიუსია R , ხოლო სითხის სიმკვრივეა ρ .



4.1.18. დაამტკიცეთ, რომ სიმძიმის ველში ორ ზიარ ჭურჭელში სითხეს გააჩნია მინიმალური პოტენციალური ენერგია, თუ სითხის დონეები ორივე ჭურჭელში ერთ სიმაღლეზე იმყოფება.

4.1.19*. R რადიუსის ცილინდრული ჭურჭელი ნაწილობრივ ავსებულია

ρ სიმკვრივის სითხით. მის გვერდით კედელში გაკეთებულია ნახვრეტი, რომელიც საცობითაა დაცობილი. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ იმისათვის, რომ საცობი შევწიოთ l სიგრძეზე? საცობს გააჩნის r რადიუსის ცილინდრის ფორმა. ნახვრეტის ცენტრი იმყოფება h სიღრმეზე. ჭურჭელი საკმარისად მაღალია იმისათვის, რომ მისგან სითხე არ გადმოიღვაროს. ხახუნი არ გაითვალისწინოთ.



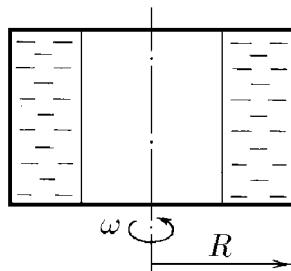
4.1.20*. იპოვეთ წნევა R რადიუსის თხევადი პლანეტის ცენტრიდან r

მანძილზე, თუ სითხეს გააჩნია ρ სიმკვრივე. რას უდრის წნევა პლანეტის ცენტრში? გრავიტაციული მუდმივა არის γ .

4.1.21. სითხით სავსე ჭურჭელში მოთავსებულია აირის ბუშტი. სიმძიმის ველი არ არის. ჭურჭელი იწყებს მოძრაობას მუდმივი აჩქარებით. რა მიმართულებით დაიწყებს მოძრაობას ბუშტი?

4.1.22. ჰორიზონტან როგორი კუთხით მოთავსდება სითხის ზედაპირი ჭურჭელში, რომელიც მისრიალებს დახრილ სიბრტყეზე, თუ ხახუნის კოეფიციენტი უდრის μ ? სიბრტყე ჰორიზონტან ქმნის a კუთხეს.

4.1.23*. R რადიუსის დახურული ცილინდრი თავისი მოცულობის სამ მეოთხედამდე გავსებულია ρ სიმკვრივის სითხით და ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო უწონობაში სითხესთან ერთად ω კუთხური სიჩქარით. როგორაა დამოკიდებული სითხის წნევა ცილინდრის კედლამდე მანძილზე?

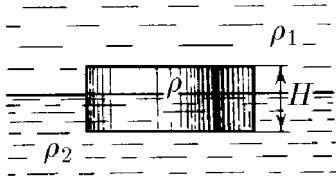


4.1.24. იპოვეთ სითხის ზედაპირის ფორმა ვერტიკალურად განთავსებულ ცილინდრულ ჭიქაში, რომელიც ბრუნავს სითხესთან ერთად თავისი ღერძის გარშემო და კუთხური სიჩქარით.

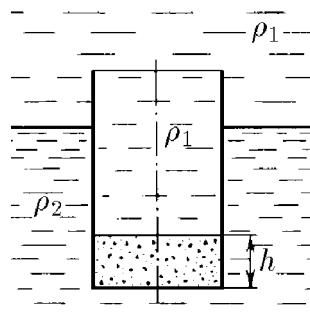
§ 4.2. ცურვა. არქიმედეს კანონი

4.2.1. განსაზღვრეთ სითხის წნევა S კვეთისა და m მასის მცურავი ცილინდრის ქვედა ბედაპირზე, თუ ატმოსფერული წნევაა P_0 .

4.2.2. ρ_1 და ρ_2 სიმკვრივის ორი სითხის გამყოფ საზღვარზე ცურავს ρ სიმკვრივის ცილინდრი ($\rho_1 < \rho < \rho_2$). ცილინდრის სიმაღლა H . განსაზღვრეთ მეორე სითხეში მისი ჩაძირვის სიღრმე.



4.2.3. m მასის თხელკედლებიანი ჭიქა ვერტიკალურად ცურავს ρ_1 და ρ_2 სიმკვრივის ორი სითხის გამყოფ საზღვარზე. განსაზღვრეთ ქვედა სითხეში ჭიქის ჩაძირვის სიღრმე, თუ ჭიქის ფსკერის სისქეა h , განივივეთის ფართობი - S , ხოლო ჭიქა ავსებულია ρ_1 სიმკვრივის სითხით.



4.2.4*. P_0 სიმკვრივის სითხეში ცურავს ρ სიმკვრივის მასალისგან დამზადებული მართკუთხა პარალელიპიპედი. პარალელიპიპედის სიმაღლეა b , სიგანე და სიგრძე კი a . a და b -ს როგორი თანაფარდობის დროს არის პარალელიპიპედის მდებარეობა მდგრადი?

4.2.5. 0,5 მ წიბოს მქონე ხის კუბი დაცურავს ტბაში ისე, რომ მისი მოცულობის ორი მესამედი ჩაძირულია წყალში. რა მინიმალური მუშაობა უნდა შესრულდეს, რომ კუბი სრულად ჩაიძიროს წყალში.

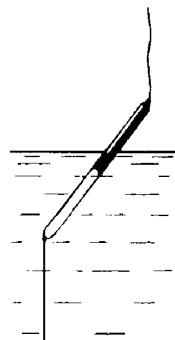
4.2.6. რკინის ნატეხი წყალში $9,8 \text{ } \delta$ იწონის. განსაზღვრეთ მისი მოცულობა. რკინის სიმკვრივე არის $7,8 \cdot 10^3 \text{ } \text{კგ/მ}^3$.

4.2.7. სხეული სამჟერ ნაკლებს იწონის წყალში, ვიდრე ჰაერში. რისი ტოლია სხეულის სიმკვრივე?

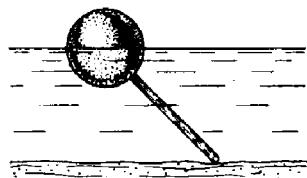
4.2.8. სასწორის მხრებზე ჩამოკიდებულია ერთნაირი მასის ორი ტვირთი. თუ ერთ-ერთ ტვირთს მოვათავსებთ ρ_1 სიმკვრივის სითხეში, ხოლო მეორეს ρ_2 სიმკვრივის სითხეში, წონასწორობა შენარჩუნდება. იპოვეთ ტვირთების სიმკვრივეთა შეფარდება.

4.2.9*. d_1 და d_2 დიმეტრის მქონე ზიარ ჭურჭლებში ჩასხმულია ρ სიმკვრივის სითხე. რამდენით მოიმატებს სითხის დონე ჭურჭელში, თუ ერთ-ერთ ჭურჭელში ჩავდებთ m მასის სხეულს, რომლის სიმკვრივე ρ -ზე ნაკლებია.

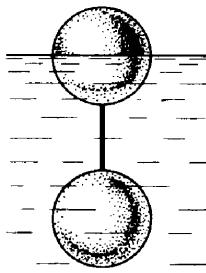
◊4.2.10. განსაზღვრეთ სურათზე გამოსახულ ტივტივაზე ქვემოდან მობმული ძიის დაჭიმულობის ძალა, თუ ტივტივა თავისი სიგრძის ორ მესამადზეა ჩაშვებული წყალში. ტივტივას მასაა 2 გ.



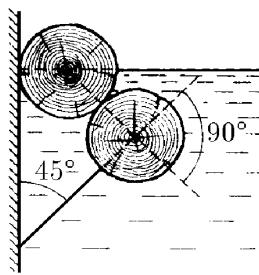
◊4.2.11. რა ძალით აწვება მძიმე ჭოხი წყალსატევის ფსკერს, თუ r რადიუსის ღრუ ბურთულა, რომელიც ხისტად უერთდება ჭოხს, ნახავრად არის ჩაძირული სითხეში. სითხის სიმკვრივე არის ρ , ჭოხის სიგრძე - l .



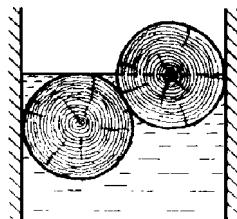
◊4.2.12. თითოეული $10 \text{ } \text{ს} \delta^3$ მოცულობის ორი ბურთულა გადაბმულია ძაფით. განსაზღვრეთ ძაფის დაჭიმულობის ძალა, თუ ზედა ბურთულა წყალში ნახევრად ჩაძირული ტივტივებს. ქვედა ბურთულა ზედაზე სამჟერ უფრო მძიმეა.



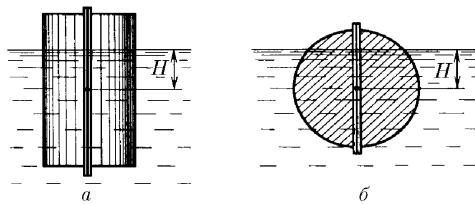
◊4.2.13. ორი ერთნაირი მორი წყალში ისეა მოთავსებული, როგორც ეს ნახატები ნაჩვენები. ქვედა მორი ტროსით მიბმულია ვერტიკალურ კედელზე, რომელიც ტროსთან 45° -იან კუთხეს ადგენს. ზედა მორი წყალში ნახავრადაა ჩაძირული. იპოვეთ მორების სიმკვრივე.



◊4.2.14. განსაზღვრეთ m მასის მორების წნევის ძალა არხის კედლებზე. ზედა მორი ნახევრამდე ჩაშვებულია წყალში, ხოლო ქვედა მორი ზედა ნაწილით ეხება წყლის ზედაპირს. მორები ერთნაირია.

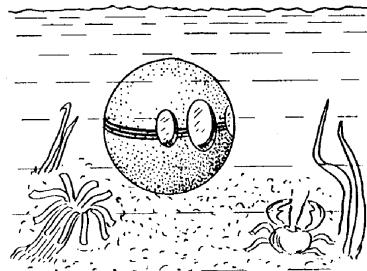


◊4.2.15*. როგორაა დამოკიდებული ძალა, რომლითაც მცურავი ბატისკაფის ორი ერთნაირი ნახევარცილინდრი იკრავს ერთმანეთს, ბატისკაფის ჩაძირვის H სიღრმეზე, თუ ის დაცურავს სითხის ზედაპირზე ისე, როგორც ნაჩვენებია ა და ბ ნახატებზე. ბატისკაფის რადიუსი არის R , სიგრძე L , სითხის სიმკვრივე ρ .

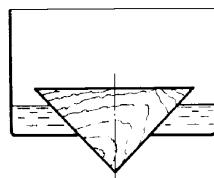


◊4.2.16*. დაამტკიცეთ, რომ ძალა, რომლითაც მცურავი სფერული ბატისკაფის ნახევარს ფეროები ეკვრის ერთმანეთს, არაა დამოკიდებული ბატისკაფის

ნახევარსფეროების შეხების სიბრტყის დახრებე, თუ ის მთლიანად არის ჩაშვებული წყალში.

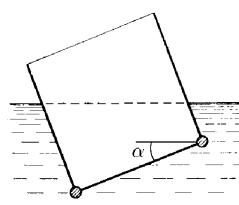


◊4.2.17. 10 სმ სიმაღლისა და წვეროსთან 90° კუთხის მქონე კონუსურმა საცობმა გადაკეტა 5 სმ რადიუსის მქონე ნახვრეტი ჭურქელში. რისი ტოლი უნდა იყოს ამ საცობის მასა, რომ ჭურქელში წყლის დონის შეცვლასთან ერთად ის არ ამოტივტივდეს?

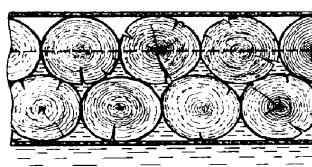


4.2.18*. ამოხსენით 4.2.17 ამოცანა, თუ r რადიუსის ნახვრეტი გადაკეტილია R რადიუსის ბურთით, ხოლო სითხის სიმკვრივე უდრის ρ .

◊4.2.19*. კუბური ყუთი ნახევრადაა ჩაშვებული სითხეში. მისი დახრილობა α -ს ტოლია. განსაზღვრეთ ყუთის თითოეული მოპირდაპირე წიბოს მასა. ყუთის დანარჩენი ნაწილების მასა არ გაითვალისწინოთ. სითხის სიმკვრივე არის ρ , ყუთის წიბოთა სიგრძე - a .

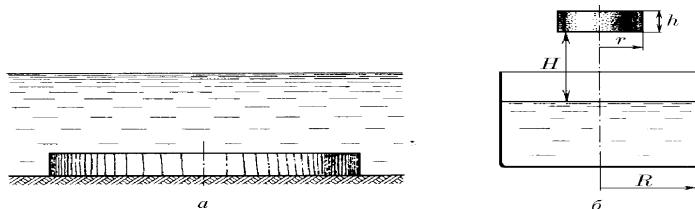


◊4.2.20*. ფართო ტივი შეკრულია ორი ბაგირით და შედგება მორების ორი წყებისგან. განსაზღვრეთ ბაგირების დაჭიმულობის მინიმალური ძალა. თითოეული მორის მასაა m . მორების ზედა წყება წყალში ნახევრადაა ჩაძირული.

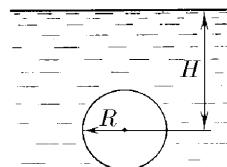


◊4.2.21. ა. წყალსაცავში 1 მ სიღრმიდან ამოტივტივდა 1 მ რადიუსისა და 0,2 მ სიმაღლის ხის ცილინდრი. ხის სიმკვრივეა $0,8 \cdot 10^3 \text{ კგ/მ}^3$. სითბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა წყლისა და ცილინდრის მოძრაობის დამთავრების მომენტისათვის?

◊ ბ*. R რადიუსის წყლიან ცილინდრში H სიმაღლიდან უსაწყისო სიჩქარით ვარდება r რადიუსისა და h სიმაღლის საცობი. სითბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა სითხისა და საცობის მოძრაობის დამთავრების მომენტისათვის? საცობის სიმკვრივეა ρ , სითხის სიმკვრივე $\rho_0 > \rho$.



◊4.2.22. სითბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა წყალსატევში $H=10$ მ სიღრმიდან $R=0,1$ მ რადიუსის ჰაერის ბუშტის ამოტივტივებისას?



4.2.23. რა მინიმალური მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ზღვის ფსკერიდან ხომალდებე ავწიოთ 2 მ რადიუსისა და 35 ტ მასის ბატისფერო? ზღვის სიღრმე არის 100 მ, ხომალდის გვერდის სიმაღლე არის 3 მ, ზღვის წყლის სიმკვრივე $1,02 \text{ კგ/მ}^3$.

4.2.24*. R რადიუსის ცილინდრული კოსმოსური ხომალდი ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო ω კუთხური სიჩქარით. ხომალდის აუზის სიღრმე არის H , ხოლო აუზის ფსკერს წარმოადგენს ხომალდის გვერდითა კედელი.

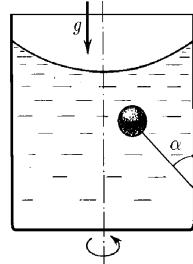
ა. შეძლებს თუ არა კოსმონავტი ამ აუზში ცურვას? აღწერეთ კოსმოსური აუზის თავისებურებები. განსაზღვრეთ აუზში მცურავი $l < H$ სიგრძის ჭოხის სიმკვრივე, თუ წყლიდან მოსჩანს Δ სიგრძის მისი ზედა ნაწილი.

ბ. აუზში შეიძლება დავაკვირდეთ შემდეგ საინტერესო მოვლენას: ძაფით შეკრული სხვადასხვა სიმკვრივის ორი ბურთი „სიღრმის“ მიხედვით მოძრაობებს ან თავისუფალი ზედაპირისკენ, ან კოსმოსური ხომალდის კედლისკენ, თუ ერთი ბურთის სიმკვრივე მეტია, ხოლო მეორესი ნაკლებია წყლის სიმკვრივეზე. ახსენით ეს მოვლენა.

4.2.25*. R რადიუსის ცილინდრული ჭურჭელი ρ სიმკვრივის წყლით ნაწილობრივადაა ავსებული და ბრუნავს ω კუთხური სიჩქარით თავისი ღერძის

გარშემო. ჭურჭელში მოთავსებულია r რადიუსისა და 2ρ სიმკრივის ბურთულა. იპოვეთ ძალა, რომლითაც ბურთულა აწვება ჭურჭლის გვერდითა კედელს.

◊4.2.26. R რადიუსის ვერტიკალური ცილინდრული ჭურჭელი ნაწილობრივადაა ავსებული სითხით და სითხესთან ერთად ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო. ჭურჭლის გვერდითა კედელთან l სიგრძის ძაფით მიბმულია r რადიუსის ჰაერის ბუშტი; ბრუნვის დროს ძაფი კედელთან β მნის α კუთხეს. განსაზღვრეთ ჭურჭლის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე.



4.2.27. სითხის მოლეკულა შედგება ერთმანეთთან სუსტად ბმული ატომების ჯგუფისაგან. ამ ჯგუფების მოცულობა ერთნაირია, მათი მასები m_1 და m_2 ტოლია.

R რადიუსის ცენტრითუგაში ω -ზე მეტი კუთხური სიჩქარით ბრუნვისას მოლეკულაბი დაშლას იწყებენ. შეაფასეთ ატომთა ჯგუფების კავშირის ძალა მოლეკულაში.

§ 4.3. იდეალური სითხის მოძრაობა

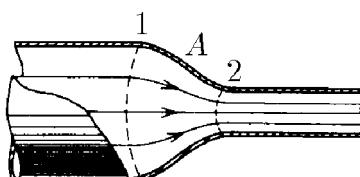
4.3.1. ქალაქის სატუმბი სადგური წყალსადენში პირველი სართულის დონეზე ინარჩუნებს 5 ატმ წნევას. განსაზღვრეთ ონკანიდან გამოდინებული წყლის ჭავლის სიჩქარე პირველ, მეორე და მესამე სართულებზე, თუ ყოველი მომდევნო სართულის ონკანი განლაგებულია 4 მ-ით მაღლა, ვიდრე წინა. რომელ სართულზე ვერ ავა წყალი? ხასენი სითხის დინების დროს არ გაითვალისწინოთ.

4.3.2. წყლიანი ჭურჭელი ჩამოკიდებულია ჭურზე. წყლის სიმაღლე ჭურჭელში არის h . რამდენით შეიცვლება საკიდელის დაჭიმულობის ძალა, თუ ჭურჭლის ფსკერზე გავაკეთებთ პატარა ნახვრეტს, საიდანაც გამოდინებას დაიწყებს S კვეთის ჭავლი? წყლის სიმკვრივე არის ρ .

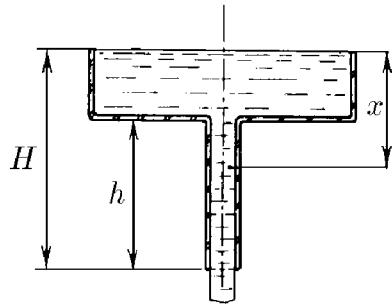
4.3.3. ტუმბომ მუდმივი S კვეთის მიღით h სიმაღლეზე ყოველწამს უნდა მიაწოდოს V მოცულობის წყალი. როგორი უნდა იყოს ტუმბოს სიმძლავრე? წყლის სიმკვრივე არის ρ .

◊4.3.4. ა. სითხის სტაციონარული ნაკადი მიედინება ცვლადი კვეთის მიღში და აწვება მიღის უბანს 1 და 2 კვეთებს შორის, რომელიც ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად საპირისპირო მიმართულებით აწვება სითხეს. მაშასადამე, ძალა, რომელიც ამ უბნის მხრიდან მოქმედებს სითხეზე, მიმართულია სითხის მოძრაობის წინააღმდეგ. რატომაა, რომ 2 კვეთიდან მარჯვენა უბანში სითხეს გააჩნია უფრო დიდი სიჩქარე, ვიდრე 1 კვეთიდან მარცხენა უბანში?

ბ. რისი ტოლია მიღის A უბნის მხრიდან ძალა სითხეზე მოქმედი ძალა? 1 და 2 კვეთების ფართობები შესაბამისად თოლია S_1 და S_2 . სითხის სიმკვრივე არის ρ . 2 კვეთიდან მარჯვენა უბანში სითხის სიჩქარე უდრის v , ხოლო მასში წნევა ნულის ტოლია.



◊4.3.5. ფართო ჭურჭლიდან მის ფსკერზე განთავსებული ვიწრო ცილინდრული მიღით გამოიდინება P სიმკვრივის სითხე. როგორ არის განაწილებული ვერტიკალის მიხედვით სითხის წნევა და სიჩქარე ჭურჭელში და მიღში? პარის წნევა არის P_0 .



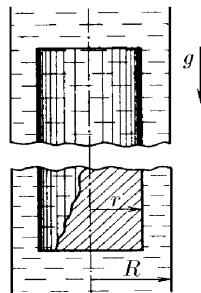
4.3.6. მართი კუთხით მოხრილ მილში, რომლის განივევეთი არის S , v სიჩქარით მიღიდინება ρ სიმკრივის სითხე. რა ძალით მოქმედებს სითხე მილზე, თუ სითხის წნევა მილის გასასვლელში არის P ? სიმძიმის ძალა არ გაითვალისწინოთ.

4.3.7. ტუმბო წარმოადგენს S ფართობის დგუშის მქონე პორიტონტალურად მოთავსებულ ცილინდრს, რომლის ღერძზე გაკეთებულია s ფართობის გამოსავალი ნახვრეტი. განსაზღვრეთ ტუმბოდან სითხის ჭავლის გამოდინების სიჩქარე, თუ დგუში F ძალის მოქმედებით მუდმივი სიჩქარით გადაადგილდება. სითხის სიმკრივეა ρ .

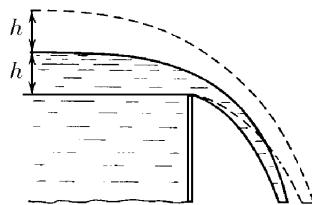
4.3.8. გრძელი დახრილი სიბრტყით წყალი ფართო ნაკადით ჩამოედინება. დინების გასწვრივ l მანძილზე ნაკადის სიღრმე ორჯერ მცირდება. რა მანძილზე შემცირდება ნაკადის სიღრმე ოთხჯერ?

4.3.9. m მასის ფილას აკავებენ ადგილზე პორიტონტალურ მდგომარეობაში ρ სიმკრივის სითხის N ჭავლი, რომლებიც ვერტიკალურად ზევით არიან მიმართულნი. თითოეული ნახვრეტის ფართობი არის S . სითხის სიჩქარე ნახვრეტების გასასვლელში არის v . ნახვრეტების თავზე რა სიმაღლეზე იკავებენ ჭავლები ფილას? როდესაც სითხე აღწევს ფილას, მისი შეფეხი განედინება პორიტონტალურ სიბრტყეში.

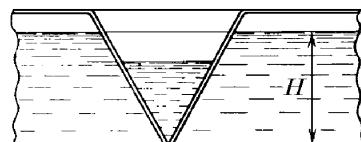
4.3.10*. R რადიუსის ვერტიკალური მაღალი ცილინდრული ჭურჭელი გავსებულია ρ_0 სიმკრივის სითხით. რა აჩქარებით იმოძრავებს ρ სიმკრივისა და r რადიუსის გრძელი ცილინდრული სხეული ამ ჭურჭლის ღერძის გასწვრივ? რას უდრის წნევათა სხვაობა სხეულის ზედა და ქვედა ფუძეში, თუ მისი სიგრძე უდრის h ?



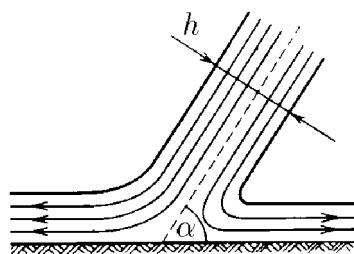
◊4.3.11*. რამდენჯერ გაიზრდება წყლის გადაგდება ფართო კაშხლით, თუ წყლის დონის სიმაღლე ნაპირის თავზე იზრდება ორჯერ?



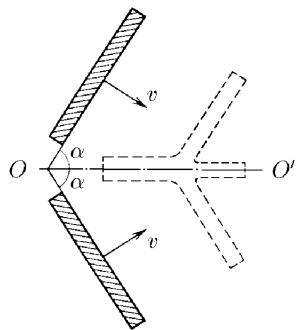
◊4.3.12*. წყალი გამოედინება ფართო ჭურჭლიდან მის კედელში გაკეთებულ სამკუთხა ამონაჭერით. რამდენჯერ შემცირდება წყლის დონის დაწევის სიჩქარე მისი დონის ცვლილებისას H -დან h -მდე?



◊4.3.13. h სისქის სითხის ფართო ჭავლი v სიჩქარით და α კუთხით ეცემა სიბრტყეზე. როგორ ჭავლებად იშლება დაცემული ჭავლი?

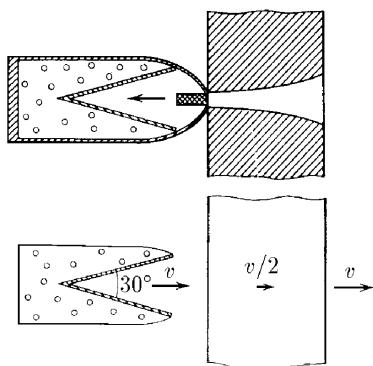


◊4.3.14*. ლითონის ორი ფართო ფირფიტა ერთმანეთის მიმართ 2α კუთხითაა განლაგებული და მოძრაობენ v სიჩქარით თავიანთი ზედაპირების მართობულად. იპოვეთ ფირფიტების დაჯახებისას გაჩენილი ჭავლების სიჩქარე. განიხილეთ ლითონის მოძრაობა როგორც იდეალური სითხის მოძრაობა.

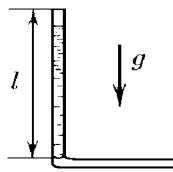


4.3.15*. R და r რადიუსის ორი ჭავლი მოძრაობს ერთნაირი სიჩქარით ერთმანეთის შესახვედრად. განსაზღვრეთ შეჯახების შემდეგ გაჩენილი სტაციონარული ჭავლის ფორმა.

◊**4.3.16*....** 1941 წელს გარმანელებმა გამოიგონეს კუმულაციური ტანკსანიააღმდეგო ჭურვი. ჭურვის კონუსზე არის ამნთები. დარტყმის დროს ის იწვევს დეტონაციას და აალებს მთელ მუხტს. ჭურვი გადის მთელ ჰავშანში. 1944 წელს ასეთი გერმანული ჭურვები აღმოჩნდა რუსებისა და მათი მოგავშირების ხელში. დაიწყო ფართო ექსპერიმენტი. ამ დროს აღმოჩინეს ბევრი დამატებითი ეფექტები და პარადოქსები. დაიწყეს გამორკვევა იმისა, თუ რა მიფრინავს და რა ხვრებს? თავდაპირველად ფიქრობდნენ, რომ ეს არის ჰავშანგამწვავი ჭურვი, რომ ჰავშანს ხვრებს ცხელი აირის ჭავლი. მაგრამ, არა, აღმოჩნდა, რომ მიფრინავს ლითონი სრულად აუხსნელი ხერხით: ფილას წინ 8 კმ/წმ სიჩქარით, ფილას შიგნით 4 კმ/წმ, ფილას უკან ისევე 8 კმ/წმ სიჩქარით” (1971 წ. აკად. მ. ა. ლავრენტიევის ფიზიკა-მათემატიკური სკოლის მოსწავლეების წინაშე წარმოთქმული შესავალი სიტყვიდან). ახსენით ეს მოვლენა. განსაზღვრეთ რა სიჩქარით მოძრაობდა ჭურვის ჩამკეტი ლითონის კონუსური ღრუს კედელი, თუ კუთხე ღრუს წვეროსთან უდრის 30° .



◊**4.3.17*. საწყის მომენტში სითხე ავსებს წვრილი L-ის მაგვარი მილის l სიგრძის ვერტიკალურ ნაწილს. სითხის სიმკვრივეა ρ . იპოვეთ სითხის დონის სიმაღლის დროზე დამოკიდებულება. განსაზღვრეთ წნევის განაწილება მომენტში, როცა სითხის სვეტის სიმაღლე განახევრდება.**



4.3.18*. მაღალი ჭურჭლის ფსკერზე გაკეთებული ნახვრეტიდან გამოედინება წყალი. ჭურჭლის კვეთი არის S , ჭავლის კვეთი - s . წყლის დონე ჭურჭელში გადაადგილდება მუდმივი აჩქარებით. იპოვეთ ეს აჩქარება.

4.3.19. დგუშიან ცილინდრში მოთავსებულია წყალი, რომლის შიგნით საწყის მომენტში არსებობს V მოცულობის სიღრუუ. დგუში მოქმედებს წყალზე მუდმივი P წნევით. რა ენერგიას იძენს წყალი სიღრუის გაქრობის მომენტში?

4.3.20*. ρ სიმკვრივის სითხეში წარმოიშვა R რადიუსის სფერული სიღრუუ. წნევა სითხეში არის P . განსაზღვრეთ სიღრუის საზღვრების სიჩქარე მისი რადიუსის r მნიშვნელობამდე შემცირების მომენტში.

4.3.21*. შეაფასეთ, კატარლის ხრახნის ნაპირის რა სიჩქარის დროს წარმოიშვება წყალში სიღრუუ.

§ 4.4. ბლანტი სითხის დინება

4.4.1. სივრცე ორ პარარელურ სიბრტყეს შორის შევსებულია η სიბლანტის სითხით. ერთერთი სიბრტყე მოძრაობს v_0 სიჩქარით, მეორე კი უძრავია. იპოვეთ სითხის სიჩქარის განაწილება სიბრტყეებს შორის და ბლანტი ხახუნის ძალა, რომელიც მოქმედებს თითოეული სიბრტყის ფართობის ერთეულზე. მანძილი სიბრტყეებს შორის არის h .

4.4.2. იპოვეთ სითხის სიჩქარის განაწილება ორ სიბრტყეს შორის მისი დამყარებული დინების დროს. მანძილი სიბრტყეებს შორის არის h , სითხის სიბლანტეა η . იპოვეთ სითხის ხარჯი ნაკადის სიგანის ერთეულზე, თუ წნევის სხვაობა ნაკადის სიგრძის ერთეულზე (სითხის მოძრაობის მიმართულებით) არის P .

4.4.3*. ა. სითხე ჩაედინება ჰორიზონტისადმი α კუთხით დახრილი სიბრტყეზე. განსაზღვრეთ სითხის ხარჯი ნაკადის სიგანის ერთეულზე. სითხის სიბლანტე და სიმკვრივე შესაბამისად უდრის η და P . ნაკადის სისქეა h .

ბ. შეაფასეთ 2 მ სიღრმის არხის კალაპოტის დახრილობა. წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე მასში უდრის 1 მ/წმ. წყლის სიბლანტე უდრის $10^{-3} H \cdot \beta \theta / \partial^2$.

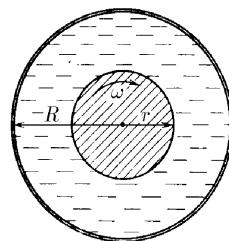
4.4.4*. განსაზღვრეთ m მასისა და R რადიუსის შაბის მოძრაობის დამყარებული სიჩქარე დახრილ სიბრტყეზე, რომელიც ჰორიზონტთან α კუთხეს ქმნის. განიხილეთ შემთხვევა, როცა საყელურსა და სიბრტყეს შორის გვაქვს Δ სისქისა და η სიბლანტის საპოხის ფენა.

4.4.5. სითხის გადატუმბვა ერთი ჭურჭლიდან მეორეში მიმდინარეობს R რადიუსისა და l სიგრძის გრძელი მილის მეშვეობით. წნევის სხვაობა მილის ბოლოებში არის P , სითხის სიბლანტე არის η . განსაზღვრეთ, როგორაა დამოკიდებული მანძილზე მილის კედლამდე ა) სითხის სიჩქარის გრადიენტი; ბ*) სითხის სიჩქარე. განსაზღვრეთ ამ მილში დროის ერთეულში გასული სითხის მოცულობა.

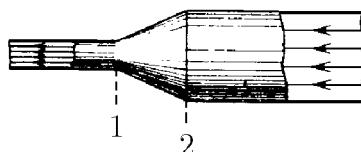
4.4.6. ბლანტი სითხით ავსებულ ვერტიკალურად მოთავსებული წვრილი მილიდან სითხის ნახევარი გამოვიდა T დროში. რა დროის შემდეგ გამოვა სითხის დარჩენილი ნაწილი?

4.4.7*. l სიგრძისა და d დიამეტრის წვრილი ცილინდრული მილი გავსებულია ρ სიმკვრივისა და η სიბლანტის სითხით. განსაზღვრეთ მილიდან სითხის გადინების დრო, თუ მისი ღერძი ჰორიზონტან α კუთხითაა დახრილი.

4.4.8. სივრცე საკუთარი ღერძის ირგვლის მბრუნავი r რადიუსის ლილვსა და მასთან თანალერძელი R რადიუსის უძრავ მილს შორის გავსებულია η სიბლანტის სითხით. ლილვის სიგრძის ერთეულზე მოქმედი ძალთა მომენტი უდრის M . განსაზღვრეთ, როგორ არის დამოკიდებული ლილვის ღერძამდე მანძილზე: ა) სითხის კუთხური სიჩქარის გრადიენტი და ბ*) სითხის კუთხური სიჩქარე, და აგრეთვე განსაზღვრეთ ლილვის კუთხური სიჩქარე.



4.4.9. ცვლადი კვეთის მილში ინარჩუნებენ ბლანტი სითხის სტაციონალურ დინებას. 1 და 2 კვეთებში სიჩქარეები შეიძლება ჩავთვალოთ მუდმივად. 1 და 2 კვეთების ფართობები ტოლია შესაბამისად S_1 და S_2 , ხოლო სითხის წნევა მათში შესაბამისად არის P_1 და P_2 . სითხის დინების სიჩქარე 1 კვეთში უდრის v_1 . იპოვეთ ძალა, რომლითაც სითხე მოქმედებს მილის უბანზე 1 და 2 კვეთებს შორის.



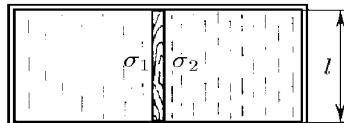
§ 4.5. სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა

4.5.1. რას ეწოდება ზედაპირული დაჭიმულობა? მოიყვანეთ ზედაპირული დაჭიმულობის ძალების გამოვლინების მაგალითები.

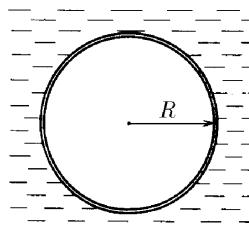
4.5.2. რატომ ხდება, რომ კოსმოსური ხომალდის კაბინაში ჰაერში „დაკიდებულ“ წყალს სფეროს ფორმა აქვს? რაც უფრო პატარაა ვერცხლის წყლის წვეთები იატაკზე, მით უფრო ემსგავსება ფორმით სფეროს. რატომ?

4.5.3. შეაფასეთ წყლის იმ წვეთების მაქსიმალური ზომა, რომელთაც შეუძლია ჭერზე ჩამოკიდება. წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა არის $0,073 \text{ } \text{H}_2\text{O}$.

◊4.5.4. ორი სითხის აფსკები გაყოფილია l სიგრძის თამასით. სითხეთა ზედაპირული დაჭიმულობა ტოლია შესაბამისად σ_1 და σ_2 . რა ძალა მოქმედებს თამასაზე სითხეების მხრიდან?



◊4.5.5. იპოვეთ სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა, თუ l სიგრძისა და k სიხისტის რეზინის ძაფის მარყუჟი, რომელიც დადებულია ამ სითხის აფსკზე, გაიჭიმა R რადიუსის წრენირზე, მას შემდეგ რაც მარყუჟის შიგნით აფსკი გახვრიტეს.



4.5.6. ა. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ V მოცულობის სითხე, რომლის ზედაპირული დაჭიმულობა არის σ , გავჭიმოთ $\Delta \ll \sqrt[3]{V}$ სისქის აფსკამდე?

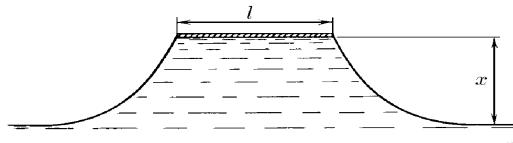
ბ*. შეაფასეთ, 1 გ ვერცხლის წყლის აფსკამდე დაჭიმვისთვის საჭირო მუშაობა რამდენჯერ არის ნაკლები ვერცხლის წყლის ორთლწარმოქმნის კუთრ სითბოზე, რომელიც 290 კ/გ ტოლია. აფსკის სისქე უახლოვდება ვერცხლის წყლის ატომის დიამეტრს. ვერცხლის წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა და სიმკვრივე $0,465 \text{ H}_2\text{O}$ და $13,6 \text{ g/ cm}^3$.

4.5.7. პარაპინ წასმული რკინის კუბურა დაცურავს წყალში ისე, რომ მისი ზედა წახნაგი წყლის დონეზე იმყოფება. წყალი არ ასველებს პარაფინს. იპოვეთ კუბურას წიბოს სიგრძე.

4.5.8. სითხის ზედაპირზე დაცურავს h სიღმეზე ჩაძირული r რადიუსისა და $2h$ სიმაღლის საყელური, რომელსაც წყალი არ ასველებს. წყლისა და საყელურის სიმკვრივე უდრის ρ . სითხის ზედაპირი საყელურის გვერდების ზედაპირს ეხება. განსაზღვრეთ სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა.

4.5.9. შეაფასეთ, როგორი უნდა იყოს თავისუფალი ვარდნის აჩქარება პლანეტაზე, რომ ადამიანმა შეძლოს მასზე ფეხსაცმელჩაცმული იაროს წყალზე ისე, რომ წყალმა ფეხსაცმლის ძირები არ დაუსველოს.

◊4.5.10*. ¹ სიგანის გრძელი ფირფიტა სითხის ზედაპირს შეხებამდე მიიყვანეს. შემდეგ ფირფიტა აწიეს. როგორ არის დამოკიდებული ფირფიტის სიგრძის ერთეულზე მოქმედი ძალა მისი აწევის ^x სიმაღლეზე? სითხის სიმკვრივე არის ρ , ზედაპირული დაჭიმულობა არის σ . ფირფიტის სიგრძის ერთეულის მასა არის m .

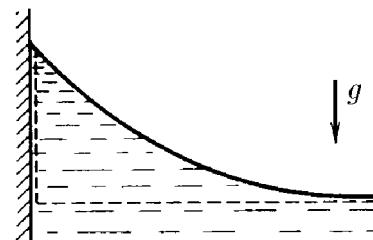


4.5.11. დიდი და თხელი ფირფიტა არ იძირება, თუ მას ფრთხილად დავდებთ წყლის ზედაპირზე. განსაზღვრეთ მისი ფართობის ერთეულის მაქსიმალური მასა. წყალი ფირფიტას არ ასველებს.

◊4.5.12. ა. ნახატზე წყვეტილი ხაზით გამოყოფილ წყლის მოცულობაზე მოქმედი ძალთა ჭამი წყლის ტოლია. ამის გამოყენებით განსაზღვრეთ სიმაღლე, რომელზეც სითხე ადის ვერტიკალური კედლით. კიდური კუთხე არის θ .

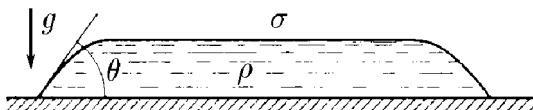
ზედაპირული დაჭიმულობა და წყლის სიმკვრივე არის σ და ρ .

ბ. რა სიმაღლეზე ადის წყალი ვერტიკალური კედლით, რომელსაც ის მთლიანად ასველებს?



◊4.5.13. ა. განსაზღვრეთ პორიტონტალურ სიბრტყეზე დაღვრილი სითხის ფენის სისქე. კიდურა კუთხე არის θ , წყლის სიმკვრივე - ρ , ზედაპირული დაჭიმულობა - σ .

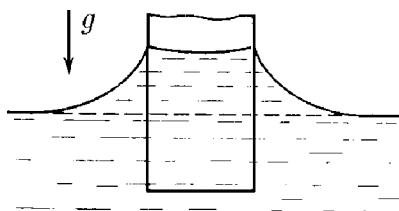
ბ. განსაზღვრეთ პარაფინით დაფარულ პორიტონტალურ სიბრტყეზე დაღვრილი წყლის ფენის სისქე.



4.5.14*. а. სითხის დიდი უბანი ზეთის ფენით არის დაფარული. სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა და სიმკვრივე არის σ_s და ρ_s , ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობა და სიმკვრივე - σ_θ და ρ_θ , სითხე – ზეთის საზღვრის ზედაპირული დაჭიმულობა - $\sigma_{s\theta}$. განსაზღვრეთ ზეთის ფენის სისქე.

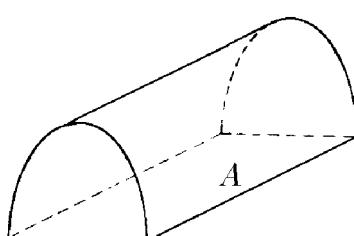
ბ. 1977 წ. „არგო-მერჩენტი“, 28691 ტ წყალწყვის მქონე ტანკერი, რიცს წამოეგო; ტანკერის ტანი ორ ნაწილად დაიშალა და ზღვაში ნავთობის მთელი ტვირთი დაიღვარა. ნავთობის შავი ლაქები ათასობით კვადრატულ მეტრზე გაიდღაბნა. განსაზღვრეთ ამ ლაქების საერთო ფართობი. ნავთობის ზედაპირული დაჭიმულობა არის $0,03 \text{ } \text{m}^3 / \text{t}$, ნავთობის სიმკვრივე არის $0,8 \cdot 10^3 \text{ } \text{kg/m}^3$, ნავთობი წყლით არ სველდება. ნავთობის მასა ჩათვალეთ ტანკერის $0,8 \text{ } \text{m}^3$ წყალწყვის ტოლი.

◊4.5.15*. დაამტკიცეთ, რომ სითხის მოცულობა, რომელიც აიწევა მის საერთო დონეზე მაღლა (ნახატზე ეს მოცულობა გამოყოფილია წყვეტილი ხაზით) დამოკიდებულია მხოლოდ სითხეში ჩაძირული ჭოხის განივი კვეთის პერიმეტრზე და არაა დამოკიდებული ამ კვეთის ფორმაზე.

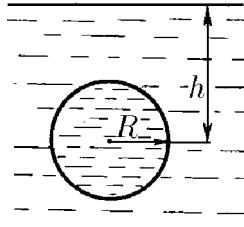


◊4.5.16. а. დაამტკიცეთ, რომ სითხის წნევა R რადიუსის ცილინდრული ზედაპირის შიგნით უდრის σ/R (σ არის სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა). დასამტკიცებლად გამოიყენეთ A სიბრტყის თავზე განთავსებული სითხის მოცულობის წონასწორობის პირობა.

ბ. დაამტკიცეთ, რომ სითხის წნევა R რადიუსის სფერული ზედაპირის შიგნით არის $2\sigma/R$.



◊4.5.17. იპოვეთ სითხეში მცურავი სფერული წვეთის შიგნით მინიმალური და მაქსიმალური წნევები. წვეთის ცენტრიდან სითხის ზედაპირამდე მანძილია h , წვეთის რადიუსი - R , სითხეების სიმკვრივე - ρ , სითხეების გამყოფ ზედაპირთან ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი - σ .



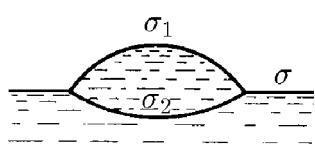
4.5.18. სითხე ასველებს ვერტიკალურ კედელს (იხ. 4.5.12 ამოცანის სურათი). როგორაა დამოკიდებული სითხის ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი x სიმაღლეზე, რომელზეც აიწევს სითხე თავის დონეზე მაღლა? სითხის სიმკვრივეა ρ , ზედაპირული დაჭიმულობა - σ .

4.5.19. საპნის ბუშტის გარე რადიუსი R -ის ტოლია, ხოლო მისი კედლის სისქეა h . იპოვეთ ჰაერის წნევა ბუშტის შიგნით. ჰაერის წნევა ბუშტის გარეთ უდრის P_0 -ს, წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა არის σ .

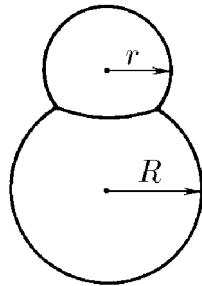
4.5.20. შეაფასეთ, რამდენი წყალი შეიძლება წაიღოთ ცხაურით. ცხაურის და მისი ერთი უჯრის ფართობი შესაბამისად არის $0,1 \text{ } \partial^2$ და $1 \text{ } \partial \partial^2$. ცხაური წყლით არ სველდება.

4.5.21*. ორი მსუბუქი სხეული დაცურავს წყლის ზედაპირზე და იზიდავს ერთმანეთს. ორივე სველდება ან არცერთი არ სველდება წყლით. თუ ერთს წყალი დაასველებს, ხოლო მეორეს არა, მაშინ სახეულები განიზიდებიან. ახსენით ეს მოვლენა.

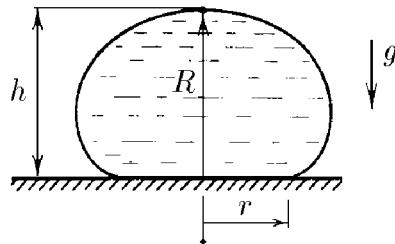
4.5.22*. ცხიმის პატარა წვეთი დაცურავს სითხის ზედაპირზე, რომლის ზედაპირული დაჭიმულობა არის σ . ცხიმის ზედაპირული დაჭიმულობა ჰაერი - სითხის საზღვარზე არის σ_1 , ხოლო ცხიმი - ჰაერის საზღვარზე - σ_2 . განსაზღვრეთ წვეთის სისქე, თუ მისი რადიუსია r .



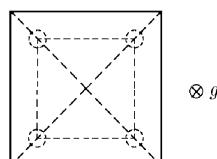
◊4.5.23. R რადიუსის საპნის ბუშტზე „გის“ კიდევ ერთი r რადიუსის საპნის ბუშტი. სიმრუდის რა რადიუსი გააჩნია აფსკს, რომელიც მათ ჰყოფს? რა კუთხეს ქმნიან აფსკები შეხების ადგილებში?



◊4.5.24*. წვეთის სიმრუდის რადიუსი მის გედა წერტილში არის R . რისი ტოლი იქნება წვეთის მასა, თუ მისი სიმაღლეა h , წვეთის პორიზონტალურ სიბრტყესთან შეხების რადიუსი უდრის r ? სითხის სიმკვრივეა ρ , გედაპირული დაჭიმულობა σ , სიბრტყე სითხით არ სველდება.



◊4.5.25. პორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებულ ოთხ ვერცხლისწყლის ბურთულაზე ფრთხილად დებენ კვადრატულ ფირფიტას ისე, როგორც ნაჩვენებია ნახატზე (ხედი გემოდან). ბურთულების რადიუსებია 1 მმ, ფირფიტის მასაა 80 გ, ვერცხლისწყლის გედაპირული დაჭიმულობაა 0,465 ნ/მ. დასველება არაა. პორიზონტალური სიბრტყიდან რა მანძილზე განთავსდება ფირფიტის ქვედა გედაპირი?



4.5.26. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ გედაპირული დაჭიმულობის ძალთა საწინააღმდეგ, რომ 3 მმ რადიუსის ვერცხლისწყლის სფერული წვეთი გავყოთ ორ ერთნაირ წვეთად?

4.5.27*. შეაფასეთ, ონკანიდან რა მანძილზე შემცირდება წყლის ქავლის რადიუსი ერთნახევარჯერ. ონკანიდან გამოსული წყლის სიჩქარეა 0,3 მ/წმ, ქავლის საწყისი რადიუსი 2 მმ-ია.

§ 4.6. კაპილარული მოვლენები

4.6.1. ა. ქსოვილის ზედაპირიდან ცხიმიანი ლაქების მოშორებისათვის რეკომენდირებულია ბენზინით გაჟღენთილი ბამბით დავწამოთ ლაქის კიდეები, და არა თვით ლაქა. რატომ?

ბ. იმისათვის რომ სათხილამურო ფეხსაცმელს უკეთ გაუჭდეს საცხი, როგორ უნდა გავათბოთ ისინი: გარედან თუ შიგნიდან?

4.6.2. R რადიუსის კაპილარი ჩაუშვეს დამასველებელ სითხეში, რომლის

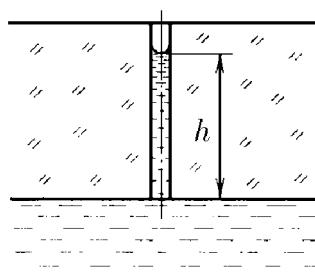
ზედაპირული დაჭიმულობაა σ , სიმკვრივე კი ρ . იპოვეთ კაპილარშისითხის ასვლის სიმაღლე, აგრეთვე ზედაპირული დაჭიმულობის ძალების მუშაობადა კაპილარშისითხის პოტენციალური ენერგია. რატომ არ ემთხვევიან ეს სიდიდეები?

4.6.3. განსაზღვრეთ ხის კაპილარების მაქსიმალური რადიუსი 10 მ სიმაღლეზე. წყალი სრულად ასველებს კაპილარებს.

◊4.6.4*. ა. 4.4.5 ამოცანის შედეგების გამოყენებით იპოვეთ სითხის მოცულობა, რომელიც გაედინებადროის ერთეულში r რადიუსის კაპილარში, თუ კაპილარი შეერთებულია სითხესთან, რომლის ზედაპირი კაპილარში დადგა (აორთქლების გამო) მისი ფუძიდან h მანძილზე. სითხის სიბლანტეა η , ზედაპირული დაჭიმულობა σ , სითხე სრულად ასველებს კაპილარს. სიმძიმის ძალა არ გაითვალისწინოთ.

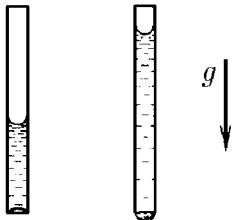
ბ. შეაფასეთ სისხლის მაქსიმალური მოცულობა, რომელიც მიეწოდება ქსოვილებს 1წმ-ში 10 მკმ რადიუსისა და 1 მმ სიგრძის კაპილარებით, რომლებიც სრულადაადასველებული სისხლით, თუ კაპილართა რიცხვია 10^5 , სისხლის სიბლანტეა

$$5 \cdot 10^{-3} \text{ ნ.წმ/მ}^2 \cdot \text{ზედაპირული დაჭიმულობა} - 7 \cdot 10^{-2} \text{ ნ/მ.}$$

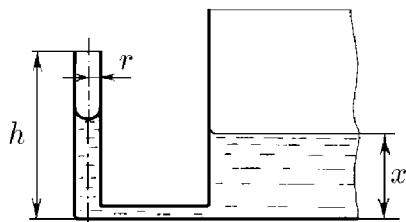


4.6.5. რა ფარდობით ცდომილებას ვუშვებთ ატმოსფერული წნევის გაზომვისას ვერცხლისწყლის სვეტის მიხედვით, თუ გასაზომად გამოიყენება 5 მმ დიამეტრის ბარომეტრის მილი, რომელსაც ვერცხლისწყალი შიგნიდანარ ასველებს? ვერცხლისწყლის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტია $0,465 \text{ ნ/მ}$, სიმკვრივე – $13,6 \text{ გ/ს} \text{ მ}^3$?

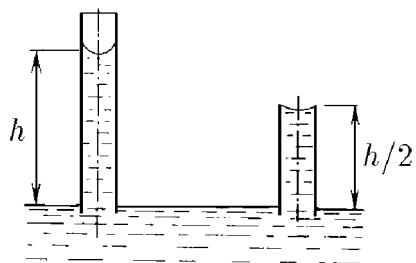
◊ 4.6.6. ვერტიკალურად მოთავსებულ ორ გრძელ ორივე მხრიდან ღია კაპილარში არის 2 და 4 სმ სიგრძის წყლის სვეტები. იპოვეთ თითოეულ კაპილარში ქვედა მენისკის სიმრუდის რადიუსი, თუ მათი შიდა დიამეტრი უდრის 1 მმ, ხოლო დასველება არის სრული.



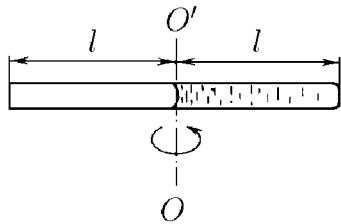
◊ 4.6.7. r რადიუსისა და h სიმაღლის კაპილარი მიღით უერთდება ფართო ჭურჭელს ფსკერის დონეზე. როგორაა დამოკიდებული სითხეების დონეთა სხვაობა ჭურჭელში და კაპილარში ჭურჭელში სითხის დონის x სიმაღლეზე? x - ის რა მნიშვნელობისათვის გადმოიღვრება სითხე კაპილარიდან? სითხის ზედაპირული დაჭიმულობაა σ , მისი სიმკვრივე - ρ . სითხე სრულად ასველებს კაპილარს.



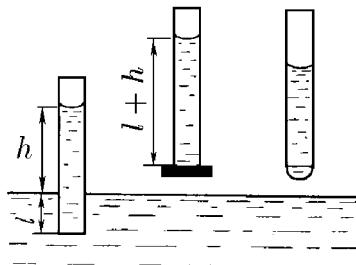
◊ 4.6.8. სითხე გრძელ კაპილარში ადის h სიმარლეზე. განსაზღვრეთ მენისკის სიმრუდის რადიუსი მოკლე კაპილარში, რომლის სიგრძე არის $h/2$. ორივე კაპილარის რადიუსია r , კიდური კუთხე არის θ .



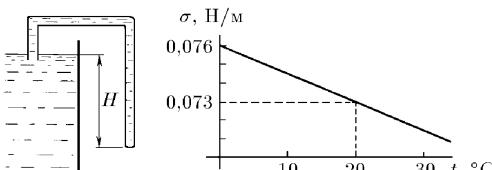
◊ 4.6.9*. კაპილარი სითხით ნახევრადაა ავსებული და ბრუნავს OO' ღერძის ირგვლივ. კაპილარის სიგრძე არის $2l$, მისი რადიუსი არის r . სითხის სიმკვრივე არის ρ , ხოლო ზედაპირული დაჭიმულობა არის σ . სითხე სრულად ასველებს კაპილარს. კაპილარის რა კუთხური სიჩქარისას გადმოიღვრება მისგან სითხე?



◊4.6.10. წყალში l სიღრმეზე ვერტიკალურად ჩაშვებულ კაპილარში წყალი h სიმაღლეზე ავიდა. კაპილარის ქვედა ბოლოს კეტავენ, კაპილარი ამოაქვთნებლიდან და ისევ აღებენ. განსაზღვრეთ კაპილარში დარჩენილი წლის სვეტის სიგრძე, თუ დასველება სრულია.

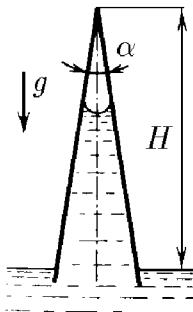


◊4.6.11*. წყლიანჭურჭელში უშვებენ $r=0,1$ მმ რადიუსის მინის მოღუნულ კაპილარს და ამასთან ერთად იწყებენ წყლის ტემპერატურის ცვლილებას. ზედაპირული დაჭიმულობის ტემპერატურული დამოკიდებულება ნაჩვენებია სურათზე. რა ტემპერატურის დროს დაიწყებს წყალიანჭურჭლიდან კაპილარის საშუალებით გადმოღვრას, თუ $H=15$ სმ?



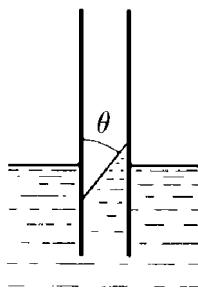
4.6.12. რა მიმართულებით იმოძრავებს დამასველებელი და არადამასველებელი სითხის წვეთი პორიზონტალურად მოთავსებულ კონუსურ კაპილარში?

◊4.6.13*. რა სიმაღლეზე ავა სითხე ვერტიკალური კონუსური კაპილარით, თუ წვეროსთან მდებარე მისი კუთხე $\alpha \ll 1$ რად-ია? სითხის სიმკვრივეა ρ , მისი ზედაპირული დაჭიმულობა σ , კაპილარის სიმაღლე - H . სითხე სრულად ასველებს კაპილარს.

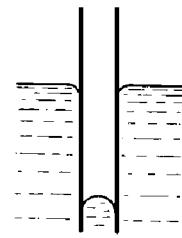


4.6.14. რა სიმაღლეზე ავა სითხე ორ ვერტიკალურ ფირფიტას შორის, რომელთა შორის მანძილია Δ , თუ პირველ ფირფიტას აქვს θ_1 კიდური კუთხე, ხოლო მეორეს – θ_2 ? სითხის სიმკვრივეა ρ , მისი ზედაპირული დაჭიმულობა – σ .

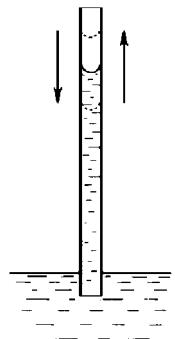
4.6.15. რა ძალა მოქმედებს a გვერდის მქონე პარალელურ კვადრატულ ფირფიტებზე, რომლებიც ნაწილობრივად არიან ჩაშვებული წყალში, თუ მათგარეზედაპირებთან კიდურა კუთხე არის 90° , ხოლო შიდა ზედაპირებთან – θ და $\pi - \theta$? სითხის სიმკვრივეა ρ , მისი ზედაპირული დაჭიმულობა σ .



◊ **4.6.16*.** რა ძალით იზიდავს ერთმანეთს a გვერდის მქონე ორი პარალელური კვადრატული ფირფიტა, რომლებიც ნაწილობრივად არიან ჩაშვებული სითხეში, თუ მათ სითხე არ ასველებს? სითხის სიმკვრივეა ρ , მანძილი ფირფიტებს შორის Δ , სითხის ზედაპირული დაჭიმულობაა σ .



◊ **4.6.17***. რა სიმაღლეზე ავა ρ სიმკვრივის სითხე სრულად დასველებულ კაპილარში, თუ მისი განივი კვეთია S , ხოლო ამ კვეთის პერიმეტრია l ? როგორაა დამოკიდებული სითხის მცირე ვერტიკალური რხევების პერიოდი სითხის სიმაღლეზე ამ კაპილარში? სითხის ზედაპირული დაჭიმულობაა σ .



თავი 5

მოლეკულური ფიზიკა

§ 5.1. ნაწილაკთა სითბური მოძრაობა

5.1.1. შეაფასეთ 5°C ტემპერატურის ჰაერში მყოფი 10 მკმ დიამეტრის ნისლის ნაწილაკთა საშუალო კინეტიკური ენერგია და საშუალო კვადრატული სიჩქარე.

5.1.2. წყლის წვეთში ორი ნაწილაკი ასრულებს ბროუნის მოძრაობას. რამდენჯერ განსხვავდება ამ ნაწილაკთა საშუალო კვადრატული სიჩქარეები, თუ ერთის მასა მეორეზე ოთხჯერ მეტია?

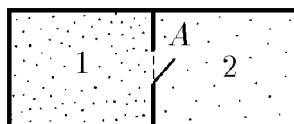
5.1.3. შეაფასეთ ინფუზორის მასა, რომელზეც, 1 მკმ/ნმ სიჩქარით მიმართულ მოძრაობისას, სითბურ მოძრაობას სუსტი გავლენა აქვს.

5.1.4. განსაზღვრეთ წონანწორობის მდებარეობიდან ქანქარას საშუალო კვადრატული გადახრა, რომელსაც იწვევს ქანქარის ბურთულის სითბური მოძრაობა. ჰაერის ტემპერატურა 20°C -ია, ბურთულის მასაა 1 მგ, ხოლო ქანქარას ძაფის სიგრძეა 10 მ.

5.1.5*. გალვანომეტრის სარკე ჩამოკიდებულია კვარცის ძაფზე. სინათლის ვიწრო კონა ჰერ სარკეს ეცემა, ხოლო მისგან არეკვლის შემდეგ სარკიდან 20 სმ-ით დაშორებულ ეკრანს. ჰაერის ტემპერატურა 300K -ია. შეაფასეთ, რამდენჯერ გაიზრდება ეკრანზე გამოსახული ჩრდილის რადიუსი სარკის სითბური მოძრაობის შედეგად, თუ სარკის φ კუთხით მობრუნებისას მასზე ძაფიდან მოქმედებს $M = -\kappa\varphi$ ძალის მომენტი, სადაც $\kappa = 1.38 \cdot 10^{-15} \text{ N}\cdot\text{m}$. როგორ შეიცვლება პასუხი, თუ ჰაერის ტემპერატურას 100 K-მდე შევამცირებთ?

5.1.6. ჭურჭელი ფორებიანი ტიხრით გაყოფილია ორ ნაწილად. ერთ ნაწილში მოთავსებულია მსუბუქი, ხოლო მეორეში მძიმე მოლეკულების შემცველი აირი. თავდაპირველად აირთა წნევები ერთნაირია, რაღაც დროის შემდეგ წნევა მძიმე მოლეკულების შემცველ აირის ნაწილში გაიზარდა, ხოლო შედარებით ხანგრძლივი დროის შემდეგ წნევა ჭურჭლის ორივე მხარეს გათანაბრდა. ახსენით ეს ფაქტი.

◊**5.1.7.** ჭურჭლის განყოფილება 1-ში მოთავსებულია ჰელიუმისა და წყალბადის ნარევი. ჰელიუმისა და წყალბადის პარციალური წნევა ერთნაირია. განყოფილება 2-ში ვაკუუმია. მცირე დროით ტიხარში ხსნიან A ხვრელს. განსაზღვრეთ განყოფილება 2-ში ჰელიუმის წნევის წყალბადის წნევაზე დამოკიდებულება.



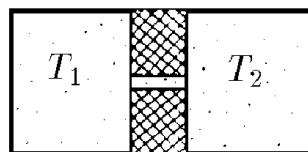
5.1.8*. ჭურჭელი ტიხრებით დაყოფილია n იზოლირებულ განყოფილებად. საწყისი მომენტისთვის განყოფილება 1-ში მოთავსებულია μ_1 და μ_2 მოლური მასების ერთიდაიგივე მოლეკულების რაოდენობა. დანარჩენ განყოფილებებში კი ვაკუუმია. მცირე ხნით ხსნიან ტიხრების ხვრელებს, რომელთა მდებარეობა სურათზეა ნაჩვენები. შეაფასეთ სექცია n -ში μ_1 მოლური მასის მოლეკულათა რაოდენობის შეფარდება μ_2 მოლური მასის მოლეკულათა რაოდენობასთან.



5.1.9*. გაიშვიათებული აირით სავსე ჭურჭელი, კედლის ნახვრეტიდან τ დროში ნახევრად დაიცალა, რა დროში დაიცლებოდა ჭურჭელი ნახევრად, ჭურჭლის (და ასევე ხვრელის) ზომები ი-ჯერ დიდი რომ ყოფილიყო?

5.1.10. შეაფასეთ, რამდენჯერ ნაკლებია ჭურჭლის R რადიუსისა და L სიგრძის მქონე ცილინდრული არხიდან გამოსული აირის ნაკადი, R რადიუსის ხვრელიდან გამოსული აირის ნაკადზე. ჩათვალეთ, რომ არხის კედლები შთანთქავენ მოლეკულებს.

◊5.1.11*. ერთიდაიგივე V მოცულობის ორი ჭურჭელი დაკავშირებულია ვიწრო ხვრელით. ჭურჭლებში იმყოფება მცირე N რაოდენობის ნაწილაკი (ე. ი. ნაწილაკთა რაოდენობა იმდენად მცირეა, რომ ისინი თითქმის არ ეჭახებიან ერთმანეთს). რა რაოდენობის ნაწილაკი აღმოჩნდება თითოეულ ჭურჭელში, თუ აირთა ტემპერატურებია შესაბამისად T_1 და $T_2 > T_1$? შემაერთებელ ხვრელში მოათავსეს მსუბუქი დროშა, რომელ მხარეს გადაიხრება ის?



§ 5.2. მოლეკულების განაწილება სიჩქარეების მიხედვით

5.2.1. 1 სმ³-ში 0,1 მპა წნევაზე იმყოფება აზოტის $2,7 \cdot 10^{19}$ მოლეკულა. იმ მოლეკულების რიცხვი, რომელთა სიჩქარის ვერტიკალური მდგრენელი მოთავსებულია $999 - 1001$ მ/წმ ინტერვალში არის $1,3 \cdot 10^{12}$.

ა. რამდენ ასეთ მოლეკულას შეიცავს 1 ლ აზოტი?

ბ. რამდენი აზოტის მოლეკულაა 1 მ³ მოცულობაში, რომლთა სიჩქარის ვერტიკალური მდგრენელი მოთავსებულია $1000 \pm 0,1$ და 1000 ± 10 მ/წმ შუალედში? ჩათვალეთ, რომ მოლეკულათა რიცხვი, რომლებსაც გააჩნიათ სიჩქარე გარკვეულ ინტერვალში, ამ ინტერვალის პროპორციულია.

5.2.2. მოლეკულების განაწილება სიჩქარის v პროექციის მიხედვით ($i=x, y, z$) კოორდინატთა ღერძებზე ერთმანეთისგან დამოუკიდებელია. ამის

გამოყენებით, იპოვეთ ამოცანა 5.2.1-ში მოლეკულათა რაოდენობა 1 სმ³-ში, რომელთა სიჩქარის როგორც ვერტიკალური ისე პორიტონტალური მდგრენელი მოთავსებულია $999 - 1001$ მ/წმ შუალედში: მოლეკულების რიცხვი, რომელთა სიჩქარის პორიტონტალური მდგრენელი მოთავსებულია $1000 \pm 0,1$ მ/წმ შუალედში, ხოლო ვერტიკალური 1000 ± 2 მ/წმ შუალედში.

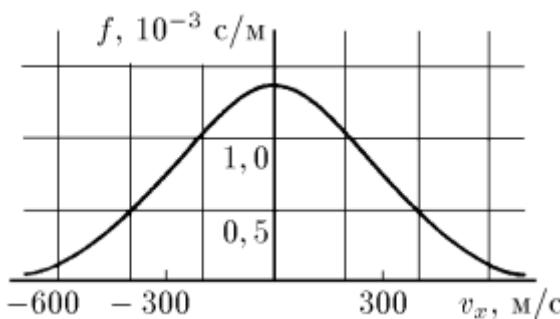
5.2.3. ერთგვაროვანი იდეალური აირის მოლეკულების dN რიცხვი, რომელთა სიჩქარე x ღერძის გასწვრივ მოთავსებულია (v , $v + dv$) შუალედში, მოლეკულების ჰამური N რაოდენობით მოცემულ T ტემპერატურაზე გამოისახება მაქსველის განაწილებით:

$$dN = N \exp\left(\frac{-mv}{2kT}\right) d v_x = N f(v_x) d v_x \quad \text{სადაც} \quad m \quad \text{-მოლეკულის} \quad \text{მასა,} \quad k \quad \text{-}$$

ბოლცმანის მუდმივა. ფუნქციას

$$f(v_x) = \exp\left(\frac{-mv}{2kT}\right)$$

ქვია განაწილების ფუნქცია. სურათზე ნაჩვენებია აზოტის მოლეკულების განაწილების ფუნქცია ოთახის ტემპერატურაზე ($T = 293\text{K}$). გრაფიკის გამოყენებით, იპოვეთ ა) რამდენი აზოტის მოლეკულაა 1m^3 ჰარში, რომელსაც გააჩნია რაიმე მიმართულებით სიჩქარე, რომელიც მოთავსებულია $499-500 \text{ m}^{-3}$ შუალედში. ბ) რამდენი აზოტის მოლეკულაა 1 m^3 -ში, რომელსაც გააჩნა რაიმე



მიმართულებით სიჩქარე, რომელიც მოთავსებულია $498-502 \text{ m}^{-3}$ ინტერვალში, თუ 1 m^3 -ში აზოტის მოლეკულათა რიცხვია $2 \cdot 10^{19}$.

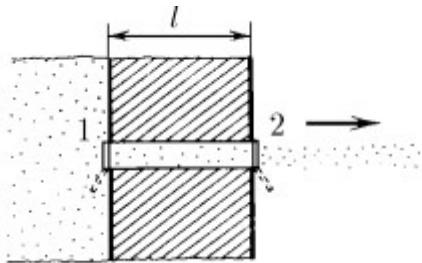
5.2.4. რა ტემპერატურის დროს დაემთხვევა წყალბადის მოლეკულების სიჩქარეების მიხედვით განაწილების ფუნქცია, ოთახის ტემპერატურაზე აზოტის განაწილების ფუნქციას?

5.2.5. იპოვეთ წყალბადის მოლეკულების რაოდენობის შეფარდება, რომელთაც x ღერძზე გააჩნიათ $3000-3010 \text{ m}^{-3}$ შუალედში მოთავსებული სიჩქარე, იმ წყალბადის მოლეკულებთან, რომელთა სიჩქარეების გეგმილები იგივე ღერძზე მოთავსებულია $1500-1505 \text{ m}^{-3}$ შუალედში. წყალბადის ტემპერატურაა 300 K .

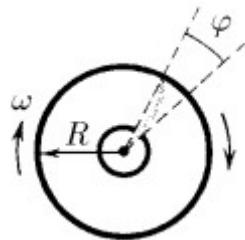
5.2.6. იპოვეთ იმ წყალბადის მოლეკულების რაოდენობის ფარდობა, რომლის სიჩქარის მდგრენელი x ღერძზე მოთავსებულია $3000-3010 \text{ m}^{-3}$ შუალედში, y ღერძზე $3000-3010 \text{ m}^{-3}$ შუალედში, z ღერძზე $3000-3002 \text{ m}^{-3}$ შუალედში, იმ წყალბადის ატომების რაოდენობასთან, რომლის მოლეკულების სიჩქარეების მდგრენელები x ღერძზე მოთავსებულია $1500-1005 \text{ m}^{-3}$ შუალედში, y ღერძზე $1500-1501 \text{ m}^{-3}$ შუალედში, z ღერძზე $1500-1502 \text{ m}^{-3}$ შუალედში. წყალბადის ტემპერატურაა 300 K .

5.2.7*. გაიშვიათებული აირის შემცველ ჭურჭელში გაკეთებულია მცირე ზომის ნახვრეტი. როგორ დაიწყებს აირის ტემპერატურა ცვლას ჭურჭლიდან გამოდინებისას?

5.2.8*. აირის შემცველ ჭურჭლის სქელ კედელში, გააკეთეს სწორი I სიგრძის არხი, რომლითაც ჭურჭელი მიუერთეს ვაკუუმს. ნაკადის ნარმოსაქმნელად არხი აღჭურვილია ორი ჩამკეტით. ჩამკეტი 1 მოთავსებულია არხისა და ჭურჭლის შეერთების ადგილთან, ხოლო ჩამკეტი 2 - არხის ვაკუუმში გასასვლელთან. მოლეკულების კონა ნარმოიქმნება შემდეგნაირად: თავიდან t დროით ხსნიან ჩამკეტ 1-ს. როცა ამ ჩამკეტს დაკეტავენ, t დროის შემდეგ, t დროით ხსნიან ჩამკეტ 2-ს. ამ პროცესის დროს გასული მოლეკულები წარმოქმნიან კონას. რისი ტოლია კონის სიგრძე მეორე ჩამკეტის დაკეტვიდან t დროის შემდეგ?

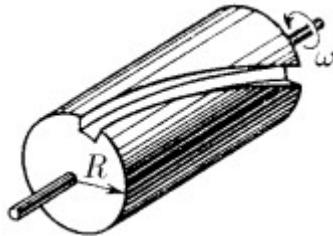


◊5.2.9. ვერცხლის ატომების წყარო წარმოქმნის თხელ ლენტურ ნაკადს, რომელიც ეცემა $R = 30$ სმ რადიუსის უძრავი ცილინდრის შიდა ზედაპირს და აჩენს მასზე ლაქას. მოწყობილობა იწყებს ბრუნვას $\omega = 100\pi$ რად/წმ კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ ვერცხლის ატომების სიჩქარე, თუ ლაქა გადაიხარა საწყისი



მდებარეობიდან $\varphi = 0,314$ რად კუთხით.

◊5.2.10. ნახვრეტი კედელში გადაკეტილია ცილინდრული საცობით. საცობის ზედაპირზე ჭრიან ჩ ბიჯის მქონე სპირალს. კედლის ცალ მხარეს გაიშვიათებული აირია ხოლო მეორე მხარეს კი ვაკუუმი. მოლეკულები მარტივად შთაინთქმება საცობის კედლებით. საცობი ტრიალებს ა კუთხური სიჩქარით. რა სიჩქარე ექნებათ მოლეკულებს რომლებიც გაივლიან საცობში?



5.2.11. წარმოვიდგინოთ, რომ მოხერხდა კინოფირზე გადაგვეღო აირის მოლეკულების სურათი, რომელთა სიჩქარეების მიხედვით განწილების ფუნქციაა $f(v)$.

ა. იპოვეთ აირის მოლეკულების გამოსახულებათა განაწილების ფუნქცია სიჩქარეების მიხედვით, თუკი გადიდებულობა, რომლითაც აღიბეჭდნენ მოლეკულები კინოფირზე, ტოლია l -ის.

ბ. ჩაწერისას დაიწყეს კინოფირის გადახვევა k -ჰერ უფრო სწრაფად, ვიდრე გადაღებისას. იპოვეთ გამოსახულებათა სიჩქარეების განაწილების ფუნქცია ამ შემთხვევაში.

5.2.12. ნაწილაკთა ნაკადში, ნაწილაკთა სიჩქარე ერთი მიმართულებისაა და მოთავსებულია $v - 2v$ შუალედში. ნაწილაკთა სიჩქარეების მიხედვით განაწილების ფუნქციის გრაფიკს გააჩნია მართკუთხედის ფორმა, რისი ტოლია განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობა? როგორ შეიცვლება განაწილების ფუნქცია, თუკი ნაწილაკებზე τ დროის განმოვლობაში იმოქმედებს F ძალა? ნაწილაკის მასაა m .

5.2.13*. ნაწილაკთა სიჩქარე ჭავლში ერთი მიმართულებისაა და მოთავსებულია v -დან \dot{v} + Δv -მდე $\Delta v \ll v$). ჭავლის ერთეულ მოცულობაში n ნაწილაკია, ნაწილაკთა მასაა m .

ა. τ დროის განმავლობაში ნაწილაკებზე მათი მოძრაობის მიმართულებით მოქმედებდა F ძალა. იპოვეთ სიჩქარის შუალედი და ნაწილაკთა რიცხვი ერთეულ მოცულობაში ძალის მოქმედების შემდეგ.

ბ. იპოვეთ სიჩქარის ინტერვალი და ნაწილაკთა რიცხვი ერთეულ მოცულობაში, ნაწილაკთა ისეთ არეში გავლის შემდეგ, სადაც l მანძილზე მათი მოძრაობის მიმართულებით მოქმედებს F ძალა.

5.2.14*. ა. ვთქვათ შექმნილია ერთნაირი მოლეკულების ჭავლი, რომლის განაწილების ფუნქციაცაა:

$$f(v_x) = 2e^{-xp(-\alpha v)}, \alpha > 0$$

მოლეკულის მასაა m . როგორ შეიცვლება მოლეკულათა რიცხვი ერთეულ მოცულობაში, თუკი ჭავლი გაივლის l სიგრძის არეს, სადაც მოლეკულებზე მოქმედებს დამამუხრუჭებელი F ძალა?

ბ. ნაწილაკთა სიმკვრივე დედამინის ზედაპირის სიახლოვეში არის ρ , ტემპერატურაა T , ნაწილაკის მასაა m . ნაწილაკებს გააჩნიათ სიჩქარის მიხედვით მაქსველური განაწილება. იპოვეთ ნაწილაკთა სიმკვრივე და სიჩქარეების განაწილება დედამინიდან h სიმაღლეზე.

5.2.15. დედამინიდან 3 კმ სიმაღლეზე 1 სმ³ ჰაერი შეიცავს დაახლოებით 10² მტვრის ნაწილაკს, ხოლო ზედაპირზე 10⁵ -ს. იპოვეთ მტვრის ნაწილაკების საშუალო მასა და შეაფასეთ მისი ზომა, ჩათვალეთ, რომ მტვრის ნაწილაკის სიმკვრივეა 1,5 გ/სმ³. ჰაერის ტემპერატურაა 27 °C.

5.2.16. დედამინის ზედაპირთან ჰელიუმი თითქმის 10⁵ -ჯერ, ხოლო წყალბადის თითქმის 10⁶ -ჯერ ნაკლებია, აზოტის მოლეკულების რაოდენობასთან შედარებით. რა სიმაღლეზე იქნება ერთმანეთის ტოლი აზოტის და ჰელიუმი მოლეკულების რაოდენობა? წყალბადის მოლეკულების რაოდენობა? ატმოსფეროს საშუალო ტემპერატურაა 0 °C.

5.2.17*. სითხის აორთქლება შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც, ჩქარი მოლეკულების „ნასვლა“ მისი ზედაპირიდან, ე.ი. იმ მოლეკულების, რომელთა კინეტიკური ენერგიაც მეტია სითხეში მოლეკულებს შორის ბმის ენერგიაზე. აორთქლება წყდება, მაშინ, როდესაც ნასული მოლეკულების რიცხვი უტოლდება სითხეში მისივე ორთქლიდან ჩასულის რიცხვს. ორთქლს, რომელიც შედგება იგივე მოლეკულებისგან, რომლისგანაც სითხე, ენოდება ნაჭერი ორთქლი, თუ ის სითხესთან წონასწორობაშია.

ა. შეაფასეთ ნაჭერი ორთქლის კონცენტრაცია T ტემპერატურაზე, თუ სითხის გარდაქმნის მოლური სითბოა q , სითხის კონცენტრაციაა n . ორთქლში და სითხეში მოლეკულებს გააჩნიათ სიჩქარის მაქსველური განაწილება.

ბ. 100°C ტემპერატურაზე წყლის გარდაქმნის მოლური სითბო $4 \cdot 10^4 \frac{\text{კ}}{\text{მლ}}$ -ია. შეაფასეთ წყლის ნაჟერი ორთქლის კონცენტრაცია 100°C -ზე.

§ 5.3. მოლეკულების დაჯახება. გადატანის მოვლენები

5.3.1. ატმოსფერული წნევისა და 0°C ტემპერატურისას, წყალბადის მოლეკულის თავისუფალი განარბენი $0,1$ მკმ-ის ტოლია. შეაფასეთ ამ მოლეკულის დიამეტრი.

5.3.2. შეაფასეთ, ნორმალური პირობებში, აზოტის მოლეკულის თავისუფალი განარბენის სიგრძე ჰაერში. აზოტისა და ჟანგბადის მოლეკულის რადიუსები ჩათვალეთ $0,18$ ნმ-ად.

5.3.3. შეაფასეთ, 1 ნმ-ის განმავლობაში, 1 სმ³ მოცულობის ჰაერში, რამდენჯერ დაეჭახებიან აზოტის მოლეკულები ერთმანეთს და რამდენჯერ დაეჭახებიან ჟანგბადის მოლეკულებს.

5.3.4. აირის სიმკვრივე გაზარდეს სამჯერ, ხოლო ტემპერატურა შეამცირეს ოთხჯერ. რამდენჯერ შეიცვალა ერთეულ დროში მოლეკულების დაჯახების რიცხვი.

5.3.5. ჭურჭელში მოთავსებულია ორი აირის ნარევი. ერთეულ მოცულობაში ნარევი შეიცავს ერთი აირის n მოლეკულას და მეორე აირის n მოლეკულას. მოლეკულათა რადიუსებია შესაბამისად R და r . შეაფასეთ ამ მოლეკულების თავისუფალი განარბენის სიგრძე.

5.3.6*. ნორმალური პირობებში 1sm^3 აირი შეიცავს $2,7 \times 10^{19}$ წყალბადის ატომს. შეაფასეთ ის დრო, რომელშიც წყალბადის ატომების $0,1$ ნანოლი გადაიქცევა წყალბადის მოლეკულად. ჩათვალეთ, რომ ორი 1sm^3 წყალბადის ატომის დაჯახებისას ნარმოიქმნება წყალბადის ერთი მოლეკულა. წყალბადის ატომის რადიუსია $0,06$ ნმ.

5.3.7*. იპოვეთ A , B სახის მოლეკულების რაოდენობის შეფარდება AB ტიპის მოლეკულების რაოდენობასთან, თუ ნარევში დაჯახებისას ხდება შემდეგი ტიპის რეაქციები

$$A+B \rightarrow AB \quad \text{და} \quad AB+AB \rightarrow A+B$$

A და B ატომების რაოდენობა ერთმანეთის ტოლია. A , B და AB მოლეკულების რადიუსები შესაბამისად არის r , r , r . მოლეკულების მასები ტოლია.

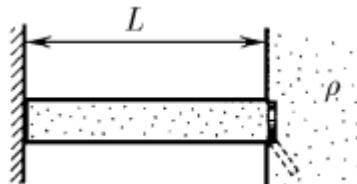
5.3.8. ა. აირში რადიოაქტიური ატომების ფარდობითი შემცველობა მცირეა. მათი რაოდენობა ერთეულ მოცულობაში 10^{-10} მილიმეტრის მიხედვით:

$n = ah$. ატომის მასაა m , მისი თავისუფალი განარბენის სიგრძეა λ , ხოლო ტემპერატურაა T . შეაფასეთ ამ ატომების სიმკვრივე დედამიწაზე.

ბ. შეაფასეთ წყლის ორთქლის დიფუზის კოეფიციენტი ჰაერში 20°C ტემპერატურაზე. წყლის მოლეკულის რადიუსია $0,21$ ნმ, ხოლო აზოტისა და ჟანგბადის მოლეკულის რადიუსი $0,18$ ნმ.

5.3.9. A მოლეკულის დიფუზის კოეფიციენტი B და B აირებში შესაბამისად არის D და D , თუ ამ აირების ერთეულ მოცულობაში n რაოდენობის მოლეკულაა. იპოვეთ A მოლეკულის დიფუზის კოეფიციენტი ნარევში, რომელიც ერთეულ მოცულობაში B აირის n და B აირის n მოლეკულას.

◊5.3.10*. L სიგრძისა და S განივევეთის ფართობის ვიწრო ჭურჭელში მოთავსებულია მშრალი ჰაერი, რომელიც იზოლირებულია ნაკერი ორთქლის შემცველ ჰაერისაგან სარქველით. ჭურჭლის ფსკერზე ინარჩუნებენ 0°C -ზე ნაკლებ



ტემპერატურას. სარქველს ხსნიან. შეაფასეთ რა დროში დამყარდება ჭურჭლში ორთქლის სტაციონალური მდგომარეობა. განსაზღვრეთ ერთეულ დროში გაყინული წყლის მასა, როდესაც ჭურჭლში დამყარდება ორთქლის სტაციონალური ნაკადი. ნაკერი ორთქლის დიფუზიის კოეფიციენტია D , ხოლო სიმკვრივეა ρ .

5.3.11. ა. დედამინის ატმოსფეროს ჰაერის ტემპერატურა h სიმაღლის მიხედვით წრფივად იზრდება, $T=T+\alpha h$. ამასთან ტემპერატურის ფარდობითი ცვლილება $\alpha h/T$ რჩება გაცილებით ნაკლები ერთზე. ჰაერის მოლეკულის თავისუფალი განარბენის სიგრძეა λ , თითოეული მოლეკულის მასაა m , ხოლო კონცენტრაცია n . შეაფასეთ სითბური ნაკადის სიმკვრივე დედამინაზე. შეიცვლება თუ არა ამ ნაკადის სიმკვრივე, თუ აირის კონცენტრაცია გაიზრდება?

ბ. რამდენჯერ მეტია წყალბადის სითბოგამტარობა ჰაერისაზე? წყალბადის მოლეკულის რადიუსია $0,14$ ნმ, ხოლო აზოტისა და ჟანგბადის $0,18$ ნმ. აირების ტემპერატურები ერთნაირია.

5.3.12. შეაფასეთ ოთახიდან, რომლის ზომებია $5 \times 5 \times 4$ მ, $1,5 \times 2,0$ მ ზომების ორ ფანჯარაში გარეთ გამავალი სითბური ნაკადი. ფანჯრები ერთმანეთისაგან დაშორებულია $0,2$ მ-ით. შეაფასეთ ასევე დრო, რომელშიც ოთახის ტემპერატურა 1°C -ით იკლებს, თუ ტემპერატურა ოთახში 20°C -ია, ხოლო გარეთ -20°C . რატომ არის სითბური ნაკადი ფანჯრებიდან ყოველთვის ასეთი დიდი?

5.3.13*. A და A აირების სითბოგამტარობა შესაბამისად ტოლია k და k -ის. იპოვეთ ნარევის სითბოგამტარობა, რომელშიც A აირის მოლეკულები α ჯერ მეტია A აირის მოლეკულებზე, აირის ტემპერატურები ერთნაირია, აირები ერთატომიანებია. აირების მოლური მასები შესაბამისად არის μ და μ .

5.3.14. გაიშვიშთებულ აირში გახურებული სხეული ცივდება t დროში. რა დროში გაცივდება იგივე ნივთიერებისგან დამზადებული სხეული, რომლის ყველა წრფივი ზომა გაზრდილია n ჯერ?

§ 5.4. გაიშვიათებული აირი. მოლეკულების ურთიერთქმედება მყარი სხეულის ზედაპირთან*)

5.4.1. შეაფასეთ ჰაერის მოლეკულათა რიცხვი, რომელიც ეცემა 1 სმ^2 კედელს თქვენს ოთახში 1 წმ-ში , ასევე იმპულსი, რომელსაც ისინი გადასცემენ კედელს.

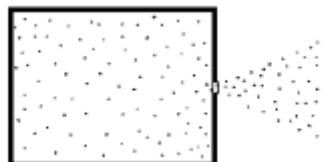
5.4.2. რამდენჯერ შეიცვლება აირის წნევა, თუ k -ური ნაწილი მოლეკულებისა, დაჯახებული კედელზე, უეცრად დაიწყებს შთანთქმას.

5.4.3. გაიშვიათებულ აირში მუდმივი v სიჩქარით მოძრაობს r რადიუსის ბურთი, ერთეულ მოცულობაში მოლეკულათა რიცხვია n , მოლეკულების მასაა m , მოლეკულათა სითბური მოძრაობის სიჩქარე გაცილებით ნაკლებია ბურთის სიჩქარეზე. შეაფასეთ წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც მოქმედებს ბურთზე.

5.4.4. რატომ დნებიან მეტეორიტები დედამიწის ატმოსფეროში?

5.4.5. μ მოლური მასის გაიშვიათებულ აირში მოძრაობს r რადიუსის დისკი თავისი ღერძის გასწვრივ მიმართული მუდმივი v სიჩქარით. შეაფასეთ დისკზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა. დისკის სიჩქარე გაცილებით მცირეა მოლეკულების სითბური მოძრაობის სიჩქარეზე. აირის წნევაა P , ტემპერატურა - T .

◊**5.4.6.** ჭურჭელში მოთავსებულია P წნევის აირი. ჭურჭელს კედელში აქვს S ფართობის ნახვრეტი, რომლის ზომები გაცილებით პატარაა მოლეკულის თავისუფალი განარბენის სიგრძეზე. იპოვეთ რეაქტიული ძალა რომელიც მოქმედებს ჭურჭელზე აირის ვაკუუმში გადინებისას.



◊**5.4.7.** μ მოლური მასის გაიშვიათებულ აირში მოძრაობს ფირფიტა, როგორც ნაჩვენებია ნახატზე. შეაფასეთ რა ძალა უნდა მოვდოთ ფირფიტას, რომ მან იმოძრაოს მუდმივი v სიჩქარით. ფირფიტის ფართობია S , აირის წნევაა P , ტემპერატურაა T . ფირფიტის სიჩქარე მცირეა მოლეკულების სითბურ



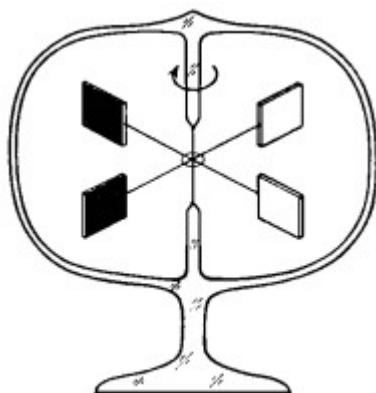
სიჩქარესთან შედარებით.

5.4.8. აირიან ჭურჭელში, რომელშიც შეგვიძლია ვცვალოთ წნევა, მოთავსებულია ორი პარალელური დისკი. ერთი დისკი კიდია დრეკად ძაფზე მეორე კი ბრუნავს მუდმივი კუთხეური სიჩქარით. P წნევისას პირველი დისკის დახვევის კუთხეა φ . წნევის გაზრდისას დახვევის კუთხე ჭერ იზრდება შემდეგ კი, როცა φ

კუთხეს აღნევს წნევისაგან დამოუკიდებელი ხდება. ახსენით ეს ეფექტი. როგორაა დამოკიდებული დახვევის φ კუთხე წნევაზე როცა $\varphi << \varphi$.

5.4.9. ორი გრძელ კოაქსიალურ ცილინდრს შორის რომელთა რადიუსებია r და r მოთავსებულია გაიშვიათებული აირი. შიდა ცილინდრი ბრუნავს მუდმივი ω კუთხური სიჩქარით. შეაფასეთ გარე ცილინდრის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე.

◊ **5.4.10***. სარკისებური ზედაპირის მქონე მსუბუქი ქარსის ფირფიტების ცალი მხარე გაამავეს და დაამაგრეს ღერძზე, როგორც ეს ნახატზეა ნაჩვენები. შემდეგ ეს სისტემა მოათავსეს მინის ჭურჭელში, რომლიდანაც ნაწილობრივ ამოტუმბეს ჰაერი. თუ ახლა ამ მოწყობილობას მოვათავსებთ განათებულ ადგილას, ფირფიტები ბრუნვას დაიწყებენ საათის ისრის მიმართულებით, ამასთან რაც მეტი იქნება განათება, მით უფრო სწრაფად იტრიალებენ. თუ ამ დანადგარს ავღურვავთ გამზომი შკალით, შეგვეძლება იგი რადიომეტრად გამოვიყენოთ (სინათლის ინტენსივობის მზომი ხელსაწყოს მოქმედების პრინციპი).

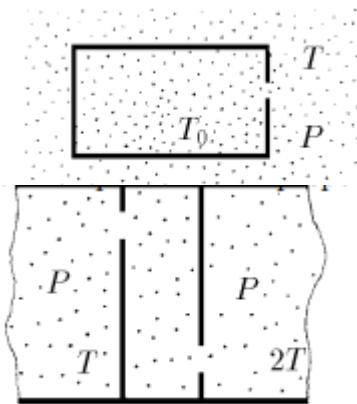


5.4.11*. შეაფასეთ 1 m^2 ფართობის ფირფიტაზე მოქმედი ამწევი ძალა, რომლის ქვედა ზედაპირიზე 100°C -ს ინარჩუნებენ, ხოლო ზედაზე 0°C -ს . ჰაერის ტემპერატურაა 20°C , წნევა 0.1 Pa -ია.

5.4.12. შეაფასეთ სიჩქარე, რომლითაც იმოძრავებს თხელი დისკო, რომლის ერთი გვერდი გახურებულია 310 K -დე, ხოლო მეორე 300 K -დე, ძლიერად გაიშვიათებულ ჰაერში. ჰაერის ტემპერატურაა 300 K .

5.4.13*. ორი ერთნაირი S ფართობის მქონე ფირფიტა მოთავსებულია ჭურჭელში ერთმანეთთან ახლოს; მათი ტემპერატურებია T და T' , ჭურჭლის კედლების ტემპერატურაა T . ფირფიტები ერთმანეთისგან F ძალით განიზიდება. შეაფასეთ გაიშვიათებული აირის წნევა ჭურჭელში.

◊**5.4.14***. აირიან ჭურჭელში ინარჩუნებენ T ტემპერატურას. მის გარეთ აირის წნევაა P , ტემპერატურა კი T . რისი ტოლია აირის წნევა ჭურჭელში, თუ ჭურჭლის კედელში მცირე ზომის ნახვრეტია? აირი გაიშვიათებულია.

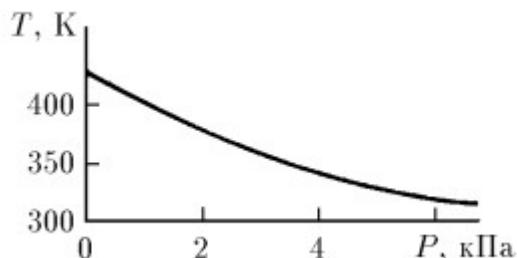


◊5.4.15*. თბოიზოლირებული სიღრუე უკავშირდება ერთნაირი ორი მცირე ნახვრეტით ორ სხვა სიღრუეს, რომლებიც შეიცავენ აირად ჰელიუმს, რომლის P წნევასაც მუდმივს ინარჩუნებენ. ტემპერატურა ერთ სიღრუეში არის T , ხოლო მეორეში $2T$. იპოვეთ დამყარებული წნევა ცენტრალურ სიღრუეში. აირები გაიშვიათებულია.

5.4.16*. ერთმანეთისგან δ მანძილით დაშორებულ, ორ ბრტყელ პარალელურ ფირფიტას შორის, მოთავსებულია ერთატომიანი (ატომთა თავისუფალი განარბენის სიგრძე ბევრად მეტია δ -ზე). შეაფასეთ სითბოს ნაკადის სიმკვრივე, თუ ფირფიტებზე ინარჩუნებენ მუდმივ T და $T + \Delta T$ ტემპერატურებს შესაბამისად. აირის კონცენტრაციაა n , ატომის მასაა μ .

◊5.4.17. სითბურ მანომეტრში აირის წნევა ითვლება სითბური ელემენტის ტემპერატურით, რომელზეც დროის ერთეულში მუდმივად ერთი და იგივე სითბოს რაოდენობა გამოიყოფა. სურათზე წარმოდგენილია ელემენტის ტემპერატურის აზოტის წნევაზე დამოკიდებულება. როგორ მივიღოთ ამ გრაფიკის გამოყენებით ანალოგიური წირი წყალბადისთვის?

5.4.18. შეაფასეთ თხევადი ჰაერის მასა, რომელიც აორთქლდა ერთ საათში



ცუდად ამოტუმბული დიუარის ჭურჭლიდან, თუ ჰაერის წნევა (293 K ტემპერატურაზე), რომელიც დარჩა ჭურჭლის კედლებს შორის 0,133 პასკალია.

ჭურჭლის ზედაპირის ფართობია 600 სმ² კუთრი აორთქლების სითბოა 0,2 მჟ/კგ, მისი ტემპერატურაა 81 K. ჭურჭლის ნაპრალის სიგრძე მოლეკულის თავისუფალ განარბენთან შედარებით მცირეა.

5.4.19*. ტემპერატურებს შორის მცირე სხვაობის გამო ორ პარალელურ ფირფიტას შორის n კონცენტრაციის გაიშვიათებულ აირში წარმოიქმნება W სითბური ნაკადი. აირის წნევის გაზრდისას სითბური ნაკადი იზრდება და აღწევს რაღაც მაქსიმალურ W -ს, ამის შემდეგ იგი აღარაა დამოკიდებული აირის წნევაზე. ახსენით მოვლენა. შეაფასეთ აირის მოლეკულის რადიუსი. ფირფიტებს შორის მანძილია δ .

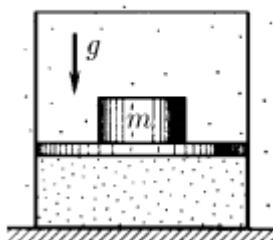
5.4.20. ორი პარალელური ფირფიტა ერთმანეთისგან δ მანძილზეა მოთავსებული, რომელიც მათ ზომებთან შედარებით მცირეა. ფირფიტებს შორის ათავსებენ ერთმანეთისგან ტოლად დაშორებულ N -ცალ თხელ კარგ თბოგამტარ ეკრანს. იპოვეთ ამ ეკრანების გავლენა ფირფიტებს შორის თბოგამტარობაზე ორ შემთხვევაში: ა) $\delta / N >> \lambda$ ბ) $\delta < \lambda$, სადაც λ მოლეკულის თავისუფალი განარბენის სიგრძეა, რომლითაც შევსებულია გარემო ფირფიტებს შორის.

§ 5.5. იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება

5.5.1. აირის მოცულობა შეამცირეს ორჯერ, ტემპერატურა გაზარდეს ერთნახევარჯერ. რამდენჯერ გაიზარდა აირის წნევა?

5.5.2. ფხვიერი ნივთიერების საკუთარი მოცულობის გასაზომად ათავსებენ ცილინდრში, რომელსაც დგუშით ჰერმეტულად ხურავენ. ერთი და იგივე ტემპერატურისას დგუშის ორი მდგომარეობისთვის ზომავენ ჰაერის P_1 და P_2 წნევას და ნივთიერების და ჰაერის ჰამურ V_1 და V_2 მოცულობას. ამ მონაცემებით რისი ტოლია ნივთიერების მოცულობა?

◊5.5.3. იმისათვის, რომ ცილინდრში აირის მოცულობა იზოთერმულად შევამციროთ n -ჯერ, დგუშე მოათავსეს m მასის ტვირთი. კიდევ რა მასის ტვირთი უნდა დავამატოთ იმისათვის, რომ აირის მოცულობა იზოთერმულიად კიდევ

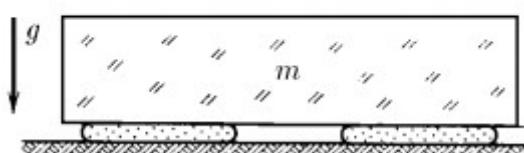


k -ჯერ შემცირდეს?

◊5.5.4*. ორ გრძელ r რადიუსისა და $L >> r$ სიგრძის ცილინდრულ ტომარაზე, რომლებიც უჭიმვადი ნივთიერებითაა დამზადებული და შევსებულია აირით, დადეს m მასის ფილა, რის შედეგადაც ტომრები $h \ll r$ სისქემდე შეიკუმშნენ. გარე წნევაა P_0 , იპოვეთ საწყისი წნევა ტომრებში, თუკი მათში აირის ტემპერატურა არ შეცვლილა.

5.5.5. 50 ლ მოცულობის ბალონიში მოთავსებულია 27°C ტემპერატურისა და 10 მპა წნევის ჰაერი. რა მოცულობის წყალი შეიძლება გამოვაძევოთ წყალქვეშანავის ცისტერნიდან ამ ბალონის ჰაერის მეშვეობით, თუ გამოდევნა მიმდინარეობს 40 მ სიღრმეზე? ჰაერის ტემპერატურა გაფართოების შემდეგ არის 3°C .

5.5.6. რა სიღრმეზე უნდა ჩავაშვათ გრძელი L სიგრძის ღია მილაკი ρ სიმკვრივის სითხეში იმისათვის, რომ მისი ზედა ბოლოს დახურვის შემდეგ



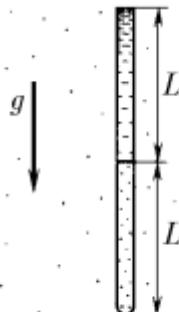
ამოვილოთ $L/2$ სიგრძის წყლის სვეტი? ატმოსფერული წნევაა P .

5.5.7. ჭურჭელში მოთავსებულია 2 მპა წნევისა და 27°C ტემპერატურის აირი. აირის 50°C -მდე გახურების შემდეგ ჭურჭელში დარჩა ნახევარი აირი (მასის მიხედვით). იპოვეთ დამყარებული წნევა.

5.5.8. 7°C ტემპერატურაზე აირის წნევა ბოთლში $0,1$ მპა-ია. რამდენით უნდა გავათბოთ ბოთლი, რომ საცობი ამოძვრეს? გათბობის გარეშე ამოსაძრობად საჭიროა $10 \frac{1}{2}$ ძალა. საცობის განივჯეთის ფართობია 2 cm^2 .

5.5.9. რატომ არის ელექტრონათურა შევსებული ინერტული აირით, რომლის წნევაც ბევრად ნაკლებია ატმოსფერულ წნევაზე?

◊5.5.10*. ვერტიკალური წვრილი $2 L$ (მმ-ში) სიგრძის მიღავის ქვედა ბოლო დახურულია, ხოლო ზედა ღიაა ატმოსფეროში. ქვედა ნახევარში მოთავსებულია T_0 ტემპერატურის აირი, ხოლო ზედა ნახევარი შევსებულია ვერცხლისწყლით. რა მინიმალურ ტემპერატურამდე უნდა გავათბოთ აირი, რომ მთლიანად გამოვაძევოთ ვერცხლისწყალი? გარე წნევა ვერცხლისწყლის სვეტის



მიღიმეტრებში L -ის ტოლია.

5.5.11. V მუშა მოცულობის მქონე დგუშიანი ტუმბოს რამდენი სვლის შემდეგ შეიძლება ავიყვანოთ V_0 მოცულობის ჭურჭელში წნევა P_0 ატმოსფერულიდან P -მდე? აირის გათბობა არ გაითვალისწინოთ.

5.5.12. V მუშა მოცულობის დგშიანი ტუმბოს რამდენი ციკლის შემდეგ შევძლებთ აირის წნევა V_0 მოცულობის ჭურჭელში შევამციროთ P_0 -დან P -მდე?

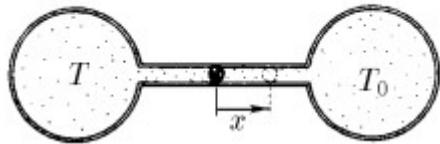
5.5.13. დამოკიდებულია თუ არა აეროსტატის ამწევი ძალა გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურაზე?

5.5.14. თუ ბენებრივი აირის ცეცხლის ზევიდან მოვათავსებთ ვერტიკალურ მინის მიღაკს, ჭვარტლი ქრება, თუმცა ისევ გაჩნდება, თუ მიღს ზევიდან დავხურავთ. ახსენით ეს მოვლენა.

5.5.15*. 50 ml სიმაღლის ფაბრიკის მიღს გამოაქვს კვამლი 60°C ტემპერატურაზე. იპოვეთ წნევათა სხვაობა საკვამურბე, რომლის ხარჯზეც გამოიდევნება კვამლი. ჰაერის ტემპერატურა 10°C , მისი სიმკვრივეა $1,29 \text{ kg/m}^3$.

◊5.5.16. აიროვანი თერმომეტრი შედგება ორი ერთნაირი V_0 მოცულობის ჭურჭლისაგან, რომლებიც l სიგრძის და S განივჯეთის ფართობის მიღითაა შეერთებული. მიღს ფარავს ვერცხლისწყლის წვეთი. ჭურჭლებს ავსებენ აირით. თუ აირთა ტემპერატურა ორივე ჭურჭელში ერთნაირია, მაშინ ვერცხლისწყალი

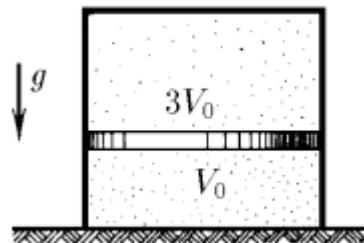
იმყოფება მიღის შუაში. ერთი ჭურჭელი მოთავსებულია T_0 ტემპერატურის



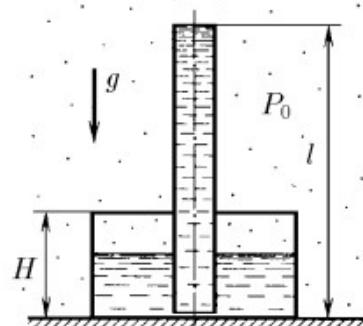
თერმოსტატში. დააგრადუირეთ თერმომეტრი და იპოვეთ მეორე ჭურჭელში აირის ტემპერატურის ვერცხლისწყლის წვეთის ნანაცვლებაზე დამოკიდებულება.

5.5.17. ორი 200 და 100 სმ³ მოცულობის ჭურჭელი განცალკევებულია თბოგაუმტარი მოძრავი დგუშით. ჭურჭლებში თავდაპირველი ტემპერატურაა 300 K, ხოლო წნევა 1013 გბა, ამის შემდეგ მცირე ჭურჭელი გააცივეს 273 K-მდე, ხოლო დიდი გააცხელეს 373 K-მდე. რა წნევა დამყარდება ჭურჭლებში?

◊5.5.18. აირიან ცილინდრულ ჭურჭელში აირთან წონასწორობაშია მძიმე დგუში. აირის მასა და ტემპერატურა დგუშის ზემოთ და ქვემოთ ერთნაირია. ზედა ნაწილის შიდა მოცულობის ფარდობა ქვედასთან 3-ის ტოლია. რისი ტოლი გახდება ეს ფარდობა, თუ აირის წნევას ორჯერ გავზრდით?



◊5.5.19. H სიმაღლის ცილინდრული ჭურჭლის თავსახურიდან ვერტიკალურად ჩადგმულია ფსკერამდე ოდნავ არმისული თხელკედლიანი l სიგრძის მიღი. თავსახურის შეერთება ჭურჭელთან და მიღთან ჰერმეტულია. ჭურჭელში მიღით ასხამენ სითხეს. იპოვეთ სითხის სიმაღლე ჭურჭელში ჭურჭლის

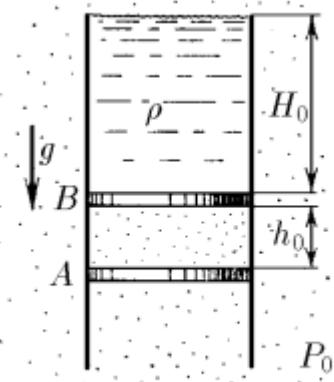


ფსკერიდან, როდესაც მიღი მთლიანადაა გავსებული. ატმოსფერული წნევაა P_0 , სითხის სიმკვრივეა ρ .

◊5.5.20. ვერტიკალურ ცილინდრულ ჭურჭელში A დგუშის ზემოთ მოთავსებულია აირი, რომელიც დახურულია B დგუშით, როლის ზემოთაც მოთავსებულია ρ სიმკვრივის სითხე ჭურჭლის ზედა ბოლომდე. რა x მანძილს

უნდა ავწიოთ A დგუში იმისათვის, რომ B დგუშის ზემოთ დარჩეს H სიმაღლის სითხის სვეტი? B დგუშის მასა და ხახუნი არ გაითვალისწინოთ. ატმოსფერული წნევაა P_0 , სითხის სვეტის საწყისი სიმაღლეა H_0 , აირის სვეტის - h_0 . აირის ტემპერატურა დუშის მოძრაობისას არ იცვლება.

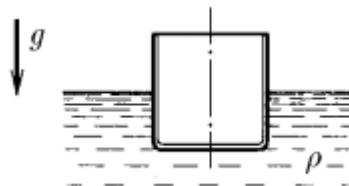
◊5.5.21. ρ სიმკვრივის სითხის ზედაპირზე ცურავს ცილინდრული



თხელკედლიანი ჭიქა, რომელიც ნახევრად ჩაშვებულია სითხეში.

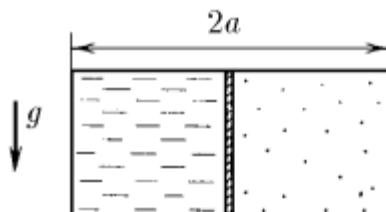
a . რამდენით ჩაიძირება ჭიქა, თუ მას პირდაღმა დავდებთ სითხის ზედაპირზე. ჭიქის სიმაღლეა h , ჰაერის წნევაა P_0 .

b . რა სიღრმეზე უნდა ჩავძიროთ პირდაღმა დაყენებული ჭიქა იმისათვის, რომ მასში მოთავსებულ ჰაერთან ერთად დაეშვას ფსკერზე?



◊5.5.22. გაუმტარი კედლების მქონე მართკუთხა ჭურჭელში მარცხნივ მოთავსებულია მძიმე სითხე (მაგალითად, ვერცხლისწყალი), რომელიც განცალკევებულია მოძრავი თხელი დგუშით მარჯვენა ნაწილში მოთავსებული ჰაერისაგან. თავდაპირველად დგუში წონასწორობაშია და ჭურჭლის მოცულობას შუაბე ყოფს. რამდენით გადაიწევს დგუში მარჯვნივ, თუ სისტემის ტემპერატურა სამკერ მემცირდება? ვერცხლისწყლის და ჭურჭლის კედლების სითბური გაფართოება უგულებელყავით. ხახუნი არ გვაქვს. ჭურჭლის სიგრძეა 2 a.

5.5.23*. ჰერმეტულად დახურული ბაკი შევსებულია სითხით ისე, რომ მის



ფსკერზე იმყოფება ჰაერის ბუშტულა. ბაკის ძირში წნევაა P_0 . როგორი გახდება

იგი, თუკი ჰაერის ბუშტულა ამოყვინთავს? ბაკის სიმაღლეა H , სითხის სიმკვრივეა ρ .

5.5.24*. 3 მ სიმაღლის ჰაერმეტულად დახურული ბაკი შევსებულია წყლით ისე, რომ ფსკერზე მოთავსებულია ორი ერთნაირი ჰაერის ბუშტულა. ბაკის ფსკერზე წნევაა 0,15 მპა. რისი ტოლი გახდება წნევა, თუ ერთი ბუშტულა ამოყვინთავს? ორი ბუშტულა?

5.5.25. განსაზღვრეთ აზოტის უანგბადთან მიერთების ფორმულა, თუ ამ ნივთიერების ერთი გრამი, აირად მდგომარეობაში, 17°C ტემპერატურაზე 1 ლ მოცულობაში ქმნის 0,314 ატმ წნევას.

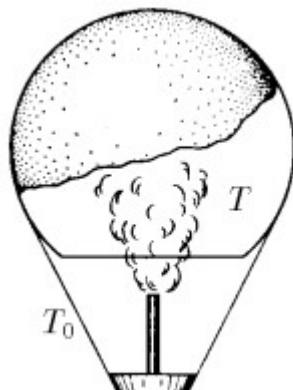
5.5.26*. ნისლის წვეთებში წყლის მასის განსაზღვრისათვის, ჰაერის საცდელ მოცულობას ათავსებენ გამჭირვალე კედლების მქონე ჰერმეტულად დახურულ ჭურჭელში 0°C ტემპერატურის და 100 კპა წნევის პირობებში, აირს ახურებენ მანამდე სანამ ნისლი არ გაქრება და ზომავენ წნევას ამ ტემპერატურაზე. შეაფასეთ ნისლის მასა საცდელი ჰაერის 1 მ³ მოცულობაში, თუ ნისლის გაქრობის ტემპერატურაა 82°C , ამ დროს ჰაერის წნევა კი 180 კპა-ია.

5.5.27. რამდენჯერ შეიცვლება საჰაერო ბუშტის ამწევი ძალა, თუ მას ჰელიუმის ნაცვლად წყალბადით შევავსებთ? ბუშტის გარსის მასა უგულებელყავით. ჰაერის მოლური მასაა 29 გ/მოლ.

5.5.28. წყალბადი ავსებს სტრატოსტატის მხოლოდ ზედა ნაწილს, ქვედა ნაწილში მოთავსებულია ჰაერი, რომელიც თავისუფლად აღწევს სტრატოსტატში ქვევით გაკეთებული ნახვრეტიდან. მაქსიმუმ რა მასის დროს დაიწყებს სტრატოსტატი აწევას, თუ წყალბადის მასა გარსში m -ის ტოლია?

5.5.29. რადიუსის რა მინიმალური მნიშვნელობისთვის დაიწყებს საჰაერო ბუშტი, რომელიც შევსებულია ჰელიუმით, აწევას, თუ საჰაერო ბუშტის გარსის ნივთიერების ზედაპირული სიმკვრივეა 50 g/m^3 , ჰაერის წნევაა 10 kPa , ხოლო ტემპერატურა -27°C ?

5.5.30. V მოცულობის საჰაერო ბუშტში მოთავსებული ჰაერი გაზური გამათბობლით ხურდება T ტემპერატურამდე, რომელიც აღემატება გარემოს T_0 ტემპერატურას., რისი ტოლია საჰაერო ბუშტის ტვირთამზიდობა P_0 ატმოსფერულ წნევაზე? ჰაერის მოლური მასაა μ .

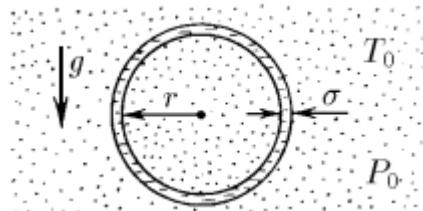


5.5.31. ვენერას ატმოსფერო თითქმის მთლიანად ნახშირორჟანგისგან შედგება. მისი ტემპერატურა პლანეტის ზედაპირთან დაახლოებით 500°C -ია, ხოლო

წნევა დაახლოებით - 100 ატმ. რა მოცულობა უნდა ჰქონდეს 1 ტ მასის საკვლევ ზონდს იმისათვის, რომ იცუროს ვენერას ატმოსფეროს ქვედა ფენებში?

5.5.32. ოთახის ტემპერატურაზე აზოტის ტეტროქსიდი ნაწილობრივ დისოცირდება და გადაიქცევა აზოტის დიოქსიდად: $NO_2 NO$. 250 სმ^3 მოცულობის ამოტომბულ ჭურჭელში უშვებენ $0^\circ C$ ტემპერატურის $0,92 \text{ g } NO$ -ის სითხეს. როცა ჭურჭელში ტემპერატურა $27^\circ C$ -მდე იზრდება, სითხე მთლიანად ორთქლდება, ხოლო წნევა ხდება 128° კპა . იპოვეთ დისოცირებული აზოტის ტეტროქსიდის წილი.

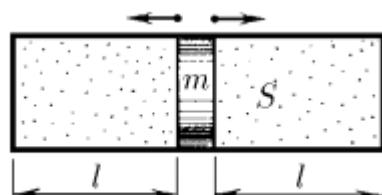
◊5.5.33. საპნის ბუშტი, რომელიც ცხელი ჰაერითა შევსებული, გაჩერებულია უძრავად ატმოსფეროში. ატმოსფერული წნევაა P_0 ხოლო ტემპერატურაა T_0 . საპნის აპკის სიმკვრივეა ρ , სისქე δ , ხოლო ბუშტის რადიუსია r . იპოვეთ ჰაერის ტემპერატურა ბუშტის შიგნით, თუ საპნის ბუშტის ზედაპირული დაჭიმულობაა



σ . ჰაერის მოლური მასაა μ .

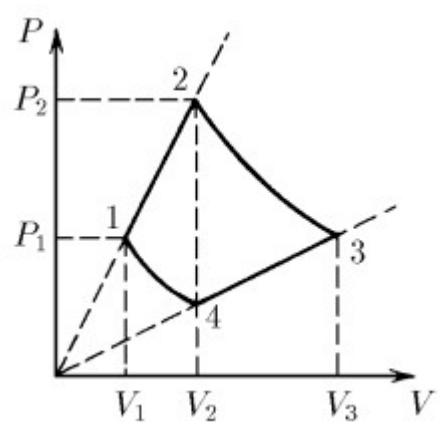
5.5.34. ორი მცირე r_1 და r_2 რადიუსის საპნის ბუშტი ერთდება და წარმოიქმნის ერთ ახალ ბუშტს. იპოვეთ მისი ზედაპირული დაჭიმულობა, თუ წარმოქმნილი ბუშტის რადიუსია r , ხოლო ატმოსფერული წნევაა P_0 .

◊5.5.35. იპოვეთ m მასის დგუშის მცირე რხევების პერიოდი, რომელიც ორ l სიგრძის ნაწილად ყოფს S განივალების ფართობის ჭურჭელს. დგუშის ორივე მხარეს მოთავსებულია P_0 წნევისა და T_0 ტემპერატურის აირი. დგუშის



რხევისას ტემპერატურა არ იცვლება.

◊5.5.36. ერთი მოლი აირი მონაწილეობს პროცესში, რომლის გრაფიკიც გამოსახულია P , V დიაგრამაზე. გრაფიკის 1-2 და 3-4 უბნები წარმოადგენს მონაკვეთებს, რომელთა გაგრძელებაც კოორდინატთა სათავეში გადის, ხოლო 1-4 და 2-3 წირები იზოთერმებია. დახატეთ ამ პროცესის გრაფიკი T , V -დიაგრამაზე. იპოვეთ V_3 მოცულობა, თუ ცნობილია V_1 და $V_2 = V_4$ მოცულობები.



§ 5.6. თერმოდინამიკის პირველი კანონი. სითბოტევადობა

5.6.1. ერთი მოლეკულის საშუალო ენერგია $\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2kT}$ ფორმულით, სადაც i - მოლეკულის თავისუფლების ხარისხია, რომელიც ტოლია ნაწილაკის მდებარეობის განმსაზღვრელ კორდინატთა რიცხვის. ამ ფორმულის გამოყენებით იპოვეთ H_2 , N_2 , H_2O , CH_4 მოლეკულების საშუალო ენერგია T ტემპერატურაზე.

5.6.2. რისი ტოლია ნორმალურ პირობებში 1 სმ³ ჰაერის შინაგანი ენერგია (ჭოულებში)? 1 კგ ჰაერის?

5.6.3. ოთახში ჰაერს ათბობენ T_0 ტემპერატურიდან T ტემპერატურამდე. ამ დროს წნევა არ შეცვლილა. შეიცვალა თუ არა ჰაერის შინაგანი ენერგია ოთახში?

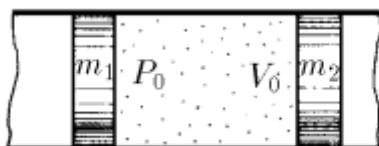
5.6.4 V_1 მოცულობის ჭურჭელში მოთავსებულია ერთატომიანი P_1 წნევის და T_1 ტემპერატურის აირი, ხოლო V_2 მოცულობის ჭურჭელში ერთატომიანი აირი P_2 წნევითა და T_2 ტემპერატურით. რა ტემპერატურა და წნევა დამყარდება ჭურჭლებში მათი შეერთების შემდეგ? ჭურჭლები თბოიზოლირებულია.

5.6.5. თბოიზოლირებულ ჭურჭელში 800 K ტემპერატურაზე მოთავსებულია 1 მოლი ნახშირორჟანგი (CO_2) და 1 მოლი წყალბადი (H_2). მიდის ქიმიური რეაქცია



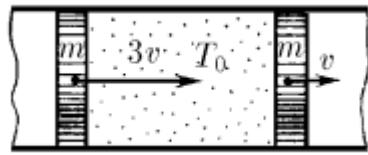
რამდენჯერ გაიზრდება წნევა ჭურჭელში რეაქციის დასრულების შემდეგ?

◊5.6.6. გრძელ გლუვ თბოიზოლირებულ მილში მოთავსებულია m_1 და m_2 მასის თბოგაუმტარი დგუშები, რომელთა შორისაც V_0 მოცულობაში მოთავსებულია P_0 წნევის ერთატომიანი აირი. დგუშებს ათავისუფლებენ. იპოვეთ მათი მაქსმალური სიჩქარეები, თუ აირის მასა გაცილებით ნაკლებია თითოეული



დგუშის მასაზე.

◊5.6.7. გრძელ თბოიზოლირებულ მილში ორი ერთნაირ m მასის დგუშს შორის მოთავსებულია 1 მოლი ერთატომიანი T_0 ტემპერატურის აირი. თავდაპირველად დგუშთა სიჩქარეები თანამიმართულია და v და $3v$ -ს ტოლია. რა მაქსიმალურ ტემპერატურამდე გათბება აირი? დგუშები სითბოს არ ატარებს. დგუშის მასასთან შედარებით აირის მასა უგულებელსაყოფად მცირეა.



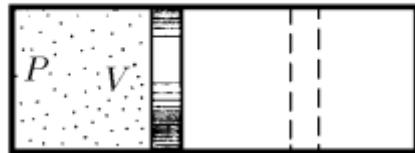
5.6.8. შეაფასეთ ტყვიის ამოფრუნის სიჩქარე ვაზნიდან, თუ მას ცეცხლში ჩავაგდებთ.

5.6.9. ახსენით, რატომ არის აირის იზოთერმული გაფართოება შესაძლებელი მხოლოდ მაშინ, როცა აირს სითბოს გადავცემით.

5.6.10. აირის მოცულობა გაიზარდა ორჯერ: ერთხელ იზოთერმულად, მეორედ იზობარულად. ამ ორი შემთხვევიდან რომლის დროს ასრულებს აირი მეტ მუშაობას?

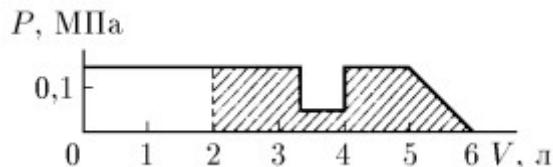
5.6.11. რატომ თბება ნასოსი, როცა ბორბალს ვბერავთ?

◊**5.6.12.** ცილინდრულ ჭურჭელში მოძრავი დგუშით ჩაკეტილია V მოცულობის და P წნევის აირი. დგუშის მეორე მხარეს ვაკუუმია. დგუშს ათავისუფლებენ. რა მუშაობას შეასრულებს აირი დგუშზე, თუკი აირის მოცულობა დგუშის გადაადგილოებისას, იზარდება ორჯერ, ხოლო მისი წნევა ამ დროს: а) რჩება მუდმივი ბ) იზრდება წრფივად მოცულობის ზრდასთან ერთად $2 P$ -მდე?

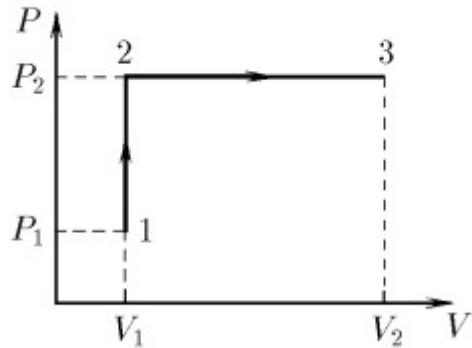


◊**5.6.13.** ნახავთ მოცემულია აირის წნევის მოცულობაზე დამოკიდებულობის გრაფიკი. გრაფიკულად იპოვეთ აირის მუშაობა 2-დან 6 ლ-მდე გაფართოებისას.

◊**5.6.14.** ერთი მოლი აირი მონაწილეობს პროცესში, რომლის გრაფიკიც



ნაჩვენებია ნახაზე და გადის მიმდევრობით 1, 2, 3 მდგომარეობას. აირის შინაგანი ენერგია ტემპერატურის პროპორციულია ($U = cT$). იპოვეთ სითბოს რაოდენობა, რომელიც აირმა შთანთქა ამ პროცესის დროს.

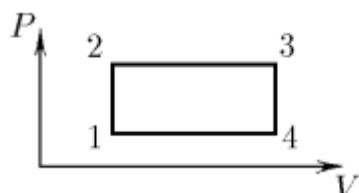


5.6.15. ჰაერი, რომელიც 2 ლ მოცულობას იკავებს 0.8 მპა წნევაზე, იზოთერმულად გააფართოვეს 10 ლ-მდე. იპოვეთ ჰაერის შესრულებული მუშაობა.

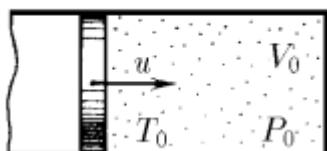
5.6.16. აირი, რომელიც იკავებს 2 ლ მოცულობას 0.1 მპა წნევის დროს, ფართოვდება იზოთერმულად 4 ლ მოცულობამდე. ამის შემდეგ, აირი იზოქორულად ცივდება, წნევის ორჯერ შემცირებით. შემდეგ აირს იზობარულად აფართოვებენ 8 ლ-მდე. იპოვეთ აირის შესრულებული მუშაობა. ააგეთ წნევის მოცულობაზე დამოკიდებულობის გრაფიკი.

5.6.17. 0 °C ტემპერატურის ერთი მოლი წყალბადი თბება მუდმივი წნევის პირობებში. რა მინიმალური სითბოს რაოდენობა უნდა მივანიჭოთ აირს, რომ მისი მოცულობა გაორმაგდეს? რა მუშაობა შესრულდება ამ დროს?

◊**5.6.18.** ერთი მოლი აირი მონაწილეობს ციკლურ პროცესში, რომლის გრაფიკი შედგება ორი იზოქორისა და ორი იზობარისაგან. ტემპერატურა 1 და 3 წერტილებში ტოლია შესაბამისად T_1 და T_3 -ის. იპოვეთ მუშაობა, რომელსაც აირი ასრულებს ერთი ციკლის განმავლობაში, თუ ცნობილია, რომ 2 და 4 წერტილები მოთავსებულია ერთ იზოთერმაზე.



◊**5.6.19.** M მასის დგუში, რომელიც ხურავს V_0 მოცულობის, P_0 წნევის და T_0 ტემპერატურის ერთატომიან აირს, მოძრაობს u სიჩქარით. იპოვეთ აირის ტემპერატურა და მოცულობა მაქსიმალური შეკუმშვისას. სისტემა თბოიზოლირებულია, ჭურჭლის და დგუშის სითბოტევადობა უგულებელსაყოფია.

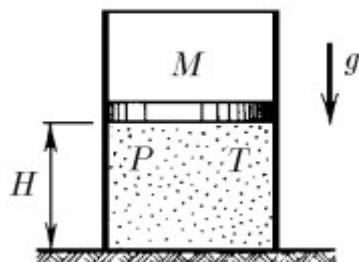


5.6.20. ცილინდრში ჰაერი შედის მუდმივი წნევის მაგისტრალიდან პნევმატური ძრავით T_1 ტემპერატურაზე. შემდეგ ცილინდრში შესულ ჰაერს მაგისტრალიდან კეტავენ. ცილინდრში დარჩენილი ჰაერი აგრძელებს დგუშის მოძრაობას და ფართოვდება სითბოცვლის გარეშე, სანამ წნევა ატმოსფერულამდე არ ჩამოვა, ხოლო ტემპერატურა — T_2 -მდე. შემდეგ დგუში უკან მოძრაობს და გახსნილი სარქველით აძევებს მთლიან ჰაერს ცილინდრიდან. ამის შემდეგ მთელი

ციკლი მეორდება. იპოვეთ ძრავის მუშაობა և მოლი შეკუმშული ჰაერის მოხმარებისას.

5.6.21. მშრალი ჰაერი გადააქვს სუსტ ქარს 1 კმ სიმაღლის გორაკებიან გადასასვლელზე. შეაფასეთ, რამდენჯერ არის ნაკლები გადასასვლელში ჰაერის ტემპერატურა მთის ძირებში ჰაერის ტემპერატურაზე.

◊5.6.22*. ამოტუმბულ გარემოში ვერტიკალურად დგას ცილინდრული ჭურჭელი, რომელიც ზევიდან დახურულია M მასის მოძრავი დგუშით. დგუშის ქვევით მოთავსებულია T ტემპერატურისა და P წნევის ერთატომიანი აირი. ცილინდრის შიდა კვეთის ფართობია S , იმ ნაწილის სიმაღლე, სადაც იმყოფება აირი H -ის ტოლია. დგუში გაათავისუფლეს და დაიწყო მოძრაობა. რისი ტოლია



დგუშის განვითარებული მაქსიმალური სიჩქარე, თუ აირი იკუმშება იზოთერმულად? ადიაბატურად?

5.6.23. ორი კომპრესორი ადიაბატურად კუმშავს ორატომიან აირს. თავიდან მუშაობს ერთი კომპრესორი, რომელიც კუმშავს აირს V_0 მოცულობიდან შეალედურ V_1 მოცულობამდე. შემდეგ შეკუმშული აირი საწყის ტემპერატურამდე ცივდება, რის შემდეგაც საქმეში ერთვება მეორე კომპრესორი და აირს V_2 მოცულობამდე კუმშავს. V_1 მოცულობის რა მნიშვნელობისთვის არის ორივე კომპრესორის სრული მუშაობა მინიმალური და რისი ტოლია ის? V_0 და V_2 მოცულობები ჩათვალეთ მოცემულად, აირის საწყისი წნევაა P_0 . რომელი კომპრესორის მუშაობაა მეტი V_1 -ის ოპტიმალურ მნიშვნელობის დროს?

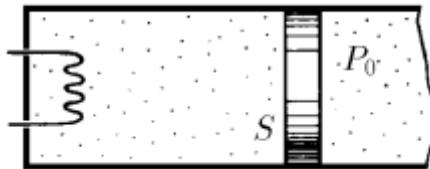
5.6.24*. ცილინდრულ ჭურჭელში მოთავსებულია 0°C ტემპერატურის 1 m^3 წყალბადი, რომელიც ზემოდან დახურულია 1t მასის და $0,5 \text{ m}^2$ განივალეთის ფართობის ადვილად მოძრავი დგუშით. ატმოსფერული წნევაა 973 gPa . სითბოს რა რაოდენობა დაგვჭირდება წყალბადის 300°C -დე გასათბობად? იპოვეთ მისი შინაგანი ენერგიის ცვლილება.

5.6.25. მუდმივი წნევისას 1 კგ უცნობი აირის 1 K -ით გახურებას სჭირდება 912 J სითბო, ხოლო მუდმივი მოცულობისას - 649 J . რომელ აირზეა საუბარი?

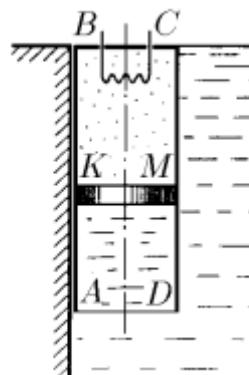
◊5.6.26*. ჰორიზონტალურად მოთავსებული ცილინდრი, რომელიც შეიცავს 1 მოლ საწყისი T_0 ტემპერატურის და P_0 წნევის აირს, დახურულია S ფართობის დგუშით. დგუშის მარჯვნივ მუდმივი ატმოსფერული P_0 წნევაა. აირი თხება სპირალით. დგუშის მოძრაობისას მასზე ცილინდრის კედლების მხრიდან

მოქმედებს F ხახუნის ძალა. სითბოს ნახევარი, რომელიც გამოიყოფა დგუშის კედელზე ხახუნით გადაეცემა აირს. აირის შინაგანი ენერგია $U=cT$. როგორა არის დამოკიდებული აირის ტემპერატურა სპირალით გადაცემულ სითბოზე? ააგეთ ამ დამოკიდებულობის გრაფიკი.

◊5.6.27. $ABCD$ ცილინდრი, რომელიც ზევიდან დახურულია და ქვემოდან ღიაა, მიმაგრებულია წყლით შევსებული ბასეინის კედელზე. ცილინდრის ზედა



$KBCM$ ნაწილში იმყოფება 1 მოლი ჰელიუმი, რომელიც დგუშითაა განცალკევებული წყლისაგან ($BK=2h$). ჰელიუმს ახურებენ სპირალში დენის გავლით. რა სითბოს რაოდენობა უნდა გადავცეთ აირს, რომ დგუში დაეშვას h

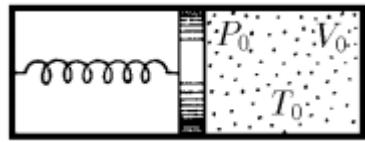


მანძილზე, $AK>h$? დგუშის მასა, ხახუნი და სითბოგამტარობა უგულებელყავით. ბასეინი განიერია. წყლის სიმკვრივეა ρ , ცილინდრის განივჯეთის ფართობია S .

5.6.28*. იპოვეთ ერთატომიანი აირის მოლური სითბოტევადობა, რომელიც ფართოვდება $PV = \text{const}$ კანონით. n -ის რა მნიშვნელობებისთვის იქნება სითბოტევადობა ნულის ტოლი? უსასრულო?

5.6.29. ცხელდება თუ ცივდება აირი, რომელიც ფართოვდება $PV = \text{const}$ კანონით?

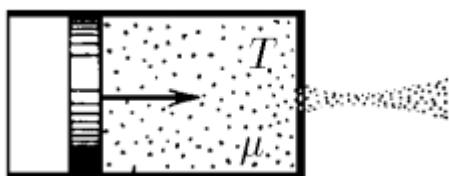
◊5.6.30*. იპოვეთ სისტემის სითბოტევადობა, რომელიც შედგება ჭურჭლის დგუშით ჩაკეტილ ერთატომიან აირისაგან (აირის პარამეტრებია P_0 , V_0 , T_0). დგუშს აკავებს ზამბარა. ზამბარის მარცხნივ ვაკუუმია. თუ აირს ამოვტუმბავთ, დგუში ჭურჭლის მარჯვენა კედელს შეეხება, ხოლო ზამბარა არადეფორმირებული იქნება. ჭურჭლის, დგუშის და ზამბარის სითბოტევადობები უგულებელყავით.



5.6.31*. ვაკუუმურ სივრცეში ვერტიკალურად დგას თავდახურული M მასის ცილინდრული ჭურჭელი. ჭურჭლის შიგნით იმყოფება P წნევის ერთატომიანი აირი. ჭურჭლის შიდა კვეთის ფართობია S , დგუში მოთავსებულია ფსკერიდან H სიმაღლეზე. დგუში გაათავისუფლეს. გაუგრძელებელი რხევების შემდეგ დგუში ჩერდება. საწყისი მდგომარეობიდან რა მანძილზე გაჩერდება დგუში, თუ აირის სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობისას გაცილებით მეტია ცილინდრისა და დგუშის სითბოტევადობებზე? სისტემა თბოიზოლირებულია.

§ 5.7. აირის გამოდინება

5.7.1. აირი ჭურჭლიდან ვაკუუმში ადიაბატურად გამოედინება პატარა ნახვრეტით. ჭურჭელში ინარჩუნებენ მუდმივ წნევას დგუშის მოძრაობით. ამავდროულად ჭურჭელში ტემპერატურა არ იცვლება, ხოლო მისი ტემპერატურა ჭურჭლის გარეთ ადიაბატური გაფართოების გამო თითქმის ნულ კელვინამდე ეცემა. ენერგიის მუდმივობის კანონის გამოყენებით, შეაფასეთ აირის ჭავლის სიჩქარე ვაკუუმში. აირის ტემპერატურა ჭურჭელში არის T , მოლური მასაა μ , მოლური სითბოტევადობა მუდმივი წნევისას არის c_p .



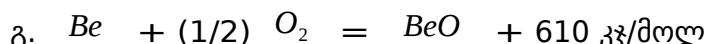
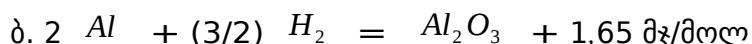
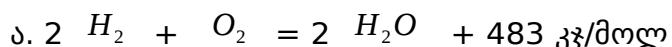
5.7.2*. იპოვეთ ორატომიანი აირების ნარევის, მოლური მასებით μ_1 და μ_2 , ადიაბატური გამოდინების სიჩქარე. პირველი აირის მოლეკულათა რიცხვი k -ზერ მეტია მეორისაზე. ნარევის ტემპერატურაა T .

5.7.3*. ექსპერიმენტატორს სჭირდება ქსენონის ატომთა კონა, რომლის სიჩქარეც 1 კმ/წმ-ია. ქსენონის ატომური მასაა 131.

ა. აირის, რომელიც ადიაბატურად გამოედინება ვაკუუმში, რა ტემპერატურისთვის შეიძლება მივიღოთ ასეთი კონა?

ბ. რა სიჩქარეს შეიძლება მიაღწიონ ქსენონის ატომებმა, წყალბადისა და მცირე ოდენობის ქსენონის ნარევის, რომელიც იმყოფება ოთახის ტემპერატურაზე, გამოდინებისას ვაკუუმში?

5.7.4. იპოვეთ რაკეტის კუდიდან გამომავალი აირის მაქსიმალური სიჩქარე, თუ რაკეტა მოძრაობს შემდეგი რეაქციის ხარჯზე:



5.7.5. ქიმიური საწვავის წვის ტემპერატურა რაკეტის ძრავში $T = 3000 \text{ K}$, წვის პროდუქტების საშუალო მოლური მასა $\mu = 30 \text{ g}/\text{მოლ}$. წვის პროდუქტები გამოედინება ადიაბატურად, მათი მოლური სითბოტევადობა $c_p = 33.4 \text{ } \text{კ}/(\text{მოლ } \text{K})$. აირის წნევა გამოსასვლელში ბევრად ნაკლებია რაკეტაში წნევაზე. გამოთვალეთ საწვავის მინიმალური მასური ხარჯი, რომელიც სჭიროა დედამიწიდან $M = 1000 \text{ t}$ მასის რაკეტის გასაშვებად.

5.7.6*. ჭურჭლის მილიდან აირი ადიაბატურად გამოედინება. აირის ტემპერატურა ჭურჭელში არის T_1 , ხოლო წნევა P_1 . მილის გამოსასვლელში წნევაა P_2 . იპოვეთ აირის ტემპერატურა მილის გამოსასვლელში. აირის მოლური მასაა μ , ადიაბატის მაჩვენებელია γ .

5.7.7*. ჰელიუმის შემცველი ბუშტიდან, 1 მპა წნევაზე, გამოედინება ჭავლი, რომელშიც აირის წნევა 0,1 მპა-ია. ბუშტში აირის ტემპერატურაა 300 K. იპოვეთ ჰელიუმის სიჩქარე და ტემპერატურა ჭავლში.

5.7.8*. ჰაერი, რომელიც შეკუმშულია დიდ ბუშტში 0°C ტემპერატურაზე , ატმოსფერული წნევისას პატარა მილიდან გამოედინება 400 მ/წმ სიჩქარით. იპოვეთ ჰაერის ტემპერატურა ჭავლში. რისი ტოლია წნევა ბუშტში?

5.7.9*. აირი, P წნევაზე და T ტემპერატურაზე, მიედინება γ სიჩქარით S განივჯეთის გლუვ მილში. როდესაც აირი გამოდის მილიდან, რომელიც მავთულიანი ბადით არის გადაკეტილი და მას უგულებელსაყოფად მცირედ ეწინააღმდეგება, ის ხურდება. აირის შეძენილი სიმძლავრეა q . იპოვეთ აირის სიჩქარე ბადის მეორე მხარეს. რისი ტოლია წნევის ძალა ბადებე? აირის მოლური მასაა μ , ადიაბატის მაჩვენებელია γ .

§ 5.8. თერმოდინამიკული მდგომარეობის ალბათობა

5.8.1. ა. გავყოთ V მოცულობის ჭურჭელი ორ 1 და 2 ნაწილებად. ვთქვათ ამ ჭურჭელში მოძრაობს ერთი მოლეკულა. დავაკვირდეთ მას τ დროის განმავლობაში. საშუალოდ ამ დროის ნახევარში მოლეკულა იმყოფება 1 ნაწილში და დროის ნახევარში 2 ნაწილში. რა დროის განმავლობაში იქნება 1 ნაწილში პირველთან ერთად მეორე მოლეკულა, თუ ჭურჭელში მოძრაობს ორი მოლეკულა?

ბ. ჭურჭელში მოძრაობს სამი მოლეკულა. რა დროის განმავლობაში იქნება ერთდროულად სამივე მოლეკულა 1 ნაწილში?

გ. ჭურჭელში მოძრაობს N ცალი მოლეკულა. რა დროის განმავლობაში იქნებიან ერთდროულად მოლეკულები 1 ნაწილში?

5.8.2. იმ დროის მონაკვეთს, რომელშიც ნაწილაკი იმყოფება რაიმე მდგომარეობაში, ხშირად უწოდებენ ამ მდგომარეობის ალბათობას.

ა. ჭურჭელში იმყოფება ორი მოლეკულა. რისი ტოლია იმის ალბათობა, რომ ორივე მოლეკულა მარცხენა ნახევარში იქნება? ნებისმიერ ნახევარში?

ბ. რისი ტოლია იმის ალბათობა, რომ მოლეკულები ჭურჭლის სხვადასხვა ნახევარში იქნებიან?

გ. ჭურჭელში იმყოფება სამი მოლეკულა. რისი ტოლია იმის ალბათობა, რომ ორი მოლეკულა იქნება ჭურჭლის მარცხენა ნახევარში და მარჯვენა ნახევარში არცერთი მოლეკულა არ იქნება?

5.8.3. V_0 მოცულობის ჭურჭელში მოთავსებულია N ცალი მოლეკულა.

ა. იპოვეთ იმის ალბათობა, რომ V მოცულობაში, რომელიც წარმოადგენს V_0 მოცულობის ნაწილს, ერთი მოლეკულაც კი არ იქნება.

ბ. რისი ტოლი უნდა იყოს ეს მოცულობა, რომ ასეთი მოვლენის ალბათობა ახლოს იყოს 10^{-2} -თან?

5.8.4* . შეაფასეთ იმის ალბათობა, რომ ჰაერის სიმკვრივე თქვენი ოთახის რომელიმე 0,1 მმ^3 მოცულობაში ორჯერ მეტი იქნება, ვიდრე ჩვეულებრივი სიმკვრივე. რისი ტოლი უნდა იყოს ამ ნაწილის მოცულობა იმისათვის, რომ ეს ალბათობა საკმაოდ დიდი იყოს?

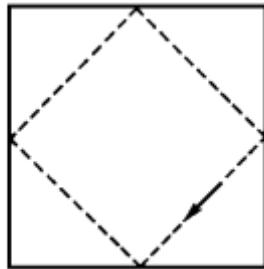
5.8.5. $a \times a \times a$ ზომის კუბის კედლებიდან დრეკადად არეკლილი ატომის ტრაექტორია წარმოადგენს კვადრატს. ატომის სიჩქარეა v .

ა. რა საშუალო სიჩქარით დაიწყებს გადაადგილებას დაჭახების წერტილი თითოეულ კედლზე, თუ კვადრატის სიბრტყეში დაჭახების კუთხეს შევცვლით $\Delta << 1$ -ით? Δ -ს რა მნიშვნელობისთვის აღმოჩება ატომის ტრაექტორია შეკრული? ღია?

იპოვეთ მანძილი ტრაექტორიის მეზობელ პარალელურ უბნებს შორის პირველ და მეორე შემთხვევაში.

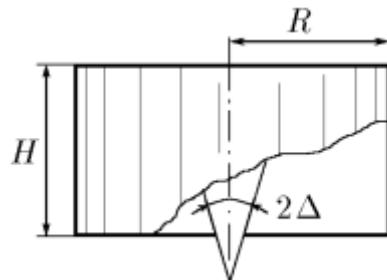
ბ. რატომ შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ატომის ტრაექტორია ჩვეულებრივ ღიაა? რისი ტოლია ატომის S ფართობის კვადრატში აღმოჩენის ალბათობა, რომელიც განთავსებულია სიბრტყეში, რომელშიც ატომი მოძრაობს ღია ტრაექტორიისას?

გ*. როგორ იმოძრავებს ატომი, თუ მის კვადრატის სიბრტყის მართობულად დაცემის კუთხეს შევცვლით $\Delta << 1$ -ით? რისი ტოლი იქნება ატომის აღმოჩენის ალბათობა, კუბის შიგნით, რომლის მოცულობაა V ?



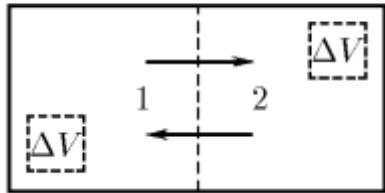
5.8.6* . ამოხსენით ამოცანა 5.8.5 იმ შემთხვევაში, როდესაც საწყისი დაცემის კუთხის ტანგენსია $1/m$, სადაც m — მთელი რიცხვია.

◊5.8.7. ატომები, რომლებსაც გააჩნიათ ერთნაირი v სიჩქარე, ერთდროულად შედიან ცილინდრში მცირე ნახვრეტიდან, რომელიც გაკეთებულია ცილინდრის ფსკერის ცენტრში. ვერტიკალთან მცირე Δ კუთხის მქონე კონუსის შიგნით სიჩქარეთა მიმართულებების განაწილება თანაბარია. კონუსი ცილინდრის თანაღერმულია. ცილინდრის რადიუსია R , მისი სიმაღლეა H . შეაფასეთ დრო, რომელშიც ატომები ცილინდრს თანაბრად გაავსებენ მათი ცილინდრის ზედაპირიდან დრეკადად არეკვლის შემთხვევაში და იმ შემთხვევაში, როცა $\tau >>$



R / v , H / v დროის შემდეგ კედელზე დაცემული ატომი ცილინდრში მოძრაობს ნებისმიერი კუთხით v სიჩქარით.

◊5.8.8*. ნაწილაკის გადასვლისას, არე 1-დან არე 2-ში, საზღვარზე სრულდება A მუშაობა. დაამტკიცეთ, რომ სიჩქარის Δv ინტერვალში ნაწილაკის ΔV მოცულობაში აღმოჩენის ალბათობა ყველგან ერთნაირია, თუ არე 1-ში ნაწილაკებს თანაბრად გავანაწილებთ სიჩქარების მიხედვით.



◊5.8.9. მოლეკულურ ფიზიკაში სისტემის მდგომარეობის ალბათობის ცოდნა საშუალებას იძლევა ამ სისტემის მომდევნო ქცევა განვსაზღვროთ.

შეგვიძლია მცირედ ალბათური მოვლენის რეალიზაცია. მაგალითად, ტიხონით ორ ტოლ ნაწილად გაყოფილი ჭურჭლის ერთ ნახევარში მოთავსებულია აირი. ტიხარს უცებ აქრობენ. რეალიზდა აირის ისეთი მდგომარეობა, რომლის ალბათობაც 2 -ის ტოლია, სადაც N — აირში ნაწილაკთა რიცხვია. ეს შედეგი შეგვიძლია 5.8.1ბ ამოცანის ამოხსნით მივიღოთ. დროის მომდევნო მომენტებში ჭურჭელში განხორციელდება სხვა მდგომარეობები. საწყის მდგომარეობაში კი, სისტემა არ დაბრუნდება, რადგან ამ მდგომარეობის ალბათობა ძალიან მცირეა! შესაბამისად, მოხდება არაშექცევადი გადასვლა ახალ უფრო ალბათურ მდგომარეობაში, მოლეკულები შეავსებენ ჭურჭლის მთლიან მოცულობას.

ეს მაგალითი გვიჩვენებს, რომ ახალი სისტემის ალბათობის ცოდნა ძალიან გამოსადეგია.

და როგორ გამოვთვალოთ სხვა სისტემების მდგომარეობების ალბათობები? არ იქნება ეს ძალგედ რთული საქმე? აღმოჩდა რომ - არა, არცისე. გამოთვლა, იმისა თუ რამდენჯერაა სისტემის ერთი მდგომარეობის ალბათობა მეორესაზე, უნდა განვახორციელოთ შემდეგნაირად. თუ ჩვენ T ტემპერატურის სისტემას, რომელიც იმყოფება მდგომარეობა 1-ში, მივანიშებთ Q სითბოს, იგი გადავა სხვა მდგომარეობაში, რომლის ალბათობაც $\exp(Q/kT)$ -ჟერ მეტია მდგომარეობა 1-ის ალბათობაზე (k — ბოლცმანის მუდმივა).

მოვიყვანოთ იმის მაგალითი, როგორ ვაწარმოოთ მსგავსი გამოთვლები. ვიპოვოთ რამდენჯერ ნაკლებია იმ მდგომარეობის ალბათობა, რომლის დროსაც აირის ყველა N მოლეკულა ჭურჭლის ერთ ნახევარშია (მდგომარეობა 1), იმ მდგომარეობის ალბათობასთან შედარებით, რომლის დროსაც მოლეკულები თანაბრად ავსებენ ჭურჭლის მთელ მოცულობას (მდგომარეობა 2). გავტიხოთ ჭურჭელი, რომელშიც იმყოფება მოლეკულები მოძრავი დგუშით. დგუშის მარჯვნივ Δ

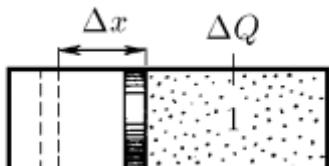
x -ით გადაადგილებისას აირი ასრულებს ΔA მუშაობას და ცივდება. იმისათვის, რომ აირის ტემპერატურა მუდმივი იყოს, ჩვენ უნდა მივაწოდოთ აირის მოლეკულებს $\Delta Q = \Delta A$ სითბოს რაოდენობა (აირში ენერგეტიკული დანაკარგების ასანაზღაურებლად). აქედან გამოდინარე, დგუშის მარჯვნივ მოძრაობისას ჩვენ T ტემპერატურის აირს გადავცემთ $Q = A$ სითბოს. იზოთერმული გაფართოებისას $A = vRT \ln(V_l / V_s)$, სადაც v — აირის რაოდენობა

(მოლებში), $R = kN$ — აირის უნივერსალური მუდმივა, N_A — ავოგადროს მუდმივა, V_s — საწყისი მოცულობა, V_l — აირის საბოლოო მოცულობა.

ჩვენს შემთხვევაში $N = vN_A$, $V_l / V_s = 2$. ამიტომ მუშაობის ფორმულა შეიძლება გადავწეროთ შემდეგნაირად $A = NkT \ln 2$. აქედან გამომდინარე, მდგომარეობა 2-ის ალბათობა $\exp(A/kT) = \exp(N/\ln 2) = 2$

-ჯერ მეტია მდგომარეობა 1-ის ალბათობაზე. ჩვენ მივიღეთ ამოცანა 5.8.1ბ-ს ამოხსნა, თერმოდინამიკური პროცესის განხილვით.

ამავე მეთოდით იპოვეთ ალბათობა იმისა, რომ V მოცულობის არეში, რომელიც წარმოადგენს V_0 -მოცულობის სივრცის ნაწილს, შეიკრიბება ამ სივრცეში მოძრავი ყველა მოლეკულა. გამოიყენეთ თერმოდინამიკური პროცესი და



ამოხსნით ამოცანა 5.8.3. შესაძლებელია თუ არა ამ მეთოდით ამოცანა 5.8.1-ის ამოხსნა?

5.8.10. რა მინიმალური მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ოთახის ტემპერატურაზე 1 კგ ქანში ოქროს კონცენტრაცია 10^{-6} -დან 10^{-2} -მდე გავზარდოთ.

5.8.11*. დაამტკიცეთ, რომ ნახევრადგანქოლად ტიხარში, რომელიც მოთავსებულია გაზავებულ ხსნარში, T ტემპერატურაზე მოქმედებს $P=nkT$ წნევა, სადაც n -ხსნარის ერთეულ მოცულობაში გაზავებულ მოლეკულათა რიცხვია. რატომ არის ეს ფორმულა სამართლიანი მხოლოდ გაზავებული ხსნარისათვის?

5.8.12*. $2V_0$ მოცულობის სივრცეში მოძრაობს $2N$ მოლეკულა. რამდენჯერაა ნაკლები V_0 – V მოცულობის უბანში N მოლეკულის აღმოჩენის ალბათობა მთელ V_0 სივრცეში N მოლეკულის აღმოჩენის ალბათობაზე?

5.8.13*. 20°C ტემპერატურის წყლიან ჭურჭელში მოათავსეს 1 გ მასის ყინული, რომელიც მოთავსებული იყო 0°C ტემპერატურის ჰერმეტულ ყუთში. იპოვეთ, რამდენჯერ აღემატება ყინულის წყლად გადაქცევის ალბათობა შებრუნებულ პროცესს - გამდნარი წყალი ყუთში უეცრად დაიწყებს სითბოს გადაცემას გარშემომყოფი წყლისთვის და გადაიქცევა ყინულად. ჭურჭელში ყინულის გადნობით ტემპერატურა თითქმის არ იცვლება.

5.8.14. თერმოდინამიკური პროცესის დახმარებით აჩვენეთ, რომ T ტემპერატურაზე: а) იდეალური აირის წნევა შემოსაზღვრულ არეში $\exp(-U/kT)$ -ჯერ ნაკლებია, ვიდრე დანარჩენ არეში, თუ ეს არე მოცილებულია დარჩენილი არისაგან ენერგეტიკული პოტენციური ბარიერით, რომელიც ყოველი აირის ნაწილიკისათვის U -ს ტოლია; ბ) გაზავებულ ნივთიერების მოლეკულათა კონცენტრაცია შემოფარგლულ არეში $\exp(-U/kT)$ -ჯერ ნაკლებია დანარჩენ არესთან შედარებით, რომელიც გამზავებელს უკავია, თუ ეს არე განცალკევებულია დანარჩენისაგან ენერგეტიკული პოტენციური ბარიერით, რომელიც თითოეული გაზავებული მოლეკულისთვის U -ს ტოლია. ამ მოლეკულების ერთმანეთთან ურთიერთქმედება უგულებელყავით.

P	$P \exp(-U/kT)$
O	U

5.8.15. თავდაპირელად დგუში ცილინდრულ ჭურჭელს ორ ტოლ ნაწილად ყოფს, რომლებმიც მოთავსებულია ერთიდაიგივე მასისა და ტემპერატურის იდეალური აირი. რეალურია თუ არა პროცესი, რომელშიც დგუშის მოძრაობისას ერთი ნახევარის ტემპერატურა გაიზრდება ორჯერ, ხოლო მეორის ორჯერ შემცირდება? დგუშის და ცილინდრის სითბოტევადობა უგულებელყავით, სისტემა იზოლირებულია.

5.8.16. პირდინამიკური იარაღი წარმოადგენს ცილინდრს, რომელიც შევსებულია ერთატომიანი აირით და დახურულია მოძრავი დგუშით. აირი ფართოვდება და აჩქარებს დგუშს. რეალურია თუ არა პროცესი, რომლის დროსაც აირის მოცულობის n -ჯერ გაზრდისას მისი ტემპერატურა მცირდება n -ჯერ? \sqrt{n} -ჯერ? სისტემა იზოლირებულია.

§ 5.9. თერმოდინამიკის მეორე კანონი

5.9.1. ორი ერთნაირი სხეული, რომლებიც სხვადასხვა ტემპარატურამდეა გაცხელებული, მოიყვანეს სითბურ კონტაქტში. სხეულთა ტემპერატურები თანაბრდება. აჩვენეთ, რომ ამ პროცესისას სისტემის ენტროპია იზრდება.

5.9.2. იპოვეთ ენტროპიის ნაზრდი 1kg -იანი ყუნულის გალღობისას.

5.9.3. რამდენჯერ გაიზრდება 1kg -იანი წყლის ენტროპია აორთქლებისას, თუ მისი საწყისი ტემპერატურაა 293 K ?

5.9.4. იპოვეთ ენტროპიის ნაზრდი წყალბადისთვის მისი გაფართოებისას V - დან $2V$ მოცულობამდე: ა) ვაკუუმში ბ) იზოთერმული პროცესისას. გაზის მასაა m .

5.9.5. იპოვეთ ენტროპიის ნაზრდი m მასის წყალბადისთვის, როდესაც იგი გადადის V_1 მოცულობიდან და T_1 ტემპერატურიდან V_2 მოცულობაში და T_2 ტემპერატურაში, თუ გაზი:

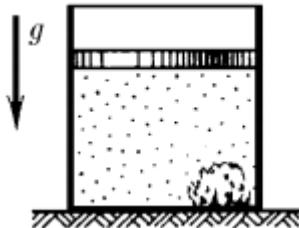
ა. ცხელდება მუდმივ V_1 მოცულობაში და შემდეგ იზოთერმულად ფართოვდება;

ბ. ფართოვდება მუდმივი T_1 ტემპერატურით V_2 მოცულობამდე და შემდეგ ცხელდება მუდმივ მოცულობაში.

გ. ადიაბატურად ფართოვდება V_2 მოცულობამდე და შემდეგ ცხელდება მუდმივ მოცულობაში.

5.9.6*. 0°C ტემპერატურისა და $0,1\text{kg}$ მასის მქონე ყინულის ნატეხს აგდებენ თბო-იზოლირებულ ჭურჭელში, რომელიც შეიცავს 2kg მასისა და 50°C ტემპერატურის ბენზოლს. იპოვეთ სისტემის ენტროპიის ნაზრდი წონასწორობის დამყარების შემდეგ. ბენზოლის კუთრი სითბოტევადობაა $1,75 \text{ к}^{\circ}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

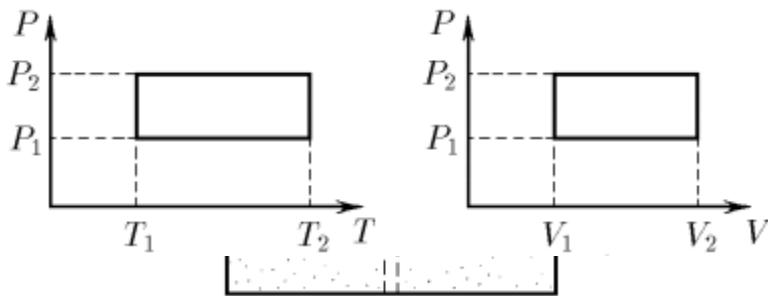
◊5.9.7*. თბოიზოლირებულ ჭურჭელში მოთავსებულია $0,5 \text{ км}^3$ ჰელიუმი და 1kg ყინული. საწყის მომენტში ყინულის ტემპერატურაა 273 K , ჰელიუმისა კი 303 K . ჭურჭელი დახურულია მოძრავი დგუშით. იპოვეთ სისტემის ენტროპიის ნაზრდი წონასწორობაში გადასვლისას.



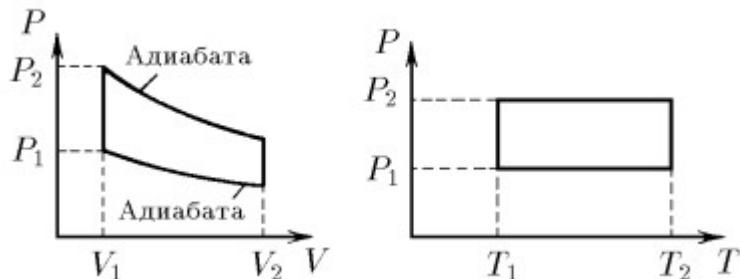
◊5.9.8. V მოცულობის ჭურჭელი ორი ტიხრით გაყოფილია ორ ერთნაირ ნაწილად, რომლებშიც განსხვავებული გაზებია. ეს ტიხრები გამტარია მხოლოდ "თავისი" გაზისთვის ჭურჭლის იმ ნაწილში, რომელსაც თითოეული მათგანი დასაწყისიდან განაცალკევებს. გაზების ზემოქმედებისგან ტიხრები ჭურჭლის კედლისკენ იწყებენ მოძრაობას. იპოვეთ ენტროპიის ნაზრდი ამ მოძრაობისას, თუ გაზების საწყისი

ნნევაა P , ტემპერატურა კი T . რატომ არის მსგავსი პროცესის განხორციელება შეუძლებელი თუ ჭურქლის ორივე მხარეს გაზები ერთნაირი იქნება ან შეუძლებელია ექსპერიმენტალური გზით ერთი გაზის მეორესგან განსხვავება (მაგალითად, წინა საუკუნეში შეუძლებელი იყო იზოტოპების ერთმანეთისგან გარჩევა)?

◊5.9.9*. სითბური მანქანა, რომლის მუშა სხეული შედგება **1მოლი** იდეალური ერთატომიანი გაზისგან, მუშაობს ჩაკეტილ ციკლებად, როგორც სურათზეა გამოსახული. იპოვეთ ერთი ციკლისთვის ენტროპიის ნაზრდი მანქანაში.



◊5.9.10*. იპოვეთ მ.ქ.კ. სურათზე გამოსახული ციკლებისთვის, თუ სითბური



მანქანის მუშა სხეულს წარმოადგენს ერთატომიანი იდეალური გაზი.

5.9.11. არსებობს თუ არა ციკლური პროცესი, რომლის დროსაც მთელი სითბო, რომელიც სხეულმა გაცხელებისას მიიღო, სრულიად გარდაიქმნება მუშაობაში?

5.9.12. პრაქტიკულად შესაძლებელია თუ არა, რომ გაზის მთლიანი შინაგანი ენერგია მექანიკურ მუშაობად გარდაიქმნეს?

5.9.13. ორთქლზე მომუშავე მანქანა, რომლის სიმძლავრეა $14,7 \text{ кВტ}$, ერთი საათის მუშაობის განმავლობაში ხარჯავს $8,1 \text{ кგ}$ ნახშირს, რომლის წვის კუთრი სითბოა $3,3 \cdot 10^7 \text{ кг/кგ}$. ღუმელის ტემპერატურაა 200°C , ხოლო მაცივრისა კი 58°C . იპოვეთ ამ მანქანის მ.ქ.კ. და შეადარეთ იგი იდეალური სითბური მანქანის მ.ქ.კ.-ს.

5.9.14. აჩვენეთ, რომ სითბური მანქანის მ.ქ.კ. ციკლური პროცესისას მაქსიმალურია მაშინ, როდესაც სისტემის ენტროპია უცვლელია.

5.9.15. რატომ მცირდება მკვეთრად შიგაწვის ძრავის მ.ქ.კ. დეტონაციისას (ცხელი ნარევის აფეთქებისას, რომელიც იწვის)?

5.9.16. ოკეანეში მყოფ ნავზე დევს 1 кგ მასის ყინულის ნატეხი, რომლის ტემპერატურაა 0°C . განსაზღვრეთ მაქსიმალური მუშაობა, რომელიც შეიძლება შესრულდეს ყინულის დნობის პროცესისას. წყლის ტემპერატურაა 27°C .

5.9.17. რა მუშაობის შესრულებაა შესაძლებელი 1 кг^3 მოცულობის მქონე, მაცივრის როლის შემსრულებელი აისბერგისა და გამაცხელებელის როლის შემსრულებელი ოკეანის დახმარებით? რა დრო დასჭირდება ზაჰესის პიდროელექტროსადგურს იგივე ენერგიის გამომუშავებისთვის? ზაჰესის პიდროელექტროსადგურის სიმძლავრეა 6 ГВт .

5.9.18*. გაცხელებული სხეული, რომლის საწყისი ტემპერატურაა T , გამოიყენება როგორც გამაცხელებელი, სითბურ მანქანაში. სხეულის სითბოტევადობა არაა დამოკიდებული ტემპერატურაზე და C -ს ტოლია. მაცივრის როლშია უსაზღვრო გარემო, რომლის ტემპერატურა მუდმივია და T_0 -ის ტოლია. იპოვეთ მაქსიმალური მუშაობა, რომელიც შესაძლებელია მივიღოთ სხეულის გაცივებით.

5.9.19*. მოცემულია ორი სხეული, T_1 და T_2 საწყისი ტემპერატურებით და C_1 და C_2 სითბოტევადობებით, რომლებიც ტემპერატურაზე არ არის დამოკიდებული. სითბური მანქანისთვის ერთი სხეული გამოიყენება როგორც გამაცხელებელი, ხოლო მეორე - როგორც მაცივარი. იპოვეთ მაქსიმალური მუშაობა, რომელიც შეიძლება მივიღოთ ამ გზით. მიიღოთ რიცხვითი შედეგი იმ შემთხვევისთვის, როდესაც პირველი სხეული 1 кг მდუღარე წყალია, ხოლო მეორე სხეული 1 кг წყალია 0°C ტემპერატურაზე.

5.9.20. როგორ შეიცვლება ოთახში ტემპერატურა, თუ ჩართული მაცივრის კარს ღიას დავტოვებთ?

5.9.21. იდეალური სითბური მანქანა, რომლის მ.ქ.კ. η -ს ტოლია, მუშაობს შებრუნებულ ციკლში. რა მაქსიმალური რაოდენობის სითბო შეიძლება წავიღოთ მაცივრიდან A მექანიკური მუშაობის შესრულებით?

5.9.22. აბსოლუტური სითბოიზოლირება შეუძლებელია. ერთი შეხედვით, $0,1\text{ кг}$ სითბური სიმძლავრე, რომელიც არაიდეალური სითბოიზოლირების გამო მაცივრის კამერაში შედის, უგულებელსაყოფად მცირე ჩანს. იანგარიშეთ მინიმალური სომძლავრე, რომელიც უნდა დაიხარჯოს ამ შემთხვევაში, რომ კამერაში შენარჩუნდეს 10^{-4} K ტემპერატურა, თუ გარემოს ტემპერატურაა 20°C . ჩატარეთ ანალოგიური გამოთვლები საყოფაცხოვრებო მაცივრისთვის, რომლის კამერაშიც უნდა შენარჩუნდეს -13°C ტემპერატურა (რეკორდულად დაბალი ტემპერატურების მისაღებად არსებულ დანადგარებში ასეთი “პარაზიტული” შემოდინების სიმძლავრის $0,01\text{ кг}$ -მდე (და უფრო ქვევით) შემცირებაა შესაძლებელი).

5.9.23. იდეალური სითბური მანქანა, რომელიც შებრუნებულ ციკლში მუშაობს, 0°C ტემპერატურის წყლიანი მაცივრიდან მაღუღარას გადასცემს სითბოს, სადაც 100°C ტემპერატურის მქონე წყალია. რა რაოდენობის წყალი უნდა გავყინოთ მაცივარში, რომ მაღუღარაში 1 кг წყალი აორთქლდეს?

5.9.24*. 1 кг ელექტროქურის გამოყენებით, ოთახში შენარჩუნებულია 17°C ტემპერატურა, როდესაც ოთახის გარეთ აირის ტემპერატურაა -23°C . რა სიმძლავრის დახარჯვა დაგვჭირდება ოთახში იგივე ტემპერატურის შესანარჩუნებლად, თუ იდეალურ სითბურ მანქანას გამოვიყენებთ?

5.9.25*. რა მინიმალური მუშაობა დაიხარჯება 1კგ წყლის გასაყინად, რომელიც იმყოფება 300 K ტემპერატურის მქონე გარემოში?

5.9.26. ცნობილია, რომ წყალში რამდენიმე ნივთიერების (მაგ: გიპოსულფიტი) გახსნისას, ნარევის ტემპერატურა მცირდება. მაცივრის როლში ამ ნარევის გამოყენებით, და გამაცხელებლის როლში გარემოს გამოყენებით, ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ რაღაც სიდიდის მუშაობა. ამის შემდეგ კი, როცა ნარევი გაშრება, გავიმეოროთ ციკლი. მივიღებთ თუ არა ასეთი გზით მეორე სახის მედმივ ძრავას?

§ 5.10. ფაზური გადასვლები

5.10.1. ქვაბში ჩაასხეს ცივი წყალი (ტემპერატურა 10°C) და დადგეს ჰლიტაზე. ათი წელის შემდეგ წყალი ადუღდა. რა დროის შემდეგ აორთქლდება წყალი მთლიანად?

5.10.2. შეუძლიათ თუ არა ეკვატორზე სინათლის სხივებს ერთ მზისმიერ დღეში 1 მ სისქის თოვლის საფარის გადნობა? მზის ენერგიის მაქსიმალური ნაკადის სიმკვრივე ახლოსაა 1 კვტ/ m^2 _ თან, ხოლო არეკვლის კოეფიციენტი - 0,9_თან.

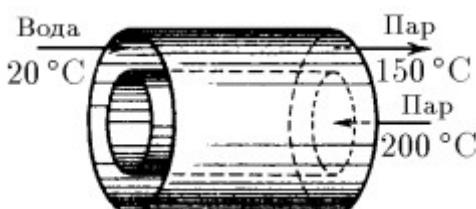
5.10.3. რატომ დუღდება წყალი სახურავიან ჭურქელში უფრო მაღე ვიდრე ღიაში?

5.10.4. ცილინდრულ ჭიქაში, 1 კვტ სითბური სიმძლავრის მიწოდებისას, დნება ყინული. ჭიქის დიამეტრია 10 cm . განსაზღვრეთ, როგორ შეიცვლება ყინულისა და წყლის ნარევის წნევა ჭიქის ფსკერზე ყინულის დნობის გამო.

5.10.5. კოლბაში წყალი იყო 0°C _ ზე. ორთქლის ამოქანვით მთლიანი წყალი გაიყინა . წყლის რა ნაწილი აორთქლდა?

5.10.6. 100 გ წყალში 10°C ტემპერატურაზე ჩაშვებულია 40 გ ყინული, რომელსაც აქვს 10°C ტემპერატურა. წყლისა და ყინულის რა თანაფარდობისთვის იქნება სისტემა სითბურ წონასწორობაში, თუ ის სითბოიზოლირებულია? ყინულის კუთრი სითბოტევადობაა $2,5 \frac{\text{კ}}{\text{კ}}$.

5.10.7. სითბომცვლელი შედგება ორი გრძელი კოაქსიალური მილისგან. შიდა მილში ნელა უშვებენ წყლის ორთქლს, საწყისი ტემპერატურით 200°C . გარე მილში დინების საწინააღმდეგოდ 20°C ტემპერატურაზე ერთეულ დროში დგება $0,1$ კგ წყალი. წყალი გამოდის საწინააღმდეგო მხარეს ორთქლის სახით, რომლის ტემპერატურაა 150°C . ორთქლის რა მასა ჩადგება ერთეულ დროში



სითბომცვლელის გარე მილში? მილებში წნევა ატმოსფერულია.

5.10.8*. შეაფასეთ ყინულის სისქე, რომელიც წარმოიქმნება ერთი დღის განმავლობაში ტბის ზედაპირზე ჰაერის -10°C ტემპერატურის პირობებში. ყინულის სითბოგამტარობაა $2,2 \frac{\text{ვტ}}{(\text{მK})}$, მისი სიმკვრივეა $0,9 \cdot 10^3 \frac{\text{კგ}}{\text{m}^3}$.

5.10.9. ა. რატომ ცხელდება ქვაბი მხოლოდ მას შემდეგ, რაც წყალი ადუღდება? ბ. შესაძლებელია თუ არა წყლის ადუღდება ქაღალდის ჭიქაში?

5.10.10. მძიმე ნახშირბადის მჟავა, თავისი დაბალი ტემპერატურის მიუხედავად, შესაძლებელია საშიშროების გარეშე განთავსდეს ტყავზე ...მაგრამ თუ ყინულისშემცველ მჟავის ნაჭერს გავჭიმავთ თითებს შორის, მაშინ ძლიერად გაიყინება. ახსენით ეს მოვლენა.

5.10.11. წყლის წვეთები გავარვარებულ პლიტაზე ხშირად <<ცხოვრობენ>> მეტი დროის განმავლობაში, ვიდრე უბრალოდ ცხელზე. რატომ?

5.10.12. რატომ ნარჩუნდება დიუარის ჭურჭელში თხევად აირის ძალიან დაბალი ტემპერატურა (81 K) და მძიმე ნახშირბადის მჟავის დაბალი ტემპერატურა ცხელ ზაფხულის დღეს ნაყინის გამყიდველის ყეთში? რატომ არ დნება მძიმე ნახშირბადის მჟავა ისე როგორც ყინული?

5.10.13. თრთვილი ხეებზე ზოგჯერ ქარისა და დათბობის გარეშე ქრება. ახსენით როგორ ხდება ეს.

5.10.14. 1 კვტ სიმძლავრის ელექტრულ პლიტაზე ჩაინიკში დუღდება წყალი. იპოვეთ ჩაინიკის ცხვირიდან ორთქლის გამოსვლის სიჩქარე, თუ ორთქლს ჩავთვლით იდეალურ აირად. ცხვირის ბოლოში წნევაა $1\text{ A}\text{ტ}$, ცხვირის განივალებია $1\text{ s } \mathcal{J}^2$. ჩათვალეთ, რომ პლიტის მთლიანი მასა გადაეცემა წყალს.

5.10.15*. ჭიქაში ჩასხმულია ორი სითხე, რომლებიც ერთმანეთს არ ერევა: ოთხქლორიანი ნახშირბადი (CCl_4) და წყალი. ნორმალური ატმოსფერული წნევისას CCl_4 დუღდება $76,7^\circ\text{C}$ - ზე, ხოლო წყალი 100°C - ზე. ჭიქის თანაბრად გაცხელებისას ნარევთან ერთად წყლიან ნაწილში სითხეების გამყოფ საზღვარზე აორთქლება იწყება $65,5^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე. განსაზღვრეთ რომელი სითხე აორთქლდება უფრო მაღალი (მასის მიხედვით) ასეთი <<მოსაზღვრე>> აორთქლებისას და რამდენჯერ. წყლის ნაჭერი ორთქლის წნევა $65,5^\circ\text{C}$ - ზე არის $25,6$ კპა.

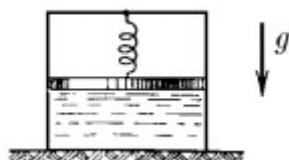
5.10.16. რატომ ახურებენ ორთქლს ზედმეტად ორთქლის მაღალარაში?

5.10.17. შეიძლება თუ არა წყლის შემწვევი ნასოსით ავიღოთ აორთქლებული წყალი?

5.10.18. კრიტიკული ტემპერატურისას ნებისმიერი სითხის ორთქლის წარმოქმნის სითბო უდრის ნულს. რატომ?

5.10.19. ქუჩაში მოდის ცივი შემოდგომის წვიმა. სამზარეულოში გაფინეს ბევრი გარეცხილი თეთრეული. მაღალი გამრება თუ არა თეთერეული ფანჯრის გაღების შემდეგ?

◊5.10.20. $20\text{ s } \mathcal{J}^2$ განივალების ცილინდრი გაყოფილია 5 კგ მასის ცილინდრით ორ ნაწილად. მის ქვედა ნაწილში თავდაპირველად იმყოფება წყალი, ხოლო ზედა ნაწილი ამოტუმბულია. დგუში შეერთებულია ცილინდრთან 15 N/m სიხისტის გამბარით. თავიდან ზამბარა არ არის დეფორმირებული. განსაზღვრეთ წარმოქმნილი ორთქლის მასა წყლის გაცხელებისას 0°C - დან 100°C - მდე. ხახუნი



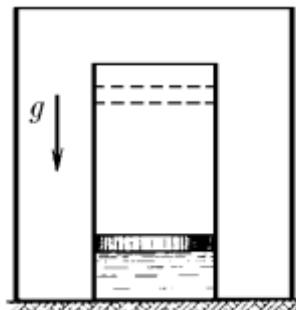
შეგიძლიათ უგულებელყოთ.

5.10.21. ცილინდრში, დახურული დგუშით, 20°C - ზე იმყოფება ჰაერი, ხოლო ცილინდრის ფსკერზე - წყლის ამადუღებელი. რისი ტოლი იქნება წნევა ცილინდრში დგუშის ქვეშ მოცულუბის იზოთერმული შემცირებისას ორჯერ? რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ ამისთვის? საწყისი მოცულობაა $0,5\text{ }\mathcal{J}^3$, ნაჭერი ორთქლის წნევა 20°C ტემპერატურაზე არის $1,73$ კპა. საწყისი წნევაა $101,3$ კპა.

5.10.22. მყარად დახურულ ჭურქელში იმყოფება აზოტი 300 K ტემპერატურაზე და P_0 წნევაზე. ჭურქელში ასხავენ რაღაც რაოდენობის გამტვერატურაზე თხევად აზოტს დუღილის ტემპერატურით 77,3 K, რომელიც ჩქარა ორთქლდება. გარკვეული დროის შემდეგ, როცა ტემპერატურა საწყისის ტოლი ხდება, ჭურქელში მყარდება $2 P_0$ წნევა. განსაზღვრეთ, ჩასხმის შემდეგ რა იყო აზოტის მინიმალური წნევა. აზოტის მოლური სითბოა $5,53 \text{ კგ/მოლი}$.

5.10.23. საკმარისად ამოტუმბულ, დგუშით დახურულ დიდ ცილინდრში, მოთავსებულია მცირე რაოდენობის წყალი ყინულით. ყინულის მასაა m , ტემპერატურაა 0°C , ნაკერი ორთქლის წნევა $0^\circ\text{C} - \theta$ უდრის P - ს. რამდენჯერ უნდა შევცვალოთ დგუშის დახმარებით გადაკეტილი მოცულობა, რომ ყინულის წონა დადნეს? რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ ამ დროს? ორთქლადეცევის კუთრი სითბოა q , ყინულის დნობის კუთრი სითბოა λ , წყლის მოლეკულური მასაა μ .

◊5.10.24*. $100 \text{ s } \partial^2$ განივივეთის ცილინდრი დგას ჭურქელში ვერტიკალურად, რომლიდანაც ამოტუმბულია ჰაერი. ცილინდრს კეტავს მოძრავი დგუში, რომლის ქვემოთ იმყოფება $100 \text{ s } \partial^3$ წყალი. წყალს და ცილინდრს



დგუშთან ერთად აქვთ 100°C ტემპერატურა. დგუშს ათავისუფლებენ. როცა ის გაჩერდა, აღმოჩნდა, რომ მის ქვეშ იმყოფება 0°C ტემპერატურის ყინული და წყლის ორთქლი. ნაკერი ორთქლის წნევა ყინულის ქვემოთ $0^\circ\text{C} - \theta$ უდრის $610 \text{ პა} - \text{ს. მთლიანი სისტემა თბოიზოლირებულია გარემოსგან. ცილინდრის სითბოტევადობა დგუშთან ერთად არის } 42 \text{ კგ/K. რა სიმაღლეზე ავიდა დგუში?}$

5.10.25. -4°C ტემპერატურამდე გაციებული წყლის რა ნაწილი გაიყინება, თუ მასში ჩავაგდებთ ყინულის ნატეხს და კრისტალიზაციას გამოვიწვევთ?

5.10.26. ყინული 0°C ტემპერატურაზე მოთავსებულია სითბოგამტარ გარსში და განიცდის 100 მპა წნევის დაწოლას. ყინულის რა ნაწილი გადნა, თუ წნევის $13,8$ მპა_ით გაზრდისას ყინულის დნობის ტემპერატურა შემცირდა 1°C _ით? ყინულის კუთრისითბოტევადობაა $2,5 \text{ კგ/(კგK)}$.

5.10.27. ა. რამდენჯერ არის ნაკლები სითხის ზედაპირის ზემოთ ნაკერი ორთქლის წნევა, რომელიც კაპილარში ჩამოავარება ასული, ბრტყელი ზედაპირის ქვეშ ნაკერ ორთქლის წნევაზე? სითხის მოლეკულური მასაა m , ტემპერატურაა T . განსაზღვრეთ წნევების ფარდობა r სიმრუდის რადიუსის მქონე წყალზე. წყლის ზედაპირული სიძვრივეა σ და სითხის სიძვრივეა ρ .

ბ. ჩაკეტილ ჭურჭელში ოთახის ტემპერატურაზე ორი წყლის წვეთი იმყოფება წონასწორობაში, რომელთა რადიუსებია $r_1=1\text{ mm}$ და $r_2=1,1$ მმ. როგორ განსხვავდება სიმაღლეები, რომელზეც ისინი იმყოფებიან?

5.10.28. ტენიანი ჰაერი, რომელიც გადააქვს ქარს წყნარი ოკეანის სანაპიროდან, ადის კორდიელერების მთაზე, ფართოვდება და ცივდება. ამ დროს ჰაერის შემაღენელი წყლის ორთქლი ნალექის სახით ეშვება. შეაფასეთ რამდენჯერ განსხვავდება ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელობები მთის ძირებთან, თუ მისი



ტენიანობა ძირთან არის $\varphi=60^\circ$, ხოლო ტემპერატურაა $t_1 = 25^\circ\text{C}$. ამ ტემპერატურაზე წყლის ნაკერი ორთქლის წნევაა $P_6=34\text{ kPa}$. წყლის აორთქლების კუთრი სითბოა $\lambda=2,5 \cdot 10^6$ კ/გ. ატმოსფერული წნევა მთის ძირთან არის $P=10^5$ პა.

5.10.29. ნაკერი ორთქლის წნევა მყარ სხეულზე არის P , როგორ შეიცვლება წნევა ამ სხეულის ზედაპირზე, თუ ორთქლს მთლიანად ამოვტუმბავთ, ხოლო სხეულის ტემპერატურას უცვლელს დავტოვებთ?

5.10.30. ამოტუმბული R რადიუსის ჭურჭლის ცენტრში მოთავსებულია r რადიუსის თხევადი წვეთი. ჭურჭლის კედლები მთლიანად შთანთქავენ წვეთიდან აორთქლებულ წყალს. ჭურჭლის კედლებზე წნევაა P_0 . განსაზღვრეთ წნევა წვეთის ზედაპირზე.

5.10.31*. ამოტუმბულ ჭურჭელში (იხ. ამოცანა 5.10.30) წვეთიდან L მანძილზე დადეს სხვა ჭურჭელი პატარა ნახვრეტით, რომელიც ამ წვეთისკენაა მოტრიალებული. წყლის ორთქლის რა წნევა დამყარდება პატარა ნახვრეტიან ჭურჭელში?

5.10.32. ა. რამდენჯერ გაიზრდება მყარი სხეულის აორთქლების სიჩქარე ვაკუუმში ტემპერატურის n კერ გაზრდისას, თუ ნაკერი ორთქლის წნევა ამ დროს გაიზარდა m კერ?

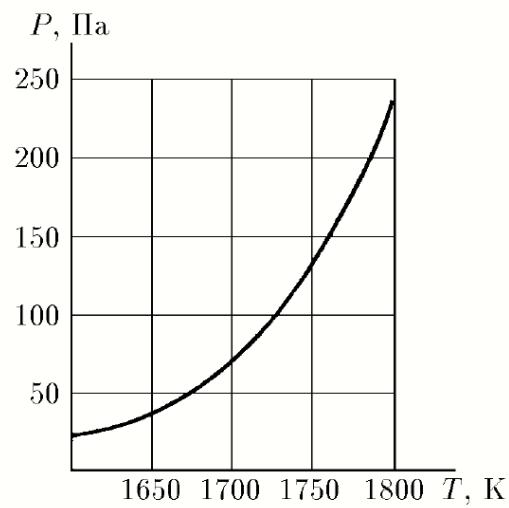
ბ. მყარის სხეულის ტემპერატურის 300 K -დან 600 K მდე გაზრდისას მისი აორთქლების სიჩქარე 141 _m კერ გაიზარდა. ნაკერი ორთქლის წნევა 300 K -ის დროს არის P_0 . განსაზღვრეთ ნაკერი ორთქლის წნევა 600 K -ის დროს.

5.10.33. განსაზღვრეთ წყლის რაკეტის მაქსიმალური აჩქარება, რომლიც გამოწეულია წყლის აორთქლებით 100°C ტემპერატურაზე. რაკეტის მასაა 50 t , აორთქლების ფართობია 1 m^2 .

5.10.34. შეაფასეთ აორთქლების მაქსიმალური სიჩქარე ყინულის $1\text{ }^\circ\text{C}$ ფართობიდან $^\circ\text{C}_8$ და წყლის ზედაპირიდან $100\text{ }^\circ\text{C}_8$.

5.10.35*. აორთქლებადი ალუმინის 2 მმ დიამეტრის ბურთი 1 წუთის განმავლობაში, ბურთის მხარეს მობრუნებულ ცივ ბრტყელ ზედაპირზე, ქმნის

ალუმინის 1 მკმ სისქის აფსკს. ალუმინის სიმკვრივეა $2,6 \text{ г/с} \cdot \text{д}^3$, აფსკი იმყოფება ბურთიდან 1 სმ მანძილზე. შეაფასეთ ალუმინის ბურთის ტემპერატურა ნახატის გამოყენებით, რომელზეც გამოსახულია ალუმინის ნაკერი ორთქლის წნევის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება.



§ 5.11. სითბური გამოსხივება

5.11.1. T ტემპერატურამდე გახურებული სხეული, მისი ზედაპირის ერთეულოვანი ფართობიდან ერთეულოვან დროში ასხივებს ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე), რომელიც პროპორციულია ტემპერატურის მეოთხე ხარისხის: $\varphi = \varepsilon \sigma T^4$, სადაც $\varepsilon < 1$ -სხეულის სიშავის ხარისხია, $\sigma = 5,672 \cdot 10^{-8}$ $\text{ვტ}/(\text{მ}^2 \cdot \text{K}^4)$ -სტეფან-ბოლცმანის მუდმივა, T - ტემპერატურა.

ა. შეაფასეთ, რამდენ სითბურ ენერგიას ასხივებს თქვენი სხეული ერთეულ დროში. სიშავის ხარისხი $0,3$ -ის ტოლად ჩათვალეთ.

ბ. მზე ასხივებს როგორც 6300 K ტემპერატურის აბსოლიტურად შავი სხეული. იპოვეთ, რისი ტოლია ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე მზის ზედაპირიდან.

5.11.2. შეაფასეთ $0,5$ კვტ სიძლავრის ელექტროლუმელის სპირალის და ასევე 150 ვტ ელექტრონათურის ძაფის ტემპერატურა. ჩათვალეთ, რომ სითბო მხოლოდ გამოსხივებით გადაეცემა.

5.11.3*. იპოვეთ სითბური გამოსხივების ენერგიის სიმკვრივე T ტემპერატურის სხეულის სიღრუეში. სინათლის სიჩქარეა $3 \times 10^8 \text{ M}/\text{წმ}$.

5.11.4. ორი სხეულის სითბური წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე, რომლებიც ერთმანეთთან მხოლოდ სითბური გამოსხივებით ცვლიან ენერგიას, დაამტკიცეთ, რომ სხეულის სიშავის ხარისხი ტოლია გამოსხივების შთანთქმის კოეფიციენტის.

5.11.5. ა. „რკინის ნატეხის გახურებისას, 800°C -ზე შევამჩნევთ მკვეთრ წითელ-ალუბლისფერ ნათებას, მაგრამ დამდნარი კვარცის გამჭვირვალე ჩინირი ამ ტემპერატურაზე საერთოდ არ ანათებს“ (გ.ს. ლანდსბერგი, ოპტიკა, 1976) ახსენით ეს ეფექტი.

ბ. რატომ ჩანს, გახურებულ ნახშირში, ცარცი მუქი?

5.11.6*. ა. განსაზღვრეთ მეტალის ბურთის ტემპერატურა, რომელიც მოთავსებულია T_0 ტემპერატურის შავი ბრტყელი ზედაპირის მახლობლად.

ბ. იპოვეთ ბურთის ტემპერატურა, რომელიც მოთავსებულია T_1 და T_2 ტემპერატურის შავ ფირფიტებს შორის.

5.11.7. ა. R რადიუსის ბურთი გახურებულია T_0 ტემპერატურამდე. ბურთის სიშავის ხარისხია ε . იპოვეთ სფერული მტვრის ნაწილაკის ტემპერატურა, რომელიც ბურთის ცენტრიდან L მანძილზეა მოთავსებული.

ბ. შეაფასეთ ენერგიის სიმკვრივე, რომელიც მოდის მზიდან დედამიწაზე, თუ დედამიწის ზედაპირის საშუალო ტემპერატურაა 20°C .

5.11.8. მზიდან მანძილი პლანეტებამდე - დედამიწა, მერკური, ვენერა და მარსი - შესაბამისად არის $1,5 \cdot 10^8$; $5,8 \cdot 10^7$; $1,1 \cdot 10^8$ და $2,3 \cdot 10^8 \text{ კმ}$. დედამიწის საშუალო ტემპერატურაა 20°C .

ა. შეაფასეთ მერკურის, მარსისა და ვენერას ზედაპირის საშუალო ტემპერატურა.

ბ. შეაფასეთ ენერგიის ნაკადი მზის ზედაპირთან.

გ. შეაფასეთ მთვარის ზედაპირის ტემპერატურა, როდესაც მზის სხივი მისი

გედაპირის მართობულია. რატომ არ დაიკვირვება იგივე პირობების დროს ასეთი ტემპერატურა დედამიწის ზედაპირზე?

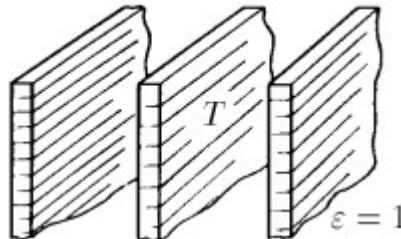
5.11.9. ვარსკლავებიანი ცის გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივე დაახლოებით $2 \cdot 10^{-6}$ ვტ/მ²-ია. შეაფასეთ, ამ სიდიდის გამოყენებით, შიდაგალაქტიკური მტვრის ტემპერატურა.

5.11.10. რა ტემპერატურა დამყარდება სფერული თანამგზავრის შიგნით, რომელიც ბრუნავს დედამიწის გარშემო და მუდმივად ნათდება მზით? თანამგზავრს არ გააჩნია არანაირი შიდა ენერგიის წყარო.

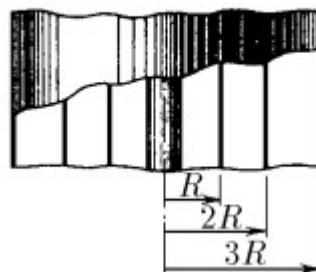
5.11.11*. იპოვეთ სითბური ნაკადი (სითბური სიმძლავრე), რომელიც გადაეცემა ერთი პარალელური ფირფიტიდან მეორეს, თუ ფირფიტის ტემპერატურაა T_1 და T_2 , ხოლო სიშავის ხარისხი შესაბამისად ε_1 და ε_2 . თითოეული ფირფიტის ფართობია S , ფირფიტებს შორის ნაპრალი ბევრად ნაკლებია მათ ზომებზე.

◊5.11.12. შეა გახურებული ფირფიტის T ტემპერატურას მუდმივს ინარჩუნებენ.

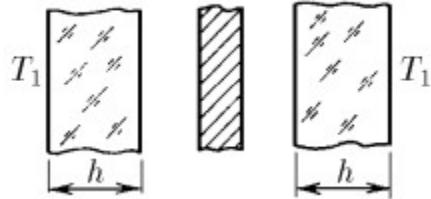
- ა. რისი ტოლია გარე ეკრანირებული ფირფიტების ტემპერატურა?
- ბ. რამდენი ეკრანირებული ფირფიტა უნდა დავდგათ შეა ფირფიტის ორივე მხარეს, რომ გარე ეკრანირებული ფირფიტების ტემპერატურა $T/2$ -მდე შემცირდეს?



◊5.11.13*. r რადიუსის ნათურის ძაფი ეკრარინებულია სამი ცილინდრით, რადიუსებით: R , $2R$ და $3R$. ძაფის ტემპერატურაა T_0 . იპოვეთ გარე ეკრანის ტემპერატურა. ეკრანის და ძაფის ნივთიერება ერთნაირია, სიმუქის ხარისხი $R = 1$.



◊5.11.14*. ვაკუუმ კამერაში მოთავსებულია გახურებული მეტალის სიბრტყე, რომელიც ორი მხრიდან ეკრანირებულია h სისქის მეტალური ფირფიტებით. ფირფიტების სიმუქის ხარისხი ერთნაირია და R -ის ტოლია, ფირფიტათა სითბოგამტარობაა k . გარე ზედაპირების ტემპერატურაა T_1 , ხოლო ვაკუუმ კამერის ტემპერატურაა T_2 . იპოვეთ შეა მეტალური სიბრტყის ტემპერატურა.



5.11.15. ფოტონის ენერგია E უკავშირდება მის იმპულს P -ს შემდეგნაირად $p=E/c$, სადაც c -ფოტონის სიჩქარეა, რომელიც თავისთავად სინათლის სიჩქარის ტოლია. დაამტკიცეთ, რომ ფოტონური აირის P წნევა ენერგიის სიმკვრივეს უკავშირდება შემდეგნაირად $P=w/3$.

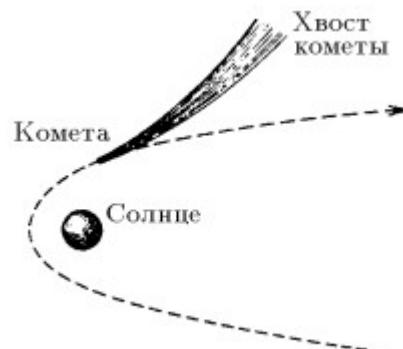
5.11.16. კოსმოსური იახტა წარმოადგენს რაღაცაგვარ სფეროს, რომლის გარეზედაპირიც წარმოადგენს უჩვეულოდ თხელ და მსუბუქ იალქანს, გადაადგილდება სივრცეში სინათლის სხივების წნევის ჩაქრით. თუ ამ ხომალდს მოვათავსებთ ვარსკლავთან და თავის ნებაზე მივუშვებთ იგი ვარსკლავიდან სწორი ხაზის გასწვრივ შორს გაიქცევა.

ა. რა მაქსიმალური აჩქარება შეიძლება განავითაროს ამ ხომალდმა, თუ მას მოვათავსებთ ვარსკლავიდან R მანძილზე, ვარსკლავის მიერ გამოსხივებული ნაკადია Φ , იალქნის ფართობია S , იახტის მასაა m .

ბ*. რა სიჩქარეს შეიძენდა იახტა, თუ ის გადაადგილდებოდა R_1 რადიუსიდან R_2 -ზე? იალქანი აბსოლიტურად ირეკლავს სინათლეს.

◊5.11.17. ა. ახსენით სურათზე გამოსახული კომეტის კუდის ფორმა. წყვეტილი ხაზი მისი ტრაექტორიაა.

ბ. შეაფასეთ ალუმინის მტვრის ნაწილაკების მაქსიმალური ზომა, რომლებიც კოსმოსურ სივრცეში მზეს დაშორდებოდნენ.



თავი 6

ელექტროსტატიკა

§ 6.1. კულონის კანონი. ელექტრული ველის დაძაბულობა

6.1.1. ა) იპოვეთ 1 კმ-ით დაშორებულ 1 და 2 კ მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალა;

ბ) რა ძალით ურთიერთქმედებს 10^{-8} სმ-ით დაშორებული ელექტრონები ერთმანეთზე? რამდენჯერ აღემატება ეს ძალა მათ შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალას?

6.1.2. 1 მ-ით დაშორებულ ერთნაირი სიდიდის ორ მუხტს შორის ურთიერთქმედების ძალა 1 ნ-ია. განსაზღვრეთ ეს მუხტები.

6.1.3. ა) 1კ მუხტებ მოქმედებს 16 ძალა. რას უდრის ამ მუხტებ მოქმედი ელექტრული ველის დაძაბულობა ?

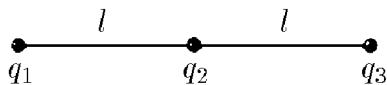
ბ) 10CGS მუხტებ მოქმედი ძალა 100 ლინ-ია. რისი ტოლია ამ მუხტებ მოქმედი ელექტრული ველის დაძაბულობა SI და CGS სისტემებში.

6.1.4. რისი ტოლია 10კ მუხტის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობა SI და CGS სისტემებში მისგან 1 და 20 მ მანძილზე? რა ძალით მოქმედებენ ეს ველები $0,001\text{კ}$ მუხტებ? 1000 CGS მუხტებ?

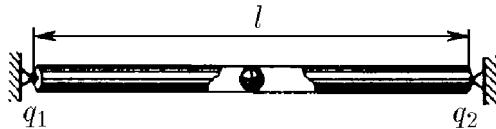
6.1.5. დავუშვათ, რომ შევძელით 1s^3 წყლის დაცალკევება სხვადასხვა ნიშნის ელემენტალურ მუხტებად, რომლებიც შემდეგ დავაშორეთ ერთმანეთს 100 კმ მანძილზე. რა ძალით მიიზიდავნენ ეს მუხტები ერთმანეთს?

6.1.6. რა მუხტს მიიღებდა 1s^3 რკინა, თუ მას მოვაშორებდით მისი შემადგენელი ელექტრონების 1-ს ?

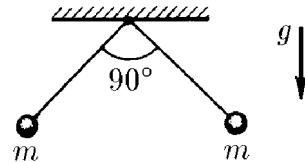
◊ **6.1.7.** q_1 , q_2 და q_3 სიდიდის სამი მუხტი შეერთებულია l სიგრძის ორი ძაფით, იპოვეთ ძაფების დაჭიმულობის ძალები.



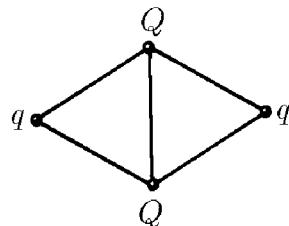
◊ **6.1.8.** l სიგრძის მილის ბოლოებზე დამაგრებულია q_1 და q_2 დადებითი მუხტები. იპოვეთ მილის შიგნით მოთავსებული დადებითი q მუხტის მქონე ბურთულას წონასწორობის მდებარეობა. მდგრადია თუ არა ეს წონასწორობა? იქნება თუ არა უარყოფითად დამუხტებული ბურთულის წონასწორობა მდგრადი?



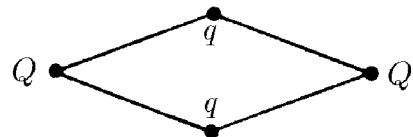
◊ **6.1.9.** ერთ ნერტილში l სიგრძის ორ ძაფზე დაკიდებული ორი ერთნაირად დამუხტული m მასის ბურთულა ისე დაშორდა ერთმანეთს, რომ ძაფებს შორის შეიქმნა მართი კუთხე. განსაზღვრეთ ბურთულების მუხტები.



◊ **6.1.10.** ოთხი დადებითი q , Q , q და Q მუხტი ერთმანეთთან დაკავშირებულია l სიგრძის ხუთი ძაფით, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები. გაიგეთ ძაფების დაჭიმულობის ძალები, თუ $Q > q$.

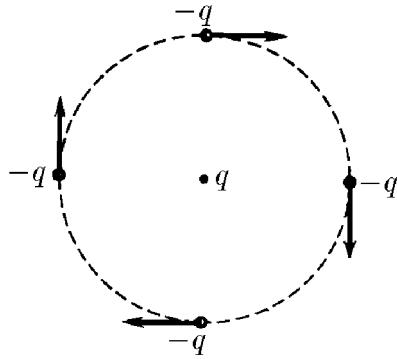


◊ **6.1.11.** ოთხი დადებითი q , Q , q და Q მუხტი ერთმანეთთან დაკავშირებულია l სიგრძის ოთხი ძაფით, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები. განსაზღვრეთ ძაფებს შორის კუთხე.

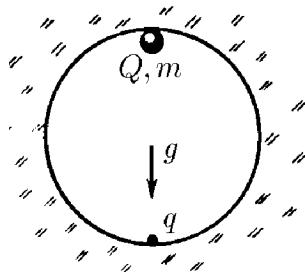


6.1.12. წყალბადის ატომში ელექტრონი მოძრაობს პროტონის გარშემო 10^{16} რად/წმ კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ ორბიტის რადიუსი.

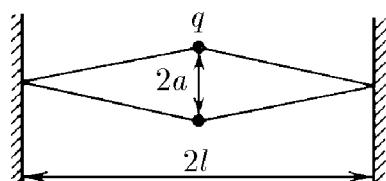
◊ **6.1.13.** q მუხტის გარშემო l სიგრძის გვერდის მქონე კვადრატის ბოლოებში განლაგებული m მასისა და $-q$ სიდიდის ოთხი მუხტი. q მუხტი ამ კვადრატის ცენტრში იმყოფება. გაიგეთ ამ ნაწილაკთა მოძრაობის კუთხური სიჩქარე.



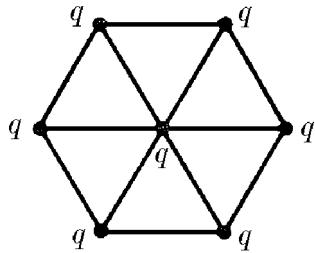
◊ **6.1.14***. რა մინიმաლური q մուხტօს დამაგრებაა საჭირო R რადიუსის სფერული სიღრუის ქვედა წერტილში იმისათვის, რომ სიმძიმის ველში m მასისა და Q სიდიდის მუხტი სიღრუის ზედა წერტილში იმყოფებოდეს მდგრად წონასწორობაში?



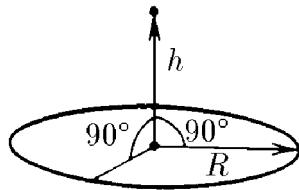
◊ **6.1.15.** ორი q მუხტი შეერთებულია რეზინის ზონარით უძრავ კედლებთან და დაშორებული არიან ერთმანეთისაგან 2^a მანძილზე, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები. კედლებს შორის დაშორებაა 2^l , არადეფორმირებულ ზონართა სიგრძეებია l . გაიგეთ მათი დაჭიმულობის კოეფიციენტი.



◊ **6.1.16***. შვიდი ერთნაირი მუხტი შეერთებულია ერთმანეთთან ერთნაირი დრეკადი ძაფებით, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები. უახლოეს მუხტებს შორის მანძილი l -ის ფოლია. განსაზღვრეთ თითოეული ძაფის დაჭიმულობის ძალა.



◊ **6.1.17.** რისი ტოლია ელექტრული ველის დაძაბულობა ერთგვაროვნად დამუხტულ R რადიუსის წვრილი რგოლის ცენტრში? რისი ტოლია იგი ცენტრიდან h მანძილით დაშორებულ წრფეზე? რგოლის მუხტია Q .



6.1.18*. განსაზღვრეთ თანაბრად დამუხტული l სიგრძის ძაფის ელექტრული ველის დაძაბულობა ძაფის გაგრძელების წრფეზე წერტილში, რომელიც x მანძილითაა დაშორებული ძაფის უახლოესი ბოლოდან. ძაფის ერთეული სიგრძის მუხტია ρ .

◊ **6.1.19.** დაამტკიცეთ, რომ სივრცის რაღაც წერტილში თანაბრად დამუხტული სიბრტყის რაიმე უბნის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობის ამ სიბრტყისადმი ვერტიკალური მდგრენელი $E = \sigma \Omega / 4\pi \epsilon_0$, სადაც Ω - სხეულოვანი კუთხეა, რომლითაც ჩანს ეს უბანი სივრცის განსახილველი წეტილიდან, σ - მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე. ამის გამოყენებით განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა:

ა) კუბის ცენტრში, რომლის ხუთი წახნაგი თანაბრად არის დამუხტული სიმკვრივის მუხტით, ხოლო ერთი წახნაგი უმუხტოა;

ბ) წესიერი ტეტრაედრის ცენტრში, რომლის სამი წახნაგიც თანაბრადაა დამუხტული σ_1 , ხოლო მეოთხე σ_2 ზედაპირული სიმკვრივის მუხტებით;

გ) თანაბრად დამუხტული სიბრტყის, თუ მუხტის ზედაპირული სიმკვრივეა σ ;

დ) წესიერი სამკუთხედის კვეთის მქონე გრძელი მილის ღერძზე, თუ სამკუთხედის წახნაგების მუხტის ზედაპირული სიმკვრივეები შესაბამისად ტოლია σ_1 , σ_2 , σ_3 ;

ე*) h სიმაღლისა და წვეროსთან α კუთხის თანაბრად დამუხტული ρ მუხტის მოცულობითი სიმკვრივის მქონე კონუსის წვეროში;

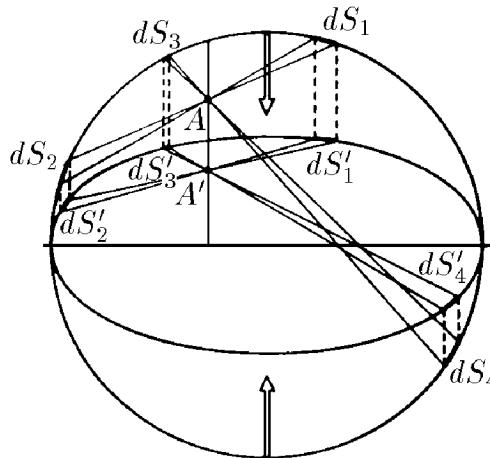
ვ*) თანაბრად დამუხტული ρ მუხტის მოცულობითი სიმკვრივის გრძელი ძელის გვერდზე; ძელის განივი კვეთა l სიგრძის გვერდის მქონე წესიერი სამკუთხედია.

◊ **6.1.20.** а) ერთგვაროვნად დამუხტულ სფერო მის ზედაპირზე დამაგრებულ მუხტებით შეკუმშეს ერთი მიმართულებით ი-ჯერ, ამის შედეგად სფერომ მიიღო ელიფსოიდის ფორმა. დაამტკიცეთ, რომ ასეთი ელიფსოიდის შიგნით ელექტრული ველი ნულის ტოლია. დასამტკიცებლად დაყავით ელიფსოიდის ზედაპირი ისეთ პატარა ფართობთა წყვილად, როგორც სურათზეა ნაჩვენები;

ბ) იარსებებს თუ არა ველი ერთგვაროვნად დამუხტული ზედაპირის მქონე გრძელ მრგვალ მილში, თუ მის ზედაპირს მასზე მიმაგრებულ ზედაპირულ მუხტებთან ერთად შევკუმშავთ განივი მიმართულებით?

6.1.21. а) ლითონის რგოლი კულონური ძალების გავლენით, ის Q სიღიდის მუხტით დავმუხტეთ. ზომის რგოლი დაამზადეს ნივთიერებისაგან, რომლის სიმტკიცე მეტია. რა მუხტი გაწყვეტს ახალ

ბ) რა მუხტი გაწყვეტს რგოლს, დამზადებულია თავდაპირველი ნივთიერებისაგან, ხოლო მისი ყველა მეტია?



წყდება
როდესაც
იგივე
10-ჯერ
რგოლს?
რომელიც
გომა 3-ჯერ

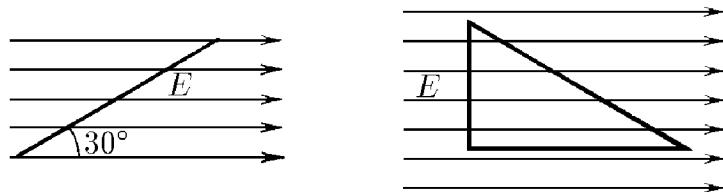
§ 6.2. ელექტრული ველის დაძაბულობის ნაკადი.

გაუსის თეორემა.

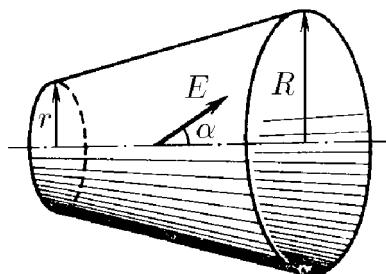
◊ **6.2.1.** ა) ერთგვაროვანი ელექტრული ველის დაძაბულობაა E . რისი ტოლია ელექტრული ველის დაძაბულობის ნაკადი ℓ გვერდის მქონე კვადრატის ზედაპირში, რომელიც ელექტრულ ველის მიმართულებასთან ადგენს 30° -იან კუთხეს.

ბ) ჩაკეტილი ზედაპირის გამჯოლი ელექტრული ველის დაძაბულობის ნაკადის გამოთვლისას იმ ნაკადს, რომელიც შეესაბამება ზედაპირის შიგნით შემავალ ველს იღებენ მინუს ნიშნით, ხოლო გამომავალს პლიუს ნიშნით. ამ წესის გამოყენებით იპოვეთ h სიმაღლის მქონე მართკუთხა სამგწახნაგა პრიზმაში გამავალი ერთგვაროვანი E ელექტრული ველის დაძაბულობის დადებითი და უარყოფითი ნაკადები. პრიზმის წინა წახნაგი, რომლის სიგანე h -ის ტოლია, E -ს მართობულია, ხოლო ქვედა წახნაგი E -ს პარალელურია.

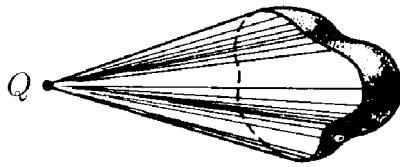
გ*) დაამტკიცეთ, რომ ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ნაკადი ნებისმიერ ჩაკეტილ ზედაპირზე ნულის ტოლია.



◊ **6.2.2.** რისი ტოლია ერთგვაროვანი ელექტრული ველის ნაკადი r და R რადიუსების კვეთების მქონე წაკვეთილი კონუსის გვერდით ზედაპირში? ერთგვაროვანი ელექტრული ველის E დაძაბულობა კონუსის ღერძთან ადგენს α კუთხეს.



◊ **6.2.3.** დაამტკიცეთ, რომ Q წერტილოვანი მუხტის ელექტრული ველის ნაკადი ნებისმიერ ზედაპირში ტოლია Q/ϵ_0 -ის ნამრავლისა იმ სხეულოვანი კუთხეზე, რომლითაც ჩანს ეს ზედაპირი.



6.2.4. ელექტრული ველის ნაკადი σ ზედაპირული სიმკვრივის მუხტით თანაბრად დამუხტულ ბრტყელ ფირფიტაში Φ -ს ტოლია. რისი ტოლია ამ ფირფიტის ზედაპირის მართობულად მოქმედი ელექტრული ძალა?

6.2.5. ა) რა ძალიათ მოქმედებს ე სიდიდის ელექტრული მუხტი თანაბრად დამუხტულ უსასრულო სიბრტყეზე? რა ძალით მოქმედებს ეს სიბრტყე მუხტე? რისი ტოლია სიბრტყის ელექტრული ველის დაძაბულობა? მუხტის ზედაპირული სიმკვრივეა σ.

ბ) რა ძალით მოქმედებს ტეტრაედრის ცენტრში მოთავსებული ე სიდიდის ელექტრული მუხტი ტეტრაედრის თითოეულ წახნაგზე? წახნაგის მუხტის ზედაპირული სიმკვრივეა σ.

6.2.6. გაუსის თეორემის გამოყენებით იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა:

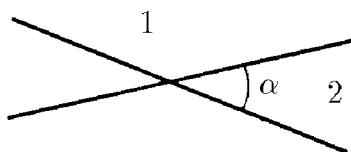
- ა) Q მუხტის მქონე თანაბრად დამუხტული სფეროს შიგნით და გარეთ;
- ბ) თანაბრად დამუხტული უსასრულო ძაფისა, რომლის ერთეულოვანი სიგრძის მუხტი ρ -ს ტოლია;
- გ) σ -ს ტოლი ზედაპირული სიმკვრივის მუხტით თანაბრად დამუხტული უსასრულო სიბრტყისა;
- დ) ρ -ს ტოლი მოცულობითი სიმკვრივის მქონე თანაბრად დამუხტული R რადიუსის მქონე ბირთვის შიგნით და გარეთ. დახაზეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ბირთვის ცენტრამდე დაშორებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი;
- ე) R რადიუსის უსასრულო ცილინდრის შიგნითა და გარეთ, თუ მისი მუხტის მოცულობითი სიმკვრივეა ρ . დახაზეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ცილინდრის ღერძამდე დაშორებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი;
- ვ) h სისქის მქონე თანაბრად დამუხტული უსასრულო ფირფიტის შიგნითა და გარეთ, თუ მისი მუხტის მოცულობითი სიმკვრივეა ρ . დახაზეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ფირფიტის ცენტრალური სიბრტყიდან მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

6.2.7. იპოვეთ ელექტრული მუხტის მოცულობითი განაწილება: ა) R რადიუსის ბირთვში (ბირთვში ელექტრული ველის E_0 დაძაბულობა მიმართულია მისი რადიუსის გასწვრივ და მოდულით არ იცვლება); ბ) R რადიუსის უსასრულო ცილინდრში (ცილინდრში ელექტრული ველის E_0 დაძაბულობა მიმართულია მისი რადიუსის გასწვრივ და მოდულით არ იცვლება);

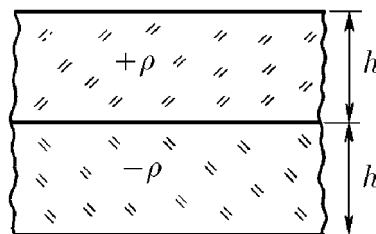
6.2.8*. რა ძალით განიზიდებიან თანაბრად დამუხტული წახნაგები კუბში და ტეტრაედრში? წახნაგების ზედაპირული სიმკვრივეა σ , ხოლო წიბოს სიგრძე l ?

6.2.9. რისი ტოლია ელექტრული ველის დაძაბულობა ორ პარალელურ უსასრულო სიბრტყეს შორის, რომელთა მუხტების ზედაპირული სიმკვრივეა $\pm \sigma$? σ და σ ? რისი ტოლია ელექტრული ველის დაძაბულობა სიბრტყეთა გარეთ?

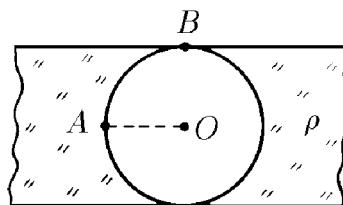
◊ **6.2.10.** ორი უსასრულო სიბრტყე ერთმანეთს კვეთს α კუთხით და სივრცეს ყოფს ოთხ ნაწილად. რისი ტოლია 1 და 2 ნაწილებში ელექტრული ველის დაძაბულობა, თუ სიბრტყეების ზედაპირული სიმკვრივე $\pm \sigma$ -ს ტოლია?



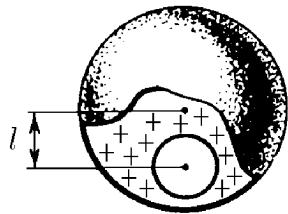
◊ **6.2.11.** h სისქის ორი უსასრულო ფორფიტა თანაბრადაა დამუხტული და შეერთებულია ერთად. პირველი ფირფიტის მოცულობითი მუხტის სიმკვრივეა ρ , ხოლო მეორესი $-\rho$. იპოვეთ ველის მაქსიმალური დაძაბულობა.



◊ **6.2.12.** თანაბრად დამუხტულ ერთგვაროვან უსასრულო ფირფიტაში ამოქრეს სფეროსებრი სიღრუე ისე, როგორც ნახატება ნაჩვენები. ფირფიტის რადიუსია h , ფირფიტის მოცულობითი მუხტის სიმკვრივე ρ . რისი ტოლია ელექტრული ველის დაძაბულობა A წერტილში? B წერტილში? იპოვეთ OA წრფის გასწვრივ ელექტრული ველის დაძაბულობის დამოკიდებლება O წერტილიდან დაშორებაზე.

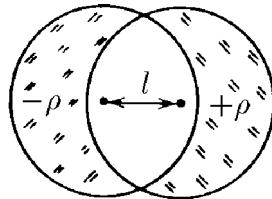


◊ **6.2.13*.** თანაბრად დამუხტულ R რადიუსის ბირთვში ამოქრეს r რადიუსის სფერული სიღრუე, რომლის ცენტრიც ბირთვის ცენტრიდან l მანძილზეა. მუხტის მოცულობითი სიმკვრივეა ρ . იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა სიღრუისა და ბირთვის ცენტრების შემაერთებელი წრფეზე. დაამტკიცეთ, რომ სიღრუის შიგნით ველი ერთგვაროვანია.



◊ **6.2.14*.** ა) R რადიუსის ორი ბირთვის გადაკვეთისას, რომელთა ცენტრები ერთმანეთისგან l მანძილზეა დაშორებული, წარმოიქმნება თანაბრად და საპირისპირო ნიშნით დამუხტული ორი „ნახევარმთვარე“. მარცხენა მხარის ელექტრული მუხტის მოცულობითი სიმკვრივეა $-ρ$, ხოლო მარჯვენასი $+ρ$. დაამტკიცეთ, რომ ბირთვების გადაკვეთის ადგილზე ვეღი ერთგვაროვანია. იპოვეთ ამ ვეღის დაძაბულობა.

ბ) ამ ამოცანის ა) ნაწილის შედეგების და ზღვრული გადასვლის პრინციპის $l \rightarrow 0$, $ρ \rightarrow \infty$,
 $l = \text{const}$ გამოყენებით, იპოვეთ R რადიუსის სფერულ ზედაპირზე მუხტის ისეთი განაწილება, რომელიც სფეროს შიგნით მოგვცემს E დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტრული ვეღს. როგორაა ვეღის დაძაბულობაზე დამოკიდებული მუხტის მაქსიმალური სიმკვრივე?



6.2.15*. გაუსის თეორემის გამოყენებით დაამტკიცეთ, რომ ელექტრულად ურთიერთქმედი ნაწილაკების სისტემა არ შეუძლება იმყოფებოდეს მდგრადი წონასწორობის მდგომარეობაში.

§ 6.3. ელექტრული ველის პოტენციალი. გამტარები შუდმივ ელექტრულ ველში

6.3.1. а. დამუხტული გამტარის პოტენციალია 300 ვ. რა მინიმალური სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ელექტრონს, რომ გამტარის ზედაპირის უსასრულოდ დაშორდეს?

ბ. გამტარიდან შორ მანძილზე პროტონს აქვს 10^8 სმ/წმ სიჩქარე. გამტარის პოტენციალია 10 CSG. პროტონის ტრაექტორია მთავრდება გამტარის ზედაპირზე. რა სიჩქარე ჰქონდა პროტონს ზედაპირთან ახლოს?

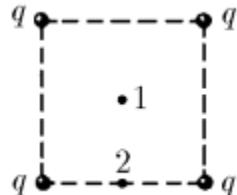
6.3.2. а. დაადგინეთ პოტენციალთა სხვაობა 1 და 2 წერტილებს შორის, თუ ცნობილია, რომ ელექტრონი მოძრაობდა ამ ველში სხვა ძალების ზემოქმედების გარეშე და 1 წერტილში ჰქონდა 10^9 სმ/წმ სიჩქარე 2 -ში კი $2 \cdot 10^9$ სმ/წმ. რისი ტოლი იქნებოდა ელექტრონის სიჩქარე 2 წერტილში, თუ 1 წერტილში ექნებოდა ნულოვანი სიჩქარე?

ბ. ელექტრონულ ნათურაში ელექტრონებს აჩქარებენ 220 ვ პოტენციალთა სხვაობაში. რისი ტოლია ელექტრონების სიჩქარე ანოდზე მოხვედრისას?

6.3.3. $0,1$ კ მუხტი დაშორებულია $0,2$ კ მუხტისგან 20 მეტრზე. რისი ტოლია პოტენციალი მუხტების შემართებელი წრფის ცენტრში?

6.3.4. 1 სიგრძის გვერდის კვადრატის წვეროებში მოთავსებულია მუხტები. რისი ტოლია პოტენციალი კვადრატის ცენტრში?

6.3.5. 10^{-9} კ მუხტის მქონე ბურთები მოთავსებულია 10 სმ გვერდის მქონე კვადრატის წვეროებში. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა კვადრატის ცენტრსა(1) და ერთერთი გვერდის შუაწერტილს(2) შორის.



6.3.6. $100, 10, 1, -10, -1, -10$ მუხტები მდებარეობენ სწორი 2 სმ სიგრძის გვერდის მქონე ექვსკუთხედის წვეროებში. რისი ტოლია პოტენციალი ექვსკუთხედის ცენტრში SI და CGS სისტემებში?

6.3.7. R რადიუსის მქონე სფეროს გააჩნია Q მუხტი. რისი ტოლია პოტენციალი სფეროს ცენტრში? დამოკიდებულია თუ არა სფეროს ცენტრში პოტენციალი ზედაპირზე მუხტის განაწილებაზე? დამოკიდებულია თუ არა პოტენციალი სფეროს ზედაპირზე სფეროში მუხტის განაწილებაზე?

6.3.8. რატომ არის ელექტრული ველის მნიშვნელობა გამტარის შიგნით 0 -ის ტოლი? რატომ არის ელექტრული ველი გამტარის ზედაპირზე ზედაპირის მართობული? საკმარისია თუ არა ეს პირობები, რომ პოტენციალი გამტარის ნებისმიერ წერტილში იყოს ერთნაირი?

6.3.9. გაუსის თეორიის გამოყენებით დაამტკიცეთ, რომ გამტარის შიგნით ელექტრული მუხტის მოცულობითი სიმკვრივე არის 0 -ის ტოლი და ზედაპირული სიმკვრივე σ დამოკიდებულია ელექტრული ველის E დაძაბულობაზე გამტარის გარეთ მცირე დაშორებაზე როგორც $E = \sigma / \epsilon$.

6.3.10. а. დაამტკიცეთ, რომ ელიფსოიდის გარე ელექტრული ველი 6.1.20.ა. ამოცანიდან მისი ზედაპირის პერპენდიკულარულია.

ბ. გამტარი ელიფსოიდი მიღებულია სფეროსგან, მისი ზომების ერთ-ერთი მიმართულებით n -ჯერ შემცირების შედეგად. დიდი ნახევარღერძის სიგრძეა R , ხოლო მისი სრული მუხტია Q . დაადგინეთ ელიფსოიდის სიახლოვეს გარე ელექტრული ველის დაძაბულობის მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები.

◊გ. დაადგინეთ გრძელი მეტალის ელიფსოიდური კვეთის მქონე დამუხტული მავთულის ელექტრული ველის დაძაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა. მცირე ღერძის სიგრძეა b . მავთულის მუხტის წირითი სიმკვრივეა ρ .

◊6.3.11. ორი უსასრულო იზოლირებული გამტარი ფირფიტა დამუხტულია



ისე, რომ ჭამური ზედაპირული მუხტის სიმკვრივე თრივე გვერდზე პირველი ფირფიტისთვის არის σ_1 და მეორესთვის σ_2 . ფირფიტები ერთმანეთის პარალელურია. იპოვეთ ზედაპირიული მუხტის სიმკვრივე თითოეულ გვერდზე.



6.3.12. ა. ორი პარალელური საპირისპირო ნიშნით დამუხტული ფირფიტა მოთავსებულია ერთმანეთის პარალელურად 1 სმ მანძილზე, რაც გაცილებით ნაკლებია ფირფიტების ზომებზე. ფირფიტების ზედაპირული მუხტის სიმკვრივეა ± 3 CGS/ სმ². დაადგინეთ პოტენციალთა სხვაობა ფირფიტებს შორის SI და CGS სისტემებში.

ბ. ორი პარალელური საპირისპირო ნიშნით დამუხტული ფირფიტა მოთავსებულია ერთმანეთის პარალელურად 5 სმ მანძილზე, რაც გაცილებით ნაკლებია ფირფიტების ზომებზე. ფირფიტების ზედაპირული მუხტის სიმკვრივეა $\pm 10^{-10}$ CGS/ სმ². დაადგინეთ პოტენციალთა სხვაობა ფირფიტებს შორის SI და CGS სისტემებში.

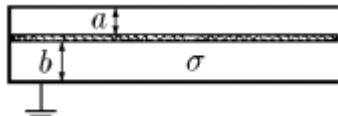
6.3.13. რას უდრის კიდურა ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობა სისტემაში, რომელიც შედგება სამი პარალელური ერთისახელით დამუხტული უსასრულო ფირფიტისაგან, რომელთა მუხტის სიმკვრივეებია σ_1 , σ_2 , σ_3 ? შეა ფირფიტა მდებარეობს პირველიდან h_1 მანძილზე და მესამედან h_2 მანძილზე.

6.3.14. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა სამ ფირფიტას შორის, თუ შეა ფირფიტა დამინებულია. შეა ფირფიტასა და გარე ფირფიტებს შორის მანძილები შესაბამისად უდრის a -სა და b -ს. პოტენციალი გარე ფირფიტებზე არის φ .

◊6.3.15. ა) ორ დამინებულ ფირფიტას შორის მოქცეულია იგივე ზომების მქონე თხელი აპკი, რომლის ზედაპირული მუხტის სიმკვრივეა σ . აპკსა და ზედა ფირფიტას შორის დაშორებაა a , ხოლო აპკსა და ქვედა ფირფიტას შორის b (

a - სა და b - ს მნიშვნელობები გაცილებით მცირეა ფირფიტების ზომებთან შედარებით). იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა ზედა და ქვედა ფირფიტების სიახლოვეში. იპოვეთ მათზე ინდუცირებული მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე.

ბ*) ორი პარალელური დამიწებული ფირფიტიდან a და b მანძილებზე მდებარეობს q მუხტი. ფირფიტების ზომები გაცილებით დიდია მათ შორის

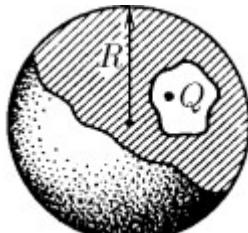


მანძილთან შედარებით. დაამტკიცეთ, რომ დამიწებულ ფირფიტებზე ინდუცირებული მუხტი არ შეიცვლება, თუ q მუხტი გადანაწილდება სიბრტყეზე, რომელიც იქნება ფირფიტებს შორის ისეთივე მანძილებზე მოთავსებული, როგორზეც იყო q . განსაზღვრეთ მუხტი ფირფიტებზე.

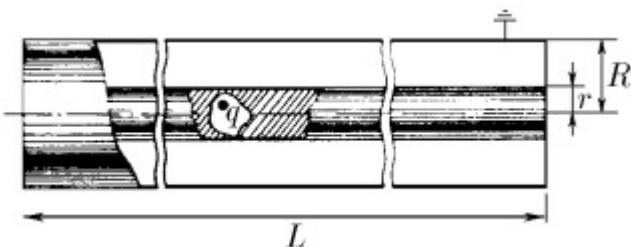
◊6.3.16. R რადიუსის მქონე მეტალის ბურთის სიღრუეში მოთავსებულია

Q მუხტი. იპოვეთ ამ მუხტის მიერ სიღრუის ზედაპირზე ინდუცირებული მუხტი. რატომ იქნება ბურთის ზედაპირზე მუხტი მუდმივი ზედაპირული სიმკვრივით გადანაწილებული? რისი ტოლია ბურთის ზედაპირული მუხტის სიმკვრივე, თუ სრული მუხტი 0 -ის ტოლია? იპოვეთ ბურთის ცენტრიდან L მანძილზე არსებული ელექტრული ველის დაძაბულობა, თუ მისი სრული მუხტია q . არის თუ არა ველის დაძაბულობა დამოკიდებული ბურთის სიღრუის მდებარეობაზე? მის ფორმაზე?

◊6.3.17*. r რადიუსის მქონე გრძელი დაუმუხტავი გამტარის სიღრუეში მოთავსებულია q მუხტი. გამტარი გარშემორტყმულია R რადიუსის მქონე ცილინდრული ეკრანით. გამტარის სიგრძე $L >> R$. როგორაა დამოკიდებული



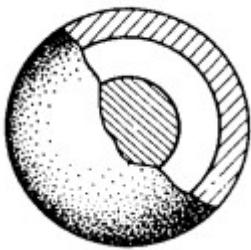
სიღრუის გარეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა ამ სისტემის შეა ღერძამდე



დაშორებაზე?

6.3.18. ერთგვაროვან ელექტრულ ველში მოთავსებულია გამტარი, რომლის ჯამური მუხტი 0 -ის ტოლია. შეიცვლება თუ არა მისი ზედაპირული მუხტის სიმკვრივე, თუ გამტარის ყველა ზომას n -ჯერ შევამცირებთ?

◊6.3.19. 10 სმ რადიუსის მქონე მეტალის ბურთი მოთავსებულია 30 სმ რადიუსისა და 10 სმ სისქის მქონე მეტალის გარსში ისე, რომ მათი ცენტრები ერთმანეთს ემთხვევა. ბურთის მუხტია 10^{-5} კ, ხოლო მეტალის გარსის $8 \cdot 10^{-5}$ კ. ააგეთ ელექტრული ველის პოტენციალის ბურთის ცენტრიდან დაშორებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

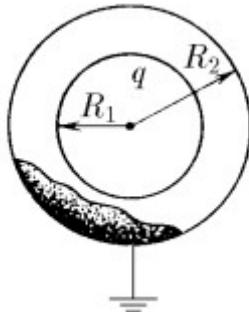


6.3.20. r , $2r$ და $3r$ რადიუსის მქონე კონცენტრული გამტარი სფეროების მუხტები შესაბამისად q , $2q$ და $-3q$ -ს ტოლია. განსაზღვრეთ პოტენციალი თითოეულ სფეროზე.

6.3.21. r რადიუსის მქონე შიდა სფეროს პოტენციალი 0-ის ტოლია (სფერო დამიწებულია). $2r$ რადიუსის მქონე გარე სფეროს პოტენციალია φ . იპოვეთ სფეროების მუხტები. სფეროთა ცენტრები ერთმანეთს ემთხვევა.

6.3.22. R_1 რადიუსის φ პოტენციალამდე დამუხტული მეტალის ბურთი გარშემორტყმულია R_2 რადიუსის მქონე კონცენტრული გამტარი დაუმუხტავი გარსით. რისი ტოლი გახდება ბურთის პოტენციალი, თუ გარსს დავამიწებთ? თუ ბურთს გამტარით გარსთან შევაერთებთ?

◊**6.3.23.** სისტემა შედგება ორი გამტარი სფეროსაგან - შიდა, რომლის რადიუსია R_1 და გარე, რომლის რადიუსია R_2 . შიდა სფეროს მუხტია q , გარე სფერო კი დამიწებულია. იპოვეთ ელექტრული ველის და პოტენციალის დამოკიდებულება ცენტრიდან დაშორებაზე.



6.3.24. სისტემა შედგება ორი გამტარი სფეროსაგან - შიდა, რომლის რადიუსია R_1 და გარე, რომლის რადიუსია R_2 . გარე სფეროს მუხტია q , შიდა სფერო კი დამიწებულია. იპოვეთ ელექტრული ველისა და პოტენციალის დამოკიდებულება ცენტრიდან დაშორებაზე.

6.3.25. R რადიუსის მქონე თანაბრად დამუხტულ სფეროს გააჩნია ρ მოცულობითი მუხტის სიმკვრივე. იპოვეთ ელექტრული ველისა და პოტენციალის დამოკიდებულება სფეროს ცენტრიდან დაშორებაზე.

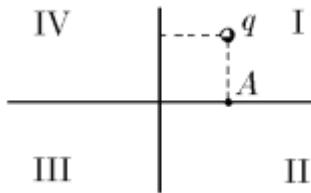
6.3.26. რას უდრის პოტენციალთა სხვაობა R რადიუსის მქონე თანაბრად დამუხტული ბურთის ზედაპირსა და ცენტრს შორის, რომელსაც გააჩნია ρ მოცულობითი მუხტის სიმკვრივე? R რადიუსის მქონე ცილინდრის ღერძსა და ზედაპირს შორის, რომელსაც გააჩნია ρ მოცულობითი მუხტის სიმკვრივე? ρ მოცულობითი მუხტის სიმკვრივის მქონე, თანაბრად დამუხტული h სისქის ფირფიტის ზედაპირებსა და ფირფიტის მუა სიბრტყეს შორის.

6.3.27. უსასრულო r რადიუსის მქონე დამუხტულ ცილინდრს გააჩნია ρ მოცულობითი მუხტის სიმკვრივე და ღერძულად შემოფარგლულია R რადიუსის მქონე დამიწებული ლითონის ცილინდრის ზედაპირით. იპოვეთ ამ სისტემის ველის პოტენციალის დამოკიდებულება ცილინდრის ღერძიდან მანძილზე.

6.3.28. წერტილოვანი Q მუხტი მოთავსებულია უსასრულო ლითონის სიბრტყიდან h მანძილზე. რა ძალით მოქმედებს სიბრტყე მუხტზე?

6.3.29. ლითონის დაუმუხტავი სიბრტყის ერთ მხარეს, მისგან h მანძილზე, მოთავსებულია ორი ერთნაირი Q მუხტი. განსაზღვრეთ თითოეულ მუხტზე მოქმედი ძალა, თუ მათ შორის მანძილია $2 h$.

◊6.3.30. ორი უსასრულო გამტარი სიბრტყე იკვეთება მართი კუთხით და სოვრცეს ყოფს ოთხ ნაწილად. I ნაწილში მოთავსებულია q მუხტი, რომელიც ორივე სიბრტყიდან ერთნაირი I მანძილითაა დაშორებული. არის თუ არა ელექტრული ველი II-IV ნაწილებში? რა ძალა მოქმედებს q მუხტზე?



6.3.31*. წერტილოვანი q მუხტი მოთავსებულია L მანძლზე იზოლირებული $R < L$ რადიუსის მქონე ლითონის ბურთის ცენტრიდან. ბურთის ჯამური მუხტი ნულის ტოლია. რას უდრის ბურთის პოტენციალი?

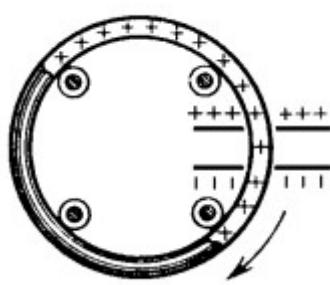
◊6.3.32*. რას უდრის დამიწებული ლითონის ბურთის ზედაპირზე q წერტილოვანი მუხტის მიერ ინდუცირებული მუხტი. q მუხტი მოთავსებულია



ბურთის ცენტრიდან L მანძილზე? ბურთის რადიუსია $R < L$.

6.3.33. როგორ შეიცვლება R რადიუსის დამუხტული მეტალის სფეროს ურთიერთქმედების ძალა წერტილოვან q მუხტთან, რომელიც მოთავსებულია სფეროს ცენტრიდან L მანძილზე, თუ სფეროს მუხტს გავზრდით Q - ით?

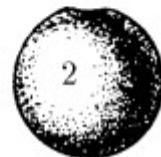
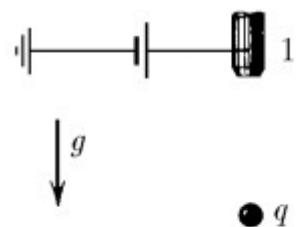
◊6.3.34. დადებითი მუხტებით ერთგვაროვნად დამუხტული რგოლი ეხება ოთხ ბორბალს და შეუძლია ბრუნვა. რგოლის გარკვეული ნაწილი გადის ნახვერეტში, რომელიც შექმნილია განსხვავებული ნიშნით დამუხტული პარალელური ფირფიტებით. დამკვირვებლის თვალსაზრისით ნახვრეტში მყოფი რგოლის ნაწილი მიიჩიდება უარყოფითი ფირფიტის მიერ და განიზიდება დადებითის მიერ. ფირფიტის გარეთ ველი არ გვაქვს. ასე რომ რგოლის ბრუნვა შენარჩუნდება წინააღმდეგობის ძალის შემთხვევაშიც კი და ვიღებთ პერპენტუმობილებს. რაში ცდება დამკვირვებელი? აჩვენეთ, რომ ასეთ რგოლზე მოქმედი ძალის მომენტი ნებისმიერ ელექტრულ ველში, უდრის ნულს.



◊**6.3.35.** R q $r \ll R$

◊**6.3.36.** Q

6.3.37. Q



6.3.38.

6.3.39.

6.3.40.

§ 6.4. კონდენსატორები

6.4.1. რას ეწოდება ელექტრული კონდენსატორი? რას წარმოადგენს კონდენსატორის ტევადობა? რითი განსხვავდება განმხოლოებული გამტარის ტევადობის განსაზღვრება კონდენსატორის ტევადობის განსაზღვრებისგან.

6.4.2. ა. ბრტყელი კონდენსატორის ფირფიტების ზომები გაბარდეს ორჯერ. როგორ შეიცვალა კონდენსატორის ტევადობა?

ბ. როგორ შეიცვლება ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობა, თუ ფირფიტებს შორის მანძილს გავაორმავებთ? გავზრდით n -ჯერ?

6.4.3. ა. განსაზღვრეთ ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობა, თუ ცნობილია ფირფიტის S ფართობი და მათ შორის d მანძილი.

ბ. ბრტყელი კონდენსატორის ფირფიტის ფართობია 20 см^2 , ფირფიტებს შორის მანძილია 3 მმ. განსაზღვრეთ კონდენსატორის ტევადობა CGS-ში და SI-ში.

6.4.4. ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენის ფართობია S , მათ შორის მანძილია d .

ა. როგორ შეიცვლება კონდენსატორის ტევადობა, თუ მის შემონაფენებს შორის მოვათავსებთ $d/3$ სისქის და S ფართობის მეტალის ფირფიტას?

ბ. როგორ შეიცვლება კონდენსატორის ტევადობა, თუ მის შემონაფენებს შორის მოვათავსებთ იგივე $d/3$ სისქის, ოღონდ $S' < S$ ფართობის მეტალის ფირფიტას?

გ. შეიცვლება თუ არა კონდენსატორის ტევადობა, თუ ეს ფირფიტა შეეხება რომელიმე შემონაფენს?

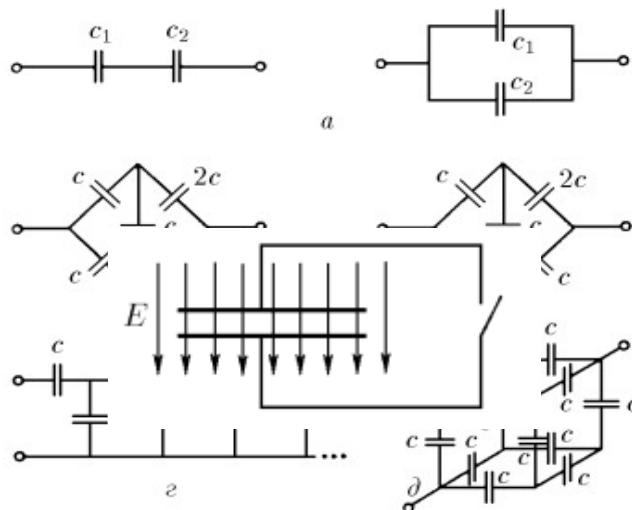
6.4.5. განსაზღვრეთ ორი კონცენტრული R_1 და R_2 რადიუსების სფეროებისგან შემდგარი კონდენსატორის ტევადობა (სფერული კონდენსატორი).

6.4.6 განსაზღვრეთ სფერული კონდენსატორის ტევადობა, თუ მის შემონაფენებს შორის მოვათავსებთ გამტარ სფერულ ფენას სისქით $d < R_1 - R_2$. ფენის გარე ზედაპირის რადიუსია R_0 .

6.4.7* იბოვეთ ცილინდრული კონდენსატორის ტევადობა, რომელიც შედგება R_1 და R_2 რადიუსის თანაღერძული ცილინდრებისაგან. ცილინდრების სიგრძე $l >> R_1, R_2$.

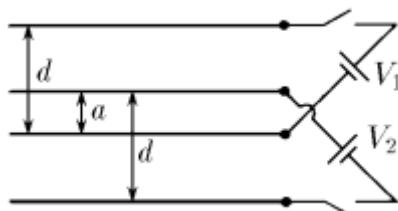
6.4.8* ბრტყელი კონდენსატორი დამზადებულია ა სისქის და l სიგრძის ორი ლენტისაგან. ლენტებს შორის მანძილია d . განსაზღვრეთ კონდენსატორის ტევადობა, თუ მას დავახვევთ $R >> d$ რადიუსის მრავალხვიიან რულონად.

6.4.9. განსაზღვრეთ სურათზე გამოსახული კონდენსატორების სისტემის ტევადობა.



◊6.4.10. ბრტყელი კონდენსატორი მოთავსებულია ფირფიტების მართობულ E დაძაბულობის გარე ერთგვაროვან ელექტრულ ველში. კონდენსატორის ფირფიტის ფართობია S . რა მუხტი აღმოჩნდება თითოეულ ფირფიტაზე, თუ კონდენსატორს მოკლედ ჩავრთავთ გამტარით.

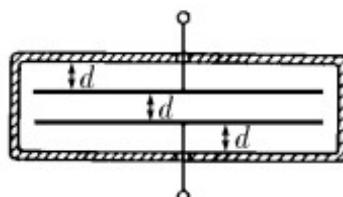
◊6.4.11. ორი ერთნაირი ბრტყლი კონდენსატორი არის ერთმანეთის გვერდზე. თავიდან ყველა ფირფიტა არ იყო დამუხტული, ხოლო შემდეგ ისინი შეართეს დენის წყაროებთან, რომლებზეც ნარჩუნდება V_1 და V_2 პოტენციალთა სხვაობები. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა შიდა ფირფიტებს შორის, რომლებიც a მანძილით არიან დაშორებულები. კონდენსატორების ფირფიტებს შორის მანძილია d .



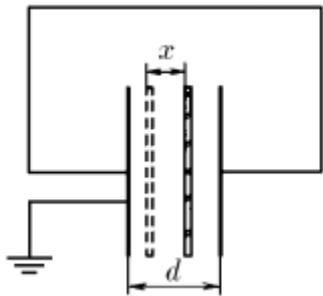
◊6.4.12^{*}. ა. რამდენჯერ შეიცვლება ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობა, თუ მას მოვათავსებთ მეტალის ყუთში? მანძილი შემონაფენებიდან ყუთის კედლებამდე უდრის შემონაფენებს შორის d მანძილს.

ბ. რამდენჯერ შეიცვლება ტევადობა, თუ ყუთს შევაერთებთ ერთ-ერთ შემონაფენთან?

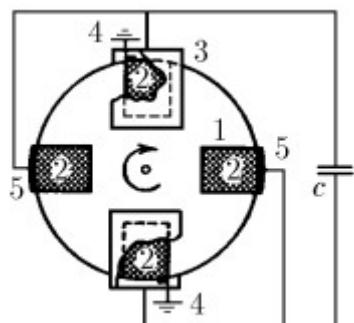
◊6.4.13. ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის მანძილია d .



შემონაფენები შეერთებულია ერთმანეთთან და დამიწებულია ისე, როგორც ნაჩვენებია სურათზე. შემონაფენებს შორის ჩადგმულია, მათ პარალელურად, ფირფიტა q მუხტით. რა მუხტი გაივლის შემონაფენების შემაერთებელ გამტარში, თუ ფირფიტას გადავაადგილებთ x მანძილით?



◊6.4.14. გაუმტარ დისკები (1) დაწებებულია ოთხი გამტარი ფურცელი (2) თითო S ფართობის მქონე. დისკის ბრუნვისას ფურცლები რიგრიგობით შედიან მაეკრანირებელ შემონაფენებს (3) შორის, რომელიც ეხება მოსრიალე დამიწებულ კონდაქტებს (4). შეხება წყდება, როცა ფურცელი გამოდის შემონაფენიდან. შემდეგ ფურცელი ეხება ელექტროლის (5), რომელიც C ტევადობის კონდენსატორთანაა მიერთებული. ელექტროლიდთან შეხების შეწყვეტის შეძლება ფირფიტა შედის შემონაფების მეორე წყვილს შორის და ა.შ. რამდენჯერ გაიზრდება ძაბვა კონდენსატორზე დისკის n ბრუნის შეძლება? ფირფიტებსა და მაეკრანირებელ შემონაფენებს შორის მანძილი d ფურცლის ზომებთან შედარებით მცირეა.



6.4.15. განსაზღვრეთ ძალა, რომლითაც იზიდავენ ერთმანეთს ბრტყელი კონდენსატორის ფირფიტები, თუ დენის წყარო, რომელიც მუხტავს კონდენსატორს 1000 ვ პოტენციალთა სხვაობამდე, გამორთეს. ფირფიტის ფართობია 100 cm^2 , ფირფიტებს შორის მანძილია 1 მმ. შეიცვლება თუ არა ფირფიტების ურთიერთქმედების ძალა, თუ დენის წყარო მუდმივად იქნება შეერთებული ფირფიტებთან?

6.4.16. როგორ შეიცვლება კონდენსატორის ენერგია, თუ ფირფიტებს შორის იგივე პოტენციალთა სხვაობისას მის ყველა გეომეტრიულ ზომას გავზრდით k -ჯერ? იგივე ზომებისთვის გავზრდით მუხტს n -ჯერ?

6.4.17. იპოვეთ კონდენსატორების ელექტრული ველის ენერგია, რომლებიც V პოტენციალთა სხვაობამდეა დამუხტული:

ა) $S = 1 \text{ m}^2$ ფირფიტის ფართობის მქონე ბრტყელი კონდენსატორის. ფირფიტები ერთმანეთისგან $d = 1 \text{ mm}$ მანძილით არიან დაშორებულები $V = 1 \text{ kV}$ ძაბვის დროს.

ბ) სფერული კნდენსატორის, რომლის სფეროების რადიუსებია r_1 და r_2 .

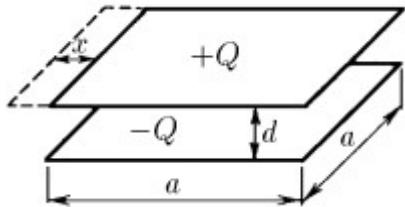
გ) I სიგრძის ცილინდრული კონდენსატორის, რომლის შემონაფენების რადიუსებია r_1 და r_2 .

◊6.4.18. ბრტყელი კონდენსატორი დამუხტულია Q მუხტით. ფირფიტების ფართობია S , მათ შორის მანძილია d .

ა. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ფირფიტებს შორის მანძილი გავზარდოთ d -თი?

ბ. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ფირფიტები ერთმანეთისადმი მანძილით გავწიოთ, როგორც სურათზეა ნაჩვენები? ფირფიტებს აქვთ კვადრატის ფორმა ზომებით a .

გ. როგორი მუშაობა სრულდება ორივე წინა შემთხვევაში, თუ კონდენსატორის ფირფიტებს შორის ბატარეა ინარჩუნებს მუდმივ პოტენციალთა სხვაობას? რატომ იქნება ეს მუშაობა განსხვავებული?



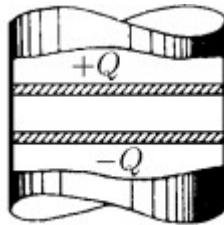
§ 6.5. ელექტრული წნევა. ელექტრული ველის ენერგია

6.5.1. ა.რა ძალით იზიდავს ერთმანეთს ორი პარალელური განსხვავებული ნიშნით დამუხტული სიბრტყე? სიბრტყეების ზედაპირული მუხტის სიმკვრივეა $\pm \sigma$. თითოეული სიბრტყის ფართობია S . მათ შორის მანძილი სიბრტყეების ზომებზე ბევრად ნაკლებია. რას უდრის ძალა, რომელიც მოქმედებს სიბრტყეების ერთეულ ფართობზე (ელექტრული წნევა)?

ბ. ელექტრული ველის დაძაბულობა პარალელურ სიბრტყეებს შორის უდრის ნულს, სიბრტყის გარეთ კი E -ს. განსაზღვრეთ მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე სიბრტყეებზე. რას უდრის ელექტრული წნევა სიბრტყეებზე SI-ში და CGS-ში?

გ. პარალელურ სიბრტყეებს შორის ველის დაძაბულობაა 10^4 ვ/სმ. სიბრტყეების გარეთ ველი ნულის ტოლია. განსაზღვრეთ ელექტრული წნევა თითოეულ სიბრტყეზე და მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე.

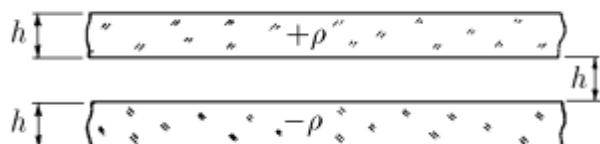
◊6.5.2. ორი გამტარი S ფართობის დგუში, განლაგებული დიელექტრიკის მილში, შეადგენს ბრტყელ კონდენსატორს, რომელიც სავსეა ჰაერით. ატმოსფერული წნევა ჰაერში არის P_0 . რამდენჯერ შეიცვლება დგუშებს შორის მანძილი, თუ მათ დავმუხტავთ განსხვავებულსახელიანი მუხტებით? სისტემა კარგად



ატარებს სითბოს, ხახუნი არ გვაქვს.

6.5.3. რას უდრის მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე და ელექტრული წნევა ორი ველის გამყოფ საზღვარზე, რომელთა დაძაბულობებია E და $2E$? E და $-2E$? ზედაპირული მუხტის სიმკვრივე მეორე შემთხვევაში სამჯერ მეტია. რატომ არის ელექტრული წნევა ორივე შემთხვევაში ერთნაირი?

◊6.5.4. მანძილი განსხვავებული სახელით დამუხტულ ფირფიტებს შორის არის h . ფირფიტების სისქე არის ასევე h , მუხტის მოცულობითი სიმკვრივე თითოეულ მათგანზე არის $\pm \rho$. განსაზღვრეთ ძალა, რომელიც მოქმედებს ფირფიტის ერთეულოვან ფართობზე. რატომ არ არის ეს ძალა დამოკიდებული ფირფიტის სისქეზე, როცა $\rho = \text{const.}$?



6.5.5. განსაზღვრეთ ძალა, რომელიც მოქმედებს R რადიუსის თანაბრად დამუხტულ სფეროს ზედაპირის ერთეულოვან ფართობზე, თუ მისი მუხტია Q .

6.5.6. იპოვეთ სფერული კონდენსატორის შიდა ზედაპირზე მოქმედი ელექტრული წნევა, რომელიც დამუხტულია V პოტენციალთა სხვაობამდე. კონდენსატორის გარე შემონაფენის რადიუსია R , ხოლო შიდა შემონაფენის r .

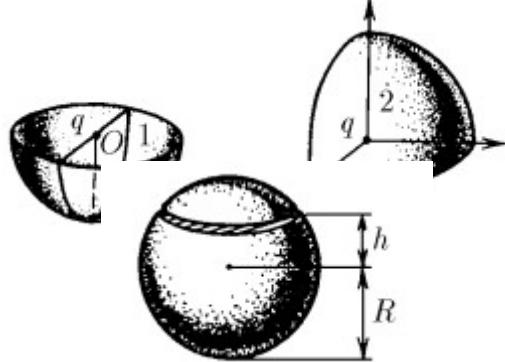
6.5.7. რა მუხტი შეიძლება მოვათავსოთ გრძელი ცილინდრული R რადიუსის მქონე გარსის ერთეულ სიგრძეზე, თუ ის გაზით გავსებისას უძლებს P წნევას?

◊6.5.8*. ა. თანაბრად დამუხტული ნახევარსფეროს ცენტრში, რომლის ზედაპირული მუხტის სიმკვრივეა σ , მოათავსეს q მუხტი. რა ძალით მოქმედებს ეს მუხტი ნახევარსფეროზე? ნახევარსფეროს ნახევარზე (1)? მისი ნაწილის მეოთხედზე (2)? განსაზღვრეთ სფეროს ამ ნაწილებიდან ელექტრული ველის

დაძაბულობა

ბ. განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა თანაბრად დამუხტული
 R რადიუსის ნახევარბურთში, რომლის მოცულობითი სიმკვრივეა ρ .

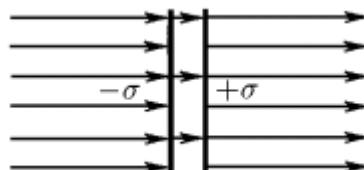
◊6.5.9*. თანაბრად დამუხტული R რადიუსის სფერო გაჭრილია სიბრტყებე



ორ ნაწილად, რომლებიც სფეროს ცენტრიდან h მანძილზე არიან დაშორებულები. იპოვეთ რა ძალით განიზიდავენ ეს ნაწილები ერთმანეთს. სფეროს სრული მუხტია Q . რა მინიმალური მუხტი უნდა მოვათავსოთ სფეროს ცენტრში, რომ მისი ნაწილები არ დაშორდნენ ერთმანეთს?

6.5.10. ბრტყელი კონდენსატორი, ფირფიტის ფართობით S , დამუხტულია q მუხტით. დაამტკიცეთ, რომ ფირფიტების x მანძილზე განევისთვის საჭიროა შევასრულოთ მუშაობა, რომელიც უდრის სივრცის მოცულობას, რომელიც შეავსებს ახლიდან გაჩენილ E დაძაბულობის ელექტრულ ველს, გამრავლებულს ენერგიის სიმკვივეზე $\epsilon E^2/2$.

◊6.5.11. E დაძაბულობის ერთგვაროვან ველის მიმართულების მართობულად მოთავსებულია ორი ბრტყელი განსხვავებული სახელით დამუხტული ფირფიტები. თითოეული ფირფიტის ფართობია S , ხოლო მუხტის ზედაპირული სიმკვრვეა $\pm \sigma$. ფირფიტებს შორის მანძილია d . რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ფირფიტებს ადგილები გავუცვალოთ?



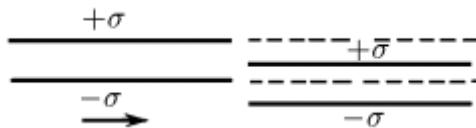
6.5.12. E დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტრულ ველში შეიტანეს თხელი მეტალის ფირფიტა. ფირფიტების სიბრტყე ელექტრული ველის მიმართულების მართობულია.

ა. რას უდრის მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე ფირფიტების სხვადასხვა მხარეზე? რას უდრის ელექტრული წნევა ფირფიტების ზედაპირზე?

ბ. ველში შეტანილი ფირფიტის სისქეა h , ფართობია S . რა მინიმალური მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ფირფიტა გამოვიტანოთ ელექტრული ველიდან?

◊6.5.13. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ განსხვავებული სახელით დამუხტული ფირფიტების ერთი სისტემა შევდგათ მეორეში, ისე როგორც ნახატება ნაჩვენები? ფირფიტებზე ზედაპირული მუხტის სიმკვრივეა $\pm \sigma$, თითოეული ფირფიტის ფართობია S , ფირფიტებს შორის h მანძილი ბევრად ნაკლებია ფირფიტების წრფივ გარებაზე.

6.5.14. E დაძაბულობის ველის მიმართულების მართობულად განლაგებულია ორი არაგამტარი ბრტყელი განსხვავებული სახელით დამუხტული ფირფიტა. ფირფიტებს შორის ველის დაძაბულობაა E . რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ეს ფირფიტები განვალაგოთ გარე ველის პარალელურად?



თითოეული ფირფიტის ფართობია S , ფირფიტებს შორის h მანძილი ბევრად ნაკლებია ფირფიტების ზომებზე.

6.5.15. განსაზღვრეთ თანაბრად დამუხტული Q რადიუსის სფეროს ველის ენერგია SI-ში და CGS-ში. სფეროს მუხტია Q .

6.5.16. ნებისმიერი სისტემის ენერგია W დაკავშირებული ამ სისტემის მასასთან აინშტაინის ფორმულით $W=mc$. შესაბამისად, ელექტრული ველი ფლობს მასას. ჩავთვალოთ, რომ ელექტრონის მთლიანი მასა „ელექტრულია“. განსაზღვრეთ ელექტრონის კლასიკური რადიუსი. ჩათვალეთ, რომ ელექტრონის მუხტი განაწილებული მის ზედაპირზე.

6.5.17. ამაჩქარებლის ექსპერიმენტებზე შემოწმდა, რომ ელექტრონების ურთიერთქმედება 10^{-16} მანძილებამდე აღინერება კულონის კანონით. გამოიყენეთ 6.5.16 ამოცანის ამოხსნა და განსაზღვრეთ, რამდენჯერ აღემატება 10^{-16} მქონე რადიუსის სფეროს გარეთ ელექტრული ველის მასა ელექტრონის მასას.

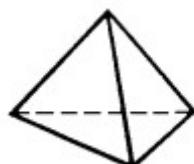
6.5.18*. განსაზღვრეთ თანაბრად დამუხტული R რადიუსის ბირთვის ელექტრული ველის ენერგია. ბირთვის სრული მუხტია Q .

6.5.19. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ ელექტრული ძალების წინააღმდეგ, რომ დამუხტული სფეროს რადიუსი ორჯერ შევამციროთ? სფეროს საწყისი რადიუსია R , ხოლო მუხტია Q .

6.5.20. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ ელექტრული ძალების წინააღმდეგ, რომ ერთნაირი N ცალი დამუხტული ვერცხლისწყლის წვეთი ვაქციოთ R რადიუსის და Q მუხტის მქონე წვეთად?

6.5.21. დამუხტული სხეული გაჭიმეს ისე, რომ ყველა მისი წრფივი ზომა შემცირდა n ჯერ. რამდენჯერ გაიზარდა ამ სხეულის ელექტრული ველის ენერგია?

6.5.22. იმისათვის, რომ შევაერთოთ ორი ერთნაირი ტოლი მუხტების მქონე ფირფიტა, რომლებიც ერთმანეთისგან დიდი მანძილით არიან დაშორებულები, საჭიროა შევასრულოთ A მუშაობა. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ შევაერთოთ სამი ასეთი ფირფიტა? N -ცალი ფირფიტა?



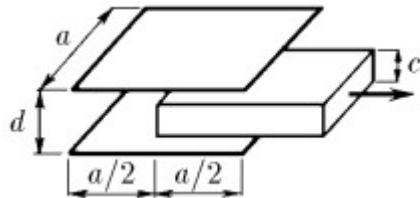
6.5.24*. თანაბრად დამუხტული ლისტი, რომელსაც აქვს მართკუთხა ტოლფერდა სამკუთხედის ფორმა, დაალაგეს ორად. ამ დროს შესრულდა A მუშაობა ელექტრული ველის წინააღმდეგ. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ კიდევ ერთხელ ასე დავალაგოთ მიღებული სამკუთხედი?

6.5.25. რამდენჯერ გაიზარდება ორი წერტილოვანი Q მუხტის ელექტრული ველის ენერგია, დიდი მანძილიდან l მანძილზე მიახლოებისას?

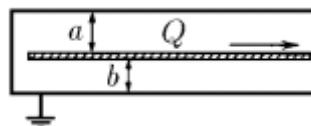
6.5.26*. ორი დამუხტული გამტარის ნელა მიახლოებისას მათი პოტენციალები შეიცვალა შესაბამისად $\Delta \varphi_1$ -ით და $\Delta \varphi_2$ -ით. განსაზღვრეთ, რა

მუშაობა შესრულდა გამტარების მიახლოებისას, თუ მათი მუხტები შესაბამისად არის Q_1 და Q_2 .

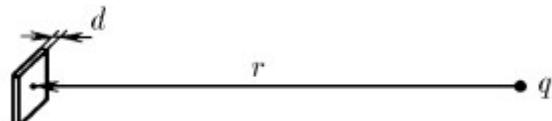
◊6.5.27*. ბრტყელ კონდენსატორში, რომლის შემონაფენების ზომებია $a \times a$ და დაშორებაა d , განალაგებენ c სისქისა და $a \times a$ ზომების მქონე გამტარ ფირფიტას. განსაზღვროთ, რა ძალა უნდა მოვდოთ ფირფიტაზე, რომ იგი გავაჩეროთ ერთ ადგილზე, თუ ა) შემონაფენების მუხტია Q ; ბ) შემონაფენებს შორის ნარჩუნდება მუდმივი V პოტენციალთა სხვაობა.



◊6.5.28. შეაფასეთ, რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ორი პარალელური დამიწებული ფირფიტისგან შემდგარი სისტემიდან ნახევრად გამოვწიოთ მათ შორის მყოფი გამტარი ფირფიტა? გამოსაწევი ფირფიტის მუხტია Q , ხოლო დამიწებულ ფირფიტებამდე მანძილებია a და b . თითოეული ფირფიტის ფართობია S .



◊6.5.29*. S ფართობისა და d სისქის მქონე მეტალის დაუმუხტავი ფირფიტა მდებარეობს წერტილოვანი q მუხტიდან r მანძილზე და ორიენტირებულია r ვექტორის მართობულად. იპოვეთ ძალა, რომლითაც მუხტი იზიდავს ფირფიტას. ფირფიტის სისქე მცირეა, ხოლო r მანძილი ბევრად მეტია



ფირფიტების წრფივ ზომებზე.

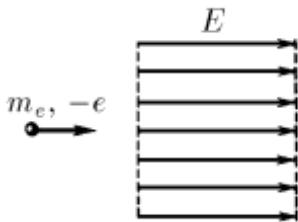
6.5.30*. შეაფასეთ ძალა, რომელიც მოქმედებს q მუხტზე, რომელიც მოთავსებულია იზოლირებულ დაუმუხტავ მეტალის R რადიუსის მოქნე სფერული გარსის ცენტრში, თუ მასში არის მცირე r რადიუსის ნახვრეტი. გარსის სისქეა Δ ($\Delta \ll r \ll R$).

თავი 7

§ 7.1. დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობა ელექტრულ ველში

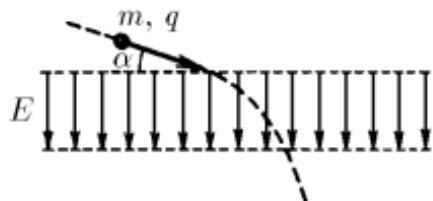
7.1.1. რა შემთხვევაში იმოძრავებს დამუხტული ნაწილაკი ელექტრულ ველში მისი ძალწირების გასწვრივ?

◊**7.1.2.** ელექტრონი შედის გარემოში, რომელშიც ერთგვაროვანი ელექტრული ველია, ელექტრული ველის დაძაბულობაა $E = 200 \text{ V/m}$. ელექტრონის სიჩქარე ელექტრული ველის მიმართულების გასწვრივაა მიმართული. იპოვეთ რა დროის განმავლობაში იმყოფება ელექტრონი ამ ველში? იპოვეთ რა მანძილით წაინაცვლებს ელექტრონი ელექტრული ველის მართობულ ღერძზე მისი ველიდან გამოსვლის მომენტისთვის, თუ მისი სიჩქარე გამოსვლისას ველის მიმართულებასთან ადგენს 45° -იან კუთხეს?



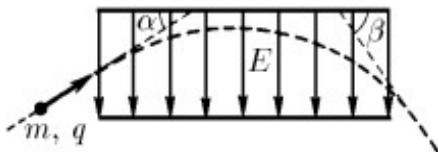
7.1.3. q მუხტის მქონე ნაწილაკი, რომლის მასაა m , მოძრაობდა მუდმივ ერთგვაროვან ელექტრულ ველში t დროის განმავლობაში. ელექტრული ველის არეალის სიგრძეა d . იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა.

◊**7.1.4** ნაწილაკი m მასით და $q > 0$ მუხტით შევარდა კონდენსატორში, ისე როგორც ნახატზეა ნაჩვენები. კონდენსატორის ფირფიტები დამზადებულია მეტალის ბადეებისგან. დაძაბულობა კონდენსატორის ფირფიტების შიგნით არის E , მანძილი ფირფიტებს შორის კი d . ნაწილაკის საწყისი ν სიჩქარე α კუთხეს ადგენს ველის მიმართულებასთან. რა სიჩქარით და რა კუთხით გამოვა ნაწილაკი კონდენსატორიდან?

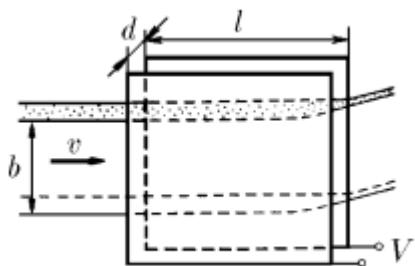


7.1.5. პროტონი და α - ნაწილაკი მოძრაობენ ერთიდაიგივე სიჩქარით და შედიან კონდენსატორის პარალელურ ფირფიტებს შორის. საწყისი მიმართულებიდან რომელი ნაწილაკის გადახრა იქნება მეტი და რამდენით?

◊**7.1.6.** q მუხტისა და m მასის მქონე ნაწილაკები შედიან კონდენსატორის ფირფიტებს შორის ფირფიტის სიბრტყისადმი α კუთხით და გამოდიან β კუთხით. კონდენსატორის ფირფიტის სიგრძეა l . იპოვეთ ნაწილაკის საწყისი კინეტიკური ენერგია E_{kin} , თუ დაძაბულობა ფირფიტებს შორის არის E .

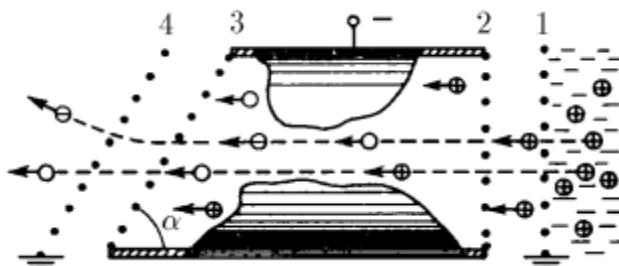


◊7.1.7. ელექტრონთა კონა შედის კონდენსატორის პარალელურ ფირფიტებს შორის, ისე რომ მათი საწყისი სიჩქარეები ფირფიტების პარალელურადაა მიმართული. ძაბვა ფირფიტებს შორის არის V , ხოლო ფირფიტის სიგრძე ელექტრონთა მოძრაობის მიმართულებით არის I . იპოვეთ რა რაოდენობის ელექტრონი ეცემა კონდენსატორის ფირფიტებს ერთეულ დროში, თუ ელექტრონთა კონა ავსებს კონდენსატორის ფირფიტებს შორის არსებულ არეალს (რომლის სისქეა d), ხოლო კონის სიგანე კი ელექტრული ველის მართობული მიმართულებით არის b . ელექტრონთა რიცხვი ერთეულ მოცულობაში არის n .

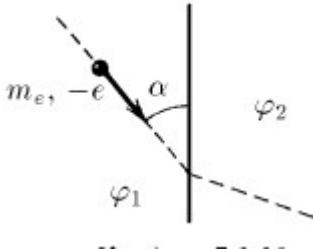


7.1.8. მტვრის ნაწილაკი რომლის მასაა 10^{-12} კგ მოძრაობს კონდენსატორის ვერტიკალურად დაყენებულ პარალელური ფირფიტებს შორის თანაბრად ქვევით ისე, რომ იგი დაშორებულია თითოეული ფირფიტიდან ტოლი მანძილით და ამ დროს ჯერ არაა ჩართული ელექტრული ველი ფირფიტებს შორის. ჰაერის წინააღმდეგობის გამო მტვრის ნაწილაკი მოძრაობს ვერტიკალურად ქვევით 1 მმ/წმ სიჩქარით. კონდენსატორზე მოდეს მუდმივი 490 ვ ძაბვა და მტვრის ნაწილაკმა 10 წმ-ის შემდეგ მიაღწია ერთ-ერთ ფირფიტას. განსაზღვრეთ მტვრის ნაწილაკის მუხტი. დაშორება ფირფიტებს შორის არის 0,1 მ. ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა სიჩქარის პირდაპირპროპორციულია.

◊7.1.9. სურათზე გამოსახულია სქემა თუ როგორ შეიძლება წყალბადის ატომების კონიდან უარყოფითი H^- იონები „ამოვგლიჭოთ“. 1 და 4 ბადე დამინებულია, ხოლო მილის 2 და 3 ბადებები კი უარყოფითი პოტენციალია მოდებული. 2 ბადე იზიდავს იმ წყალბადის პროტონებს, რომლებიც 1 ბადესთან არიან განლაგებულნი. მილში იწყებენ გაზის გატარებას, ამ დროს კი პროტონები რომლებიც შიცვებიან აირის დინებას გარდაიქმნებიან როგორც H^0 , ისევე H^- იონებად. განსაზღვრეთ მილის ღერძიდან რა კუთხით იქნებიან გადახრილები H^- როცა ისინი 4 ბადესთან აღმოჩნდებიან, კუთხე 3 და 4 ბადეს შორის არის α .

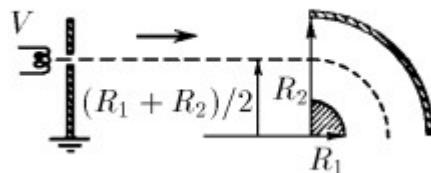


◊7.1.10*. ელექტრონი რომელიც მოძრაობს v სიჩქარით სიბრტყეში რომლის პოტენციალია φ_1 გადადის სიბრტყეში რომლის პოტენციალია φ_2 , ისე როგორც ნახატება ნაჩვენები. რა კუთხეს შექმნის ელექტრონი სიბრტყების გამყოფ წრფესთან გადასვლის მერე, თუ გადასვლამდე კუთხე საწყის სიჩქარესა და წრფეს შორის იყო α .



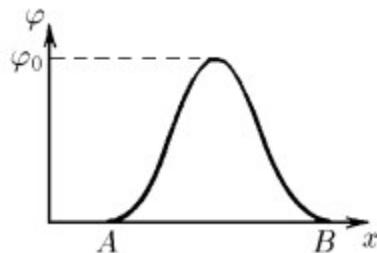
7.1.11. შეაფასეთ ელექტროდების ბოლოებზე პოტენციალთა რა სხვაობისთვის გაანათებს გაზის ლამპა, ლამპის შიგნით არსებული გაზის ატომების იონიზაციისთვის საჭიროა 3×10^{-16} ჰენრი. ელექტრონის თავისუფალი განარბენი ატომში 1მმ, ელექტროდების ფირფიტებს შორის დაშორება 1 სმ.

◊7.1.12*. იპოვეთ ის ამაჩქარებელი ძაბვა V , რომლის დროსაც ელექტრონები იმოძრავებენ ზუსტად ისე როგორც ნახატება ნაჩვენები. ცილინდრული კონდენსატორის შიგა და გარე რადიუსი შესაბამისად R_1 და R_2 . ფირფიტებს

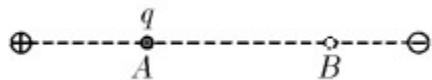


შორის პოტენციალი კი V_0 .

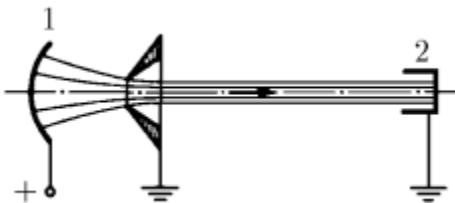
◊7.1.13. წრფივად მოძრავი ელექტრონი ხვდება ისეთ ელექტრულ ველში, სადაც პოტენციალის დამოკიდებულებას კოორდინატზე ნახატები ნაჩვენები სახე აქვს. B წერტილში ელექტრონი ველიდან გამოვიდა. შეიცვლებოდა თუ არა B წერტილიდან გამოსვლის სიჩქარე და AB გავლილი მანძილი სიგრძე, თუ ელექტრონს ჩავანაცვლებდით პოზიტრონით?



◊7.1.14*. ორ დამაგრებულ მუხს შორის შემაერთებელ მონაკვეთზე, A წერტილში დებენ q მუხის ნაწილაკს, რომელმაც AB მანძილი t დროშიგაირა. იპოვეთ რა დროში გაივლის იგივე AB მანძილს 3 q მუხი, თუ მასაც თავიდან A წერტილში მოვათავსებთ და ხელს გავუშვებთ. ნაწილაკების მასა ერთიდაიგივეა.



7.1.15. იონების საწყისი სიჩქარე ემიტერში(1) არის O . ხოლო ელექტრული ველი ემიტერსა და კოლექტორს(2) შორის მუდმივია. აჩვენეთ, რომ იონების ტრაექტორია სულაც არ არის დამოკიდებული მათ მასაზე. როგორ განსხვავდება ერთნაერ ტრაექტორიაზე მოძრავი იონების მოძრაობის დრო ერთმანეთისგან თუ იონების მუხტი ერთიდაიგივეა, ხოლო მასების შეფარდება მათი n .



7.1.16. Q მუხტით დამუხტული ორი R რადიუსიანი სფერო ერთმანეთისგან I მანძილითაა დაშორებული (I სფეროების ცენტრებს შორის მანძილია). რა მინიმალური ენერგია უნდა მივანიჭოთ ერთერთ სფეროს ზედაპირზე მყოფ ელექტრონს, რომ მან მეორე სფერო მიაღწიოს. Q მუხტი თანაბრადაა გადანაწილებული ორივე სფეროს ზედაპირზე.

7.1.17*. მოცემული გვაქვს თხელი არაგამტარი თანაბრად დამუხტული სფერო M მასითა და R რადიუსით, რომელსაც ორი ხვრელი აქვს დიამეტრალურად საპირისპირო წერტილებში. სფეროს მუხტია Q და საწყის მომენტი იგი უძრავია. ამ ხვრელების შემართებელი წრფის გასწვრივ უსასრულობიდან მოდის m მასისა და q იგივე ნიშნის მუხტის ნანილაკი, რომლის საწყისი სიჩქარე v -ია. იპოვეთ ის დრო რომლის განმავლობაშიც ნანილაკი იმყოფება სფეროს შიგნით. გრავიტაცია უგულვებელყავით.

7.1.18. ერთგვაროვან ელექტრულ E ველში იმყოფება ჰანტელი, რომელიც ასრულებს რხევას, ისე რომ როცა ის იმყოფება ველის მიმართ მართობულ მდგომარეობაში ჰანტელის ბოლოების სიჩქარეები 0 -ია. იპოვეთ ჰანტელის ბურთულების სიჩქარე მაშინ, როცა ჰანტელი მოთავსებულია ზუსტად ველის გასწრივ. ბურთულების მასაა m , მუხტები $+q$ და $-q$ მანძილი კი მათ ცენტრებს შორის l ია.

7.1.19. იპოვეთ ჰანტელის მცირე რხევის პერიოდი, თუ ის მოთავსებულია ერთგვაროვან E ელექტრულ ველში ველის მიმართულების გასწრივ. მის ბოლოებზე ჩამოცმული ბურთულების მასაა m , ხოლო მათი მუხტები კი შესაბამისად $+q$ და $-q$

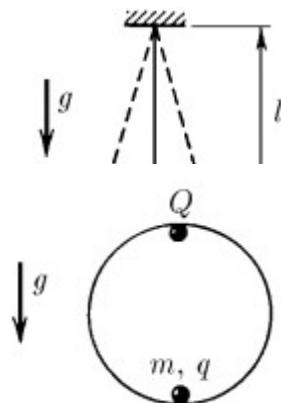
7.1.20. ქანქარა შედგება I სიგრძის ძაფისგან, m მასისა და q მუხტის სხეულისგან. იპოვეთ ქანქარას მცირე რხევის პერიოდი თუ მას მოვათავსებთ E ერთგვაროვან ელექტრულ ველში.

1) E ველი გრავიტაციული ველის გასწრივაა მიმართული

2) E ველი გრავიტაციული ველის მართობულადაა მიმართული

7.1.21. m მასისა და q მუხტი მქონე სხეული ორ დამაგრებულ Q მუხტს შორის არის მოთავსებული, $Qq > 0$. დაშორება ამ სხეულიდან ამ მუხტებს შორის თანაბარია და l -ის ტოლია. იპოვეთ სხეულის მცირე რხევის პერიოდი მისი და Q მუხტების შემაერთებელი წრფის გასწრივ.

◊7.1.22*. იპოვეთ ნახატზე გამოსახული ქანქარას მცირე რხევის პერიოდი. ქანქარა შედგება q მუხტით დამუხტული m მასის სხეულისგან, რომლის ქვემოთაც h მანძილით დაშორებულია დამაგრებული Q მუხტი. ძაფის სიგრძე არის l .



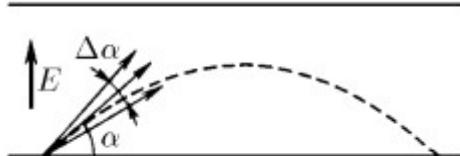
◊7.1.23*. იპოვეთ m მასის სხეულის მცირე რხევის პერიოდი, თუ იგი მოთავსებულია სფეროს შიგა ზედაპირის უდაბლეს წერტილში. მისი მუხტია q , ხოლო მის დიამეტრალურად დაშორებულ წერტილში კი იმყოფება დამაგრებული Q მუხტი. გრავიტაციული ველის გავლენა გაითვალისწინეთ.

◊7.1.24*. ელექტრონთა ნაკადი რომლის სიჩქარეა v და თითოეულის მასაა m , უსასრულობიდან მოდიან და ეცემიან მეტალის იზოლირებულ ბირთვს, რომლის რადიუსია R . რამდენით შეიცვლება ბირთვის ტემპერატურა, თუ მისი



სითბოტევადობაა C ?

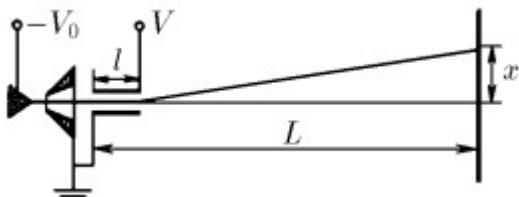
◊7.1.25*. ბრტყელი კონდენსატორის ერთერთი ფირფიტიდან ისვრიან ელექტრონებს, რომელთა საწყისი კინეტიკური ენერგიაა K , მათი გასროლის კუთხეა α , ხოლო მათი კუთხერი დაშორება კი მცირეა და უდრის $\Delta\alpha$. კონდენსატორის ელექტრული E ველის გავლენით, გასროლილი ელექტრონები ისევ იმ ფირფიტაზე ბრუნდებიან საიდანაც გაისროლეს. იპოვეთ გასროლის ის მინიმალური კუთხე α , რომლისთვისაც დაცემული ელექტრონების კონის სიგანე(იმ არეალის სიგანეზეა საუბარი ეს ელექტრონები რო შექმნიან ერთად ფირფიტაზე)? შეაფასეთ რამდენი იქნება ეს სიგანე.



◊7.1.26. ელექტრონი, რომელიც V_0 ძაბვით ააჩქარეს შეფრინდა კონდენსატორის ფირფიტებს შორის და შემდეგ მოხვდა ეკრანს. ფირფიტებს შორის

დაშორება d გაცილებით ნაკლებია ფირფიტების სიგრძე l -ზე, ხოლო მანძილი კონდენსატორსა და ეკრანს შორის L გაცილებით მეტია l -ზე. იმ შემთხვევაში, როცა ფირფიტების ბოლოებს შორის ძაბვა $V << V_0$, მაშინ ელექტრონის გადახრა x რომელიც ეკრანზე აღიწერება პროპორციული აღმოჩნდა LV სიდიდის და უკუპროპორციული V_0 -ის. $x \propto kLV/V_0$. განსაზღვრეთ k კოეფიციენტი.

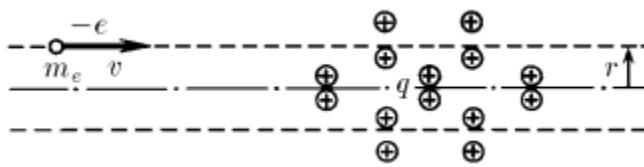
◊7.1.27. ელექტრონი შედის ოსისიმეტრიულ ელექტრულ ველში, რომელსაც



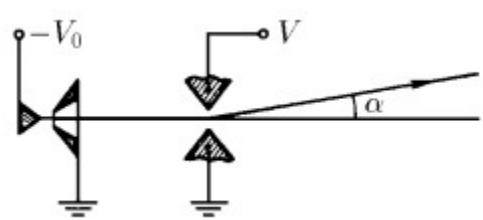
ქმნიან უძრავი q მუხტები, რომლებიც ნაჩვენებია ნახატზე. ელექტრონი საწყის მომენტში მოძრაობდა ღერძის პარალელურად v სიჩქარით და მისგან დაშორებული იყო r მანძილით. თუ ელექტრონის მოძრაობისას მისი სიჩქარე და დაშორება ღერძიდან ძალიან მცირედით შეიცვალა(იმდენად მცირედით, რომ არ გავითვალისწინოთ), მაშინ მის მიერ მისი მოძრაობის მართობულად შეძენილი იმპულსი $p_{rad} = eq/2\pi e_0 vr$. სადაც q მთლიანი მუხტია იმ ცილინდრული არეალის, რომლის რადიუსია r . გაუსის თეორემის გამოყენებით, მიიღეთ ეს ფორმულა.

ბ. იპოვეთ q_1 მუხტის მიერ შეძენილი რადიალური იმპულსი p , თუ მან ჩაიქროლა q_2 მუხტის მახლობლობაში, ისე რომ მისი საწყისი სიჩქარე v , ამ პროცესის დროს უმნიშვნელოდ შეიცვალა.

გ. იპოვეთ მინიმალური დაშორება აზოტის ატომბირთვსა და ელექტრონს შორის, თუ 100 კვ ძაბვით აჩქარებული ელექტრონი, მასთან მახლობლობაში ჩაქროლვისას, საწყისი მიმართულების გასწროვ გადაიხრება 10^{-3} რადიანი კუთხით.



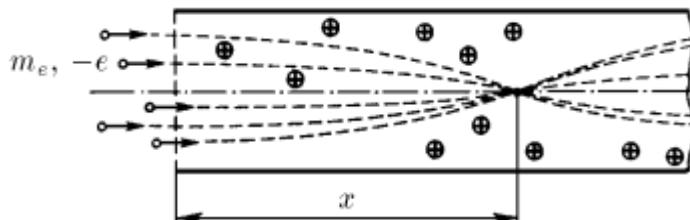
◊7.1.28*. ნაპრალის ბოლოებზე, რომელთა შორისაც გადის ელექტრონი, მოდებულია V ძაბვა. ნაპრალის ერთეული სიგრძის ტევადობაა C . V -ს მცირე მნიშვნელობებისთვის ელექტრონის გადახრა ნაპრალიდან გამოსვლისას აღმოჩნდა, რომ პროპორციულად ყოფილა დამოკიდებული CV -ზე და უკუპროპორციულად V_0 -ზე. (eV_0 ელექტრონის საწყისი ენერგია). გადახრა $\alpha = KCV/V_0$. განსაზღვრეთ K კოეფიციენტი.



§ 7.2. დამუხტული ნაწილაკების ფოკუსირება

7.2.1. ელექტრონთ პარალელური კონა ეცემა ელექტრონულ ლინზას და ფოკუსირდება. ელექტრონების ამაჩქარებელი ძაბვაა V , ხოლო ლინზაზე კი მოდებულია V ძაბვა. იპოვეთ როგორ უნდა გავზარდოთ ძაბვა ლინზაზე, თუ ელექტრონთა ენერგიას კონაში გავზრდით ორჯერ?

◊**7.2.2.** ელექტრონთა ნაკადი ფოკუსირდება მოცულობითად დადებითად დამუხტულ არეალში. ამ არეალის სიგრძეა l და მისი შესასვლელი წრიული ფორმისაა. რა მანძილზე დაფოკუსირდებიან ელექტრონები შესასვლელიდან, თუ იონების მოცულობითი მუხტია p , ხოლო ელექტრონების საწყისი სიჩქარე



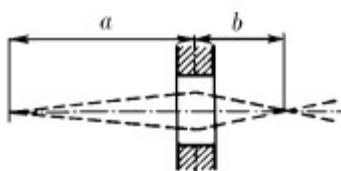
შესასვლელში არის v .

7.2.3. როგორ შეიცვლება ერთგვაროვანი დიდფოკუსიანი თხელი ლინზის ფოკუსური მანძილი, თუ ა) ნაწილაკის ენერგიას, რომელიც ფოკუსირდებიან გავზრდით k -ჯერ? ბ) ძაბვას ლინზაზე გავზრდით k -ჯერ? ლინზაში ნაწილაკის გავლისას მისი ტრაექტორიის მცირე ცვლილება ლინზაში ელექტრული ველის არსებობის გამო უგულვებელყავით.

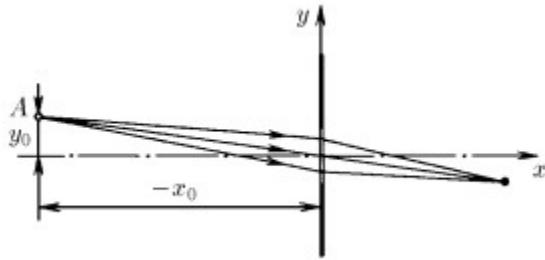
◊**7.2.4.** მიიღეთ ფორმულა დიდფოკუსიანი თხელი ლინზისთვის.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

სადაც a ელექტრონების წყაროდან ლინზამდე მანძილია, b ფოკუსირების ადგილიდან ლინზამდე, F კი ფოკუსური მანძილი.



◊**7.2.5.** ლინზის ოპტიკური ღერძიდან რა მანძილზე დაფოკუსირდება ელექტრონთა კონა, რომელთა წყაროა A წერტილი კოორდინატებით ($-x, y$), ხოლო ლინზა კი კოორდინატთა სათავეშია ჩადგმული? ლინზის ფოკუსური მანძილია f , გაითვალისწინეთ რომ $y << x, f$.

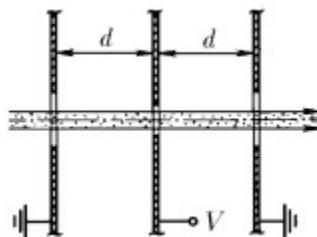


◊7.2.6. ელექტრონები კონდენსატორის ერთი ფირფიტიდან ამოცვივდნენ. ამავდროულად, მეორე ფირფიტაზე გაკეთებულია წრიული ხვრელი, იმდენად მცირე ზომის რომ იგი გაცილებით ნაკლებია კონდენსატორის ფირფიტებს შორის d მანძილზე. თურმე შესაძლებელი ყოფილა, რომ ეს ხვრელი ლინზად განვიხილოთ.

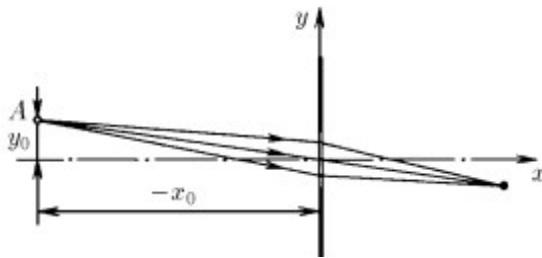
ა) დამოკიდებულია თუ არა ამ ლინზის ფოკუსური მანძილი ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობაზე?

ბ) განსაზღვრეთ ამ ლინზის ფოკუსური მანძილი, იმ ფორმულის დახმარებით რომელიც 7.1.27a ამოცანაშია მოცემული. ელექტრონთა საწყისი სიჩქარე სიმცირის გამო უგულვებელყავით.

◊7.2.7*. კონდენსატორის ფირფიტებიდან ამოჭრილია ორი ხვრელი ისე, რომ მათი ზომები გაცილებით ნაკლებია ფირფიტებს შორის მანძილზე და ისინი ერთმანეთის საპირისპიროდ არიან განლაგებულნი. პროტონთა პარალელური კონა, რომელიც აჩქარებულია V ძაბვით მოძრაობს კონდენსატორისკენ სწორედ ამ ხვრელების ცენტრთა შემაერთებელ წრფეზე. იპოვეთ რა მანძილზე დაფოკუსირდება პროტონთა კონა მეორე ხვრელიდან, თუ მეორე ფირფიტის პოტენციალია V , ხოლო პირველი ფირფითა დამიწებულია? მანძილი ფირფიტებს შორის d -ია.

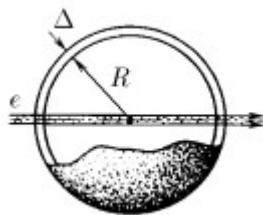


◊7.2.8*. რთული ლინზა შედგება სამი პარალელურად დამაგრებული ლითონის ფირფიტისგან, რომლებიც ერთმანეთისგან დაშორებულია d მანძილით. თითოეულ ფირფიტაზე გაკეთებულია პატარა ხვრელები, რომელთაც საერთო ლერძი გააჩნიათ ერთმანეთთან. გვერდითა ფირფიტები დამიწებულია, ხოლო შესა ფირფიტის პოტენციალია V . იპოვეთ რა მანძილზე დაფოკუსირდებიან ამ ლინზაში ელექტრონები, რომლებიც აჩქარებულნი იქნებიან $V >> V$ ამაჩქარებელი ძაბვით.



7.2.9. დამუხტულ ნაწილაკთა წვრილი პარალელური კონა ააჩქარეს V პოტენციალთა სხვაობით. კონა შედის თანაბრად დამუხტული სფეროს შიგნით და გადის მის ცენტრზე. რა მანძილზე დაფოკუსირდება ეს კონა თუ პოტენციალი სფეროს ცენტრში $V \ll V$.

7.2.10. სად დაფოკუსირდება V ძაბვით აჩქარებული წვრილ პარალელურ ელექტრონთა კონა, რომელიც შედის ელექტრულ ველში, რომელსაც ქმნის ორი კონცენტრული სფერო. მათი რადიუსებია R და $R - \Delta$, $\Delta \ll R$? გარეთა სფერო დამიწებულია, შიგნითა სფეროს პოტენციალია $V \ll V$ კონა მოძრაობდა ზუსტად სფეროს ცენტრის გასწვრივ.



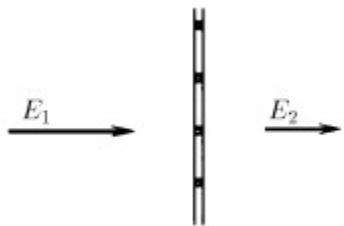
7.2.11*. ამოხსენით 7.2.10. ამოცანა იმ შემთხვევისთვის, როცა ელექტრონთა წყარო(ის წერტილი რომლიდანაც მოდიან ელექტრონები თავიდან), დაშორებულია ცენტრიდან $L >> R$ მანძილით და ნაკადი სფეროში შესვლისას ნორმალთან ქმნის მცირე α კუთხეს.

7.2.12. ბრტყელი კონდენსატორის ერთერთი ელექტროდი განვიხილოთ როგორც ელექტრონთა წყარო(გამომსხივებელი), ხოლო მეორე ელექტროდი კი წარმოადგენს პარალელურად დაკავშირებულ მავთულთა კონას, რომელთა შორის მანძილი გაცილებით ნაკლებია ელექტროდებს შორის d მანძილზე. ელექტროდების ბოლოებებზე ძაბვაა V . იპოვეთ ელექტრონთა განივი(ფირფიტის პარალელური) ენერგიის ნამატი მეორე ფირფიტასთან დაჯახებისას, თუ მანძილი მავთულებს შორის კონაში არის a , ხოლო მათი სისქეა b .

7.2.13. განსაზღვრეთ პოტენციალთა სხვაობა კონდენსატორის ფირფიტების ბოლოებებზე, თუ ლენტისმაგვარი ფორმის პროტონთა ნაკადი შედის კონდენსატორში გაკეთებულ ხვრელებში, რომლებიც ერთმანეთის საპირისპიროდ არიან განლაგებულნი(მათი ზომა გაცილებით ნაკლებია ფირფიტებს შორის მანძილზე). პროტონთა კონა მეორე ფირფიტიდან l მანძილზე დაფოკუსირდა. ჩათვალეთ, რომ პროტონები ააჩქარეს V_0 ამაჩქარებელი ძაბვით, ფირფიტებს შორის მანძილია d , $l >> d$, პირველი ფირფიტა დამიწებულია.

◊7.2.14*. აღმოჩნდა, რომ შესაძლებელია ყოფილა თანაბრად დამუხტული ძაფიც გამოვიყენოთ, როგორც ელექტრონული ლინზა და შევძლოთ დამუხტულ ნაწილაკთა ფოკუსირება. კერძოდ, თუ ძაფში გავაკეთებთ კვადრატული ფორმის ბადეებს, რომელთა ზომა გაცილებით მეტი იქნება ვიდრე ძაფის სისქე და თან კონას მივმართავთ ბადისკენ მართობულად, თურმე კონა დაფოკუსირდება ბადიდან დაშორებულ გარკვეულ წერტილში. დაამტკიცეთ ეს ფაქტი.

ბ) იპოვეთ ამ ბადის ფოკუსური მანძილი, თუ ელექტრული ველი სიბრტყის მარჯვენა და მარცხენა ნაწილში ერთგვაროვანია და უდრის E_1 და E_2 , ხოლო ელექტრონთა ენერგია კი არის eV .



§ 7.3. მოძრაობა ცვლად ელექტრულ ველში

7.3.1. ბრტყელი კონდენსატორის ერთერთი ფირფიტა (კათოდი) წარმოადგენს ელექტრონების წყაროს. ელექტრული ველის E დაძაბულობა კი ფირფიტებს შორის დროის ყოველ ტოლ მოკლე τ ინტერვალში ნიშანს იცვლის. რა დრო დასჭირდება ელექტრონს მეორე ფირფიტამდე (ანოდამდე) მისაღწევად? კათოდსა და ანოდს შორის მანძილია l .

◊**7.3.2.** სურათზე გამოსახულია სამელექტროდიანი ბრტყელი ლამპის ელექტროდები. ბრტყელი ბადე 2-ის ელექტრული ველი ბადე 1-დან აგდებს ელექტრონებს. ბადე 2-ზე მოდებულია მუდმივი V ძაბვა. ΔV ძაბვა 2 და 3 ბადეებს შორის დროის ყოველ ტოლ τ ინტერვალში იცვლის ნიშანს. 2 და 3 ბადეს შორის დაშორებაა l . განსაზღვრეთ რა სიჩქარით მიაღწევს ელექტრონი ბადე 2-ს თუ τ დრო: ა) ძალიან მცირეა; ბ) გაცილებით მეტია ბადეებს შორის ელექტრონის მოძრაობის დროზე.

7.3.3. ელექტრულ გენერატორში იყენებენ ტრიოდს, რომელშიც ანოდსა და კათოდს შორის მანძილია 1 მმ. შეაფასეთ მაქსიმალური რხევის სიხშირე, რომელიც შეიძლება მივიღოთ ამ გენერატორის გამოყენებით, თუ ძაბვა ანოდსა და კათოდს შორის არის 300 ვ.

7.3.4. გამოსახეთ ოსცილოგრაფის ელექტრო-სხივური მილის მგრძნობიარობა, რომელიც ძაბვაზეა დამოკიდებული (მისი ერთეულია mm/V), თუ ლაქა გადაადგილებულია ეკრანზე ფირფიტებზე მოდებული 1 ვ ძაბვის გამო. ფირფიტების სიგრძეა l , ხოლო მანძილი $d << l$, ფირფიტის ბოლოდან ეკრანამდე დაშორებაა $L >> l$, ელექტრონთა ამაჩქარებელი ძაბვაა V .

b) იპოვეთ მგრძნობიარობა თუ $V = 10$ კვ, $L = 30$ სმ, $l = 3$ სმ, $d = 5$ მმ.

7.3.5. ოსცილოგრაფს გააჩნია ფირფიტათა ორი წყვილი. ერთი წყვილი განლაგებულია ვერტიკალურად, ხოლო მეორე ჰორიზონტალურად. ჰორიზონტალურ წყვილზე მოდებულია ძაბვა, რომელიც იცვლება კანონით $V = V \sin \omega t$, ხოლო ვერტიკალურ წყვილზე მოდებული ძაბვა კი იცვლება $V = V \sin \omega t$. ოსცილოგრაფის მგრძნობიარობაა $5/V$ (სმ შეფარდებული ვოლტან). როგორ გამოსახულებას დავინახავთ ოსცილოგრაფის ეკრანზე? თუ შესაძლებელი იქნება იპოვეთ მისი გეომეტრიული ზომები.

7.3.6. ოსცილოგრაფის ფირფიტის სიგრძეა l , ხოლო ამაჩქარებელი ძაბვა კი V . ელექტრონული სიგნალის რა სიხშირისთვის შემცირდება ოსცილოგრაფის მგრძნობიარობა?

7.3.7. თუ ოსცილოგრაფში მაღალი სიხშირის სიგნალებს გავუშვებთ $v >> 1/t$ (სადაც t ელექტრონის მოძრაობის დროა ფირფიტებს შორის), ოსცილოგრაფის ეკრანზე გამოჩნდება ზოლები რომელთა სისქეა δ . ოსცილოგრაფის მგრძნობიარობა ნორმალურად მუშაობის პროცესში არის S . იპოვეთ სიგნალის ამპლიტუდა.

◊**7.3.8.** ელექტრონთა წვრილი კონა, რომლებიც აჩქარებულნი არიან V ძაბვით გადიან თანმიმდევრულად ჯერ პირველი კონდენსატორის ელექტრულ ველში,

ხოლო შემდგომ მეორე კონდენსატორის ელექტრულ ველში, როგორც ნახატზეა ნაჩვენები. კონდენსატორებს შორის დაშორებაა l , კონდენსატორები კი ერთმანეთთან პარალელურად არიან ჩართულები და ამავდროულად მათზე მოდებულია ცვლადი ძაბვა. f სიხშირის დროს ელექტრონთა კონა კონდენსატორთა სისტემიდან გამოდის ისე, რომ იგი არ იცვლის საწყის მიმართულებას. იპოვეთ რისი ტოლი იქნება ელექტრონის მუხტის ფარდობა მის მასასთან ეს კონკრეტული მოდელი, რომ დავიხმაროთ.

◊7.3.9*. ელექტრონთა ვიწრო კონა, რომლებიც აჩქარებულნი არიან V ძაბვით, შედის კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მათ პარალელურად. იპოვეთ ელექტრონთა კუთხური განშლადობა კონდენსატორიდან გამოსვლისას, თუ კონდენსატორზე მოდებულია ცვლადი ძაბვა $V = V \sin \omega t$, ფირფიტებს შორის დაშორება $d << l$ კონდენსატორის ფირფიტის სიგრძეზე.

◊7.3.10. ხელსაწყო, რომლის დახმარებითაც შესაძლებელია ელექტრონთა ნაკადიდან გამოვყოთ სხვადასხვა სიჩქარის ელექტრონები ნაჩვენებია ნახატზე. იგი შედგება l სიგრძის ბრტყელი კონდენსატორისგან, და ასევე ორი ეკრანისგან, რომელთაც აქვთ A და B ხვრელები. A ხვრელის ზომა ნაკლებია B ხვრელის ზომაზე. კონდენსატორის ფირფიტებზე მოდებულია ცვლადი ძაბვა ω ციკლური სიხშირისა და V ამპლიტუდის. მანძილი ფირფიტებს შორის არის d .

ა) რა სიჩქარით მოძრავი ელექტრონები გაივლიან კონდენსატორის ფირფიტებს შორის ზუსტად პარალელურად?

ბ)** რამდენი ცალი A ნახვრეტი უნდა იყოს B ხვრელის ბოლომი (B ხვრელი როგორც აღვნიშნეთ A -ზე გრძელია), რომ ელექტრონთა ის ჯგუფი რომლებიც მოხვდება B -ში გავიდეს ბოლომდე?

7.3.11. თავისუფალ ელექტრონზე საწყის $t = 0$ მომენტში მოქმედებას იწყებს $E = E \sin(\omega t + \varphi)$ დაძაბულობის ელექტრული ველი. იპოვეთ ელექტრონის მაქსიმალური და საშუალო სიჩქარეები.

7.3.12*. რა მაქსიმალური ენერგიის (ელექტრო ვოლტებში) შეძენა შეუძლიათ ელექტრონებს, რომლებიც იმყოფებიან ლაზერული სხივის მიერ შექმნილ ელექტრულ ველში? ველის დაძაბულობის ამპლიტუდა 10^{11} ვ/მ, სიხშირე $3 \cdot 10^{-15}$ ნმ⁻¹.

7.3.13*. გათხევადებული პლაზმა, რომელიც მოათავსეს მაღალი სიხშირით ცვლად ელექტრულ ველში $E = E \sin \omega t$ იძენს დადებით პოტენციალს. განსაზღვრეთ ეს პოტენციალი, თუ იონების მასა $M >> m_e$.

7.3.14*. ელექტრონი დრეკადადა დაკავშირებული მოლეკულაში სხვა ელექტრონებთან და მისი რხევის რეზონანსული სიხშირეა ω . რხევის მიღევის კოეფიციენტია γ . იპოვეთ ელექტრონის რხევის დამყარებული ამპლიტუდა იძულებითი რხევის დროს $E = E \sin \omega t$ ელექტრულ ველში.

7.3.15*. განსაზღვრეთ გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა, რომელიც შედგება ელექტრონებისგან, რომლებიც დრეკადად არიან დაკავშირებული მოლეკულაში და ასევე ელექტრული ველისგან, რომელიც გამოისახება $E = E \sin \omega t$

სახით. რეზონანსის ციკლური სიხშირეა ω , მიღევის კოეფიციენტი $\gamma \ll \omega$, ელექტრონთა რაოდენობა ერთეულ მოცულობაში n_e .

§ 7.4. დამუხტული ნაწილაკების ურთიერთქმედება

7.4.1. რა იქნება ელექტრონების სიჩქარე როცა ისინი ერთმანეთს kr მანძილით დაშორდებიან, თუ ვიცით რომ მათი საწყისი დაშორება r იყო და ამ მომენტში ისინი უძრავები იყვნენ?

7.4.2. კვადრატის წვეროებში, რომლის გვერდია a მოათავსეს ელექტრონები. კულონური ურთიერთქმედების ხარჯზე ელექტრონებმა დაიწყეს განზიდვა. იპოვეთ ელექტრონების სიჩქარე უსასრულობაში.

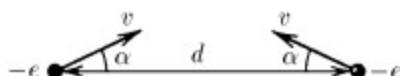
7.4.3*. კვადრატის წვეროებში დიაგონალურად საპირისპირო წერტილებში მოათავსეს ორი პროტონი და ორი პოზიტრონი. კულონური ურთიერთქმედების გამო ისინი იწყებენ გაფანტვას. შეაფასეთ სიჩქარეებს შორის ფარდობა პროტონებსა და პოზიტრონებს შორის უსასრულობაში. ცნობილია, რომ პროტონის მასა 1840-ჯერ აღემატება პოზიტრონის მასას, მუხტები კი მათი ერთი და იგივეა.

7.4.4. უსასრულობიდან ერთმანეთის შესახვედრად მოდის ორი ელექტრონი, მათი საწყისი სიჩქარეა v . იპოვეთ მინიმალური მანძილი მათ შორის, რომელიც დაფიქსირდება მათი მოძრაობის პროცესში.

7.4.5. უსასრულობიდან ერთმანეთის შესახვედრად მოდის ორი ელექტრონი, მათი საწყისი სიჩქარეებია v_1 და v_2 . განსაზღვრეთ მინიმალური მანძილი მათ შორის მოძრაობის პროცესში.

7.4.6. საწყის მომენტში უძრავ თანაბრად დამუხტულ ბირთვს შორიდან უახლოვდება მეორე თანაბრად დამუხტული ბირთვი ისე, რომ მათი ცენტრები ერთსადამავე წრფებება. რა სიჩქარე უნდა ჰქონდეს მოძრავ ბირთვს უსასრულობაში, რომ იგი დაეჭახოს პირველ ბირთვს? q_1, m_1, R_1 - პირველი ბირთვის მახასიათებლებია, q_2, m_2, R_2 - მეორე ბირთვის მახასიათებლებია

◊**7.4.7.** ორი მოძრავი ელექტრონის საწყისი სიჩქარეა v და ისინი მოთავსებული არიან ერთ სიბრტყეში. მათი საწყისი სიჩქარე α კუთხეს ქმნის მათ შემაერთებელ წრფესთან საწყის მომენტში. მათ შორის საწყისი მანძილია v . იპოვეთ რა მინიმალურ მანძილზე დაუახლოვდებიან ერთმანეთს ელექტრონები?



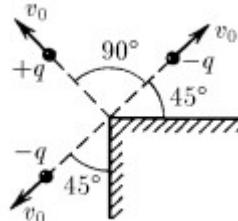
7.4.8*. ორი ელექტრონიდან რომელთა შორის მანძილია r , ერთერთის სიჩქარე 0-ია, ხოლო მეორის სიჩქარე მიმართულია გარკვეული კუთხით მათი შემაერთებელი წრფისადმი. როგორი იქნება კუთხე ელექტრონების სიჩქარეებს შორის იმ მომენტში, როცა მეორედ აღმოჩნდებიან ისინი ერთმანეთისგან r მანძილზე?

7.4.9*. ძალიან დიდი დაუმუხტავი ლითონის ფირფიტისკენ მოძრაობას უსასრულობიდან იწყებს q მუხტისა და m მასის ნაწილაკი. (ფირფიტის სიბრტყე უსასრულოდ დიდად მიიჩნიეთ) იპოვეთ ნაწილაკის სიჩქარე იმ მომენტში როცა იგი d მანძილით იქნება დაშორებული ფირფიტიდან?

◊**7.4.10***. სამი დამუხტული ნაწილაკის მასები და სიჩქარეებია ნაჩვენებია ნახატებები. თითოეულის დაშორება მეტალის ფირფიტის მართობულ წვერომდე თანაბარია და უდრის d -ს. იმ ორი მუხტის სიდიდე - q -ია, რომლებიც ერთმანეთის

საპირისპიროდ მოძრაობენ, ხოლო მესამე მუხტის სიდიე კი q . იპოვეთ მუხტების სიჩქარეები უსასრულობაში.

7.4.11. H_2^+ იონის ერთერთ მოდელში ელექტრონი მოძრაობს წრიულ ორბიტაზე, რომელიც იონის სიმეტრიის სიბრტყეში მდებარეობს. პროტონებს შორის



დაშორებაა R . იპოვეთ სიჩქარე, რომლითაც იმოძრავებს ელექტრონი r რადიუსის ორბიტაზე?

7.4.12. ატომის ბირთვის გარშემო რომლის მუხტია Ze ბრუნავს ელექტრონი წრიულად. რა მინიმალური ენერგია უნდა მივანიჭოთ ელექტრონს, რომ იგი ამოვგლიფოთ ატომიდან?

7.4.13*. დაშორება ელექტრონსა და პოზიტრონს შორის **პოზიტრონის პროცესში** არის r . იპოვეთ რა ენერგია უნდა მივანიჭოთ ელექტრონს, რომ პროცესი **პოზიტრონია გავწყვიტოთ?**

7.4.14*. ორი m და M მასის ნაწილაკი, რომელთა მუხტები განსხვავებული ნიშნისაა ელექტრული მიზიდვის გავლენით ბრუნავენ ერთმანეთის გარშემო წრიულად.

m მასის ნაწილაკის სიჩქარის მოდულს რაღაც მომენტში მომენტალურად ზრდიან

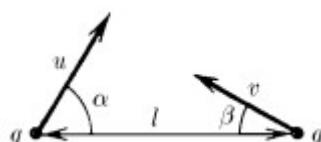
n -ჯერ, ისე რომ მიმართულებას უცვლელს უტოვებენ. იპოვეთ n -ის მინიმალური მნიშვნელობა, რომლის შემდეგაც ნაწილაკი ერთმანეთს მოწყდებიან და დაშორდებიან?

7.4.15*.

7.4.16.

7.4.17*. უძრავი პროტონისკენ უსასრულობიდან მოფრინავს მეორე პროტონი რომლის საწყისი სიჩქარეა v , ხოლო სამიზნე პარამეტრი კი P -ია. იპოვეთ მათ შორის მინიმალური მანძილი.

7.4.18*. rodesac or erTnair nawilaks Soris manZilia d , maSin maTi siCqaris veqtorebi erT sibrtyeSia da nawilakebis SemaerTebel monakveTTan α da β kuTxeebs qmnis. siCqareebis modulebi Sesabamisad aris u da v . TiToeuli



nawilakis muxtia q . gansazRvreT nawilakebis masa, Tu Semdgomi moZraobisas maT Soris minimaluri manZilia v .

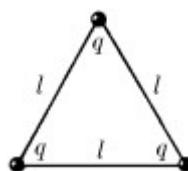
7.4.19*. ორი მუხტი მოათავსეს ერთმანეთისგან l მანძილზე და შემდგომ გაათავისუფლეს. t_0 დროის შემდეგ მათ შორის მანძილი ორჯერ გაიზარდა. ახლა ეს მუხტები მოათავსეს 3 l მანძილზე და გაათავისუფლეს, იპოვეთ ის t დრო როცა მანძილი მათ შორის გაორმადება?

7.4.20. m მასისა და q მუხტის ნაწილაკი მოძრაობს უსასრულობიდან თანაბრად დამუხტული დაუმაგრებელი სფეროსკენ, ისე რომ მისი მოძრაობის წრფე სფეროს ცენტრზე გადის. სფეროს აქვს ორი დიამეტრულად საპირისპირო ხვრელი, რომელშიც ნაწილაკს შეუძლია რომ გაძვრეს. რა მინიმალური სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ნაწილაკს უსასრულობაში, რომ მან მოახერხოს სფეროში გაძრომა? Q სფეროს მუხტია, M სფეროს მასა, R მისი რადიუსი. $Qq > 0$

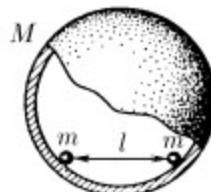
7.4.21. m მასისა და q მუხტის ნაწილაკი მოძრაობს უსასრულობიდან M მასისა და R რადიუსის დაუმაგრებელი რგოლისკენ, ისე რომ იგი მოძრაობს რგოლის ღერძის გასწვრივ. რგოლის მუხტია Q და საწყის მომენტი იგი უძრავია. იპოვეთ ნაწილაკის სიჩქარე იმ მომენტში, როცა იგი აღმოჩნდება რგოლის ცენტრში.

7.4.22*. . m მასისა და q მუხტის ნაწილაკი მოძრაობს უსასრულობიდან თანაბრად დამუხტული დაუმაგრებელი ბირთვისკენ, ისე რომ მისი მოძრაობის წრფე ბირთვის ცენტრზე გადის. ბირთვს აქვს ორი დიამეტრულად საპირისპირო ხვრელი, რომელშიც ნაწილაკს შეუძლია რომ გაძვრეს. რა მინიმალური სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ნაწილაკს უსასრულობაში, რომ მან მოახერხოს ბირთვში გაძრომა? Q ბირთვის მუხტია, M ბირთვის მასა, R მისი რადიუსი. $Qq > 0$. ჩათვალეთ, რომ ბირთვი მოცულობითადაა დამუხტული თანაბრად.

◊7.4.23*. სამი ერთიდაიგივე მუხტით დამუხტული ერთიდაიმავე ბურთულა ერთმანეთთან დაკავშირებულია | სიგრძის უმასი, უჭიმვადი და არაგამტარი ძაფებით. სისტემა მოთავსებულია მაგიდაზე. ერთერთი ძაფი გადაწვეს. იპოვეთ ბურთულების მაქსიმალური სიჩქარე.



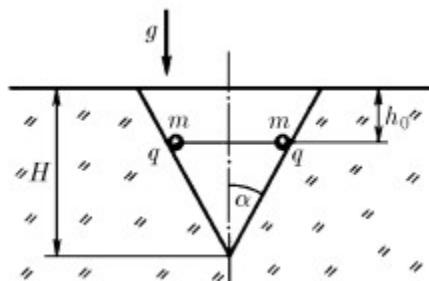
◊7.4.24. M მასისა და R რადიუსის არაგამტარი სფეროს შიგნით მოთავსებულია ორი m მასის ბურთულა, რომელთა შორის საწყისი მანძილია l . იპოვეთ სფეროს მოძრაობის მაქსიმალური სიჩქარე თუ ბურთულებს გავათავისუფლებთ.



7.4.25. პორიტონტალურ ზედაპირზე ერთმანეთისგან R მანძილით დაშორებულია ორი სხეული, თითოეულის მასაა m და მუხტია Q . კულონური

ურთიერთქმედების გამო ისინი მოძრაობას იწყებენ ზედაპირზე. ზედაპირთან ხახუნის კოეფიციენტია μ . რა მანძილს გაივლის თითოეული სხეული, თუ მათ გავათავისუფლებთ ერთსადაიმავე მომენტი? იპოვეთ თითოეული სხეულის მაქსიმალური სიჩქარე მოძრაობის პროცესში.

◊7.4.26*. კონუსურ ორმოში, რომლის სიღრმეა H და კუთხე წვეროსთან α მოთავსებულია ორი m მასისა და q მუხტის ბურთულა, რომლებიც ერთმანეთთან ძაფით არიან დაკავშირებულები. ძაფი გადაწვეს და ბურთულებმა დაიწყეს ზევით მოძრაობა, შემდგომ კი ორმოდან ამოფრინდნენ. ორმოს კედლებთან ხახუნის კოეფიციენტია μ . რა მაქსიმალურ სიმაღლეს მიაღწევენ ბურთულები ორმოდან ამოფრენის შემდეგ? საწყის მომენტი თითოეული ბურთულა ორმოში h სიღრმეზე



არიან მოთავსებულნი

7.4.27. ორი m მასისა და q მუხტის სხეული ერთმანეთთან შეაერთეს არადეფორმირებული I სიგრძის ზამბარით და შემდგომ გაათავისუფლეს. გარკვეული დროის შემდეგ, რხევები ზამბარაში ხახუნის გამო მიიღია და სხეულები ერთმანეთისგან $2I$ მანძილით აღმოჩნდნენ დაშორებულნი. იპოვეთ სითბოს რაოდენობა რომელიც გამოიყო ზამბარაში მთელი პროცესის განმავლობაში.

7.4.28. ორი დამუხტული სხეული ერთმანეთთან ზამბარითაა შეერთებული და ასრულებს რხევას, ისე რომ ზამბარის სიგრძე იცვლება I -დან I -მდე. არადეფორმირებული ზამბარის სიგრძეა I , თითოეული სხეულის მუხტია q . იპოვეთ ზამბარის სიხისტე.

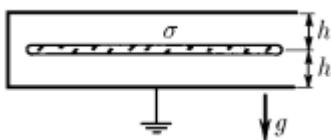
7.4.29. m მასისა და q მუხტის სფერო დაიშალა ძალიან ბევრ ნამსხვრევად, ისე რომ ამ ნამსხვერების სიჩქარე v მიმართულია სფეროს რადიუსის გასწვრივ. განსაზღვრეთ თითოეული ნამსხვრევის მაქსიმალური სიჩქარე.

7.4.30. ორი ერთნაერი ვერცხლისწყლის წვეთი, რომელთა რადიუსია R მოძრაობს ერთმანეთისკენ ისე რომ მათი სიჩქარე უსასრულობაშია v . დაჯახების შემდგომ ეს ორი წვეთი იკვრება და გადაიქცევა ერთ დიდ წვეთად. იპოვეთ ის სითბოს რაოდენობა, რომელიც გამოიყოფა დაჯახებისას. ა) წვეთებს აქვთ Q და $-Q$ მუხტი. ბ) ერთი წვეთის მუხტია $-q$, მეორესი კი Q . ვერცხლისწყლის სიმკვრივეა p , ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი კი σ .

◊7.4.31. მეტალის სხეულში გაკეთებულია ცილინდრული ფორმის ხვრელი. ცილინდრის ცენტრიდან გარკვეულ მანძილზე მოთავსებულია q მუხტი. მუხტი გაათავისუფლეს. დაახასიათეთ მისი მოძრაობა.



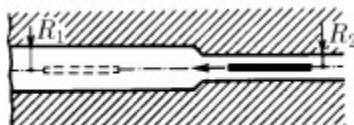
◊7.4.32*. ორ დამიწებულ მეტალის სიბრტყეს შორის მოთავსებულია დამუხტული ლითონის თხელი ფირფიტა, რომელიც დაშორებულია თითოეული სიბრტყიდან h მანძილით. ფირფიტის ზედაპირის ფართობია S , მასა m , ხოლო მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე კი σ . რა მინიმალური სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ ამ ფირფიტას, რომ მან მიაღწიოს ზედა სიბრტყეს? სიმძიმის ძალის გაფლენა გაითვალისწინეთ. h მანძილი გაცილებით ნაკლებია სიბრტყეების ზომებთან



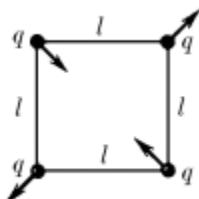
შედარებით.

7.4.33 . R რადიუსის დამაგრებულ გამტარ ბირთვს შიგნით გააჩნია r რადიუსიანი სიღრუე, რომლის ცენტრიც ბირთვის ცენტრს ემთხვევა. იპოვეთ რა სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ q მუხტით დამუხტულ სხეულს ბირთვის ცენტრში, იმისათვის რომ იგი გაძვრეს ბირთვიდან და დაშორდეს მას რაც შეიძლება შორს? ჩათვალეთ, რომ მუხტის მოძრაობის უზრუნველსაყოფად ბირთვში გაკეთებულია ნახვრეტები.

◊7.4.34*. გამტარ მავთულში გაკეთებულია ცილინდრული არხი, როგორც ნაჩვენებია ნახატზე. ეს ცილინდრული არხები გადადიან ერთმანეთში და თითოეულის რადიუსი შესაბამისად R_2 და R_1 -ია. დამუხტულ ღეროს რომლის ერთეული სიგრძის მუხტია p , აქვს I სიგრძე ($I \ll R_1$, R_2 $\textcolor{red}{i}$). ღერო არხის მარჯვენა ნაწილში მოძრაობდა v_0 სიჩქარით. იპოვეთ ღეროს სიჩქარე მეორე არხში.



◊7.4.35*. იპოვეთ 4 დამუხტული სხეულის რხევის პერიოდი, თუ ისინი ერთმანეთთან ძაფებით არიან დაკავშირებულნი და მოძრაობენ ისე როგორც ნახატზეა ნაჩვენები? თითოეული სხეულის მასაა m და მუხტი q .

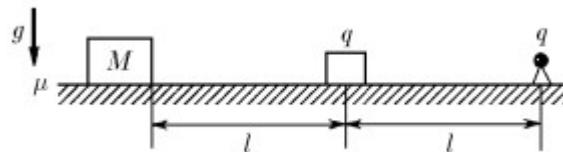


7.4.36*. პლაზმა შედგება ელექტრონებისგან და დადებითად დამუხტული მძიმე იონებისგან. ელექტრონებისა და იონების რიცხვი ერთეულ მოცულობაში ერთიდაიგივეა და n -ის ტოლია. პლაზმის h სისქის ფენაში ყველა ელექტრონს მიანიჭეს v სიჩქარე ფენის პერპენდიკულარული მიმართულებით. იპოვეთ რა დროის \bar{v} მდეგ გაჩერდებიან ელექტრონები ელექტრული ველის გავლენით, თუ $a) v \gg he\sqrt{\frac{n}{m}}$ ბ)

$v \ll he\sqrt{\frac{n}{m}}$ მეტელის მასაა. შეაფასეთ მოცემულ სიტუაციაში ელექტრონების რხევის სიხშირე.

7.4.37*. სამი დამუხტული სხეული, რომელთა მასა ერთიდაიგივეა შორდებიან ერთმანეთს, ისე რომ მოძრაობის პროცესში ყოველთვის ტოლფერდა სამკუთხედს ქმნიან, რომლის ზედა წვეროსთან მდებარე კუთხეა α . რამდენჯერ აღემატება ზედა წვეროსთან მდებარე მუხტის სიდიდე სამკუთხედის ფუძესთან მდებარე მუხტების სიდიდეს?

7.4.38*. სხეული რომლის მუხტია q საწყის მომენტში უძრავადაა დამაგრებული. მისგან მარჯვნივ l მანძილზე ასეთივე სიდიდის q მუხტია დამაგრებული, ხოლო მისგან მარჯვნივ კი M მასის ძელაკი დევს, რომლის მაგიდასთან ხახუნის კოეფიციენტია μ . სხეულს ათავისუფლებენ და ის იწყებს მოძრაობას მაგიდაზე უხახუნოდ. ძელაკთან დაკახებები მისი აბსოლიტურად დრეკადია, ასევე ჩათვალეთ რომ დაკახებისას ის საკუთარ q მუხტს ინარჩუნებს. იპოვეთ რა მანძილს გაივლის ძელაკი სხეულის ყველა დაკახების შემდგომ?



§ 8.1. ელ. დენი, ელ. დენის სიმკვრივე, ელ. დენი ვაკუუმში

8.1.1. ა) სინქოტრონში ელექტრონები მოძრაობს $L = 240\text{მ}$ სიგრძის წრიულ ორბიტაზე. აჩქარების ციკლის დროს ორბიტაზე დაახლოებით $n = 10^{11}$ ელექტრონი მოძრაობს, რომელთა სიჩქარეც პრაქტიკულად სინათლის სიჩქარის ტოლია. რისი ტოლია დენის ძალა?

ბ) განსაზღვრეთ დენის ძალა, რომელიც წარმოქმნილია წყალბადის ატომის $n = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ მ}$ რადიუსის მქონე ორბიტაზე მოძრავი ელექტრონისგან.

8.1.2. L სიგრძის გამტარში გამავალი მუხტი, რომელიც თანაბრადაა გადანაწილებული მთელ სიგრძეზე, q -ს ტოლია. განსაზღვრეთ მოძრავი ნაწილაკების საშუალო სიჩქარე, თუ გამტარში გამავალი დენის ძალა I -ს ტოლია.

8.1.3. ვან დე გრაფის გენერატორში $a = 30\text{სმ}$ სიგანის რეზინაგადადაკრული ლენტი მოძრაობს $v = 20 \text{ მ/წმ}$ სიჩქარით C

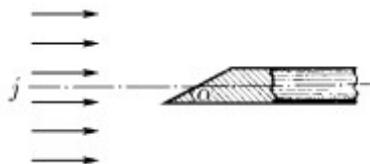
8.1.4. ელ. დენი გაიშვიათებულ აირში იონების მოძრაობას იწვევს. დაამტკიცეთ, რომ ერთნაირი მუხტების ერთმანეთთან შეჯახება დენის ცვლილებას არ იწვევს.

8.1.5. თუ დავუშვებთ, რომ მეტალში გამავალი ელექტრონების რაოდენობა ატომთა რაოდენობის ტოლია, რა იქნება იმ ელექტრონების საშუალო სიჩქარე, რომლებიც გადაადგილდება 1 მმ დიამეტრის მქონე ვერცხლის მავთულში, რომელშიც 30 ა დენი გადის?

8.1.6. ფოლგის ფირფიტა, რომელიც დაფარულია β -რადიოაქტიული ნივთიერებით, ფართობის ერთეულიდან დროის ერთეულში n რაოდენობის ელექტრონს აფრქვევს. მათი სიჩქარეა v . სიჩქარის ნებისმიერი მიმართულება თანაბარშესაძლებელია. იპოვეთ ელექტრული დენის სიმკვრივე. რატომ არაა ის დამოკიდებული v -ზე?

8.1.7. u სიჩქარით მოძრავი β -რადიოაქტიული მტვრის ნაწილაკების ნაკადში მოცულობის ერთეულში ელექტრონთა რაოდენობაა n . ელექტრონების სიჩქარე იმ ნაწილაკების მიმართ, რომელიდანაც ისინი გამოიტყორცნენ, v -ს ტოლია. ამასთან, სიჩქარის ნებისმიერი მიმართულება თანაბარშესაძლებელია. გამოთვალეთ ნაკადში ელექტრული დენის სიმკვრივე.

8.1.8. რენტგენის მილში $j = 0,2 \text{ ა/მმ}^2$ ელ. დენის სიმკვრივის მქონე ელექტრონების ნაკადი ეცემა 30° -ით დახრილ მეტალის ღეროს კიდეზე. ამ კიდის ფართობი $S = 10^{-4} \text{ } \text{მ}^2$ და თავად ღერო მოთავსებულია ელექტრონთა ნაკადის გასწვრივ. გამოთვალეთ დენი ღეროში.



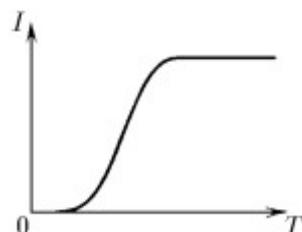
8.1.9. $j = 1 \text{ მკა/სმ}^2$ ელ. დენის სიმკვრივის მქონე პროტონთა ნაკადში მოათავსეს $r = 10\text{სმ}$ რადიუსის მქონე მეტალის ბურთი. განსაზღვრეთ დრო, რომელშიც მოცემული ბურთი $V = 220\text{ვ}$ ძაბვამდე დაიმუხტება. ბურთის ველის მოქმედება პროტონთა ნაკადზე უგულვებელყავით.

8.1.10. ელექტრონების ნაკადში ელ. დენის სიმკვრივეა j ელექტრონების სიჩქარე v . გამოთვალეთ ელექტრონთა ნაკადში მუხტის სიმკვრივე.

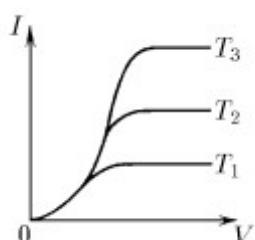
8.1.11. საწყისი $r = 3$ სმ რადიუსის მქონე წრიული კვეთის ელექტრონთა ნაკადში ელექტრონების სიჩქარე $v = 10^8$ მ/მ-ია, ხოლო სრული დენისას $I = 100$ ა. შეაფასეთ ელექტრონთან ნაკადის ზედაპირზე ელექტრული ველის თავდაპირველი დაძაბულობა და დაშორება, რომელზეც ელექტრონთა ნაკადის რადიუსი საკუთარი ელექტრული ველის მოქმედებით ორჯერ გაიზრდება.

8.1.12*. ორ პარალელურ ბადეს შორის წარმოქმნილია შემაფერზებელი ელექტრული ველი, რომლის დაძაბულობაა E . წინა ბადის ნორმალზე ეცემა ელექტრონების ფართო ნაკადი, რომლის მუხტის სიმკვრივეა ρ , ხოლო სიჩქარე - v . ელექტრონთა ურთიერთქმედების გათვალისწინების გარეშე განსაზღვრეთ მუხტთა სიმკვრივის გადანაწილება ბადეებს შორის იმ შემთხვევაში, თუ: а) ელექტრონების სიჩქარე იმდენად დიდია, რომ ისინი განჭოლავენ ბადეს და უკან აღარ ბრუნდებიან. ბ) ელექტრონები ველით აისახებიან. (ეს კარგად ვერ გავიგე) მეორე შემთხვევაში ρ -ის რომელი მნიშვნელობიდან დაწყებული უნდა გავითვალისწონოთ მუხტის ველი ბადეებს შორის?

◊8.1.13. ვაკუუმიან დიოდზე 2 ელექტროდია: კათოდი, რომლიდანაც „იფრქვევიან“ ელექტროები (მას სპეციალურად ათბობენ), და ანოდი, რომელზე ხვდებიან კათოდიდან გამოსული ელექტრონები. ახსენით, რატომ შეიძლება დიოდის გამოყენება როგორც დენის გამმართავი ხელსაწყო. (ვყოფილი არის გამოსახული გამოსახული, თუ როგორაა დენის ძალა ანოდის წრედში დამოკიდებული კათოდის ტემპერატურაზე კათოდსა და ანოდს შორის მუდმივი ძაბვის დროს. ახსენით ამ დამოკიდებულების ხარისხი).



◊8.1.14. სურათზე გამოსახული 3 გრაფიკი გვიჩვენებს ანოდზე დენის ძალის დამოკიდებულებას დიოდის ელექტროდებს შორის ძაბვაზე სხვადასხვა ტემპერატურის დროს. რომელი მრუდი შეესაბამება დაბალი ტემპერატურის კათოდსა და რომელი - მაღალი ტემპერატურისას?



8.1.15. როდესაც დიოდში დენი წნევისგან შორსაა, კათოდის ზედაპირთან ახლოს წარმოიქმნება ელექტრონების თხელი ფენა, რომლისგანაც ელექტრონების უმრავლესობა კათოდზე ბრუნდება, მიიზიდება მისკენ, ხოლო ნაწილი იფანტება საწინააღმდეგო მხარეს და და ველის მიერ მიიზიდება ანოდისკენ. რატომ შეგვიძლია ამ ფენის გარე მიზნაზე ელექტრული ველის ნულად მიჩნევა?

8.1.16*. ვაკუუმიან დიოდზე კათოდი და ანოდი არის ორი პარალელური მეტალის ფირფიტა, რომელთა შორისაც $d = 0,5$ სმ სიგრძის მქონე ჭრილია მოქცეული. თითოეული ფირიტის ფართობი $S = 10 \text{ cm}^2$. კათოდსა და ანოდს შორის $V = 5000$ ვ ძაბვისას დენის ძალაა $I = 1 \text{ A}$. იმის გათვალისწინებით, რომ ელექტრული ველი ფირფიტებს შორის ერთგვაროვანია, განსაზღვრეთ მუხტის სიმკვრივის დამოკიდებულება კათოდის დაშორებასთან. ელექტრონების საწყისი სიჩქარე ნულის ტოლად ჩათვალეთ. შეიძლება თუ არა, მოცემულ შემთხვევაში ელექტრონებზე მათი სივრცითი მუხტის მოქმედება ვუგულვებელყოთ?

8.1.17*. იმისათვის, რომ გავიგოთ სივრცითი მუხტის მოქმედება ბრტყელი დიოდის მუშაობაზე, რომლის ელექტროდებს შორის მანძილია d , საჭიროა დავამყაროთ მუხტის ρ სიმკვრივის, φ პოტენციალისა და ელექტრონების v სიჩქარის დამოკიდებულება კათოდიდან x დაშორებაზე. ელექტრონების მაღალი სიმკვრივისაგან მოშორებით ელექტრონების სიჩქარე და ველის დაძაბულობა შეგვიძლია, ნულად ჩათვალოთ. იმ შემთხვევაში, როდესაც კათოდი დამიწებულია, პოტენციალი შეგვიძლეა შემდეგი სახით წარმოვადგინოთ: $\varphi = \frac{x}{V_i + d} n$.

აქედან გამოთვალეთ $\rho(x)$ და $v(x)$, ხოლო შემდეგ დენის სტაციონალურობის გამოყენებით იპოვეთ ხარისხის მაჩვენებელი n . მიიღეთ ზუსტი გამოსახულება დენის სიმკვრივისთვის და დიოდში გამავალი ელექტრული დენისათვის მოცემულ V ძაბვაზე.

8.1.18*. დიოდის ანოდსა და კათოდს თვითნებური ფორმები აქვს. დავუშვათ, განსაზღვრულ ძაბვაზე დიოდში იმ რეჟიმში, რომელშიც იგი დაშორებულია მაღალი სიმკვრივის მუხტისგან, ელექტროდებს შორის მოვათავსეთ სივრცითი მუხტი, რომლის სიმკვრივეა $\rho(x, y, z)$. რამდენჯერ გაიზრდება ამ მუხტის სიმკვრივე, თუ დიოდზე ძაბვა n -ჰერ გაიზრდება? რამდენჯერ გაიზრდება დიოდში გამავალი დენი?

8.1.19. ერთგვაროვანი გამტარი ღრმადაა ერთგვაროვან მიწაში ჩაფლული. სიგრძის ერთეულზე ამავალი დენი i -ს ტოლია. გამოიანგარიშეთ ელექტრული დენის სიმკვრივე დამტარიდან r რადიუსის დაშორებით. გამტარის სიგრძე ბევრად აღემატება r -ს.

8.1.20. ა) A წერტილთან გარემოს დენი მიეწოდება, ხოლო B წერტილის შემცველი გარემოდან დენი გამოედინება. იმის გათვალისწინებით, რომ თითოეულ გარემოში ნებისმიერი წერტილი სხვა წერტილებისგან დამოუკიდებლად წარმოქმნის ელ. დენის სტაციონალურ სფერულ-სუმეტრიულ ველს, განსაზღვრეთ ელექტრული დენის ზედაპირული სიმკვრივე A და B წერტილების სიმეტრიულ სიბრტყეზე. რა არის ამ სიბრტყეში გამავალი დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა? როგორ შეიცვლება პასუხი, თუ B წერტილითან გარემოს მიეწოდება I დენი?

ბ) განსაზღვრეთ მიწის ზედაპირზე ელექტრული დენის სიმკვრივის გადანაწილება, თუ მისი ზედაპირიდან h სიღრმეზე მდებარეობს I დენის წერტილოვანი წყარო.

8.1.21*. იდეალური გამტარის ზედაპირის პარალელურად მისგან I მანძილით დაშორებით v სიჩქარით მოძრაობს წერტილოვანი q მუხტი. იპოვეთ ამ მუხტიდან r მანძილზე წრფივი გამტარში გამავალი „ინდუცირებული“ ზედაპირული დენის სიმკვრივე, $r > 1$.

§ 8.2. გამტარობა. წინაღობა. ელექტრომამოძრავებელი ძალის წყაროები

8.2.1*. ა) განსაზღვრეთ მეტალის ელექტროგამტაფობა, თუ გამტარში მოცულობის ერთეულში ელექტრონთა რაოდენობაა n_e , ელექტრონების კრისტალის იონებთან ყოველ მომდევო დაჯახებას შორის დრო არის T . დაჯახების შემდეგ ელექტრონის ნებისმიერი მიმართულებით სვლა თანაბარშესაძლებელია.

ბ) განსაზღვრეთ საშუალო დრო ელექტრონების სპილენძის კრისტალის იონებთან ყოველ მომდევნო დაჯახებას შორის.

8.2.2*. კონტეინერს, რომელიც სავსეა ოთაცის ტემპერატურისა და ნორმალური ატმოსფერული წნევის მქონე აირით, ასხივებენ ისე, რომ მოლეკულების არც ისე დიდი ნაწილი იონიზირდება. O_2 -ის იონები უარყოფითად გვევლინებიან, „დაჭრილი“ ჰყავს ელექტრონი. კონტეინერის ზომებია $10 \times 10 \times 2$ სმ; ორი 10×10 სმ კედელი მეტალისგანაა დამზადებული, ხოლო დანარჩენები - ელექტროგამტარი ნივთიერებისგან. ორ გამტარ კედელს შორის მოდებულია 1000 ვ ძაბვა, რომელიც იწვევს 1,5 მკა დენის წარმოქმნას. იმის გათვალისწინებით, რომ დადებითად და უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების რაოდენობა ტოლია, განსაზღვრეთ, აირის რა ნაწილია იონიზებული. იონების თავისუფალი გარბენის სიგრძეა 10^{-7} მ.

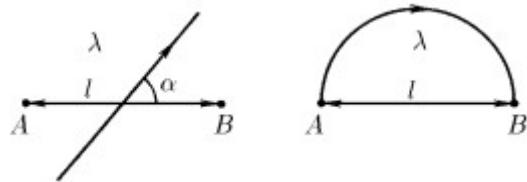
8.2.3. მუდმივი ელექტრული ველის მოქმედებით დამტარში წარმოიქმნება მუდმივი ელექტრული დენი, ანუ დენის მატარებლებს აქვთ მუდმივი საშუალო სიჩქარე და არა აჩქარება. ეს ნიშნავს იმას, რომ ნივთიერების მხრიდან არსებობს ძალა, რომელიც მოქმედებს დენის მატარებლებზე. იპოვეთ საშუალო ძალა, რომელიც მოქმედებს დენის გადამტანებზე, თუ ნივთიერების კუთრი ელექტროგამტარობაა λ , დენის გადამტანთა სიმკვრივეა n , სიჩქარე v , ხოლო მუხტი e -ს ტოლია.

8.2.4. ლითონის მავთულის ბეჭედი, რომლის რადიუსი $r = 0.1$ მ, მოძრაობს $\Omega = 10^3$ რად/წმ კუთხური სიჩქარით. განსაზღვრეთ რა დენი გავა ბეჭედში, რუ მას თანაბარშენელებულად ვამოძრავებთ $\pi = 10^{-3}$ წმ დროის განმავლობაში, მანამ, სანამ იგი ბოლომდე არ გაჩერდება. ბეჭდის კვეთის ფართობი $S = 0.5$ სმ², მეტალის კუთრი ელექტროგამტარობაა $\lambda = 6 \cdot 10^7$ სიმენსი/მ.

8.2.5. გამტარში მიმართული დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარე არ აღემატენა რამდენიმე სანტიმეტრს წამში. რატომ წათდება მაგიდის ლამპა ჩამრთველზე ხელის დაჭრების შემდეგ მყისიერად?

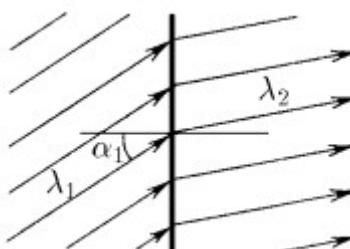
8.2.6*. ქვემოთ მოყვანილი ცხრილის გამოყენებით განსაზღვეთ დამოკიდებულება თბოგამტარობასა და კუთრ ელექტროგამტარობას შორის რიგი მეტალებისთვის 0 გრადუსზე. რით ახსნით მიღებულ შედეგს?

8.2.7. განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა და პოტენციალთა სხვაობა გამტარის A და B წერტილებს შორის თუ მასში დენი გადის α კუთხით AB წრფის მიმართულებით. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა A და B წერტილებს შორის, თუ დენის ხაზი, რომელიც ამ წერტილებს აერთებს, წარმოადგენს ნახევარწრენირს. A და B ს შორის მანძილი ტოლია l -ის. გამტარში დენის სიმკვრივეა j , მისი კუთრი ელექტროგამტარობა კი λ .



8.2.8. ელ. დენის სიმკვრივე j პერპენდიკულარულია იმ ორი გარემოს გამყოფი სიბრტყის, რომელთა კუთრი ელექტროგამტარობებია λ_1 და λ_2 . იპოვეთ მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე ამ სიბრტყეზე.

◊**8.2.9.** იმ ორი გარემოს გამყოფ სიბრტყეზე, რომელთა კუთრი ელექტროგამტარობებია λ_1 და λ_1 , პირველი გარემოდან გამოდის დენის ხაზი, რომელიც სიბრტყის ნორმალის მიმართ ქმნის α_1 კუთხეს. როგორ კუთხეს ქმნის დენის ხაზი მეორე გარემოს ნორმალთან? რისი ტოლია მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე ამ გარემოთა გამყოფ საზღვარზე? პირველ გარემოში დენის სიმკვრივეა



j .

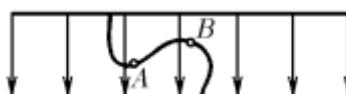
8.2.10. გარემოს კუთრი გამტარობა დამოკიდებულია კოორდინატებზე x : $\lambda = \lambda_0 \cdot a / (a + x)$. როგორ არის დამოკიდებული მუხტის x სიმკვრივე დენის j სტაციონარულ სიმკვრივეზე, მიმართული x ღერძის გასწვრივ.

8.2.11. ρ კუთრი წინაღობის გამტარი ბურთის ცენტრში აღმოჩნდა მოქარებებული მუხტი Q_0 .

ა. როგორ არის დამოკიდებული Q_0 ზე დენი, რომელიც მიედინება ბურთის ცენტრიდან მისი ზედაპირისკენ?

ბ. როგორ შეიცვლება მუხტი ბურთის ცენტრში დროთა განმავლობაში?

◊**8.2.12.** დამუხტული კონდენსატორის ფირფიტები შეერთებულია თხელი მოღუნული გამტარებით. როგორ არის მიმართული დენი A და B წეტილებს შორის? როგორ შევუსაბამოთ ის ველის მიმართულებას კომდენსატორში?

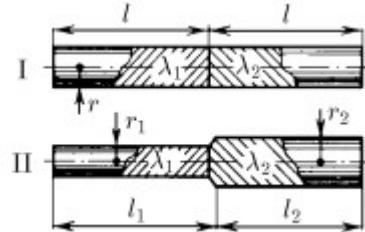


8.2.13. გამტარი ნივთიერების მქონე ცილინდრს, რომლის კუთრი ელექტოგამტარობაა λ , აქვს l სიგრძე და S ფართობის მქონე განივი ჭრილი. მის ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობა უდრის V -ს. განსაზღვრეთ დენი ცილინდრის ჭრილში. როგორია ამ ცილინდრის წინაღობა?

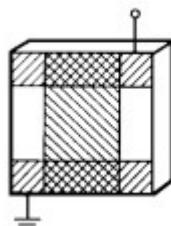
◊**8.2.14.** მეტალებისგან, რომელთა კუთრი გამტარობებია λ_1 და λ_2 , დაამზადეს გრძელი ღეროები და შეაერთეს ისინი ისე, როგორც ნახატზეა მოცემული.

უკიდურეს ბოლოებს შორის ნარჩუნდება პოტენციალთა სხვაობა V . განსაზღვრეთ დაკავშირებული ღეროების წინაღობა და მათში გამავალი დენი.

◊8.2.15. ექსპერიმენტატორს სურს, დაამზადოს ალუმინის ფირფიტების სისქის 500 ნმ ფენა ვაკუუმში მისი მოპკურებით შუშის ფირფიტის სუფთა ზედაპირზე.



თავდაპირველად ის დებს ალუმინის ორ საკმაოდ სქელ ფენას, თუმცა ფირფიტის ცენტრში ტოვებს სუფთა ზედაპირის ხაზს, რომელიც დაფარულია ნიღბით. შემდეგ, სხვა ნიღბის გამოყენებით, ის შუშაზე სხვადასხვა მიმართულებით აპკურებს სუფთა ხაზის სისქის ტოლ ალუმინის ხაზებს. ამასთან, სქელი ფენები გამოიყენება როგორც გამოსავლელი მოპკურებული შრის წინაღობის გასაზომად. შრის როგორ წინაღობაზე უნდა გაჩერდეს მოპკურების პროცესი, თუ ალუმინის კუთრი წინაღობა ოთახის ტემპერატურაზე არის $2,83 \cdot 10^{-8}$ მმი⁻¹ მ?



8.2.16*. იზოლატორისგან დამზადებული გრძელი ცილინდრული მილი დაფარულია თხელი გამტარი შრით. მილის ბოლოებს შორის წინაღობა არის R_0 . გამტარ შრეს სპირალურ ხაზში ხერხავენ თხელი ხერხით, რომელიც მილის გაგრძელებასთან ქმნის α კუთხეს. ამის შემდეგ აერთებენ კონტაქტებს და ფარავენ იზოლატორით. განსაზღვრეთ მიღებული რეზისტორის წინაღობა.

8.2.17*. დაბალი λ კუთრი ელექტროგამტარობის გარემოში მოთავსებულია მეტალის r რადიუსის ბურთი. განსაზღვრეთ ბურთიდან გამომავალი დენი, თუ მისი პოტენციალია V . თუ ასეთ ბურთს იზოლირებული მავთულით შევუერთებთ მეხამრიდს, როგორი იქნება დამინების წინაღობა?

8.2.18*. ორი ელექტროდი - მეტალის 30 სმ დიამეტრის ბურთები - ზღვაში 60 მ სიღრმეზე კიდია იზოლირებულ კაბელებზე. ბურთებს შორის დაშორება 300 მეტრია. ზღვის წყლის კუთრი ელექტროგამტარობაა 4 სიმენსი/მ. შეაფასეთ წყლის წინაღობა ბურთებს შორის.

8.2.19*. სპილენძის ელექტროდებზე, რომლებიც ჩაძირულია მარილიანი წყლის დიდ ავტში, მოდებულია მუდმივი დაძაბულობა. ზონდის დახმარებით, რომელიც შეერთებულია მაღალი წინაღობის ვოლტმეტრთან, შესაძლებელია მივიღოთ ექვიპორტენციალების „რუქა“. ამ რუქის მონაცემების მიხედვით, როგორ განვსაზღვროთ დენის მიმართულება და დენის სიმკვრივე? რატომ არის ელექტრული ველი წყალში ისეთივე, როგორიც ვაკუუმში არსებული ელექტროდებში მათ შორის იმავე ძაბვის დროს?

◊8.2.20. სფერული კონდენსატორის შემონაფენების რადიუსებია შესაბამისად r_1 და r_2 , მუხტი კი $\pm q$. იპოვეთ წინაღობა და გამოსული დენი ამ

კონდენსატორში, თუ შემონაფენებს შორის არის ε დიელექტრული შეღწევადობისა და λ კუთრი ელექტროგამტარობის მქონე ნივთიერება.

8.2.21*. კონდენსატორის λ კუთრი ელექტროგამტარობისა ε

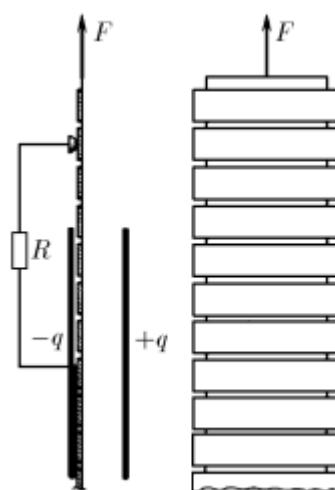


დიელექტრული შეღწევადობის მქონე ნივთიერებით შევსების შემდეგ მის მომჭერებს შორის წინაღობა აღმოჩნდა R -ის ტოლი. იპოვეთ კონდენსატორის მოცულობა. არის თუ არა შედეგი კონდენსატორის კონსტრუქციაზე დამოკიდებული?

8.2.22*. სად უნდა განვალაგოთ ელექტრული კონტაქტები მრგვალი გამტარი ფირფიტის ქვემო და ზედა ზედაპირებზე, რომ მათ შორის წინაღობა იყოს მინიმალური?

8.2.23. რატომ არ ითვალისწინებენ ნივთიერების ელექტრული დენის განხილვისას დენის მატარებლების მონესრიგებულ მოძრაობასთან დაკავშირებულ კინეტიკურ ენერგიას? შეაფასეთ ერთი ფირფიტის კინეტიკური ენერგია (ელექტრონ-ვოლტებში) $S = 1 \text{ მმ}^2$ კვეთის ფართობის მქონე ნატრიუმის მავთულში $I = 100 \text{ ა}$ დენის დროს. გამავალი ელექტრონების რაოდენობა მავთულის მოცულობის ერთეულში $n_e = 2,5 \cdot 10^{22} \text{ სმ}^{-3}$.

8.2.24*. ლენტა შედგება ვიწრო გამტარი ზოლებისგან კიდევ უფრო ვიწრო იზოლირებული ნახვრეტებით. ის ეხება კონდენსატორის ერთ ფირფიტას და მცირე კონტაქტით, რომელთა შეა ჩართულია R წინაღობა. აქამდე ლენტა არ ყოფილა დამუხტელი, კონდენსატორის ფირფიტების მუხტი იყო $\pm q$. ფირფიტების სიგრძეა l , მათი სიგანე ემთხვევა ლენტის სიგანეს. კონდენსატორიდან ლენტას F ძალით ექაჩებიან. იპოვეთ წინაღობაში გამავალი დენი და ლენტის დამყარებული სიჩქარე. კონდენსატორის ფირფიტების კიდეებსა და კონტაქტს შორის მანძილი

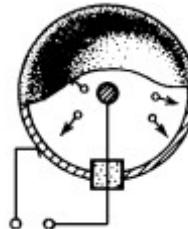


ბევრად დიდია მათ შორის დაშორებაზე და ბევრად მცირეა მათ სიგრძეზე.

8.2.25. ვან დე გრააფის გენერატორში გაუმტარ ლენტზე „მიმაგრებული“ მუხტის მატარებლები გადაიტანება ელექტრული ველის საწინააღმდეგოდ. ძლიერი ველის, რომელიც ლოკალიზებულია კონტაქტურ ცოცხლების მოქმედებით ბურთის

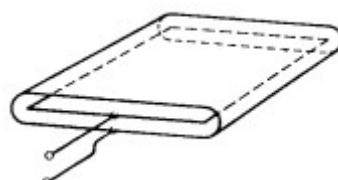
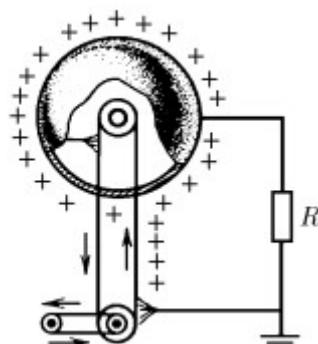
შიგნით მუხტები ლენტას სცილდებიან. ლენტს მოძრაობისთვის აუცილებელი ენერგია შეუძლია მიაწოდოს ელექტრომამოძრავებელმა, ბენზინის მოტორმა, ან ადამიანის ხელმა. ლენტაზე სრული მუხტი არის q , მისი სიგრძეა l , ბურთსა და მიწას შორის წინაღობა კი არის R . განსაზღვრეთ ბურთში დამყარებული პოტენციალი ორ შემთხვევაში: ა) ლენტა მოძრაობს მუდმივი v სიჩქარით; ბ) ლენტას ამოძრავებენ მასზე მუდმივი F ძალის მოქმედებით.

◊8.2.26. ელექტრული „ატომური“ ელემენტი წარმოადგენს მისგან β -რადიოაქტიური ნივთიერებით იზოლირებულ მეტალის სფეროს. დროის ერთეულში დაშლილი ატომების რიცხვი v -ს ტოლია. ამოფრქვეული ელექტრონების ენერგიაა W . განსაზღვრეთ დაძაბულობა ელემენტის ღია მომჭერებზე. რა მაქსომალური დენი შეიძლება მოგვცეს ამ ელემენტმა? როგორი გარე წინაღობის



დროს შეიძლება ჩავთვალოთ ელემენტი დენის გენერატორად?

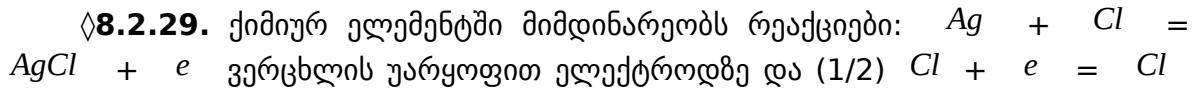
◊8.2.27*. დენის წყარო შედგება რადიოაქტიური ნივთიერების თხელი ფირფიტისგან, რომელიც გარშემორტყმულია გამტარი კორპუსსა და



ფირფიტას შორის მანძილი ბევრად ნაკლებია ფირფიტის წრფივ ზომებზე. როგორ არის დენი დამოკიდებული კორპუსსა და რადიოაქტიულ ფირფიტას შორის არსებულ დაძაბულობაზე, თუ დენი დადებითი დაძაბულობის დროს ტოლია I_0 ? ფირფიტებიდან ამოფრქვეული ელექტრონების ენერგია არის eV_0 . ელექტრონები ყველა მხრარეს თანაბრად იფრქვევიან.

◊8.2.28. გარე ძალის წარმოშობის შესახებ კითხვებზე ჩაღრმავების გარეშე შეადგინეთ ღია და ჩაკეტილი R წინაღობის წრედების პოტენციალის გრაფიკი. წრედის l სიგრძის მონაკვეთზე გარე ძალა ერთეულოვან მუხტზე E c-ს, ამ

მონაკვეთის გარეთ კი ნულის ტოლია. გარე ძალის წყაროდან რა ენერგია გადაეცემა ერთეულოვან მუხტს I მონაკვეთზე?



პლატინის დადებით ელექტროდზე (პლატინა რეაქციაში არ შედის). ძალიან დაბალი დენის დროს $AgCl$ ის ყოველ წარმოქმნილ მოლბე ელემენტის შიგნით გამოიყოფა 3280 კალ სითბო. $Ag + (1/2) Cl = AgCl$ რეაქციის მიმდინარეობისას ყოველი $AgCl$ ის წარმოქმნილ მოლბე გამოიყოფა 29380 კალ. იპოვეთ ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალა, ანუ, ერთეულოვანი მუხტის ჩავლისათვის გამოყოფილი ენერგია ($1 \text{ კალ} \approx 2,6 \cdot 10^{19} \text{ ევ}$).

8.2.30. თუთიის $H_2 SO_4$ -ში დაშლისას გამოიყოფა $4,40 \cdot 10^5 \text{ ჭ/მოლი}$

სითბო, სპილენძის გამოყოფისას $CuSO_4$ -დან იხარჯება $2,34 \cdot 105 \text{ ჭ/მოლი}$ ენერგია. მოგვეჩენებოდა, რომ დანიელის ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალა შეიძლება გამოვთვალით ამ ენერგიების სხვაობის ფარდობით გავლილ მუხტზე და შემდეგ მისი ემდ-ზე გამრავლებით. ამ გზით გამოთვალეთ ემდ 1%-იანი სიბუსტით. თუმცა, ემდ-ს ნამდვილი მნიშვნელობა დიდი აღმოჩნდება (ნორმალური ტემპერატურის დროს ის 1,093-ის ტოლია). რაშია საქმე? საიდან მოდის ენერგია?

8.2.31. დენიელის ელემენტი იძლევა 0,1 ა დენს 8 საათის განმავლობაში.

იპოვეთ თუთიისა და შაბიამნის დანახარჯი $CuSO_4 \cdot 5 H_2 O$ (მოლებში).

8.2.32*. კონდენსატორის, რომლის მუხტი არის q , განმუხტვის დროს ელექტროლიტური აბაზანის მომუავო წყალში m მასის მგრგვინავი აირი. ნივთიერების ელექტროლიტის დროს გამოიყოფილი მასა დამოკიდებულია მხოლოდ გამავალ მუხტზე. ეს ნიშნავს, რომ კონდენსატორის განმუხტვით k რაოდენობის თანმიმდევრულად შეერთებული აბაზანების გამოყენებით მივიღებთ $k m$ მასის მგრგვინავ აირს. ამ აირის დაწვით მივიღებთ დიდ ენერგიას საკმარისად მაღალი k მნიშვნელობისთვის. ეს ენერგია გადაჭარბებს კონდენსატორის თავდაპირველ ენერგიას! შესაბამისად, ჩვენი მსჯელობა გარკვეულ გზებზე მცდარია. იპოვეთ ეს შეცდომა.

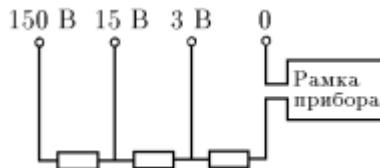
8.2.33. დენის სრული სიმკვრივე ელექტროლიტებში წარმოადგენს დადებითი იონების დენის სიმკვრივეთა და უარყოფითი იონების დენის სიმკვრივეების ჯამს:

$j = e n v + e n v$, სადაც e $n v$ მუხტი, დადებითი და უარყოფითი ელექტრონების სიჩქარე და მათი რიცხვია ერთეულ მოცულობაში. რატომ არის კათოდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა სრული დენის და არა მხოლოდ დადებითი იონების დენის პროპორციული?

8.2.34*. ერთი ელექტროლიტური აბაზანის საწინააჭმდეგო ემდ E -ს ტოლია. გვაქვს $V \gg E$ ძაბვამდედამუხტული კონდესატორი. რამდენი ერთნაირი აბაზანა უნდა შევაერთოთ თანმიმდევრულად, რომ კონდესატორის განმუხტვისას მათზე მაქსიმალური მასის მეტალი გამოიყოს მარილის ხსნარიდან?

§ 8.3. ელექტრული წრედები

8.3.1. ვოლტმეტრის შკალას აქვს 150 დანაყოფი. ვოლტმეტრს აქვს 4 მომქერი, რომლებიც გათვლილია 3,15 და 150 ვოლტამდე ძაბვის გასაზომად. ხელსაწყოს მაჩვენებელი გადაიხრება 50 დანაყოფით, როცა მასში გადის 1ა დენი. როგორია ხელსაწყოს შიდა წინაღობა მის სხვადასხვა დიაპაზონზე ჩართვისას?

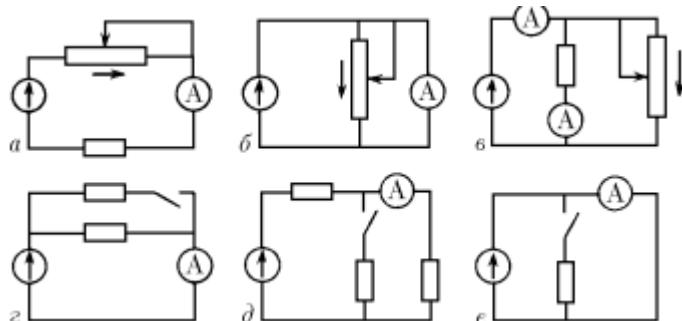


8.3.2. რომელი შუნტი უნდა მივამაგროთ გალვანომეტრზე, რომელსაც 100 შკალიანი დანაყოფი აქვს დაყოფის ფასით 1 მკა და შიდა წინაღობით 180 ომი, რომ მისით შესაძლებელი გახდეს 1 მა დენის გაზომვა?

8.3.3. 100 ვ-იანი დანაყოფების მქონე ვოლტმეტრის შიდა წინაღობა 10 კომია. ყველაზე მაქსიმალური რა პოტენციალთა სხვაობა შეიძლება გავზომოთ ამ ხელსაწყოთი, თუ მას შევუერთებთ დამატებით 90 კომ წინაობას?

8.3.4. როგორი საპასუხო რეაქცია ექნებათ ხელსაწყოებს რეოსტატის მაჩვენებლის ისრის მიმართულების შევცვლაზე ა-გ სქემაზე და გასაღებების მოკლე ჩართვაზე დ-ე სქემაზე? (გენერატორის შიდა წინაღობა ძალიან მცირეა *).

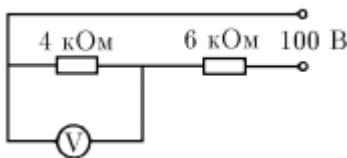
*) დიაგრამაზე წრე, რომელშიც ისარია ჩახატული, გამოსახავს გენერატორს, ისარი აჩვენებს გენერატორში დენის მიმართულებას.



8.3.5. ა) გვესაჭიროება განვსაზღვროთ ძაბვის ვარდნა R წინაღობაზე. ამისთვის წინაღობის ბოლოებზე აერთებენ ვოლტმეტრს. რა ფარდობითი ცდომილება იქნება დამვებული გაზომვის დროს, თუ ვოლტმეტრის მაჩვენებლად მივიჩნევთ იმას, რაც მის ჩართვამდე იყო? დენის ძალა წრედში უცვლელია. ვოლტმეტრის წინაღობაა r .

ბ. R წინაღობის წრედში დენის გასაზომად ჩართულია ამპერმეტრი. როგორი ფარდობითი ცდომილება იქნება დაშვებული, თუ ჩავთვლით, რომ ამპერმეტრის ჩართვამ არ შეცვალა დენი? წრედის ბოლოებზე დაძაბულობა მუდმივია. ამპერმეტრის წინაღობაა r .

◊8.3.6. ვოლტმეტრი ჩართულია 4 კომ წინაღობის პარალელურად და აჩვენებს 36 ვ-ს. დენის წყაროს მომჭერებზე ძაბვა მუდმივია და ტოლია 100ვ-ის.



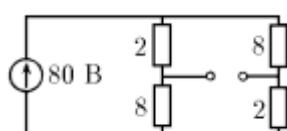
იპოვეთ ვოლტმეტრში გამავალი დენის ფარდობა იმ დენთან, რომელიც გადის 6 კომ წინაღობაში. რას აჩვენებს ეს ვოლტმეტრი, თუ წინაღობას შევცვლით შესაბამისად 4 და 6 ომები?

8.3.7. ხელსაწყოს ნორმალური მუშაობისთვის საჭიროა 20 ვ ძაბვა, გარე წრედში ძაბვა კი 120 ვ. ექსპერიმენტატორმა წრედში ჩართო 5 და 1 კომ წინაღობების მქონე ძაბვის გამყოფი და ხელსაწყოს ჩართვამდე მაღალი წინაღობის მქონე ვოლტმეტრით შეამოწმა, რომ მეორე წინაღობის ძაბვა ნამდვილად 20ვ იყო. თუმცა, ჩართული ხელსაწყო არ ამუშავდა. ექსპერიმენტატორმა გაიაზრა, რაშიც იყო საქმე და ხელსაწყოს ამუშავება მოახერხა მისი ჩართვით 250 და 100 ომ წინაღობების მქონე ძაბცის გამყოფთან ერთად.

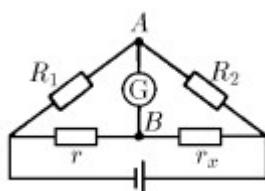
8.3.8. ვოლტმეტრის ისეთ რეჟიმზე გადართვისას ძაბვის გაზომვის ორჟერ მეტი დიაპაზონი რომ ჰქონოდა (100 დან 200 ვ), ისრის გადახრას ორჟერ მცირე დანაყოფზე მოელოდნენ. თუმცა, ეს ასე არ მოხდა, იმის მიუხედავად, რომ წრედის დანარჩენ ნაწილში არაფერი შეუცვლიათ. მეტ თუ ნაკლებ ძაბვას აჩვენებს ვოლტმეტრი გადართვის შემდეგ?

◊8.3.9. რისი ტოლია პოტენციალთა სხვაობა მომჭერებს შორის ნახატზე გამოსახული სქემის მიხედვით? რას აჩვენებს ამპერმეტრი, თუ მას მომჭერებს მივუერთებთ *)?

*) ამ და შემდგომ ნახატებზე წინაღობა მოყვანილია ომებში სქემაზე ერთეულის მითითების გარეშე. თუ გამზომი ხელსაწყოს მახასიათებლები არ არის ნახსენები, ჩათვალეთ, რომ ამპერმეტრის წინაღობა ბევრად მცირეა სქემის წინაღობასთან შედარებით, ხოლო ვოლტმეტრის წინაღობა - ბევრად მეტი.

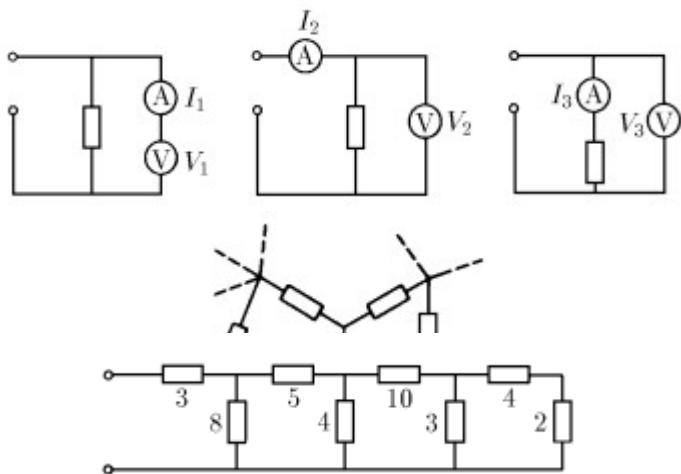


◊8.3.10. უიტსტონის ხიდზე წინაღობას ირჩევენ ისე, რომ A და B წერტილებზე შეერთებული მგრძნობიარე გალვანომეტრი აჩვენებს ნულს. ჩათვალეთ, რომ წინაღობები R_1 , R_2 , r ცნობილია, განსაზღვრეთ r_x . თუ გალვანომეტრსა და ბატარეას ადგილებს შევცვლით, ისევ მივიღებთ ხიდის სქემას. შენარჩუნდება თუ არა ბალანსი ახალ სქემაში?



◊8.3.11. ერთი და იგივე ხელსაწყოების შეერთებისას სამ სხვადასხვა სქემასთან იძლევა შემდეგ მაჩვენებლებს: $V_1, I_1; V_2, I_2; V_3, I_3$. იპოვეთ ვოლტმეტრის, რეზისტორისა და ამპერმეტრის წინაღობები. ძაბვა, რომელიც ამ სქემას მიეწოდება, არ არის აუცილებელი, იყოს ერთნაირი.

◊8.3.12*. სქემის მონაკვეთი შედგება უცნობი წინაღობისგან. როგორ გავზომოთ ამპერმეტრით, ვოლტმეტრით, ბატარეითა და შემაერთებელი მავთულებით R წინაღობა ისე, რომ არ გავწყვიტოთ სქემის არცერთი კონტაქტი?

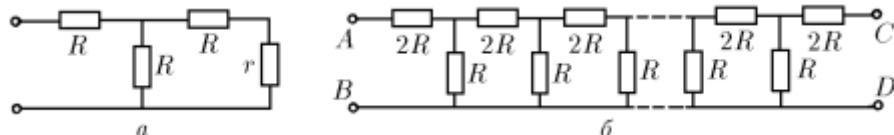


◊8.3.13. რისი ტოლია ნახატე გამოსახული ორ მომქერს შორის არსებული წინაღობა?

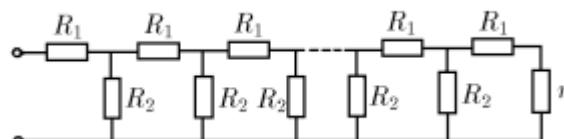
◊8.3.14. ა. როგორი უნდა იყოს r წინაღობა იმისთვის, რომ შემავალი წინაღობა მომქერებს შორის იყოს აგრეთვე r ?

ბ*. როგორი r წინაღობა უნდა შევუერთოთ C და D მომქერებს, რომ მთლიანი წრედის წინაღობა A და B მომქერებს შორის არ იყოს დამოკიდებული ცალკეული ელემენტების რაოდენობაზე?

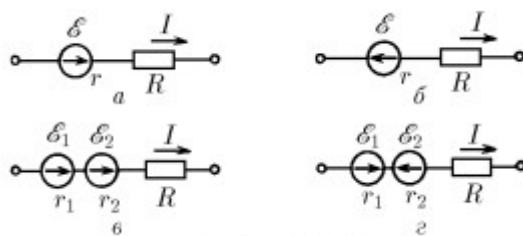
გ. წრედში სრული დენი უდრის I -ს. განსაზღვრეთ მე-ი-ე რეგისტორში, თუ წრედის წინაღობათა ჭაჭვი უსასრულოდ გრძელია. რას უდრის ასეთი ჭაჭვის წინაღობა?



◊8.3.15*. **ატენიუატორი** წარმოადგენს ძაბვის გამყოფს, რომლის სქემაც მოყვანილია ნახატე. როგორი უნდა იყოს R_1 და R_2 წინაღობა იმისათვის, რომ ყოველ შემდგომ R_1 წინაღობაზე ძაბვა იყოს ათვერ ნაკლები, ვიდრე წინაში?

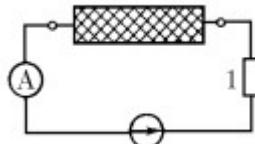


◊8.3.16. R წინაღობაში ჩავლილი მუხტის ერთეულზე გამოიყოფა IR ენერგია / დენის მიმართულების დამოკიდებლად. გენერატორი მასში გამავალი მუხტის ერთეულზე წრედს გადასცემს E ენერგიას (ემდ), თუ დენის მიმართულება ემთხვევა გარე ძალების მოქმედების მიმართულებას (გარე ძალა, რომელიც მოდებულია მუხტის ერთეულზე), და ართმევს E ენერგიას, თუ მათი მიმართულებები ურთიერთსანიალმდეგოა. გენერატორში დენის გავლისას მის შიდა წინაღობაზეც იფანტება ენერგია. **ენერგეტიკული მოსაზრების გამოყენებით**, განსაზღვრეთ ნახატე მოყვანილ წრედის მონაკვეთებზე პოტენციალთა სხვაობა.



8.3.17. 10 ომ წინაღობაზე ჩაკეტილი ელემენტი იძლევა 3ა დენს. 20 ომ წინაღობაზე იძლევა 1,6 ა დენს. იპოვეთ ელემენტის ელექტრომამოძრავებული ძალა და მისი შიდა წინაღობა.

◊8.3.18. ყუთს ორი მომქერით შეუერთეს ამპერმეტრი, 1 ომი წინაღობა და მუდმივი 5ვ ძაბვის წყარო. ამპერმეტრმა აჩვენა 1ა დენი. როცა ჩართეს 20ვ ძაბვის სხვა წყარო, ამპერმეტრის ჩენება გახდა 2 ა. რა არის ყუთის შიგნით?



8.3.19. ძაბვის იდეალური გენერატორი ეწოდება ისეთ გენერატორს, რომლის ძაბვა ნებისმიერი დატვირთვისას ერთნაირია. დენის იდეალური გენერატორი ეწოდება ისეთ გენერატორს, რომელიც ერთნაირ დენს გამოიმუშავებს ნებისმიერი დატვირთვისას. რა აზრი დევს მტკიცებაში: „დენის იდეალურ გენერატორს აქვს უსასრულოდ დიდი წინაღობა, ხოლო ძაბვის იდეალურ გენერატორს კი - ნული“? ნამდვილი ძაბვის გენერატორი შიდა წინაღობაზე კარგავს ენერგიას, ის ექვივალენტურია ძაბვის იდეალური გენერატორისა, რომელიც მიმდევრობითაა შეერთებული წინაღობებთან. დენის რეალურ გენერატორს აქვს წინაღობის სასრული მნიშვნელობა, ის ექვივალენტურია დენის იდეალური გენერატორისა, რომელიც წინაღობებთან პარალელურადაა (შუნტებით) შეერთებული. გამოსახეთ დენის გენერატორის სქემა შიდა შუნტით, რომელიც ექვივალენტურია 120ვ ძაბვისა და 20 ომ შიდა წინაღობის მქონე გენერატორისა *).

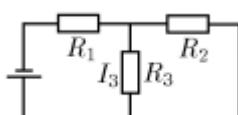
*) გენერატორის ძაბვას უწოდებენ პოტენციალთა სხვაობას გენერატორის ღია ბოლოზე.

8.3.20. ერთი დატვირთვით გენერატორი 120 ვ ძაბვისას იძლევა 4ა დენს, ხოლო მეორე დატვირთვით - 160ვ ძაბვისას 2ა დენს. იპოვეთ დენის გენერატორისა და ძაბვის გენერატორის ეკვივალენტური წრედების პარამეტრები.

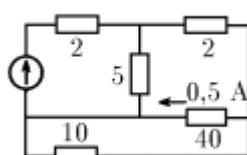
8.3.21. აკუმულატორის დამუხტვის ბოლოში მიედინება 4ა დენი. ამავდროულად მის მომქერებებები ძაბვა 12,6ვ-ია. ამავე აკუმულატორის 6ა დენით განმუხტვის დროს ძაბვა შეადგენს 11,1 ვ-ს. იპოვეთ მოკლე ჩართვის დენი.

8.3.22. ფოტოელემენტის დენის დამოკიდებულების გამოსაკვლევად მის ნათებასთან იყენებენ მიკროამპერმეტრს, რომლის შკალაც მის გაზომვას არ ყოფნის. იმისთვის, რომ დენის გაზომვის ზღვარი ორჯერ გაზარდონ, მიკროამპერმეტრს უერთებენ შესაბამის შუნტს. ამის შემდეგ ფოტოელემენტის იმავე ნათებისას შეიცვალა არა მარტო ხელსაწყოს ისრის გადახრის მაჩვენებელი, არამედ თვითონ დენის ძალაც. ახსენით რატომ და თქვენი ახსნა დაასაბუთეთ შესაბამისი გამოთვლით. მუდმივი ნათების დროს ფოტოელემენტი შეიძლება ჩავთვალოთ ძაბვის გენერატორად ან ფიქსირებული პარამეტრების მქონე დენის გენერატორად.

◊8.3.23. სურათზე გამოსახულ სქემაში R_1 , R_2 , R_3 წინაღობები, და I_3 დენი, რომელიც მიედინება R_3 წინაღობის გავლით, ცნობილია. განსაზღვრეთ R_1 და R_2 წინაღობაში გამავალი დენი და ძაბვა დენის წყაროში.

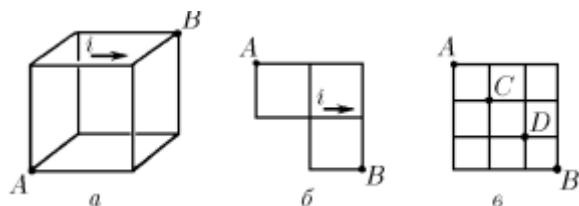


◊8.3.24. ნახატზე გამოსახულ სქემაში მითითებულია წინაღობები და ერთ-ერთ წინაღობაში გამავალი დენი. განსაზღვრეთ ყველა წინაღობაში გამავალი დენი და ძაბვა გენერატორში.



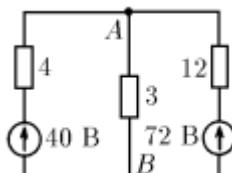
◊8.3.25. სქემის სიმეტრიის გამოყენებით ამოხსენით შემდეგი ამოცანები:

- ა) მავთულის კუბის წიბოებს ერთი და იგივე r წინაღობა აქვს. ერთ წიბოში გამავალი დენი i -ს ტოლია. განსაზღვრეთ A და B კვანძებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, ამ კვანძებს შორის არსებული საერთო წინაღობა და A -დან B -მდე გამავალი დენი.
- ბ) განსაზღვრეთ დენი უჯრის ყველა გვერდში, A და B კვანძებს შორის გამავალი სრული დენი და ამ კვანძებს შორის არსებული მთლიანი წინაღობა. თითოეული უჯრის გვერდის წინაღობაა r , ხოლო ერთ-ერთ გვერდში გამავალი დენია i .
- გ) კვადრატის თითოეული გვერდის წინაღობაა r . განსაზღვრეთ A და B კვანძებს შორის არსებყლი წინაღობა. რისი ტოლია ცინაღობა C და D კვანძებს შორის?



◊8.3.26. რამდენიმე ემძ წყაროს შემცველი ამოცანების ამოხსნისას შეიძლება თავიდან გამოთვალოთ დენი, რომელიც წარმოიქმნება თითოეული ემძ წყაროდან, შემდეგ ვიპოვოთ სრული დენი, როგორც ამ დენების ჯამი. ეს გზა სავსებით სამართლიანია, თუ გამოთვლისას წყაროთა შიდა წინაღობებს გავითვალისწინებთ. ამ მეთოდის, რომელსაც ეწოდება სუპერპოზიციის მეთოდი, გამოყენებით განსაზღვრეთ A და B კვანძებს შორის გამავალი დენი.

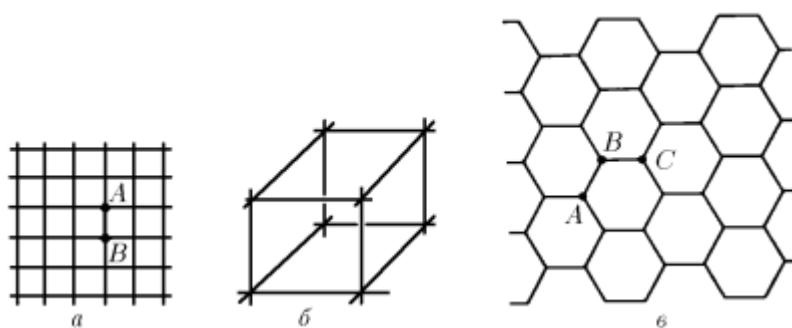
◊8.3.27*. ა) თუ უსასრულო სქემაში, რომელიც შედგება კვადრატული



უჯრებისაგან, A კვანძის გავლით გაატარებს i დენს, ხოლო მეზობელი B კვანძის გავლით გაატარებენ ასევე i დენს, მაშინ რა დენი გავა A და B კვანძების შემარტებელ წინაღობაში? როგორია წრედის ამ კვანძებს შორის საერთო წინაღობა, თუ ყოველი უჯრის თითოეული გვერდის წინაღობა არის r ?

ბ. როგორია უსასრულო კუბური არმატურის მეზობელ კვანძებს შორის საერთო წინაღობა, თუ კუბის თითოეული წიბოს წინაღობა არის r ?

გ. განსაზღვრეთ სწორი ექვსკუთხა უჯრებისაგან შემდგარი უსასრულო ბადის A და B კვანძებს შორის არსებული წინაღობა და წინაღობა C და A კვანძებს შორის, რომლებსაც ერთი საერთო მოსაზღვრე კვანძი აქვთ. თითოეული უჯრის გვერდის



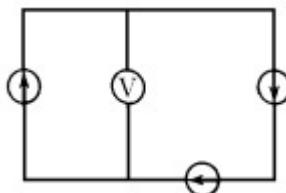
წინაღობაა r .

8.3.28. ორი $E_1 = 20 \text{ V}$, $E_2 = 30 \text{ V}$ ემძ-ს მქონე დენის წყარო, რომელთა შიდა წინაღობებია, შესაბამისად $r_1 = 4 \text{ Ω}$, $r_2 = 60 \text{ Ω}$, შეერთებულია პარალელურად. როგორია იმ გენერატორატორის E და r პარამეტრები, რომლითაც შესაძლებელია დენის წყაროთა ჩანაცვლება დატვირთვისას დენის შეცვლის გარეშე?

8.3.29. ორი ერთი და იმავე შიდა წინაღობის მქონე ბატარეა ისეა ერთმანეთთან შეერთებული, რომ მიღებული წყაროს ემძ E -ს ტოლია. ერთ-ერთი ბატარეის ემძ არის $(3/2)E$. დახატეთ შეერთების ყველა შესაძლო სქემა. თითოეული სქემისთვის განსაზღვრეთ მეორე ბატარეის ემძ.

8.3.30. სამი ერთნაირი დენის წყარო, რომელიც ერთმანეთთან პარალელურადაა შეერთებული, დაკავშირებულია გარე წინაღობასთან. როგორ შეიცვლება დენი ამ წინაღობაში, თუ ერთ-ერთი წყაროს პოლარობას შევცვლით?

8.3.31. რას აჩვენებს ვოლტმეტრი, თუ გენერატორები ერთნაირია? რა დენი გადის წრედში, თუ თითოეული გენერატორის ძაბვა $1,5\text{V}$ -ია, ხოლო შიდა წინაღობა - 2

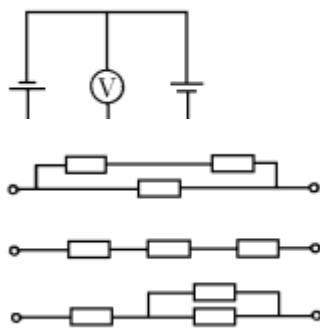


ომი?

8.3.32. განსაზღვრეთ ვოლტმეტრის ჩვენება, თუ დენის ერთ-ერთი წყაროს შიდა წინაღობა 3 Ω ამია, მეორესი 2 Ω ამი. თითოეული წყაროს ემძ $1,5\text{V}$ -ია.

8.3.33. ელექტრულ ღუმელს აქვს სამი ერთნაირი წინაღობის მქონე სექცია. მათი პარალელური შეერთებისას ჩაიდანში წყალი 6 წუთში დუღდება. რა დროის შემდეგ ადუღდება იმავე მასისა და იმავე თავდაპირველი ტემპერატურის მქონე წყალი, თუ ამ სექციებს ისე შევაერთებთ ერთმანეთთან, როგორც სურათზე მოცემული?

8.3.34. გვაქვს R წინაღობის მავთული, რომელშიც შეგვიძლია მისი გადაწვის რისკის არსებობის გარეშე გავატაროთ დენი, რომელიც არ აღემატება 1 -ს. რა



მაქსიმალური სიმძლავრე შეიძლება ჰქონდეს ამ მავთულისგან დამზადებულ ელექტროგამათბობელს, თუ მას ჩავრთავთ წრედში, რომლის ძაბვა $V < I/R$? მავთული შეგვიძლია ნაწილებად დავშალოთ და შემდეგ ერთმანეთთან მინმდებრობით ან პარალელურად შევაერთოთ.

8.3.35. ორი პარალელურად შეერთებული ელექტროლუმელი მოიხმარს N სიმძლავრეს. რა სიმძლავრეს მოიხმარს ეს ორი ელექტროლუმელი, მათი მიმდევრობით შეერთების შემთხვევაში, თუ ერთ-ერთი ელექტროლუმელი სიმძლავრეს N_0 მოიხმარს?

8.3.36. r შიდა წინაღობის მქონე მიმდევრობით შეერთებული ი ცალი აკუმულატორისგან შემდგარ ძველ ბატარეაში ერთ-ერთი აკუმულატორის შიდა წინაღობა მკვეთრად გაიზარდა $-10r$ -მდე. ჩათვალეთ, რომ თითოეული აკუმულატორის ემძ ერთმანეთის ტოლია და გამოთვალეთ, რა გარე წინაღობისთვის იქნება მასზე

გამოყოფილი სიმძლავრე გაფუქებული აკუმულატორის მოკლე ჩართვის დენისას გამოყოფილი სიმძლავრის ტოლი.

8.3.37. აკუმულატორი თავდაპიველად R_1 წინაღობის მქონე გარე წრედთანაა მიერთებული, შემდეგ კი - R_2 წინაღობის მქონე გარეწრედთან. ამასთან, გარე წრედში დროის ერთეულში გამოყოფილი სითბო ორივე შემთხვევაში ერთნაირია. იპოვეთ აკუმულატორის შიდა წინაღობა.

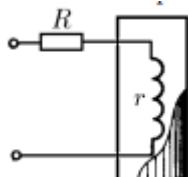
8.3.38. შეადარეთ 50 0.2ომ წინაღობისა და 2ვ ემძ-ს მქონე ელემენტისგან შემდგარი ბატარეის ძაბვა მომჭერებზე და, აგრეთვე, 0,2 ომი წინაღობის მქონე გარე წრედში გამოყოფილი სიმძლავრე ელექტროსტატიკური მანქანის, რომელიც სფერულ გამტარებზე 100კვ პოტენციალთა სხვაობას წარმოქმნის და მისი შიდა წინაღობა 10^8 ომია, იმავე პარამეტრებთან, თუ გარე წრედის წინაღობა 10^5 ომია. როგორშეიცვლება გარე წრედში დენის ძალა და სიმძლავრე, თუ მისი წინაღობა ორჯერ გაიზრდება?

8.3.39. 10კვ ძაბვის მქონე წყარომ 5 კმ მანძილზე უნდა გადაიტანოს 500კვტ სიმძლავრე, მავთულებში ძაბვის დასაშვები განაკარგი 1%-ის ტოლია. რა არის სპილენძის მავთულის მინიმალური კვეთის ფართობი? რამდენჯერ უნდა გაიზარდოს ძაბვა წყაროში იმისათვის, რომ სიმძლავრის დანაკარგი 100-ჯერ შემცირდეს იმავე ხაზში იმავე სიმძლავრის გადაცემისას?

8.3.40. როგორაა გენერატორის შიდა წინაღობაზე გამოყოფილი სიმძლავრე । დენის ძალაზე დამოკიდებული? გენერატორის ძაბვაა E , შიდა წინაღობა კი - r . რა წინაღობას შეესაბამება მაქსიმალური სიმძლავრე?

8.3.41. რა მაქსიმალური სიმძლავრის მიღებაა შესაძლებელი 100ვ ძაბვისა და 20 ომი შიდა წინაღობის მქონე გენერატორისგან? რა სიმძლავრის მიღებაა შესაძლებელი ამავე გენერატორისგან, თუ მისი მქ 80%ია? თუ მაქსიმალური დასაშვები დენი გენერატორში მოკლე ჩართვის დენის 0,1 ნანოლს შეადგენს, მაშინ რა მაქსიმალური სიმძლავრის მიღება შეგვიძლია გენერატორისაგან ისე, რომ არ დაგიანდეს?

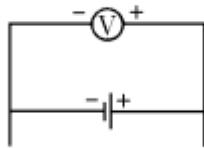
8.3.42*. თერმოსტატს სითბო მუდმივი სიჩქარით უნდა მიეწოდებოდეს. ექსპერმენტის მსვლელობისას მასში ტემპერატურა იცვლება, რომელიც გამათბობელ



სპირალში წინაღობის ცვლილებას იწვევს. საჭიროა, რომ r წინაღობის მქონე სპირალში გამოყოფილი სიმძლავრე r -ის შცირე ცვლილებისას თითქმის არ იცვლებოდეს. ააგეთ r -ის სიმძლავრეზე დამოკიდებულების გრაფიკი და მისი გამოყენებით დაადგინეთ, R -ისა და r -ის რა დამოკიდებულებისთვის მიიღწევა სიმძლავრის სასურველი უგრძნობლობა r -ის მიმართ.

8.3.43. E ემძ-ს მქონე აკუმულატორი იმუხტება დასამუხტი სადგურის მეშვეობით, რომელშიც ძაბვა V-ს ტოლია. აკიმულატორის შიდა წინაღობა r -ის ტოლია. განსაზღვრეთ სასარგებლო სიმძლავრე, რომელიც აკუმულატორის დამუხტვისაა საჭირო და სიმძლავრე, რომელიც მასში სითბოს სახით გამოიყოფა. აქარბებს თუ არა აკუმულატორის სასარგებლო სიმძლავრე სითბურისას? რატომაა აკუმულატორის სწრაფად დამუხტვისას მისი სითბოსგან გათავისუფლებაზე ზრუნვა საჭირო?

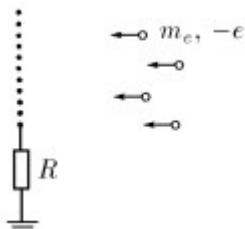
8.3.44. 4ვ ემძ-სა და 1 ომი შიდა წინაღობის მქონე დენის წყარო უცნობი წრედის შემადგენლობაში შედის. წყაროს პოლუსებთან შეერთებულია ვოლტმეტრი, რომელიც 6ვ ძაბვას აჩვენებს. გამოთვალეთ დენის წყაროს შიგნით დროის ერთეულში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა.



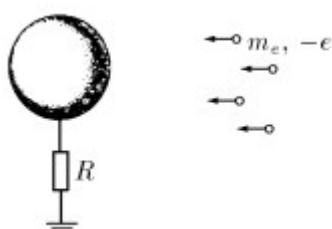
8.3.45. ც ელექტროტევადობის მქონე სფერულ კონდესატორში ნარჩუნდება მუდმივი V ძაბვა. გამოთვალეთ კონდესატორზე დროის ერთეულში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, თუ კონდესატორის ამომვსები გარემოს კუთრი გამტარობაა λ , ხოლო დიელექტრიკული შეღწევადობა - $\epsilon \approx 1$.

8.3.46. ზონდი, რომელიც სპილენძის ბადეს წარმოადგენს, R წინაღობის გავლითაა დამიწებული და მოთავსებულია ელექტრონების ნაკადში, რომელთა სიჩქარეც ზონდიდან დიდ მანძილზე დაშორებით v -ს ტოლია. განსაზღვრულ ელექტრონებით ზონდის დაბომბვისას დროის ერთეულში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, თუ დამიწებისას დენის ძალა I -ს ტოლია.

8.3.47. ა რადიუსისა და R წინაღობის ბურთი მიწასთანაა დაკავშირებული. უსასრულობიდან მისკენ v სიჩქარით მოემართება ნაკადი ელექტრონებისა, რომელთა რაოდენობა მოცულობის ერთეულში n_e -ია. იპოვეთ ბურთის მაქსიმალური მუხტი. ნაწილაკების სიჩქარე ჩათვალეთ ძალიან დიდად (დაფიქრდით, რა ზომასთან შედარებით).



8.3.48*. ელექტროგამათბობლის სპირალის სითბური სიმძლავრე წრფივადაა დამოკიდებული სპირალისა და ოთახის აირის ტემპერატურაზე: $N = \kappa(T - T_0)$. სპირალის წინაღობაც წრფივადაა ამ სხვაობაზე დამოკიდებული: $R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$, სადაც R_0 სპირალის წინაღობაა ოთახის ტემპერატურაზე. რა ტემპერატურამდე გათბება სპირალი, თუ მასში I დენს გავატარებოთ?



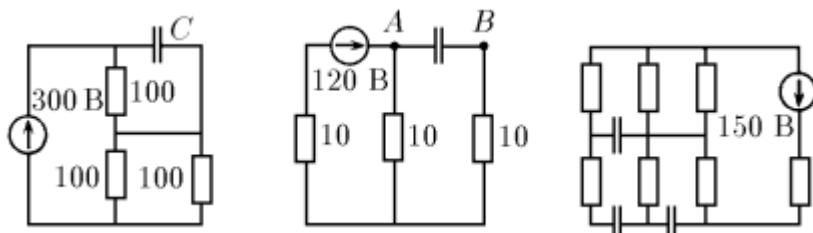
8.4. კონდენსატორები და არაწრფივი ელემენტები ელექტრონულ წრედებში

◊8.4.1. კონდენსატორის შემცველი წრედები, მუდმივი დენით, მოცემულია სურათზე.

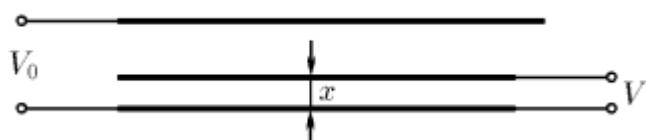
ა. გამოთვალეთ 4 მკფ ტევადობის კონდენსატორის მუხტი დამყარებულ რეჟიმში.

ბ. რისი ტოლია ძაბვა A და B წერტილებს შორის დამყარებულ რეჟიმში? რას გვიჩვენებს ვოლტმეტრი, რომლის შიდა წინაღობაა 5 კომი, თუ მას შევაერთებთ A და B წერტილებთან?

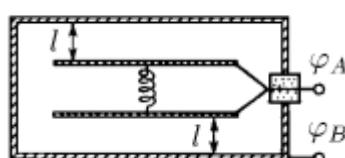
გ. იპოვეთ დამყარებული ძაბვა ყველა კონდენსატორზე თუ ყველა წინაღობა ერთნაირია.



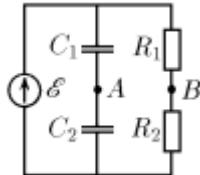
◊8.4.2. დამაგრებულ გარე ფირფიტებთან მიერთებულია მუდმივი V ძაბვის წყარო. ქვედა გარე ფირფიტასა და იგივე ფართობის შიდა ფირფიტას შორის გაზომილი ძაბვაა V . შიდა ფირფიტას ამოძრავებენ მანამ, სანამ მასზე მოქმედი ელექტრული ძალა არ გახდება ნულის ტოლი და ითვლიან დაშორებას ქვედა ფირფიტამდე. იპოვეთ V თუ დაშორება გარე ფირფიტებს შორის არის l , ხოლო ფირფიტების ზომები გაცილებით დიდია მათშორის მანძილზე. როგორ შევცვალოთ მიერთების სქემა, რომ გავზომოთ $V > V$ ძაბვა?



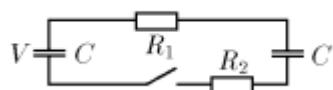
◊8.4.3. დაძაბულობის გასაზომად იყენებენ ორი სახის ვოლტმეტრს: ელექტრომაგნიტურებს, რომლებიც ძაბვას ზომავენ ხელსაწყოს ჩარჩოში გამავალი დენის საშუალებით და ელექტროსტატირკურებს, რომელთა უხეში სქემაც მოცემულია სურათზე. მავთული იზოლირებული საცობის გავლით უერთდება ორ პარალელურ ფირფიტას. ფირფიტები გაჩერებულია ერთ ადგილას k სიხისტის ზამბარით. გამტარი ყუთის პოტენციალია φ . იპოვეთ φ პოტენციალი თუ ზამბარა გაჭიმულია x -ით. ზამბარის გაუჭიმავ მდგომარეობაში ფირფიტიდან ყუთის კედლამდე დაშორებაა l . ფირფიტის ფართობი $S \gg l, x$.



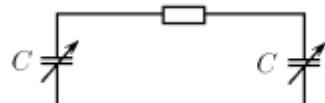
◊8.4.4. გამოთვალეთ პოტენციალთა სხვაობა A და B წერტილებს შორის. რომელი ვოლტმეტრით უნდა გაზომოთ ის? რა მუხტები იქნება კონდენსატორებზე ელექტრომაგნიტური ვოლტმეტრის გამოყენების შემთხვევაში? რატომ არის ელექტრომაგნიტური ვოლტმეტრი მით უფრო კარგი, რაც უფრო დიდია მისი წინაღობა, ხოლო ელექტროსტატიკური - რაც უფრო ცოტაა მისი ტევადობა?



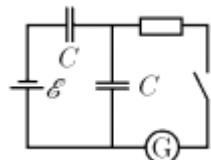
◊8.4.5*. გამოთვალეთ თითოეულ წინაღობაზე გამოყოფილი სითბო ჩამოთველის ჩართვის შემდეგ. ერთ-ერთი კონდენსატორი თავიდან დამუხტული იყო V ძაბვამდე, მეორე კი დაუმუხტავი.



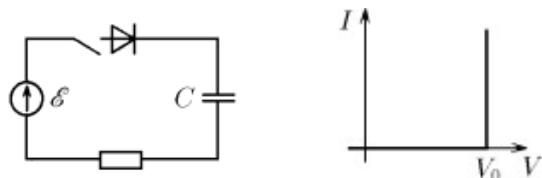
◊8.4.6*. იპოვეთ წინაღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, თუ კონდენსატორების ტევადობების C დან $C/2$ -მდე მონაცვლეობით ცვლისას სრულდება A მუშაობა. თითოეული კონდენსატორის საწყისი მუხტია q .



◊8.4.7. რა მუხტი გაივლის გალვანომეტრში ჩამოთველის ჩართვის შემდეგ? რა სითბო გამოიყოფა წინაღობაზე?

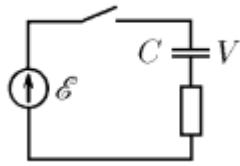


◊8.4.8. ნახატზე გამოსახულ დიოდს აქვს ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. V ძაბვაზე დიოდი იხსნება. კონდენსატორი თავიდან დაუმუხტავია. რა სითბო



გამოიყოფა წინაღობაზე ჩამოთველის ჩართვის შემდეგ?

◊8.4.9. ქიმიური ენერგიის რა რაოდენობა გროვდება ბატარეაში, ნახაზზე მოცემულ წრედში ჩამოთველის ჩართვის შემდეგ? სითბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა ამ დროს?



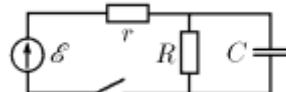
8.4.10. ბატარეა, E ემ ძალით, შედგება მიმდევრობით შეერთებულ ერთნაირ n -ცალ ელემენტისაგან. როგორ უნდა დავმუხტოთ C ტევადობის კონდენსატორი, რომ დანაკარგებმა შეადგინონ შენახული ენერგიის მინიმალური ნაწილი? რას უდრის ეს ნაწილი?

◊**8.4.11.*** კონდენსატორის საწყისი ტევადობაა C და მუხტია q . მის ტევადობას ცვლიან დროის განმავლობაში ისე, რომ დენი რჩება მუდმივი და I -ს ტოლი. გომოთვალეთ სიმძლავრე, რომელსაც იყენებს გენერატორი და შეადარეთ ის კონდენსატორის მიერ შთანთქმულ სიმძლავრეს. რატომ განსხვავდებიან ეს სიდიდეები ერთმანეთისგან?



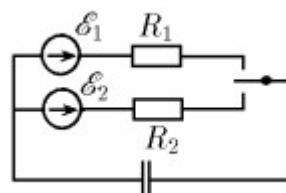
◊**8.4.12.** წრედში გადის მუდმივი დენი. ჩამრთველი გამორთეს. რა დროის შემდეგ შეიცვალება კონდენსატორზე მუხტი საწყისი სიდიდის $1/1000$ -ით?

◊**8.4.13*.** ჩამრთველს მორიგეობით რთავენ თითოეულ კონტაქტში დროის პატარა ტოლი ინტერვალებით. თითოეულ გადართვის პროცესში კონდენსატორის

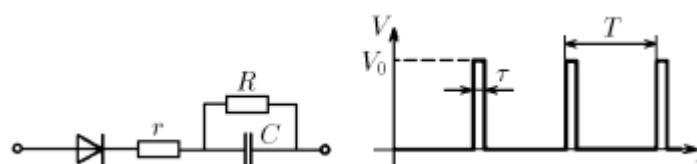


მუხტის ცვლილება ძალიან მცირეა. რა მუხტი იქნება კონდენსატორზე ბევრჯერ გადართვის შემდეგ? გამოთვალეთ მუხტი კონდენსატორზე იმ შემთხვევაში, როდესაც დრო, რომლის განმავლობაშიც ჩაკეტილი იყო პირველი წრედი, k -ჯერ ნაკლებია დროზე, რომლის განმავლობაშიც ჩაკეტილი იყო მეორე წრედი.

◊**8.4.14*.** წრედის მოქმერებს მიეწოდება პერიოდული განმეორებადი



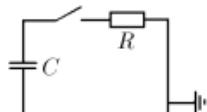
მართკუთხა V ძაბვის იმპულსები. იმპულსების ხანგრძლივობაა τ , განმეორების პერიოდია T . იმპულსები მიეწოდება დიოდის გავლით, რომელიც შეგვიძლია ჩავთვალოთ იდეალურ ჩამრთველად. გამოთვალეთ ძაბვა, რომელიც დამყარდება კონდენსატორზე თუ თითოეული პერიოდის განმავლობაში ძაბვა მასზე



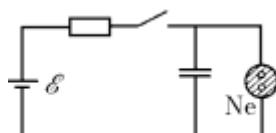
მცირედ იცვლება.

◊8.4.15*. C ტევადობის კონდენსატორი დამუხტულია V ძაბვამდე, წრედის ჩაკეტვის შემდეგ იგი განიმუხტა წინაღობაზე. როგორ არის კონდენსატორის ძაბვის ცვლილების სიჩქარე dV/dt დამოკიდებული კონდენსატორის ძაბვაზე? რისი ტოლია ძაბვა კონდენსატორზე და დენი წრედში ჩამრთველის ჩაკეტვიდან τ დროის შემდეგ?

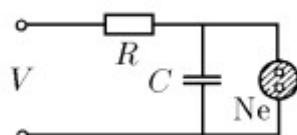
◊8.4.16. სურათზე მოცემული წრედის საშუალებით ჩართულია ნეონური ნათურა. ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ კოხდენსატორი იწყებს დამუხტვას. როდესაც ძაბვა კონდენსატორზე მიაღწევს გარკვეულ V მნიშვნელობას ნათურა ინთება.



მინიმალური მნიშვნელობა, რომელზეც ნათურა ჭერ კიდევ ანთია არის 80V . ამ დროს ნათურაში გამავალი დენია 1 mA . დენის წყაროს ემდ არის 120V და $80\text{V} < V < 120\text{V}$. რა წინაღობისთვის ენთება ნათურა მუდმივად (არ ჩაქრება)?

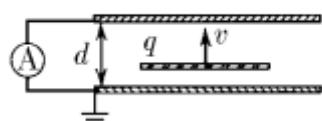


◊8.4.17*. როგორაა დამოკიდებული სურათზე გამოსახული გენერატორის სიხშირე V ძაბვაზე? ნეონური ნათურა ინთება V ძაბვაზე, ხოლო ქრება $V < V$ ძაბვაზე . ანთებული ნათურის წინაღობა უგულებელსაყოფია.



◊8.4.18. ა. კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს დამუხტული თხელი ფირფიტა. ფირფიტის მუხტია q . გამოთვალეთ დენი წრედში, თუ კონდენსატორი დამოკლებულია, ხოლო ფირფიტებს შორის მანძილია d .

ბ. შეიცვლება თუ არა შედეგი, თუ კონდენსატორში, ფირფიტების მართობულად, v სიჩქარით იმოძრავებს წერტილოვანი q მუხტი?

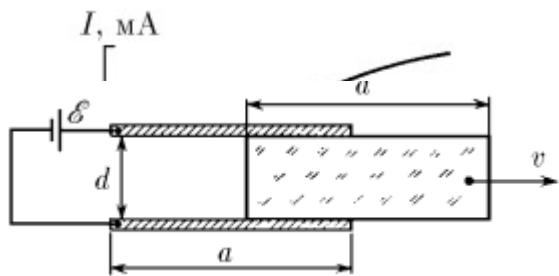


◊8.4.19. ბრტყელი კონდენსატორის ფირფიტებს შორის, რომელთა ზომებია $a \times a$, მოთავსებულია იგივე ზომების ფირფიტა, რომელიც კონდენსატორის შიგნით ავსებს მთლიან მოცულობას. ფირფიტის დიელექტრული შეღწევადობაა ϵ , მისი სისქეა d . კონდენსატორზე მუდმივად მოდებულია E ძაბვა . რა დენი

გაივლის კონდენსატორში თუ ფირფიტას ვამოძრავებთ ერთ-ერთი კედლის გასწვრივ
მუდმივი v სიჩქარით?

8.4.20. დადებით V ძაბვისას დიოდში გამავალი დენი $I = \alpha V$. ხოლო
უარყოფითი ძაბვისას მასში გამავალი დენი ნულის ტოლია. იპოვეთ დენი წრედში,
თუ ეს დიოდი მიერთებულია E ემ ძალის დენის წყაროსთან R წინაღობით.

8.4.21. სურათზე გამოსახული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის მქონე
დიოდი მიერთებულია ნვ ემ ძალის დენის წყაროსთან 1,5 კომი წინაღობით.
გამოთვალეთ წრედში გამავალი დენი. რა წინაღობაზე შეწყვეტს მუმაობას დიოდი



მახასიათებლის სწორხაზოვან მონაკვეთზე .

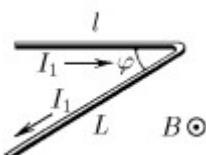
მუდმივი მაგნიტური ველი

9.1 მაგნიტური ველის ინდუქცია. მაგნიტური ველის მოქმედება დენზე

9.1.1. 10 სმ სიგრძის მავთულზე, რომელიც მოთავსებულია მაგნიტური ველის მართობულად, მოქმედებს 15 ნ ძალა, თუ მასში გამავალი დენია 1,5 ა. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია.

9.1.2. 1 კ მუხტზე, რომელიც მოძრაობს მაგნიტურ ველში 1 მ/ნმ სიჩქარით, მოქმედებს 10 ნ ძალა. მუხტი მოძრაობს მაგნიტური ველის მიმართულებისადმი 30° -იანი კუთხით. რისი ტოლია ამ ველის ინდუქცია?

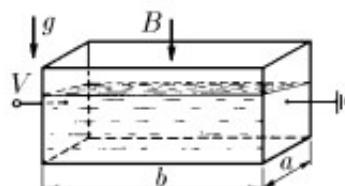
9.1.3. 1 სიგრძის მავთულზე, რომელიც მოთავსებულია მაგნიტური ველის მართობულად, მოქმედებს F ძალა, თუ მასში გამავალი დენია I . რა ძალით იმოქმედებს მაგნიტური ველი: ა) φ კუთხით მოღუნულ $I + L$ სიგრძის გამტარზე, თუ მოღუნვის სიბრტყე ველის მართობულია, ხოლო გამტარში გამავალი დენია I_1 ; ბ) R რადიუსის ნახევარწრენირის ფორმის მავთულზე, რომელშიც გადის



I_2 დენი, თუ ნახევარწრენირის სიბრტყე მაგნიტური ველის მართობულია?

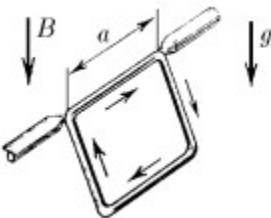
9.1.4*. მართკუთხა ყუთში, რომლის ორი საპირისპირო კედელი მეტალისაა, ხოლო დანარჩენები დამტადებულია იზოლატორისგან, ჩასხმულია ელექტროლიტი, რომლის სიმკვრივეა ρ , კუთრი გამტარობა კი λ . მეტალის კედლებზე მოდებულია V ძაბვა, ხოლო მთლიანი ყუთი მოთვსებულია B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. დაადგინეთ სითხის სიმაღლეებს შორის სხვაობა არამეტალის კედლებთან. ყუთის სიგრძეა a , სიგანე კი b .

9.1.5. ერთგვაროვან ვერტიკალურ მაგნიტურ ველში, ორ წვრილ ძაფზე, ჰორიზონტალურად დაკიდებულია 0,16 კგ მასისა და 80 სმ სიგრძის გამტარი. გამტარის ბოლოები დრეკადი მავთულებით, რომლებიც მდებარეობენ ველის გარეთ, შეერთებულია დენის წყაროსთან. რა კუთხით გადაიხრებიან საკიდის ძაფები ვერტიკალიდან, თუ გატარში გამავალი დენია 2 ა, ხოლო მაგნიტური ველის



ინდუქციაა 1 ტლ?

9.1.6. კვადრატის ფორმის დენიანი ჩარჩო დამაგრებულია ისე, რომ შეუძლია თავისუფლად ბრუნვა ჰორიზონტალურად მოთავსებული გვერდის გარშემო. ჩარჩო მოთავსებულია ვერტიკალურ B ინდუქციის მქონე ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში და დახრილია ჰორიზონტისადმი α კუთხით, მისი მასაა m , გვერდის სიგრძე კი a . იპოვეთ ჩარჩოში გამავალი დენი.

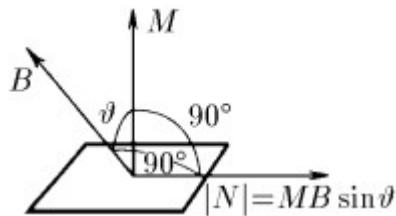


9.1.7. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოათვსებულია დენიანი მართვული ჩარჩო. B ინდუქციის მაგნიტური ველი ჩარჩოს სიბრტყის პარალელურია. ჩარჩოს ფართობია S , მასში გამავალი დენია I .

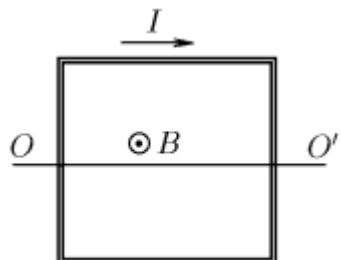
ა. დაამტკიცეთ რომ ჩარჩოზე მოქმედი ძალის მომენტი, $N = BM$, სადაც $M = IS$ - ჩარჩოს მაგნიტური მომენტია.

◊ბ. დაამტკიცეთ, რომ ჩარჩოზე მოქმედი ძალის მომენტი იმ შემთხვევაში, როდესაც მაგნიტური ველის ინდუქცია მიმართულია ისე, როგორც ნაჩვენებია

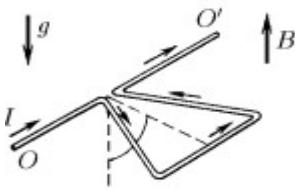
$\vec{N} = \begin{bmatrix} \vec{M} \\ \vec{X} \\ \vec{B} \end{bmatrix}$, სადაც \vec{M} არის ჩარჩოს მაგნიტური მომენტი, რომლის მოდულია $|M| = MB \sin \vartheta$, ხოლო მიმართულება ჩარჩოს სიბრტყის მართობულია.



9.1.8*. B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია დენიანი კვადრატული ჩარჩო. ჩარჩოს მასაა m , მასში გამავალი დენია I . გამოთვალეთ ჩარჩოს თავისუფალი რხევების პერიოდი OO' ღერძის გარშემო.



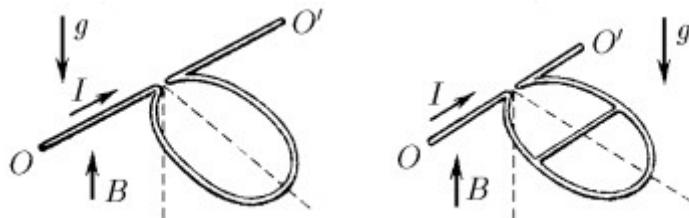
9.1.9. სამკუთხედის ფორმის დენიან ჩარჩოს შეუძლია ბრუნვა ჰორიზონტალურ OO' ღერძის გარშემო, რომელიც გადის სამკუთხედის წვერობე. ჩარჩოს ერთეულოვანი სიგრძის მასაა ρ , მასში გამავალი დენი კი I . გამოთვალეთ ჩარჩოს სიბრტყის ვერტიკალიდან გადახრის კუთხე.



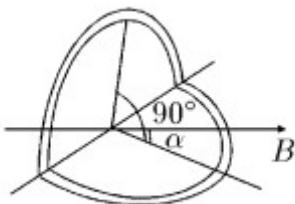
9.1.10. დაამტკიცეთ, რომ ერთგვაროვან B ინდუქციის მაგნიტურ ველში მოთავსებულ ნებისმიერ ბრტყელ დენიან ჩარჩობები მოქმედი ძალის მომენტი $\vec{N} = \begin{bmatrix} \vec{M} & X & \vec{B} \end{bmatrix}$

◊9.1.11. ა. წრენირის ფორმის დენიან ჩარჩოს შეუძლია პორიზონტალური OO' ღერძის გარშემო ბრუნვა. ჩარჩოს ერთეულოვანი სიგრძის მასაა ρ , მასში გამავალი დენია I . ჩარჩო მოთავსებულია B ინდუქციის მაგნიტურ ველში, რომელიც მიმართულია გრავიტაციული ველის გასწვრივ. გამოთვალეთ წრენირის სიბრტყის ვერტიკალიდან გადახრის კუთხე.

ბ. წრენირის ფორმის ჩარჩოს, მავთულის დიამეტრით, რომელიც პარალელურია OO' ღერძის, შეუძლია პორიზონტალური ღერძის გარშემო ბრუნვა. ჩარჩოს ერთეულოვანი სიგრძის მასაა ρ , მასში გამავალი დენია I . ჩარჩო მოთავსებულია B ინდუქციის მაგნიტურ ველში, რომელიც პარალელურია გრავიტაციული ველის. გამოთვალეთ ჩარჩოს გადახრის კუთხე ვერტიკალიდან.



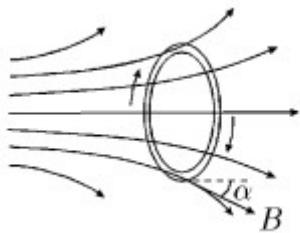
◊9.1.12. R რადიუსის ხვია გაღუნეს დიამეტრებით მართი კუთხით და მოათავსეს ერთგვაროვან B ინდუქციის მაგნიტურ ველში, ისე, რომ ერთ-ერთი სიბრტყე ველის მიმართულებასთან ადგენს α კუთხეს, მეორე კი $\pi/2 - \alpha$ კუთხეს. დენი ხვიაში არის I . გამოთვალეთ ხვიაზე მოქმედი ძალის მომენტი.



9.1.13*. კოჭა, რომელის ხვიებშიც გადის დენი, ვერტიკალურად დგას სიბრტყებები. მისი მასაა P , რადიუსი R , გამავალი დენი კი I . პორიზონტალურად მიმართული ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის რა ინდუქციისთვის წაიქცევა კოჭა?

◊9.1.14. R რადიუსის რგოლი, რომელშიც ცირკულირებს I დენი, მოათვსეს არაერთგვაროვან აქსიალურ-სიმეტრიულ ველში. რგოლის ღერძი ემთხვევა მაგნიტური ველის სიმეტრიის ღერძს. დენზე მოქმედი მაგნიტური ველის

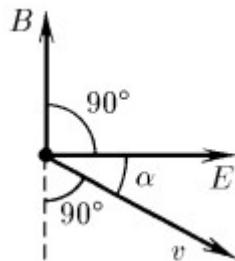
B ინდუქცია ველის სიმეტრიის ღერძთან ადგენს α კუთხეს. რგოლის მასაა m . გამოთვალეთ რგოლის აჩქარება.



9.1.15*. გამტარი რგოლი მოთავსებულია მაგნიტურ ველში, რომელიც მისი სიბრტყის მართობულია. რგოლში ცირკულირებს I დენი. თუ რგოლის მავთული გაწყვეტისას უძლებს F ძალას, მაშინ მაგნიტური ველის რა ინდუქციისთვის გაწყდება რგოლი? რგოლის რადიუსია R . I დენის შექმნილი მაგნიტური ველის გავლენა რგოლზე უგულებელყავით.

9.2 მოძრავი მუხტის მაგნიტური ველი. წირითი დენის მაგნიტური ველის ინდუქცია^{*)}

◊9.2.1. v სიჩქარით მოძრავი მუხტების E დაძაბულობის ელექტრულ ველს ქმნის მაგნიტურ ველი, რომლის ინდუქცია $B = \frac{vE}{Kv}$. K კოეფიციენტი ტოლია μ_e -ის SI სისტემაში და $1/c$ -სი CGS სისტემაში, სადაც c სინათლის სიჩქარეა. დაამტკიცეთ, რომ ორი მოძრავი მუხტის მაგნიტური ურთიერთქმედება



უფრო სუსტია ვიდრე ელექტრული.

9.2.2. წინა ამოცანის ფორმულის გამოყენებით, იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქციის განაწილება დამუხტელი უსასრულო ძაფის გარშემო, რომლის მუხტის წირითი სიმკვრივეა ρ , თუ ძაფი v სიჩქარით მოძრაობს გრძივი მიმართულებით.

9.2.3. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქციის განაწილება უსასრულო სწორი მავთულის გარშემო, რომელშიც გადის I დენი.

9.2.4. სწორი დენიანი მავთულის ერთეულოვან სიგრძეზე, მეორე მავთულიდან, რომელშიც იგივე დენი გადის, მოქმედებს $2,5 \cdot 10^{-7}$ ნ ძალა. მავთულებს შორის მანძილია 1 მ, დენის ძალა მათში - 1 ა. რისი ტოლია ამ გარემოს მაგნიტური შეღწევადობა?

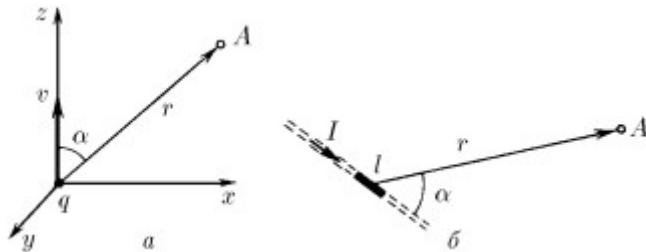
9.2.5. ოთხი სწორი გრძელი პარალელური მავთული გადის მათი სიბრტყის მართობულ კვადრატის წვეროებზე (კვადრატის გვერდის სიგრძეა 30 სმ). თითოეულ მავთულში მიედინება 1 ა დენი, ამასთან სამში ერთი მიმართულებით, მეოთხეში კი საპირისპირო მიმართულებით. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია კვადრატის ცენტრში.

9.2.6. გრძელი სწორი დენიანი მავთულები იკვეთება მართი კუთხით. გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია x და y კოორდინატების მქონე წერტილში, თუ საკოორდინატო სიბრტყის ღერძებს მავთულები წარმოადგენს. მათში გამავალი დენი კი $I - i$ ს ტოლია.

9.2.7. გრძელი სწორი დენიანი მავთულები იკვეთება α კუთხით. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია წრფეზე, რომელიც გადის გამტარების გადაკვეთის წერტილზე ორივე მავთულის მართობულად. მავთულებში გამავალი დენია I .

◊9.2.8. ა. გამოიყენეთ 9.2.1 ამოცანაში მოყვანილი ფორმულა და გამოთვალეთ v სიჩქარით მოძრავი q მუხტის შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქცია მუხტიდან r მანძილზე. r რადიუს-ვექტორი v სიჩქარესთან ქმნის α კუთხეს.

◊ດ. გამოთვალეთ l სიგრძის სწორი მავთულის მაგნიტური ველის ინდუქცია მავთულიდან r მანძილზე, თუ $l \ll r$. მავთულში გამავალი დენია I . r



რადიუს-ვექტორი მავთულთან ადგენს α კუთხეს.

9.2.9. დაამტკიცეთ, რომ მიმდევრობით შეერთებულ l და l დენიანი მავთულების მონაკვეთებიდან შორ მანძილზე მაგნიტური ველი ახლოა $l=l+l$ მავთულის მონაკვეთის მაგნიტურ ველთან, რომელშიც იგივე დენი მიედინება.

9.2.10. R რადიუსის რგოლში მიედინება I დენი. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია რგოლის ცენტრში და მის ღერძზე ცენტრიდან h სიმაღლეზე.

9.2.11. რამდენჯერ შემცირდება დენიანი რგოლის მაგნიტური ველის ინდუქცია მის ცენტრში, თუ მას გავღუნავთ α კუთხით? დენი რგოლში უცვლელია.

9.2.12. ერთ სიბრტყეში მდებარე მავთული შედგება ორი გრძელი სწორი პარალელური ნაწილისგან, რომლებიც კავშირდებიან ნახევარწრენირით. მავთულში გამავალი დენია I . იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია ნახევარწრენირის ცენტრში.

9.2.13. გრძელი სწორი მავთული, I დენით, შეიცავს R რადიუსის ნახევარწრენირის ფორმის მონაკვეთს. განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია ნახევარწრენირის ცენტრში.



9.2.14*. გრძელი სწორი მავთული შეიცავს R რადიუსის ხვიას. მავთულში მიედინება I დენი. განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია ხვიის ცენტრში და მის ღერძზე ცენტრიდან h სიმაღლეზე.



9.2.15. ა. მეტალის რგოლი გაწყდა, როდესაც მასში გამავალი დენი იყო I . დაამზადეს ზუსტად ასეთივე რგოლი, მაგრამ ისეთი ნივთიერებისგან, რომლის გაწყვეტის ზღვარიც 10-ჯერ მეტია. რა დენი გაწყვეტს ამ რგოლს.

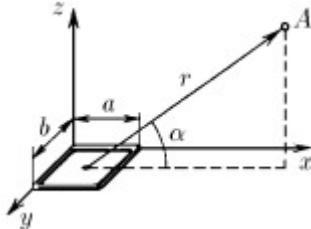
ბ*. რა დენი გაწყვეტს ამ ახალ რგოლს, თუ მისი ყველა ზომა იქნება ძველზე 2-ჯერ დიდი.

9.2.16. გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია კონტურის ღერძზე, რომლის მაგნიტური მომენტია M , დიდ h მანძილებზე იმ შემთხვევებისთვის, როდესაც კონტური წრის, კვადრატის და ტოლგვერდა სამკუთხედის ფორმისაა.

9.2.17*. გამოთვალეთ მართვულა aa ზომების I დენი ანი ჩარჩოს მაგნიტური ველის ინდუქცია A წერტილში, რომელიც მდებარეობს ჩარჩოდან r

მანძილზე, რაც გაცილებით დიდია ჩარჩოს წრფივ ზომებზე. r რადიუს-ვექტორი სიჩქარესთან α კუთხეს ადგენს.

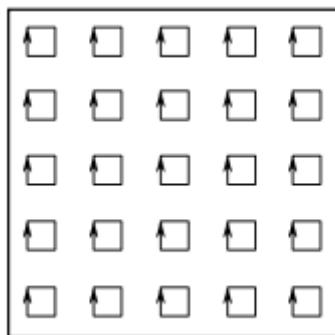
9.2.18*. ბრტყელი დენიანი კონტურის მაგნიტური ველი მისგან დიდ მანძილზე განისაზღვრება კონტურის მაგნიტური მომენტით და არ არის



დამოკიდებული კონტურის ფორმაზე. დაამტკიცეთ ეს ფაქტი.

9.2.19*. ა. დიდი დენიანი კვადრატული კონტურის შიგნით თნაბრად განაწილებულია ბევრი კვადრატული დენიანი მიკროკონტური. თითოეული მიკროკონტურის მაგნიტური მომენტია M . დაამტკიცეთ, რომ მანძილებზე, რომლებიც გაცილებით დიდია მიკროკონტურებს შორის მანძილზე, მათი მაგნიტური ველის ინდუქცია ემთხვევა დიდი კონტურის მაგნიტური ველის ინდუქციას, რომლის მაგნიტური მომენტია nM , სადაც n - დიდ კონტურში მიკროკონტურების რაოდენობაა.

ბ. $aah (h \ll a)$ ზომების თხელი კვადრატული ფირფიტა დამაგნიტებულია მისი სიბრტყის მართობული მიმართულებით. მაგნიტური ველის ინდუქცია ფირფიტის ცენტრში არის B . გამოთვალეთ ფირფიტის ნივთიერების ერთეულოვანი მოცულობის მაგნიტური მომენტი.



9.2.20. დამაგნიტებული რკინისგან გამოქრეს R რადიუსისა და h სიმაღლის ბრტყელი თხელი დისკი. დისკის სიბრტყე დამაგნიტების მართობულია. რკინის ერთეულოვანი მოცულობის მაგნიტური მომენტია M . გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია დისკის სიბრტყეში მისი ცენტრიდან l მანძილზე.

9.2.21. შეაფასეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია 1 სმ სისქის, 10 სმ შიდა რადიუსის და 20 სმ გარე რადიუსის მქონე ბრტყელი რკინის რგოლის ცენტრში. რკინის ყველა ატომი ორიენტირებულია რგოლის ღერძის გასწვრივ, რკინის ატომის მაგნიტური მომენტია $2 \mu = 1,85 \cdot 10^{-23} \text{ A/m}^2$.

9.2.22. ღერძის გასწვრივ დამაგნიტებული R რადიუსის თხელი რკინის რგოლის მაგნიტური ველის ინდუქციაა B . ეს რგოლი მოათავსეს B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომელიც არ ცვლის დისკის მაგნიტურ მომენტს. როგორი ორიენტაცია უნდა ჰქონდეს დისკს ამ მაგნიტურ ველში, რომ მასზე მოქმედი მაგნიტური მომენტი იყოს მაქსიმალური? რისი ტოლია ეს მომენტი?

9.2.23. ორი თხელი, H მანძილით დაშორებული, დამაგნიტებული კვადრატული ფირფიტის ურთიერთქმედების ძალაა F . ფირფიტის ზომებია aah . შეაფასეთ ფირფიტის ერთეულოვანი მოცულობის მაგნიტური მომენტი თუ $h \ll H$, ხოლო $H \ll a$.

9.3 დენის მაგნიტური ველი, სიბრტყეზე ან სივრცეში განაწილება.

9.3.1. გამოიყენეთ 9.2.1 ამოცანაში გამოყვანილი ფორმულა და გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია თანაბრად დამუხტულ ფირფიტასთან ახლოს. ფირფიტა მოძრაობს სიჩქარით საკუთრი სიბრტყის გასწვრივ. ბედაპირული მუხტის სიმკვრივეა .

9.3.2. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია ბრტყელი კონდენსატორის შიგნით, რომელიც მოძრაობს 9 მ/წმ სიჩქარით ფირფიტების პარალელურად. ფირფიტებს შორის დაშორებაა 10 მმ, ძაბვა ფირფიტებზე 10 კვ.

9.3.3. რისი ტოლი უსასრულო სიბრტყის მაგნიტური ველის ინდუქცია?

თუ მასში მიედინება დენი წირითი სიმკვრივით i .

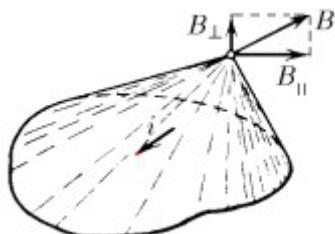
9.3.4. ორ პარარელურ სიბრტყეში მიედინება დენი ერთიდაიგივე მიმართულებით, რომელთა წირითი სიმკვრივეა i და i . რას უდრის მაგნიტური ველის ინდუქცია მათ შიგნით და გარეთ?

9.3.5. ორ პარარელურ ბორბალში მიედინება I დენი. ბორბლის სისქეა b რაც გაცილებით დიდია მათ შორის მანძილზე. რას უდრის ბორბლის ერთეულოვან სიგრძეზე მოქმედი ძალა?

9.3.6. ა. ფირფიტაში მართვული კვეთით $a \times b$ ($a \ll b$) გაატარეს I დენი. ფირფიტის გრძივი დრეკადობის კოეფიციენტია E . განსაზღვრეთ რამდენით შემცირდება სიგრძე მაგნიტური ძალების მოქმედების შედეგად.

ბ. რბილი სპილენძი “დნება” $4 \cdot 10^7$ პა წნევის დროს, ხოლო რკინა $5 \cdot 10^8$ პა. შეაფასეთ მინიმალური მაგნიტური ველის ინდუქცია რომლის დროსაც “დნება” სპილენძი და რკინა.

◊9.3.7. სურათზე გამოსახულ ბრტყელ ბედაპირზე მიედინება წირითი i სიმკვრივის დენი. დაამტკიცეთ რომ მაგნიტური ველის შემადგენელი ზედაპირის $B_{\text{II}} = \mu_0 i \Omega / 4\pi$ პარალელური და პერპენდიკულარულად მიმართული გამოითვლება $B_{\text{II}} = i \Omega / c$ ფორმულით SI სისტემაში და $B_{\text{II}} = i \Omega / c$ ფორმულით CGS სისტემაში, სადაც Ω



კუთხეა, რომლითაც მოჩანს სიბრტყე.

9.3.8. გამოიყენეთ $B_{\text{II}} = \mu_0 i \Omega / 4\pi$ ფორმულა 9.3.7. ამოცანიდან და ამოხსენით შემდეგი ამოცანები.

ა. გამოთვალეთ უსასრულო სისქის ზოლის მაგნიტური ველის ინდუქცია ზოლის ცენტრიდან η სიმაღლეზე. თუ ზოლის გასწვრივ მიედინება i დენი.

ბ. გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია უსასრულოდ გრძელი ცილინდრის შიგნით რომლის ზედაპირზეც მიედინება წირითი I სიმკვრივის დენი. დამოკიდებულია თუ არა შედეგი კვეთის ფორმაზე?

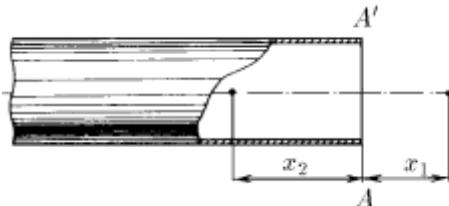
გ.* სწორ გრძელ გამტარზე რომლის კვეთის ფორმაა ტოლგვერდა სამკუთხედი ა სიგრძის გვერდით, გამავალი დენის სიმკვრივეა j . გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია გამტარის გვერდებზე.

9.3.9. რა დაჭიმულობის ძალას იწვევს ხვიებში გრძელ კოქაში გამავალი I დენი. ხვიების რაოდენობა ერთეულ ფართობზე არის n , კოჭის რადიუსი R კი.

◊9.3.10. ნახევრადუსასრულო წრიული R რადიუსის ცილინდრის ზედაპირზე მიედინება გადამკვეთი დენი წირითი სიმკვრივით i .

ა. გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია ცილინდრის I AA' კვეთის გასწვრივ.

ბ. როგორაა მაგნიტური ველის ინდუქცია ცილინდრის ღერძზე x_1 და x_2 დაშორებაზე მის ბოლომდე? რისი ტოლია ეს ინდუქცია ცილინდრიდან დიდ



მანძილებზე?

9.3.11.* ა. მყარი ცილინდრი ამოქრეს გაჯერებამდე დამაგნიტებული რკინისგან ისე რომ მისი ღერძი ემთხვევა დამაგნიტების მიმართულებას. დაამტკიცეთ რომ ცილინდრის მაგნიტური ველი ეკვალენტურია გადამკვეთი დენის ველის რომელიც მიედინება ცილინდრის ზედაპირზე და დენის წირითი სიმკვრივე ტოლია ერთეულოვანი რკინის მაგნიტური მომენტის.

ბ. გრძელი ღეროდან რომელიც დამაგნიტებულია გაჯერებამდე ღერძის გასწვრივ ამოქრეს კუბიკი ისე რომ მისი ერთ-ერთი გვერდი იყო მიმართული დამაგნიტების გასწვრივ. რამდენჯერაა რაკლები მაგნიტური ველის ინდუქცია კუბიკის ცენტრში ღეროში ინდუქციაზე?

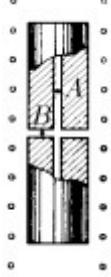
გ. გამოთვალეთ l სიგრძის და R რადიუსის ცილინდრის მაგნიტური ველის ინდუქცია ცილინდრის ცენტრში. ერთეული მოცულობის რკინის მაგნიტური მომენტია. რისი ტოლია ეს ინდუქცია $r \ll l$ და $l \gg r$ შემთხვევაში?

დ. ამოხსენით წინა ამოცანა იმ შემთხვევისთვის როდესაც ცილინდრის ცენტრში გახვრეტილია მცირე რადიუსის ხვრელი.

9.3.12. თხელი კვადრატული ფირფიტები $a \times a \times h$ $h \ll a$) ზომებით,

დამაგნიტებულია გაჯერებამდე ფირფიტის სიბრტყის მართობული მიმართულებით. თითოეული კვადრატის ცენტრში მაგნიტური ველის ინდუქციაა B_0 . რისი ტოლი იქნება ველის ინდუქცია გრძელი პარალელების შიგნით რომლის კვეთაა და იგი შედნგენილია ამ ფირფიტებით

◊9.3.13. 0,5 ა დენიან გრძელ სოლენოიდში მოათავსეს ცილინდრის ფერომაგნიტური სტოლბი წვრილი ბოლებით. ერთეულ სიგრძეზე ხვიების რაოდენობაა 10, ფერომაგნიტის მაგნიტური შეღწევადობაა 600. გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია გრძივ და განივ ზოლებში (და წერტილიებში)

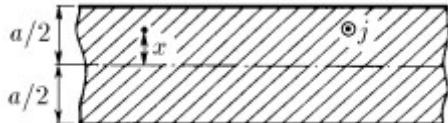


9.3.14. R რადიუსის და $h \ll R$ სიმაღლის დისკი დამზადებულია $\mu = 1 + x$, $x \ll 1$ მაგნიტური შეღწევადობის მქონე მასალისგან. დისკი მოათვსეს B_0 ინდუქციის მქონე ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის გასწვრივ. რამდენჯერ იქნება განსხვავებული მაგნიტური ველის ინდუქცია დისკის ცენტრში B ისგან?

9.3.15. მუდმივი მაგნიტური ველის ინდუქციის ცირკულაცია ჩაკეტილ კონტურზე ვაკუუმში ტოლია დენის, რომელიც მიედინება ამ კონტურით შემოსაზღვრულ ზედაპირზე, μ -ზე ნამრავლის. მოიყვანეთ მაგალითები რომლებიც ამტკიცებენ ამ კანონს. მისი გამოყენებით ამოხსენით შემდეგი ამოცანები.

ა. r რადიუსის უსარსრულოდ დიდ სწორ მავთულში მიედინება I დენი. დენი თანაბრადაა განაწილებული მავთულის კევთაში. იპოვეთ მაგნიტური ვალის ინდუქცია მავთულის შიგნით და გარეთ.

ბ. გრძელ ფართო a სისქის ბორბალში მიედინება დენი რომელიც თანაბრადაა განაწილებული გამტარის განივალეთში. დენის სიმკვრივეა j . როგორაა



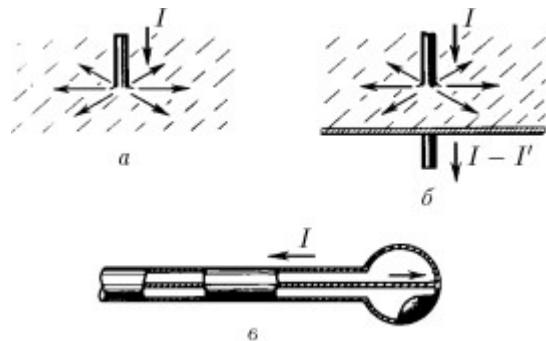
დამოკიდებული მაგნიტური ველის ინდუქცია დაშორებაზე ბორბლის სიბრტყის ცენტრიდან?

9.3.16. N ხვიის მქონე ტორიოდალურ სოლენოიდში (тороидальныи соленоид) მიედინება I დენი. მისი გარე რადიუსია R შიდა r . გამოთვალეთ მაგნიტური ველის მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობა სოლენოიდის შიგნით.

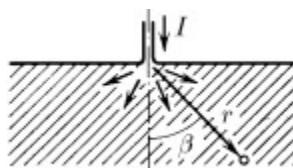
9.3.17. ა. I დენი მიედინება გრძელ სწორ მავთულში, რომელიც პერპენდიკულარულია გამტარი სიბრტყის და მიედინება მასში. დაადგინეთ მაგნიტური ველის განაწილება სიბრტყეში.

ბ. გრძელი I დენიანი მავთული კვეთს მის პერპენდიკულარურ გამტარ სიბრტყეს. სიბრტყეზე მოხმარებული დენია I . დაადგინეთ მაგნიტური ველის განაწილება ამ სისტემაში.

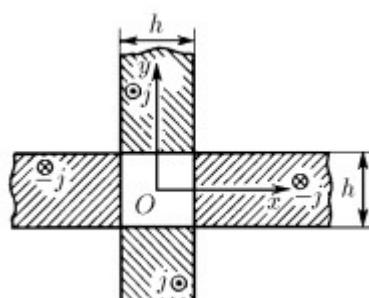
გ. კოაქსიალური კაბელი შედის სფეროს ფორმის სიბრტყეში ისე როგორც ნაჩვენებია სურათზე. იპოვეთ მაგნიტური ველის განაწილება მთელ სივრცეში.



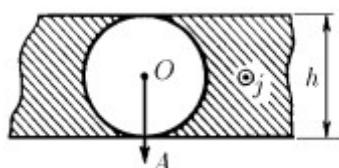
◊9.3.18.* I დენი შედის გამტარში მისი პერპენდიკულარული გრძელი სწორი მავთულის საშუალებით. დენი თანაბრად ვრცელდებე გამტარში. როგორაა დამოკიდებული მაგნიტური ველის ინდუქცია გამტარის შიგნით β კუთხეზე და r მანძილზე.



◊9.3.19. დენის განაწილება ორ თანამართობულ h სიმაღლის ფირფიტაში ნაჩველებია სურათზე. ფირფიტაშის გადაკვეთის წერტილებში დენი არაა. დახაზეთ მაგნიტური ველის ინდუქციის x -ზე დამოკიდებულების გრაფიკი.



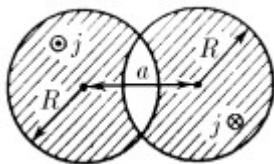
◊9.3.20. უსასრულო h სისქის ფირფიტაში ამოქრეს $h/2$ რადიუსის მქონე ცილინდრის ფორმის ღრუ რომლის ღერძიც პარალელურია ფირფიტის გედაპირის სიბრტყის. ფირფიტის მთელ მოცულობაში გარდა ღრუიანი ნაწილისა მიედინება დენი სიღრუის ღრძის მიმართულებით. დაადგინეთ მაგნიტური ველის განაწილება OA' წრფის გასწვრივ რომელიც გადის სიღრუის ღერძზე და პერპენდიკულარულია სიბრტყის ზედაპირის. დენის სიმკვრივეა j .



9.3.21.* დაადგინეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია გრძელ ცილინდრის ფორმის ღრუში რომელიც მოთავსებულია ცილინდრის ფორმის გამტარში. სიღრუის ღერძი პარალელურია გამტარის ღერძის და დამორებულია მისგან d მანძილით. გამტარში დნი განაწილებულია თნაბრად. დენის სიმკვრივეა j .

◊9.3.22.* а. ორი R რადიუსის ცილინდრი რომელთა ღერძები დაშორებულია ერთმანეთისგან მანძილით იკვეთეთან ისე როგორც ნაჩვენებია სურათზე. დაშტიხულ ნაწილებში ღერძების გასწვრივ მიედინება დენის რომლის სიმკვრივეა $\pm j$. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია დაშტრიხულ ნაწილებს შორის.

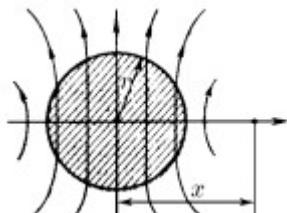
ბ. წინა ამოცანის პასუხის და ზღვრული გადასვლის მეთოდის გამოყენებით იპოვეთ $a \rightarrow 0, j \rightarrow \infty$ შემთხვევისთვის R რადიუსის ცილინდრის ზედაპირზე წირითი I სიმკვრივის დენის განაწილება რომელიც იძლევა B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველის ცილინდრის შიგნით. როგორაა სიმკვრივის



მაქსიმალური მნიშვნელობა დამოკიდებული ველის B ინდუქციასთან?

9.3.23.* მრგვალი სოლენოიდის ხვიების სიბრტყე დახრილია α კუთხით მისი ღერძიდან. სოლენოიდის დენია I . ხვიების რაოდენობა ერთეულ იგრძებე n ., რადიუსი R . დაადგინეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია ასეთი სოლენოიდის შიგნით.

◊9.3.24.* გრძელი რკინის ცილინდრის ფორმის R რადიუსის ღერო დამაგნიტებულია მისი ღერძის პერპენდიკულარულ მაგნიტურ ველში. ღეროს ერთეულოვანი მოცულობის მაგნიტური მომენტია M . როგორაა დამოკიდებული მაგნიტური ველის ინდუქცია x დაშორებებზე რომლებიც გაცილებით ნაკლებია



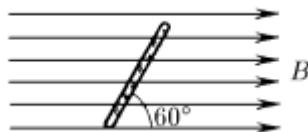
ღეროს სიგრძეზე?

9.4 მაგნიტური ნაკადი

◊9.4.1. ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქციაა B .

ა. რისი ტოლია a გვერდის მქონე კვადრატში გამავალი მაგნიტური ნაკადი რომლის სიბრტყეც დახრილია 60° კუთხით მაგნიტურ ველთან.

ბ. რისი ტოლია s ფართობის მქონე სიბრტყეში გამავალი ნაკადი რომელიც

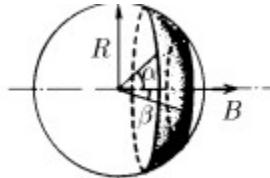


დახრილია α კუთხით მაგნიტური ველის მიმართ.

◊9.4.2. დაადგინეთ ნახატზე გამოყოფილ R რადიუსის მქონე სფეროს ნაწილში გამავალი ნაკადი. მაგნიტური ველის ინდუქციაა B იგი მიმართულია ამ ნაწილის სიმეტრიის ღერძის გასწვრივ.

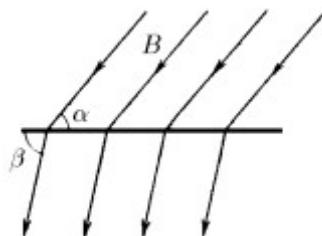
9.4.3. აჩვენეთ რომ ნაკადი, რომელიც შექმნილია წირითი i სიმკვრივის დენისგან, ნებისმიერ ჩაკეტილი ზედაპირში გავლისას 0-ის ტოლია.

9.4.4.* დაამტკიცეთ რომ ნაკადი, რომელიც შექმნილია დენისგან, ნებისმიერ ჩაკეტილ ზედაპირში გავლისას 0-ის ტოლია.

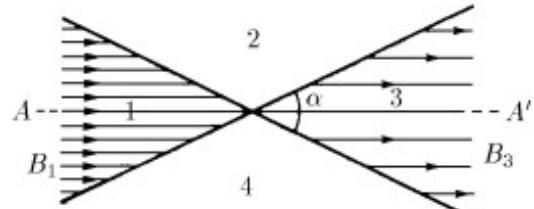


9.4.5. ბრტყელი ჰორიზონტალური საზღვარი ყოფს სივრცეს ორ ნაწილად. ქვედა ნაწილში მაგნიტური ველის ნდუქცია 0-ის ტოლია. დაამტკიცეთ რომ ერთგვაროვანი ველი საზღვართან ახლოს მისი პარალელურია.

◊9.4.6. მაგ ნიტური ველის ინდუქციაა B თხელი სიბრტყის გავლისას მისიდახრის კუთხე იცვლება α დან β ზე. რამდენჯერ შეიცვლება მაგნიტური ველის ინდუქცია? რისი ტოლია დენის წირითი სიმკვრივე ზედაპირზე?

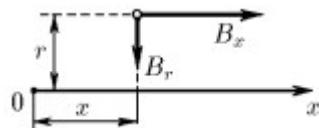


◊9.4.7.* α კუთხით გადაკვეთილი სიბრტყეები ყოფენ სივრცეს 4 ნაწილად. მაგნიტური ველის ინდუქცია 1 და 3 სივრცეებში პარალელურია AA' ღერძის და აქვთ ერთიდაიგივე მიმართულება. მათ მნიშვნელობებია შესაბამისადაა B და B' . დაადგინეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია 1 და 2 სივრცეებში.



◊9.4.8. ა. აქსიალურ-სიმეტრიული მაგნიტური ველის მდგენელები, რომელიც მიმართულია სიმეტრიის ღერძის გასწვრივ, წრფივად დამოკიდებულია x -ზე. $B = Bx / x$ სადაც x და B მუდმივებია. დაადგინეთ მაგნიტური ველის რადიალური მდგენელის დამოკიდებულება ღერძიდან დაშორებაზე. როგორაა დამოკიდებული ველის დახრის კუთხე ღერძის მიმართ x -ზე და r -ზე? დახახეთ ამ ველის წირები.

ბ. მაგნიტური ველის მდგენელი წინა ამოცანიდან იცვლება ღერძის $B = (Bx / x)^n$ გარწვრივ წესის მიხედვით. დაადგინეთ ველის ინდუქციის რადიალური მდგენელი. როგორ დავადგინოთ B საერთო შემთხვევაში, როცა



$$B = Bf(x) ?$$

9.4.9. მაგნიტური ველის მდგენელი უსასრულოდ გრძელი R რადიუსის ცილინდრის ღერძის გასწვრივ იცვლება როგორც Bx / x ცილინდრის შიგნით და ცილინდრის გარეთ კი 0 -ის ტოლი რჩება. როგორაა ცილინდრის გარეთ ინდუქციის რადიალური მდგენელი დამოკიდებული ღერძამდე დაშორებაზე?

9.4.10. ა. დაადგინეთ ნახევრადუსასრულო R რადიუსის ცილინდრის ზედაპირზე, რომელშიც მოძრაობს წირითი I სიმკვრივის დენი, გამავალი მაგნიტური ნაკადი.

ბ. რა ძალით მიიზიდებიან გრძელი I დენიანი სოლენოიდის ნახევრები. სოლენოიდის რადიუსია R , ხვიების რაოდენობა ერთეულ სიგრძეზე n .

9.4.11. ორი გრძელი ღერო, რომლებიც დამაგნიტებულია საპირისპირო მიმართულებით მიიზიდებიან ერთმანეთთან თავისი ბოლოებით. რომ მოვაშოროთ ერთმანეთს ღერძის მიმართულებით უნდა მოვდოთ F ძალა. ღროების კვეთის ფართობია S . დაადგინეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია შეერთბის წერთილში.

9.4.12. არაერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია I დენიანი სოლენოიდი. ერთეულოვანი სიგრძეზე ხვიების რაოდენობაა n . სოლენოიდის ბოლოებში შემავალი და გამვალი მაგნიტური ნაკადია შესაბამისად φ და φ . დაადგინეთ სოლენოიდზე მოქმედი ძალა მისი ღერძის გასწვრივ.

9.4.13. ურთიერთინდუქცია ორ კონტურს შორის ეწოდება პროპორციულობის კოეფიციენტს ერთ-ერთში გამავალ დენსა და მის მიერ შექმნილ მეორე კონტურის გამჭვილ მაგნიტურ ნაკადს შორის. დაადგინეთ ურთიერთინუქცია:

ა. ორი R და r რადიუსის მრგვალ კონტურს შორის, რომლებიც მოთავსებულია $L \gg r, R$ მანძილზე ერთიდაიგივე სიმეტრიის ღერძზე.

ბ. გრძელი სოლენოიდის რადიუსია r , ერთეულ სიგრძე ხვიების რაოდენობა n და მრგვალი კონტურის რომელიც მოიცავს ამ სოლენოიდს.

10.1. მოძრაობა ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში

10.1.1. 20 კვ ძაბვაში აჩქარებული პროტონი, შედის 0,1 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, ველის მართობულად. იპოვეთ წრენირის რადიუსი, რომელზეც მოძრაობს პროტონიმაგნიტურ ველში

10.1.2. 200 კვ ძაბვაში აჩქარებული ელექტრონი მოძრაობს დედამიწის მაგნიტურ ველში, რომლის ინდუქციაა 70 მკტლ. იპოვეთ წრენირის რადიუსი, რომელზეც მოძრაობს ელექტრონი, თუ მისი სიჩქარე დედამიწის მაგნიტური ველის მართობულია.

10.1.3. ა. განსაზღვრეთ m მასისა და q მუხტი მქონე ნაწილაკის ბრუნვის სიხშირე (ციკლოტრონული სიხშირე) B ინდუქციის მაგნიტურ ველში.

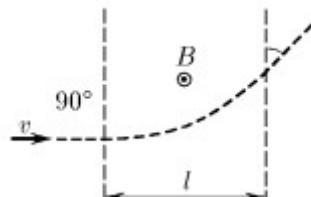
ბ. განსაზღვრეთ ელექტრონის ციკლოტრონული სიხშირე 1 ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში.

10.1.4. როგორ შეეფარდება ერთმანეთს ორი ელექტრონის ტრაექტორიის რადიუსები კინეტიკური ენერგიებით K_1 და K_2 , თუ ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი მათი სიჩქარების მართობულია?

10.1.5. პირველი შეხვედრიდან რა დროის შემდეგ შეხვდება ერთმანეთს ორი დამუხტული ნაწილაკი, რომლებიც მოძრაობენ B ინდუქციის მაგნიტური ველის მართობულად? ნაწილაკების მუხტია q , მასაა m . ურთიერთქმედება უგულებელყავით.

10.1.6. ვილსონის კამერის დახმარებით, რომელიც B ინდუქციის მაგნიტურ ველშია მოთავსებული, აკვირდებიან ა-ნაწილაკის დრეკად გაბნევას დიტერიუმის ბირთვზე. იპოვეთ ა-ნაწილაკის საწყისი ენერგია, თუ ბირთვისა და ა-ნაწილაკის ტრაექტორიების საწყისი მონაკვეთების სიმრუდის რადიუსი გაბნევის შემდეგ აღმოჩნდა R -ის ტოლი. ორივე ტრაექტორია მდებარეობს მაგნიტური ველის მართობულს სიბრტყეში.

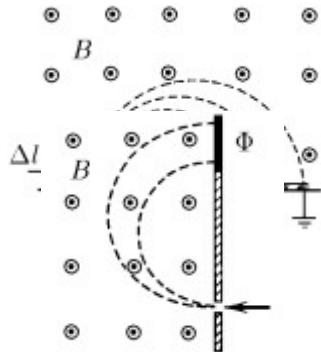
◊**10.1.7.** ელექტრონი შედის მაგნიტური ველის l სიგრძის რეგიონში.



ელექტრონის v სიჩქარე მართობულია როგორც ველის B ინდუქციის, ასევე რეგიონის საზღვრის. რეგიონის საზღვართან რა კუთხით გამოვა ელექტრონი მაგნიტური ველიდან?

◊**10.1.8.** სურათზე გამოსახულია მარტივი მას-სპექტრომეტრი, რომელშიც მაგნიტური ველის ინდუქციაა 0,1 ტლ. A იონიზატორში აბრაზუეცსა იონები, რომლებიც 10 კვ ძაბვაში ჩქარდებიან. მაგნიტურ ველში შემოხვევის შემდეგ იონები ეცემიან ფოტოფირფიტას და იწვევენ მის პოჩერნენიეს. ხვრელიდან რა მანძილზე იქნებიან ფოტოფირფიტაზე H_{r} , $2 H_{\text{r}}$, $3 H_{\text{r}}$, $4 H_{\text{r}}$ იონების პალასები?

როგორი უნდა იყოს ხვრელის სიგანე, რომ $16 H_{\text{r}}$, და $15 H_{\text{r}}$, იონების პალასები დაიყონ?

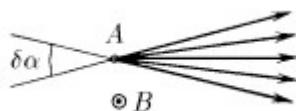


და 41 K_{+} წვეთების იონები თავიდან ჩქარდება ელექტრულ ველში, ხოლო შემდეგ ხვდებიან B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომელიც მათი მოძრაობის მართობულია. გამოცდის პროცესში აპარატურის არასრულყოფილების გამო ამაჩქარებელი ძაბვა იცვლება თავისი საშუალო მნიშვნელობის მიმართ $\pm \Delta V$ თი. რა ფარდობითი ცდომილებით $\Delta V / V_0$ უნდა შევინარჩუნოთ ამაჩქარებელი ძაბვის მნიშვნელობა, რომ ...?

◊10.1.10*. A წერტილიდან v სიჩქარით გამოდიან ნაწილაკები, მცირე კუთხური რაგბროსით, და შემდეგ მოძრაობებ B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მის მართობულად. განსაზღვრეთ, A წერტილდან რა მანძილზე საბერიოცაა კონა, და შეაფასეთ ამ ადგილში მისი განივი ზომა. ნაწილაკის მასაა m , მუხტია q .

10.1.11. B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, ველთან α კუთხით შედის v სიჩქარით m მასის და q მუხტის მქონე ნაწილაკი. იპოვეთ ვინტოვოი წრფის რადიუსი და ნაბიჯი, რომელზეც მოძრაობს ნაწილაკი.

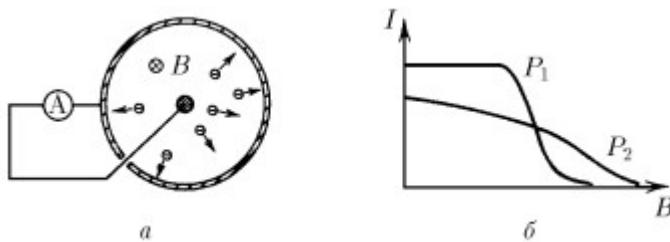
10.1.12*. B ინდუქციის ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის გასწვრივ ერთი



წერტილიდან v სიჩქარით გამოდიან ელექტრონები, მცირე კუთხური რაგბროსით. განსაზღვრეთ, გამოსვლის წერტილიდან რა მანძილზე ექნება კონას მინიმალური განივი ზომა, და შეაფასეთ ის.

◊10.1.13. ა. ვაკუუმური დანადგარი შედგება კოაქსიალურ R რადიუსის ცილინდრისგან და მავთულისგან, რომლებიც მოთავსებულებია არიან B ინდუქციის განივ მაგნიტურ ველში. მავთულის გაცხელებისას მისი ზედაპირიდან ამოიტყორცნებიან ელექტრონები K კინეტიკური ენერგიით; შესაბამისად გარე წრედში ცილინდრსა და მავთულს შორის გადის I დენი. დახახეთ I \perp B \perp დამოკიდებულება. იპოვეთ B \perp მნიშვნელობა, რომლის დროსაც დენი ვაკუუმში ნულს

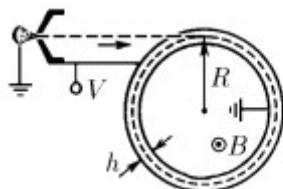
ბ. სურათზე გამოსახულია I \perp B \perp ორი დამოკიდებულება სხვადასხვა P და P' წნევებისას გაზებისასადს. რომელი წნევაა მეტი?



10.1.14. ორი ელექტრონი მოძრაობს მოდულით ერთნაირი V სიჩქარით, ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. რაღაც მომენტი მათ შორის მანძილია $2R$, ხოლო ელექტრონების სიჩქარები მაგნიტური ველის მართობულია და წრფივი, შემხვედრი ელექტრონების. მაგნიტური ველის ინდუქციის რა მნიშვნელობისთვის დარჩება ელექტრონების შორის მანძილი უცვლელი?

10.1.15. R რადიუსის ორბიტაზე პროტონის გარშემო ბრუნავს ელექტრონი. როგორ შეიცვლება ელექტრონის ბრუნვის სიჩქარე ამ ორბიტაზე, თუ სისტემას მოვათავსებთ სუსტ B ინდუქციის მაგნიტურ ველში, რომელიც ბრუნვის ღერძის გასწვრივაა მიმართული.

◊10.1.16. რა ძაბვა უნდა მოვდოთ ცილინდრული კონდენსატორის შემონაფენებს შორის, რომ მან ჩაიქიროს ორბიტაზე V ძაბვაში აჩქარებული ელექტრონები? კონდენსატორი მოთავსებული B ინდუქციის მქონე ერთგვაროვან



მაგნიტურ ველში, რომელიც კონდენსატორის ღერძის გასწვრივაა მიმართული. შემონაფენებს შორის h მანძილი ბევრად ნაკლებია კონდენსატორის საშუალო R რადიუსზე.

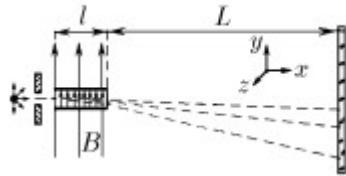
◊10.1.17. ა. ბრტყელ I სიგრძის კონდენსატორში ელექტრული ველის დაძაბულობაა E , ხოლო E -ს გასწვრივ მიმართული მაგნიტური ველის ინდუქციაა B . კონდენსატორის გამოსასვლელში მოთავსებულია რადიოაქტიური წყარო, რომელიც ელექტრონებს უშვებს სხვადასხვა სიჩქარით. მადგან ქმნიან ვიწრო კონას, რომელიც გადის კონდენსატორში, ხოლო შემდეგ ეცემა ფოტოფირფიტაზე, რომელიც $L \gg 1$ მანძილითაა დაშორებული. როგორ ...ფოტოფირფიტაზე ელექტრონები, თუ მათი წრფივი ტრაექტორიიდან გადახრა მცირეა?

მანძილი ბევრად ნაკლებია კონდენსატორის საშუალო R რადიუსზე.

ბ. იპოვეთ ელექტრონის წრფივი-კვალი ფოტოფირფიტაზე შემდეგი პირობებისთვის: $B = 1$ ტლ, $E = 5 \cdot 105$ ვ/მ, $I = 5$ სმ, $L = 50$ სმ.

მანძილი ბევრად ნაკლებია კონდენსატორის საშუალო R რადიუსზე.

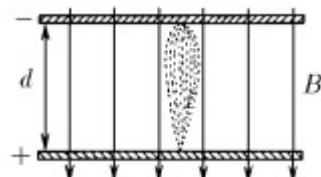
გ. ელექტრონის დიდი მასისთვის მისი მასა შესამჩნევად იცვლება; ლორენცის ფორმულის თანახმად $m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$ სადაც β - ელექტრონის სიჩქარის ფარდობაა სინათლის სიჩქარესთან, m_0 - ელექტრონის უძრაობის მასა. ამოხსენით 10.1.17ა ამოცანა ელექტრონის მასის ცვლილების ეფექტის გათვალისწინებით.



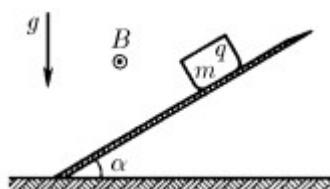
10.1.18. განსაზღვრეთ პროტონის აჩქარების დრო, რომელიც შედის ამაჩქარებლის ცენტრში K კინეტიკური ენერგიით, თუ ამაჩქარებელი ძაბვა ციკლოტრონის დუანტებზე არის V , მაგნიტური ველის ინდუქციაა B , მისი რადიუსია R . პროტონის მოძრაობის დრო ამაჩქარებლის დუანტებს შორის უგულებელყავით.

◊**10.1.19.** ბრტყელი კონდენსატორის ფირფიტები, რომელთა შორის მანძილია d , განლაგებულია B ინდუქციის მაგნიტური ველის მართობულად. კათოდთან მოთავსებული ნელი ელექტრონების წყარო, რომლებიც ფირფიტებთან სხვადასხვა მიმართულებით

გამოდიან. კონდენსატორზე ძაბვის რა მნიშვნელობისთვის ფოკუსირდებიან ელექტრონები ანოდზე? რა განსაზღვრავს კონის ზომას?

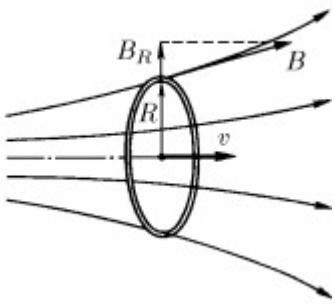


◊**10.1.20.** განსაზღვრეთ რა მაქსიმალურ სიჩქარეს განავითარებს დამუხტული სხეული, რომელიც სრიალდება დახრილ სიბრტყეზე B ინდუქციის მაგნიტურ დედამინის სიძიმის ველში. სიბრტყის ჰორიზონტან α კუთხეს ადგენს.



სიბრტყესთან ხახუნის კოეფიციენტია μ .

◊**10.1.21.** თანაბრად დამუხტული R რადიუსის რგოლი, რომლის სიგრძივი მუხტის სიმკვრივეა ρ , მოძრაობს v სიჩქარით აქსიალურ-სიმეტრიული მაგნიტური ველის ღერძულად. მაგნიტური ველის ინდუქციის მდგრენელი ღერძიდან R მანძილზე არის B . განსაზღვრეთ რგოლზე მოქმედი ძალის მომენტი.

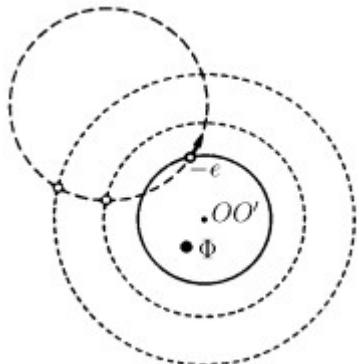


10.1.22*. დაამტკიცეთ, რომ რგოლის იმპულსის მომენტის ნაზრდი ΔM , 10.1.21 ამოცანაში, პროპორციულია რგოლში მაგნიტური ინდუქციის ნაკადის ნაზრდის $\Delta \Phi$: $\Delta M = (1/2 \pi) Q \Delta \Phi$, სადაც Q - რგოლის ელექტრული მუხტია. დასამტკიცებლად გამოიყენეთ, რომ მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი გვერდითა ზედაპირში უდრის მისი ტორცებს შორის ნაკადების სხვაობას.

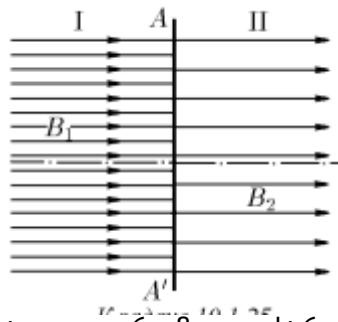
10.1.23*. რა მინიმალური სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ თანაბრად დამუხტულ არაგამტარ რგოლს, რომელიც მოთავსებულია აქსიალურ-სიმეტრიული ველისადმი ღერძულად, ამ ველის ღერძის გასწვრივ, რომ რგოლი გადაადგილდეს B_1 ინდუქციის ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის რეგიონიდან B_2 ერთგვაროვანი ველის რეგიონში, $B_1 > B_2$? რგოლის რადიუსია R , მუხტია Q , მასაა m .

◊10.1.24. ატარებენ ნებისმიერ სხვა წრენირს, რომლის OO' ღერძი მიმართულია მაგნიტური ველის გასწვრივ. აჩვენეთ, რომ ჰამი $M + (1/2 \pi) e \Phi$, სადაც Φ - ამ წრენირში მაგნიტური ველის ნაკადია, ხოლო M - ელექტრონის იმპულსის მომენტი OO' ღერძის მიმართ, არ არის ელექტრონის მდებარეობაზე დამოკიდებული.

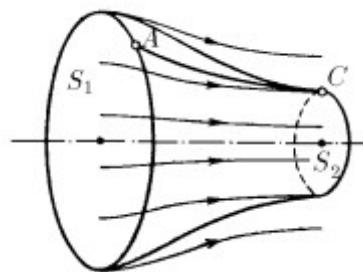
ბ. აჩვენეთ, რომ ჰამი $M + (1/2 \pi) e \Phi$ არ იცვლება ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ელექტრონის ვინავონ ხაზზე მოძრაობისას.



◊10.1.25. ორ ერთგვაროვან ერთი მიმართულების მაგნიტური ველების, ინდუქციით B_1 და B_2 , I და II რეგიონს აქვს ღერძულადსიმეტრიული თხელი AA' გადასვლა, რომელშიც მაგნიტურ ველს აქვს დიდი რადიალური მდგრენელი. ელექტრონი I რეგიონში მოძრაობს მაგნიტური ველის გასწვრივ R მანძილზე გადასვლის სიმეტრიის ღერძიდან. სიმეტრიის ღერძის მიმართ რა იმპულსის მომენტს განავითარებს ელექტრონი I დან II რეგიონში გადასვლისას? ინახება თუ არა ამ ნაწილში მოძრაობისას $M + (1/2 \pi) e \Phi$ ჰამი (იხ. აღნიშვნა ამოცანა 10.1.24_ში)?



◊**10.1.26***. დაამტკიცეთ, რომ ელექტრონის იმპულსის მომენტის ცვლილება A წერტილიდან C წერტილამდე მოძრაობისას აქსიაურ-სიმეტრიულ მაგნიტურ ველში ველის ღერძი მიმართ უდრის მაგნიტური ნაკადების სხვაობას S_1 და S_2

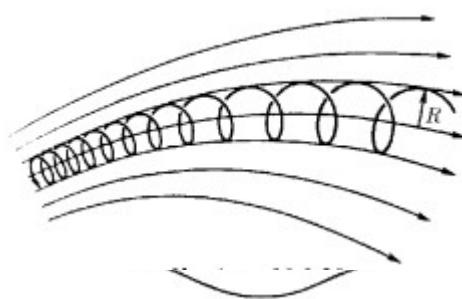


ფართობებს შორის, გამრავლებულს $e / 2 \pi - \delta e$

◊**10.1.27***. ელექტრონების რა ნაწილი

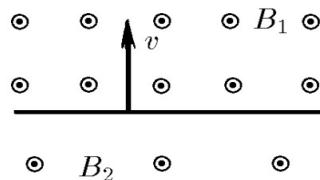
10.1.28*.

◊**10.1.29***. ძლიერ მაგნიტურ ველში ელექტრონი მოძრაობს სპირალზე, რომელიც მაგნიტური ველის ძალწირზე <<დახვეული>>. დაამტკიცეთ, რომ იმ შემთხვევაში როცა სპირალის წრფის რადიუსი იმდენად მცირეა, რომ მასში ველი შეიძლება ერთგვაროვნად ჩავთვალოთ, სპირალის ხაზის რადიუსის კვადრატის ნარმოებული მაგნიტური ველის ინდუქციით, არ იცვლება.

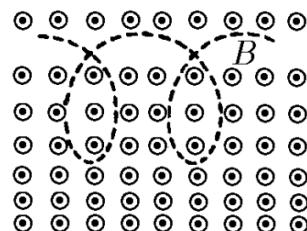


10.2. ნაწილაკების დრეიფული მოძრაობა

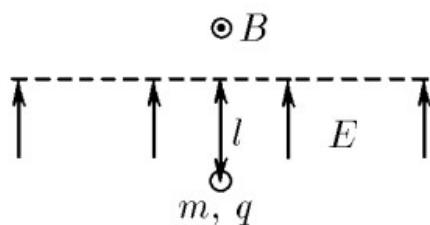
◊10.2.1. სივრცე გაყოფილია სიბრტყით ორ ნაწილად . ერთ ნაწილში შექმნილია B_1 ინდუქციის მაგნიტური ველი, ხოლო მეორეში B_2 ინდუქციის, ამასთან ველები ერთგვაროვანია და ერთმანეთის პარალელური. გამყოფ სიბრტყესთან, მის მართობულად, B_1 ინდუქციის მქონე უბნის მიმართულებით, v სიჩქარით მოძრაობას იწყებს ელექტრონი. აღნერეთ ელექტრონის მომდევნო მოძრაობა. განსაზღვრეთ ელექტრონის გადაადგილების საშუალო (დრეიფის) სიჩქარე მაგნიტური ველების გამყოფი საზღვრის გასწვრივ.



◊10.2.2*. შეაფასეთ ელექტრონის დრეიფის სიჩქარე არაერთგვაროვანი მაგნიტური ველის მართობულად, რომლის ინდუქციის მდგრენელებია $B_x = 0$, $B_y = 0$, $B_z = B_0(1+\alpha x)$. ელექტრონის სიჩქარეა $v, v \ll eB_0/(am_e)$.

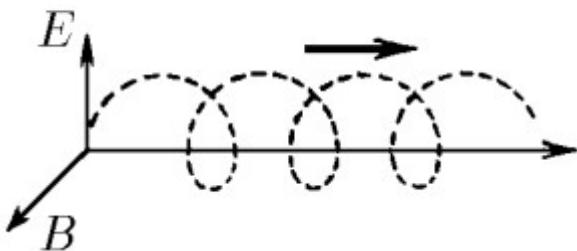


◊10.2.3. ერთგვაროვანი მაგნიტური და ელექტრული ველის უბნები გაყოფილია სიბრტყით. B ინდუქციის მაგნიტური ველი გამყოფი სიბრტყის პარალელურია. E დაძაბულობის ელექტრული ველი გამყოფი სიბრტყის მართობულია. საზღვრიდან l მანძილზე მოთავსებულია m მასისა და q მუხტის ნაწილაკი. დახატეთ ამ ნაწილაკის ტრაექტორია. იპოვეთ ნაწილაკის დრეიფის სიჩქარე ველების გამყოფი საზღვრის გასწვრივ.



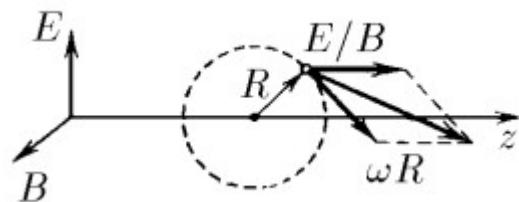
10.2.4. ერთმანეთის მართობულ ელექტრულ და მაგნიტურ ველს ეწოდება ჯვარედინა ველები. რა მინიმალური საწყისი სიჩქარე უნდა ჰქონდეს დამუხტულ ნაწილაკს ორივე ველის მართობულად, რომ მისი მოძრაობა ჯვარედინა ველებში იყოს წრფივი? ელექტრული ველის დაძაბულობაა E , მაგნიტური ველის ინდუქციაა B .

◊10.2.5. ჯვარედინა ელექტრულ და მაგნიტურ E და B ველებში ნაწილაკი მოძრაობს დრეიფზე ორივე ველის მართობულად. რას უდრის ნაწილაკის

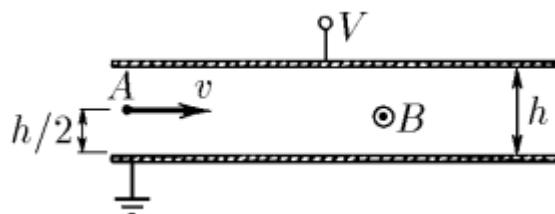


10.2.6. რას უდრის ელექტრული და მაგნიტური ველის მართობულად მოძრავი დამუხტული ნაწილაკის დრეიფის სიჩქარე, თუ E -სა და B -ს შორის კუთხეა α ?

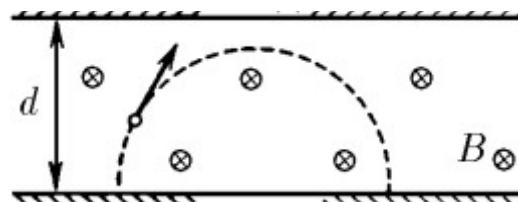
10.2.7. დაამტკიცეთ, რომ დამუხტული ნაწილაკი ჭვარედინა მაგნიტურ და ელექტრულ ველებში ბრუნავს $\omega = qB/m$ სიხშირით დრეიფის სიჩქარით მოძრავი ცენტრის გარშემო (ამის გამო ნაწილაკის სიჩქარე ნებისმიერ დროის მომენტში უდრის მყისი ცენტრის გარშემო წრთვივი სიჩქარისა და დრეიფული ვექტორულ ჰამს).



10.2.8. ბრტყელი კონდენსატორი მოთავსებულია B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, ფირფიტების მართობულად. A ნერტილიდან გამოდიან ელექტრონები მაგნიტური ველის მიმართულების მართობულად. ფირფიტებზე მოდებულია V ძაბვა. რა პირობისთვის გავლენ ელექტრონები კონდენსატორში?

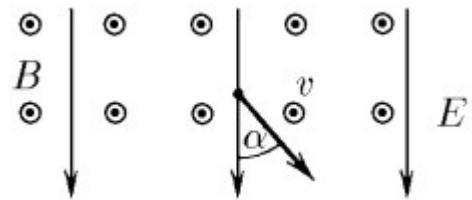


10.2.9. ბრტყელ ანოდსა და კათოდზე, რომელთა შორის მანძილია d , მოდებულია დიდი ძაბვა. სისტემა მოთავსებულია ელექტროდების სიბრტყის პარალელურ B ინდუქციის მაგნიტურ ველში. განსაზღვრეთ, რა ძაბვისთვის მიაღწევენ ელექტრონები ანოდს. იპოვეთ ეს ძაბვა, თუ $B = 0,1$ ტლ, $d = 2$ სმ.



10.2.10. ელექტრონი მოძრაობს v სიჩქარით B ინდუქციის მაგნიტური ველის ძალწირების მართობულად. რთავენ E დაძაბულობის ელექტრულ ველს,

რომელიც მაგნიტური ველის მართობულია და მიმართულია ელექტრონის სიჩქარისადმი α კუთხით. განსაზღვრეთ ელექტრონის მოძღვნო მოძრაობა.



10.2.11. იპოვეთ q მუხტის მქონე ნაწილაკის დრეიფის სიჩქარე, ერთმანეთის მართობულ, B ინდუქციის მაგნიტურ და მუდმივი F ძალის, ველებში.

10.2.12. იპოვეთ ელექტრონისა და პროტონის დრეიფის სიჩქარეები დედამინის მაგნიტურ და სიმძიმის ველში, რომლის ინდუქციაა $0,7 \cdot 10^{-4}$ ტლ. მაგნიტური ველი სიმძიმის ველის მართობულია.

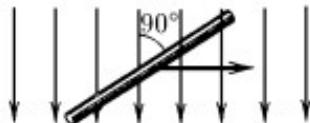
თავი 11

ელექტრომაგნიტური ინდუქცია

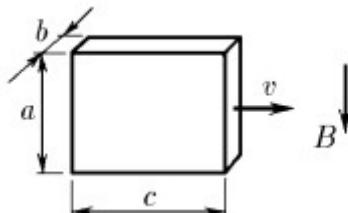
§11.1 გამტარების მოძრაობა მუდმივ მაგნიტურ ველში. ელექტროძრავები

11.1.1. თვითმფრინავის რომელ ნაწილებს შორის წარმოიქმნება მაქსიმალური ელექტრული ძაბვა მაგნიტურ ველში მოძრაობის გამო.

◊**11.1.2.** 0,1 ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველის ძალწირების მართობულად 1 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობს 0,3 მ სიგრძის სწორი გამტარი. რას უდრის ძაბვა გამტარის ბოლოებს შორის?



◊**11.1.3.** მეტალის ძელაკი, რომლის ზომებია $a b c$ ($b \ll a, c$) , მოძრაობს v სიჩქარით B ინდუქციის მაგნიტურ ველში, ისე როგორც ნაჩვენებია ნახაზზე. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა მის გვერდითა მხარეებს შორის და მათგე მყოფი ზედაპირული მუხტის სიმკვრივე.

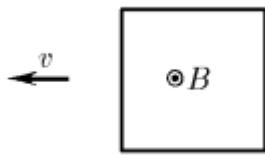


11.1.4*. ჩავთვალოთ, რომ ატომი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც თანაბრად განაწილებული უარყოფით მუხტიანი r რადიუსის ბურთი, რომლის ცენტრშიც არის წერტილოვანი ბირთვი დადებითი მუხტით Ze . იპოვეთ რა სიჩქარით შეუძლია, დაშლის გარეშე, მოძრაობა ასეთი ატომს B ინდუქციის მაგნიტური ველის ძალწირების მართობულად.

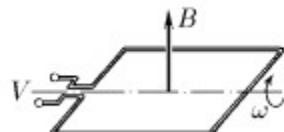
11.1.5*. წყალბადის H უარყოფითი იონები ელექტრულ ველში აჩქარების შემდეგ მოძრაობენ 40 ტლ ინდუქციის განივ მაგნიტურ ველში ძალწირების მართობულად. შეაფასეთ, ამაჩქარებლის პოტენციალთა სხვაობის რა მნიშვნელობისთვის ჭრ კიდევ არ იშლებიან იონები მაგნიტური ველის გავლენის გამო. გარე ელექტრონის ბმის ენერგია უარყოფითად დამუხტულ ატომში არის $0,72$

$$-19 \\ \approx 10^{-19}$$

◊**11.1.6.** B მაგნიტური ინდუქცია კვადრატული გამტარი ჩარჩოს სიბრტყის მართობულია. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის განაწილება ჩარჩოს შემადგენელი გამტარების გასწვრივ, თუ ის მოძრაობს v სიჩქარით მაგნიტური ველის ძალწირების მართობულად.



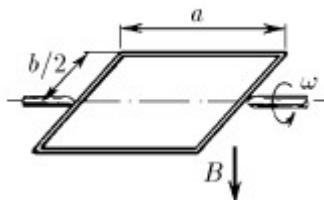
◇11.1.7. მუდმივი მაგნიტური ველის ინდუქცია იზომება ω კუთხური სიჩქარით მძრუნავი კვადრატული ჩარჩოს დახმარებით, რომლის ზომებია a, a , მისი ძრუნვის ღერძი მაგნიტური ველის მიმართულების მართობულია. ჩარჩოზე მოდებული ძაბვის ამპლიტუდა არის V . იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია .



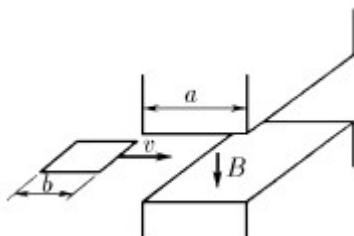
◇11.1.8. მართკუთხა ჩარჩო, რომლის ზომებია a, b , მოთავსებულია B ინდუქციის მაგნიტურ ველში, საწყის მომენტში ჩარჩოს სიბრტყე ძალწირების მართობულია. ჩარჩო ძრუნავს ω კუთხური სიჩქარით.

ა. ააგეთ ჩარჩოში გამავალი დენის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. ჩარჩოს წინაღობაა R .

ბ. როგორ არის დამოკიდებული დროზე ძალის მომენტი, რომელიც საჭიროა ჩარჩოს მუდმივი სიჩქარით საბრუნებლად?



◇11.1.9. ჩაკეტილი კვადრატული გამტარის ხვია, რომლის გვერდის სიგრძეა b , ხოლო ერთეული სიგრძის წინაღობა ρ , გადის მუდმივი v სიჩქარით ელექტრომაგნიტის ჭრილში, რომელშიც არის B ინდუქციის ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი. ჩათვალეთ, რომ ჭრილის გარეთ მაგნიტური ველი ნულის ტოლია და განსაზღვრეთ სითბოში გადასული ენერგია, იმ შემთხვევებისთვის, როცა ჭრილის სიგრძე მოძრაობის მიმართულებით ნაკლებია $b - \theta$ და მეტია $b + \theta$, ხოლო

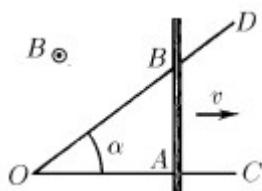


მიმართულების მართობულად მეტია $b - \theta$.

◇11.1.10*. მეტალის ჭოხი AB , რომლის ერთეულოვანი სიგრძის წინაღობაა ρ , მოძრაობს მუდმივი v სიჩქარით AB -ს მართობულად და ეხება ორ OC და OD იდეალურ გამტარებს, რომლებიც ერთმანეთთან ადგენენ α კუთხეს. OC -ს სიგრძეა l , და $AB \perp OC$. მთლიანი სისტემა

მოთავსებულია სისტემის სიბრტყის მართობულ B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. იპოვეთ ჭოხის O -დან C წერტილამდე მისვლის დროის განმავლობაში წრედში გამოყოფილი მთლიანი სითბო.

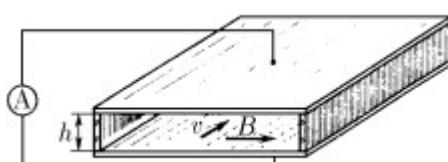
11.1.11. ერთ-ერთ ფანტასტიკურ რომანში შემოთავაზებულია ელექტროსადგურის პროექტი, რომელიც იყენებს ზღვის დინებებისა და დედამიწის მაგნიტური ველის ენერგიებს. ოკეანეში ჩაძირულია $L = 100$ მ სიგრძით ვერტიკალურად დაშორებული მეტალის $S = 1 \text{ კმ}^2$ ფართობის მქონე ორი ფირფიტა. $\rho = 0,25$ ომი·მ კუთრი წინაღობის ზღვის წყალი მოძრაობს აღმოსავლეთიდან დასავლეთისკენ $v = 1 \text{ მ/წმ}$ სიჩქარით. ამ ადგილას დედამიწის $B = 10^{-4}$ ტლ ინდუქციის მქონე მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია და



მიმართულია ჩრდილოეთიდან სამხრეთისკენ. ამის შედეგად ფირფიტებს შორის წარმოიქმნება ძაბვა, ხოლო თუ მათ შევაერთებთ გამტარებით გარე დატვირთვასთან, მაშინ მასში გამოიყოფა სიმძლავრე. განსაზღვრეთ ამ გზით მიღებული მაქსიმალური სიმძლავრე.

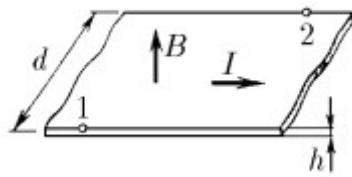
11.1.12 *. მაგნიტოპიდროდინამიკურ გენერატორში ერთმანეთისადმი $h = 10$ სმ-ით დაშორებულ ბრტყელ პარალელურ ელექტროდებს შორის მოძრაობს გავარვარებული გაზი, რომლის გამტარობაც სიმკვრივის პროპორციულია.

თითოეული ელექტროდის ფართობია $S = 1 \text{ მ}^2$. გენერატორის $B = 1$ ტლ ინდუქციის მქონე მაგნიტური ველი ფირფიტების პარალელურია და გაზის ნაკადის მართობული. გენერატორში შესვლისას გაზის სიჩქარეა $v = 2000 \text{ მ/წმ}$ და



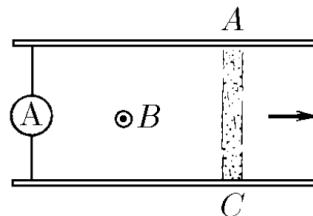
გამტარობა $\lambda = 50 \text{ სმ/მ}$. განსაზღვრეთ გენერატორის მაქსიმალური დენი და ძაბვა.

11.1.13. d სისქის გამტარ ლენტაში მიედინება I დენი. ლენტა მოთავსებულია B ინდუქციის მაგნიტურ ველში. ველის მიმართულება მისი სიბრტყის მართობულია. იპოვეთ ლენტის 1 და 2 წერტილებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, თუ მისი სისქეა h , ხოლო დენის გადამტანი მუხტების მოცულობითი სიმკვრივეა ρ .

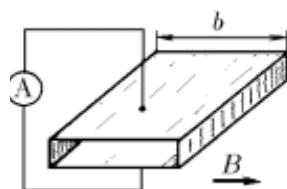


◇11.1.14. а. პლაზმის ამაჩქარებელი შედგება ორი მასიური პარალელური გამტარისგან (ლიანდაგები), რომლებიც მოთავსებულები არიან B ინდუქციის მაგნიტური ველის მართობულ სიბრტყეში. A და C წერტილებს შორის წყალბადში ატარებენ ელექტრულ განმუხტვას. განმუხტვისას I დენი მუდმივია. მაგნიტური ველის ზემოქმედების შედეგად განმუხტვის საზღვარი (პლაზმური შენადედი) გადაადგილდება, ჩქარდება ლიანდაგების ბოლოს და გლევს მათ. რას უდრის პლაზმური შენადედის სიჩქარე, თუ მისი მასაა m ? ლიანდაგებს შორის მანძილია L . იმ მონაკვეთის სიგრძე, რომელზეც პლაზმა ჩქარდება არის L .

ბ. ამოხსენით ამოცანა შემდეგი შემთხვევებისთვის $B = 1 \text{ Тл}$, $I = 0,1 \text{ А}$, $L = 1 \text{ м}$, $I = 10 \text{ А}$; პლაზმურ შენადედში ეტევა $10^{13} \text{ წყალბადის იონი}$.

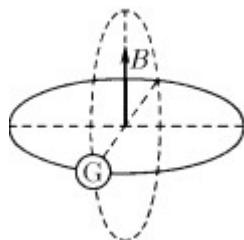


◇11.1.15. ab განივავეთის მართკუთხა მილში არის ρ სიმკვრივის გაზი. მილის ვერტიკალური კედლები იზოლატორებია, ხოლო ჰორიზონტალურები ელექტროდები. მილის ერთ-ერთ ბოლოში ატარებენ განმუხტვას, რომლის შემდეგაც I დენი რჩება მუდმივი. გაჩენილი განმუხტვის წვის უბანი მაგნიტურ ველს შეპყავს მილში, რაც „ხვეჭს“ მის წინ გაბს. განსაზღვრეთ პლაზმური „საცობის“ დამყარებული სიჩქარე, ჩათვალეთ, რომ ის ყოველთვის მეტია გაზში ბგერის სიჩქარეზე. B ინდუქციის მაგნიტური ველი მილის ვერტიკალური კედლების მართობულია.



11.1.16. თხელი გამტარი რგოლი მოთავსებულია თავისი სიბრტყის მართობულ B მაგნიტურ ველში, რგოლის რადიუსი r იზრდება მუდმივი v სიჩქარით. განსაზღვრეთ რგოლში დენის დამკიდებულება დროზე, თუ საწყის მომენტში რგოლის წინაღობაა R , ხოლო რადიუსი r . გაჭიმვისას რგოლის ნივთიერების სიმკვრივე და გამტარობა არ იცვლება.

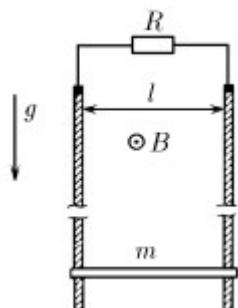
◇11.1.17. S ფართობის ხვია მოთავსებულია B ინდუქციის მაგნიტური ველის მართობულად. ის ჩაკეტილია R წინაღობის გალვანომეტრით. რა მუხტი გაივლის ამ გალვანომეტრში თუ ხვია გახდება ძალწირების პარალელური?



◇11.1.18 *. მაგნიტური ველის დეტექტორის კოქა დამზადებულია $0,2$ მმ დიამეტრის სპილენძის გამტარისგან. კოქას რადიუსია 1 სმ. კუთრი წინაღობაა $1,7 \cdot 10^{-8}$ ომი·მ. დეტექტორი ზომავს მაგნიტური ველის ინდუქციას, გალვანომეტრზე შეერთებულ კოქაში გამავალი მუხტის მიხედვით, როცა ის შეაქვთ მაგნიტურ ველში ისე, რომ კოქას ღერძი ემთხვევა ველის მიმართულებას. განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია, თუ გალვანომეტრში, კოქას ველში შეტანისას, გაიარა 10^{-4} ჰ მუხტმა.



◇11.1.19. B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტური ველის მართობულ

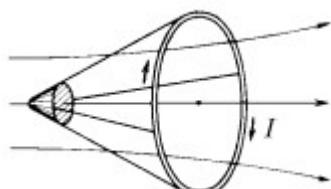


სიბრტყეში მოთავსებულია l მანძილით დაშორებული ორი ვერტიკალური რელსი, რომლებზეც შეუძლია m მასის გამტარს სრიალი. განსაზღვრეთ ამ გამტარის დამყარებული სიჩქარე, თუ რელსების ზედა ნაწილები შეერთებულია R წინაღობით. რა სახის ენერგიაში გადადის სიმძიმის ძალის მუშაობა?

11.1.20*. განსაზღვრეთ 11.1.19 ამოცანაში გამტარის სიჩქარის დამოკიდებულება დროზე ნულოვანი საწყისი სიჩქარის დროს, იმ შემთხვევაში, როცა რელსების ზედა ბოლოები შეერთებულია: ა) R წინაღობით; ბ) C ტევადობით.

11.1.21. ღერძულადსიმეტრიულ მაგნიტურ ველში სხეული შესაძლოა აჩქარდეს. ხვიაში, რომელიც მიბმულია სხეულთან და ორიენტირებულია ველის სიმეტრიის ღერძის მართობულად, ნარჩენდება მუდმივი დენი I . დაამტკიცეთ, რომ სხეულის კინეტიკური ენერგიის ნაზრდი ხვიასთან ერთად, პროპორციულია ხვიაში მაგნიტური ნაკადის ნაზრდის და იპოვეთ პროპორციულობის კოეფიციენტი.

11.1.22*. მაგნიტურ ველში დიდი სიმაღლიდან ვარდება a რადიუსის R



წინაღობისა და m მასის რგოლი. რგოლის სიბრტყე ყოველთვის

ჰორიზონტალურია. იპოვეთ ვარდნისას რგოლის დამყარებული სიჩქარე, თუ მაგნიტური ველის ვერტიკალური მდგრენელი იცვლება კანონით $B=B(1+\alpha h)$

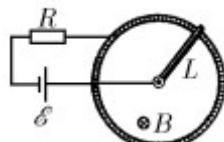
◇11.1.23*. გრავიტაციულ ველში ვერტიკალურად მოთავსებულია მეტალის რგოლი. L სიგრძისა და m მასის ჭოხი სახსრულად დამაგრებულია რგოლის ცენტრში და ეხება რგოლს მეორე ბოლოთი. ერთგვაროვანი B ინდუქციის მქონე მაგნიტური ველი რგოლის სიბრტყის მართობულია. რა კანონით უნდა ვცვალოთ დენი წრედში, რომ ჭოხი ბრუნავდეს თანაბრად ω კუთხური სიჩქარით, თუ საწყის მომენტში ჭოხი იყო ზედა მდებარეობაში? ხახუნი უგულებელყავით.



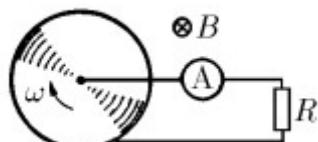
◇11.1.24. ნახატზე გამოსახულია მუდმივი დენის ძრავის მოდელი. წყაროს ემდ არის E , მაგნიტური ველის ინდუქციაა B , წრედის წინაღობაა R , ჭოხის სიგრძეა L .

ა. განსაზღვრეთ ჭოხის დამყარებული კუთხური სიჩქარე და დენი წრედში, თუ ხახუნის ძალა მოძრავ კონტაქტში არის F .

ბ. იპოვეთ ჭოხის კუთხური სიჩქარის დამოკიდებულება დროზე, თუ მისი საწყისი სიჩქარე უდრის ნულს, ხოლო ხახუნი შეგვიძლია უგულებელვყოთ.

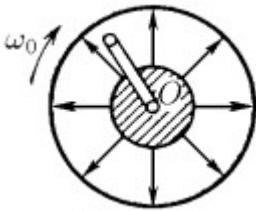


◇11.1.25*. გამტარი დისკი ბრუნავს ω კუთხური სიჩქარით B ინდუქციის მაგნიტურ ველში, დისკის სიბრტყის მართობულად. რას აჩვენებს R წინაღობასთან ჩართული ამპერმეტრი? იპოვეთ დენი თუ $R = 1 \Omega$, დისკის რადიუსია $r =$



0.05 rad , $\omega = 2\pi \cdot 50 \text{ rad/s}$, $B = 1 \text{ T}$.

◇11.1.26*. ი ღერძბე სახსრულად დამაგრებულია კვადრატული გამტარი ჩარჩო, რომლის ზომებია a . ამ ღერძის გარშემო ω კუთხური სიჩქარით ბრუნავს მაგნიტი, რომელიც ქმნის რადიალურ მაგნიტურ ველს. განსაზღვრეთ ჩარჩოს კუთხური სიჩქარე, თუ მისი ერთეულოვანი სიგრძის წინაღობაა ρ , ხახუნის ძალის მომენტია M , ხოლო ჩარჩოს თავისუფალ კიდესთან მაგნიტური ველის ინდუქციაა B .



11.1.27. ელექტროძრავა შეიძლება დაიწვას, თუ გავაჩერებთ მის როტორს(ტურბინის თვალი), ახსენით რატომ ხდება ასე?

11.1.28. მუდმივი დენის ელექტროძრავის როტორის სიხშირე, რომელიც ჩართულია წრედში 24 ვ ემ ძალის წყაროსთან, წრედის მთლიანი 20 ომი წინაღობისას არის 600 Nt^{-1} , ამ დროს წრედში $0,2 \text{ A}$ დენი გადის. როგორ ემდს განავითარებს იგივე ძრავა, რომელიც მუშაობს დინამო-მანქანასავით სიხშირით 1200 Nt^{-1} ?

11.1.29. რა სიხშირეს განავითარებს მუდმივი დენის ელექტროძრავა მუდმივი მაგნიტით, რომელიც ჩართულია წრედში E ემ ძალის წყაროსთან, წრედის R სრული წინაღობის შემთხვევაში, თუ დინამო-მანქანის მსგავსად მუშაობისას, ის განავითარებს E ემ ძალას f სიხშირის დროს? ხახუნის ძალის მომენტი ძრავის ღერძებე არის M .

11.1.30. რა ემ ძალას განავითარებს მუდმივი დენის დინამო-მანქანა, თუ წრედის 300 ომი წინლობისას როტორის ბრუნვაზე იხარჯება 50 V სიმძლავრე, ხოლო ხახუნზე დანაკარგი სიმძლავრის მიხედვით შეადგენს $4\%-ს$? რა სიმძლავრე უნდა დავხარჯოთ, რომ შევინარჩუნოთ იგივე სიხშირე, წრედის 60 ომი წინაღობის შემთხვევაში?

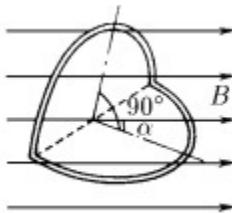
11.1.31*. ორი ერთნაირი მუდმივი დენის ელექტროძრავას ღუბა თანაღერძულია და მტკიცედ არის შეერთებული ერთმანეთთან. ღუბას ხვიებთან ჩართულია დენის ერთნაირი წყაროები E ემ ძალით. ამასთან ღუბების კუთხური სიჩქარე დატვირთვის გარეშე არის ω . თუ ძრავას გავაჩერებთ, მაშინ დენი ღუბებში იქნება I . ერთ-ერთი წყარო ჩართეს ისე, რომ ძრავების ბრუნვის მომენტები გახდა ერთმანეთის საწინააღმდეგო. რა მომენტი უნდა მოვდოთ შემაერთებელ ღუბებს იმისათვის, რომ ისინი ბრუნვდნენ მოცემული ω კუთხური სიჩქარით? ძრავებში ხახუნი უგულებელყავით, სტატორის მაგნიტური ველი მუდმივი მაგნიტებითაა შექმნილი.

11.1.32*. ტრამვაის ხაზის გამტარის ერთი ბოლოზე მოდებულია მუდმივი V ძაბვა დედამიწის მიმართ. რა მანძილზე იმყოფება ამ ხაზის ბოლოდან ტრამვაი, რომელიც აღჭურვილია ორი ერთნაირი ძრავით, და რა სიჩქარით მოძრაობს ის, თუ მისი ძრავების მიმდევრობით შეერთებისას ხაზში დენი არის I , პარალელურისას - I , ხოლო ტრამვაის სიჩქარე ასეთი გადართვისას არ იცვლება? ხახუნის ძალაა F , გამტარის ერთეული სიგრძის წინაღობაა ρ , თითოეული ძრავის ხვიის წინაღობაა R .

11.3. საერთო ინდუქციურობა. გამტარების ინდუქცია. ტრანსფორმატორები

11.3.1. გრძელ, I დენიან სოლენოიდში მოთავსებულია S განივავეთის ფართობის ბრტყელი ჩაკეტილი კონტური, რომლის სიბრტყეც განლაგებულია სოლენოიდის ღერძისადმი α კუთხით. სოლენოიდის ერთეულოვან სიგრძეზე ხვიების რაოდენობაა n . განსაზღვრეთ მაგნიტური ნაკადი ამ კონტურში და სოლენოიდისა და კონტურის საერთო ინდუქციურობა.

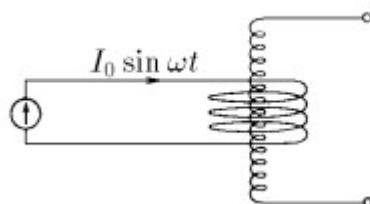
◊**11.3.2.** r რადიუსის ხვია მოღუნეს დიამეტრზე მართი კუთხით და მოათავსეს გრძელ სოლენოიდში ისე, რომ ერთ-ერთი სიბრტყე აღმოჩნდა სოლენოიდის ღერძისადმი α კუთხით დახრილი, ხოლო მეორე $\pi/2 - \alpha$ კუთხით. ხვიების რაოდენობა სოლენოიდის ერთეულ სიგრძეზე არის n . რას



უდრის მოღუნული ხვიისა და სოლენოიდის საერთო ინდუქციურობა?

11.3.3. გრძელ სოლენოიდში, მასთან ღერძებულად, მოთავსებულია r რადიუსის სოლენოიდი. შიდა სოლენოიდის ხვიების რიცხვია N . გარე სოლენოიდის ხვიების რიცხვი ერთეულ სიგრძეზე არის n . რას უდრის ამ სოლენოიდების საერთო ინდუქციურობა.

◊**11.3.4***. მოკლე R რადიუსის სოლენოიდი მოთავსებულია გრძელი r რადიუსის სოლენოიდის გარშემო, მათი ღერძები ერთმანეთს ემთხვევა. გრძელი სოლენოიდის ხვიების რიცხვი ერთეულ სიგრძეზე არის n , ხოლო მოკლე სოლენოიდის ხვიების რიცხვია N . მოკლე სოლენოიდში გადის $I = I_0 \sin \omega t$ დენი. განსაზღვრეთ ძაბვა გრძელი სოლენოიდის ბოლოებზე.



11.3.5. ა. რას უდრის r რადიუსისა და $I >> r$ სიგრძის სოლენოიდის ინდუქციურობა? სოლენოიდის ერთეულ სიგრძეზე ხვიების რიცხვია n .

ბ*. მიიღეთ ფორმულა სოლენოიდის ინდუქციურობისთვის, გაითვალისწინეთ ელექტრონის m მასის გავლენა ინდუქციურობაზე. სოლენოიდის განივავეთის ფართობია S , გამტარობის ელექტრონების რაოდენობა ერთეულ მოცულობაში არის n . შეიძლება თუ არა ამ ეფექტის უგულებელყოფა კოჭის ინდუქციურობაზე, რომელსაც იყენებენ რადიოტექნიკაში?

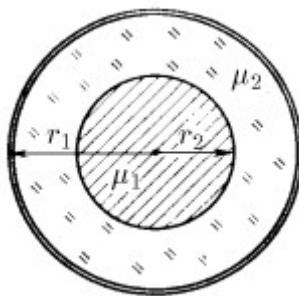
11.3.6*. გრძელი სოლენოიდის გრაგნილის შიდა რადიუსი $r = 0,05$ მ, გარე რადიუსი კი $r = 0,1$ მ, ერთეულოვან სიგრძეზე ხვიების რიცხვი $n = 10\,000$. განსაზღვრეთ სოლენოიდის ერთეულოვანი სიგრძის ინდუქციურობა.

11.3.7. თხელკედლიანი სოლენოიდის მოცულობა $V = 10$ ლ, ინდუქციურობა $L = 0,01$ ჰენრი. სოლენოიდზე მოდეს $V = 10$ ვ ძაბვა. ძაბვის მინოდებიდან რა დროში გახდება მაგნიტური ველის ინდუქცია სოლენოიდში $B = 0,1$ ტესლას ტოლი?

11.3.8. განსაზღვრეთ ორმხრივგამტარი ხაზის ერთეულოვანი სიგრძის ინდუქციურობა, რომელიც შედგება ორი თხელი $d = 0,1$ მ სიგანის ბრტყელი სალტესაგან, რომლებიც ერთმანეთისგან დაშორებულები არიან $h = 5$ მმ-ით. სალტეებში მიედინება მოდულით ტოლი და მიმართულებით საწინააღმდეგო დენები.

11.3.9*. ორმხრივგამტარი ხაზი შედგება ორი კოაქსიალური r და r ($r < r$) რადიუსების თხელი ცილინდრული გარსებისგან. მათ შორის სივრცე ამოვსებულია μ მაგნიტური შეღწევადობის ნივთიერებით. იპოვეთ ხაზის ერთეული სიგრძის ინდუქციურობა. გარსებში მიედინება მოდულით ტოლი და მიმართულებით საწინააღმდეგო დენები.

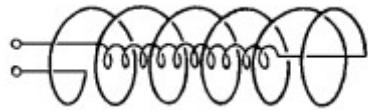
◊**11.3.10***. თხელი, გამტარი, r რადიუსის ცილინდრული გარსის ღერძზე მოთავსებულია r რადიუსის გამტარი, რომლის მაგნიტური შეღწევადობაა μ . მათ შორის სივრცე ამოვსებულია μ მაგნიტური შეღწევადობის ნივთიერებით. იპოვეთ ხაზის ერთეული სიგრძის ინდუქციურობა. დენი გამტარის განივჯეთში თანაბრადა განაწილებული და მოდულით უდრის ცილინდრული გარსის დენს, ხოლო მიშართულებით მისი საწინააღმდეგოა.



11.3.11*. იპოვეთ ორმხრივგამტარი ხაზის ინდუქციურობა ერთეულ სიგრძეზე. ხაზი შედგება ორი პარალელური r რადიუსის სწორი გამტარისგან, რომლის ღერძელ წრფეებს შორის მანძილი $h \gg r$. გამტარებში მიედინება მოდულით ტოლი მაგრამ სიდიდით საწინააღმდეგო დენები. გამტარის შიგნით მაგნიტური ველი არ არის.

11.3.12. გამტარის ყველა ზომა გაზარდეს k -ჯერ. რამდენჯერ შეიცვლება გამტარის ინდუქციურობა?

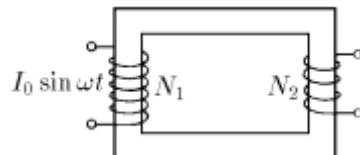
◊**11.3.13.** რას უდრის ორი გრძელი r და r რადიუსის სოლენოიდის ინდუქციურობა, რომლებიც შეერთებულები არიან ისე, როგორც ნახატზე ნაჩვენები? შიდა სოლენოიდის სიგრძეა l , ხოლო გარეთასი l . შიდა სოლენოიდის ხვიების რიცხვი ერთეულ სიგრძეზე არის n , ხოლო გარეთასი - n . განიხილეთ შემთხვევები, როცა დენების მიმართულება ორივე სოლენოიდის ხვიაში ერთნაირია და საწინააღმდეგოა.



11.3.14. წრედი შედგება მიმდევრობით შეერთებულ ორი, L და L ინდუქციურობის, კოქისაგან. კოქების საერთო ინდუქციურობაა L . იპოვეთ წრედის სრული ინდუქციურობა.

11.3.15*. ერთ-ერთ გულარჩე დახვეულია ორი კოქა, თითოეულის ინდუქციურობა მეორისგან დამოუკიდებლად არის L და L . რას უდრის მათი საერთო ინდუქციურობა? მაგნიტური ველის გაბნევა უგულებელყავით.

11.3.16*. ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში გადის $I = I \sin \omega t$ დენი. ამ დენით შექმნილი მაგნიტური ნაკადი პრაქტიკულად მთლიანად გადის ტრანსფორმატორის რკინის გულარში. გულარის მაგნიტური შეღწევადობაა μ . განსაზღვრეთ ინდუქციის ემდ ღია, მეორად გრაგნილში, თუ პირველად გრაგნილში ხვიების რაოდენობაა N , ხოლო მეორეში N . რას უდრის ძაბვის ვარდნა პირველად გრაგნილზე? გულარის განივცეთის ფართობია S , ხოლო ეფექტური სიგრძე - l .



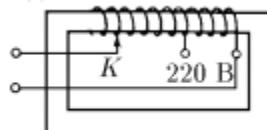
11.3.17. ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში დენს ზრდიან თანაბრად. რა კანონით იცვლება ძაბვა ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილში?

11.3.18. აჩვენეთ, რომ იდეალურ ტრანსფორმატორში, დამოკლებული მეორადი გრაგნილით, ადგილი აქვს ტოლობას $\frac{I}{I} = \frac{N}{N}$, სადაც I და I - დენებია, ხოლო N და N - ხვიების რაოდენობა გრაგნილებში.

11.3.19*. ა. რატომ არის საშიში მეორადი გრაგნილის თუნდაც ერთი ხვიის დამოკლება?

ბ. ზოგჯერ, მეორადი გრაგნილის ხვიის დამოკლება წინ უძღვის ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის მწყობრიდან გამოყვანას. რატომ ხდება ასე?

11.3.20. ახსენით ნახატზე გამოსახული ლაბორატორიული ტრანსფორმატორის დამარეგულირებლის დანადგარი. როგორ იცვლება ძაბვა ტრანსფორმატორის გამოსასვლელზე K კონტაქტის მარცხნივ გადაადგილებისას?

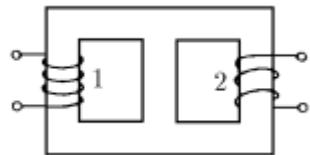


11.3.21. რატომ ზუგუნებს დატვირთული ტრანსფორმატორი? რომელია ბგერის ძირითადი სიხშირე, თუ ტრანსფორმატორი ჩართულია სამრეწველო ხაზში?

11.3.22. რატომ შედგება ტრანსფორმატორის გულარი ცალკეული ფირფიტებისგან?

11.3.23. ელექტრული ზარის მარაგისთვის იყენებენ დამადაბლებელ ტრანსფორმატორებს. რატომ არის ზარის ღილაკი ჩვეულებისამებრ ჩართული მეორად წრედში, ხოლო პირველადი რჩება მუდმივად ხაზში ჩართული?

◇11.3.24. რკინის გულარჩე დახვეულია ორი კოქა. თითოეული კოქის მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადი არ გამოდის გულარიდან და ტოლად იყოფა მის განშტოებებში. კოქა 1-ის 40 ვ ძაბვიან ცვლადი დენის წრედში ჩართვისას, კოქა 2-ზე ძაბვა უდრის 10 ვ-ს. რა ძაბვა იქნება კოქა 1-ის ღია მომჯერებზე, თუ კოქა 2-ს ჩავრთავთ 10 ვოლტიან ცვლადი დენის წრედში?



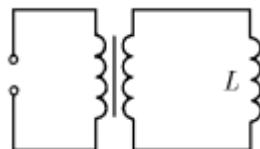
11.3.25*. მოცემულია ორი ერთნაირი იდეალური ტრანსფორმატორი ტრანსფორმაციის ერთნაირი კოეფიციენტებით $1 : 3$. ერთ-ერთი მათგანის პირველადი გრაგნილი მიმდევრობით შეერთებულია მეორეს მეორად გრაგნილთან, და ამ გრაგნილების თავისუფალი ბოლოები ჩართულია ცვლადი დენის 100 ვ ძაბვიან ხაზში. პირველი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილი მიმდვრობით შეერთებულია მეორეს მეორად გრაგნილთან. განსაზღვრეთ ცვლადი ძაბვის ამპლიტუდა გრაგნილების სხვა ბოლოებს შორის.

§ 11.4. ცვლადი დენის ელექტრული წრედები

11.4.1. შიგა წინაღობის არმქონე ბატარეა ჩართულია L ინდუქციურობის სოლენოიდთან. განსაზღვრეთ წრედში დენის დროზე დამოკიდებულება, თუ წყაროს ემდ არის E . იპოვეთ ბატარეას t დროში შესრულებული მუშაობა. ენერგიის რა სახეში გადადის ეს მუშაობა?

11.4.2. როგორ უნდა იცვლებოდეს ძაბვა ელექტრულ წრედში, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებულ L ინდუქციურობის კოქისა და R წინაღობისაგან, იმისათვის რომ დენი მასში : ა) წრფივად იზრდებოზდეს: $I = at$? ბ) იცვლებოდეს სინუსოიდურად: $I = I_0 \sin \omega t$?

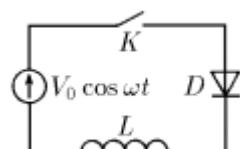
◊**11.4.3***. ნივთიერების ზეგამტარ მდგომარეობაში გადასვლისას გამტარობის ელექტრონების მხოლოდ მცირე რაოდენობა მოძრაობს ისე, რომ წინააღმდეგობას არ განიცდის. L ინდუქციურობის ზეგამტარ კოქაში უშვებენ დენს, t დროის განმავლობაში სოლენოიდზე მუდმივი ძაბვის მოდებით. სოლენოიდში მაქსიმალური დენია I . განსაზღვრეთ სითბოს ზედა ზღვარი, რომელიც გამოიყოფა სოლენოიდში დენის გატარებისას. ზეგამტარ მდგომარეობაში გადასვლამდე



სოლენოიდის წინაღობა იყო R .

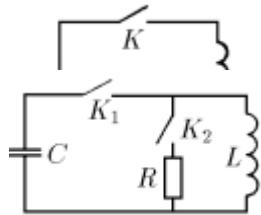
11.4.4*. გენერატორს, $E = E_0 \sin \omega t$ ემ ძალით, $t = 0$ მომენტში რთავენ L ინდუქციურობის კოქასთან. განსაზღვრეთ წრედში დენის დროზე დამოკიდებულება. წრედის აქტიური წინაღობა შეგიძლიათ უგულებელყოთ. ახსენით მიღებული შედეგი.

◊**11.4.5.** ნახატზე ნაჩვენებ სქემაში, D დიოდსა და L ინდუქციურობის კოქას K ჩამრთველის დახმარებით რთავენ $V = V_0 \sin \omega t$ ცვლადი ძაბვის წყაროში. $t = 0$ მომენტში K -ს რთავენ. განსაზღვრეთ კოქაში დენის ძალის დროზე დამოკიდებულება. ააგეთ ამ ფუნქციის გრაფიკი. დიოდი და კოქა ჩათვალეთ



იდეალურად. წყაროს შიგა წინაღობა უგულებელყოთ.

11.4.6. წრედში, რომელიც შედგება C ტევადობის დამუხტული კონდენსატორისგან და L ინდუქციურობის კოქისაგან, რთავენ K ჩამრთველს. როგორი წესით უნდა იცვლებოდეს დროის მიხედვით კონდენსატორის ტევადობა, რომ დენი წრედში იზრდებოდეს დროის პირდაპირპორციულად?



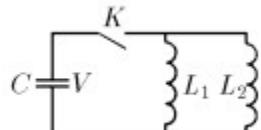
◇11.4.7. სურათზე გამოსახულ წრედში C ტევადობის კონდენსატორი და მუხტულია V ძაბვამდე. თავიდან რთავენ K ჩამრთველს. მომენტში, როცა დენი L ინდუქციურობის კოქაში მიაღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რთავენ K ჩამრთველს და თიმავენ K ჩამრთველს. რა იქნება ყველაზე დიდი ძაბვის მნიშვნელობა R წინაღობაზე?

11.4.8. ა. რა მომენტში ყრის ნაპერნკალს ამომრთველი - ჩართვისას თუ გამორთვისას? რატომ შენყდება ნაპერნკლის ყრა, თუ ამომრთველის პარალელურად ჩავრთავთ კონდენსატორს?

ბ. რა ტევადობის კონდენსატორი უნდა ჩავურთოთ L ინდუქციურობის კოქას პარალელურად, რომ ჩამრთველის გამორთვისას მასზე ძაბვა არ გაიზარდოს N -ზე მეტჯერ, თუ წრედში ძაბვის სიხშირეა v ? განსაზღვრეთ ეს ტევადობა $v = 50$ ჰე, $L = 0,1$ ჰნ, $N = 10$ შემთხვევისთვის.

11.4.9. წყაროს E ემ ძალით და ნულოვანი შიგა წინაღობით $t = 0$ მომენტში რთავენ მიმდევრობით შეერთებულ L ინდუქციურობის კოქასა და C ტევადობის კონდენსატორთან. იპოვეთ მაქსიმალური დენი წრედში და კონდენსატორის მუხტი.

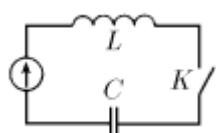
◇11.4.10. იპოვეთ მაქსიმალური დენი L_1 და L_2 ინდუქციურობების კოქებში სურათზე გამოსახულ წრედში K ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ.



კონდენსატორის ტევადობაა C , საწყისი ძაბვა მასზე არის V .

◇11.4.11*. სურათზე გამოსახულ სქემაში $t = 0$ მომენტში რთავენ K ჩამრთველს. განსაზღვრეთ დენი წრედში, თუ წყარო იძლევა: ა) მუდმივ V ძაბვას; ბ) კოსინუსოიდურ $V_0 = \cos \omega t$ ძაბვას. განსაზღვრეთ მაქსიმალური დენი, თუ $V_0 = 100$ ვ, $L = 10^{-2}$ ჰნ, $C = 10^{-3}$ ფ, $\nu = \omega / 2\pi = 50$ ჰე.

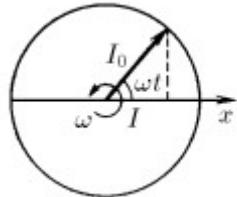
◇11.4.12. ა. ვექტორულ დიაგრამაზე $I = I_0 \cos \omega t$ დენი განისაზღვრება, როგორც x ღერძზე I_0 ვექტორის პროექცია, რომელიც ბრუნავს O



ნერტილის გარშემო ω კუთხური სიჩქარით. როგორ არის განლაგებული ამ დიაგრამაზე ძაბვის ვარდნის ვექტორები, როცა ეს დენი გადის R წინაღობაში,

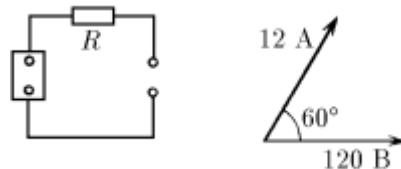
L ინდუქციურობის კოქაში და C ტევადობის კონდენსატორში? რას უდრის ძაბვის ვექტორების ამპლიტუდები?

ბ. ვექტორული დიაგრამის გამოყენებით, განსაზღვრეთ ძაბვის ვარდნა წრედში, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებულ L ინდუქციურობის



კოქისაგან, R წინაღობისაგან და C ტევადობის კონდენსატორისაგან. ასევე განსაზღვრეთ ფაზათა სხვაობა დენსა და ძაბვას შორის, თუ დენი წრედში იცვლება კოსინუსოიდურად: $I = I_0 \cos \omega t$.

◊11.4.13. ძაბვის, დენის და მათ შორის ფაზათა სხვაობის მნიშვნელობები ნაჩვენებია ვექტორულ დიაგრამაზე. განსაზღვრეთ წყაროს ემ ძალის ამპლიტუდა, თუ

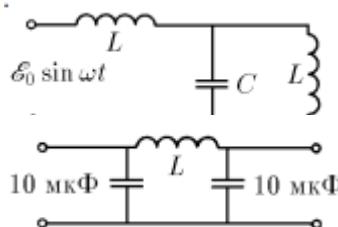


$$R = 10 \text{ Ωm}$$

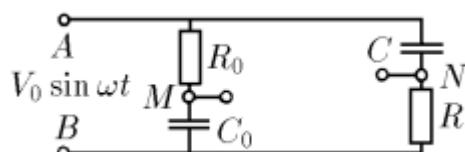
◊11.4.14. იპოვეთ დამყარებული დენი სურათზე გამოსახულ წრედში.

◊11.4.15. შეარჩით სახშირის ინდუქციურობა ისე, რომ ძაბვის ამპლიტუდა ფილტრიდან გამოსვლისას, 100 პც სიხშირისას, იყოს შესვლის ამპლიტუდაზე 10-ჯერ ნაკლები.

◊11.4.16*. მოცემულია ფაზაბრუნვადი წრედი. A და B მომჯერებს

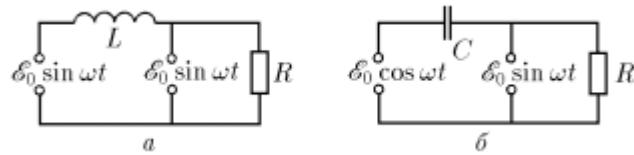


შორის ძაბვა იცვლება კანონით $V = V_0 \sin \omega t$. რას უდრის ძაბვა M და N



მომჯერებს შორის , თუ $R_0 C_0 = RC$?

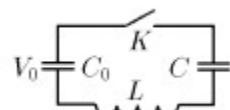
◊11.4.17. განსაზღვრეთ დამყარებული დენები სურათზე გამოსახულ წრედებში. ძაბვის წყაროების შიგა წინაღობა ნულია. განსაზღვრეთ წრედებში გამოყოფილი საშუალო სოძლავრე, თუ $E = 200 \text{ V}$, $R = 100 \text{ Ωm}$, $C = 10^{-4} \text{ F}$, $L = 1 \text{ H}$. ძაბვის წყაროს სიხშირე $v = \omega / 2\pi = 50 \text{ Hz}$.



11.4.18. ქალაქის ხაზში ელექტროქურასთან მიმდევრობით ჩართეს კოქა გარკვეული ინდუქციურობით. ამ დროს ქურას სიმძლავრე შემცირდა ორჯერ. იპოვეთ კოქას ინდუქციურობა, თუ ქურას აქტიური წინაღობაა 50 ამპ.

11.4.19. ელექტრული წრედი, რომელიც შედგება ორი კოქისაგან და ნათურისგან, ჩართულია ცვლადი ძაბვის გენერატორთან. თუ ერთ-ერთ კოქაში მოვათავსებთ რკინის გულარს, მაშინ ნათურის ნათება გაძლიერდება, თუ გულარს მოვათავსებთ მეორე კოქაში, მაშინ ნათება შემცირდება. შეადგინეთ შესაძლო ელექტრული წრედის სქემა.

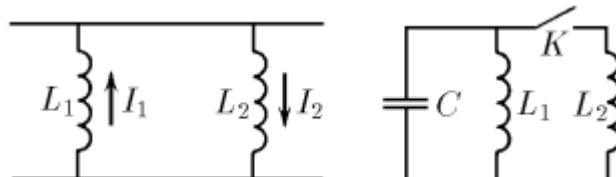
◊**11.4.20***. C ტევადობის კონდენსატორზე საწყისი ძაბვაა V , ხოლო C ტევადობის კონდენსატორი დაუმუხტავია. K ჩამრთველის ჩართვიდან რა დროის შემდეგ დაზიანდება C ტევადობის კონდენსატორი, თუ ის ზიანდება V



ძაბვაზე?

◊**11.4.21.** ა. დაამტკიცეთ, რომ ორ პარალელურად შეერთებულ, L_1 და L_2 ინდუქციურობების, კოქაში $L_1 I_1 + L_2 I_2$ ჭამი არ იცვლება. დენების მიმართულებები ნაჩვენებია სურათზე.

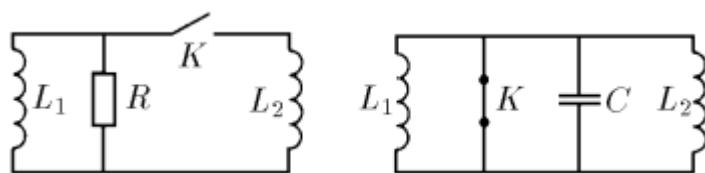
◊ბ. V_0 ძაბვამდე დამუხტული C ტევადობის კონდენსატორი განიმუხტება L_1 ინდუქციურობის კოქაზე. რა მაქსიმალური დენი შეიძლება



მივიღოთ L_2 ინდუქციურობის კოქაში, თუ K ჩამრთველს ჩავრთავთ მაშინ, როცა L_1 კოქაში გამავალი დენი მაქსიმალურია.

◊**11.4.22***. ა. მომენტი, როცა L_1 ინდუქციურობის კოქაში დენი იყო I , K ჩამრთველი ჩართეს. რა რაოდენობის სითბო გამოიყოფა R წინაღობაზე ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ?

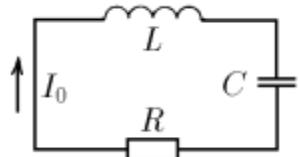
ბ. ჩაკეტილი K -ს დროს L_1 ინდუქციურობის კოქაში დენი არის I_1 , ხოლო L_2 -ში I_2 , განსაზღვრეთ რა საზღვრებში შიცვლება დენი L_1 და L_2



კოქაში K ჩამრთველის გამორთვის შემდეგ.

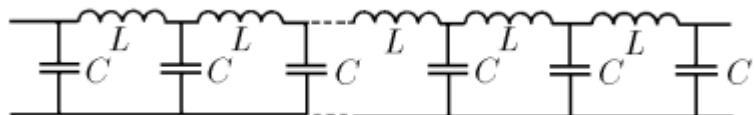
11.4.23*. გამატრებში აქტიური წინაღობის არსებობის გამო მერხევ კონტურში, რომელიც შედგება 1 მკფ ტევადობის კონდენსატორისგან და 1 მკპნ ინდუქციურობის კოქისაგან, დენის ამპლიტუდა 1 მნმ-ში განახევრდა. განსაზღვრეთ გამტარების წინაღობა.

11.4.24*. მიღევად მერხევ კონტურში, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებულ L ინდუქციურობის კოქისაგან, R წინაღობისაგან და C ტევადობის კონდენსატორისაგან, რაღაც დროში დენის ამპლიტუდა შემცირდა I_1 მნიშვნელობიდან I_2 მნიშვნელობამდე. სითბოს რა რაოდენობა გამოიყო ამ



დროში წინაღობაზე?

11.4.25*. სინუსოიდური ტალღების გავრცელებისას უსასრულო LC წრედში ძაბვის რხევის ფაზა თითოეულ კვანძში φ ფაზით ჩამორჩება წინა კვანძში რხვას. განსაზღვრეთ φ - ის დამოკიდებულება ω , L , C -ზე. რას უდრის LC წრედში სინუსოიდური ტალღის გავრცელების სიჩქარე, თუ უკრედის სიგრძეა

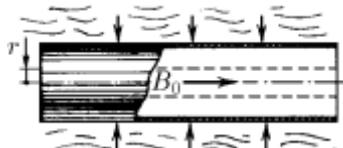


I ? რას უდრის ეს სიჩქარე პატარა ω -ებისთვის?

11.5 მაგნიტური ნაკადის შენახვა. ზეგამტარები მაგნიტურ ველში

11.5.1. რატომ ინახება სრული მაგნიტური ნაკადი დენიანი ზეგამტარი რგოლის

◊**11.5.2.** გრძელი ცილინდრული მეტალის r_1 რადიუსის გარსი, რომელიც მოთავსებულია B ინდუქციის მუდმივ მაგნიტურ ველში, გაჭიმეს დარტმით. განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია გაჭიმულ გარსში, თუ მისი რადიუსი გახდა r_2 . გარსის აქტიური წინაღობა უგულებელყავით.

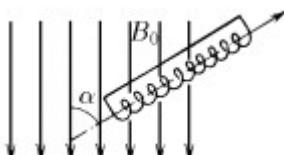


11.5.3. რამდენჯერ შეიცვლება დენი თრ დაშორებულ ზეგამტარ რგოლში, რომლებშიც დენი გადის ერთი მიმართულებით, ერთმანეთთან მიახლოებისას?

11.5.4 როცა მოკლედჩართულ ზეგამტარ გრძელ დენიან სოლენოიდში ჩადგეს ზეგამტარი ჭოხი, სოლენოიდში დენი გაიზარდა სამჯერ. განსაზღვრეთ, რამდენჯერ მეტია სოლენოიდის განივავეთი ჭოხისაზე.

11.5.5. მოკლედჩართული გრძელი სოლენოიდი I დენით, რომელიც ზეგამტარისგანაა გაკეთებული, გაჭიმეს ისე, რომ მისი სიგრძე შემცირდა სამჯერ. როგორ შეიცვალა დენი სოლენოიდში? სოლენოიდის ხვიებს შორის მანძილი მის რადიუსზე ბევრად ნაკლებია.

◊**11.5.6***. გრძელ მოკლედჩართულ ზეგამტარ სოლენოიდს ამოძრავებენ B ინდუქციის მაგნიტურ ველში ველის მიმართულებასთან α კუთხით. როგორ განაწილდება მაგნიტური ველის ინდუქცია სოლენოიდში, თუ ის მხოლოდ ნახევრად



შევა გარე ველში?

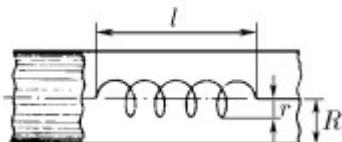
11.5.7. L ინდუქციურობის ზეგამტარი რგოლი, რომელშიც გადის I დენი, შეაქვთ B ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. იპოვეთ დენი, რომელიც გაივლის რგოლში. რგოლის სიბრტყის ნორმალი ველის მიმართულებასთან ადგენს α კუთხეს. რგოლის რადიუსია r .

11.5.8. მუდმივ ერთგვაროვან B ინდუქციის ველში თავისი დიამეტრის გარშემო, რომელიც ველის მართობულადაა ორიენტირებული, ბრუნავს ზეგამტარი რგოლი. რგოლის ინდუქციურობაა L , მისი დიამეტრია D . განსაზღვრეთ რგოლში ცვლადი დენის ამპლიტუდა.

11.5.9. გრძელ მოკლედჩართულ ზეგამტარ სოლენოიდში ღერძულად ჩადგეს უფრო გრძელი რკინის მილი, რომლის განივავეთიც ორჯერ ნაკლებია სოლენოიდის განივავეთზე. რამდენჯერ შეიცვლება მაგნიტური ველის ინდუქცია სოლენოიდში მყოფი რკინის ცილინდრის შიდა და გარე ნაწილებში, თუ სოლენოიდის მაგნიტური ველი ბევრად მეტია რკინის გაჭერების B მაგნიტურ ველზე?

11.5.10. S განივცვეთის და h სიგრძის კოქაში, რომელიც ზეგამტარი მავთულისგანაა დამზადებული, შედის მუდმივი სიჩქარით ზეგამტარი σ განივცვეთის l სიგრძის ჭოხი. ააგეთ კოქაში დენის, ჭოხის მდებარეობაზე დამოკიდებულების გრაფიკი, თუ კოქა მოკლედჩართულია და საწყისი დენი მასში არის I . განიხილეთ შემთხვევები: ა) $l > h$; ბ) $l < h$. კიდურა ეფექტები უგულებელყავით.

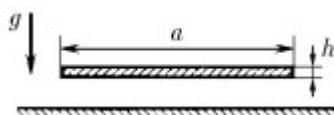
◊11.5.11. გამოთვალეთ გრძელი r რადიუსისა და l სიგრძის სოლენოიდის ინდუქციურობა, რომელიც მოთავსებულია გრძელი R რადიუსის



ზეგამტარი მიღის ღერძის გასწროვ. სოლენოიდის ხვიების რაოდენობაა N .

◊11.5.12. ბრტყელი სპილენძის სალტე, რომლის განივცვეთია $a \times h = 100 \times 1 \text{ mm}^2$, ზეგამტარის პორიზონტალური ზედაპირის პარალელურია. როგორი დენი უნდა გავატაროთ სალტეში, რომ ის არ დაეცეს ზეგამტარზე?

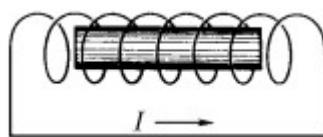
11.5.13. გრძელ სწორ გამტარში, რომელიც იმყოფება ზეგამტარი სიბრტყიდან h მანძილზე, გაატარეს I დენი. რას უდრის მაქსიმალური მაგნიტური წნევა ზეგამტარის ზედაპირზე? რა ძალით მოქმედებს ზეგამტარი გამტარის ერთეულ სიგრძეზე?



11.5.14. გრძელი სოლენოიდი შეკრული ბოლოებით განლაგებულია მუდმივი $B = 2$ ტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში. ხვიების რიცხვი სოლენოიდის ერთეულ სიგრძეზე არის $n = 1000$ მ. რა სიჩქარით გაიარა ამ სოლენოიდში მეტალის გრძელმა $r = 9$ სმ რადიუსის ჭურვმა, თუ მაქსიმალური ძაბვა, რომელიც წარმოიქმნა სოლენოიდის ბოლოებზე იყო $V = 100$ კვ? ჭურვის მეტალის წინაღობა უგულებელყავით.

11.5.15. რატომ არ არის დამოკიდებული 11.5.14 ამოცანის პასუხი ჭურვის ბოლოების ფორმებზე?

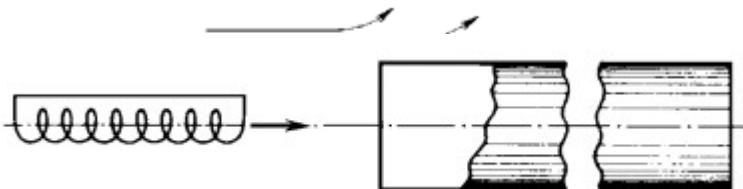
◊11.5.16. როცა ცილინდრული, v სიჩქარით მოძრავი, მეტალის m მასის ჭურვი, რომლის სიგრძეა l და რადიუსია r , იმყოფებოდა L სიგრძისა და $R \ll l$ რადიუსის სოლენოიდში, N რაოდენობის ხვიით, სოლენოიდში გაუშვეს I დენი, ხოლო შემდეგ მისი წრედი დაამოკლეს. რამდენჯერ გაიზრდება



სოლენოიდიდან გამომსვლელი ჭურვის სიჩქარე? მეტალის წინაღობა უგულებელყავით

◊11.5.17*. გრძელი ზეგამტარი მრგვალი r რადიუსის მილიდან დიდ მანძილზე მის ღერძულად მოთავსებულია მოკლედჩართული ზეგამტარი კოქა I დენით. კოქაში ხვიების რაოდენობაა N , კოქას სიგრძე $l >> r$, რადიუსია $r/2$, კოქას მასაა m . რა სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ კოქას, რომ მან გაიაროს დამაგრებულ მილში?

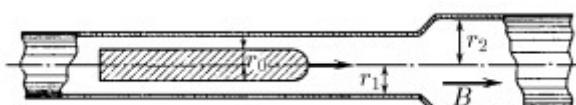
◊11.5.18*. რა მინიმალურ სიჩქარეს უნდა ფლობდეს თხელი S განივალეთის ზეგამტარი ჭოხი, l სიგრძის და m მასის, რომ შევიდეს გრძივ B



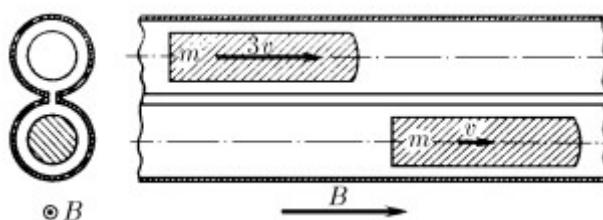
ინდუქციის მაგნიტურ ველში?

◊11.5.19. გრძელი მეტალის მილი, რომელსაც აქვს r_1 რადიუსის ნაწილი და r_2 რადიუსის ნაწილი, მოთავსებულია ერთგვაროვანი B ინდუქციის მაგნიტური ველის გასწვრივ. რამდენჯერ შეიცვლება r რადიუსისა და $l >> r_1, r_2$ სიგრძის ზეგამტარი ჭურვის ენერგია, რომელიც მოძრაობს მილის ღების გასწვრივ, მილის განსხვავებულ რადიუსებიანი ნაწილის გადაკვეთისას? მეტალის წინაღობის გავლენა ჭურვის მილთან ურთიერთქმდების პროცესზე უგულებელყავით.

◊11.5.20. ორარხიან მაგნიტურ ჭურვების ენერგიების გადამანაწილებელს აქვს შემდეგი კონსტრუქცია. ორი მეტალის ნაპრალიანი მილი შეერთებულია



მეტალის ჩამოთველით ისე, როგორც გამოსახულია ნახატზე. B ინდუქციის ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი მიმართულია მილის ღერძის გასწვრივ. თითოეული მილის ღერძის გასწვრივ მოძრაობს ერთნაირი სიგრძის ზეგამტარი ჭურვი. ჭურვებიდან ერთ-ერთი, რომელსაც აქვს $3r$ სიჩქარე, ენერგია მეორე ჭურვს, რომელსაც აქვს r სიჩქარე. თითოეული ჭურვის სიგრძეა l , განივალეთია s , მასაა m . თითოეული მილის განივალეთია S . განსაზღვრეთ სნარიადების

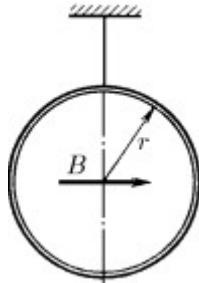


სიჩქარეები მათი ურთიერთქმედების შემდეგ. მილების წინაღობა უგულებელყავით.

11.5.21. ამოხსენით 11.5.20 ამოცანა იმ შემთხვევაში, თუ პირველი სნარიადის მასაა m_1 , ხოლო მეორის m_2 , ხოლო ჭურვების სიჩქარეები შესაბამისად არის v_1 და v_2 ($v_1 > v_2$)

11.5.22*. დაამტკიცეთ, რომ L ინდუქციურობის ზეგამტარი რგოლი, რომელიც v სიჩქარით მოძრაობს მის ღერძულ მაგნიტური ველში, აირეკლება ამ ველის მიერ, თუ რგოლის კინეტიკური ენერგია იქნება $\Phi/2L$ -ზე ნაკლები, სადაც Φ არის მაქსიმალური მაგნიტური ნაკადი ამ რგოლში.

◇11.5.23*. r რადიუსისა m მასის სპილენძის რგოლი კიდია ძაფზე და ასრულებს მცირე გრეხით რხევას T პერიოდით. რგოლის ინდუქციურობაა L .

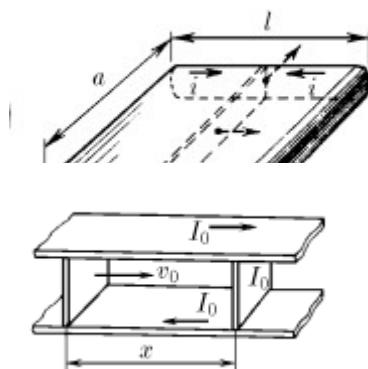


როგორ შეიცვლება რგოლის რხევის პერიოდი, თუ მას მოვათავსებთ B ინდუქციის ჰორიზონტალურ ერთგავროვან მაგნიტურ ველში, რომელიც რგოლის წონასწორობაში მისი სიბრტყის პარალელურია? დიამეტრზე გამავალი რგოლის ინერციის მომენტი არის J . რგოლის წინაღობა უგულებელყავით.

◇11.5.24*. ზეგამტარი ყუთი გაყოფილია ორ ტოლ ნაწილად, ასევე ზეგამტარი d სისქის სადენით. ყუთის ზომები ნაჩვენებია $h \ll a, l$). ყუთზე, სადენის მიმართულების მართობულად, ცირკულირებს დენი, რომლის წრფივი სიმკვრივეა i . რა სიხშირით დაიწყებს რხევას სადენი, თუ მას მივანიჭებთ მცირე სიჩქარეს ნახატზე ნაჩვენები მიმართულებით? სადენის მასაა m .

◇11.5.25. ორ ზეგამტარ სალტეს შორის მუდმივი v სიჩქარით მოძრაობს დგუში m მასის სადენის მიმართულებით, რომელიც ადგენს ზეგამტარ წრედს. იპოვეთ სადენის მაქსიმალური სიჩქარე, თუ საწყის მომენტი ის უძრავი იყო, დენი წრედში იყო I , ხოლო მანძილი დგუშსა და სადენს შორის იყო x . სალტეს ერთეული სიგრძის ინდუქციურობაა L . ხახუნი უგულებელყავით.

11.5.26*. გამტარ ცილინდრულ გარსში შექმნილია მაგნიტური ველი. გარსს ანიჭებენ v სიჩქარეს ისე, რომ ის იწყებს ღერძთან გაჭიმვას სიმეტრიის



დარღვევის გარეშე. იპოვეთ მაგნიტური ველის მაქსიმალური ინდუქცია, რომელიც შეიძლება მივიღოთ ამ გზით, თუ ველის საწყისი ინდუქცია $B = 10$ ტლ, $v = 3$ კმ/წმ, გარსის საწყისი რადიუსია $r = 20$ სმ, მისი სისქეა $\Delta = 0,5$ სმ, გარსის

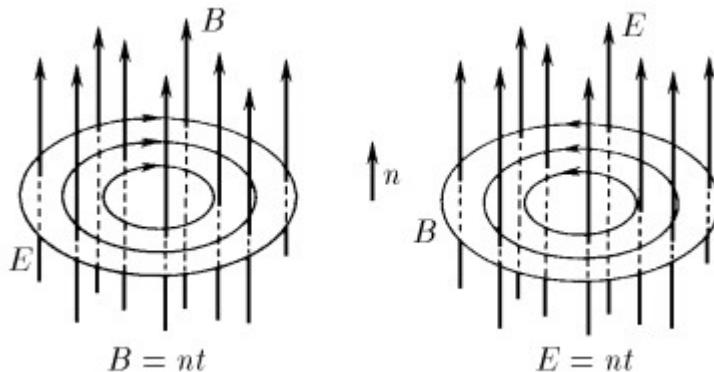
ნივთიერების სიმკვრივეა $\rho = 8,9 \text{ გ/სმ}^3$. იპოვეთ გარსზე მოქმედი მაქსიმალური წნევა. გარსის ელექტრული წინაღობა უგულებელყავით.

11.5.27*. B ინდუქციის გარე მაგნიტური ველი, რომელშიც იმყოფება გრძელი იდეალურად გამტარი მილი, მთლიანად მილის კედლების მიერ არ ეკრანირდება იმის გამო, რომ ელექტრონების მასა სასრულია. ველი ნაწილობრივ აღწევს მილში. მილის ღერძი მიმართულია მაგნიტური ველის გასწვრივ, მისი რადიუსი r ბევრად მეტია კედლების h სისქეზე. გამტარობის ელექტრონების რაოდენობა ნივთიერების ერთეულ მოცულობაში არის n . გამოთვლეთ მილში შეღწეული ველის ინდუქცია, $B = 10 \text{ ტლ}$, $r = 1 \text{ მმ}$, $h = 0,1 \text{ მმ}$, $n_e = 10^{20} \text{ სმ}^{-3}$ -ის შემთხვევაში.

11.5.28*. თუ გრძელ იდეალურად გამტარ თხელკედლიან ცილინდრს დავატრიალებთ თავისი ღერძის გარშემო, მაშინ ცილინდრში წარმოიშობა მაგნიტური ველი. იპოვეთ მისი ინდუქცია, თუ ცილინდრის კუთხური სიჩქარეა ω .

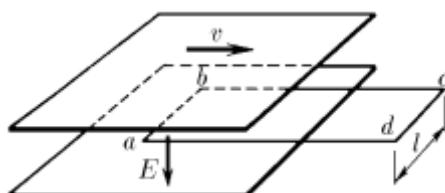
§ 11.6. ცვლადი ელექტრული ველის კავშირი მაგნიტურ ველთან

◊11.6.1 ელექტრომაგნიტური ინდუქციის წესის თანახმად ცვლადი მაგიტური ველი წარმოქმნის გრიგალურ ელექტრულ ველს. ზუსტად ასევე ცვლადი ელექტრული ველი წარმოქმნის გრიგალურ მაგნიტურ ველს, მხოლოდ ამ შემთხვევაში ელექტრული ველის ცვლილებისას B ვექტორის მიმართულება ადგენს მარჯვენა ხრახნს dE/dt ვექტორის მიმართულებასთან. პროპორციულობის კოეფიციენტი CGS-ში, რომელიც ამ ველებს აკავშირებს, ორივე მოვლენაში ერთნაირია. ელექტრომაგნიტური ველის ამ თვისების გამოყენებით განსაზღვრეთ CGS-სა და SI-ში მაგნიტური ველის ინდუქციის ჩაკეტილი კონტურის გასწვრივი ცირკულაციის, ამ კონტურში ელექტრული გადაადგილების ნაკადის ცვლილების სიჩქარეზე დამოკიდებულება.



◊11.6.2 ა. ბრტყელი კონდენსატორი მოძრაობს v სიჩქარით, როგორც ნაჩვენებია სურათზე. ფირფიტის შორის ელექტრული ველის დაძაბულობაა E . განსაზღვრეთ ელექტრული ველის ნაკადის ცვლილების სიჩქარე $abcd$ მართვულხა კონტურში და ასევე მაგნიტური ველის ცირკულაცია ამ კონტურის გასწვრივ. როგორ არის ერთმანეთთან დაკავშირებული საძებნი სიდიდეები SI-ში? CGS-ში?

ბ. მოიყვანეთ მაგალითები, რომელიც ამტკიცებს ამ კონტურით შემოსაზღვრულ ზედაპირში მაგნიტური ველის ცირკულაციის პროპორციულობას ელექტრული ველის ნაკადის ცვლილების სიჩქარეზე.



11.6.3 რას უდრის ელექტრული გადაადგილების ნაკადი მოედანში, რომელიც შემოსაზღვრულია ჩაკეტილი კონტურით, თუ ამ ნაკადის თანაბრად შემცირებისას ნულამდე, 1 მკნმ-ის განმავლობაში, კონტურში წარმოიშობა მაგნიტური ველის ინდუქციის ცირკულაცია - 0,001 ტლ·მ?

11.6.4*. კონდენსატორის განმუხტვისას მაგნიტური ველი წარმოიქმნება არა მარტო გამტარში დენით, არამედ კონდენსატორის შემონაფენებს შორის სივრცეში, ცვლადი ელექტრული ველით, ამასთან ცვლადი ელექტრული ველი წარმოქმნის ისეთ მაგნიტურ ველს, თითქოს შემონაფენებს შორის ყოფილიყო გამტარში გამავალი დენის ტოლი დენი. დაამტკიცეთ ეს.

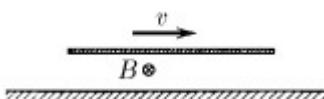
11.6.5. ერთგვაროვანი ელექტრული ველი ბრტყელ კონდენსატორში, 10 სმ რადიუსის შემონაფენებით, დროის მიხედვით წრფივად იზრდება: $E=at$, სადაც

$\alpha = 9 \cdot 10^{10}$ გ/მ წმ). რას უდრის მაგნიტური ველის ინდუქცია კონდენსატორში, მისი ღერძიდან 5 სმ-ზე?

11.6.6. მერხევ კონტურში წარმოიქმნა თავისუფალი რხევა. რამდენჯერ არის ნაკლები ბრტყელ კონდენსატორში მაგნიტური ველის მაქსიმალური ინდუქცია კოქაში მაგნიტური ველის მაქსიმალურ ინდუქციაზე? კონდენსატორის ფირფიტების რადიუსია r , მათ შორის მანძილია h , კოქას სიგრძეა L , ხვიები რაოდენობაა N .

11.6.7. ბრტყელი კონდენსატორი, რომლის შიგნითაც ელექტრული ველის დაძაბულობაა E , მოძრაობს v სიჩქარით. სიჩქარე ფირფიტებთან ადგეს α კუთხეს. რას უდრის მაგნიტური ველის ინდუქცია კონდენსატორში?

◊**11.6.8.** თანაბრად დამუხტული ფირფიტის v სიჩქარით მოძრაობისას, მეტალის ზედაპირის პარალელურად, წარალელურად, წარმოიშობა B ინდუქციის მაგნიტური ველი. განსაზღვრეთ ფირფიტის ზედაპირული მუხტის სიმკვრივე.



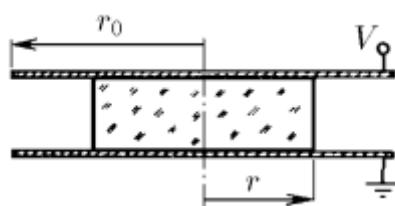
11.6.9. ბრტყელი კონდენსატორის შიგნით, მის შემონაფენების პარალელურად, v სიჩქარით მოძრაობს გამტარი ფირფიტა, რომლის სისქე უდრის კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მანძილის ნახევარს. კონდენსატორის შემონაფენებზე ნარჩუნდება V ძაბვა, მათ შორის მანძილია h .

ა. რას უდრის მაგნიტური ველის ინდუქცია გამტარის შიგნით? მოძრავ გამტარსა და კონდენსატორის შემონაფენებს შორის?

ბ. როგორ შეიცვლება მაგნიტური ველის ინდუქცია ფირფიტაში, თუ გამტარს შევცვლით დიელექტრიკით, რომლის დიელექტრული შეღწევადობაა ϵ .

11.6.10*. უძრავ დიელექტრიკულ გარემოში, ϵ დიელექტრიკული შეღწევადობით, თავისი ფირფიტების პარალელურად მოძრაობს ბრტყელი დამუხტული კონდენსატორი. როგორ შეიცვლება მაგნიტური ველი ინდუქცია კონდენსატორში, თუ გარემო იმოძრავებს მასთან ერთად?

◊**11.6.11***. ა. ელექტრული ველის დაძაბულობა წრულ ბრტყელ კონდენსატორში, რომელიც სავსეა ϵ დიელექტრიკული შეღწევადობით, წრფივად იზრდება დროის მიხედვით: $E=at$. განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია

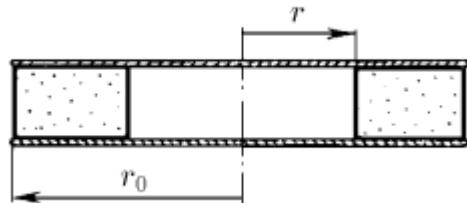


კონდენსატორში ცენტრიდან r მანძილზე.

ბ. ძაბვა ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებზე დროის მიხედვით წრფივად იზრდება: $V=at$. შემონაფენების რადიუსია r_0 , მათ შორის მანძილია h .

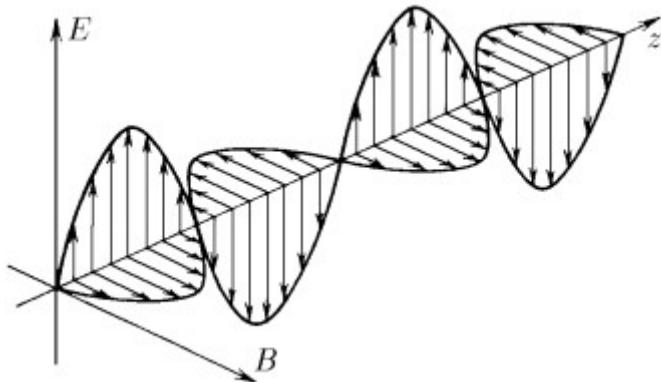
კონდენსატორის ღერძზე მოთავსებულია r რადიუსის დიელექტრიკული ცილინდრი ϵ დიელექტრიკული შეღწევადობით. განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია ცილინდრის გვერდითა ზედაპირზე და კონდენსატორის კიდეებზე.

◇11.6.12*. ბრტყელი იზოლირებული კონდენსატორი, რომლის ფირფიტები - პარალელურებია r_0 რადიუსის მეტალის რგოლების, სავსეა ნივთიერებით, თუ გამოვრიცხავთ ცენტრალურ r რადიუსის ცილინდრულ უბანს. კონდენსატორი განიმუშებება ამ ნივთიერებით. განმუშტვის დენია I . განსაზღვრეთ კონდენსატორში მაგნიტური ველის ინდუქციის დამოკიდებულება კონდენსატორის ღერძამდე მანძილზე. ააგეთ ამ დამოკიდებულების გრაფიკი.



§ 12.1. ელექტრომაგნიტური ტალღები

12.1.1. სურათზე გამოსახულია ელექტრომაგნიტური ტალღის “მყისიერი სურათი”. ბურღის წესის გამოყენებით, დაადგინეთ რა მიმართულებით ვრცელდება

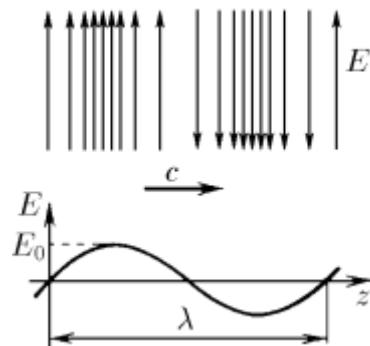


ეს ტალღა.

12.1.2. როგორ შეიცვლება ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელების მიმართულება თუ საპირისპიროდ შეიცვლება:

- ა) მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულება
- ბ) ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება

12.1.3. სურათზე გამოსახულია ელექტრული ველი ბრტყელი სინუსოიდური ტალღისთვის $t = 0$ მომენტში. ტალღის გავრცელების მიმართულება ისრითაა გამოსახული. როგორაა დამოკიდებული ელექტრული ველის დაძაბულობა



კოორდინატ z -ზე t -დროის მომენტში?

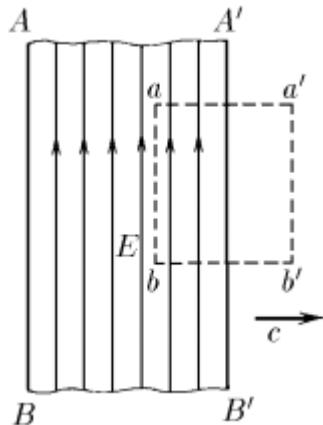
12.1.4. ორი, ერთნაირი პოლარიზაციის მქონე, სინუსოიდალური ტალღა:

$$E \sin \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) + \varphi \right], \quad E \sin \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) + \varphi \right]$$

გადაეფარებიან ერთმანეთს. რისი ტოლია, მიღებული ტალღისთვის ელექტრული ველის დაძაბულობის ამპლიტუდა? რისი ტოლია მიღებული ტალღის ფაზა?

12.1.5. ორი ბრტყელი სინუსოიდალური ტალღას, რომელთა ამპლიტუდაა E , გააჩნიათ სიხშირეები შესაბამისად ω და $\omega + \Delta$, $\Delta \ll \omega$, და ვრცელდებიან ერთი მიმართულებით, ერთმანეთის გადაფარვით. რისი ტოლია მიღებული ტალღის მაქსიმალური ამპლიტუდა? მიღებული ტალღისთვის მიიღეთ საშუალო ენერგიის სიმკვრივის განაწილება ტალღის გავრცელების გასწვრივ.

◊12.1.6. ელექტრომაგნიტური ტალღა მოიცავს სივრცეს ორ პარალელურ, უსასრულო სიბრტყეებს AB და $A'B'$ -ს შორის. ელექტრომაგნიტური ველის



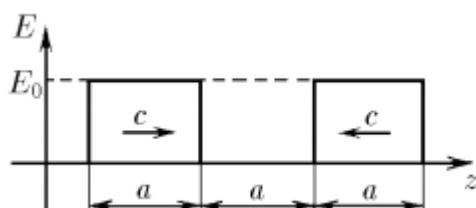
გამოსახული ნაწილი ნაწილი მოძრაობს სინათლის სიჩქარით c , AB სიბრტყის პერპენდიკულარულად. ელექტრული ველის დაძაბულობაა E . მართვული $bab'a'$ -თვის ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის გამოყენებით, განსაზღვრეთ და გამოსახეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია SI და CGS -ერთეულების სისტემებში.

12.1.7*. ამოხსენით ამოცანა 12.1.6. გარემოსთვის, რომლის დიელექტრიკული შეხწევადობაა ϵ . შესაბამისად ტალღის სიჩქარეა $c/\sqrt{\epsilon}$.

12.1.8*. ელექტრომაგნიტური ინდიქციის კანონის და ცვლადი ელექტრული ველისა და მაგნიტური ველის კავშირის/დამოკიდებულების (ამოცანა 11.6.1) გამოყენებით, დაამტკიცეთ, რომ ტალღის გავრცელება გარემოში, რომლის დიელექტრიკული და მაგნიტური შეხწევადობებია შესაბამისად ϵ და μ , არის $c/\sqrt{\mu\epsilon}$ - ის ტოლი

12.1.9*. როგორაა დამოკიდებული ელექტრული ველის დაძაბულობა E , მაგნიტური ინდიქციაზე B იმ გარემოში, რომლის დიელექტრიკული და მაგნიტური შეხწევადობებია შესაბამისად ϵ და μ ?

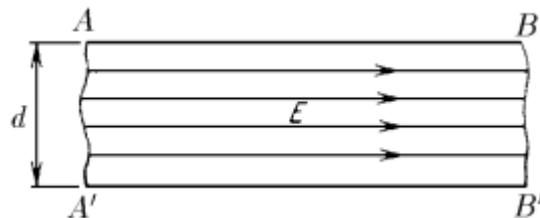
12.1.10. სურათზე გამოსახულია ერთმანეთისკენ მიმავალი ბრტყელი ელექტრომაგნიტურ ტალღათა ელექტრული ველები $t = 0$ მომენტში. დახაზეთ დაძაბულობის E და ინდუქციის B განაწილების გრაფიკები შემდეგი დროის მომენტებისთვის: $a/2c$, a/c , $a/3c$. რისი ტოლია ელექტრული ველისა და



მაგნიტური ველის ენერგიების შეფარდება სრულ ენერგიასთან ამ დროის მომენტებისთვის?

◊12.1.11. а. ერთგვაროვანი ელექტრული ველის დაძაბულობა E , განსაზღვრულია სივრცეში, რომელიც შემოსაზღვრულია ორი უსასრულო პარალელური სიბრტყეებით, შესაბამისად AB და $A'B'$, რომელთა შორის დაშორებაა d . ეს ველი წარმოიქმნა ორი ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღის სუპერპოზიციით. განსაზღვრეთ ეს ტალღები, თუ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორი E მოცემული სიბრტყეების პარალელურადაა მიმართული.

ბ. რა ელექტრომაგნიტური ტალღებისთვის შეიძლება განვალაგოთ მაგნიტური ველის ინდუქცია B , კონცენტრირებული AB და $A'B'$ - სიბრტყეებს შორის. მაგნიტური ველის ინდუქცია B - სიბრტყეების პარალელურია.



12.1.12. ა. მოძრავი დამუხტული სხეულის გარშემო წარმოიქმნება მაგნიტური ველი, როდესაც უძრავი დამუხტული სხეულის გარშემი - არა. ამიტომ, მოძრავი სხეულის მყისიერი გაჩერებისას მაგნიტური ველი "ზედმეტი" გახდება. იგი გარდაიქმნება ელექტრომაგნიტურ ტალღებში. ამ გზით, ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივება შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც ამ "ზედმეტი" მაგნიტური ველების წარმოქმის პროცესი, როდესაც იცვლება მოძრავი დამუხტული სხეულის სიჩქარე. განსაკუთრებით მარტივად ეს პროცესი აღინიშნება ბრტყელი კონდენსატორისათვის. თუ დამუხტული კონდენსატორი მოძრაობს v სიჩქარით, ფირფიტების პარალელურად, მაშინ მაგნიტური ველის ინდუქცია B დაკავშირებულია ელექტრული ველის დაძაბულობასთან E , შემდეგნაირად: $B = v / c E$. კონდენსატორის მყისიერი გაჩერებისას, ეს მაგნიტური ველი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ორი ელექტრომაგნიტური ტალღის ჯამი, რომელთა მაგნიტური ველის ინდუქცია $B/2$ - ის ტოლია, რომლებიც საპირისპირო მიმართულებით მოძრაობენ, ფირფიტების პერპერნდიკულარულად.

ა. განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა თითოეული ტალღისთვის
ბ*. რისი ტოლია ტალღის ენერგია, რომელიც გამოსხივდება მუხტი Q -დან, რომელიც თანაბრადაა განაწილებული r - რადიუსის მქონე სფეროში, მისი მყისიერი გაჩერებისას? (თუ სფეროს სიჩქარე, სრულ გაჩერებამდე, არის v - ს ტოლი)

◊12.1.13. დამუხტული ბრტყელი კონდენსატორს არხევენ მისი ფირფიტების პარალელური მიმართულებით. რხევის სიხშირის v გაზრდით კონდენსატორის მიერ გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღების საშუალო ინტენსივობა I ჯერ იზრდება შემდეგ კი ნულისკენ მიისწრაფვის, შემდეგ ისევ იზრდება და ისევ ნულისკენ მიისწრაფვის, შემდეგ ისევ იზრდება და ა.მ. რითი აიხსნება შეგავსი ინტენსიტობის ცვლილება? რომელი სიხშირეების შემთხვევაში კონდენსატორი არ ასხივებს ენერგიას? შეაფასეთ სიხშირე, რომლისთვისაც მიიღება I -ლი და κ -ური I -ს მაქსიმუმი.

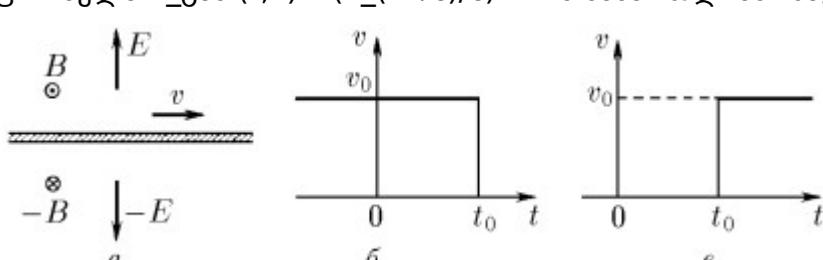


◊12.1.14*. დამუხტული ფირფიტა, რომლის ელექტრული ველის დაძაბულობაა E , მოძრაობს თავისი თავის პარალელურად v სიჩქარით, ქმნის მაგნიტური ველის ინდუქციას: $B = (v/c)E$. ამის შედეგად, ფირფიტის სიჩქარის $d\nu$ -თი შემცირებისას, მის გარშემო სივრცეში წარმოიქმნება “ზედმეტი” მაგნიტური “მიკროველი”, მაგნიტური ველის ინდუქციით: $dB = \pm(v/c)E$. დაჯამების შემდეგ, ეს “მიკროველები” წარმოქმნიან ელექტრო-მაგნიტურ ტალღას, რომლის ელექტრული ველის დაძაბულობა დამოკიდებულია მხოლოდ ფირფიტის სიჩქარეზე:

$$E(t, x) = cB(t, x) = \left(\frac{cv}{c}\right)E = \left(\frac{v}{c}\right)E.$$

სადაც ინდექსი $t - x/c$ აღნიშნავს, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობის გამოთვლისას ფირფიტიდან x - მანძილზე, ამ სიჩქარის მნიშვნელობა აღებულ უნდა იქნეს $t - x/c$ - მომენტში. მაგალითად, ელექტრული ველის დაძაბულობა იმ ფირფიტისთვის, რომლის სიჩქარე ტოლია $\frac{v}{c} \sin [\omega(t - \frac{x}{c})]E$, - ის, ფირფიტიდან x - მანძილზე, t - დროის მომენტში, ტოლია: $v \sin \omega\left(t - \frac{x}{c}\right)$ - ის, რამდენადაც ფირფიტის სიჩქარე, $t - x/c$ - მომენტში ტოლი იყო $E(t, x) = \left(\frac{v}{c}\right)E$ - ის.

დაამტკიცეთ ფორმულა $E_{გამ}(t, x) = (v_{(t-x/c)/c})E$ - ის სამართლიანობა, იმ



შემთხვევისთვის, როდესაც v სიჩქარე იცვლება ისე, როგორც მოცემულ სურათებზე გამოსახული.

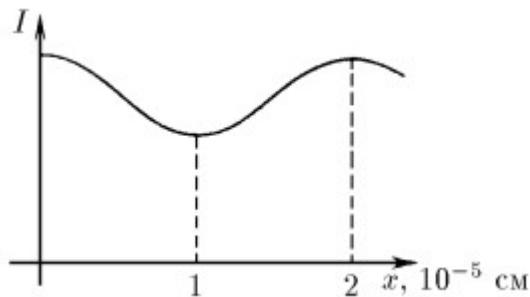
12.1.15*. ფორმულა $E(t, x) = \left(\frac{v}{c}\right)E$ - ის გამოყენებით, რომელიც ნაჩვენებია ამოცანა 12.1.14 - ში, ამოხსენით შემდეგი დავალებები:

ა. განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა ბრტყელი ტალღისთვის, რომელიც გამოსხივდება ბრტყელი კონდენსატორიდან, როდესაც იგი მოძრაობს მუდმივი აჩქარებით a , რაც ფირფიტების პარალელურადაა მიმართული. კონდენსატორის ფირფიტებს შორის დაშორებაა d , და ელექტრული ველის დაძაბულობა კონდენსატორის შიგნით არის E - ის ტოლი.

ბ. წრფივი დენის სიმკვრივე ფირფიტის ზედაპირზე იცცლება როგორც სინუსოидა, რომლის ამპლიდუდაცაა i . SI და CGS-სისტემებში განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა ელექტრომაგნიტური ტალღისთვის, რომელის ამ ფირფიტიდან გამოსხივდება.

გ. განსაზღვრეთ ელექტრომაგნიტური ტალღის არეკვლის კოეფიციენტი, რომელიც ეცემა ბრტყელ გამტარ ფენას, მისი ზედაპირის ჰერპენდიკულარულად. გამტარი ფენის სისქეა $x - 0$, ერთეულოვან მოცულობაში გამავალი ელექტრონების რიცხვია n_e და ტალღის სიხშირეა v .

12.1.16. ორი პარალელური, ნახევრად გამჭირვალე, არეკვლადი ფირფიტების ერთმანეთისგან დაშორებისას, ამ ფირფიტებს შორის გამავალი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ინტენსივობა პერიოდულად იცცლება, რაც დამოკიდებულია ფირფიტების დაშორებაზე. ახსენით ეს მოვლენა და განსაზღვრეთ, სურათის გამოყენებით, ზედაპირზე დაცემული ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ტალღისსიგრძე. გამოსხივება ვრცელდება ფირფიტების პერპენდიკულარულად.



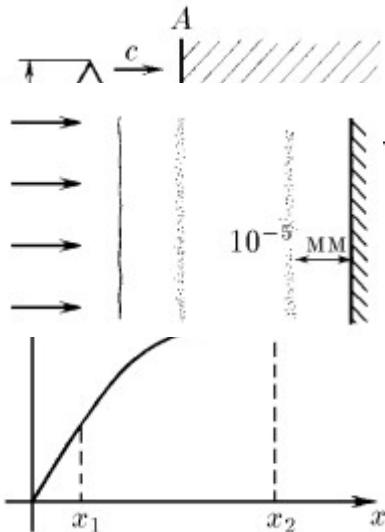
12.1.17. ელექტრომაგნიტური ტალღის, ელექტრული ველის დაძაბულობის ამპლიტუდა, რომელიც აირეკლება გამტარი ფენიდან, იზრდება ფენის სისქეს შემცირებით. სურათზე მოყვანილია ამ დამოკიდებულების (არეკვლილი ტალღის ინტენსივობა ფენის სისქეზე) ტიპური მაგალითი. საწყის მომენტში ($x < x_0$ არეში) ამპლიტუდა წრფივადაა დამოკიდებული ფენის სისქე $x - 0$, ხოლო $x > x_0$ არეში დამოკიდებულების წრფივი ბუნება ქრება და არეკვლილი ტალღის ამპლიტუდა მხოლოდ მცირედით განსხვავდება დაცემული ტალღის ამპლიტუდისგან E_0 . ახსენით ეს დამოკიდებულება.

12.1.18*. შეაფასეთ ელექტრომაგნიტური ტალღის გამტარში შეხწევადობის სისქე, როდესაც იგი გამტარს პერპენდიკულარულად ეცემა. ტალღის სიხშირეა $v = 10^{15}$ ჰც და მოცულობის ერთეულში გამავალი ელექტრონების რაოდენობაა $n_e = 10^{22} \text{ см}^{-3}$.

12.1.19. საკმარისად დიდი მოცულობის ერთეულში გამავალი ელექტრონების რაოდენობისას, ტალღის ელექტრული ველი, რომელიც მეტალის ზედაპირის პარალელურია, ნულისკენ მიისწრაფვის. ამის შედეგად, მეტალისა და ელექტრომაგნიტური ტალღის ურთიერთქმედების ამოცანის ამოხსნა დაიყვანება ზედაპირთან ახლოს ისეთი ორი მბრძოლავი ტალღის მოძებნამდე, რომელთა ერთმანეთზე გადაფარვით ზედაპირის გასწვრივ გვაძლევს ნულოვან ელექტრული ველის დაძაბულობას. ასეთი ელექტრომაგნიტური ტალღები წარმოიქმნებიან მეტალურ ზედაპირზე პერპენდიკულარულად დაცემისას: ერთი მათგანი რეალურად მოძრაობს მეტალის-გარე სივრცეში, როდესაც მეორე - ფიქტური “ამოტრიალებული” ტალღა მოძრაობს პირველი ტალღის მიმართულებით მეტალში (სურათზე ეს არე, ფიქტურ ტალღასთან ერთად, იმყოფება AB - სიბრტყის

მარჯვნივ). ფიქტური ტალღა ხდება რეალური, როგორც კი ის გადალახავს AB - საზღვარს, სადაც იგი ფარავს პირველ ტალღას. AB - სიბრტყის მარცხნივ ამ ტალღების გადაფარვა გვაძლევს ელექტრული ველის ნულოვან დაძაბულობას AB - სიბრტყის გასწრივ, შესაბამისად ხსნის დასმულ ამოცანას.

აღნერილი მაგალითის გამოყენებით, მეტალურ სიბრტყესთან ახლოს იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა და მაგნიტური ველის ინდუქცია იმ მომენტში, როდესაც ვარდნადი ტალღის თავი მიაღზევს AB - სიბრტყეს.



◊12.1.20. ფოტოემულსიის ფენა დატანილია სარკოვან მეტალის ზედაპირზე. ემულსიის გაშავება ხდება მეტალის ზედაპირიდან 10^{-5} მმ - ზე სინათლის ნორმალზე დაცემისას. ახსენით ეს ეფექტი. განსაზღვრეთ იმ სინათლის ტალღისსიგრძე, რომელიც მეტალის ზედაპირს ეცემა. სუბსტრატის (სარკოვანი მეტალი) ზედაპირიდან რა დაშორებაზე იქნება გაშავებული ემულსიის მეორე ფენა?

12.1.21. მეტალის კედელზე, მისი ზედაპირის პერდენდიკულარულად, ეცემა ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა. ელექტრული ველის დაძაბულობაა E . გამოსახული კედელში წრფივი დენის წრფივი სიმკვრივე და მასზე (კედელზე) ტალღის მიერ წარმოქმნილი წნევა SI და CGS ერთეულებში.

12.1.22. ბრტყელი სინუსოიდალური ტალღის ელექტრული ველის დაძაბულობის ამპლიტუდა E_0 - ის ტოლია. რა საშუალო წნევას წარმოქმნის ეს ტალღა ბრტყელ მეტალის კედელზე, ნორმალზე დაცემისას?

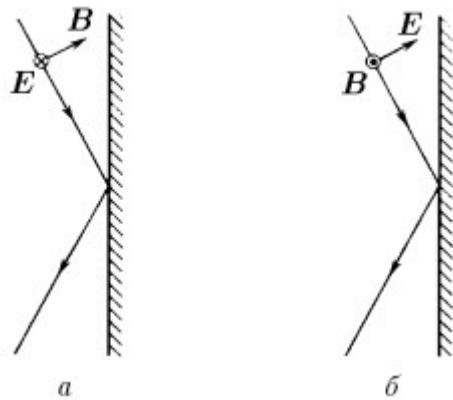
12.1.23. რისი ტოლია მზის გამოსხივების წნევა სარკისებრ ზედაპირზე დედამინასთან ახლოს, სარკისებრი ზედაპირის ნორმალზე დაცემისას? 30° - კუთხით დაცემისას? მზის გამოსხივების ენერგიის სიმკვრივე $600 \text{ } \text{Z}^2/\text{მ}^2$ - ის ტოლია.

12.1.24*. შეაფასეთ ალუმინისგან დამზადებული მტვრის ნაწილაკების მაქსიმალური ზომა, რომელიც კოსმოსურ სივრცეში, მზის გამოსხივების წნევით, შეძლებენ მზიდან დაშორებას.

◊12.1.25. ამოცანა 12.1.19 - ში მოყვანილი მეთოდის გამოყენებით, დაამტკიცეთ, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღის დაცემის კუთხე არეკვლის კუთხის ტოლია. განიხილეთ შემთხვევები:

ა. ელექტრომაგნიტური ტალღის ვექტორი E , რომელიც მეტალს ეცემა, მისი ზედაპირის პარალელურია

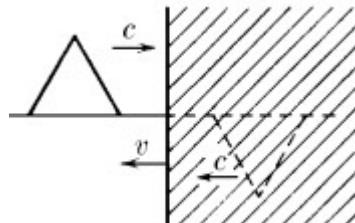
ბ. ელექტრომაგნიტური ტალღის ვექტორი B მეტალის ზედაპირის



პარალელურია.

12.1.26. ბრტყელი სინუსოიდალური ტალღის საშუალო წნევა, რომელიც მეტალის ზედაპირს α - კუთხით ეცემა, P - ს ტოლია. განსაზღვრეთ ამ ტალღის ელექტრული ველის დაძაბულობის ამპლიტუდა.

12.1.27*. ფიქტური ტალღების მეთოდის (ამოცანა 12.1.19.) გამოყენება ასევე შეიძლება v სიჩქარით მოძრავი მეტალის ზედაპირიდან ელექტრომაგნიტური ტალღის არეკვლის ამოცანისთვის. ამ ამოცანის ამოხსნისთვის ფიქტური ტალღა უნდა შეირჩეს ისე, რომ არა-მეტალურ გარემოში მოხვედრისას, როდესაც იგი რეალური გახდება, დაცემადი ტალღის გადაფარვისას CGS-სისტემაში ელექტრული ველის დაძაბულობა მაგნიტური ველის ინდუქციაზე v/c - ჰერ ნაკლები, რომ იყოს. დაამტკიცეთ ეს უკანასკნელი პირობა.



12.1.28*. v სიჩქარით მოძრავ მეტალის კედელზე, მისი ზედაპირის პერპენდიკულარულად ეცემა ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა. ელექტრული ველის დაძაბულობა E - ს ტოლია. რა წნევას წარმოქმნის ეს ტალღა კედელზე, SI და CGS - ს სისტემებში?

12.1.29. სინუსოიდალური ტალღის სიხშირე, რომელიც მეტალის მოძრავ კედელს მისი ზედაპირის პერპენდიკულარულად ეცემა, იცვლება Δ - თი. ტალღის საწყისი სიხშირეა v_0 . განსაზღვრეთ მეტალის კედლის სიჩქარე.

12.1.30. ტალღის, რომელიც მისი მიმართულებით მოძრავი მეტალის კედლიდან აირეკლა, ამპლიტუდა გაიზარდა K - ჰერ. განსაზღვრეთ კედლის სიჩქარე.

12.1.31. რა არის მიზეზი იმისა, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღის ვაკუუმიდან, ბრტყელი საზღვრის გავლით, გაუმტარ გარემოში გადასვლისას:

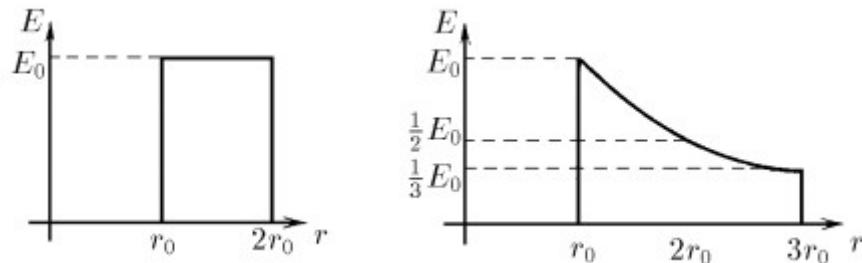
ა. ელექტრული ველის დაძაბულობის საზღვრის მიმართ პერპენდიკულარული კომპონენტის მნიშვნელობა მცირდება ε - ჰერ, ხოლო პარალელური კომპონენტი უცვლელი რჩება.

ბ. მაგნიტური ველის ინდუქციის საზღვრის მიმართ პერპენდიკულარული კომპონენტი უცვლელია, ხოლო პარალელური კომპონენტი იზრდება μ - ჰერ? სადაც ε - გარემოს დიელექტრიკული, ხოლო μ - გარემოს მაგნიტური შეხწევადობაა.

12.1.32. როგორ იცვლება ტალღის ფაზა, რომელიც აირეკლება ორი დიელექტრიკის ბრტყელი საზღვარიდან, დიელექტრიკული შეხწევადობებით: ε_1 და ε_2 , როდესაც $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$? როდესაც $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$? ტალღა ეცემა საზღვრის სიბრტყის პერპენდიკულარულად.

12.1.33. ენერგიის შენახვის კანონის გამოყენებით, აჩვენეთ, რომ სფერული ტალღის, რომელიც გამოსხივდება წერტილოვანი წყაროდან, ელექტრული ველის დაძაბულობის და მაგნიტური ველის ინდუქციის ამპლიტუდა წყაროდან მანძილის უკეპრობორციულია, თუ ენერგია არ შთაინთქმევა გარემოში.

◊12.1.34. სურათებზე გამოსახულია ორი მრბოლავი სფერული ტალღების ელექტრული ველის განაწილება $t = 0$ - მომენტში. გამოსახეთ ელექტრული ველის განაწილება $t = r_0 / c$ - მომენტში. როგორი იქნება ელექტრული

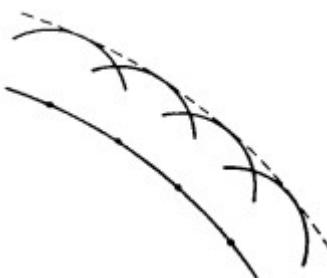


ველის განაწილება როდესაც $t \rightarrow \infty$? განსაზღვრეთ ამ ველების ენერგია.

12.2. ელექტრომაგნიტური ტალღების გავრცელება

◊12.2.1. პიუგენს - ფრენელის პრინციპის თანახმათ, ტალღის ფრონტის თითოეული წერტილი წარმოადგენს სფერული ტალღის მეორეულ წყაროს. ამ ტალღების სუპერპოზიცია გვაძლევს ტალღის ახალ ფრონტს. ამ პრინციპის გამოყენებით, აჩვენეთ, რომ:

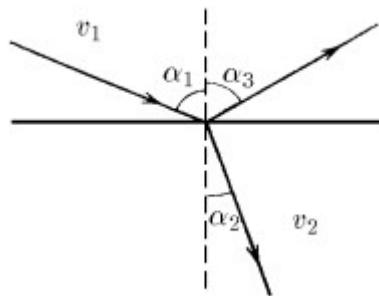
ა. ელექტრომაგნიტური ტალღის ბრტყელი ფრონტი მოძრაობს სინათლის სიჩქარით c , და გადაადგილდება ფრონტის სიბრტყის პერპენდიკულარული მიმართულებით;



ბ. სფერული ფრონტის რადიუსი τ - დროში τc - ით იზრდება.

12.2.2. როგორ იცვლება ტალღის სიჩქარე და სიგრძე როდესაც იგი გადადის გარემოში, რომლის გარდატეხის მაჩვენებელია n - ი? იცვლება თუ არა ტალღის სიხშირე?

◊12.2.3. პიუგენს - ფრენელის პრინციპის გამოყენებით, დაამტკიცეთ, რომ როდესაც ბრტყელი ტალღა ეცემა ორი გარემოს გამყოფ ბრტყელ საზღვარს:

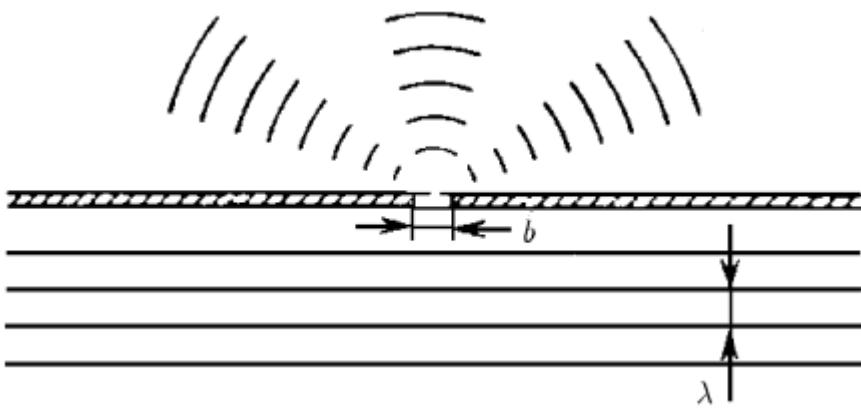


ა. დაცემის კუთხე ტოლია არეკვლის კუთხისა ($\alpha_1 = \alpha_3$);

ბ. დაცემის კუთხის სინუსის შეფარდება გარდატეხილი კუთხის სინუსთან ტოლია პირველ გარემოში ტალღის სიჩქარის მეორე გარემოში ტალღის სიჩქარის შეფარდების:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} .$$

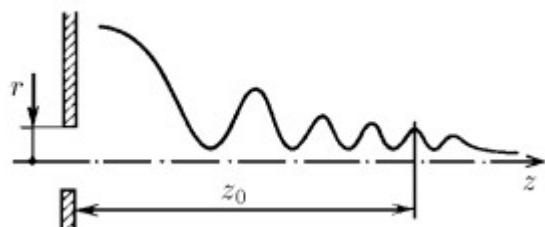
◊12.2.4. იპოვეთ ის კუთხეები, რომლებიც განსაზღვრავენ გამოსხივების მინიმუმების მიმართულებას, თუ ბრტყელი ტალღა პერპენდიკულარულად ეცემა b - სისქის ზოლს. ტალღის სიგრძე $\lambda < b$.



12.2.5. დიფრაქციული მესერის შტრიხების სისქე ბევრად მცირეა ტალღის სიგრძეზე. რამდენჯერ შეიძლება გაიზარდოს მაქსიმალური გამოსხივების მიმართულებით გამოსხივების ინტენსივობა, თუ დიფრაქციული მესერის შტრიხების რაოდენობას k - ჭერ გავზრდით?

12.2.6. სარკოვან დიფრაქციულ მესერზე, რომელსაც გააჩნია 200 ხაზი 1 მმ - ზე და დაფარულია თხელი ოქროს ფენით, ეცემა სპილენძის K - გამოსხივების ($\lambda = 1.541 \cdot 10^{-10}$ მ) ძალიან წვრილი კონა, $20'$ - კუთხით მისი ზედაპირის მიმართ განსაზღვრეთ პირველადი და მეორეული რიგის გამოსხივების კონებს შორის კუთხეთა სხვაობა.

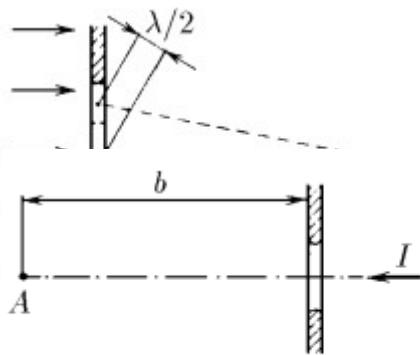
12.2.7. r - რადიუსიან ხვრელზე, მისი სიბრტყის პერპენდიკულარულად ეცემა ბრტყელი სინუსოიდალური ტალღა. ტალღის სიგრძე $\lambda \ll r$. ტალღის ინტენსივობა ხვრელის ღერძის გასწვრივ პერიოდულად იცვლება. ცენტრიდან რა დაშორებაზე იმყოფება ბოლო მაქსიმუმი? განსაზღვრეთ დაშორება ინტენსივობების



შორის დაშორება ხვრელიდან z_0 - მანძილზე, თუ $\frac{r}{\lambda} \gg z_0 \gg r$

12.2.8. თუ მრგვალ ხვრელს გავზრდით ისე, რომ მისი რადიუსი, რომელიც ერთ-ერთი ფრენელის ზონის ტოლია, მოიცავს ორი ზონის რადიოს, მაშინ A - წერტილში გამოსხივების ინტენსოვობა მკვეთრად შემცირდება, ნულისკენ მისწრაფვით, მიუხედავად იმისა, რომ ხვრელში გამოსხივების ნაკადი თითქმის ორჯერ იზრდება. რა გზით ეთანხმება ეს ორი ფაქტი ერთმანეთს?

12.2.9*. ეკრანზე, რომელსაც გააჩნია მრგვალი ხვრელი, ეცემა პარალელული სხივის კონა. ხვრელის რადიუსი ემთხვევა A - წერტილისთვის ცენტრალური ფრენელის ზონის რადიუსს (იხ. წინა ამოცანის სურათი). გრაფიკული მეთოდის გამოყენებით განსაზღვრეთ: რამდენჯერ მეტია ცენტრალური ზონიდას სინათლის ინტენსივობა იმ სინათლის ინტენსივობაზე, რომელიც ამავე წერტილს გაივლიდა თუ ეკრანი არ იქნებოდა.

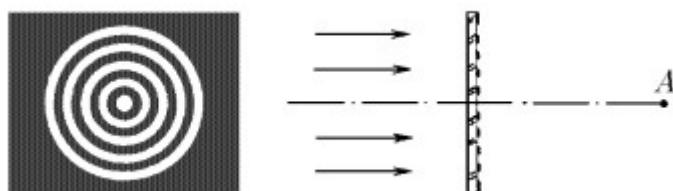


К задаче 12.2.10

◊12.2.10. გამოსახეთ გრაფიკზე A - წერტილზე სინათლის ინტენსივობის დამოკიდებულება ხვრელის რადიუსზე, რომელიც ფარავს λ - ტალღისსიგრძის გამოსხივების პარალელურ დინებას. A - წერტილიდან ხვრელის ცენტრამდე მანძილია b . გამოსხივების დინების ინტენსოვობა კი I .

◊12.2.11*. ა. სურათზე გამოსახულია ბრტყელი სარკოვანი ფირფიტა გაშავებული ბეჭდისებრი რეგიონებით. ამ ფირფიტით დაფარეს λ - ტალღისსიგრძის მონოქრომატული სინათლის კონა. აღმოჩნდა, რომ ფირფიტის გაშავებული ბეჭდები ემთხვევა ფრენელის ლუნ ზონებს A - ღერძოვანი წერტილის მიმართ. როგორ შეიცვალა სინათლის ინტენსივობა ამ წერტილში?

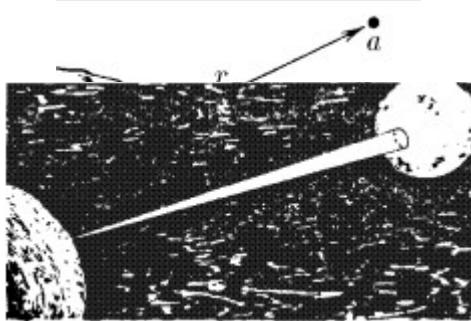
ბ. მონოქრომატული სინათლის პარალელური კონა დაფარეს ფირფიტით, რომელშიც გაშავებული ბეჭდისებრი რეგიონები შეცვლილია დიელექტრიკის ფენებით, რომელიც გამავალი ტალღის ფაზას π - თი ცვლის. როგორ იცვლება



სინათლის ინტენსივობა A - წერტილში ამ შემთხვევაში?

◊12.2.12*. იანგარიშეთ ამპლიტუდა a ჰიუგენს - ფრენელის ელემენტარული მეორეული ტალღისთვის (ამპლიტუდა a - პროპორციულია A - პირველადი ტალღის ამპლიტუდისა, რომელმაც მოაღწია ელემენტიდან ΔS , რაც არის ამ ელემენტის ფართობი, რაც უკუპროპორციულია r - ის, ასევე: $a = cA / \Delta S/r$. c - ის განსაზღვრისთვის შეადარეთ ბრტყელი ტალღის ამპლიტუდა ნებისმიერ წერტილში ამპლიტუდასთან, რომელიც ფრენელის მეთოდითაა გამოთვლილი და ამავდროულად ამავე წერტილში, როდესაც დამხმარე ზედაპირიად ფრონტის ბრტყელი ტალღის ზედაპირია აღებული)

◊12.2.13. ა. შეაფასეთ მთვარეზე ლაზერის სინათლის ლაქის ზომა. ლაზერი მდებარეობს დედამიწაზე, და სხივის რადიუსია 10 სმ, ტალღისსიგრძე კი 10^{-5} სმ. (ლაქის საზღვარი განისაზღვრება იმ პირობით, რომ სხივის ლაქის გარემოში, რომლების ტალღის ცალკეული რეგიონებიდან მოდიან, ერთმანეთს არ აქრობენ).



ბ. შეაფასეთ რადარის ანტენის ზომები, რომელიც ასხივებს სამ-სანტიმეტრიან ელექტრომაგნიტურ ტალღებს 0.01 რად კუთხის შიგნით.

12.2.14. შეაფასეთ ობიექტის მინიმალური ზომა დედამიწის ზედაპირზე, რომლის სურათის გადაღება შესაძლებელია თანამგზავრიდან, რომელიც მიფრინავს 200 კმ სიმაღლეზე. ასევე განსაზღვრეთ ობიექტის, რომლის სურათის გადაღებაცაა შესაძლებელი დედამიწასთან-ახლო თანამგზავრიდან, მთვარეზე, და მარსზე. შესაძლებელი გადაღების მეთოდი ფოტოფირზე არ ბლუდავს სურათის გარჩევადობას.

12.2.15. ა. გავარვარებული ელექტრული ლამპის მანათობელ ძაფს გააჩნია წითელი ლაქა, როდესაც მას არაპრიალა ზედაპირიან (PLAFONI) - ში დავაკვირდებით. ახსენით ეს მოვლენა.

ბ. ნისლში წითელი ფერი, რატომ გაიბნევა უფრო მცირეთ?

გ. რატომაა დილის ცა ცისფერი?

13.2. სხივის გარდატეხა. ლინზის ფორმულა

13.2.1. თევზი მზეს ხედავს წყლის ბედაპირისადმი 60 გრადუსიანი კუთხით. რას უდრის პორიზონტისაფლი მზის ნამდვილი სიმაღლე? წყლის გარდატეხის მაჩვენებელია 1.33

13.2.2. ა. წყალსაცავის კაშუშაიასია სიღრმე, თუ ვერტიკალურად ქვევით ჩავხედავთ არის 3 მ. რას უდრის მისი ნამდვილი სიღრმე?

ბ.

13.2.3. ულიტკა ზის მართკუთხა აკვარიუმის დალნეი I სიგანის კედელზე. რამდენჯერ შეიცვლება ულიტკას ხილული კუთხური ზომა, თუ აკვარიუმს წყალს მოვკლებთ? დამკვირვებელი იმყოფება აკვარიუმიდან L მანძილზე.

13.2.4. ფარდობითი გარდატეხის მაჩვენებელი ჰაერი-მინის საზღვარზე არის 1.5, ხოლო ჰაერი-წყლის საზღვარზე 1.33, რას უდრის ის წყალი-მინის საზღვარზე?

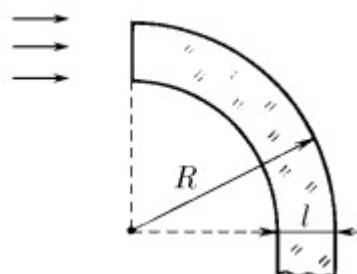
13.2.5. ა. განსაზღვრეთ სრული შინაგანი არეკვლის კუთხე ალმასისთვის ($n = 2.4$), წყლისთვის ($n = 1.33$) და წყალში ჩაძირული ალმასისითვის.

ბ. რატომ არის ჰაერის პატარა ბუშტულები წყალში სერებრისნიერი?

13.2.6. შესაძლებელია თუ არა რამის დანახვა მინის კუბის ორ სმეურნურ გრანს შორის? მინის გარდატეხი მაჩვენებელია 1.5.



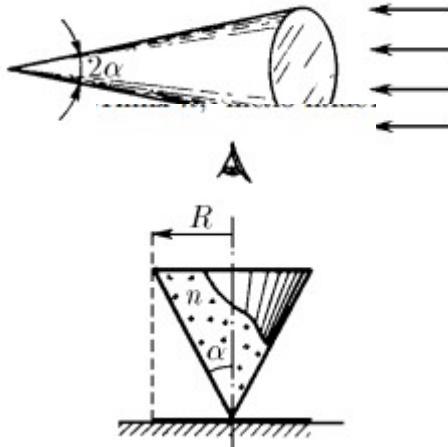
13.2.7. როგორი უნდა იყოს სვეტავოდის იზგიბის გარე რადიუსი, რომელიც გაკეთებულია n გარდატეხის მაჩვენების მქონე გამჭვირვალე ნივთიერებისგან, იმისათვის რომ I სიგრძის დიამეტრის შემთხვევაში სვეტავოდში, მის მართობულ განივალეთის სიბრტყეში შესული სხივი არ გამოვიდეს გარეთ გვერდითა ზედპირის გავლით?



გავლით?

13.2.8. პლეკსიგალიდან დამზადებულია კონუსი 2α კუთხით წვეროსთან. კონუსის ფუძეზე ეცემა სინათლის პარალელური კონა. აღნერეთ სინათლის პავეძენიერ პლეკს..ის გარდატეხის მაჩვენებელია 1.5.

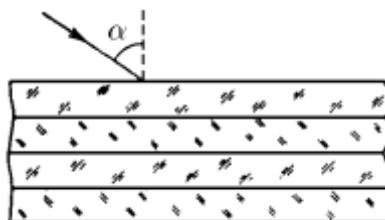
13.2.9. პორიტონტალურ სიბრტყეზე საცერნენ R რადიუსის წრე, წრის ცენტრში ვერტიკალურად დგას მინის კონუსი, რომელიც წრის ცენტრს ეხება



.წვერით . მინის კარდატების მაჩვენებელი $n > 1.5$. რასტვორის კუთხე $2\alpha = 60^\circ$, ფუძის რადიუსი R წრეს უყურებენ კონუსის ღერძის გასწვრივი დიდი მანძილიდან. რას უდრის დანახული რადიუსი?

13.2.10. თუ შევხედავთ კაპილარულ მილს სბოკუ , მაშინ ხილული შიდა რადიუსი იქნება r . რას უდრის ნამდვილი შიდა რადიუსი? მინის გარდატების მაჩვენებელია n .

13.2.11. სხივი ეცემა ბრტყელ გამჭვირვალე ფირფიტების სტოპკას. დაცემის რა მინიმალური კუთხის დროს არ გავა სხივი მაში? თითოეული ფირფიტის გარდატების მაჩვენებელი k ჰერ მცირეა ზევითმყოფ ფირფიტის გარდატების მაჩვენებელზე. ზედა ფირფიტის გარდატების მაცვენებელია n ,ხოლო



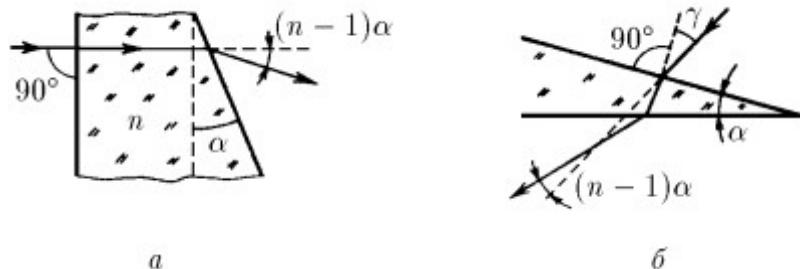
ფირფიტების რიცხვი N .

13.2.12. პლანეტის ატმოსფეროს გარდატების მაჩვენებელი მცირდება h სიმაღლიდან $n = n - \alpha h$ კანონით, სადაც $h \ll n/\alpha$. პლანეტის რადიუსი R . იპოვეთ რა სიმაღლიდან უნდა გავუშვათ სხივი პორიტონტალურად, რომ იმოძრაოს პლანეტის გარშემო მუდმივად ამ სიმაღლეზე.

13.2.13. როგორ გამოიყურება თევზის თვალით დანახული საყარო?

13.2.14. ა. მცირე α კუთხით დახრილ სიბრტყეში გადის სინათლის სხივი, რომელიც მართობულია დახრილი სიბრტყის წინა გრანის. აჩვენეთ, რომ სხივის საწყისი მიმართულებიდან გადახრის კუთხე დაახლოებით არის $(n-1)\alpha$. დახრილი სიბრტყის გარდატების მაჩვენებელია n .

ბ. გამოიყვანეთ თხელი ლინზის ფოკუსური მანძილის ფორმულა. ლინზის ზედაპირის სიმრუდის რადიუსებია R_1 და R_2 , ლინზის ნივთიერების გარდატების მაჩვენებელია n .



a

b

13.2.15. а. იპოვეთ ორმხრივამოზნექილი ლინზის ფოკუსური მანძილი 30 სანტიმეტრიანი სიმრუდის რადიუსით, რომელიც დამზადებული მინისგან გარდატეხის მაჩვენებლით 1.6. რას უდრის ლინზის ოპტიკური ძალა?

ბ. მინისგან დამზადებული ლინზის ერთი ზედაპირი 1.6 გარდატეხის მაჩვენებლით ბრტყელია, ხოლო მეორე სფერული. ლინზის ოპტიკური ძალაა 1 დპტრ. განსაზღვრეთ ლინზის სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი.

13.2.16. მინისგან გარდატეხის მაჩვენებლით 1.61 დაამზადეს ორმხრივამოზნექილი ლინზა ზედაპირების ერთნაირი სიმრუდის რადიუსით. წყალში ლინზის ოპტიკური ძალაა 1 დპტრ. განსაზღვრეთ ლინზის ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი.

13.2.17. ლინზა, f ფოკუსური მანძილით და r სიმრუდის რადიუსით, ჩააყენეს აკვარიუმის კედელში. წყლის გარდატეხის მაჩვენებელია n . განსაზღვრეთ ლინზიდან რა მანძილზე ფოკუსირდება სხივთა პარალელური კონა: а) აკვარიუმში შემსვლელი; ბ) აკვარიუმიდან გამომსვლელი.

13.2.18. განსაზღვრეთ მინის თხელკდელიანი R რადიუსისა და δ სიგანის სფეროს ნაწილის ფოკუსური მანძილი. მინის გარდატეხის მაჩვენებელია n .

13.2.19. ბრტყელპარალელური ფირფიტა შედგება ორი მინის α კუთხით დახრილი სიბრტყისგან. სიბრტყების გარდატეხის მაჩვენებლებია n_1 და n_2 . ფირფიტაზე ზედაპირის მართობულად ეცემა სინათლის პარალელური კონა. ფირფიტების წინ მოთავსებულია შემკრები ლინზა ფოკუსური მანძილით f . ლინზის ფოკუსურ სიბრტყეში მოთავსებულია ეკრანი. რამდენით გადაადგილდება განათებული წერტილი ეკრანზე, თუ ფირფიტას მოვაშორებთ.

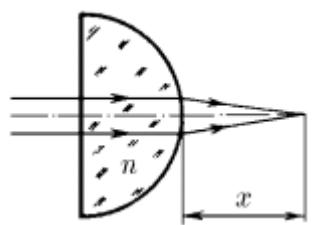
13.2.20. მინის ნახევარცილინდრის პრტყელ ზედაპირზე 45° ანი კუთხით ეცემიან ცილინდრის ღერძის მართობულ სიბრტყეში მდებარე სინათლის სხივები. ნახევარცილინდრის გვერდითა ზედაპირის რომელი ნაწილიდან გამოვლენ სინათლის სხივები? მინის გარდატეხის მაჩვენებელია n .

13.2.21. თხელი სინათლის კონა, რომელიც გადის R რადიუსის მინის ბურთის ცენტრში ფოკუსიდება ცენტრიდან $2R$ მანძილზე. განსაზღვრეთ მინის გარდატეხის მაჩვენებელი.

13.2.22. თხელკედლიან სფერულ კოლბაზე, რომელიც მოთავსებულია სითხეში, ეცემა პარალელური თხელი სინათლის კონა ისე, რომ კონის ღერძი გადის კოლბის ცენტრში. კოლბის საწინააღმდეგო მხარეს კონას აქვს კოლბაზე დაცემულ სინათლის კონაზე ორჯერ მეტი დიამეტრი. რას უდრის სითხის გარდატეხის მაჩვენებელი, რომელშიც კოლბაა ჩაძირული?

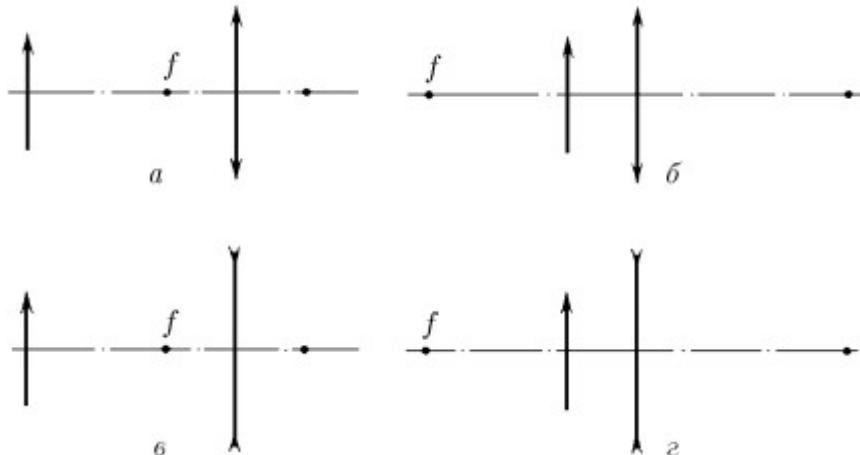
13.2.23. სინათლის თხელი კონა, რომელიც გადის n გარდატეხის მაჩვენებლიან მინის ნახევარბურთში, იკრიბება ამოზნექილი ზედაპირიდან x

მანძილზე. ნახევარბურთის ბრტყელი ზედაპირიდან რა მანძილზე იკრიბებიან სხივები, თუ კონას დავცემთ მეორე მხრიდან?

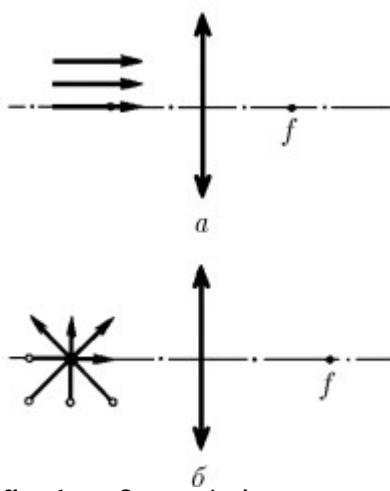


13.3 ოპტიკური სისტემები

◊13.3.1. სურათებზე ნაჩვენებია განსაზღვრულ მასშტაბში საგნებები და ლინზის ფოკუსები. ააგეთ ამ საგნებების გამოსახულებები. რას უდრის გამადიდებლობა თითოეულ შემთხვევაში?



◊13.3.2. ააგეთ ისრის გამოსახულება.

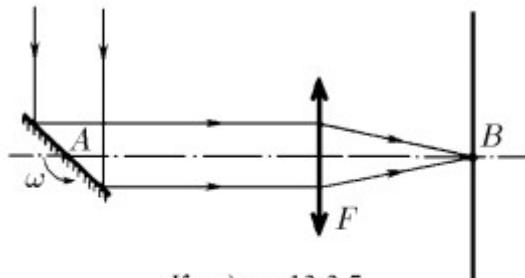


13.3.3. სინათლის წყარო მოთავსებულია ეკრანიდან 90 სმ-ზე. თხელი შემკრები ლინზა, რომელიც მდებარეობს წყაროსა და ეკრანს შორის, იძლევა წყაროს წარმოსახვით გამოსახულებას ეკრანზე ორ მდებარეობაში. განსაზღვრეთ ლინზის ფოკუსური მანძილი, თუ წარმოსახვითი გამოსახულების მომცემი ლინზების მდებარეობებს შორის მანძილი არის 30 სმ.

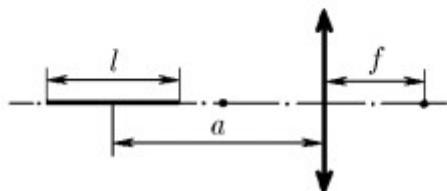
13.3.4. ლინზიდან რა მანძილზეა მოთავსებული საგანი, თუ საგანსა და მის ნამდვილ გამოსახულებას შორის მანძილი მინიმურია? ლინზის ფოკუსური მანძილია f .

◊13.3.5. შემკრები ლინზის AB ოპტიკურ ღერძზე მოთავსებულია ბრტყელი სარკე, რომელიც ბრუნავს ა კუთხური სიჩქარით ღერძის გარშემო, რომელიც გადის A წერტილზე და ნახატის სიბრტყის მართობულია. სარკეზე ეცემა პარალელური სხივთა კონა, რომელიც არეკვლის შემდეგ ფოკუსირდება ეკრანზე. ლინზის ფოკუსური მანძილია f . იპოვეთ სინათლის ლაქის სიჩქარე ეკრანზე მომენტში, როცა ისინი კვეთენ ოპტიკურ ღერძს. ეკრანის სიბრტყე იპტიკური ღერძის მართობულია.

◊ **13.3.6.** 1 სიგრძის მონაკვეთის მსგავსი საგანი მოთავსებულია f ფოკუსური მანძილის მქონე შემკრები ლინზის ოპტიკურ ღერძზე, რომელიც იძლევა ყველა მისი წერილის ნამდვილ გამოსახულებას. მონაკვეთის შუაწერტილი



К задаче 13.3.5



ლინგიდან *a* მანძილითაა დაშორებული. განსაზღვრეთ საგნის გრძივი გადიდება.

13.3.7. საგნის გამოსახულება ფოტოაპარატის მატოვურ შეშაზე ...?გამოვიდა 30 მმ სიმაღლის, ხოლო ..იპოვეთ ობიექტივის ფოკუსური მანძილი.

13.3.8. რა დროის განმავლობაში არის შესაძლებელი ფოტოაპარატის ზატვორის გახსნა ??? ფოტოგრაფიული წყალში ჩაძირვის მომენტი. ვიშკის სიმაღლეა 5 მ, ფოტოგრაფი იმყოფება პრიგუნადან 10 მ მანძილზე. აპარატის ობიექტივის ფოკუსური მანძილია 10 სმ, ???

13.3.9

13.3.10 მთვარის სურათის გადაღებისას მიიღეს r_1 რადიუსიანი დისკის მსგავსი რაზმიტოე გამოსახულება . მთვარის მეყსიერ გამოსახულებას ექნებოდა r_2 რადიუსი. განსაზღვრეთ, რა მანძილით უნდა გადავაადგილოთ ფოტოფირფიტა, რათა მასზე მივიღოთ მეყსიერი გამოსახულება. ლინზის ფოკუსური მანძილია f , დიამტრია D , ამასთან r_2 . $D/2 > r_1$. გამოსახულების აბლასტი ჩათვალეთ ფოტოფირფიტაზე სინათლის დაცემის ობლასტად.

13.3.11* ფოტოაპარატიდან 2 და 4 მეტრით დაშორებული საგნებების გაოსახულებები გამოვიდა საკმარისად ჩეტკი ოთხის ტოლი დიაფრაგმის დროს. განსაზღვრეთ რეზკოსნის საბაზოარი (რეკოსნის სიღრმე) 2 და 8-ის ტოლი დიაფრაგმების შემთხვევაში.

13.3.12 როგორ სათვალეს გამოუწერდით ახლომხედველ ადამიანს, რომელსაც შეუძლია ტექსტის წაკითხვა, რომელიც მოთავსებულია თვალიდან არაუმეტეს 20 სმ_ზე, და როგორს გამოუწერდით შორსმხედველს, რომელსაც შეუძლია ტექსტის წაკითხვა, რომელიც მოთავსებულია თვალიდან არანაკლებ 50 სმ_ზე?

13.3.13 ახლომედველია თუ შორსმხედველი ადამიანი, რომელიც

13.3.14 ცნობილია, რომ თუ მუქი ფურცლების ლისტოჩაში აკურატულად პროკოლიც პატარა ნახვრეტს, მაშინ ამ ნახვრეტში შესაძლებელია რამდენჯერმე გადიდებული მელკიე ობიექტების დანახვა. ახსენით ეს მოვლენა.

13.3.15

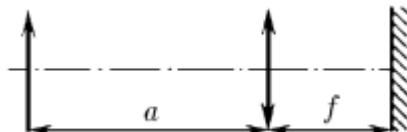
13.3.16* კონუსის ოსტრები 2α კუთხით დაიკვირვება ლინგაში ფოკუსური მანძილით f , რომელიც მოთავსებულია კონუსის წვეროდან a მანძილზე (a

$< f$). როგორი ჩანს კონუსის კუთხე ლინზაში? ლინზის ღერძი გადის კონუსის სიმეტრიის ღერძზე.

13.3.17 განსაზღვრეთ მაქსიმალური გადიდება, რომლითაც ჩანს სფერულ აკვარიუმში მოცურავე თევზი.

◊**13.3.18** ა. ლინზიდან f ფოკუსურ მანძილზე მოთავსებულია ბრტყელი სარკე. იპოვეთ, ლინზიდნ რა მანძილზე მიიღება საგნის გამოსახულება, რომელიც მდებარეობს ლინზიდან a მანძილზე.

ბ. ბრტყელ-ამოზნექილი ლინზის ბრტყელი მხარე, რომლის ფოკუსური მანძილია f , მოვერცხლეს. იპოვეთ მიღებული სარკის ფოკუსური მანძილი.



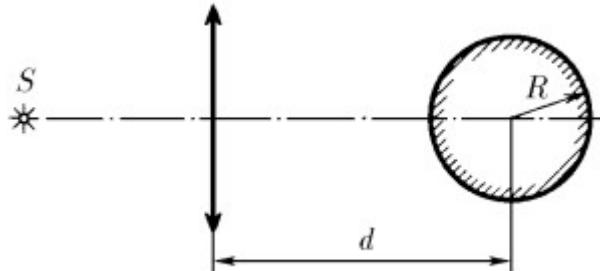
13.3.19 ორი თხელი ლინზის ფოკუსური მანძილებია f_1 და f_2 . რას უდრის ამ ორი, ერთმანეთზე მიღებული, ლინზისგან შემდგარი სისტემის ფოკუსური მანძილი? რას უდრის ამ სისტემის ოპტიკური ძალა?

13.3.20 სისტემა შედგება ორი ერთნაირი ლინზისაგან საერთო ოპტიკური ღერძით. ლინზებს შორის მანძილია l , ლინზის ფოკუსური მანძილია f . იპოვეთ სისტემის ფოკუსური მანძილი, თუ $l << f$

13.3.21. ორი ლინზა, ფოკუსური მანძილით 30 სმ, მდებარეობს 15 სმ მანძილზე ერთმანეთის გვერძე. იპოვეთ საგნის როგორი მდებარეობებისთვის იძლევა სისტემა ნამდვილ გამოსახულებას.

13.3.22 გამბნევი ლინზა ფოკუსური მანძილით 0.6 მ მოთავსებულია ისე რომ, ერთ-ერთი მისი ფოკუსი ემთხვევა ამოზნექილი სარკის პოლუსს. განსაზღვრეთ სარკის ფოკუსური მანძილი, თუ ცნობლია რომ სისტემა იძლევა საგნის შემცირებულ გამოსახულებას, რა მანძილზეც არ უნდა მოვათავსოთ საგანი ლინზის წინ. გამოსახულება იქნება სხივებით, რომლებიც მეორედ გადიან ლინზაში სარკიდან არეკვლის შემდეგ

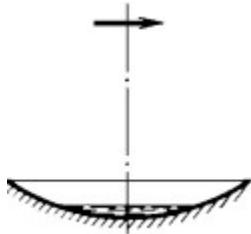
◊**13.3.23** ოპტიკური სისტემა შედგება f ფოკუსური მანძილის მქონე შემკრები ლინზისაგან და R რადიუსის სარკული ბურთისგან, რომლის ცენტრი მდებარეობს ლინზის ღერძზე და ლინზიდან დაშორებულია d მანძილით. განსაზღვრეთ ლინზიდან S წერტილოვან წყარომდე მანძილი, რომელიც მდებარეობს სისტემის ოპტიკურ ღერძზე, რომლის დროსაც წყაროს გამოსახულება



ემთხვევა თვითონ წყაროს.

◊**13.3.24***. R რადიუსის ამოზნექილი სფერული სარკე იძლევა წყაროს გამოსახულებას, რომელიც ემთხვევა თვითონ წყაროს. როდესაც სარკეში ჩაასხეს ცოტა წყალი სყაროსა და სარკეს შორის გაჩნდა წყაროდან l მანძილით

დაშორებული მეორე გამოსახულება, $|l| < R$. იპოვეთ სითხის გარდატეხის მაჩვენებელი.



13.3.25* ორი თხელი ბრტყელ-ამოზნექილი ლინზა, რომელთაგან თითოეულის ფოკუსური მანძილი ჰაერში არის f , მოთავსებულია აპარავუში ისე, რომ მათი ამოზნექილი ზედაპირები ერთმანეთს ეხება. განსაზღვრეთ ასეთი სისტემის ფოკუსური მანძილი n გარდატეხის მაჩვენებლიან სითხეში. ჩათვალეთ, რომ აპრავის შიგნით სითხე არ შედის. როგორ შეიცვლება პასუხი, თუ სითხე შევა ლინზებს შორის? მინის გარდატეხის აჩვენებელი, რომლისგანაც ლინზაა დამზადებული, არის n_0 .

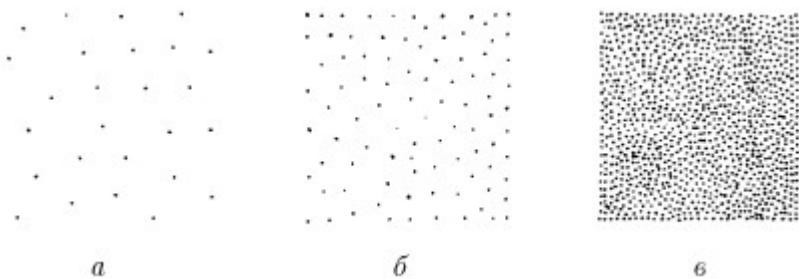
13.3.26 ტელესკოპით მიღებული მთვარის გამოსახულება, პირველ შემთხვევაში ფოკუსირდება უშუალოდ ფოტოპლენკაზე, ხოლო მეორე შემთხვევაში ფოტოგრაფირდება l სიღრმის კამერის დახმარებით, რომლის ობიექტივის ფოკუსური მანძილია f რამდენჯერ განსხვავდებიან გამოსახულებების ზომები?

13.3.27 ტელესკოპის ობიექტივის ფოკუსური მანძილია f . რამდენჯერ შეიცვლება მისი კუთხური გადიდება ობიექტებზე დაკვირვებისას, რომლებიც ტელესკოპიდან სასრულ ა მანძილზე არიან დაშორებულები?

13.3.28 მიკროკოპს აქვს f_1 და f_2 ფოკუსური მანძილების მქონე ობიექტივი და ოკულარი. რამდენჯერ შეიცვლება მიკროსკოპის გამადიდებლობა, თუ ობიექტივსა და ოკულარს შორის მანძილს l _ით გავზრდით? რამდენჯერ შეიცვლება მიკროსკოპის გამადიდებლობა, თუ ყველა ზომას, ლინზის ზომის ჩათვლით, შევცვლით k _ჯერ?

13.5. სინათლის კვანტური ბუნება

◊**13.5.1.** ფოტოფირის მგრძნობელობა \propto $E = h\nu$ და $I \propto V^2$ იმდენად დიდია, რომ ცალკეული ფოტონიც კი აჩენს მასზე შავ ლაქას. $5 \cdot 10^{-5}$ სმ ტალღის სიგრძით დასხივებისას კვადრატის სამი ფოტოსურათი მიიღეს. გამოსახულების ზომებია 10×10 სმ. პლანკის ფორმულის $E = h\nu$ ($h = 6.62 \cdot 10^{-27}$ ერგ • წმ - პლანკის მუდმივა) გამოყენებით, შეაფასეთ ფოტოფირის განათებულობა თითოეული შემთხვევისთვის. ფოტოაპარატის დაყოვნების დრო, ანუ ფოტოგრაფიული საკეტის მიერ სინათლის

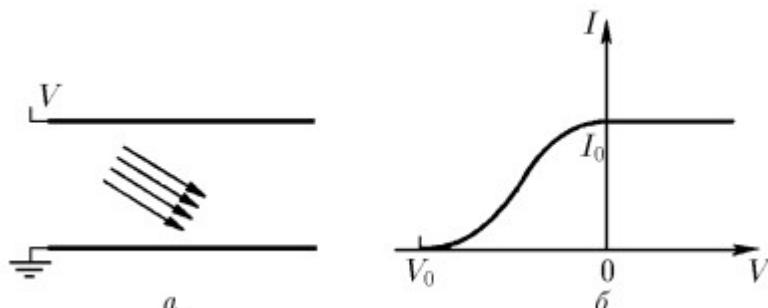


სხივების გატარება შექმენდნობიარე შრისაკენ დროის მოცემულ შუალედში, არის 10^{-9} წმ.

◊**13.5.2.** ორი პარალელური მეტალის ფირფიტა მოთავსებულია ვაკუუმში. დამინებულ ფირფიტაზე ეცემა ν სიხშირის ულტრაიისფერი გამოსხივების ნაკადი, რომელიც მისი ზედაპირიდან ამოტყორცნის ელექტრონებს. ამ ელექტრონების დენი დამოკიდებულია მეორე ფირფიტის ძაბვაზე, ისე, როგორც გამოსახულია გრაფიკზე. გრაფიკის გამოყენებით განსაზღვრეთ ამ ელექტრონების პირველი ფირფიტიდან გამოსვლის მუშაობა.

13.5.3. ელექტრონის პოზიტრონთან შეჯახებისას, ხშირია ამ ნაწილაკების ანიჭილაცია: ისინი გარდაიქმნებიან ორ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივების γ -კვანტები. რა შემთხვევაშია ამ ორი γ -კვანტის ენერგია ϵ და გრაფიკის განსაზღვრეთ ამ ელექტრონების პირველი ფირფიტიდან გამოსვლის მაქსიმალური სიხშირე?

13.5.4. ა. π - მეზონის დაშლისას წარმოიქმნება ორი ფოტონი, ϵ და ε ენერგიებით, რომლებიც ვრცელდებიან ერთმანეთის საწინააღმდეგო

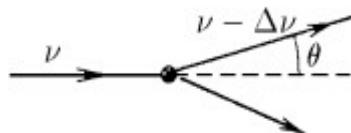


მიმართულებით. განსაზღვრეთ დაშლადი მეზონის სიჩქარე. ენერგიისა და იმპულსის კავშირს ფოტონისათვის აქვს სახე $\epsilon = pc$, სადაც c - სინათლის სიჩქარეა.

ბ. ნეიტრალური ნაწილაკის დაშლისას დააფიქსირეს ორი ფოტონი, რომლებიც ვრცელდებიან ნაწილაკის მოძრაობის მიმართულებისადმი θ_1 და θ_2 კუთხეებით. განსაზღვრეთ დაშლადი ნაწილაკის სიჩქარე.

◊13.5.5. а. v სიხშირის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების γ - კვანტმა, რომელიც შეეჯახა უძრავ ნაწილაკს, მოძრაობა გააგრძელა საწყისი მიმართულების მიმართ θ კუთხით. ამის შედეგად კვანტის სიხშირე შემცირდა $\Delta v \ll v$ სიღილით. განსაზღვრეთ ამ ნაწილაკის მასა.

ბ. v სიხშირის ფოტონი, რომელიც ეჯახება უძრავ ელექტრონს, აგრძელებს მოძრაობას საწყისი მიმართულების მიმართ θ კუთხით. განსაზღვრეთ



ფოტონის სიხშირის ცვლილება, თუ $hv \ll m_e c$.

13.5.6*. ატომები, რომლებიც v სიჩქარით მოძრაობენ, მოძრაობის მიმართულებით ასხივებენ v სიხშირის ფოტონებს. რას უდრის ფოტონების სიხშირე, რომლებიც გამოსხივდებიან: а) ატომების მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით; ბ) ატომების მოძრაობის პერპენდიკულარული მიმართულებით? ფოტონის იმპულსი ბევრად ნაკლებია ატომის იმპულსზე.

13.5.7. სინათლე, რომელიც ვარსკვლავის ზედაპირიდან გამოსხივდება, დამკვირვებელთან აღწევს გამოსხივების მომენტში მქონე სიხშირეზე ნაკლები სიხშირით. სიხშირის ცვლილება მით უფრო მეტია, რაც უფრო მასიურია ვარსკვლავი და მცირეა მისი რადიუსი. რით აიხსნება ეს ეფექტი? რატომ უწოდებენ ამ ეფექტს წითელ წანაცვლებას?

13.5.8. განსაზღვრეთ წითელი წანაცვლება ვარსკვლავისთვის, რომლის მასაა M და რადიუსი R , თუ სინათლის სიხშირე ვარსკვლავის ზედაპირზე არის v . განსაზღვრეთ წითელი წანაცვლება მზისთვის, გამოსხივების სპექტრის ხილულ ნაწილში. რა ეფექტები უშლის ხელს მზის გამოსხივებაში წითელი წანაცვლების დაფიქსირებას?

◊13.5.9*. სამყაროში დიდი მასის მქონე ნივთიერებებს შეუძლიათ დაშორებული ობიექტებიდან გამოსხივებული სინათლის ფოკუსირება, ანუ ქმნიან “გრავიტაციულ ლინზას”. შეაფასეთ ფოკუსური მანძილი ბურთის ფორმის გალაქტიკისათვის, რომლის რადიუსია $R \approx 20\ 000$ ჰს და მასაა $M \approx 3 \cdot 10^{11}$



M_ϑ (სადაც M_ϑ - მზის მასაა), ჩათვალეთ, რომ გალაქტიკაში მასა ერთგვაროვნადაა განაწილებული.

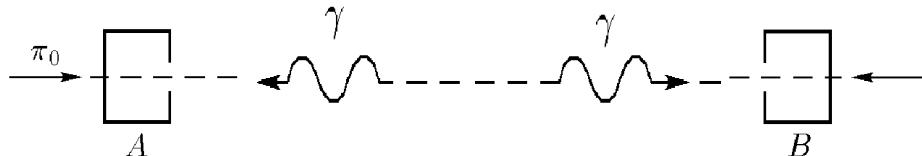
თავი 14

ფარდობითობის სპეციალური თეორია

§ 14.1. სინათლის სიჩქარის მუდმივობა. სიჩქარეთა შეკრება

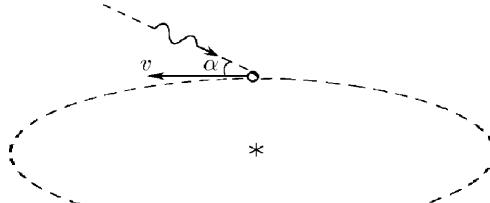
14.1.1. თვითმფრინავის მიერ არეკვლილი რადიოსიგნალი დაბრუნდა ლოკატორთან 10^{-4} წამში. რა მანძილზე იმყოფებოდა თვითმფრინავი ლოკატორიდან სიგნალის არეკვლის მომენტში?

14.1.2. A მრიცხველში π^0 მეტონის გავლიდან 10^{-8} წმ-ის შემდეგ A და B მრიცხველებმა დააფიქსირეს γ კვანტები, რომლებიც წარმოიქმნენ π^0 მეტონის დაშლის შედეგად: $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$. რა სიჩქარით მოძრაობდა π^0 მეტონი, თუ მრიცხველებს შორის მანძილი 1 მ-ია.

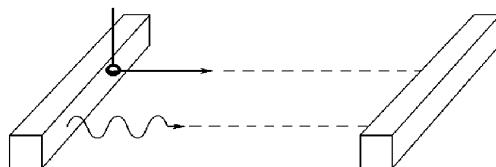


14.1.3. მნათი სხეული მოძრაობს პორიზონტალურად βc სიჩქარით. პორიზონტისადმი რა კუთხით ჩანს სხეული იმ მომენტში, როდესაც ის დამკვირვებლის თავშე იმყოფება?

14.1.4*. დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლის თვალსაზრისით შორეული ვარსკვლავის სინათლე α კუთხით ეცემა დედამიწის მოძრაობის მიმართულებას იმ მომენტში, როდესაც დედამიწა უდიდესი სიჩქარით უახლოვდება ვარსკვლავს. რამდენით შეიცვლება ეს კუთხე, როცა დედამიწის მოძრაობის მიმართულება საპირისპიროთი შეიცვლება? იპოვეთ ცვლილების კუთხის ნახევრის ტანგენსი.



14.1.5. პირველი კოსმოსური სადგურიდან მეორეზე, რომელიც პირველის მიმართ უძრავია, ერთდროულად გაიგზავნა საკვლევი ზონდი და სინათლის სიგნალი. ჰერ მეორე სადგურიდან, შემდეგ პირველიდან არეკვლილი სინათლის სიგნალი დაბრუნდა მეორე სადგურზე იმ მომენტში, როდესაც მასთან მივიდა კოსმოსური ზონდი. ზონდის რა სიჩქარეს დააფიქსირებენ ორივე სადგურზე მყოფი დამკვირვებლები? რა ფარდობით სიჩქარეს დააფიქსირებს ზონდის აპარატურა?



14.1.6*. ამოხსენით 14.1.5. ამოცანა იმ შემთხვევისათვის, რდესაც მეორე სადგურის ფარდობითი სიჩქარე პირველი სადგურის დამკვირვებლის მიმართ v -ს ტოლია. რა ფარდობითი სიჩქარე აქვს პირველ სადგურს მეორის მიმართ?

14.1.7*. ორი ერთმანეთის მიმართ უძრავი სადგურის შემაერთებელი წრფის გასწვრივ სადგურების მიმართ v სიჩქარით მოძრაობს კოსმოსური ხომალდი. ხომალდზე მყოფი დამკვირვებელი ამტკიცებს: „სადგურები თანაბრად იყო დაშორებული ჩვენი ხომალდიდან, როცა მათზე ერთდროულად დაეცა ჩვენი სინათლის სიგნალები, ვინაიდან სინათლის სიგნალები

გაშვებული იყო ერთდოულად სადგურებისაკენ და სადგურებიდან არეკვლის შემდეგ დაბრუნდნენ აგრეთვე ერთროულად". სადგურის თანამშრომლები ამტკიცებდნენ, რომ სიგნელები სხვადასხვა დროს აირეკლა სადგურებიდან. როგორ ახსნით ამ უთანხმოებას? რა განსხვავებას მიიღებდნენ ხომალდზე და სადგურზე მყოფი დამკვირვებლები, თუ სადგურებს შორის მანძილი (მათ სისტემაში) 1 -ის ტოლია? რა მანძილებზე დააფიქსირეს მათ ხომალდი სადგურებიდან სინათლის არეკვლის მომენტებში?

14.1.8. თვითმფრინავი და რაკეტა მოძრაობს ერთი წრფის გასწვრივ ერთნაირი მიმართულებით. თვითმრინავის სიჩქარე $\frac{BC}{AC}$ -ს ტოლია. თვითმფრინავიდან ერთნაირი ინტერვალებით უშვებენ სინათლის იმპულსებს. რაკეტიდან არეკვლის შემდეგ ისინი ბრუნდებიან თვითმფრინავზე ინტერვალებით, რომლებიც K-ჰერ აღმატება თვითმფრინავიდან გამოსულ იმპულსებს შორის ინტერვალს. გაიგეთ რაკეტის სიჩქარე თვითმფრინავის მიმართ თვითმფრინავიდან და დედამინიდან დაკვირვების შემთხვევებში.

14.1.9. „... კოსმოსური ობიექტი უახლოვდება დედამინას. მის შესახვედრად მოემართება ყველაზე სწრაფი კოსმოსური ლაბორატორია. „რისი ტოლია ობიექტისა და ლაბორატორიის შესვედრის სიჩქარე?“ - იკითხა დედამინაზე შესვედრის ხელმაძღვანელმა გენერალმა. „დედამინის თუ ჩვენი ლაბორატორიის მიმართ?“ - გამოეხმაურა ლაბორატორიის ოპერატორი. „რა მნიშვნელობა აქვს“ - უპასუხა გენერალმა. „ეს სიჩქარეები ერთმანეთისგან უკვე განსხვავდება 0,01%-ით, - ისმოდა კოსმოსიდან. - ჩვენ უკვე მივაღწიეთ მიახლოების 100 000 კმ/წმ სიჩქარეს ჩვენს სისტემაში და ჩვენ მას აღარ ვცვლით“. „როგორ ზომავთ სიჩქარეს?“ - იკითხა გენერალმა. „ისევე, როგორც თქვენ, დავამყარეთ პასიური კავშირი ობიექტთან. სარადარო იმპულსი მუდმივად მიემართება ჩვენსა და ობიექტს შორის, აირეკლება რა მონაცვლეობით ხან ჩვენი ლაბორატორიიდან, ხანაც ობიექტიდან. მიახლოების სიჩქარე განისაზღვრება დაბრუნებული იმპულსის დროის ცვლილების მიხედვით“. „ეს სამართლიანია, როცა სარადარო იმპულსი უახლოვდება და შორდება ლაბორატორიას სინათლის სიჩქარის ტოლი სიჩქარით, - იფიქრა გენერალმა. - მაშინ ობიექტის მიახლოების სიჩქარე განისაზღვრება მხოლოდ ორი მეტობელი დორობის ფარდობის მიხედვით. მაგრამ მათთან ასე არაა. როცა ისინი ეწევიან არეკვლილ იმპულსს, იმპულსის სიჩქარე მცირდება ლაბორატორიის სიჩქარის სიდიდით და ამდენითვე იზრდება, როცა იმპულსი მიემართება შემხვედრი მიმართულებით“. მისდაუნებურად გენერალმა კითხა ოპერატორს : „მიახლოების რა სიჩქარეს მიიღებდით თქვენ, ჩვენ რომ დედამინიდან გვეცნობებინა ჩვენს მიერ დაკვირვების შედეგად მიღებული იმპულსის სიჩქარეები ლაბორატორიის მიმართ და თქვენ გამოგეყენებინათ ეს მონაცემები იმპულსის დაბრუნების დროის მიხედვით ობიექტის სიჩქარის გამოსათვლელად? ალბათ, იმავეს, რაც ჩვენ დედამინიდან დავინახეთ“. დიას გენერალო“ - სინათლის სიჩქარით გაემართა პასუხი დედამინაზე. გენერალს გაუელვა აზრმა: „ტყუიან ფიზიკოსები. უბრალოდ არ შეუძლიათ განსაზღვრონ იმპულსის სიჩქარე. არ არის მასშტაბი. და მიიჩნევენ მას სინათლის სიჩქარის ტოლად. აქედანაა ყველა შეუთავსებლობა“. ამ ამონარიდმა ჰერ კიდევ გამოუქვეყნებელი ფანტასტიკური მოთხოვნიდან გამოიწვია შემდეგი კითხვები: რამდენად სამართლიანია გენერალი? რისი ტოლია ობიექტისა და ლაბორატორიის სიჩქარეები „დედამინის“ სისტემაში?

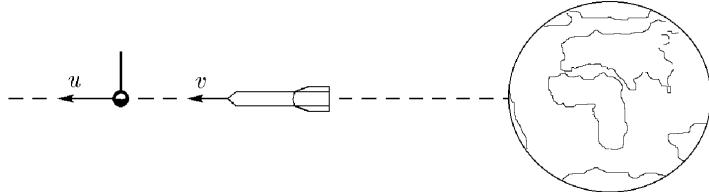
14.1.10*. ა) დედამინაზე მყოფი დამკვირვებლის მიმართ ორი შემხვედრი მომართულებით მოძრავი კოსმოსური ხომალდების სიჩქარეები და 1-ს ტოლია. აჩვენეთ, რომ ერთი ხომალდის ფარდობითი სიჩქარე მეორე ხომალდზე მყოფი დამკვირვებლის მიმართ გამოითვლება ფორმულით

$$v_1 = \frac{(u+v)}{1 + \frac{uv}{c^2}}$$

ბ) დედამინაზე მყოფი დამკვირვებლის თვალსაზრისით კოსმოსური ხომალდი შორდება დედამინას v სიჩქარით. მოძრაობის მიმართულებით ხომალდიდან გაუშვეს ზონდი. ხომალდიდან დაკვირვებით ზონდი მოძრაობს სიჩქარით. დაამტკიცთ, რომ დედამინიდან დაკვირვებით ზონდის დაშორების სიჩქარე იქნება

$$\frac{(u+v)}{1+\frac{uv}{c^2}}$$

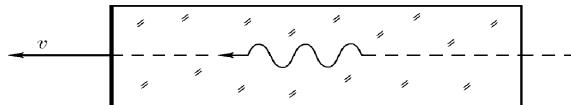
ამოხსნისას სინათლის სიჩქარე სხვადასხვა ათვლის სისტემაში ჩათვალეთ მუდმივად.



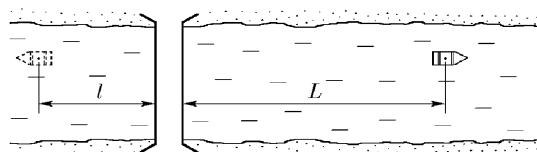
14.1.11. დედამიწის მიმართ 225 000 კმ/წმ სიჩქარით მოძრავ ფოტონურ რაკეტაზე დამონტაჟებულია ამაჩქარებელი, რომელიც უშვებს ელექტრონებს რაკეტის მოძრაობის მიმართულებით რაკეტის მიმართ 240 000 კმ/წმ სიჩქარით. რისი ტოლია „დედამიწის“ სისტემაში ელექტრონების სიჩქარე?

14.1.12. იპოვე სინათლის გავრცელების სიჩქარე უძრავად მყოფი დამკვირვებლის მიმართ, თუ სინათლის სიჩქარე ვრცელდება n გარდატეხის მაჩვენებლის გარემოში, რომელიც თავის მხრივ მოძრაობს v სიჩქარით მოძრავი დამკვირვებლის მიმართ სინათლის გავრცელების მიმართულებით.

◊**14.1.13.** / სიგრძის მინის ძელაკი მოძრაობს გრძივი მიმართულებით v სიჩქარით. ძელაკის წინა წახნაგი მოვერცხლილია. რა დრო დასჭირდება უძრავი დამკვირვებლის საათის მიხედვით ძელაკში უკანა წახნაგიდან შემავალ სინათლეს, რომ მან გაიაროს ძელაკი, აირეკლოს მოვერცხილი წახნაგიდან და გამოვიდეს ძელაკიდან? მინის გარდატეხის მაჩვენებელია n .



◊**14.1.14 ***. მენავეს ხიდის ქვეშ ჩაუვარდა ტივტივა. τ დროის შემდეგ, როცა იგი დაშრებული იყო ხიდიდან L მანძილზე, შეამჩნია დანაკარგი და მობრუნდა უკან, დაედევნა ტივტივას და დაეწია მას ხიდიდან τ მანძილზე. დრო და მანძილი მოცემულია ნაპირთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში. იპოვეთ მდინარის სიჩქარე? მიიღეთ რელატივისტური პასუხი და იქედან არარელატივისტური.

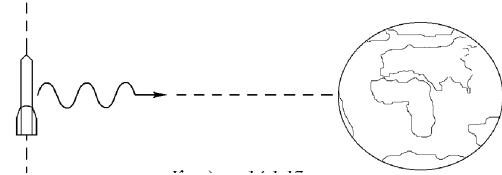


14.1.15. მოძრავი ბირთვი იყოფა ორ ტოლ ნამსხვრევად. ნამსხვრევის სიჩქარე მოძრაობის მომართულებით v -ს, ხოლო საწინააღმდეგო მიმართულებით u -ს ტოლია. განსაზღვრეთ ბირთვის სიჩქარე.

14.1.16. დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარეა v . განსაზღვრეთ რამდენჯერ შეიცვლება ამ ნაწილაკის სიჩქარე შემხვედრი მიმართულებით u სიჩქარით მოძრავი ელექტროულ ველთან შეხვედრის შემდეგ, თუ ამ შეხვედრის შემდეგ ნაწილაკი აირეკლება ველის მოძრაობის მიმართულებით?

◊**14.1.17.** დედამიწის მახლობლად v სიჩქარით მიფრინავს რაკეტა. დედამიწიდან გაგაზავნილი სინათლის სიგნალი აირეკლა რაკეტიდან, როცა იგი დედამიწიდან დაშორებული

იყო რაღაც / მინიმალურ მანძილზე. განსაზღვრეთ დედამიწაზე სიგნალის დაბრუნების დრო დედამიწიდან და რაკეტიდან დაკვირვების შემთხვევებში.

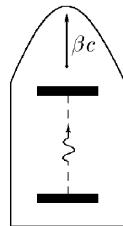


14.1.18. თუ რომელიმე ათვლის სისტემაში ფიქსირდება მოვლენა, მაგალითად, რადიაქტიური დაშლა, ნაწილაკის გაბნევა, სარკიდან სინათლის არეკვლა, მაშინ ეს მოვლენები დაფიქსირდება ათვლის ნებისმიერ სისტემაშიც. ამის გამოყენებით აჩვენეთ, რომ რომელიმე სისტემაში ერთიდამავე ადგილზე მომხდარი რაიმე მოვლენების ხანგრძლივობის შეფარდება ერთნაირია ნებისმიერი სისტემისათვის.

14.1.19. აჩვენეთ, რომ βc სიჩქარით მოძრავი რაკეტის განივი ზომები უცვლელია.

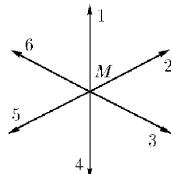
◊**14.1.20.** რაკეტაში დრო იზომება / მანძილით დაშორებულ ორი სარკეს შორის სინათლის ათინათის რხევათა რიცხვის მეშვეობით. როგორ შეიცვლება ამ საათის სვლა იმ სადგურიდან დაკვირვებისას, რომლის მიმართაც რაკეტა მოძრაობს βc სიჩქარით? აჩვენეთ, რომ თუ მოძრაობა მიმართულია სარკეების მართობულად, მაშინ სარკეებს შორის შანძილი

$$\text{შემცირდება } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - \text{ ჯერ?}$$



14.1.21. რამდენჯერ შეიცვლება ნაწილაკის v სიჩქარე μ სიჩქარით მოძრავ სისტემაში გადასვლის შემდეგ, თუ v და μ ურთიერთმართობულია?

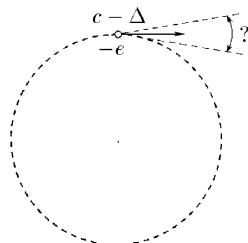
◊**14.1.22.** სურათზე გამოსახულია ერთი ათვლის სხეულიდან გამოსული ექვსი სხეულის სიჩქარეთა ვექტორები, ამ ათვლის სხეულის მიმართ. დახაზეთ ათვლის სხეულისა და სხეულების სიჩქარეთა ვექტორები 1 სეულის მიმართ, თუ სხეულები სინათლის სიჩქარით მოძრაობენ.



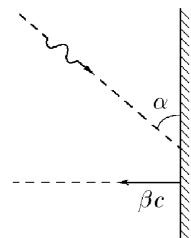
14.1.23. უძრავი რადარი უშვებს რადიალურ ელექტრომაგნიტურ λ სიგრძის ტალღებს. გამოსახუთ ეს ტალღები $v = \frac{4c}{5}$ სიჩქარით მოძრავი რადარისთვის. როგორ შეიცვლება ტალღის სიგრძე რადარის მოძრაობის იმართულებით? საპირისპირო მიმართულებით? $\frac{\pi}{2}$ -ს ტოლი კუთხით მოძრაობის მიმართულებით?

14.1.24*. ერთნაირი βc სიჩქარით მოძრავი π^0 - მეზონები იშლებიან γ - კვანტებად: $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$. იპოვეთ γ - კვანტების რა ნაწილი მოძრაობს βc სიჩქარის მიმართ $\frac{\pi}{2}$ -ზე ნაკლები კუთხით.

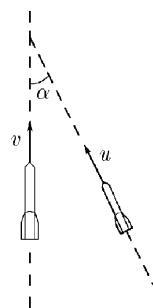
◊**14.1.25***. წრენირზე სინათლის სიჩქარესთან ახლო სიჩქარით მოძრავი ელექტრონი სინათლეს გამოასხივებს ძირითადად მოძრაობის მიმართულებით მცირე კუთხის მიღამოში. შეაფასეთ ეს კუთხე, თუ ელექტრონის სიჩქარე Δ -თი ნაკლებია სინათლის სიჩქარეზე, $\Delta \ll c$.



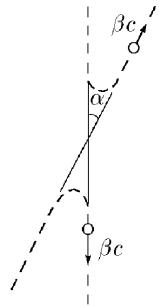
◊**14.1.26***. სარკე მოძრაობს βc სიჩქარით თავისი სიბრტყის მართობულად. რა კუთხით აირეკვლება სარკეზე α კუთხით დაცემული ფოტონი?



◊**14.1.27.** v სიჩქარით მოძრავ კოსმოსურ ხომალდთან შესახვედრად և სიჩქარით და α კუთხით ხომალდის მოძრაობის მიმართულების მიმართ იგზავნება კავშირგაბმულობის რაკეტა. განსაზღვრეთ რაკეტის სიჩქარე ხომალდის ათვლის სისტემაში.



◊**14.1.28***. βc სიჩქარით მოძრავი პროტონის გადახრის კუთხე მისი შემხვედრი მიმართულებითა და იმავე სიჩქარით მოძრავ მეორე პროტონთან დაჯახებისას α -ს ტოლია. განსაზღვრეთ პირველი პროტონის გადახრის კუთხე იმ ათვლის ისტემაში, რომელშიც მეორე პროტონი დაჯახებამდე უძრავია.



§ 14.2. მოძრავ სისტემებში დროის შენელება, სხეულთა ზომების შემცირება. ლორენცის გარდაქმნები.

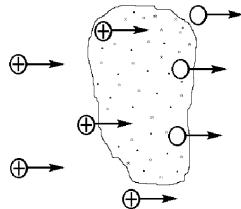
14.2.1. რამდენჯერ შემცირდება დროის მსვლელობა კოსმოსურ ხომალდში, რომელიც $140\ 000$ კმ/წმ სიჩქარით მოძრაობს?

14.2.2. უძრავი ნაწილაკის სიცოცხლის ხანგრძლივობაა τ . რა სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს ნაწილაკი, რომ გაიაროს l მანძილი?

14.2.3. μ - მეზონის სიცოცხლის ხანგრძლივობა ძალზე მცირე $- \cdot 2 \cdot 10^{-6}$ წმ-ია.

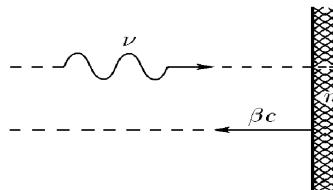
მიუხედავად ამისა 30 კმ სიმაღლეზე წარმოქმნილი μ -მეზონები აღწევენ დედამიწის ზედაპირს. იპოვეთ სინათლის სიჩქარესა და μ -მეზონის სიჩქარეს შორის განსხვავების ზედა ზღვარი.

14.2.4. პროტონები ჩქარდებიან 30 კვ ძაბვის ველში, ხოლო შემდეგ, აირადი სამიზნის გავლისას წარიტაცებენ რა ელექტრონებს, ნაწილობრივ (პრაქტიკულად დაუმუხრუქებლად) გარდაიქმნებიან წყალბადის სწრაფ ნეიტრალურ ატომებად. წყალბადის უძრავი ატომების სიხშირე ტოლია $3,2 \cdot 10^{15}$ ჰეც. რამდენჯერ შეიცვლება წყალბადის მოძრავი ატომების მიმართ მართობულად გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღების სიხშირე?



14.2.5*. ბრტყელი ელეტრომაგნიტური ტალღა ეცემა შემხვედრი მიმართულებით βc სიჩქარით მოძრავ სარკეს. როგორ შეიცვლება ელეტრომაგნიტური ტალღის სიხშირე სარკიდან ნორმალური არეკვლისას? დაცემული ტალღის სიხშირე v -ს ტოლია.

14.2.6*. განსაზღვრეთ ბრტყელი ტალღის სიხშირეთა სხვაობა დიელექტრის შიგნით და გარეთ, რომლის ბრტყელი საზღვარი მოძრაობს ტალღის შემხვედრი მიმართულებით βc სიჩქარით. ტალღის სიხშირე დიელექტრიკის გარეთ v -ს ტოლია, ხოლო ტალღის გარდატეხის მაჩვენებელი დიელექტრიკში არის n .



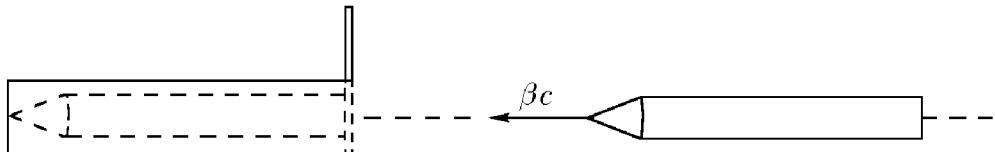
14.2.7. π^0 მეზონი თავისი დაბადების ადგილიდან დაშლის ადგილამდე l მანძილს გადის v სიჩქარით. იპოვეთ ამ ორ მოვლენას შორის დროის შეალები პროტონის სისტემაში, რომელიც μ სიჩქარით მოძრაობს π^0 მეზონის კვალდაკვალ.

14.2.8. რა დროის განმავლობაში გაივლის ფოტონი 10^5 სინათლის წლის დიამეტრის მქონე გალაქტიკას იმ კოსმოსურ ხომალდზე მყოფი დამკვირვებლის თვალსაზრისით, რომელიც კვალდაკვალ მიყვება $0,6$ სინათლის სიჩქარით მოძრავ ფოტონს?

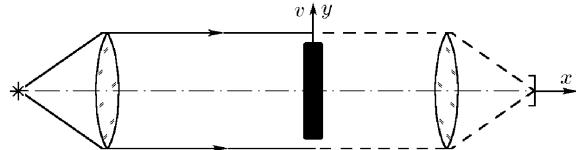
14.2.9. მიღის შეაში მოთავსებულია ნათურა. იმ ათვლის სისტემაში, სადაც მიღი უძრავია, ნათურის სინათლე მიღის ბოლოებს მიაღწევს ერთდროულად. ხოლო იმ ათვლის სისტემაში, სადაც მიღი მოძრავია μ სიჩქარით გრძივი მიმართულებით, სინათლე მიაღწევს

$$\text{დაშორებულ ბოლოს} \quad \frac{lv}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{-ით გვიან, ვიდრე უახლოესამდე. } l \quad \text{არის მიღის საკუთარი სიგრძე (მიღის სიგრძე სისტემაში, რომელშიც მიღი უძრავია). დაამტკიცეთ ეს.}$$

◊14.2.10. ფანქრის სიგრძე გრძივი βc სიჩქარით მოძრაობისას საკალმის l სიგრძის ტოლია. როდესაც ფანქარი შეფრინდება საკალმეში, საკალმის თავსახური იხურება, ხოლო ფანქარი მყისიერად ჩერდება. აღნერეთ ეს პროცესი ფანქრის სისტემაში.



◊14.2.11*. ორ ლინზას შორის შექმნილია სინათლის კონა, რომლის კვეთა წარმოადგენს R რადიუსის მქონე წრეს და მიმართულია x ღერძის გასწროვ. y ღერძის მიმართულებით v სიჩქარით მოძრაობს იგივე რადიუსის მქონე დისკო. დისკოს სიბრტყე x ღერძის მართობულია. ლაბორატორიულ სისტემაში, რომელშიც ლინზები უძრავია, მოძრავი დისკო იკუმშება მოძრაობის მიმართულებით და ამიტომაც არ შეუძლია გადაფაროს სინათლის კონა. დისკოზე მყოფი დამკვირვებლისათვის მცირდება კონის კვეთა და, თითქოს, უნდა დაიკვირვებოდეს სინათლის სრული ეკრანიზაციის მომენტი. ახსენით ეს პარადოქსი.



14.2.12*. იატაკის პარალელური ღერო ეცემა იატაკზე βc სიჩქარით. რა კუთხით ეცემა იატაკზე ეს ღერო იმ ათვლის სისტემაში, რომელიც მოძრაობს იატაკის პარალელურად βc სიჩქარით?

14.2.13. *a)* დედამინაზე მყოფი დამკვირვებლის თვალსაზრისით v სიჩქარით მოძრავ კოსმოსურ ხომალდში სინათლის სიჩქარის სიდიდე არ იცვლება, მანძილი მოძრაობის მიმართულებით მცირდება

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{-- კერ, ხოლო მართობული მიმართულებით --}$$

უძრავ ხომალდში ერთდროულად მომხდარი მოვლენები მოხდა დროის სხვადასხვა მომენტებში. დროის ცვლილება $\Delta t = \frac{y xv}{c^2}$, სადაც x არის ხომალდის მოძრაობის მიმართულებით კოორდინატთა სხვაობაა. დაამტკიცეთ, რომ ყველა ეს ეფექტი გამომდინარეობს ლორენცის გარდაქმნებიდან:

$$x' = (x - vt)\gamma, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - vx}{c^2}\gamma$$

სადაც x, y, z და t - უძრავ სისტემაში მომხდარი მოვლენების აღმნერი კოორდინატები და დროა, ხოლო x', y', z' და t' კი v სიჩქარით მოძრავ სისტემის შესაბამისი სიდიდეებია.

b) მიიღეთ ლორენცის შებრუნებული გარდაქმნები: x, y, z, t განსაზღვრეთ x', y', z' და t' -ს მეშვეობით ლორენცის გარდაქმნებიდან. აჩვენეთ, რომ მიღებული გარადაქმნები ადასტურებენ გალილეის პრინციპს.

14.2.14

14.2.15. ლორენცის გარდაქმნების მიხედვით ამოხსენით 14.2.5* და 14.2.6* ამოცანები.

14.2.16. უძრავი ატომიდან სინათლე ვრცელდება z ღერძის მიმართულებით α კუთხით. სინათლის სიხშირე v -ს ტოლია. რა კუთხით გავრცელდება სინათლე ატომის z ღერძის გასწროვ βc სიჩქარით მოძრაობისას? როგორ შეიცვლება სინათლის სიხშირე?

14.2.17. დედამიწის მიმართულებით v სიჩქარით მოძრაობს კოსმოსური ხომალდი. როცა დედამიწიდან გაზომილი მანძილი ხომალდამდე იყო l , დედამიწიდან გაუშვეს რაკეტა. რაკეტის გაშვებიდან რა დროის შემდეგ შეხვდება რაკეტა ხომალდის დედამიწაზე და ხომალდზე მყოფი დაკვირვებლების თვალსაზრისით, თუ რაკეტა მოძრაობს ხომალდის შემხვედრი მიმართულებით: ა) უ სიჩქარით? ბ*) ა აჩქარებით?

14.2.18. ა) კოსმონავტების დაკვირვებით ხომალდში მყოფი სხეული ასრულებს $\frac{\omega}{2\pi}$

სიხშირისა და A ამპლიტუდის მქონე ჰარმონიულ რხევებს $z = A \sin \omega t$ ხომალდის z ღერძის მიმართ. როგორ იქნება დაკავშირებული ამ სხეულის z' კოორდინატი დროზე დედამიწიდან დაკვირვების შემთხვევაში, თუ ხომალდი დედამიწას შორდება βc სიჩქარით?

ბ) ამოხსენით ეს ამოცანა იმ შემთხვევისთვის, როცა ხომალდში მყოფი სხეული კოსმონავტების დაკვირვებით მოძრაობს ხომალდის ღერძის მართობულად $y = A \sin \omega t$ კანონით.

§14.3. ელექტრული და მაგნიტური ველების გარდაქმნები.

14.3.1. განსაზღვრეთ მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე, ელექტრული და მაგნიტური ველები კონდენსატორში მოძრაობები თავიანთი ფირფიტების პარალელურად წც სიჩქარით, თუკონდენსატორთან ერთად მოძრავ ათვლის სისტემაში ელექტრული დაძაბულობა E-ს ტოლია. (ნაწილაკების ელემენტალური მუხტი სისტემის მოძრაობის დროს უცვლელია, მაგრამ იცვლება დაძორება მუხტებს შორის).

14.3.2*. ამოხსენით 14.3.1. ამოცანა როცა წც სიჩქარე მიმართულია α კუთხით ფირფიტების მიმართ. როგორ უკავშირდება ერთმანეთს ელექტრული დაძაბულობა და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი ამ კონდენსატორში?

14.3.3. იპოვეთ ერთგვაროვნად დამუხტელი ძაფის გასწვრივ წც სიჩქარით მოძრავი ელექტრული და მაგნიტური ველები ძაფის ათვლის სისტემაში, რომელშიც ძაფი უძრავია, თუ ძაფის მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე ρ -ს ტოლია.

14.3.4. ა) სწორ უძრავ გამტარში ელექტრონის სიჩქარე - β წ -ს ტოლია, ხოლო პროტონების სიჩქარე ნულის ტოლია. ელექტრონებისა და იონების მოცულობითი მუხტის სიმკვრივე $\pm \rho$. როგორ შეიცვლება ელექტრონების და იონების სიმკვრივე გამტარის წც სიჩქარით მოძრაობისას?

ბ) რამდენჯერ შეიცვლება მაგნიტური ველის ინდუქცია მოძრავ გამტარში?

გ) როგორ დამოკიდებულებაა მაგნიტური ველის \vec{B} ინდუქცია ელეტრული ველის \vec{E} დაძაბულობაზე?

14.3.5*. ამოხსენით 14.3.4 ამოცანა იმ შემთხვევისათვის, როცა გამტარი იმოძრავებს $\vec{\beta}_1$ სიჩქარით, $\vec{\beta}_2 = k \vec{\beta}_1$.

14.3.6. ა) დავუშვათ, რომ არსებობს ელექტრული მუხტი და მაგნიტური ველი, რომელიც ამ მუხტზე არ მოქმედებს. ამ მდგომარეობაში წც სიჩქარით მოძრაობისას მუხტი მოძრაობს წც სიჩქარით. მუხტზე მოქმედი ძალა ახალ მდგომარეობაში ნულის ტოლია, რაგდანაც მაგნიტური ველის გარდა ამ მუხტზე მოქმედებს დაძლისასალძრული ელექტრული ველი. მუხტზე მოქმედი ძალების წონასწორობის პირობის მიხედვით განსაზღვრეთ ახალ მდგომარეობაში \vec{B} მაგნიტურ ველსა და \vec{E} ელექტრულ ველს შორის კავშირი კავშირი.

ბ)



14.3.7*. ა) წც სიჩქარით მოძრაობის მდგომარეობაში, რომელშიც იყო მხოლოდ ელექტრული ველი, აღიძვრება \vec{B} ინდუქციის მაგნიტური ველი, რომელიც დაკავშირებულია \vec{E} ელექტრული ველის დაძაბულობასთან $\vec{B} = [\vec{B} \times \vec{E}]$. დაამტკიცეთ ეს დამოკიდებულება როცა ელექტრული \vec{E} ველი წც სიჩქარის მართობულია.

ბ) როგორი მაგნიტური ველი აღიძრება \vec{E} დაძაბულობის ელექტრული ველის βc სიჩქარით მოძრაობისას, თუ $\beta \ll 1, \beta = 1$?

14.3.8. ა) \vec{E} და \vec{B} ველების გარდაქმნის ფორმულას მათი βc სიჩქარით მოძრაობისას, აქვთ სახე:

$$\vec{E}' = \vec{E}_{\parallel} + \gamma(\vec{E}_{\perp} - [\vec{\beta} \times \vec{B}]) \quad , \quad \vec{B}' = \vec{B}_{\parallel} + \gamma(\vec{B}_{\perp} - [\vec{\beta} \times \vec{E}]) \quad , \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad ,$$

სადაც \vec{E}' და \vec{B}' ელექტრული და მაღნიტური ველებია საშლისას; \vec{E}_{\parallel} , \vec{E}_{\perp} და \vec{B}_{\parallel} , \vec{B}_{\perp} არის პარალელური და ვერტიკალური ელექტრული და მაგნიტური ველების მდგრენელები $c\beta$ -ს მიმართ. შეამოწმეთ ეს.

გ) ა პუნქტში მოყვანილი გარდაქმნების ფორმულების გამოყენებით ამოხსენით 14.3.1.-14.3.3, 14.3.5* ამოცანები.

დ) ა პუნქტში მოყვანილი გარდაქმნების ფორმულების გამოყენებით ამოხსენით 14.3.6ა და 14.3.7 ამოცანები.

ე) დაამტკიცეთ, რომ $\beta \rightarrow 1$ ველები \vec{E}' და \vec{B}' ურთიერთმართობულია.

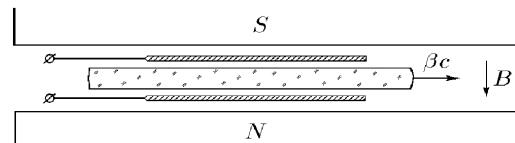
14.3.10. რამდენჯერ შეიცვლება პოტენციალთა სხვაობა და გრძელი ცილინდრული კონდენსატორის ტევადობა მის გასწვრივ βc სიჩქარით მოძრაობისას?

14.3.11. ერთგვაროვნად განაწილებული Q ზედაპირული მუხტის R რადიუსის უძრავ სფეროს მიანიჭეს βc სიჩქარე. განსაზღვრეთ მაქსიმალური ელექტრული დაძაბულობა და მინიმალური ზედაპირული მუხტის სიმკვრივე ამ მდგომარეობაში.

14.3.12*. განსაზღვრეთ βc სიჩქარით მოძრავი q მუხტის ელექტრული დაძაბულობის და მაგნიტური ინდუქციის განაწილება.

14.3.13*. კონდენსატორის უძრავ შემონაფენებს შორის βc სიჩქარით მოძრაობს ფირფიტა, რომელიც დამზადებული ϵ დიელექტრიკული შეღწევადობის მქონე ნივთიერებისაგან. ელექტრული ველის დაძაბულობა ფირფიტასა და შემონაფენებს შორის E -ს ტოლია. რისი ტოლია ელექტრული ველის დაძაბულობისა და მაგნიტური ველის ინდუქცია დიელექტრიკის შიგნით.

◊**14.3.14*.** ჩ სისქის დიელექტრიკული ფირფიტა მოძრაობს βc სიჩქარით კონდენსატორის შემონაფენებს შორის, რომელიც განიჭოლება B ინდუქციის მქონე გარე შემონაფენებისა და ფირფიტის მართობული მაგნიტური ველით. ფირფიტის ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ -ის ტოლია. განსაზღვრეთ კონდენსატორის განმხოლობებული შემონაფენების პოტენციეალთა სხვაობა.



14.3.15. რამდენჯერ შეიცვლება ბრტყელი ელეტრომაგნიტური ველის ამპლიტუდა ტალღის გავრცელების მიმართულებით βc სიჩქარით მოძრავ კოორდინატთა სისტემაში გადასვლისას?

14.3.16*. ამოხსენით 14.3.15 ამოცანა ბრტყელი ტალღის გავრცელებისას ი გარდატეხია მაჩვენებლის მქონე ელექტრულ გარემოში.

14.3.17. ვc სიჩქარით მოძავი ლითონის კედლის მერთობულად მოძრაობს ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა. რამდენჯერ შეიცვლება არეკვლისას ტალღის ამპლიტუდა?

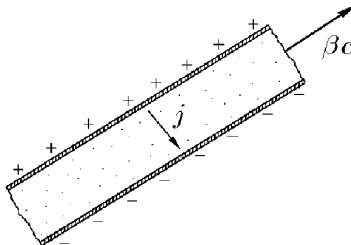
14.3.18*. ამოხსენით 14.3.17 ამოცანა როცა ელექტრომაგნიტური ტალღა ეცემა კედლს α კუთხით.

14.3.19. ელექტრონების სიჩქარე პარალელურია ვc კონისა. როგორ შეიცვლება ელექტრონების სიმკვრივე კონის მიმართ $\beta_1 c$ სიჩქარით მოძრაობისას მის გასწვრივ მოძრაობისას?

14.3.20. სწორ სადენში დენის სიმკვრივე j -ს ტოლია. როგორ შეიცვლება ეს სიმკვრივე სადენის $\beta_1 c$ სიჩქარით მის გასწვრივ მოძრაობისას? როგორი მოცულობითი მუხტი აღიძვრება სადენში?

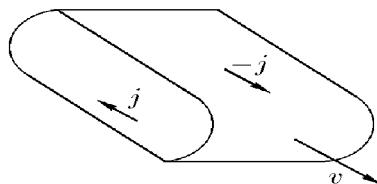
14.3.21*. შეიცვლება თუ არა დენის სიმკვრივე გამტარში მისი მოძრაობით დენის მართობულად?

◊**14.3.22.** უძრავი ბრტყელი კონდენსატორის სისქე h -ია, ხოლო დენის სიმკვრივე j . ზედაპირული მუხტისსაწყისი სიმკვრივეა σ . როგორ შეიცვლება ელექტრული ველი მისი მოძრაობით ფირფიტებისადმი პარალელურად ვc სიჩქარით?



14.3.23*. ამოხსენით 14.3.21 ამოცანა, როცა კონდენსატორი მოძრაობს ფიტფიტების მართობულად ვc სიჩქარით.

◊**14.3.24.** დენიანი გრჩელი ბტყელი სოლენოიდის მაგნიტური მომენტი M -ის ტოლია. როგორი ელექტრული მომენტი აღიძვრებაა, სოლენოიდში მისი განივი მოძრაობისას v სიჩქარით ბრტყელი ზედაპირების პარალელურად მოძრაობისას?

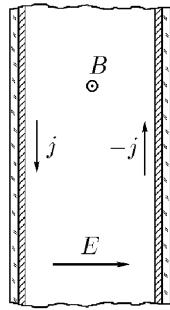


14.3.25*. ამოხსენით ამოცანა 14.3.24 წრიული გრძელი სოლენოიდისათვის.

14.3.26. ა) <... მოძრავ ელექტრონისათვის E ელექტრული ველი ექვივალენტურია დამატებითი მაგნიტური ველისა $\vec{B} = [\bar{\beta} \times \vec{E}] \gg$ (ბ. ბეტე, ე. სოლიტმერი. კვანტური მექანიკა ერთი და ორი ელექტრონით. 1960წ). ამ მტკიცებაზე დაყრდნობით განსაზღვრეთ წყალბადის ატომში ელექტრონზე მოქმედი მაგნიტური ძოძენტი#, თუ ელექტრონი შოძრაობს წრიულ ორბიტაზე.

ამოცანის ამოხსნა არ მოითხოვს რაოდენობრივ შედეგებს, აღნიშნეთ ელექტრონის მასა m_e და მუხტი e -თი.

◊14.3.27.



14.3.28*. ძაფზე დაკიდებული დამუხტულ კონდენსატორს, სავარაუდოდ, ვერ უნდა ემოძრავა ძაფთან და საკიდთან ერთად თანაბრად, თუ α კუთხე არ იქნებოდა მართობული, რამდენადაც ორი ერთად მოძრავი მუხტის მაგნიტური ურთიერთქმედების ძალა ქმნის მაბრუნებელ მომენტს. ამ მაბრუნებელი მომენტის აღმოჩენა შესაძლებელი იყო ექსპერიმენტულად, თუ ჩავთვლიდით, რომ კონდენსატორი დედამიწასთნ ერთად მოძრაობს მც სიჩქარით. ასეა თუ არა ეს?

§ 14.4. რელატივისტური ნაწილაკების მოძრაობა ელექტრულ და მაგნიტურ ველებში

◊14.4.1. გრძელ უძრავ და ერთგვაროვან ელექტრულ ველში βc სიჩქარით შემოსული ელექტრონი გადის მისგან τ დროის შემდეგ. ელექტრონის სიჩქარე მიმართულია ველის გასწვრივ. რამდენხანს იქნება ელექტრონი ველში, თუ, პირიქით, მოძრავ ელექტრონზე გაივლის ველი? ამოხსენით ეს ამოცანა ორი მეთოდით: а) დროის რელატივისტური შენელების ეფექტი; ბ) ლორენცის ფორმულით, რომლის თნახმადაც βc სიჩქარით მოძრავი ნაწილაკის მასა $m = \frac{m_i}{\sqrt{1 - \beta^2}}$, სადაც m_i ნაწილაკის უძრაობის მასაა.

14.4.2*. u სიჩქარით მოძრავ ვრცელ ერთგვაროვან ელექტრულ ველში შემხვედრი v სიჩქარით შეიქრილი ელექტრონი ველიდან გადის τ დროში. ელექტრული დაძაბულობა მიმართულია ელექტრონის მიმართულებით. გაიგეთ მისი სიდიდე.

14.4.3. უძრავი ბრტყელი კონდენსატორის ერთერთი ფირფიტა აფრქვევს ელექტრონებს, რომლებიც ამოფრქვევიდან τ დროის შემდეგ v სიჩქარით ეცემიან მეორე ფირფიტას. განსაზღვრეთ კონდენსატორის ელექტრული ველის დაძაბულობა. სივრცით მუხტსა და ელექტრონების საწყის სიჩქარეს ყურადღებას ნუ მიაქცევთ.

14.4.4. რამდენჯერ შეიცვლება ელექტრონის მოძრაობის სიჩქარე 14.4.3 ამოცანაში, თუ კონდენსატორი და ამოფრქვეული ელექტრონები მოძრაობენ u სიჩქარით: а) ფირფიტის მართობულად? ბ) ფორფიტის პარალელურად? რისი ტოლია ა) და ბ) შემთხვევებისთვის ელექტრონების სიჩქარეები მეორე ფორფიტაზე?

14.4.5. ელექტრონის სიჩქარე, რომელიც გადის ელექტრონის მოძრაობის მიმართულების E დაძაბულობის უძრავი ელექტრული ველის შემცველ უბანს, შეიცვალა $2v$ -დან v -მდე. განსაზღვრეთ ამ უბანზე ელექტრონის მოძრაობის დრო.

14.4.6*. უძრავ ელექტრონზე სინათლის სიქარით გადის E დაძაბულობის ვრცელი ელექტრული ველი. რამდენად ღრმად შეიქრება ელექტრონი ამ ველში, თუ ველი ამ ელექტრონზე მისი მოძრაობის მიმართულებით მოქმედებს?

14.4.7.უძრავი ბრტყელი კონდენსატორის ველში გამავალი ელექტრონი ღებულობს მართობულ ρ იმპულსს. ელექტრონის სიჩქარე კონდენსატორში შესვლისას βc -ს ტოლია და მიმართულია მისი ფირფიტების პარალელურად. როგორ განივ იმპულსს მიიღებს ელექტრონი, თუ პირიქით βc სიჩქარით მოძრავი კონდენსატორი გაივლის თავდაპირველად უზრავი ელექტრონის მახლობლობაში? რამდენჯერ ნაკლებია ელექტრონის მიერ პირველად მიღებული განივი იმპულსი, ვიდრე მეორე შემთხვევაში?

14.4.8. რა სიჩქარით მოძრაობს $e z$ ელექტრონი მძიმე ბირთვის ირგვლივ R წრიულ ორბიტაზე?

14.4.9*. რამდენჯერ აღემატება ელექტრული ველის მართობულად βc სიჩქარით პროტონის აჩქარება იგივე ველის მიმართულებით მოძრავი პროტონის აჩქარებას? ველის მიმართ α კუთხით?

14.4.10*. რა მაქსიმალური სიჩქარე შიძლება მიიღოს თუ უძრაობის მასისა და კაცის მეტების მეტნე ნაწილაკმა, რომელიც ნულოვანი სიჩქარით დაიბადა ცვლად სინუსოიდალურ E დაძაბულობის ამპლიტუდისა და $\frac{\omega}{2\pi}$ სიხშირის მეტნე ელექტრულ ველში.

14.4.11. ვრცელ უძრავ და ერთგვაროვან ელექტრულ ველში βc სიჩქარით ელექტრონი შეიჭრა ამ ველში I სიღრმეზე. ელექტრონების სიჩქარე მიმართულია ამ ველის გასწვრივ. რა სიღრმეზე შიჭრება ელექტრონები, თუ, პირიქით, უძრავ ელექტრონებზე გადაივლის იმავე სიჩქარის ელექტრული ველი? ამოხსენით ეს ამოცანა ორი გზით, გამოიყენეთ რა: ა) მანძილის რელავიტივისტური შემცირების ეფექტი; ბ) $A = c^2 \Delta m$.

14.4.12*. v სიჩქარით მოძარვი ელექტრონი შეიჭრა შემხვედრი მიმართულებით მოძრავ u სიჩქარით ელექტრულ ველში I სიღრმეზე. განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა, თუ იგი მიმართულია ელექტრონის სიჩქარის მიმართულებით. (მეტვება ეს ფრაზა).

14.4.13. რა დროში გაივლის $I=1A - t$ $E=10^4 V/m$ დაძაბულობის ელექტრულ ველში უსაწყისო სიჩქარით დაბადებული ელექტრონი? $(1 \frac{d}{dt} = \frac{1}{300} CGS$ დაძაბულობის ერთეული).

14.4.14. როგორი უნდა იყოს $E=10^5 V/m$ საშუალო დაძაბულობის გრძივი ამაჩქარებლის სიგრძე, რომელიც განკუთვნილია $\frac{+e}{\pi}$ -მეზონების ასაჩქარებლად $E = 10^{10} V$ ($1 eV = 1.6 \cdot 10^{-12} J$ ერგ) ენერგიამდე. რა დროში აჩქარდება ნულოვანი საწყისი სიჩქარიდან ამ ენერგიამდე $\frac{+e}{\pi}$ -მეზონი? $\frac{+e}{\pi}$ -მეზონის უძრაობის ენერგია $m^2 c^2 = 10^8 eV$, ხოლო მუხტი კი e -ს.

14.4.15. მცირე მანძილებზე ელექტრონის ველის გამოსხივების მიზნით მათ აჩქარებენ ელექტრონის უძრაობის $t_0 c^2$ ენერგიაზე $N=1000$ -ჯერ მეტად, და აკვირვებიან ორი ასეთი ელექტრონის შემხვედრ ზემოქმედებას. რამდენჯერ უნდა გაიზარდოს ელექტრონის ენერგია სეთივე ენერგიის მისაღებად, როცა ვაკვირდებით ურთიერთქმედებას მოძრავ ელექტრონსა და თავდაპირველად უძრავ ელექტრონს შორის?

14.4.16. გაივლის რა ელექტრულ კონდენსატორს $\Pi=10^6$ ევ ენერგიის პროტონი იხრება $\alpha_p = 0,1$ რად კუთხით. შეაფასეთ რა კუთხით გადაიხრება იგივე კინეტიკური ენერგიის მეტნე ელექტრონი.

14.4.17. ბრტყელი კონდენსატორის რა მინიმალური პოტენციალთა სხვაობისათვის $U=1$ მევ პოტენციალით აჩქარებული ელექტრონები ვერ აღწევენ ზედა ფირფიტას, რომლებიც შეიჭრნენ კონდენსატორში ქვედა ფირფიტის ვიწრო ხვრელში ფირფიტისადმი $\alpha = 30^\circ$ -იანი კუთხით?

14.4.18. განსაზღვრეთ პროტონებისა და ელექტრონების კინეტიკური ენერგია, რომელიც გაივლის $R=0,3$ მ რადიუსის მქონე რკალში მოხრილ მაგნიტში ინდუქციით $B=1$ ტლ.

◊**14.4.19.** მაგნიტური ველი სატელევიზიო მილში ხრის ელექტრონებს $E=2 \cdot 10^{24}$ ევ ენერგიით $\alpha=60^\circ$ -იანი კუთხით. გადამხრელი ჩარჩო მაგნიტურ ველს ქმნის $I=10$ ამპერის მილაკის უბანზე. განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია. რა შეცდომას მივიღებთ, თუ უგულებელვყოფთ მოძრაობისას ელექტრონის მასის ცვლილებას?

14.4.20. როგორი უნდა იყოს $B=1$ ტლ მაგნიტური ველის ინდუქცია წრიული შემგროვებელის რადიუსი, რომელიც განკუთვნილია $E=10^{11}$ ევ ენერგიის პროტონების შესაგროვებლად? $E=10^{11}$ ებ ენერგიის ელექტრონების შესგროვებლად?

14.4.21. განსაზღვრეთ $v=2 \cdot 10^6$ ვ პოტენციალთა სხვაობით აჩქარებული ელექტრონის ციკლოტრონული სიხშირე, $B=10$ ტლ ინდუქციის ველში.

14.4.22. რისი ტოლია მაგნიტური ველის ინდუქცია $R=6$ მ რადიუსის ტოლშემგროვებელ ბილიკებზე, თუ ამ ბილიკებზე მოძრავი ელექტრონის მასა $N=1\ 000$ -ჯერ მეტია t_e -ზე?

◊**14.4.23.** ელექტრონი იქრება βc სიჩქარით მაგნიტურ ველში ველის საზღვრისა და B ინდუქციის მართობულად. განსაზღვრეთ მაგნიტურ ველში ელექტრონის ყოფნის დრო.

14.4.24. ამოხსენით 14.4.23 ამოცანა იმ შემთხვევისათვის, მაგნიტური ველის მიდამო მოძრაობს თავისი საზღვრის პერპენდიკულარულად $\beta_1 c$ სიჩქარით.

14.4.25. განსაზღვრეთ რა მინიმალური ენერგიიას შეძლებენ $h=1000$ კმ სიმაღლეზე მყოფი ელექტრონები მოაღწიონ დედამიწის ზედაპირზე ეკვატორის მიდამოებში, თუ დედამიწის მაგნიტური ველის ინდუქცია $B = 30$ მკტლ?

◊**14.4.26.** კოსმოსური ხომალდი შემოდის დედამიწის იონოსფეროში V სიჩქარით, რომელიც გაცილებით აღემატება იონოსფეროს პროტონების სითბური მოძრაობის სიჩქარეს. რისი ტოლი უნდა იყოს პროტონებისაგან დამცავი ხომალდის შუბლა ზედაპირის მაგნიტური ეკრანული ველის მინიმალური სისქე, თუ B მაგნიტური ინდუქცია მომართულია ზედაპირის პარალელურად?

14.4.27. განსაზღვრეთ ელექტრონის კინეტიკური ენერგია, რომლიც B ინდუქციის მაგნიტურ ველში მოძრაობს R რადიუსისა და h ბიჭის ხრახნულ ხაზზე.

14.4.28. განმხოლოებულ E დაძაბულობისა და B ინდუქციის ელექტრულ ველში ასრულებს «დრეიფს» რელატივისტური ნაწილაკი ველების მართობულად. რისი ტოლია ნაწილაკის დრეიფის სიჩქარე?

14.4.19*. რისი ტოლია დამუხტული ნაწილაკის მაქსიმალური სიჩქარე განმხოლოებულ ელექტრულ და მაგნიტურ ველებში $\vec{E} \text{და } \vec{B} (\vec{E} \perp \vec{B})$, თუ მინიმალური სიჩქარე ტოლია βc ? $\beta > k = \frac{E}{B}$?

◊**14.4.30*.** ბრტყელ ანოდსა და კათოდს შორის მოდეს დიდი დაძაბულობა. სისტემა იმყოფება $B=10$ ტლ მაგნიტური ინდუქციის ველში, რომელიც ელექტროდების

პარალელურია. ანოდსა და კათოდს შორის მანძილი $h=10$ სმ. რა მინიმალურ დაძაბულობაზე მიაღწვენ ელექტრონები ანოდს?

◊**14.4.31***. ელექტრონი ბრუნავს B ინდუქციის მუდმივ მაგნიტურ ველში $\vec{B} \propto$ სიჩქარით. ირთვება $\vec{B} \propto$ -ს პარალელური \vec{E} ელექტრული ველი. განსაზღვრეთ ელექტრონის მაქსიმალური სიჩქარე რომელსაც იგი შეიძენს მკვეთ ველში.

§ 14.5. მასისა და იმპულსის შენახვის კანონი

14.5.1. M მასის უძრავი ნაწილაკი იშლება ორ γ - კვანტად. განსაზღვრეთ თითოეული γ -კვანტის მასა.

14.5.2. მზის გამოსხივების W სიმძლავრე ახლოა $4 \cdot 10^{26}$ ვტ-თან. განსაზღვრეთ წამში გამოსხივების გამო მზის მიერ დაკარგული მასა.

14.5.3. M მასის ბირთვის დაშლისას მიღებული ორი ნაწილაკის სიჩქარე სიდიდით ტოლია და რიცხობრივად უდრის BC-ს. განსაზღვრეთ თითოეული ნაწილაკის მასა, უძრაობის მასა და კინეტიკური ენერგია.

14.5.4. პროტონების შემხვედრი მიმართულებით დაჭახებისას შეიძლება დაიბადოს ნაწილაკი, რომლის უძრაობის მასა k -ჟერ მეტია პროტონის უძრაობის m_p მასაზე:

$$p = p + p \rightarrow p + p + M, \quad M = km_p.$$

განსაზღვრეთ მოძრავი პროტონების მინიმალური მასა, რომლებისთვისაც შესაძლებელია ეს რეაქცია. რისი ტოლია პროტონის მინიმალური ენერგია?

14.5.5. ელექტრონებისა და პოზიტრონების რა კინეტიკური ენერგიისათვის (მევ-ში) დაიკვირვება შემხვედრი კონების ექსპერიმენტებში პროტონულ-ნეიტრონული წყვილის დაბადება: $e^- + e^+ \rightarrow p + \bar{p}$? π^0 - მეზონის დაბადება კი $e + e^+ \rightarrow \pi^0$?

14.5.6. M მასის უძრავი ატომი შთანთქავს თ მასის ფოტონს. განსაზღვრეთ ატომის მასა და იმპულსი ფოტონის შთანთქმის შემდეგ.

14.5.7*. განსაზღვრეთ M მასის ატომის **«გამოსვლის»** სიჩქარე თ მასის ფოტონის გამოშვების შემდეგ.

14.5.8. დედამიწიდან გაშვებული ფოტონური რაკეტა დედამიწიდან დაკვირვებების მიხედვითდროისერთულებში კარგავს თ მასას. რაკეტის საწყისი მასა M -ია. როგორ იცვლიბა დროის მიხედვით რაკეტის სიჩქარე და მასა? რაკეტაზედედამიწის გრავიტაცია უგულებელყავით.

14.5.9. m_1 და m_2 მასის ორი ნაწილაკი მოძრაობენ ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით α კუთხით v_1 და v_2 სიჩქარეებით, ეთდება ერთ ნაწილკად. განსაზღვრეთ წარმონმილი ნაწილაკის მასა და სიჩქარე.

14.5.10. ბირთვულ ფზიკაში ნაწილაკების მასები იზომება ენერგეტიკულ ერთულებში, როცა თ მასის ნაცვლად მოცემულია მასა - mc^2 ($1 \text{მევ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ გ}$). განსაზღვრეთ ელექტრონის, პროტონის, π^0 - მეზონის, ψ - მეზონის მასები მევ-ებში, თუ ამ ნაწილაკების მასები შესაბამისად ტოლია: $0,91 \cdot 10^{-27}$ გ, $1,673 \cdot 10^{-24}$ გ, $2,4 \cdot 10^{-25}$ გ, $5 \cdot 10^{-24}$ გ.

14.5.12*. $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ დაშლისას წარმოქმნილი π^0 -მეზონისა და γ - კვანტის რა კინეტიკური ენერგიისათვის დაიბადება ელექტრონ-პოზიტრონული წყვილი დიდი ბირთვის დაჭახების შედეგად?

14.5.13. უძრავი ბირთვი დაშლისას უშვებს $\varepsilon_\nu = 1,73 \text{ მევ}$ ენერგიის ელექტრონს და ელექტრონის მართობილი მიმართულებით $\varepsilon_\nu = 1 \text{ მევ}$ ენერგიის ნეიტრინოს. ნეიტრინოს უძრაობის მასა ნულის ტოლია. რისი ტოლი იქნება ბირთვის კინეტიკური ენერგია, თუ მისი დარჩენილი მასა $M = 3,9 \cdot 10^{-22}$ გ-ია.