

*ძვეყანაზე, ისწავლე და მიატოვე!*

*“რამდენი უნდა იცოდეს, რომ იცოდეს რამე?”*

**იური პაპაშვილი,  
ლევან გლუჩიძე, აკაკი გიგინეიშვილი**

**სტუ-ს ოთხსაგვანო უნიკალური კურსის  
აპოკალიფი  
და  
განმარტობა**

თბილისი 2016

- ფიზიკის ფართო (ოთხ სემესტრიანი) კურსი გათვლილია ტექნიკური უნივერსიტეტის ფიზიკური სპეციალობების სტუდენტებისთვის.
- ის მიზნად ისახავს - სტუდენტი არა მარტო გაერკვეს, შეისწავლოს და შეიყვაროს მრავალი საკაცობრიო აღმოჩენებით “განებივრებული”, პერმანენტულად “გაახალგაზრდავების” გზაზე მდგომი, ასაკით უკვე 25 საუკუნის ბრძენი “მოხუცი” - ფიზიკა, არამედ, ასევე ჩამოუყალიბდეს ფიზიკური აზროვნების **განვითარების** მტკიცე საფუძვლები. თუ მოხერხდა, ალბათ, ეს იქნება კურსის მთავარი დამსახურება!
- ამ მხრივ, თეორიასთან ერთად (შეიძლება - უპირატესადაც), მნიშვნელოვანია ფიზიკის **ამოცანების** და **ტესტური დავალებების** წარმატებული გადაწყვეტის “ტექნიკის” დაუფლება.
- ვიმედოვნებთ, რომ, სათანადო ძალისხმევის შემთხვევაში, ამ გზით დაოსტატებული სტუდენტი წარმატებით დაძლევს ტესტირების და გამოცდის პერიოდულ, ლოკალურ ჯებირებსაც.
- კრებულში ამოცანების და ტესტების **სტრუქტურული განაწილება** იმეორებს თეორიული მასალის იერარქიას და, ცხადია, შესაბამისობაშია მოქმედ სილაბუსებთან.
- თითოეული თავი წარმოადგენს ამოხსნილი ამოცანების, ამოსახსნელი ამოცანების და ტესტური დავალებების თემატურ ერთობლიობას.
- მასალის წარდგენა ეფუძნება კრეატიული აზროვნების კარგად ცნობილ “იდეოლოგიას”: თემის (საკითხის) მკაფიო სტრუქტურირება, მაქსიმალური ვიზუალიზაცია და ფერების ფართო ჩართულობა.

რეცენზენტი:

**ზაურ ჯაბუა**

სტუ-ს სრული პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა  
დოქტორი

<b>I.კინემატიკა</b>	<b>005</b>
1.ამოცანები ამოხსნით	005
2.ამოცანები	009
3.ტესტები	012
<b>II.დინამიკა</b>	<b>016</b>
1.ამოცანები ამოხსნით	016
2.ამოცანები	023
3.ტესტები	027
<b>III.რხევები და ტალღები</b>	<b>030</b>
1.ამოცანები ამოხსნით	030
2.ამოცანები	032
3.ტესტები	033
<b>IV.ჰიდროაერომექანიკა</b>	<b>036</b>
1.ამოცანები ამოხსნით	036
2.ამოცანები	038
3.ტესტები	040
<b>V.მოლეკულური ფიზიკა და თერმოდინამიკა</b>	<b>043</b>
1.ამოცანები ამოხსნით	043
2.ამოცანები	046
3.ტესტები	049
<b>VI.ელექტროსტატიკა</b>	<b>052</b>
1.ამოცანები ამოხსნით	052
2.ამოცანები	055
3.ტესტები	057
<b>VII. მუდმივი ელექტრული დენი</b>	<b>059</b>
1.ამოცანები ამოხსნით	059
2.ამოცანები	062
3.ტესტები	064

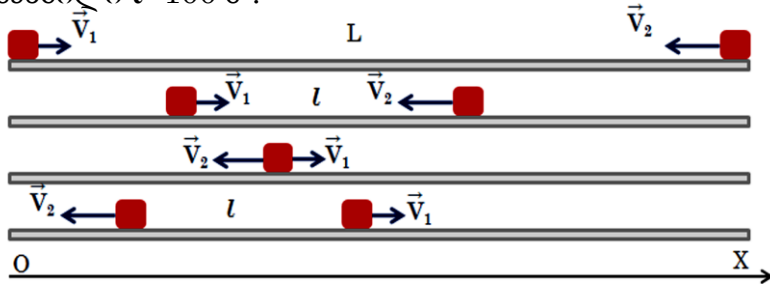
<b>VIII. მაგნეტიზმი</b>	<b>066</b>
1. ამოცანები ამოხსნით	066
2. ამოცანები	068
3. ტესტები	071
<b>IX. ცვლადი დენი</b>	<b>074</b>
1. ამოცანები ამოხსნით	074
2. ამოცანები	075
3. ტესტები	076
<b>X. ოპტიკა</b>	<b>078</b>
1. ამოცანები ამოხსნით	078
2. ამოცანები	081
3. ტესტები	082
<b>XI. ფარდობითობის და ფოტონური თეორიები</b>	<b>084</b>
1. ამოცანები ამოხსნით	084
2. ამოცანები	086
3. ტესტები	087
<b>XII. ატომი და ბირთვი</b>	<b>089</b>
1. ამოცანები ამოხსნით	089
2. ამოცანები	090
3. ტესტები	091
<b>XIII. +</b>	<b>094</b>
1. ამოცანების პასუხები	094
2. ტესტების პასუხები	099
3. ინფორმაცია (ცხრილები), რომელიც გამოგადგებათ	104

# I. კინემატიკა

“რასაც არ უნდა ვამბობდეთ, ეს არასოდეს არ შეესაბამება იმას, რისი თქმაც ჩვენ გვინდა.” Jhon Lennon

## I.1. ამოცანები ამოხსნით

1. ერთი სხეული მოძრაობს მუდმივი  $V_1=10$  მ/წმ სიჩქარით, მეორე - შემხვედრი მიმართულებით  $V_2=15$  მ/წმ სიჩქარით. საწყის მომენტში სხეულებს შორის მანძილია  $L=300$  მ. პირველი სხეულის საწყისი მდებარეობა ემთხვევა კოორდინატა სათავეს, ხოლო საკოორდინატო ღერძის მიმართულება - მისი სიჩქარის მიმართულებას. [1] დაწერეთ ორივე სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულები. [2] როდის და [3] სად შეხვდებიან ეს სხეულები ერთმანეთს? [4] რამდენი ხნის შემდეგ იქნება მათ შორის მანძილი  $l=100$  მ?

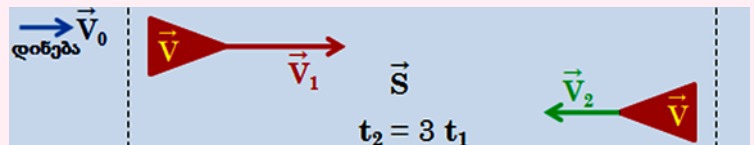


- [1]  $X_1 = V_1 t = 10t$ ;  
 $X_2 = X_0 - V_2 t = L - V_2 t = 300 - 15t$ ;
- [2] შეხვედრის მომენტში  $X_1 = X_2$   
და [1]  $\Rightarrow 10t_m = 300 - 15t_m$ ,  $t_m = 12$  წმ;
- [3] შეხვედრის ადგილს  $t_m$  დროის საფუძველზე გამოვთვლით  $X_{1m} = X_{2m} = 10t_m = 120$  მ;

[4] მოძრავ სხეულებს შორის გარკვეული  $l$  მანძილი შეიძლება ორჯერ დაფიქსირდეს - შეხვედრამდე და შეხვედრის შემდეგ. სხეულებს შორის მანძილი მათი კოორდინატების სხვაობის მოდულის ტოლია:  $|X_2 - X_1| = l \Rightarrow 300 - 15t_1 - 10t_1 = 100 \Rightarrow t_1 = 8$  წმ;  
 $10t_2 - 300 + 15t_2 = 100 \Rightarrow t_2 = 16$  წმ.

2. კატერი მდინარის დინების საწინააღმდეგოდ გარკვეული მანძილის გავლას  $n$ -ჯერ მეტ დროს ანდომებს ( $n=3$ ), ვიდრე იმავე მანძილის გავლას დინების მიმართულებით. განსაზღვრეთ კატერის სიჩქარე დამდგარ წყალში  $V$ , თუ დინების სიჩქარე  $V_0 = 5$  კმ/სთ.

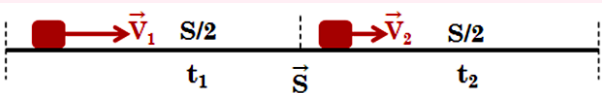
დინების მიმართულებით კატერი მოძრაობს  $V_1 = V + V_0$  სიჩქარით და  $S$  მანძილის გავლას  $t_1 = S / V_1$  დროს ანდომებს, ხოლო დინების



საპირისპიროდ შესაბამისად -  $V_2 = V - V_0$  და  $t_2 = S / V_2$ . პირობის თანახმად:

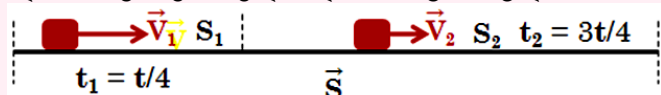
$$n = t_2 / t_1 = V_1 / V_2 = (V + V_0) / (V - V_0) \Rightarrow [(V/V_0) + 1] / [(V/V_0) - 1] = n \Rightarrow V/V_0 = (n+1)/(n-1) \Rightarrow V = V_0 (n+1)/(n-1) \Rightarrow V = 2V_0 \text{ და } V = 10 \text{ კმ/სთ.}$$

3. გზის პირველი ნახევარი ავტომობილმა გაიარა  $V_1 = 60$  კმ/სთ სიჩქარით, მეორე ნახევარი კი  $V_2 = 40$  კმ/სთ სიჩქარით. იპოვეთ საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე.



საშუალო სიჩქარე ტოლი იქნება:  
 $V_a = S/t = S/(t_1 + t_2)$ ;  $t_1 = S/2V_1$ ;  $t_2 = S/2V_2 \Rightarrow$   
 $V_a = 2V_1V_2/(V_1 + V_2)$ ;  $V_a = 48$  კმ/სთ.

4. მთელი მოძრაობის დროის 1/4 სხეულმა  $V_1 = 20$  მ/წმ სიჩქარით იარა, დანარჩენი 3/4 -  $V_2 = 10$  მ/წმ სიჩქარით. იპოვეთ საშუალო სიჩქარე მთელი დროის განმავლობაში.

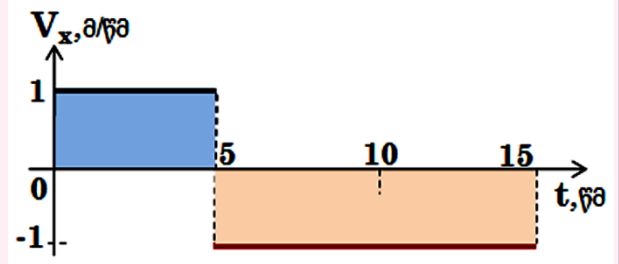


საშუალო სიჩქარე ტოლი იქნება:

$$V_a = S/t = (S_1 + S_2)/t = (V_1 t_1 + V_2 t_2)/t = [(V_1 t/4) + (3V_2 t/4)]/t = (V_1 + 3V_2)/4;$$

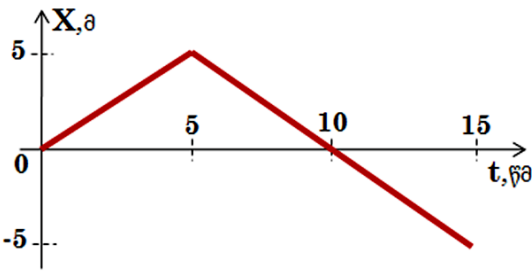
$$V_a = 12.5 \text{ კმ/სთ}$$

5. მოცემულია სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. [1] აღწერეთ მოძრაობის ხასიათი. [2] რას უდრის 15 წმ-ში შესრულებული გადაადგილების გეგმილი? [3] გადაადგილების სიდიდე? [4] გავლილი მანძილი? [5] დახაზეთ ამ მოძრაობის შესაბამისი კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი (საწყის მომენტში სხეული იმყოფებოდა კოორდინატა სათავეში).



[1] სხეული მოძრაობდა X ღერძის გასწვრივ 1 მ/წმ სიჩქარით 5 წმ-ის განმავლობაში, შემდეგ მყისიერად შემობრუნდა და კიდევ 10 წმ იძრადა X ღერძის საწინააღმდეგო მიმართულებით იმავე სიჩქარით.

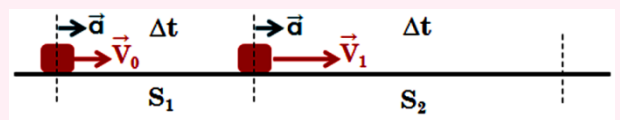
[2], [3] გადაადგილების გეგმილი სიჩქარის გრაფიკის და დროის ღერძზე საწყის და საბოლოო მომენტების შესაბამისი წერტილებიდან აღმართული მართობებით მიღებული ფიგურის ფართობის ტოლია. თუ სიჩქარის გეგმილი უარყოფითია, მაშინ შესაბამისი ფართობი უარყოფითი ნიშნით უნდა ავიღოთ. ე.ი.:



[2]  $S_x = S_{1x} + S_{2x} = 5 - 10 = -5 \text{ მ}$ ; [3]  $S = |S_x| = 5 \text{ მ}$ ;  
 [4] გავლილი მანძილის განსაზღვრისას არა აქვს მნიშვნელობა სიჩქარის გეგმილის ნიშანს:  
 $l = |S_{1x}| + |S_{2x}| = 15 \text{ მ}$ ;  
 [5] კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკს აქვს შემდეგი სახე;

6. სხეული მოძრაობს თანაბარჩქარეულად და  $\Delta t$  დროის ორ მომდევნო ტოლ შუალედში ( $\Delta t = 10 \text{ წმ}$ ) გავლილი მანძილები  $\Delta S$ -ით განსხვავდებიან ერთმანეთისგან ( $\Delta S = 200 \text{ მ}$ ). რისი ტოლია აჩქარება?

I და II მონაკვეთებზე მოძრაობას განსხვავებული საწყისი სიჩქარე ( $V_0$  და  $V_1$ ) შეესაბამებათ.

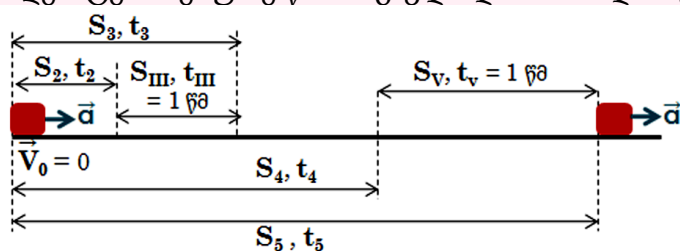


$$\Delta S = S_2 - S_1 = [V_1 \Delta t + a \Delta t^2 / 2] - [V_0 \Delta t + a \Delta t^2 / 2] = (V_1 - V_0) \Delta t$$

ცხადია,  $V_1 = V_0 + a \Delta t$  და საბოლოოდ

$$\Delta S = (V_0 + a \Delta t - V_0) \Delta t = a \Delta t^2 \Rightarrow a = \Delta S / \Delta t^2 = 2 \text{ მ/წმ}^2$$

7. სხეულმა დაიწყო თანაბარჩქარეული მოძრაობა უსაწყისო სიჩქარით. რამდენჯერ აღმატება მეხუთე წამში გავლილი მანძილი მესამე წამში გავლილ მანძილს?



მოც.:  $t_V = t_{III} = 1 \text{ წმ}$ ;  
 $t_5 = N \text{ წმ}$ ,  $t_3 = n \text{ წმ}$ ;  
 ( $N = 5$ ,  $n = 3$ )  
 $Z = S_V / S_{III} = ?$

ასეთი ტიპის ამოცანების (როდესაც, საწყისი სიჩქარე **ნულის** ტოლია) ამოხსნისას, ხშირად გამართლებულია ყველა მოძრაობა საწყისი წერტილის მიმართ განვიხილოთ (გამოირიცხება ცალეულ უბნებზე საწყისი სიჩქარის შემოტანის აუცილებლობა); მაშინ. მეხუთე (*მესამე*) წამში გავლილი მანძილი ტოლია 5 (*3*) წამში გავლილ მანძილს გამოკლებული 4 (*2*) წამში გავლილი მანძილი:

$$S_V = S_5 - S_4 = (at_5^2/2) - (at_4^2/2) = a[N^2 - (N-1)^2]/2 = a(2N-1)/2$$

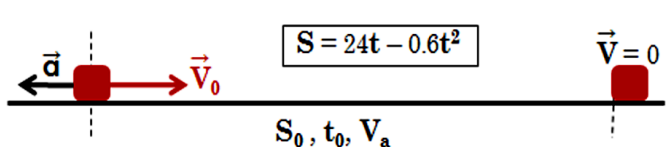
$$S_{III} = S_3 - S_2 = (at_3^2/2) - (at_2^2/2) = a[n^2 - (n-1)^2]/2 = a(2n-1)/2$$

$$Z = S_V / S_{III} = (2N-1)/(2n-1) = 9/5 = 1.8$$

ანალოგიურად მტკიცდება, რომ ყოველ მომდევნო წამში გავლილი მანძილებისთვის:

$$S_I : S_{II} : S_{III} : S_{IV} : S_V \dots = 1 : 3 : 5 : 7 : 9 \dots$$

8. თანაბრად მოძრავი სხეული იწყებს დამუხრუჭებას და გააადგილების დროზე დამოკიდებულება მოცემულია განტოლებით:  $S = 24t - 0.6t^2$ . [1] რამდენ ხანში გაჩერდება სხეული? [2] რა მანძილს გაივლის გაჩერებამდე? [3] რას უდრის საშუალო სიჩქარე?

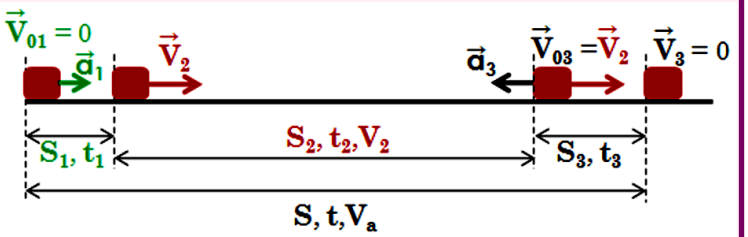


მოცემული მოძრაობის განტოლებიდან:  $V_0 = 24$  მ/წმ,  $a = 1.2$  მ/წმ<sup>2</sup>. ვინაიდან სხეული ჩერდება, საბოლოო სიჩქარე  $V = 0$ . მაშინ:

- [1]  $t_0 = (V - V_0)/(-a) = V_0/a = 20$  წმ (აქ გათვალისწინებულია:  $V_{0x} = V_0$  და  $a_x = -a$ );
- [2]  $S_0 = 24t_0 - 0.6t_0^2 = 24 \cdot 20 - 0.6 \cdot 400 = 240$  მ;
- [3]  $V_a = (V + V_0) / 2 = V_0 / 2 = 12$  მ/წმ; {საშუალო სიჩქარის გამოყენებით უფრო მარტივად გამოითვლება გაჩერებამდე გავლილი მანძილიც [2]  $S_0 = V_a t_0 = (V_0/2) t_0$ }

9. სხეულმა დაიწყო თანაბრად აჩქარებული მოძრაობა, გარკვეული სიჩქარის მიღწევის შემდეგ იმოდრავა თანაბრად, ბოლოს კი დაამუხრუჭა თანაბრად შენელებულად გაჩერებამდე. მოძრაობის მთელი დრო  $t = 15$  წთ, თანაბარი მოძრაობის დრო  $t_2 = 10$  წთ, საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე  $V_a = 5$  მ/წმ. იპოვეთ თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე  $V_2$ .

განმარტების თანახმად, საშუალო სიჩქარე  $V_a = S/t = (S_1 + S_2 + S_3)/t$ ;  
I უბანზე თანაბრაჩქარებული და III უბანზე თანაბრშენელებული მოძრაობისას შესრულებული გადაადგილებები, შესაბამისად, იქნება:

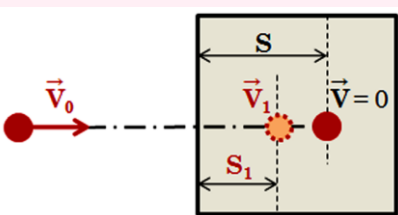


$$S_1 = (V_{01} + V_2)t_1/2 \quad \text{და} \quad S_3 = (V_{03} + V_3)t_3/2$$

პირობიდან გამომდინარე: I უბანზე საწყისი  $V_{01}$  და III უბანზე საბოლოო  $V_3$  სიჩქარეები **ნულის** ტოლია; ასევე  $V_{03} = V_2$ . მაშასადამე

$$S_1 = V_2 t_1/2, \quad S_3 = V_2 t_3/2 \quad \text{და} \quad S_1 + S_3 = V_2 (t_1 + t_3)/2. \quad \text{ცხადია, } t_1 + t_3 = t - t_2 \quad \text{და} \quad S_2 = V_2 t_2$$

$$\text{ე.ო. } V_a = (S_2 + S_1 + S_3)/t = (2V_2 t_2 + V_2 (t - t_2))/2t \Rightarrow V_2 = 2V_a t / (t + t_2) = 6 \text{ მ/წმ};$$



10.  $V_0 = 700$  მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ტყვია მოხვდა ხის ძელს და შეაღწია მასში  $S = 16$  სმ სიღრმეზე. იპოვეთ ტყვიის სიჩქარე  $S_1 = 12$  სმ სიღრმეზე.

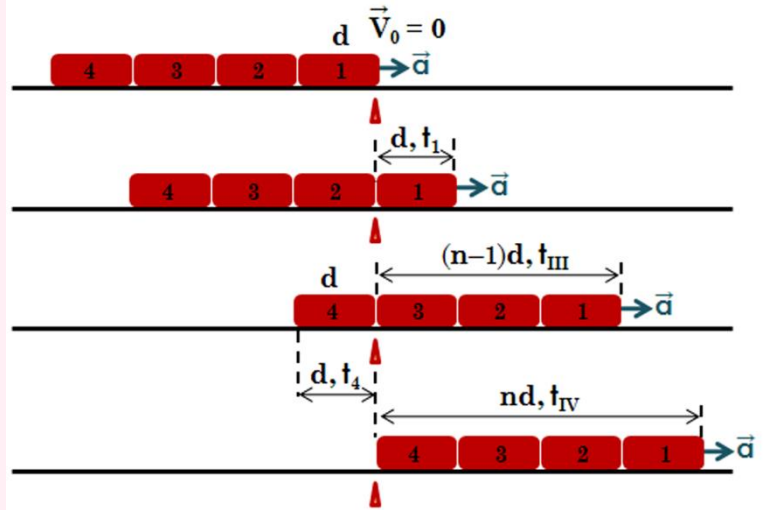
ვინაიდან საბოლოო სიჩქარე  $V = 0$

$$S = -V_0^2 / 2(-a) = V_0^2 / 2a \quad S_1 = (V_1^2 - V_0^2) / 2(-a) = (V_0^2 - V_1^2) / 2a$$

ე.ი.  $S_1 / S = (V_0^2 - V_1^2) / V_0^2 = 1 - (V_1 / V_0)^2 \Rightarrow V_1 = V_0 \sqrt{1 - (S_1 / S)} = 350 \text{ მ/წმ}$

11.მატარებელი იწყებს სადგურიდან გასვლას თანაბრად აჩქარებულად. პირველი ვაგონის დასაწყისთან მდგომ დამკვირვებელს პირველმა ვაგონმა  $t_1=6$  წმ-ში ჩაუარა. რამდენ ხანში ჩაუვლის დამკვირვებელს მეოთხე ვაგონი?(ვაგონებს შორის შუალედი უგულებელყავით).

მოც.:  $n = 4, t_1 = 6 \text{ წმ}, V_0 = 0$   
 $t_4 = ?$



ვინაიდან  $V_0 = 0$ , მოსახერხებელია მეოთხე ვაგონის ჩავლის დრო  $t_4$  წარმოვადგინოთ როგორც 4 ვაგონის ჩასავლელად  $t_{IV}$  და 3 ვაგონის ჩასავლელად  $t_{III}$  საჭირო დროთა სხვაობა  $t_4 = t_{IV} - t_{III}$  (1). ვაგონის სიგრძეა  $d$ , აჩქარება  $a$ . მაშინ:  $d = at_1^2 / 2$  (2) და  $t_{IV} = \sqrt{2nd/a}$  (3)  $t_{III} = \sqrt{2(n-1)d/a}$  (4)

{(2),(3),(4)}=>(1)  $t_4 = t_1[\sqrt{n} - \sqrt{(n-1)}] = 1.6 \text{ წმ}$ .

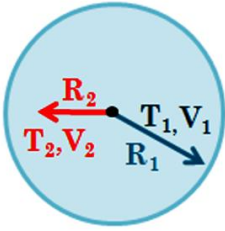
12.ნივთიერი წერტილის მიერ შესრულებული გადაადგილების დროზე დამოკიდებულება მოცემულია განტოლებით:  $S = At + Bt^2 + Ct^3$ . [1] განსაზღვრეთ  $A, B$  და  $C$  კოეფიციენტების განზომილებები. იპოვეთ: [2]  $V_1$  მყისი სიჩქარე და [3]  $a_1$  აჩქარება  $t_1 = 2$  წმ-ის შემდეგ; [4]  $V_a$  საშუალო სიჩქარე  $t_2 = 1$  წმ-დან  $t_3 = 5$  წმ დროის შუალედში. კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობებია:  $A=2, B=1.5, C=1$  {SI სისტემაში}.

[1] განტოლების მარცხენა მხარეს მდგომი სიდიდის ( $S$  გადაადგილების) განზომილებაა  $მ$ , ე.ი. მარჯვენა მხარეს მდგომი ყოველი შესაკრების განზომილებაც უნდა იყოს  $მ$ . ამიტომ:  $[A]=მ/წმ, [B]=მ/წმ^2, [C]=მ/წმ^3$ ; [2] სიჩქარე  $V_1 = dS/dt = A + 2Bt_1 + 3Ct_1^2 = 20 \text{ მ/წმ}$ ; [3] აჩქარება  $a_1 = dV/dt = 2B + 6Ct_1 = 15 \text{ მ/წმ}^2$ ; [4]  $\Delta t_{3,2}$  დროის შუალედში, საშუალო სიჩქარე  $V_a = \Delta S / \Delta t = (S_3 - S_1) / (t_3 - t_1)$ . სადაც:  $S_3 = At_3 + Bt_3^2 + Ct_3^3 = 172.5 \text{ მ}$  და  $S_1 = At_1 + Bt_1^2 + Ct_1^3 = 4.5 \text{ მ}$ . ამდენად,  $V_a = 42 \text{ მ/წმ}$ .

13.ნივთიერი წერტილი მოძრაობს  $R=0.5$  მ რადიუსის წრეწირზე და მისი კუთხური სიჩქარის დამოკიდებულება დროზე მოცემულია  $\omega = 3t$  განტოლებით. განსაზღვრეთ: [1]  $\beta$  კუთხური აჩქარება; [2]  $a_r$  ტანგენციალური აჩქარება; აგრეთვე, დროის  $t_1 = 4$  წმ მომენტში, [3]  $V_1$  წირითი სიჩქარე და [4]  $a_n$  ცენტრისკენული აჩქარება.

- [1] კუთხური აჩქარება  $\beta = d\omega / dt = 3 \text{ რად/წმ}^2$  - მუდმივია;
- [2] ტანგენციალური აჩქარება  $a_r = \beta R = 1.5 \text{ მ/წმ}^2$  - მუდმივია;
- [3] წირითი სიჩქარე  $V_1 = \omega R = 3Rt_1 = 6 \text{ მ/წმ}$ ;
- [4] ცენტრისკენული აჩქარება  $a_n = V_1^2 / R = 72 \text{ მ/წმ}^2$





14. საათის წუთების ისარი  $n = 2$ -ჯერ გრძელია საათების ისარზე. რამდენჯერ მეტია ( $x$ ) წუთების ისრის ბოლო წერტილის წირითი სიჩქარე საათების ისრის ბოლო წერტილის წირით სიჩქარეზე?

პირობის შესაბამისად  $n = R_1/R_2$ .  $T_1 = 1$  სთ არის წუთების ისრის ბრუნვის პერიოდი, ხოლო  $T_2 = 12$  სთ – საათების ისრის.

$$V_1 = 2\pi R_1 / T_1 \text{ და } V_2 = 2\pi R_2 / T_2$$

$$x = V_1 / V_2 = (R_1 T_2) / (R_2 T_1) = n (T_2 / T_1) = 24$$

15.  $R_1=12$  სმ რადიუსის წრიული ფორმის სალესი ქვა საერთო ღერძზეა წამოცმული  $R_2=10$  სმ რადიუსის შკივთან ერთად. ეს შკივი ღვედური გადაცემით უკავშირდება ძრავის ლილვზე წამოცმულ მეორე შკივს, რომლის რადიუსი  $R_3=8$  სმ. იპოვეთ სალესი ქვის კიდურა წერტილების წირითი სიჩქარე ( $V_1$ ), თუ ძრავას ლილვის ბრუნვის სიხშირე  $n_3=13$  ჰც ( $13 \text{ წმ}^{-1}$ ).

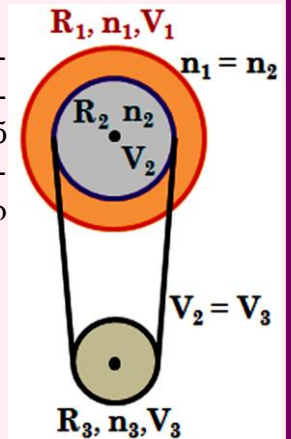
ვინაიდან  $R_1$  რადიუსის სალეს ქვას და  $R_2$  რადიუსის შკივს ერთი საერთო ბრუნვის ღერძი გააჩნიათ, ერთნაირი იქნება მათი ბრუნვის სიხშირე  $n_1 = n_2 = n$  (ასევე – პერიოდი და კუთხური სიჩქარე). ვინაიდან  $R_2$  და  $R_3$  რადიუსის შკივები ღვედური გადაცემით არიან დაკავშირებული, ტოლი იქნება მათი კიდურა წერტილების წირითი სიჩქარეები  $V_2 = V_3 = V$  (იგულისხმება, რომ ღვედი არ სრიალებს შკივებზე).

$$V_1 = 2\pi R_1 n \text{ საერთო ღერძის გამო } n = V / (2\pi R_2) \text{ ე.ი.}$$

$$V_1 = V R_1 / R_2$$

$$\text{ღვედური გადაცემის გათვალისწინებით } V = 2\pi R_3 n_3 \text{ ე.ი.}$$

$$V_1 = 2\pi n_3 R_3 R_1 / R_2 = 7.8 \text{ მ/წმ}$$



“შეუძლებელია დაეხმარო იმას, ვისაც არ სურს თავისი ცხოვრების ცვლილება.” Hippocrates

## I.2. ამოცანები

კ1. თვითმფრინავი მოძრაობს მუდმივი  $V=100$  მ/წმ სიჩქარით, რომელიც  $\varphi=30^\circ$  კუთხეს შეადგენს ჰორიზონტთან. განსაზღვრეთ სიჩქარის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გეგმილები და თვითმფრინავის სიმაღლის ცვლილება  $t=10$  წამში.

კ2. ორ ურთიერთმართობ გზატკეცილზე სხვადასხვა ( $V_1=15$  მ/წმ და  $V_2=20$  მ/წმ) სიჩქარით თანაბრად მოძრაობს ორი მანქანა. გზაჯვარედინზე ისინი ხვდებიან ერთმანეთს. რა  $L$  მანძილი იქნება მათ შორის შეხვედრიდან 10 წუთის შემდეგ?

კ3. ორი მატარებელი - სამგზავრო და სატვირთო – მოძრაობს ერთმანეთის გვერდით პარალელურ ლიანდაგებზე ერთი მიმართულებით. სამგზავრო მატარებლის სიგრძე  $L_1=400$  მ, სიჩქარე –  $V_1=80$  კმ/სთ; სატვირთოსი –  $L_2=500$  მ,  $V_2=62$  კმ/სთ. რა  $t$  დრო დასჭირდება სამგზავრო მატარებელს სატვირთო მატარებლის გადასასწრებად?

კ4. დინების მიმართულებით გემი მოძრაობს  $V_1=10$  მ/წმ, საპირისპირო მიმართულებით  $V_2=6$  მ/წმ-ით. როგორია გემის სიჩქარე ( $V$ ) უძრავ წყალში და მდინარის ( $V_0$ ) დინების სიჩქარე?

კ5. გემი მდინარის დინების მიმართულებით მოძრაობისას ორ პუნქტს შორის მანძილს გადის  $t_1=2$  სთ-ში, ტივი კი იმავე მანძილს –  $t_0=9$  სთ-ში. რა ( $t_2$ ) დროს მოანდომებს გემი უკან დაბრუნებას?

კ6. ნავის სიჩქარე წყლის მიმართ  $n$ -ჯერ მეტია მდინარის სიჩქარეზე. ორ პუნქტს შორის მანძილის გავლას მდინარის დინების საპირისპირო მიმართულებით რამდენჯერ მეტი ( $z$ ) დრო დასჭირდება დინების მიმართულებით მოძრაობის დროსთან შედარებით?

კ7. კატერს, რომელიც მიცურავს მდინარის დინების მართობულად, მდინარესთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში აქვს  $V=8$  მ/წმ სიჩქარე. რა ( $L$ ) მანძილზე წაიღებს დინება კატერს. თუ მდინარის სიგანა  $d=1$  კმ, დინების სიჩქარე კი  $V_0=2$  მ/წმ?

კ8. მეტროს ესკალატორს მასზე უძრავად მდგომი მგზავრი აჰყავს  $t_0=1$  წთ-ში. უძრავ ესკალატორზე მგზავრი ადის  $t=3$  წთ-ში. რა  $t_x$  დროში ავა მგზავრი მოძრავი ესკალატორით?

კ9. მანქანამ გზის გასავლელად საჭირო დროის ნახევრის განმავლობაში იმოძრავა მუდმივი  $V_1=16$  მ/წმ სიჩქარით, მეორე ნახევრის განმავლობაში კი -  $V_2=20$  მ/წმ მუდმივი სიჩქარით. განსაზღვრეთ მანქანის საშუალო ( $V_a$ ) სიჩქარე.

კ10. გზის I, II და III მესამედზე სხეულმა იმოძრავა, შესაბამისად,  $V_1=1$  მ/წმ,  $V_2=2$  მ/წმ და  $V_3=3$  მ/წმ სიჩქარით. იპოვეთ საშუალო ( $V_a$ ) სიჩქარე მთელ გზაზე.

კ11. გზის პირველი ნახევარი მანქანამ გაიარა  $n$ -ჯერ მეტი ( $n=2$ ) მუდმივი სიჩქარით, ვიდრე მეორე ნახევარი. საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე  $V_a=60$  კმ/სთ. იპოვეთ მანქანის სიჩქარეები გზის პირველ ( $V_1$ ) და მეორე ( $V_2$ ) ნახევარზე.

კ12. პირველი სხეულის მოძრაობის განტოლებაა  $x_1=5+2t+5t^2$ , მეორე სხეულისა –  $x_2=16-4t$ . როდის ( $t_i$ ) და სად ( $x_i$ ) შეხვდებიან ეს სხეულები ერთმანეთს?

კ13. მოცემულია სხეულის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულება:  $V=3+4t$ . იპოვეთ  $t_i=5$  წმ-ის განმავლობაში შესრულებული ( $S_i$ ) გადაადგილება.

კ14. ნივთიერი წერტილი, რომლის სიჩქარე  $V_0=15$  მ/წმ, იწყებს თანაბარჩქარეულ მოძრაობას, გადის  $S=350$  მ-ს და გზის ბოლოს აქვს სიჩქარე  $V=20$  მ/წმ. იპოვეთ ( $a$ ) აჩქარება და აჩქარებული მოძრაობის ( $t$ ) დრო.

კ15. თანაბრაჩქარებულად მოძრაობა სხეულმა  $t=10$  წმ-ში გაიარა  $S=30$  მ და ამ დროს მისი სიჩქარე გაიზარდა  $n$ -ჯერ ( $n=5$ ). იპოვეთ ( $a$ ) აჩქარება.

კ16.  $a=0.3$  მ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებით მოთხილამურემ  $S=100$  მ სიგრძის ფერდობი  $t=20$  წმ-ში გაიარა. გამოთვალეთ მოთხილამურის სიჩქარე ფერდობის თავსა ( $V_0$ ) და ბოლოში ( $V$ ).

კ17. უძრაობის მდგომარეობიდან ველოსიპედისტი პირველი  $t_1=4$  წამის განმავლობაში მოძრაობდა  $a_1=1$  მ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებით, შემდეგ  $t_2=6$  წამის განმავლობაში თანაბრად და ბოლო  $S_3=20$  მ – თანაბარშენელებულად გაჩერებამდე. იპოვეთ საშუალო ( $V_a$ ) სიჩქარე ამ გზაზე.

კ18. უძრავი მატარებელი იწყებს თანაბრაჩქარებულ მოძრაობას. გზის I კმ-ზე სიჩქარე გაიზარდა  $V_1=10$  მ/წმ-ით. რამდენით გაიზრდება სიჩქარე ( $\Delta V_2$ ) II კმ-ზე?

კ19. სხეულმა დაიწყო მოძრაობა თანაბრაჩქარებულად და პირველ  $t_1=5$  წამში  $S_1=50$  მ გაიარა. რა ( $S_2$ ) მანძილს გაივლის სხეული მომდევნო  $t_2=5$  წამში?

კ20. უსაწყისო სიჩქარით თანაბრაჩქარებული მოძრაობისას სხეული მეოთხე წამში გადის  $S_{IV}=0.14$  მ-ს. რა მანძილს ( $S_X$ ) გაივლის სხეული მოძრაობის მეათე წამში?

კ21. ნივთიერი წერტილის მიერ შესრულებული გადაადგილების დამოკიდებულება დროზე მოცემულია განტოლებით:  $S = At - Bt^2 + Ct^3$ , სადაც  $A=2$  მ/წმ,  $B=1$  მ/წმ<sup>2</sup>,  $C=40$  მ/წმ<sup>3</sup>. განსაზღვრეთ: [1] სიჩქარის  $V(t)$  და აჩქარების  $a(t)$  დამოკიდებულება დროზე; [2]  $S_1$  გადაადგილება,  $V_1$  სიჩქარე და  $a_1$  აჩქარება მოძრაობის დაწყებიდან  $t_1=2$  წმ-ის შემდეგ.

კ22. საათის წუთის ისარი  $m$ -ჯერ ( $m=1.5$ ) გრძელია საათის ისარზე. რამდენჯერ ( $z$ ) განსხვავდება წუთის ისრის ბოლო წერტილის წირითი სიჩქარე საათის ისრის ბოლო წერტილის წირითი სიჩქარისაგან?

კ23. თვითმფრინავის საჰაერო ხრახნის ბრუნვის სიხშირეა  $n=25$  ჰც. რამდენ ბრუნს ( $N$ ) აკეთებს ხრახნი  $L=90$  კმ მანძილზე, თუ ფრენის სიჩქარეა  $V=50$  მ/წმ?

კ24. განსაზღვრეთ დედამიწის სიჩქარის ( $V$ ) მოდული მზის გარშემო მოძრაობისას, თუ მზემდე მანძილი  $R=15 \cdot 10^7$  კმ-ია.

კ25.  $D=0.4$  მ დიამეტრის რგოლი  $t=1$  წუთში  $N=600$  ბრუნს აკეთებს. განსაზღვრეთ რგოლის ბრუნვის ( $T$ ) პერიოდი და მისი წერტილების წირითი სიჩქარის ( $V$ ) მოდული.

კ26. კორიზონტალურ გზატკეცილზე მოდულით  $V=20$  მ/წმ სიჩქარით და ცენტრისკენული  $a_c=0.8$  მ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებით წრეწირის რკალზე უხვევს მანქანა. განსაზღვრეთ მოსახვევის სიმრუდის ( $R$ ) რადიუსი.

კ27.ნივთიერი წერტილის კოორდინატები სიბრტყეზე იცვლება დროის მიხედვით შემდეგი კანონით:  $x=A\cos\omega t$ ,  $y=A\sin\omega t$ , სადაც  $A$  და  $\omega$  მუდმივი სიდიდეებია. [1] განსაზღვრეთ  $V_x$ ,  $V_y$  სიჩქარისა და  $a_x$ ,  $a_y$  აჩქარების გეგმილების დროზე დამოკიდებულება, [2] დაწერეთ ტრაექტორიის განტოლება.

კ28.ნივთიერი წერტილი მოძრაობს  $R=0.2$  მ რადიუსის წრეწირზე მუდმივი  $a_r = 5$  მ/წმ<sup>2</sup> ტანგენციალური აჩქარებით. მოძრაობის დაწყებიდან რამდენი ( $t$ ) წამის შემდეგ გაუტოლდება ცენტრისკენული აჩქარება ტანგენციალურს ( $a_n = a_t$ )?

კ29.ნივთიერი წერტილი მოძრაობს  $R=2$  სმ რადიუსის წრეწირზე.  $L(t)$  გავლილი გზის დამოკიდებულება დროზე მოცემულია განტოლებით:  $L = Ct^3$ , სადაც კოეფიციენტი  $C=0.1$  სმ/წმ<sup>3</sup>. განსაზღვრეთ  $a_n$  ნორმალური და  $a_t$  ტანგენციალური აჩქარება დროის იმ მომენტში, როცა წირითი სიჩქარე  $V=0.3$  მ/წმ.

*"თქვენ უფრო ჭკვიანი ხართ ვიდრე ფიქრობთ, და უფრო კრეატიული, ვიდრე შეგიძლიათ წარმოიდგინოთ."* Joys Wyckoff

### I.3.ტესტები

კ1.I სხეულის მოძრაობის განტოლებაა  $x_1=5+5t$ , II-სა -  $x_2=50-4t$ ; ეს სხეულები ერთმანეთს შეხვდებიან წერტილში, რომლის კოორდინატია ( $x_m$ ):

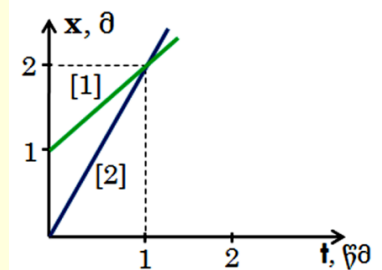
- ა) 55 მ; ბ) 45 მ; გ) 30 მ; დ) არ შეხვდებიან ერთმანეთს.

კ2.I სხეულის მოძრაობის განტოლებაა  $x_1=10+5t$ , II სხეულის -  $x_2=20+6t$ ; ეს სხეულები ერთმანეთს შეხვდებიან ( $t_m$ ):

- ა) 10 წმ-ის შემდეგ; ბ) 30 წმ-ის შემდეგ; გ) 30/11 წმ-ის შემდეგ; დ. არ შეხვდებიან.

კ3.მოცემულია ორი სხეულის კოორდინატების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები. I სხეულის სიჩქარე II-ის სიჩქარეზე ( $Z = V_1 / V_2$ ):

- ა) 2-ჯერ მეტია;  
 ბ) 2-ჯერ ნაკლებია;  
 გ) ტოლია;  
 დ) მონაცემები არაა საკმარისი.



კ4.სხეულმა მთელი დროის ნახევარი იარა მუდმივი  $V_1=10$  მ/წმ სიჩქარით, მეორე ნახევარი -  $V_2=6$  მ/წმ მუდმივი სიჩქარით. საშუალო სიჩქარე ( $V_a$ ) მთელ გზაზე იქნება:

- ა) 8 მ/წმ; ბ) 16 მ/წმ; გ) 7,5 მ/წმ; დ) 15 მ/წმ.

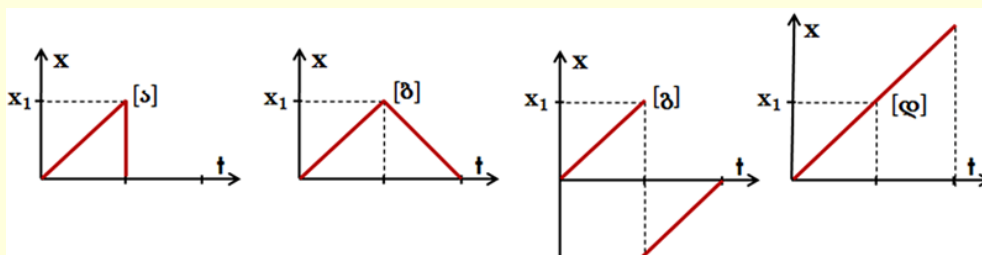
კ5.სხეულმა მთელი გზის ნახევარი იარა  $V_1=10$  მ/წმ სიჩქარით, ხოლო მეორე ნახევარი  $V_2=6$  მ/წმ სიჩქარით. საშუალო სიჩქარე ( $V_a$ ) მთელ გზაზე იქნება:

- ა) 8 მ/წმ; ბ) 16 მ/წმ; გ) 7,5 მ/წმ; დ) 15 მ/წმ.

კ6.სხეული უძრაობის მდგომარეობიდან ( $V_0=0$ ) იწყებს თანაბარჩქარებულ მოძრაობას და პირველ წამში ( $t_I=1$  წმ) გადის  $S_I=2$  მ-ს. მეორე წამში ( $t_{II}=1$  წმ) სხეულის მიერ გავლილი მანძილი ( $S_{II}$ ) იქნება:

- ა) 3 მ; ბ) 4 მ; გ) 6 მ; დ) 8 მ.

კ7.სხეულმა A-დან B წერტილამდე იმოდრავა მუდმივი სიჩქარით, მყისიერად შემოტრიალდა და იმავე სიჩქარით დაბრუნდა A წერტილში. ამ მოძრაობისთვის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი იქნება (A წერტილი ემთხვევა კოორდინატთა სათავეს):

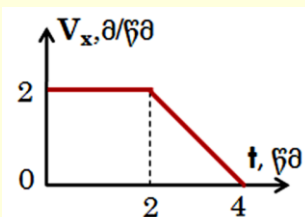


კ8.ორი სხეული მოძრაობს თანაბარჩქარებულად. I სხეულის სიჩქარე  $\Delta t_1=3$  წმ-ში  $\Delta V_1=12$  მ/წმ-ით გაიზარდა, II სხეულის -  $\Delta t_2= 5$  წმ-ში  $\Delta V_2=25$  მ/წმ-ით. I სხეულის აჩქარება II სხეულის აჩქარებაზე ( $Z=a_1/a_2$ ):

- ა) 1,5-ჯერ მეტია; ბ) 1,25-ჯერ ნაკლებია; გ) 1,25-ჯერ მეტია; დ) ტოლია.

კ9.მოცემულია სხეულის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. გავლილი გზა (S) და საშუალო ( $V_a$ ) სიჩქარე იქნება:

- ა) 8 მ და 2 მ/წმ; ბ) 6 მ და 2 მ/წმ;  
გ) 6 მ და 1,5 მ/წმ; დ) 3 მ და 0,75 მ/წმ;



კ10.სხეული უძრაობის მდგომარეობიდან იწყებს ( $V_0=0$ ) თანაბარჩქარებულ მოძრაობას და  $S_1=10$  მ-ის გავლის შემდეგ ანვითარებს  $V_1=5$  მ/წმ სიჩქარეს. მისი სიჩქარე ( $V_2$ )  $S_2=40$  მ-ის გავლის შემდეგ იქნება:

- ა) 25 მ/წმ; ბ) 20 მ/წმ; გ) 15 მ/წმ; დ) 10 მ/წმ.

კ11.  $V_0=36$  კმ/სთ სიჩქარის მქონე ავტომობილმა ძრავის გამორთვის შემდეგ მოძრაობა გააგრძელა თანაბარჩქარებულად და  $t=1$  წთ-ში გაჩერდა. ამ დროში მის მიერ გავლილი მანძილი (S) იქნება:

- ა) 240 მ; ბ) 300 მ; გ) 360 მ; დ) 600 მ.

კ12.სხეული მისრიალებს ყინულზე და მისი კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება მოცემულია განტოლებით:  $x=16t-2t^2$ . ეს სხეული გაჩერდება ( $t$ ):

- ა) 10 წმ-ში; ბ) 8 წმ-ში; გ) 6 წმ-ში; დ) 4 წმ-ში.

კ13.სხეული მისრიალებს ყინულზე და მისი კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება მოცემულია განტოლებით:  $x=16t-2t^2$ . ეს სხეული გაჩერებამდე გაივლის:

- ა) 32 მ-ს; ბ) 36 მ-ს; გ) 40 მ-ს; დ) 64 მ-ს.

კ14.I სხეულის მოძრაობის განტოლებაა  $x_1=3t^2+5t+2$ , II სხეულის -  $x_2=3t$ . რა დროის შემდეგ ( $t$ ) შეხვდებიან ეს სხეულები ერთმანეთს:

- ა) 0,1 წმ; ბ) 1 წმ; გ) 2 წმ; დ) არ შეხვდებიან.

კ15. $V_1=5$ მ/წმ სიჩქარით მოძრავმა მანქანამ დაამუხრუჭა და გაჩერებამდე  $S_1=2$  მ გაიარა. რა მანძილს ( $S_2$ ) გაივლიდა, მისი სიჩქარე  $V_2=20$  მ/წმ რომ ყოფილიყო?

- ა) 25 მ; ბ) 32 მ; გ) 16 მ; დ) 4 მ.

კ16.ტყვია, რომლის სიჩქარეა  $V_0=600$  მ/წმ, ხვდება  $d=4.5$  სმ სისქის ფიცარს, ხვრეტს მას  $t=10^{-4}$  წმ-ის განმავლობაში და აგრძელებს მოძრაობას. როგორია ტყვიის ( $V$ ) სიჩქარე ფიცრიდან გამოსვლის მომენტში (მოძრაობა ფიცარში თანაბარშენელებულია)?

- ა) 450 მ/წმ; ბ) 300 მ/წმ; გ) 900 მ/წმ; დ) 150 მ/წმ.

კ17.ტყვია  $V_0=400$  მ/წმ სიჩქარით შეიჭრა მიწაყრილში და გაჩერებამდე  $S=50$  სმ გაიარა. როგორი იყო მიწაყრილში მოძრაობის ( $t$ ) დრო და ( $a$ ) აჩქარება?

- ა)  $2.5 \cdot 10^{-3}$  წმ,  $1.6 \cdot 10^5$  მ/წმ<sup>2</sup>; ბ)  $5 \cdot 10^{-3}$  წმ,  $0.4 \cdot 10^5$  მ/წმ<sup>2</sup>;  
გ)  $1.25 \cdot 10^{-3}$  წმ,  $3.2 \cdot 10^5$  მ/წმ<sup>2</sup>; დ)  $8 \cdot 10^{-3}$  წმ,  $0.2 \cdot 10^5$  მ/წმ<sup>2</sup>.

კ18.კარუსელის ბაქნის ბრუნვის პერიოდია  $T=4$  წმ. იპოვეთ ბაქნის იმ წერტილების წირითი სიჩქარე ( $V$ ), რომელთა დაშორება ბრუნვის ღერძიდან  $R=2$  მ-ია.

- ა) 6.28 მ/წმ; ბ) 1.57 მ/წმ; გ) 3.14 მ/წმ; დ) 0.5 მ/წმ.

კ19.იპოვეთ ჯალამბრის დოლის ბრუნვის სიხშირე ( $n$ ), თუ მისი დიამეტრი  $D=16$  სმ-ია და ტვირთის აწევის სიჩქარეა  $V=0.4$  მ/წმ.

- ა) 0.008 ჰც; ბ) 1.6 ჰც; გ) 0.8 ჰც; დ) 0.4 ჰც.

კ20.დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის წრიული ორბიტის რადიუსის ოთხჯერ გადიდებისას ( $R_2=4R_1$ ) ბრუნვის პერიოდი რვაჯერ იზრდება ( $T_2=8T_1$ ). რამდენჯერ შეიცვლება თანამგზავრის ორბიტაზე მოძრაობის სიჩქარე ( $Z=V_2/V_1$ )?

- ა) 2-ჯერ; ბ) 0.5-ჯერ; გ) 0.25-ჯერ; დ) არ შეიცვლება.

კ21.რა (V) სიჩქარით უნდა გაიაროს მანქანამ  $R=40$  მ ამოზნექილი ხიდის შუა ადგილი, რომ ცენტრისკენული აჩქარება იყოს  $a_c = 10$  მ/წმ<sup>2</sup>?

- ა) 20 მ/წმ; ბ) 400 მ/წმ; გ) 10 მ/წმ; დ) 50 მ/წმ.

კ22.ორი ნივთიერი წერტილი მოძრაობს  $R_1$  და  $R_2$  რადიუსის წრეწირებზე ( $R_1=2R_2$ ). შეადარეთ მათი ცენტრისკენული აჩქარებები ( $Z=a_{c1}/a_{c2}$ ), შესაბამისად  $T_1$  და  $T_2$  პერიოდებისას ( $T_1=2T_2$ ).

- ა) 0.5; ბ) 1; გ) 2; დ) 4.

კ23.წრფივად მოძრავი ნივთიერი წერტილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება მოცემულია განტოლებით:  $x = 2+3t-2t^2+t^3$ . რამდენჯერ მეტი  $Z = V_3 / V_1$  იქნება მისი სიჩქარე  $t_3 = 3$  წამის შემდეგ, მის სიჩქარეზე  $t_1 = 1$  წამის შემდეგ?

- ა) 2; ბ) 3; გ) 9; დ) 12.

კ24.ნივთიერი წერტილი თანაბრად მოძრაობს  $R = 0.2$  მ რადიუსის წრეწირზე  $\omega = 5$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით. მისი  $a_c$  ცენტრისკენული და  $a_t$  ტანგენციალური აჩქარებები, შესაბამისად, იქნება:

- ა) 10 მ/წმ<sup>2</sup>, 2 მ/წმ<sup>2</sup>; ბ) 5 მ/წმ<sup>2</sup>, 0; გ) 1 მ/წმ<sup>2</sup>, 2 მ/წმ<sup>2</sup>; დ) 0, 5მ/წმ<sup>2</sup>.

კ25.ბორბალი მუხრუჭდება თანაბარშენელებულად და მისი ბრუნვის სიხშირე  $\Delta t = 1$  წუთში შემცირდა  $n_1 = 300$  ბრ/წთ-დან  $n_2 = 180$  ბრ/წთ-მდე. ბორბლის  $\beta$  კუთხური აჩქარებაა:

- ა) 0.03 რად/წმ<sup>2</sup>; ბ) -0.03რად/წმ<sup>2</sup>; გ) -0.21რად/წმ<sup>2</sup>; დ) 0.21 რად/წმ<sup>2</sup>.

კ26.ლილვი, რომელიც ბრუნავს მუდმივი  $n = 180$  ბრ/წთ სიხშირით, იწყებს დამუხრუჭებას თანაბარშენელებულად  $\beta = 3$  რად/წმ<sup>2</sup> კუთხური აჩქარებით. რამდენ ხანში ( $\Delta t$ ) გაჩერდება ლილვი?

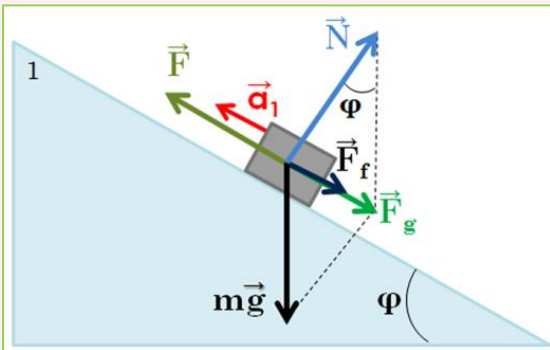
- ა) 6.28 წმ; ბ) 60 წმ; გ) 1 წმ; დ) 10 წმ.

## II. დინამიკა

“შენ საკმარისი ცოდნა არასდროს გეცნება, თუ საკმარისზე მეტი არ გეცოდინება.” William Blake

### II.1. ამოცანები ამოხსნით

1.  $m=1$  კგ მასის ძელაკზე მოქმედებს დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ზევით მიმართული  $F=20$  ნ ძალა. სიბრტყის დახრის კუთხე  $\varphi = 30^\circ$ , ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკსა და სიბრტყეს შორის  $\mu = 0.2$ . [1] იპოვეთ ძელაკის აჩქარება; [2] როგორი გახდება აჩქარება, თუ ეს ძალა მიმართული იქნება დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ქვევით? [3] როგორი გახდება აჩქარება, თუ ეს ძალა ნულის ტოლია?



[1] მივმართოთ X ღერძი დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ზევით, Y ღერძი - სიბრტყის მართობულად და დავაგეგმილოთ სხეულზე მოდებული ძალების ვექტორები ამ ღერძებზე:

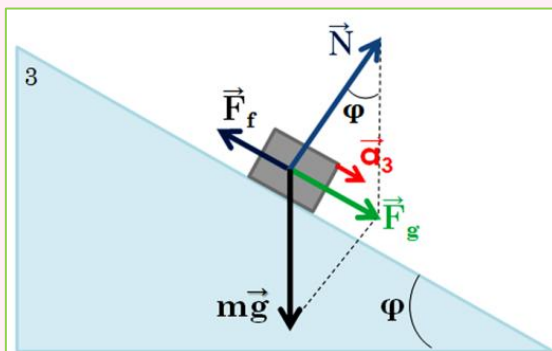
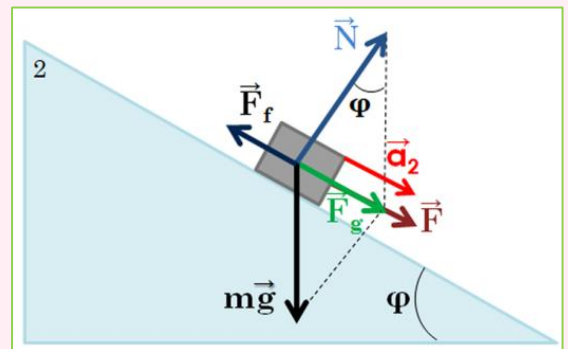
$$\text{Pr(X): } m\mathbf{a}_1 = \mathbf{F} - \mathbf{F}_g - \mathbf{F}_f = \mathbf{F} - mg\sin\varphi - \mu N \quad (1)$$

$$\text{Pr(Y): } 0 = N - mg\cos\varphi \Rightarrow N = mg\cos\varphi \quad (2)$$

$$\{(1),(2)\} \Rightarrow \mathbf{a}_1 = (\mathbf{F}/m) - g(\sin\varphi + \mu\cos\varphi) = 13.3 \text{ მ/წმ}^2$$

[2] მივმართოთ X ღერძი დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ქვევით:

$$\mathbf{a}_2 = (\mathbf{F}/m) + g(\sin\varphi - \mu\cos\varphi) = 23.3 \text{ მ/წმ}^2$$

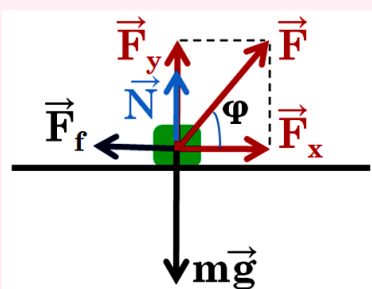


$$[3] \mathbf{a}_3 = g(\sin\varphi - \mu\cos\varphi) = 3.3 \text{ მ/წმ}^2$$

თუ  $\sin\varphi < \mu\cos\varphi$  ძელაკი უძრავია,

$$\text{თუ } \mu = 0 \Rightarrow \mathbf{a}_3 = g\sin\varphi.$$

2. ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულ  $m=2$  კგ მასის ძელაკზე მოქმედებს ჰორიზონტალური ძალა  $F$ . ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკსა და სიბრტყეს შორის  $\mu = 0.3$ . ძელაკი მოძრაობს თანაბრად. იპოვეთ  $F$  ძალა.



დავაგეგმილოთ სხეულზე მოდებული ძალების ვექტორები X და Y ღერძებზე (მოძრაობა თანაბარია,  $\mathbf{a} = 0$ ):

$$\text{Pr(X): } 0 = F_x - F_f = F\cos\varphi - \mu N \quad (1)$$

$$\text{Pr(Y): } 0 = N + F_y - mg \quad N = mg - F\sin\varphi \quad (2) \Rightarrow$$

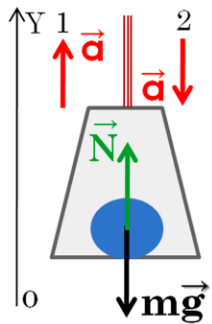
$$(2) \Rightarrow (1) \quad 0 = F\cos\varphi - \mu(mg - F\sin\varphi) \Rightarrow$$

$$F = \mu mg / (\cos\varphi + \mu\sin\varphi) = 7.9 \text{ ნ}$$

დასკვნა: ჰორიზონტალურ ზედაპირზეც სხეულზე მოქმედი ხახუნის ძალა ყოველთვის არ უდრის  $\mu mg$ -ს!



3.საყრდენთან ერთად ვერტიკალურად ზევით აჩქარებულად მოძრაობისას, სხეულის წონა  $P_1$   $n$ -ჯერ მეტია მის  $P_2$  წონაზე ( $n=3$ ) იმავე სიდიდის აჩქარებით ქვევით მოძრაობისას. რისი ტოლია  $a$  აჩქარება?



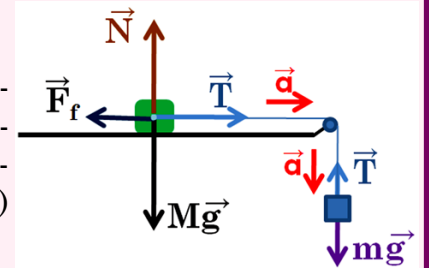
წონის რიცხვითი მნიშვნელობა (§6.3) რეაქციის ძალის ვექტორის მოდულის ტოლია  $P = N$ . ვიხილავთ სხეულზე მოდებული ძალების გეგმილებს  $Y$  დერძზე

1.სისტემა სხეული-საყრდენი აჩქარებით მოძრაობს ვერტიკალურად ზევით:  $ma = N - mg \Rightarrow N = mg + ma \Rightarrow P_1 = m(g + a)$  (1)

2.სისტემა სხეული-საყრდენი აჩქარებით მოძრაობს ვერტიკალურად ქვევით:  $ma = mg - N \Rightarrow N = mg - ma \Rightarrow P_2 = m(g - a)$  (2)

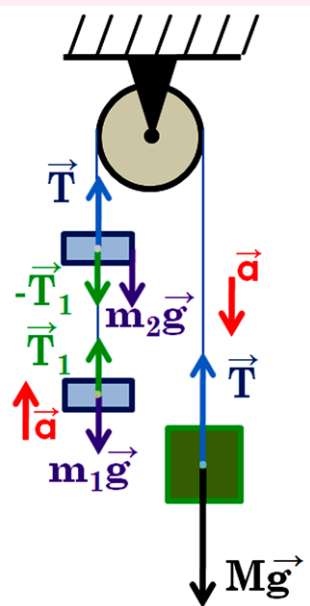
$$\{(1),(2)\} \Rightarrow P_1/P_2 = (g + a) / (g - a) = n \Rightarrow g + a = n(g - a) \Rightarrow (n+1)a = (n-1)g \Rightarrow a = g(n-1) / (n+1) \Rightarrow a = g/2 = 5 \text{ მ/წმ}^2.$$

4.მაგიდის ზედაპირზე მოთავსებულ  $M=4$  კგ მასის ძელაკზე მიბმულია ჭოჭონაქზე გადაკიდებული ზონარი, რომლის მეორე ბოლოზე დამაგრებულია  $m=1$  კგ მასის ტვირთი. იპოვეთ [1] სისტემის აჩქარება და [2] ზონარის დაჭიმულობის ძალა, თუ ძელაკსა და მაგიდის ზედაპირს შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu = 0.1$ .



ჭოჭონაქზე ხახუნი უგულვებელყოფილია. დაჭიმულობის ძალის სიდიდე  $T$  ერთნაირია მთელ ზონარში. ვიხილავთ მოქმედი ძალების გეგმილებს აჩქარების ვექტორის მიმართულებების თანხვედრილ (ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ) დერძებზე. ნიუტონის II კანონის შესაბამისად:

Pr(X):  $Ma = T - E_f$  (1); Pr(Y):  $ma = mg - T$  (2). ამ განტოლებების შეკრებით  $\Rightarrow (M+m)a = mg - E_f$  (3);  $E_f = \mu N = \mu Mg$  (4).  $\{(3),(4)\} \Rightarrow [1]: a = g(m - \mu M) / (M+m)$  (5). (2)  $\Rightarrow [2]: T = m(g - a)$  (6). ამრიგად: (5)  $\Rightarrow a = 1.2 \text{ მ/წმ}^2$ ; (6)  $\Rightarrow T = 8.8 \text{ ნ}$ .



5.სამი სხეული მასებით  $m_1 = m_2 = 2$  კგ და  $M = 6$  კგ გადაბმულია ზონრით და გადაკიდებულია უძრავ ჭოჭონაქზე ისე, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები. იპოვეთ [1] სისტემის აჩქარება და ზონარის დაჭიმულობის ძალები [2]  $T_1$  და [3]  $T$ .

დავაგეგმილოთ სხეულებზე მოდებული ძალების ვექტორები ვერტიკალურ დერძზე და ჩავწეროთ ნიუტონის II კანონი სამივე სხეულისთვის ცალცალკე:

$$m_1 a = T_1 - m_1 g \quad (1)$$

$$m_2 a = T - T_1 - m_2 g \quad (2)$$

$$M a = Mg - T \quad (3)$$

$$[1] \{(1)+(2)+(3)\} \Rightarrow (m_1 + m_2 + M)a = (M - m_1 - m_2)g \Rightarrow a = g(M - m_1 - m_2) / (m_1 + m_2 + M) \quad (4) \quad a = 2 \text{ მ/წმ}^2;$$

$$[2] (1) \Rightarrow T_1 = m_1(g + a) \quad T_1 = 24 \text{ ნ};$$

$$[3] (3) \Rightarrow T = M(g - a) \quad T = 48 \text{ ნ};$$

6.  $L = 0.6$  მ სიგრძის ძაფზე გამოზმული ბურთულა თანაბრად ბრუნავს ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ისე, რომ ძაფი ვერტიკალთან მუდმივად ადგენს  $\varphi = 60^\circ$  კუთხეს. იპოვეთ [1] ბურთულას სიჩქარე და [2] ბრუნვის პერიოდი.

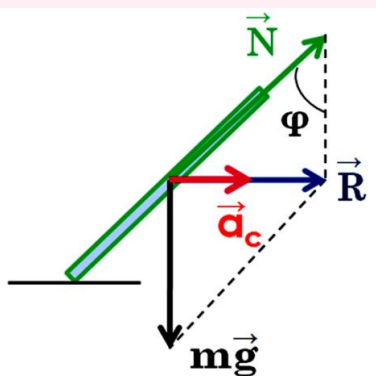
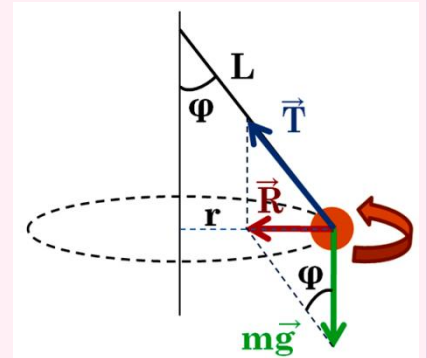
ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ბრუნვისას ძაფს გარკვეული კუთხით გადახრას უნარჩუნებს ბურთულას  $\vec{m}\vec{g}$  სიმძიმის ძალისა და ძაფის  $\vec{T}$  დაჭიმულობის ძალის  $\vec{R}$  ტოლქმედი. ცენტრისკენულ აჩქარებას ეს ტოლქმედი განსაზღვრავს:

$$m\vec{a}_c = \vec{R} = mg \tan \varphi \Rightarrow a_c = g \tan \varphi \quad (1)$$

$$[1] a_c = V^2 / r \quad (2) \Rightarrow (1) \quad V^2 / r = g \tan \varphi \Rightarrow V^2 = g r \tan \varphi \quad (3)$$

$$r = L \sin \varphi \quad (4) \Rightarrow (3) \quad V = \sqrt{gL \sin \varphi \tan \varphi} \quad V = 3 \text{ მ/წმ.}$$

$$[2] T = 2\pi r / V = 2\pi L \sin \varphi / V \quad T = 1 \text{ წმ.}$$



7. მოციგურავე მისრიალებს  $r = 5$  მ რადიუსის მქონე წრიულ ტრაექტორიაზე. ხახუნის კოეფიციენტი ციგურებსა და ყინულს შორის  $\mu = 0.1$ . [1] რა კუთხეს უნდა ადგენდეს მოციგურავე ვერტიკალთან? [2] როგორია მისი სიჩქარე?

გადახრილ მოციგურავეზე მოქმედებს ორი ძალა: სიმძიმის ძალა  $\vec{m}\vec{g}$  და  $N$  რეაქციის ძალა. ამ ძალების ტოლქმედი ანიჭებს მოციგურავეს ცენტრისკენულ აჩქარებას. ნახაზიდან

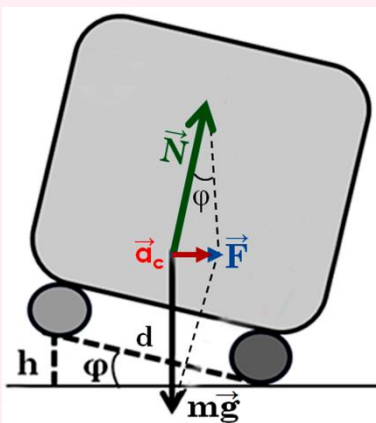
$$\vec{R} = N \sin \varphi \quad (1), \quad N = mg / \cos \varphi \quad (2) \quad \text{და} \quad \vec{R} = m\vec{a}_c \quad (3)$$

$$\{(2), (3)\} \Rightarrow (1) \Rightarrow m\vec{a}_c = mg \tan \varphi \quad (4).$$

ხახუნის ძალის გათვალისწინებით  $\vec{R} = \vec{F}_f \Rightarrow (3) \quad m\vec{a}_c = \mu m\vec{g} \quad (5) \Rightarrow \vec{a}_c = \mu \vec{g} \quad (6).$

$$[1] \text{ კუთხის დასადგენად } (6) \Rightarrow (4) \Rightarrow \mu = \tan \varphi \Rightarrow \varphi = 6^\circ;$$

$$[2] \vec{a}_c = V^2 / r \Rightarrow V^2 = \vec{a}_c r \quad (7). \quad (6) \Rightarrow (7) \Rightarrow V = \sqrt{\mu g r} = \sqrt{5} \text{ მ/წმ}$$



8.  $r = 400$  მ მოსახვევში რამდენით უნდა იყოს აწეული გარე რელსი შიდა რელსთან შედარებით ( $h$ ), რომ შესაძლებელი იყოს  $V = 54$  კმ/სთ მაქსიმალური სიჩქარის განვითარება. ლიანდაგის სიგანე  $d = 1524$  მმ შეადგენს.

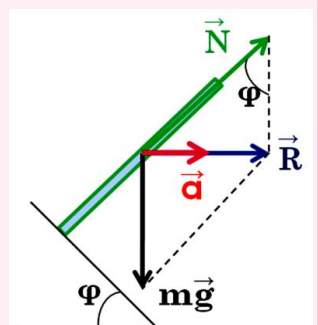
ვაგონის დახრის შედეგად სიმძიმის  $\vec{m}\vec{g}$  და რეაქციის  $N$  ძალების  $\vec{F}$  ტოლქმედი განსაზღვრავს ცენტრისკენული აჩქარების სიდიდეს  $\vec{F} = m\vec{a}_c = mV^2 / r$  (1). ნახაზიდან  $\tan \varphi = F / mg$  (2) და  $\tan \varphi \approx \sin \varphi = h / d$  (3).  $\{(1), (2), (3)\} \Rightarrow$

$$h / d = \vec{a}_c / g = V^2 / r g \quad (4) \quad \text{და} \quad h = V^2 d / r g = 86 \text{ მმ}$$

9. ველოსიპედის ბილიკის მოსახვევის რადიუსი  $r = 40$  მ. ეს მონაკვთი დახრილია ჰორიზონტისადმი  $\varphi = 45^\circ$  კუთხით. რა სიჩქარის განვითარება შეუძლია ველოსიპედისტს ამ მონაკვეთზე?

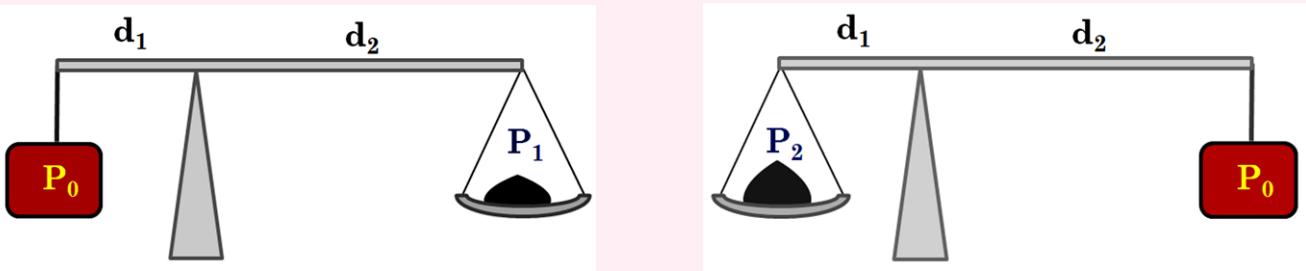
ველოსიპედისტის დახრისას სიმძიმის  $\vec{m}\vec{g}$  და რეაქციის  $N$  ძალების  $\vec{R}$  ტოლქმედი განსაზღვრავს ცენტრისკენული აჩქარების სიდიდეს  $\vec{R} = m\vec{a}_c = mV^2 / r$  (1). ნახაზიდან  $\vec{R} = mg \tan \varphi$  (2)

$$(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow V^2 / r = g \tan \varphi \Rightarrow V = \sqrt{r g \tan \varphi} = 20 \text{ მ/წმ}$$



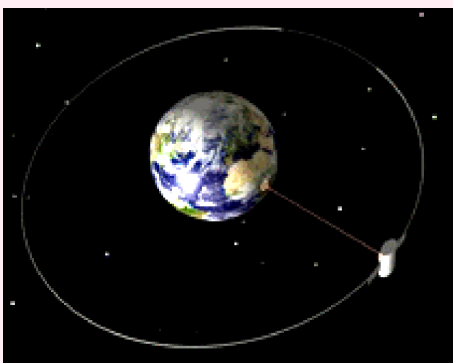
ველოსიპედისტს შეუძლია უფრო მეტი სიჩქარეც განავითაროს. ამისთვის იგი უფრო მეტად უნდა დაიხაროს ჰორიზონტისადმი. ამ დროს გაჩნდება უძრაობის ხახუნის ძალა, რომელიც ბილიკის დახრის გასწვრივ ქვევით იქნება მიმართული. მისი ჰორიზონტალური მდგენელი დაემატება ნორმალური რეაქციის ძალის ჰორიზონტალურ მდგენელს, გაიზრდება ცენტრისკენული ძალა, ე.ი. სიჩქარეც (სწორედ ამას აკეთებენ მაღალი კლასის ველოსიპედისტები ვირაჟის გავლისას!).

10. ტვირთი აწონეს არატოლმხრიანი სასწორით. სასწორის ერთ მხარეს ტვირთის განთავსებისას მისი წონა აღმოჩნდა  $P_1 = 10$  ნ, მეორე მხრეს –  $P_2 = 14.4$  ნ. იპოვეთ ტვირთის ნამდვილი წონა  $P_0$ .



მომენტების წესის თანახმად, I აწონვისას  $P_0 d_1 = P_1 d_2$  (1), II აწონვისას  $P_0 d_2 = P_2 d_1$  (2).  
 (1)  $\Rightarrow d_2 / d_1 = P_0 / P_1$  (3); (2)  $\Rightarrow d_2 / d_1 = P_2 / P_0$  (4); {(3),(4)}  $\Rightarrow P_0^2 = P_1 P_2$   
 და  $P_0 = \sqrt{P_1 P_2} = 12$  ნ

11. განსაზღვრეთ გეოსტაციონარული ხელოვნური თანამგზავრის დამორება დედამიწის ზედაპირიდან.



მოც. დედამიწის:  $R = 6390$  კმ =  $6.39 \cdot 10^6$  მ,  
 $T = 24$  სთ =  $8.64 \cdot 10^4$  წმ,  $g = 9.8$  მ/წმ<sup>2</sup>  
**H = ?**

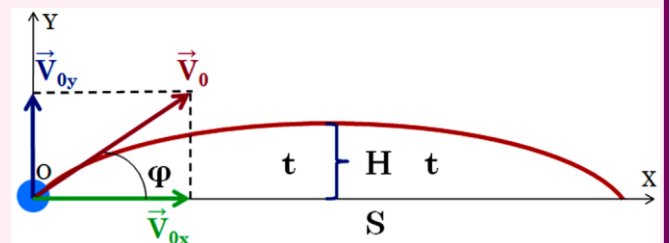
ხელოვნური თანამგზავრი მუდმივად დედამიწის ერთი წერტილის თავზე რომ იმყოფებოდეს (გეოსტაციონარული თანამგზავრი), აუცილებელია: [1] მისი ორბიტის სიბრტყე პარალელური იყოს ეკვატორიალური სიბრტყის; [2] მისი ბრუნვის პერიოდი ემთხვეოდეს თავისი ღერძის გარშემო დედამიწის ბრუნვის პერიოდს.

თანამგზავრის ცენტრისკენულ აჩქარებას მსოფლიო მიზიდულობის ძალა განსაზღვრავს  $ma_c = GMm/(R+H)^2$  (1)  $\Rightarrow 4\pi^2(R+H)/T^2 = GM/(R+H)^2 \Rightarrow (R+H)^3 = GMT^2/4\pi^2$  (2).

დედამიწის ზედაპირზე  $g = GM/R^2 \Rightarrow GM = gR^2$  (3). {(3) $\Rightarrow$ (2)}  $\Rightarrow$

$$H = \sqrt[3]{gR^2 T^2 / 4\pi^2} - R$$
 (4)  $\Rightarrow H = 3.6 \cdot 10^7$  მ = 36000 კმ

12. ბურთის ფრენის სიშორე  $n$ -ჯერ ( $n=4$ ) მეტია მისი ასვლის მაქსიმალურ სიმაღლეზე. რა  $\phi$  კუთხით ისროლეს ბურთი?



$n = S/H$  (1). მოძრაობის სრული დრო, მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლის გაორკეცვულ დროს უტოლდება:  $t_0 = 2t = 2V_{0y}/g$  (2). ამ დროს ანდომებს სხეული  $S$  მანძილის გავლას მუდმივი  $V_{0x} = V_0 \cos\phi$  (3) სიჩქარით. {(2),(3)}  $\Rightarrow S = 2V_{0x}V_{0y}/g$  (4). მაქსიმალური სიმაღლე  $H = V_{0y}^2/2g$  (5). {(1),(4),(5)}  $\Rightarrow$

$$n = 4V_{0x}/V_{0y} = 4ctg\phi \Rightarrow ctg\phi = n/4 = 1 \Rightarrow \phi = 45^\circ.$$

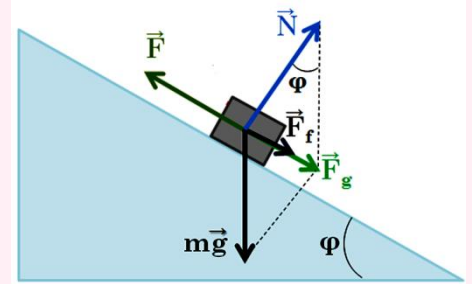
13.  $m = 2$  კგ მასის სხეული თანაბრად აათრევს  $L = 3$  მ სიგრძის დახრილ სიბრტყეზე სიბრტყის გასწვრივ მიმართული  $F$  ძალის მეშვეობით. სიბრტყის დახრის კუთხე  $\varphi = 30^\circ$ , ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu = 0.2$ . იპოვეთ: [1]  $F$  ძალის, [2] ხახუნის და [3] სიმძიმის ძალების მუშაობები. [4] როგორია დახრილი სიბრტყის მქკ  $\eta$  ?

მივმართოთ X ღერძი დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ზევით, Y ღერძი - სიბრტყის ნორმალის გასწვრივ და დავაგეგმილოთ სხეულზე მოდებული ძალების ვექტორები ამ ღერძებზე (აჩქარება ნულის ტოლია):

$$\text{Pr}(X): 0 = F - F_g - F_f = F - mg \sin \varphi - \mu N \quad (1)$$

$$\text{Pr}(Y): 0 = N - mg \cos \varphi \Rightarrow N = mg \cos \varphi \quad (2)$$

$$\{(1),(2)\} \Rightarrow F = mg (\sin \varphi + \mu \cos \varphi) \quad (3)$$



[1]  $F$  ძალა გადაადგილების გასწვრივ არის მიმართული, მისი მუშაობა დადებითია:

$$A_F = FL = mgL (\sin \varphi + \mu \cos \varphi) \quad (4) \quad A_F = 40.4 \text{ ჯ};$$

[2]  $F_f$  ხახუნის ძალა გადაადგილების საწინააღმდეგოდაა მიმართული, მისი მუშაობა უარყოფითია:

$$A_f = -F_f L = -\mu mgL \cos \varphi \quad (5) \quad A_f = -10.4 \text{ ჯ};$$

[3] სიმძიმის ძალა ბლაგვ კუთხეს ადგენს გადაადგილებასთან, ე.ი. ისიც უარყოფით მუშაობას ასრულებს:

$$A_g = -F_g L = -mgL \sin \varphi \quad (6) \quad A_g = -30 \text{ ჯ};$$

მოდრაობა თანაბარია, კინეტიკური ენერგია არ იცვლება, ამიტომ (კინეტიკური ენერგიის შესახებ თეორემის შესაბამისად) ჯამური მუშაობაც ნულის უნდა იყოს  $A_F + A_f + A_g = 0$ ;

[4]  $\eta = A / A_0$  (7). დახრილი სიბრტყის შემთხვევაში  $A$  სასარგებლო მუშაობა სხეულის პოტენციური ენერგიის ცვლილებით განისაზღვრება  $A = mgH = mgL \sin \varphi$  (8) სრული მუშაობა კი, ცხადია,  $F$  ძალის მუშაობაა  $A_0 = A_F$  (9).  $\{(8),(9),(4)\} \Rightarrow$  (7)

$$\eta = mgL \sin \varphi / (mgL (\sin \varphi + \mu \cos \varphi)) = 1 / (1 + \mu \text{ctg} \varphi) \quad (10) \quad \text{და } \eta = 74\%$$

14. წრფივად მოძრავი სხეულის სიჩქარის ორჯერ გაზრდისას ( $n = V_2 / V_1 = 2$ ) მისი იმპულსი გაიზარდა  $\Delta P = 10$  კგმ/წმ-ით, ხოლო კინეტიკური ენერგია  $\Delta E = 30$  ჯ-ით. იპოვეთ სხეულის თავდაპირველი [1] სიჩქარე და [2] მასა.

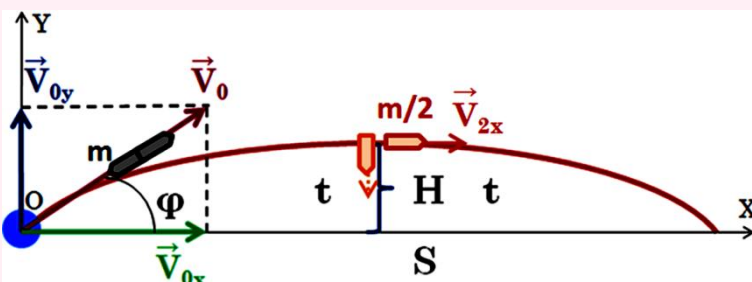
$$\Delta P = P_2 - P_1 = m(V_2 - V_1) = mV_1(n-1) = mV_1 \quad (1)$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = m(V_2^2 - V_1^2) / 2 = m V_1^2 (n^2 - 1) / 2 = (3/2) m V_1^2 \quad (2)$$

$$(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow \Delta E = (3/2) V_1 \Delta P \quad (3)$$

$$[1] (3) \Rightarrow V_1 = 2 \Delta E / 3 \Delta P = 2 \text{ მ/წმ}; \quad [2] (1) \Rightarrow m = \Delta P / V_1 = 5 \text{ კგ}$$

15. ზარბაზნიდან  $V_0 = 600$  მ/წმ სიჩქარით და ჰორიზონტისადმი  $\varphi = 60^\circ$  კუთხით გაისროლეს ყუმბარა. ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილში ყუმბარა გასკდა ორ თანაბარ ნაწილად. ერთერთი მათგანი იწყებს ვარდნას ვერტიკალურად უსაწყისო სიჩქარით. განსაზღვრეთ მეორე ნამსხვრევის სიჩქარე (ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ).

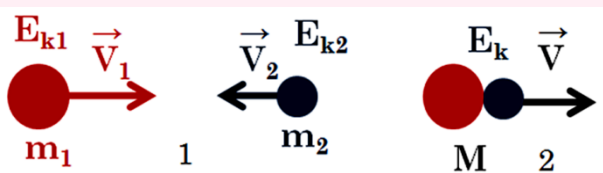


ვინაიდან ყუმბარაზე ჰორიზონტალური მიმართულებით არავითარი ძალა არ მოქმედებს, ყუმბარის იმპულსის ჰორიზონტალური მდგენელი ინახება:

$$m \vec{V}_{0x} = (m/2) \vec{V}_{1x} + (m/2) \vec{V}_{2x} \quad (1)$$

ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილში ყუმბარის მხოლოდ ერთ ნახევარს (პირობის შესაბამისად) გააჩნია სიჩქარე. ამიტომ, (1)  $\Rightarrow mV_{0x} = (m/2)V_{2x}$  და  $2V_{0x} = V_{2x}$  (2). ნახაზიდან:  $V_{0x} = V_0 \cos \varphi$  (3)  $\Rightarrow$  (2)  $\Rightarrow V_{2x} = 2V_0 \cos \varphi$  ე.ი.  $V_{2x} = 600$  მ/წმ

16.  $m_1 = 6$  კგ და  $m_2 = 4$  კგ მასის არადრეკადი ბურთულები მოძრაობენ შემხვედრი მიმარ თულებით, შესაბამისად,  $V_1 = 8$  მ/წმ და  $V_2 = 3$  მ/წმ სიჩქარეებით. იპოვეთ ბურთულების კინეტიკური ენერჯიის  $\Delta E_k$  ცვლილება აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახების შედეგად.



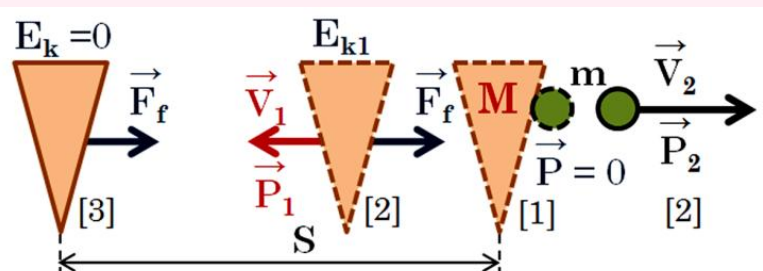
ნახაზიდან და პირობის შესაბამისად:  
 $\Delta E_k = E_k - (E_{k1} + E_{k2})$  (1)  
 აქ:  $E_{k1} = (m_1 V_1^2)/2$  (2)  $E_{k2} = (m_2 V_2^2)/2$  (3)  
 $E_k = (M V^2)/2$  (4)  $M = (m_1 + m_2)$  (5)

$V$  სიჩქარის მოსამებნად დავეყრდნოთ იმპულსის მუდმივობის კანონს (ვიხილავთ ვექტორთა პროექციებს ჰორიზონტალურ ღერძზე). დაჯახების შემდეგ [2] სხეულთა იმპულსი ტოლია დაჯახებამდე [1] სხეულთა იმპულსების ჯამის:

$$M V = m_1 V_1 - m_2 V_2 \Rightarrow V = (m_1 V_1 - m_2 V_2) / (m_1 + m_2) \Rightarrow V = 3.6 \text{ მ/წმ} \quad (6)$$

$$\{(6),(5),(4),(3),(2)\} \Rightarrow (1) \Rightarrow \Delta E_k = -145.2 \text{ ჯ}$$

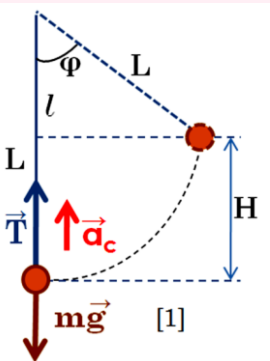
17. ციგურებზე მდგომი  $M = 60$  კგ მასის ბიჭი  $V_2 = 6$  მ/წმ სიჩქარით ისვრის  $m = 6$  კგ მასის სხეულს. რა  $S$  მანძილზე გასრიალდება ბიჭი, თუ ყინულთან ფოლადის ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu = 0.02$  ?



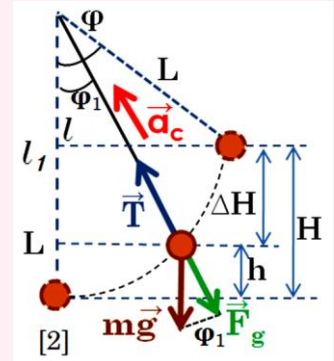
სხეულის გასროლის შედეგად [2] ბიჭმა შეიძინა სიჩქარე (და კინეტიკური ენერჯია), რომელიც იმპულსის მუდმივობის კანონის საფუძველზე დგინდება:  
 $0 = m V_2 - M V_1$  (1)  $V_1 = (m/M) V_2$  (2)

ბიჭი გაჩერდება [3], ვინაიდან შემენილი კინეტიკური ენერჯია მთლიანად მოხმარდება ხახუნის  $F_f = \mu M g$  (3) ძალის დასაძლევად მუშაობის შესრულებას:  $(M V_1^2)/2 = F_f S$  (4)  
 $\{(3),(2)\} \Rightarrow (4) \Rightarrow S = (V_1^2)/2\mu g = m^2 V_2^2 / 2\mu g M^2 \Rightarrow S = 90$  სმ

18.  $m = 2$  კგ მასის ბურთულა გადახარეს ვერტიკალიდან  $\varphi = 60^\circ$  კუთხით და ხელი გაუშვეს. რას უდრის ძაფის დაჭიმულობის ძალა: [1] როდესაც ბურთულა წონასწორობის მდგომარეობას გადის? [2] როდესაც ძაფი ვერტიკალთან  $\varphi_1 = 30^\circ$  კუთხეს ქმნის?



[1] გადახრილ ბურთულას წონასწორობის მდგომარეობის გავლისას გააჩნია მაქსიმალური სიჩქარე, და ცენტრისკენული აჩქარება, ვინაიდან გადახრის შედეგად შემენილი პოტენციური ენერჯია მთლიანად გადავიდა კინეტიკურ ენერჯიაში. ძაფი მაქსიმალურად არის დაჭიმული. განვიხილოთ ვექტორთა პროექციები ვერტიკალურ ღერძზე და ჩავწეროთ ნიუტონის II კანონი:



$$m\mathbf{a}_c = \mathbf{T} - m\mathbf{g} \quad (1) \Rightarrow \mathbf{T} = m(\mathbf{g} + \mathbf{a}_c) = m(\mathbf{g} + V^2/L) \quad (2)$$

ნახაზიდან და მაქსიმალური კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების ტოლობიდან  $mV^2/2 = mgH \Rightarrow V^2 = 2gH = 2g(L - \ell)$  (3). მაგრამ,  $\ell = L\cos\phi$  ე.ი  $V^2 = 2gL(1 - \cos\phi)$  (4)

$$(4) \Rightarrow (2) \quad \mathbf{T} = m(\mathbf{g} + 2g(1 - \cos\phi)) = m\mathbf{g}(3 - 2\cos\phi) \Rightarrow T = 40 \text{ ნ}$$

[2] ძაფის დაჭიმულობის და ცენტრისკენული აჩქარების ვექტორები ძაფის გასწვრივ არიან მიმართულნი. ამ მიმართულებაზე სიმძიმის ძალის ვექტორის გეგმილია  $F_g = mg \cos\phi_1$  (5). ამრიგად, ნახაზიდან  $m\mathbf{a}_c = \mathbf{T} - F_g$  (6). (5)  $\Rightarrow$  (6)  $\Rightarrow$

$$\mathbf{T} = m(\mathbf{g} \cos\phi_1 + \mathbf{a}_c) = m(\mathbf{g} \cos\phi_1 + V_1^2/L) \quad (7)$$

გადახრის  $\phi_1$  კუთხის შესაბამის მდებარეობაში, მექანიკური ენერგიის შენახვის კანონიდან გამოდინარე, შეგვიძლია ჩავწეროთ:

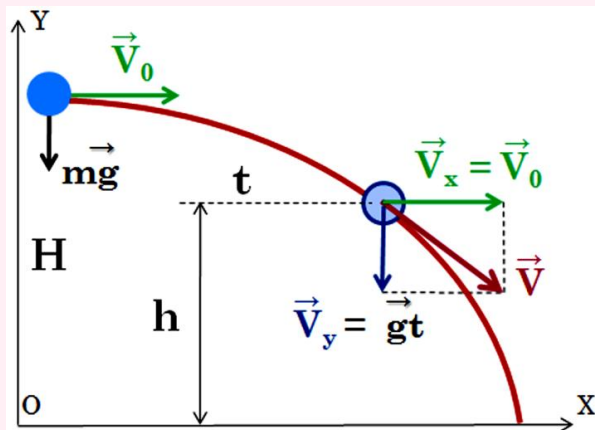
$$mV_1^2/2 = mg\Delta H \quad \text{ანუ} \quad V_1^2 = 2g\Delta H \quad (8) \quad \text{ნახაზიდან:}$$

$$\Delta H = H - h = (L - \ell) - (L - \ell_1) = \ell_1 - \ell = L\cos\phi_1 - L\cos\phi = L(\cos\phi_1 - \cos\phi) \quad (9)$$

$$(9) \Rightarrow (8) \Rightarrow V_1^2 = 2gL(\cos\phi_1 - \cos\phi) \quad (10) \quad (10) \Rightarrow (7) \Rightarrow$$

$$\mathbf{T} = m\mathbf{g}\{\cos\phi_1 + 2(\cos\phi_1 - \cos\phi)\} = m\mathbf{g}(3\cos\phi_1 - 2\cos\phi) \Rightarrow T = 32 \text{ ნ}$$

19.  $m=1$  კგ მასის სხეული გაისროლეს ჰორიზონტალურად  $V_0=20$  მ/წმ სიჩქარით  $H = 80$  მ სიმალიდან. იპოვეთ სხეულის [1] კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები  $t = 3$  წმ-ის შემდეგ. [2] რა  $h$  სიმაღლეზე იქნება ამ დროს სხეული?



[1] სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი  $V_x = V_0 = \text{const}$ , ხოლო ვერტიკალური იზრდება ნულოვანი მნიშვნელობიდან  $V_y = gt$ -მდე. კინეტიკურ ენერგიას განსაზღვრავს ჯამური სიჩქარე:  $V^2 = V_x^2 + V_y^2 = V_0^2 + g^2 t^2$  (1)  $\Rightarrow$

$$E_k = m(V_0^2 + g^2 t^2)/2 \quad (2) \Rightarrow E_k = 650 \text{ ჯ}$$

[2] ენერგიის მუდმივობის კანონიდან,  $h$  სიმაღლეზე სრული ენერგია:

$$E_p + E_k = E_{p0} + E_{k0} \quad (3) \Rightarrow$$

$$E_p = E_{p0} + E_{k0} - E_k = mgH + mV_0^2/2 - E_k \quad (4)$$

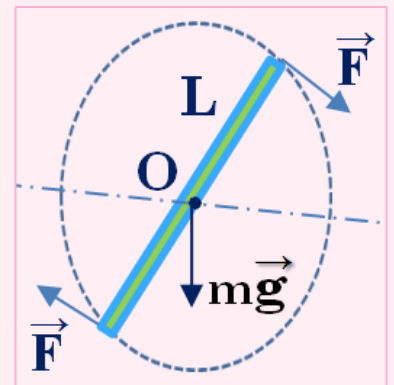
$$E_p = 350 \text{ ჯ}. \quad E_p = mgh \Rightarrow h = E_p/mg = 35 \text{ მ}$$

20.  $L = 1$  მ სიგრძის და  $m = 0.5$  კგ მასის ერთგვაროვანი ღერო ბრუნავს ვერტიკალურ სიბრტყეში მის შუაწერტილზე გამავალი ჰორიზონტალური ღერძის ირგვლივ. როგორი  $\beta$  კუთხური აჩქარებით ბრუნავს ღერო, თუ მასზე მოქმედი ძალის მამბრუნებელი მომენტი  $M=0.1$  ნ.მ?

ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის ძირითადი განტოლების თანახმად, მამბრუნებელი მომენტი  $M = J\beta$  (1), სადაც  $J$  - ინერციის მომენტია და  $J = mL^2/12$  (2).

(2)  $\Rightarrow$  (1)  $\beta$  - კუთხური აჩქარებისთვის მივიღებთ:

$$\beta = 12M / mL^2 = 2.4 \text{ რად/წმ}^2.$$



21. სხეული მოძრაობს  $X$  ღერძის გასწვრივ და მასზე მოქმედი ძალის დამოკიდებულება  $x$  კოორდინატზე მოცემულია განტოლებით  $F = \alpha x^2$ , სადაც  $\alpha = 30 \text{ ნ/მ}^2$  - მუდმივი სიდიდეა. რა  $A$  მუშაობას ასრულებს ეს ძალა სხეულის გადაადგილებისას  $x_1 = 10$  სმ წერტილიდან  $x_2 = 30$  სმ წერტილში?

მუშაობა  $A = \int_1^2 F dx \Rightarrow A = \int_{x_1}^{x_2} \alpha x^2 dx = \alpha \left( \frac{x^3}{3} \right) \Big|_{x_1}^{x_2} = (\alpha/3) \cdot (x_2^3 - x_1^3); \quad A = 0.26 \text{ ჯ}$

*”სამშობლოსთვის გაკეთებული არაა საკმარისი, თუ ყველაფერი არაა გაკეთებული.” Maximilien de Robespierre*

## II.2. ამოცანები

**დ1.** დედამიწის მასა  $m = 81$ -ჯერ აღემატება მთვარის მასას, ხოლო დედამიწის ცენტრიდან მთვარის ცენტრამდე მანძილი  $k = 60$ -ჯერ მეტია დედამიწის  $R$  რადიუსზე. დედამიწის და მთვარის ცენტრების შემაერთებელ წრფეზე დედამიწის ცენტრიდან რა  $r$  მანძილზე იქნება სხეულზე დედამიწისა და მთვარის მხრიდან მოქმედი მიზიდულობის ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლი?

**დ2.** სხეული თავისუფლად ვარდება  $h = 320$  მ სიმალიდან. რა  $\Delta t$  დროში გაივლის იგი ბოლო  $h_1 = 75$  მ-ს?

**დ3.** ერთი სხეული აისროლეს ვერტიკალურად ზევით  $V_0$  სიჩქარით, მეორე - იმავე წერტილიდან გაისროლეს ვერტიკალურად ქვევით იმავე სიდიდის სიჩქარით. როგორია სხეულებს შორის  $\Delta t$  მანძილის დამოკიდებულება დროზე?

**დ4.** სხეული აისროლეს ვერტიკალურად ზევით  $V_0 = 20$  მ/წმ სიჩქარით. რა  $\Delta t$  დროის განმავლობაში იმოძრაებს სხეული  $h_1 = 15$  მ-ს ზემოთ?

**დ5.** სხეული ვარდება თავისუფლად  $H = 80$  მ სიმალიდან. დაყავით ეს სიმაღლე  $k = 4$  მონაკვეთად  $\{h_n \ (n = 1, 2, 3, 4)\}$  ისე, რომ ამ მონაკვეთების გავლას სხეული ერთნაირ დროს ანდომებდეს.

**დ6.** სხეული გაისროლეს ჰორიზონტისადმი  $\phi = 30^\circ$  კუთხით  $V_0 = 10$  მ/წმ საწყისი სიჩქარით. რა დროის შემდეგ იქნება სხეული  $h = 1$  მ სიმაღლეზე?

**დ7.**  $m = 0.5$  კგ მასის სხეული მოძრაობს წრფივად და მის მიერ გავლილი მანძილის დამოკიდებულება დროზე მოცემულია განტოლებით:  $S = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$ , სადაც  $A = 10$  მ,  $B = 13$  მ/წმ,  $C = 10$  მ/წმ<sup>2</sup>,  $D = 2$  მ/წმ<sup>3</sup>. იპოვეთ სხეულზე მოქმედი  $F$  ძალის სიდიდე მოძრაობის დაწყებიდან  $t = 1$  წმ-ის შემდეგ.

**დ8.** სხეული მოძრაობს წრფივად და მის მიერ გავლილი მანძილის დამოკიდებულება დროზე მოცემულია განტოლებით:  $S = A - Bt + Ct^3$ , სადაც  $A=2$  მ,  $B=3$  მ/წმ,  $C=2$  მ/წმ<sup>3</sup>. იპოვეთ სხეული  $m$  მასა, თუ მოძრაობის დაწყებიდან  $t=1$  წმ-ის შემდეგ მასზე მოქმედი ძალის მნიშვნელობაა  $F=12$  ნ.

**დ9.** რა ძალაა საჭირო  $\mu=0.25$  ხახუნის კოეფიციენტისას,  $L=10$  მ სიგრძის და  $H=6$  მ სიმაღლის დახრილ სიბრტყეზე,  $m=100$  კგ მასის ტვირთის: [1] შესაკავებლად ( $F_1$ )? [2] თანაბრად ასასრიალებლად ზევით ( $F_2$ )? [3]  $a=0.2$  მ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებით ზევით ასასრიალებლად ( $F_3$ )? იმავე სიდიდის აჩქარებით ქვევით ჩამოსასრიალებლად ( $F_4$ )?

**დ10.** კორიზონტისადმი  $\varphi=45^\circ$  კუთხით მიმართული რა  $F$  ძალით უნდა ვიმოქმედოთ კორიზონტალურ ზედაპირზე მდებარე  $m=1$  კგ მასის სხეულზე,  $\mu=0.25$  ხახუნის კოეფიციენტისას, რომ იგი გავასრიალოთ  $a=2$  მ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებით?

**დ11.** უძრავ ჭოჭონაქზე უწონო ძაფით გადაკიდებულია  $M=100$  გ მასის ძელაკები. ერთერთ ძელაკზე დადეს  $m=50$  გ მასის ტვირთი. რა  $N$  ძალით აწვება ტვირთი ძელაკს?

**დ12.** ერთი ზამბარის სიხისტეა  $k_1$ , მეორისა -  $k_2$ . როგორი იქნება ამ ზამბარების პარალელური და მიმდევრობითი შეერთებით მიღებული ზამბარების სიხისტეები  $K_p$  და  $K_m$ ?

**დ13.** კორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებული ჯაჭვი იწყებს ჩამოსრიალებას, როცა მისი  $n=1/5$  ნაწილი ჩამოშვებულია მაგიდიდან. იპოვეთ ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu$  ჯაჭვისა და მაგიდის ზედაპირს შორის.

**დ14.** კორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულია  $m_1=100$  გ და  $m_2=200$  გ მასის ძაფით გადაბმული ძელაკები. მეორე ძელაკზე ძაფით გამობმულია  $m_3=300$  გ მასის ძელაკი, რომელიც გადაკიდებულია ჭოჭონაქზე. ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკებსა და ზედაპირს შორის  $\mu=0.25$ . იპოვეთ ძაფების დაჭიმულობის ძალები I და II, II და III ძელაკებს შორის ( $T_1$  და  $T_2$ ).

**დ15.**  $M=4$  კგ მასის ძელი დევს ორ საყრდენზე, რომელთაგან მარცხენა საყრდენი ძელის ბოლოსთანაა, ხოლო მარჯვენა - დამორებულია მარჯვენა ბოლოდან მისი სიგრძის მეოთხედით. მარჯვენა ბოლოზე ჩამოკიდებულია  $m=1$  კგ მასის ტვირთი. იპოვეთ წნევის ძალები საყრდენებზე ( $N_1$  და  $N_2$ ).

**დ16.** მდინარეზე ნაპირის გასწვრივ  $V_1=2$  მ/წმ სიჩქარით მოძრავ  $M=100$  კგ მასის ტივზე ნაპირიდან გადახტა  $m=40$  კგ მასის ბიჭი  $V_2=5$  მ/წმ სიჩქარით. ბიჭის სიჩქარე ტივის სიჩქარის მართობია. იპოვეთ ტივის  $V$  სიჩქარე (სიდიდე და მიმართულება) ბიჭის გადახტომის შემდეგ.



**დ17.**  $m_1$  და  $m_2$  მასის წერტილოვანი სხეულები ერთმანეთისგან  $r_1$  მანძილზე იმყოფებიან. რა  $A$  მუშაობა უნდა შესრულდეს, რომ მათ შორის მანძილი  $r_2$ -მდე გაიზარდოს?

**დ18.** ზამბარას ჭიმავენ 0-დან  $x$ -მდე,  $x$ -დან  $2x$ -მდე,  $2x$ -დან  $3x$ -მდე და ა.შ. იპოვეთ ამ დროს შესრულებულ მუშაობათა შეფარდება  $A_1 : A_2 : A_3 \dots$ .

**დ19.**  $E_{k0} = 1$  კჯ კინეტიკური ენერჯიის მქონე თანაბარწრფივად მოძრავ სხეულზე მოქმედებას იწყებს სიჩქარის გასწვრივ მიმართული მუდმივი  $F$  ძალა. შედეგად,  $S = 10$  მ გზაზე სხეულის კინეტიკური ენერჯია გაორმაგდა ( $E_k = 2E_{k0}$ ) იპოვეთ  $F$  ძალა.

**დ20.**  $H = 8$  მ სიღრმის ჭიდან თოკით ამოაქვთ  $M = 10$  კგ მასის წყლიანი ვედრო. ამ დროს სრულდება  $A = 840$  ჯ მუშაობა. იპოვეთ თოკის მასა  $m$ .

**დ21.** ვერტიკალურ კედელზე ძაფით დაკიდებული ბურთულა გადახარეს საკიდის სიმაღლეზე და ხელი გაუშვეს. კედელთან დაჯახების შემდეგ ბურთულა ვერტიკალიდან  $\varphi = 60^\circ$ -ით გადაიხარა. მექანიკური ენერჯიის რა ნაწილი ( $k = \Delta E / E$ ) დაკარგა ბურთულამ კედელთან დაჯახებისას?

**დ22.**  $L = 10$  მ სიგრძის ძაფზე ჩამოკიდებულ  $M = 2$  კგ მასის ქვიშით სავსე ყუთს ხვდება ჰორიზონტალურად  $V_0 = 210$  მ/წმ სიჩქარით გასროლილი  $m = 100$  გ მასის ტყვია და რჩება ყუთში. რა მაქსიმალური  $\varphi$  კუთხით გადაიხრება ძაფი ვერტიკალიდან?

**დ23.**  $N_1 = 600$  კვტ სიმძლავრის სატვირთო ავტომობილი ავითარებს  $V_1 = 15$  მ/წმ სიჩქარეს,  $N_2 = 800$  კვტ სიმძლავრის კი  $V_2 = 20$  მ/წმ სიჩქარეს. რა  $V$  სიჩქარეს განავითარებენ ეს ავტომობილები, თუ მათ ბაგირით გადავაბამთ?

**დ24.**  $N = 35$  მგვტ სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგურის კაშხლის სიმაღლეა  $H = 10$  მ,  $t = 1$  წამში გამავალი წყლის მოცულობა  $V = 500$  მ<sup>3</sup>. იპოვეთ ჰიდროელექტროსადგურის მქვ  $\eta$ . (წყლის სიმკვრივე  $\rho = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>).

**დ25.**  $M = 60$  კგ მასის მოციგურავე დგას ყინულზე ციგურებით და ჰორიზონტალური მიმართულებით ისვრის  $m = 3$  კგ მასის ქვას  $V = 10$  მ/წმ სიჩქარით. განსაზღვრეთ რა  $S$  მანძილზე გასრიალდება ამ დროს მოციგურავე, თუ ციგურებსა და ყინულს შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu = 0.02$ -ია.

**დ26.**  $M = 7.5 \cdot 10^5$  კგ მასის მქონე გემის ქვემეხიდან, მოძრაობის საპირისპიროდ, ჰორიზონტისადმი  $\varphi = 60^\circ$ -იანი კუთხით და  $V_0 = 10^3$  მ/წმ სიჩქარით გაისროლეს  $m = 30$  კგ მასის ჭურვი. რამდენით შეიცვალა გემის: [1] სიჩქარე ( $\Delta V$ ) ?; [2] კინეტიკური ენერჯია ( $\Delta E_k$ ), თუ ჩავთვლით, რომ გემი თავდაპირველად უძრავი იყო?

**დ27.**  $m = 10$  გ მასის წერტილოვანი სხეული მოძრაობს  $R=5$  სმ რადიუსის წრეწირზე  $\alpha_r$  მუდმივი ტანგენციალური აჩქარებით. იპოვეთ  $\alpha_r$  ტანგენციალური აჩქარება, თუ ცნობილია, რომ მოძრაობის დაწყებიდან  $N = 2$  ბრუნის შემდეგ სხეულის კინეტიკური ენერჯია  $W_k = 3.14 \cdot 10^{-3}$  ჯ.

**დ28.** იპოვეთ დედამიწის  $J$  ინერციის მომენტი და იმპულსის  $L$  მომენტი ბრუნვის ღერძის მიმართ. დედამიწის მასა  $M = 5,96 \cdot 10^{24}$  კგ, რადიუსი  $R = 6,37 \cdot 10^8$  მ.

**დ 29.** მქნევარა, რომლის ინერციის მომენტი  $J = 60$  კგ · მ<sup>2</sup>, ბრუნავს მუდმივი კუთხური სიჩქარით  $\omega = 30$  რად/წმ. იპოვეთ დამამუხრუჭებელი ძალის მომენტი  $M$ , რომლის გავლენით მქნევარა გაჩერდება  $t = 20$  წმ-ში.

**დ30.**  $m = 1$  კგ მასის და  $R = 30$  სმ რადიუსის თხელი რგოლი ბრუნავს მის ცენტრზე გამავალი ღერძის ირგვლივ  $n = 20$  ბრ/წმ სიხშირით. რა  $A$  მუშაობა უნდა შესრულდეს რგოლის გასაჩერებლად?

**დ31.** რა  $A$  მუშაობას ასრულებს კორიოლისის ძალა მბრუნავ კოორდინატთა სისტემაში ნებისმიერ ორ წერტილს შორის ნაწილაკის გადაადგილებისას?

**დ32.**  $m = 1,84 \cdot 10^5$  კგ მასის მატარებელი მოძრაობს მერიდიანის გასწვრივ  $V = 20$  მ/წმ სიჩქარით  $\phi = 45^\circ$  განედზე. რა  $F$  ჰორიზონტალური ძალით მოქმედებს მატარებელი რელსებზე?

**დ33.**  $M = 100$  კგ მასის ჰორიზონტალური პლატფორმა ბრუნავს მის ცენტრზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ  $n = 10$  ბრ/წმ სიხშირით.  $m = 60$  კგ მასის ადამიანი ამ დროს დგას პლატფორმის კიდეზე. რა  $n_x$  სიხშირით დაიწყებს ბრუნვას პლატფორმა, თუ ადამიანი გადავა პლატფორმის კიდიდან მის ცენტრში? {პლატფორმა მიიჩნეოთ ერთგვაროვან დისკოდ, ადამიანი - ნივთიერ წერტილად.}

### II.3. ტესტები

**დ1.** ნივთიერ წერტილებს შორის მანძილის  $k=2$ -ჯერ გაზრდით რამდენჯერ ( $z=F_2 / F_1$ ) შეიცვლება მსოფლიო მიზიდულობის ძალა?

- ა)  $z = 2$ ;   ბ)  $z = 1/4$ ;   გ)  $z = 1/2$ ;   დ)  $z = 4$ .

**დ2.**  $V_0 = 5$  მ/წმ საწყისი სიჩქარის მქონე ძელაკი გასრიალდა ცინულზე და  $t = 20$  წამში გაჩერდა. ხახუნის  $\mu$  კოეფიციენტი ძელაკსა და ცინულს შორის ყოფილა:

- ა) 0.1;   ბ) 0.01;   გ) 0.18;   დ) 0.025.

**დ3.**  $V_0 = 5$  მ/წმ საწყისი სიჩქარის მქონე ძელაკი გასრიალდა ცინულზე და  $S = 125$  მ-ის გავლის შემდეგ გაჩერდა. ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკსა და ცინულს შორის ყოფილა:

- ა) 0.01;   ბ) 0.1;   გ) 0.18;   დ) 0.025.

**დ4.**  $m = 3$  კგ მასის სხეული უძრავად დევს  $\phi = 30^\circ$ -ით დახრილ სიბრტყეზე. მასზე მოქმედი უძრავობის ხახუნის ძალა  $F_f$  იქნება:

- ა) 30 ნ;   ბ) 20 ნ;   გ) 15 ნ;   დ) მონაცემები არაა საკმარისი

**დ5.** უძრავ ჰაერში ვერტიკალურად ზევით ასროლილი სხეული გარკვეული დროის შემდეგ დაუბრუნდა იმავე წერტილს. ჰაერის წინააღმდეგობის გათვალისწინებით სხეულის ზევით მოძრაობის დრო ქვევით მოძრაობის დროზე ( $z = t_1 / t_2$ ):

- ა)  $z > 1$ ;   ბ)  $z < 1$ ;   გ)  $z = 1$ ;   დ) მონაცემები არაა საკმარისი

**დ6.** ერთი წრფის გასწვრივ ერთი მიმართულებით მოძრაობს ორი სხეული. პირველი სხეულის მასაა  $m_1 = 2$  კგ, სიჩქარე  $V_1 = 5$  მ/წმ; მეორე სხეული, რომლის მასაა  $m_2 = 3$  კგ და სიჩქარე  $V_2 = 10$  მ/წმ, მისდევს პირველს და ეჯახება მას. დაჯახება აბსოლუტურად არადრეკადია. სხეულთა სიჩქარეები დაჯახების შემდეგ იქნება:

- ა) 8 მ/წმ;   ბ) 7,5 მ/წმ;   გ) 15 მ/წმ;   დ) 11 მ/წმ.

**დ7.** სხეულის იმპულსი  $P = 10$  კგმ/წმ-ია, კინეტიკური ენერგია  $E_k = 10$  ჯ; ამ სხეულის სიჩქარე  $V$  და მასა  $m$  იქნება:

- ა) 2 მ/წმ და 5 კგ;   ბ) 5 მ/წმ და 2 კგ;   გ) 2.5 მ/წმ და 4 კგ;   დ) 4 მ/წმ და 2.5 კგ;

**დ8.**  $m = 4$  კგ მასის სხეულზე მოქმედმა მუდმივმა ძალამ  $A = 150$  ჯ მუშაობა შესასრულა. ამ დროს სხეულის კინეტიკური ენერგია  $n = 4$ -ჯერ გაიზარდა. სხეულის საწყისი სიჩქარე  $V_0$  ტოლი იყო:

- ა) 10 მ/წმ;   ბ) 5 მ/წმ;   გ) 12 მ/წმ;   დ) 15 მ/წმ.

**დ9.**  $H = 20$  მ სიმაღლის დახრილი სიბრტყიდან დაეშვა  $m = 5$  კგ მასის სხეული. დახრილი სიბრტყის ფუძესთან სხეულის სიჩქარე გახდა  $V = 18$  მ/წმ; ხახუნის ძალის  $A_f$  მუშაობის სიდიდე იქნება:

- ა) 90 ჯ; ბ) 140 ჯ; გ) 190 ჯ; დ) 360 ჯ.

**დ10.**  $V_0 = 20$  მ/წმ საწყისი სიჩქარით ვერტიკალურად ზევით ასროლილი  $m = 2$  კგ მასის სხეული იმავე წერტილში დაბრუნდა  $V = 18$  მ/წმ სიჩქარით. ჰაერის წინააღმდეგობის ძალის  $A_f$  მუშაობის სიდიდე იქნება:

- ა) 102 ჯ; ბ) 144 ჯ; გ) 324 ჯ; დ) 76 ჯ.

**დ11.** სხეული გაისროლეს ჰორიზონტისადმი  $\phi$  კუთხით  $V_0 = 20$  მ/წმ საწყისი სიჩქარით. მაქსიმალური სიმაღლე, რომელსაც სხეულმა მიაღწია,  $H = 15$  მ-ის ტოლია. გასროლის კუთხე იყო:

- ა)  $15^\circ$ ; ბ)  $30^\circ$ ; გ)  $45^\circ$ ; დ)  $60^\circ$ .

**დ12.**  $X_1 = 1$  სმ-ით შეკუმშული ზამბარის პოტენციური ენერგია  $X_2 = 2$  მმ-ით გაჭიმული იმავე ზამბარის პოტენციურ ენერგიაზე ( $Z = E_{p1} / E_{p2}$ ):

- ა) 2-ჯერ ნაკლებია; ბ) 2-ჯერ მეტია; გ) 25-ჯერ მეტია; დ) 5-ჯერ მეტია.

**დ13.** სათამაშო დამბაჩის ზამბარა შეკუმშულია  $X = 5$  სმ-ით.  $m = 20$  გ მასის ტყვია დამბაჩის ჰორიზონტალურად გასროლისას იძენს  $V = 10$  მ/წმ სიჩქარეს. ზამბარის სიხისტე  $k$  ტოლია:

- ა) 100 ნ/მ; ბ) 1 კნ/მ; გ) 800 ნ/მ; დ) 600 ნ/მ.

**დ14.** ვერტიკალურად ასროლილი  $m = 2$  კგ მასის სხეული ჩამოვარდა  $t = 6$  წმ-ის შემდეგ. ჰაერის წინააღმდეგობა უგულებელყოფილია. სხეულის კინეტიკური ენერგია  $E_k$  მიწაზე დავარდნისას იქნება:

- ა) 900 ჯ; ბ) 1800 ჯ; გ) 3600 ჯ; დ) 1200 ჯ;

**დ15.**  $N_0 = 9$  კვტ სიმძლავრის ამწე  $m = 800$  კგ მასის ტვირთს სწევს  $V = 1$  მ/წმ მუდმივი სიჩქარით. ამწის მქკ  $\eta$  იქნება:

- ა) 70%; ბ) 80%; გ) 85%; დ) 89%.

**დ16.** როგორი უნდა იყოს დღეღამის ხანგრძლივობა დედამიწაზე. რომ ეკვატორზე სხეულებს წონა არ ჰქონდეთ?

- ა) 1 სთ; ბ) 1 სთ 24 წთ; გ) 2 სთ 36 წთ; დ) 3 სთ 12 წთ.

**დ17.** ღეროს ინერციის მომენტი  $J_1$  მის ბოლოზე  $r_1=L$  მართობულად გამავალი ღერძის მიმართ აღემატება ( $Z = J_1/J_2$ ) მის ინერციის მომენტს  $J_2$  შუაწერტილზე  $r_2=L/2$  მართობულად გამავალი ღერძის მიმართ:

- ა) 4-ჯერ; ბ) 2-ჯერ; გ) 3-ჯერ; დ) 6-ჯერ.

**დ18.**  $m = 2$  კგ მასის დისკო ხახუნის გარეშე მიგორავს  $V = 4\text{მ/წმ}$  სიჩქარით ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. მისი  $E_k$  კინეტიკური ენერგია არის:

- ა) 16 ჯ; ბ) 32 ჯ; გ) 24ჯ; დ) 18 ჯ.

**დ19.** ერთნაირი  $m$  მასის რგოლი და დისკო ერთნაირი  $V$  წირითი სიჩქარით ხახუნის გარეშე მიგორავს ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. რგოლის კინეტიკური ენერგია  $E_{k1} = 40$  ჯ. დისკოს კინეტიკური ენერგია  $E_{k2}$  იქნება:

- ა) 40 ჯ; ბ) 80 ჯ; გ) 20 ჯ; დ) 30 ჯ.

**დ20.** ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მუდმივი წირითი  $V$  სიჩქარით ხახუნის გარეშე მიგორავს სფერო. მისი გადატანითი მოძრაობის  $E_k$  კინეტიკური ენერგიის შეფარდება ბრუნვითი მოძრაობის  $W_k$  კინეტიკურ ენერგიასთან ( $Z = E_k/W_k$ ) იქნება:

- ა) 0.2; ბ) 2; გ) 5; დ) 10.

**დ21.**  $R = 10$  სმ რადიუსის სპილენძის სფერო წამოცმულია ცენტრზე გამავალ ღერძზე და ბრუნავს მუდმივი  $n = 2$  ბრ/წმ სიხშირით. სპილენძის სიმკვრივე  $\rho = 8900$  კგ/მ<sup>3</sup>. ბრუნვის სიხშირის ორჯერ ( $Z=2$ ) გასაზრდელად უნდა შესრულდეს მუშაობა  $A$ :

- ა) 25.2 ჯ; ბ) 26.0 ჯ; გ) 17.6 ჯ; დ) 38.4 ჯ.

**დ22.** თანაბარშენელებულად მბრუნავი ბორბალი, რომლის ინერციის მომენტი  $J = 2$  კგ·მ<sup>2</sup>,  $\Delta t = 1$  წთ-ში ბრუნვის სიხშირეს ამცირებს  $n_1 = 200$  ბრ/წთ-დან  $n_2 = 80$  ბრ/წთ-მდე. დამამუხრუჭებელი  $M$  მომენტი იქნება:

- ა) 0.42 ნ·მ; ბ) 0.22 ნ·მ; გ) 1.2 ნ·მ; დ) 4.2 ნ·მ.

**დ23.**  $L$  იმპულსის მომენტის ერთეულია:

- ა) ნ·წმ; ბ) ნ/წმ; გ) ჯ·წმ; დ) კგ·მ/წმ.

**დ24.** იზოლირებულ სისტემაში მბრუნავი სხეულის დაშორება ბრუნვის ღერძიდან გაიზარდა  $Z=2$ -ჯერ. ამ დროს მისი ბრუნვის ( $X=n_2/n_1$ ) სიხშირე:

- ა) გაიზარდებოდა 2-ჯერ; ბ) გაიზარდებოდა 4-ჯერ; გ) შემცირდებოდა 2-ჯერ; დ) შემცირდებოდა 4-ჯერ .

**დ25.** თანამგზავრი ბრუნავს წრიულ ორბიტაზე. ორბიტის რადიუსის  $Z = 2$ -ჯერ გაზრდისას (სისტემა იზოლირებულად მიიჩნიეთ) მისი წირითი სიჩქარე ( $X=V_2/V_1$ ):

ა) გაიზარდებოდა 2-ჯერ;

- ა) გაიზარდებოდა 2-ჯერ; ბ) გაიზარდებოდა 4-ჯერ; გ) შემცირდებოდა 2-ჯერ; დ) შემცირდებოდა 4-ჯერ .

### III. რხევები და ტალღები

“ნებისმიერი ამონახსნი აჩენს ახალ პრობლემებს.” Joseph Murphy

#### III.1. ამოცანები ამოხსნით

1. ზამბარაზე დაკიდებული ტვირთი ასრულებს პერიოდულ რხევებს  $T = 0,50$  წმ პერიოდით. რამდენით დამოკლდება ზამბარა, თუ ტვირთს ჩამოვხსნით?

ზამბარაზე ჩამოკიდებული ტვირთი წონასწორობაშია, თუ  $mg = kx$  (1) ( $m$  ტვირთის მასაა,  $x$  - ზამბარის წაგრძელება  $k$  - მისი სიხისტე). ტვირთის ჩამოხსნისას ზამბარა აღიდგენს პირვანდელ ზომებს, ანუ დამოკლდება  $x$ -ით. (1)  $\Rightarrow x = (m/k)g$  (2). ამავე დროს, ზამბარაზე ტვირთის რხევის პერიოდი  $T = 2\pi(m/k)^{1/2}$  (3)  $\Rightarrow m/k = T^2/4\pi^2$  (4)  $\Rightarrow x = (T^2/4\pi^2)g$  და  $x \approx 6,3$  სმ.

2. ნივთიერი წერტილი ასრულებს ჰარმონიულ რხევას პერიოდით  $T = 3$  წმ და ამპლიტუდით  $A = 1$  სმ. რა  $L$  მანძილს გაივლის მერხვეი წერტილი  $t = 12$  წმ დროში?

ჰარმონიულად მერხვეი წერტილი ერთი პერიოდის განმავლობაში  $L_T = 4A$  (1) მანძილს გადის. გარკვეულ  $t$  დროში გავლილი მანძილი  $L$  დამოკიდებულია ამ დროში შესრულებულ  $N$  რხევათა რიცხვზე:  $N = t/T$  (2) და  $L = N \cdot L_T$  (3).  $\{(1), (2)\} \Rightarrow (3) \Rightarrow L = L_T (t/T)$  და  $L = 16$  სმ.

3. ჰარმონიულად მერხვეი სხეული მოძრაობას იწყებს წონასწორული მდგომარეობიდან ( $\varphi_0 = 0$ ). შეადარეთ ერთმანეთს ამპლიტუდის მეორე და პირველი ნახევრის გასავლელად საჭირო დროები  $Z = t_2/t_1$ .

მოძრაობა იწყება წონასწორული მდგომარეობიდან, ე.ი. მიზანშეწონილია რხევის განტოლების ჩაწერა სინუსის ფუნქციის მეშვეობით:  $x = A \sin \omega t = A \sin [(2\pi/T)t]$  (1). პირობის მიხედვით  $x_1 = A/2$ , ამდენად  $A/2 = A \sin [(2\pi/T)t_1]$  (2)  $\Rightarrow 1/2 = \sin [(2\pi/T)t_1] \Rightarrow (2\pi/T)t_1 = \pi/6$  და  $t_1 = T/12$  (3); პერიოდის მეორე ნახევრის გასავლელად საჭირო დრო  $t_2 = T/4 - T/12 = T/6$  (4).  $\{(3), (4)\} \Rightarrow Z = t_2/t_1 = 2$ .

4. ქანქარიანი საათი, რომლის ქანქარის სიგრძე  $L = 1$  მ, დღეღამეში  $\Delta t = 1$  საათით ჩამორჩება. რამდენით უნდა შევცვალოთ ქანქარის სიგრძე ( $\Delta L$ ), რომ საათმა ზუსტად იმუშაოს?

საათის ჩვენება  $t^*$  პროპორციულია შესრულებული რხევათა რიცხვისა, ხოლო რხევათა რიცხვი  $N$  უკუპროპორციულია რხევის პერიოდისა:  $N = t/T$ . აქედან გამომდინარე, ასევე რხევის პერიოდის უკუპროპორციულია საათის ჩვენებაც  $t^* \sim t/T$ . თავიდან საათი დღეღამეში ჩამორჩებოდა  $\Delta t = 1$  საათით, ე.ი.  $t_1^* = 23$  სთ. იმისთვის, რომ საათმა სწორად იმუშაოს ( $t_2^* = 24$  სთ), საჭიროა პერიოდის შემცირება, ანუ ქანქარის დამოკლება. საათის ჩვენებათა შეფარდება დამოკლებამდე და დამოკლების შემდეგ ტოლი იქნება:

$$t_1^*/t_2^* = T_2/T_1 = \sqrt{(L - \Delta L)/L} \quad (1) \Rightarrow \Delta L = [1 - (t_1^*/t_2^*)^2]L \quad (2) \text{ და } \Delta L \approx 8 \text{ სმ.}$$

5. ზამბარიანი ქანქარა იწყებს ჰარმონიულ რხევას მაქსიმალური გადახრის მდგომარეობიდან. იპოვეთ დროის  $t_1$  მომენტები (პერიოდის ნაწილებით), როცა ზამბარის  $W_p$  პოტენციური ენერჯია მერხვეი სხეულის  $W_k$  კინეტიკური ენერჯიის ტოლია.

ზამბარის პოტენციურ ენერგიას მერხევი სხეულის წონასწორული მდგომარეობიდან წა-  
ნაცვლება განსაზღვრავს:  $W_p = kx^2/2 = kA^2 \cos^2 \omega t / 2 = W_{p0} \cos^2 \omega t$  (1).  $W_{p0} = kA^2/2$  (2) პო-  
ტენციური ენერგიის მაქსიმალური მნიშვნელობაა. კინეტიკური ენერგიისთვის კი გვექ-  
ნება:  $W_k = mV^2/2 = mV_0^2 \sin^2 \omega t / 2 = W_{k0} \sin^2 \omega t$  (3) და  $W_{k0} = mV_0^2/2$  (4). პირობის  
თანახმად  $W_p = W_k$ , ანუ  $W_{p0} \cos^2 \omega t = W_{k0} \sin^2 \omega t$  (5), ხოლო ენერგიის მუდმივობის  
კანონის შესაბამისად  $W_{p0} = W_{k0}$  (6)  $\Rightarrow$  (5)  $\Rightarrow$   $\text{tg}^2 \omega t = \text{tg}^2[(2\pi/T)t] = 1$ . მაშასადამე,  
( $2\pi/T$ ) $t_1 = \pi/4$  და  $t_1 = T/8$ . ანალოგიურად:  $t_2 = 3T/8$ ;  $t_3 = 5T/8$ ;  $t_4 = 7T/8$ .

6. როგორ იცვლება დროის მიხედვით მათემატიკური ქანქარის ძაფის დაჭიმულობა  $F$ ,  
თუ ქანქარა ირხევა კანონით  $\varphi = \varphi_0 \cos \omega t$ , სადაც  $\varphi$  ვერტიკალიდან გადახრის კუთხეა.  
ქანქარის მასაა  $m$ , სიგრძე -  $L$ .

ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად,  $m\mathbf{a}_c = \mathbf{F} - m\mathbf{g} \cos \varphi$  (1), სადაც  $\mathbf{a}_c$  ცენტრისკენული  
აჩქარებაა:  $\mathbf{a}_c = \omega^2 \mathbf{L}$  (2),  $\omega$  კუთხური სიჩქარე  $\omega = d\varphi/dt = -\omega \varphi_0 \sin \omega t$  (3).  $\{(2),(3)\} \Rightarrow (1) \Rightarrow$   
$$\mathbf{F} = m\mathbf{g} \cos(\varphi_0 \cos \omega t) + mL\omega^2 \varphi_0^2 \sin^2 \omega t$$

7. მილევადი რხევის პერიოდი  $T = 4$  წმ, მილევის ლოგარითმული დეკრემენტი  $\lambda = 2$ ,  
საწყისი ფაზა  $\theta = 0$ ,  $t_1 = T$  მომენტში წანაცვლება  $x_1 = 4$  სმ. შეადგინეთ რხევის განტოლე-  
ბა და განსაზღვრეთ  $A$  ამპლიტუდის სიდიდე.

მილევადი რხევის განტოლებას აქვს სახე:  $x = A[\exp(-\lambda t / T)] \cdot \cos(\omega t + \theta)$ . პირობის  
მიხედვით: 1. რხევის ციკლური სიხშირე  $\omega = 2\pi/T = \pi/2$  რად/წმ; 2.  $\cos \omega T = 1$ ; 3.  $\exp(-\lambda T / T) =$   
 $= e^{-2}$ . ამდენად, ამპლიტუდა იძებნება განტოლებიდან  $x_1 = Ae^{-2}$  და  $A = 0.3$  მ.

8.  $k = 10$  ნ/მ სიხისტის ზამბარაზე მიმაგრებული  $m = 100$  გ მასის ბურთულაზე მოქმე-  
დებს გარე პერიოდული ძალა. როგორია  $\omega_R$  რეზონანსული სიხშირე, თუ მილევის  
კოეფიციენტი  $b = 5.66$  წმ<sup>-1</sup> ?

რეზონანსული სიხშირე  $\omega_R = \sqrt{(\omega_0^2 - 2b^2)}$  (1),  $\omega_0$  კი საკუთარი სიხშირეა  $\omega_0 = (k/m)^{1/2}$   
(2)  $\Rightarrow$  (1)  $\Rightarrow$   $\omega_R = [(k/m) - 2b^2]^{1/2} = 6$  რად/წმ {რეზონანსული სიხშირე შესამჩნევად განს-  
ხვავდება საკუთარი სიხშირისგან, ვინაიდან დიდია მილევის კოეფიციენტი}.

9. რხევის წყაროდან  $L = 4$  სმ-ით დაშორებული წერტილის წანაცვლება  $t_1 = T/12$  დროის  
მომენტში ამპლიტუდის ნახევრის ტოლია:  $x_1 = A/2$ . იპოვეთ ტალღის სიგრძე  $\lambda$ .

წანაცვლება  $x = A \cos(2\pi t/T - 2\pi L/\lambda) \Rightarrow$   
 $\cos(2\pi T/12T - 2\pi L/\lambda) = 1/2 \Rightarrow \pi/6 - 2\pi L/\lambda = \pi/3 \Rightarrow \lambda = 12L = 0.48$  მ.

10. დამკვირვებლიდან  $S = 1068$  მ-ის დაშორებით რკინიგზის რელსს დაარტყეს ჩაქუჩი.  
დამკვირვებელმა, რომელსაც ყური რელსზე ჰქონდა მიდებული, ორჯერ გაიგონა დარტ-  
ყმის ხმა: ჰაერით მოსულმა ბგერამ დაიგვიანა  $\Delta t = 3$  წმ-ით. იპოვეთ  $V$  ბგერის სიჩქარე  
ფოლადში, თუ ჰაერში ბგერის სიჩქარე  $V_0 = 333$  მ/წმ.

ჰაერით მოსული ბგერისთვის  $S = V_0 t_0$  (1), სადაც  $t_0$  არის დრო, რომელიც დასჭირდა ბგერას აღნიშნული მანძილის გასავლელად; რელსით (ფოლადით) მოსული ბგერისთვის  $S = Vt$  (2), სადაც  $t$  არის დრო, რომელიც დასჭირდა ბგერას ფოლადში იმავე მანძილის გასავლელად.  $\{(1),(2)\} \Rightarrow Vt = V_0 t_0$  ანუ  $V = V_0 t_0 / t$  (3). პირობის თანახმად  $t = t_0 - \Delta t$  (4)  $(4) \Rightarrow (3) \Rightarrow V = V_0 t_0 / (t_0 - \Delta t)$  (5).  $\{(5),(1)\} \Rightarrow V = SV_0 / (S - V_0 \Delta t)$  და  $V = 5150$  მ/წმ.

**11.** ბგერის ორი კოჰერენტული წყარო ერთნაირ ფაზაში ირხევა. პირველი წყაროდან  $L_1 = 2$  მ-ით, ხოლო მეორედან  $L_2 = 2.5$  მ-ით დამორებულ წერტილში ბგერა არ ისმის. განსაზღვრეთ ბგერის მინიმალური სიხშირე  $\nu_m$ , რომლის დროსაც დაიმზირება აღნიშნული მოვლენა. ბგერის სიჩქარე ჰაერში  $V = 340$  მ/წმ.

ინტერფერენციული მინიმუმის პირობა:  $\Delta = (2n+1)\lambda/2$ , სადაც  $\Delta$  ტალღების სვლათა სხვაობაა,  $\lambda$  - ტალღის სიგრძე,  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$   $\Delta = L_2 - L_1 = 0.5$  მ;  $\lambda = V/\nu$ ,  $\nu = (2n + 1)V/2\Delta$ , ხოლო მინიმალური სიხშირეს შეესაბამება  $n = 0 \Rightarrow \nu_m = V/2\Delta$ ,  $\nu_m = 340$  ჰც.

*“ყველაზე დიდი რამ, რაც მცირეში არის მოთავსებული -  
სალი გონებაა ადამიანის სხეულში.” არისტოტელე*

### III.2. ამოცანები

! რხევები სრულდება კოსინუსის კანონით, თუ სხვა არ არის მითითებული!

**რტ1.** ჰარმონიული რხევის ამპლიტუდა  $A=5$  სმ, პერიოდი  $T= 4$  წმ. იპოვეთ მერხვეი წერტილის უდიდესი სიჩქარე  $V_0$  და უდიდესი აჩქარება  $a_0$ .

**რტ2.** წერტილი ირხევა ჰარმონიულად (კოსინუსის კანონით)  $T = 2$  წმ პერიოდით და  $A= 50$  მმ ამპლიტუდით. იპოვეთ წერტილის  $V_1$  სიჩქარე იმ მომენტში, როცა მისი გადახრა წონასწორობიდან  $x_1= 25$  მმ.

**რტ3.** სხეული ასრულებს ჰარმონიულ რხევას  $x = 0.05 \sin \pi t$  კანონით (SI სისტემა). განსაზღვრეთ: [1] რხევის ამპლიტუდა  $A$ , სიხშირე  $\nu$ , პერიოდი  $T$ ; [2] სხეულის წანაცვლება  $t_1 = 17/6$  წმ-ს და  $t_2 = 19/6$  წმ-ს შემდეგ?

**რტ4.**  $m= 400$  გ მასის ტვირთი ასრულებს რხევებს  $k = 1000$  ნ/მ სიხისტის ზამბარაზე. რხევის ამპლიტუდა  $A = 10$  სმ. იპოვეთ რხევის სრული მექანიკური ენერჯია  $W$  და ტვირთის მოძრაობის უდიდესი სიჩქარე  $V_0$ .

**რტ5.**  $m = 80$  კგ მასის ადამიანი იწყებს ქანაობას საქანელაზე მაქსიმალური გადახრის მდგომარეობიდან. მისი რხევის ამპლიტუდა  $A = 1$  მ.  $t = 1$  წთ-ის განმავლობაში იგი  $N= 15$  რხევას ასრულებს. იპოვეთ  $W_k$  კინეტიკური და  $W_p$  პოტენციური ენერჯიები  $T$  პერიოდის  $1/12$ -ის შემდეგ.



**რტ6.** იპოვეთ ჰარმონიულად მერხევი წერტილის კინეტიკური ენერჯიის შეფარდება მის პოტენციურ ენერჯიასთან ( $Z = W_k / W_p$ ) დროის მომენტებში: [1]  $t_1 = T/12$ ; [2]  $t_2 = T/8$ ; [3]  $t_3 = T/6$ .

**რტ7.** მათემატიკური საქანის რხევის მიღწევის ლოგარითმული დეკრემენტი  $\lambda = 0.2$ . რამდენჯერ შემცირდება რხევის ამპლიტუდა ( $Z = A_0/A$ ) ერთი სრული რხევის შესრულების შემდეგ?

**რტ8.** ზღვის ტალღის თხემებს შორის მანძილი  $\lambda = 5$  მ. კატერის შემხვედრი მოძრაობისას ტალღა  $t = 1$  წმ-ის განმავლობაში  $N_1 = 4$ -ჯერ ეჯახება მას, ხოლო ერთი მიმართულებით მოძრაობისას –  $N_2 = 2$ -ჯერ. იპოვეთ კატერის  $V_1$  და ტალღის  $V_0$  მოძრაობის სიჩქარეები, თუ ცნობილია, რომ კატერის სიჩქარე მეტია ტალღის სიჩქარეზე.

**რტ9.** X ღერძის გასწვრივ ვრცელდება ბრტყელი ტალღა, რომლის ტალღის სიგრძეა  $\lambda$ . როგორია  $L_m$  მინიმალური მანძილი გარემოს იმ წერტილებს შორის, რომლებშიც ნაწილაკები ირხევიან ურთიერთსაწინააღმდეგო ფაზებში?

**რტ10.** ორი კოჰერენტული წყაროდან, რომლებიც ერთნაირ ფაზაში ირხევიან და რომელთა სიხშირე  $\nu = 20$  ჰც, ვრცელდება ტოლი ამპლიტუდის ტალღები  $V = 2$  მ/წმ სიჩქარით. როგორია ინტერფერენციის შედეგი წერტილში, რომელიც პირველი წყაროდან  $\Delta = 15$  სმ-ით უფრო შორსაა, ვიდრე მეორედან?

**რტ11.** სპილენძში ვრცელდება დრეკადი ტალღა, რომლის განტოლებაა {რიცხვითი მნიშვნელობები მოცემულია SI სისტემაში}  $y = 0.8 \cos(0.25t - 2x)$ . იპოვეთ  $\xi$  ტალღის ენერჯიის სიმკვრივე. სპილენძის სიმკვრივე  $\rho = 8600$  კგ/მ<sup>3</sup>.

*“იყო საკუთარი თავით ზედმეტად უკმაყოფილო - სისულტა; იყო საკუთარი თავით ზედმეტად კმაყოფილი - სიბრყევა.“ ?*

### III.3. ტესტები

! რხევები სრულდება კოსინუსის კანონით, თუ სხვა არ არის მითითებული!

**რტ1.** ზამბარაზე მიმაგრებული ტვირთის რხევის სიხშირეა  $\nu_1 = 2$  ჰც. თუ ტვირთის მასას  $Y=4$ -ჯერ გავზრდით, რხევის  $\nu_2$  სიხშირე იქნება:

ა. 4 ჰც;    ბ. 2 ჰც;    გ. 1 ჰც;    დ. 1/2.

**რტ2.** მათემატიკური ქანქარას რხევის პერიოდი  $T_1 = 1$  წმ. თუ ტვირთის მასას  $Y=4$ -ჯერ გავზრდით, რხევის პერიოდი  $T_2$  იქნება:

ა. 4 წმ;    ბ. 2 წმ;    გ. 1 წმ;    დ. 1/2.

რტ3.ჰარმონიულად მერხევი სხეულის სიხშირე  $\nu=0.25$  ჰც, ამპლიტუდა -  $A=1$  სმ. სხეულის საშუალო სიჩქარე  $V_a$  პერიოდის განმავლობაში იქნება:

- ა. 1 სმ/წმ;    ბ. 2 სმ/წმ;    გ. 4 სმ/წმ;    დ. 0.25 სმ/წმ.

რტ4.სად უფრო მეტია ბგერის გავრცელების  $V$  სიჩქარე - ვაკუუმში, ჰაერში, წყალში თუ ფოლადში?

- ა. ვაკუუმში;    ბ. ჰაერში;    გ. წყალში;    დ. ფოლადში.

რტ5.ბგერის ხმამაღლობა დამოკიდებულია ბგერის

- ა. სიხშირეზე;    ბ. ტალღის სიგრძეზე;    გ. ამპლიტუდაზე;    დ. სიჩქარეზე.

რტ6.ბგერის სიმაღლე დამოკიდებულია ბგერის

- ა. სიხშირეზე;    ბ. ტალღის სიგრძეზე;    გ. ამპლიტუდაზე;    დ. სიჩქარეზე.

რტ7.ექოს მოვლენა განპირობებულია ბგერის:

- ა. გარდატეხით;    ბ. არეკვლით;    გ. წრფივი გავრცელებით;    დ. შთანთქმით.

რტ8. წონასწორობიდან მაქსიმალური გადახრისას ჰარმონიულად მერხევი სხეულის:

- ა. კინეტიკური ენერგია მაქსიმალურია;    ბ. პოტენციური ენერგია მაქსიმალურია;  
გ. სიჩქარე ნულის ტოლია;    დ. სწორია ა და ბ.

რტ9. როცა ჰარმონიულად მერხევი სხეულის სიჩქარე მაქსიმალურია

- ა. აჩქარება მაქსიმალურია;    ბ. აჩქარება მინიმალურია;    გ. გადახრა მაქსიმალურია;  
დ. ძალა მაქსიმალურია.

რტ10.ტალღის გავრცელებისას რის გადატანას აქვს ადგილი:

- ა. ნივთიერების;    ბ. ენერგიის;    გ. ნივთიერების და ენერგიის;  
დ. ხან ნივთიერების და ხან ენერგიის.

რტ11.ტალღის გავრცელება ხასიათდება პერიოდულობით:

- ა. სივრცეში;    ბ დროში;    გ. სივრცესა და დროში;  
დ. ზოგჯერ სივრცეში, ზოგჯერ დროში.

რტ12.ჰარმონიული რხევის ამპლიტუდა  $A = 10$  სმ, ციკლური სიხშირე  $\omega = 4$  რად/წმ. მერხევი წერტილის უდიდესი სიჩქარე  $V_0$  იქნება:

- ა. 0.16 მ/წმ;    ბ. 40 მ/წმ ;    გ. 0.4 მ/წმ;    დ. 16 მ/წმ.

**რტ13.** რას უდრის ჰარმონიულად მერხვეი სხეულის კინეტიკური ენერჯიის ფარდობა პოტენციურ ენერჯიასთან ( $Z = E_k / E_p$ ) დროის  $t_1 = T/12$  მომენტში?

ა. 1;    ბ. 3;    გ.  $1/3$ ;    დ.  $1/6$ .

**რტ14.** ჰარმონიულად მერხვეი სხეულის  $x$  გადახრა გაუტოლდა  $A$  ამპლიტუდის ნახევარს  $t_1 = 1/36$  წმ დროის მომენტში. რას უდრის რხევის  $v$  სიხშირე?

ა. 36 ჰც;    ბ. 6 ჰც;    გ. 12 ჰც;    დ. 24 ჰც.

**რტ15.** როგორ შეიცვლება იძულებითი რხევის რეზონანსული ამპლიტუდა  $Z = A_{R2} / A_{R1}$  გარე ძალის ამპლიტუდის 2-ჯერ გაზრდისას ( $X = A_2 / A_1$ ) ?

ა. გაიზრდება 2-ჯერ;    ბ. გაიზრდება 4-ჯერ;    გ. არ შეიცვლება;  
დ. პასუხი დამოკიდებულია რეზონანსულ სიხშირეზე.

**რტ16.** ტალღის ორ წერტილს შორის ფაზათა სხვაობა  $\Delta\phi = \pi/3$ , ხოლო მათ შორის მანძილი  $\Delta L = 10$  სმ. მაშინ ტალღის სიგრძე  $\lambda$  ყოფილა:

ა.  $10/3$  სმ;    ბ. 20 სმ;    გ. 30 სმ;    დ. 60 სმ.

**რტ17.** როგორ შეიცვლება ტალღის ინტენსივობა  $I$  მის ამპლიტუდის  $k = 2$ -ჯერ გაზრდი სას და სიჩქარის  $n = 2$ -ჯერ შემცირებისას:

ა. გაიზრდება 2-ჯერ;    ბ. გაიზრდება 4-ჯერ ;    გ. არ შეიცვლება;    დ. შემცირდება 2-ჯერ.

**რტ18.** სიმში აღძრული მდგარი ტალღის მეორე ჰარმონიკის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 15$  სმ. სიმის სიგრძე  $L$  ყოფილა:

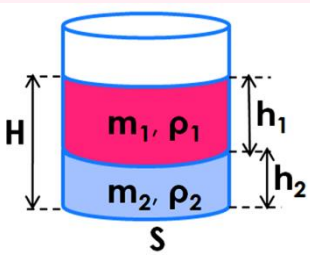
ა. 7.5 სმ;    ბ. 15 სმ;    გ. 30 სმ;    დ. 60 სმ.

## IV. ჰიდროაერომექანიკა

*“მეცნიერება სხვა არაფერია, თუ არა აზროვნების ყოველდღიური სრულყოფა.” Albert Einstein*

### IV.1. ამოცანები ამოხსნით

1. ტოლი მასის ( $m_1 = m_2$ ) წყალი და ნავთი ასხია ცილინდრულ ჭურჭელში. სითხის სვეტების საერთო სიმაღლე  $H = 22.5$  სმ. ნავთის სიმკვრივე  $\rho_1 = 800$  კგ/მ<sup>3</sup>, წყლისა -  $\rho_2 = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>. იპოვეთ  $P$  - წნევა ჭურჭლის ფსკერზე.



წნევას ჭურჭლის ფსკერზე აწარმოებს ორივე სითხე

$$P = \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 \quad (1)$$

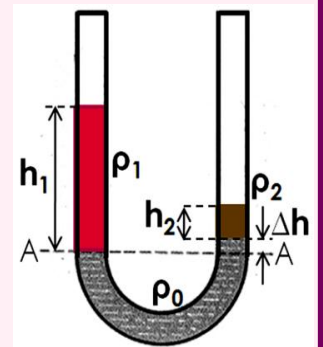
მასების ტოლობიდან:  $\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2 \Rightarrow \rho_1 S h_1 = \rho_2 S h_2 \Rightarrow \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$

ნახაზიდან:  $H = h_1 + h_2$  (2). ამრიგად  $\rho_1 h_1 = \rho_2 (H - h_1)$  და

$$h_1 = H / (1 + \rho_1 / \rho_2) \Rightarrow h_1 = 12.5 \text{ სმ} \quad (3); \quad (2) \Rightarrow h_2 = 10 \text{ სმ} \quad (4).$$

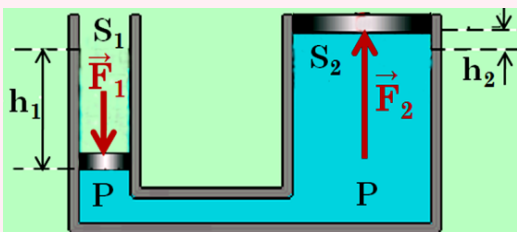
$$\{(3), (4)\} \Rightarrow (1) \quad P = 2 \text{ კპა.}$$

2. U-ს მაგვარ მილში ასხია წყალი და ნავთი, რომლებიც ერთმანეთისგან გამოყოფილია ვერცხლისწყლით. ნავთის სვეტის სიმაღლე  $h_1 = 20$  სმ, წყლისა  $h_2 = 2.4$  სმ. ნავთის სიმკვრივე  $\rho_1 = 800$  კგ/მ<sup>3</sup>, წყლისა -  $\rho_2 = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>, ვერცხლისწყლისა  $\rho_0 = 13\,600$  კგ/მ<sup>3</sup>. იპოვეთ  $\Delta h$  ვერცხლისწყლის დონეთა სხვაობა.



ასეთი ტიპის ამოცანებში უნდა შევარჩიოთ ის ჰორიზონტალური AA დონე, რომლის ქვემოთ ერთგვაროვანი სითხეა. ამ დონეზე ორივე მუხლში წნევა ერთნაირია: ნავთით წარმოებული წნევა გაწონასწორებულია წყლის და ვერცხლისწყლის მცირე სვეტის მიერ წარმოებული წნევებით. ე.ი.

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 + \rho_0 g \Delta h \Rightarrow \Delta h = (\rho_1 h_1 - \rho_2 h_2) / \rho_0 \Rightarrow \Delta h = 1 \text{ სმ.}$$



3. ჰიდრავლიკური წნეხის მცირე დეგუმზე მოქმედებს  $F_1 = 200$  ნ ძალა, რომლის გავლენით ის ჩამოიწია  $h_1 = 25$  სმ-ზე. ამ დროს დიდმა დეგუმმა აიწია  $h_2 = 5$  სმ-ზე. [1] რა  $F_2$  ძალა მოქმედებს დიდ დეგუმზე? [2] რამდენჯერ მეტია დიდი დეგუმის ფართობი პატარა დეგუმის ფართობზე ( $S_2/S_1$ ) ?

[1] მექანიკის ოქროს წესის თანახმად ორივე ძალა ერთნაირ მუშაობას ასრულებს:

$$F_1 h_1 = F_2 h_2 \Rightarrow F_2 = F_1 (h_1 / h_2) \Rightarrow F_2 = 1 \text{ კნ}$$

[2] ძალაში ვიგებთ იმდენჯერ, რამდენჯერაც დიდი დეგუმის ფართობი მეტია მცირე დეგუმის ფართობზე:

$$S_2 / S_1 = F_2 / F_1 = h_1 / h_2 \Rightarrow S_2 / S_1 = 5$$

4. ვერცხლისა და სპილენძის შენადნობის მასა  $m = 2$  კგ. შენადნობის წონა წყალში  $F = 17.6$  ნ. როგორია  $m_1$  ვერცხლის მასა შენადნობში? სიმკვრივეთა სიდიდეებია: ვერცხლის  $\rho_1 = 10\,500$  კგ/მ<sup>3</sup>, სპილენძის –  $\rho_2 = 8\,900$  კგ/მ<sup>3</sup>, წყლის –  $\rho_0 = 1\,000$  კგ/მ<sup>3</sup>;  $g = 9.8$  მ/წმ<sup>2</sup>

წონა წყალში  $F = mg - F_A$  (1), არქიმედეს ძალა  $F_A = \rho_0 V g$  (2). აქ  $V$  სხეულის საერთო მოცულობაა და ვერცხლის და სპილენძის მოცულობების ჯამის ტოლია:

$$V = V_1 + V_2 = m_1/\rho_1 + m_2/\rho_2 = m_1/\rho_1 + (m - m_1)/\rho_2 \quad (3)$$

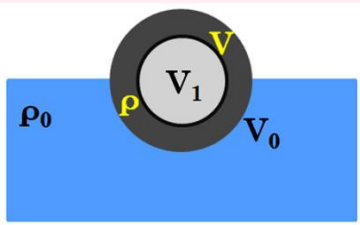
$$\{(2),(3)\} \Rightarrow (1) \quad F = mg - \rho_0 g [(m_1/\rho_1) + (m - m_1)/\rho_2] = mg - \rho_0 g m / \rho_2 - \rho_0 g m_1 (\rho_2 - \rho_1) / \rho_1 \rho_2$$

$$F/g = m [(\rho_2 - \rho_0)/\rho_2] - m_1 \rho_0 (\rho_2 - \rho_1) / \rho_1 \rho_2 \Rightarrow$$

$$F/g - m (\rho_2 - \rho_0) / \rho_2 = m_1 \rho_0 (\rho_1 - \rho_2) / \rho_1 \rho_2 \Rightarrow$$

$$m_1 = [F/g - m (\rho_2 - \rho_0) / \rho_2] \rho_1 \rho_2 / \rho_0 (\rho_1 - \rho_2) \quad (4) \Rightarrow m_1 = 1.227 \text{ კგ.}$$

5. სპილენძის ღრუ სფერო, რომლის მოცულობა  $V = 178$  სმ<sup>3</sup>, ტივტივებს წყალში ნახევრად ჩაძირულ მდგომარეობაში ( $V_0 = V/2$ ). გამოთვალეთ სიდრუსის მოცულობა  $V_1$ . (სპილენძის სიმკვრივე  $\rho = 8\,900$  კგ/მ<sup>3</sup>, წყლისა –  $\rho_0 = 1\,000$  კგ/მ<sup>3</sup>).

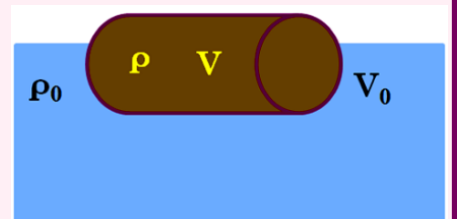


ტივტივის პირობის შესაბამისად (4.10) სფეროს სიმძიმის ძალა ამომგდები ძალის ტოლია  $mg = F_A$  (1). ნახაზიდან:

$$m = \rho(V - V_1) \quad (2) \quad F_A = \rho_0 V_0 g = \rho_0 g V / 2 \quad (3) \quad \{(2),(3)\} \Rightarrow (1)$$

$$\rho(V - V_1)g = \rho_0 g V / 2 \quad (4) \quad V_1 = V(1 - \rho_0 / 2\rho) \quad (5) \Rightarrow V_1 = 168 \text{ სმ}^3$$

6. ხის ძელი ტივტივებს წყალში. წყალში ჩაძირული ნაწილის მოცულობა  $V_0$  მთელი  $V$  მოცულობის 3/4-ია. იპოვეთ ხის სიმკვრივე  $\rho$ . წყლის სიმკვრივე  $\rho_0 = 10^3$  კგ/მ<sup>3</sup>.



ძელი ტივტივებს ე.ი.  $mg = F_A$  (1). ნახაზიდან:

$$m = \rho V \quad (2) \quad F_A = \rho_0 V_0 g = 3\rho_0 g V / 4 \quad (3) \quad \{(2),(3)\} \Rightarrow (1)$$

$$\rho V g = 3\rho_0 g V / 4 \quad (4) \Rightarrow \rho = 3\rho_0 / 4 \Rightarrow \rho = 750 \text{ კგ/მ}^3.$$

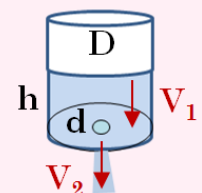
7. ცილინდრული ჭურჭლის ფსკერზე გაკეთებულია  $d = 1$  სმ დიამეტრის მრგვალი ნახვრეტი. ჭურჭლის დიამეტრი  $D = 0.5$  მ. [1] იპოვეთ ამ ჭურჭელში სითხის დონის შემცირების  $V_1$  სიჩქარის დამოკიდებულება სითხის სვეტის  $h$  სიმაღლეზე. [2] განსაზღვრეთ ეს სიჩქარე  $h = 0.2$  მ შემთხვევაში.

ჭურჭელში სითხის  $V_1$  და ჭურჭლიდან გამოდინების  $V_2$  სიჩქარეებისას, ბერნულის განტოლების თანახმად  $(\rho V_1^2 / 2) + \rho g h_1 = (\rho V_2^2 / 2) + \rho g h_2$  (1).  $h = h_1 - h_2$  პირობის გათვალისწინებით, (1)  $\Rightarrow V_1^2 + 2gh = V_2^2$  (2). უწყვეტობის განტოლებიდან  $\{S_1 V_1 = S_2 V_2, \text{ ანუ } (\pi D^2 / 4) \cdot V_1 = (\pi d^2 / 4) \cdot V_2\} \Rightarrow V_2 = (D^2 / d^2) \cdot V_1$  (3)  $\Rightarrow$  (2)

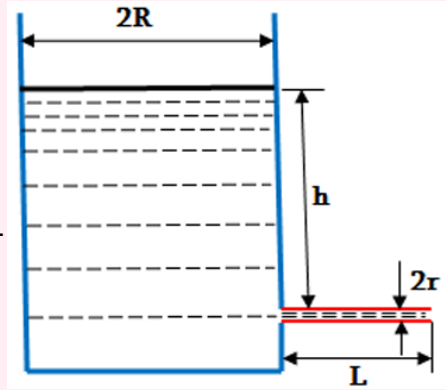
$$[1]: V_1 = d^2 (2gh)^{1/2} / (D^4 - d^4)^{1/2} \quad (4)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $D = 0.5$  მ  $\gg d = 1$  სმ, (4)  $\Rightarrow$

$$[2]: V_1 = 8 \cdot 10 \text{ მ/წმ}, \text{ როდესაც } h = 0.2 \text{ მ.}$$



8.  $R = 2$  სმ რადიუსის ცილინდრული ჭურჭლის გვერდით ზედაპირზე ჩასმულია  $r = 1$  მმ რადიუსის და  $L = 2$  სმ სიგრძის კაპილარი. ჭურჭელში ასხია  $\rho = 900$  კგ/მ<sup>3</sup> სიმკვრივის კასტორის ზეთი, რომლის დინამიკური სიბლანტე  $\eta = 1.2$  კგ/(მ·წმ). იპოვეთ:



[1] კასტორის ზეთის დონის შემცირების  $V$  სიჩქარის დამოკიდებულება მის  $h$  სიმაღლეზე კაპილარის დონიდან;

[2]  $V$  სიჩქარის რიცხვითი მნიშვნელობა, როცა  $h = 26$  სმ.

ჰაგენ-პოაზილის კანონის თანახმად  $Q = \pi r^4 \Delta P / (8L\eta)$  (1), სადაც  $Q = \mathcal{V} / t$  (2) – სითხის ხარჯია (კაპილარში დროის ერთეულში გასული სითხის მოცულობა), ხოლო წნევათა სხვაობა  $\Delta P = \rho g h$  (3) - ჰიდროსტატიკური წნევაა. მეორეს მხრივ, კაპილარში სითხის დინების  $V_1$  სიჩქარისას  $\mathcal{V} / t = S_1 V_1 = \pi r^2 V_1$  (4). უწყვეტობის  $S_1 V_1 = S V$  განტოლებიდან  $V = (S_1 / S) \cdot V_1 = (r/R)^2 \cdot V_1$  (5). {(2),(3),(4),(5)}-ის გათვალისწინებით, (1)  $\Rightarrow$

$$[1]: V = r^4 \rho g h / (8L\eta R^2) \quad (6)$$

$$[2]: \text{როდესაც } h = 26 \text{ სმ, } (6) \Rightarrow V = 3 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

9.  $D_1 = 3$  მმ და  $D_2 = 1$  მმ დიამეტრის ტყვიის საფანტის მარცვლები ჩაყარეს გლიცერინით სავსე  $H = 1$  მ სიმაღლის ჭურჭელში. გლიცერინის სიმკვრივე  $\rho_0 = 1300$  კგ/მ<sup>3</sup>, მისი დინამიკური სიბლანტე  $\eta = 1.47$  კგ/(მ·წმ). ტყვიის სიმკვრივე  $\rho = 11300$  კგ/მ<sup>3</sup>. მიიჩნიეთ, რომ მარცვლები მუდმივი სიჩქარით მოძრაობენ და განსაზღვრეთ, რამდენით გვიან ( $\Delta t$ ) დავარდება ფსკერზე პატარა ( $D_2$ ) მარცვლები დიდ ( $D_1$ ) მარცვლებთან შედარებით?

მარცვლები თანაბრად მოძრაობენ, ე.ი.  $mg - F_f - F_A = 0$  (1).  $F_f$  - ბლანტი ხახუნის ძალაა,  $F_f = 3\pi\eta DV$  (2),  $F_A$  - არქიმედეს ძალა,  $F_A = \rho_0 g \mathcal{V}$  (3). მარცვლის მასა  $m = \rho \mathcal{V} = \rho \pi D^3 / 6$  (4). {(2)-(4)}  $\Rightarrow$  (1) და მარცვლის სიჩქარისთვის მივიღებთ  $V = gD^2(\rho - \rho_0) / 18\eta$ , ვარდნის დრო კი -  $t = H/V = 18\eta H / (\rho - \rho_0) g D^2$  (5). თუ (5)-დან განვსაზღვრავთ ვარდნის დროებს ორივე სახის მარცვლისთვის, მაშინ საძიებელი დაგვიანებისთვის მივიღებთ:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = [18\eta H / (\rho - \rho_0) g] \cdot (1/D_2^2 - 1/D_1^2) \text{ და } \Delta t = 4 \text{ წთ.}$$

“ყველა შეიარაღებული წინასწარმეტყველი იმარჯვებდა, ყველა შეუთარაღებელი კი იღუპებოდა.” Niccolo Machiavelli

## IV.2. ამოცანები

ჰა1. რა  $h$  სიმაღლის უნდა იყოს სითხით სავსე  $R$  რადიუსიანი ცილინდრი, რომ სითხის წნევის ძალა მის ფსკერსა და კედლებზე ერთნაირი იყოს?

ჰა2.  $U$ -ს მაგვარ მილში, რომლის განივკვეთის ფართობი  $S = 5$  სმ<sup>2</sup>, ასხია ვერცხლისწყალი. ერთერთ მუხლში ჩაასხეს  $m_1 = 100$  გ წყალი, მეორეში -  $m_2 = 236$  გ ნავთი. იპოვეთ ვერცხლისწყლის დონეთა სხვაობა მუხლებში  $\Delta h$ . ვერცხლისწყლის სიმკვრივე  $\rho_0 = 13600$  კგ/მ<sup>3</sup>.

3ა3. ტბის ზედაპირიდან  $H = 40$  მ სიღრმეზე წნევა რამდენჯერ ( $n$ ) აღემატება ატმოსფერულს? ატმოსფერული წნევა  $p_0 = 10^5$  პა, წყლის სიმკვრივე  $\rho = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>.

3ა4. იპოვეთ ატმოსფეროს მასა  $M$ , თუ ცნობილია ატმოსფერული წნევა  $p_0 = 10^5$  პა და დედამიწის რადიუსი  $R = 6400$  კმ.

3ა5. ცილინდრული ფორმის ხის მორი, რომლის სიგრძეა  $L = 3.5$  მ, დიამეტრი  $D = 28$  სმ, ტივტივებს წყალში. რა  $M$  მასის ადამიანი შეიძლება დადგეს მორზე ისე, რომ ფეხები არ დაისველოს? ხის სიმკვრივე  $\rho_0 = 700$  კგ/მ<sup>3</sup>, წყლისა -  $\rho = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>.

3ა6.  $\rho$  სიმკვრივის სხეულის წონა ჰაერში (ვაკუუმში)  $F_0$  -ია, სითხეში -  $F_1$ . იპოვეთ სითხის სიმკვრივე  $\rho_0$ .

3ა7. ერთგვაროვანი კუბი ტივტივებს ვერცხლისწყალში ისე, რომ ჩაძირულია მისი მოცულობის  $n_1 = 1/5$  ნაწილი. როცა ამ კუბზე ზემოდან მოათავსეს ისეთივე ზომის კუბი, პირველი კუბი ჩაიძირა ნახევრამდე -  $n_2 = 1/2$ . იპოვეთ მეორე კუბის სიმკვრივე  $\rho$ . ვერცხლისწყლის სიმკვრივე  $\rho_0 = 13600$  კგ/მ<sup>3</sup>.

3ა8. სპილენძისა და ალუმინის ბურთულები გაწონასწორებულია ბერკეტთან სასწორზე. რამდენჯერ ( $n$ ) უნდა შემცირდეს ერთერთი მათგანის (რომლის?) მოცულობა, რომ ბურთულების წყალში ჩაშვების შემდეგ წონასწორობა არ დაირღვეს? სპილენძის სიმკვრივე  $\rho_1 = 8900$  კგ/მ<sup>3</sup>, ალუმინის -  $\rho_2 = 2700$  კგ/მ<sup>3</sup>, წყლისა -  $\rho = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>.

3ა9. ალუმინის სფეროს წონა ვაკუუმში  $F = 27$  ნ, წყალში -  $F_1 = 12$  ნ. რა  $V_1$  მოცულობის სიღრუე აქვს ამ სფეროს? ალუმინის სიმკვრივე  $\rho = 2700$  კგ/მ<sup>3</sup>, წყლისა -  $\rho_0 = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>.

3ა10.  $h = 1$  მ სიმაღლიდან უსაწყისო სიჩქარით წყალში ვარდება ხის ბურთულა. რა მაქსიმალურ  $H$  სიღრმეზე ჩავა იგი წყალში? ხის სიმკვრივე  $\rho = 800$  კგ/მ<sup>3</sup>, წყლისა -  $\rho_0 = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>.

3ა11. განსაზღვრეთ მილში ნახშირორჟანგის დინების სიჩქარე  $V$ , თუ ცნობილია, რომ  $t = 0.5$  საათის განმავლობაში მილის განივკვეთში გაედინება  $m = 0.51$  კგ აირი. აირის სიმკვრივე  $\rho = 7.5$  კგ/მ<sup>3</sup>, მილის დიამეტრი  $D = 2$  სმ.

3ა12. ჭურჭელში ყოველ წამში ( $t = 1$  წმ) ასხამენ  $V = 0.2$  ლ წყალს. როგორი უნდა იყოს ფსკერზე გაკეთებული ნახვრეტის დიამეტრი  $d$ , რომ მუდმივი იყოს ჭურჭელში წყლის დონე ( $h = 8.3$  სმ)?

3ა13. რა  $P$  წნევას ქმნის კომპრესორი საღებავის გამშვებ კამერაში, თუ  $\rho = 800$  კგ/მ<sup>3</sup> სიმკვრივის საღებავის ჭავლი მისგან გამოედინება  $V = 25$  მ<sup>3</sup>/წმ სიჩქარით?

**ჰა14.** მაგიდაზე დგას  $H$  სიმაღლის პირთამდე წყლით სავსე ცილინდრული ჭურჭელი. განსაზღვრეთ, რა  $h$  სიმაღლეზე უნდა გაუკეთდეს ჭურჭელს მცირე ზომის ნახვრეტი, რომ მისგან გამოსული ჭავლი დაეცეს მაგიდაზე, ჭურჭლიდან მაქსიმალურ სიშორეზე. რას უდრის ეს მაქსიმალური სიშორე  $S_M$ ?

**ჰა15.** რა  $V_M$  მაქსიმალურ სიჩქარეს შეიძლება მიაღწიოს  $d = 0.3$  მმ დიამეტრის წვიმის წვეთმა ( $\rho = 10^3$  კგ/მ<sup>3</sup>), თუ ჰაერის დინამიკური სიბლანტე  $\eta = 1,2 \cdot 10^{-5}$  კგ/(მ · წმ)?

**ჰა16.**  $r = 5$  მმ რადიუსის კორპის ბურთულა ამოტივტივდება ჭურჭელში, რომელშიც ასხია  $\rho_0 = 970$  კგ/მ<sup>3</sup> სიმკვრივის კასტორის ზეთი. კორპის სიმკვრივე  $\rho = 270$  კგ/მ<sup>3</sup>. იპოვეთ დინამიკური სიბლანტე  $\eta$ , თუ ბურთულა ამოტივტივდება მუდმივი  $v = 3.5$  სმ/წმ სიჩქარით.

*“ვისაც ლოდინი ხელეწიფება, ის თავისას მიიღებს.” Wolfgang E. Pauli*

### IV.3. ტესტები

**ჰა1.**  $\rho$  სიმკვრივის სხეული  $\rho_1$  სიმკვრივის სითხეში ტივტივებს, ხოლო  $\rho_2$  სიმკვრივის სითხეში იძირება. მაშინ:

ა.  $\rho_1 < \rho_2 < \rho$ ;    ბ.  $\rho_2 < \rho < \rho_1$ ;    გ.  $\rho < \rho_1 < \rho_2$ ;    დ.  $\rho > \rho_1 > \rho_2$

**ჰა2.** ორ სხვადასხვა ცილინდრული ფორმის ჭურჭელში ასხია ერთი და იგივე  $m_1 = m_2$  მასის წყალი და ვერცხლისწყალი. წნევის ძალები ჭურჭლების ფსკერზე:

ა. ერთნაირია;    ბ. ვერცხლისწყლიანი ჭურჭლის ფსკერზე მეტია;  
 გ. წყლიანი ჭურჭლის ფსკერზე მეტია;    დ. დამოკიდებულია ჭურჭლების ფორმაზე.

**ჰა3.** აეროსტატის მოცულობაა  $V = 100$  მ<sup>3</sup>, წონა კი  $F = 500$  ნ. განსაზღვრეთ ატმოსფეროს იმ ფენის სიმკვრივე  $\rho_0$ , რომელშიც აეროსტატი წონასწორობაში იქნება.

ა.  $0.25$  კგ/მ<sup>3</sup>;    ბ.  $0.5$  კგ/მ<sup>3</sup>;    გ.  $5$  კგ/მ<sup>3</sup>;    დ.  $4.5$  კგ/მ<sup>3</sup>.

**ჰა4.** წყლიან ჭურჭელში ტივტივებს ყინულის ნაჭერი. ყინულის გადნობის შემდეგ  $h$  წყლის დონე:

ა. აიწევს;    ბ. დაიწევს;    გ. დაიწევს, თუ ყინულის მასა წყლის მასაზე ნაკლებია;  
 დ. არ შეიცვლება.

**ჰა5.** შეიძლება თუ არა რკინის სხეული ტივტივებდეს წყალში?

ა. შეიძლება, თუ სხეულს სიღრუე აქვს;    ბ. არ შეიძლება;  
 გ. ზღვაში შეიძლება, ტბასა და მდინარეში - არა;    დ. არცერთი პასუხი არაა სწორი



36. როცა გემი ზღვიდან მდინარეში გადადის (მტკნარი წყლის სიმკვრივე ნაკლებია მარილიანი წყლის სიმკვრივეზე), მისი ჩაძირვის სიღრმე  $\Delta h$ :

ა. არ იცვლება; ბ. იზრდება; გ. მცირდება; დ. მონაცემები არაა საკმარისი.

37. ერთი და იგივე მასის წყალი და ვერცხლისწყალი ( $m_1 = m_2$ ) ასხია ორ, განსხვავებული ფუძის ფართობის მქონე ( $S_1 \neq S_2$ ) ცილინდრულ ჭურჭელში. წნევა  $p$  ჭურჭლების ფსკერზე:

ა. ერთნაირია; ბ. მეტია ვერცხლისწყლიან ჭურჭელში;  
გ. მეტია ნაკლები ფუძის ფართობის მქონე ჭურჭელში;  
დ. მეტია იმ ჭურჭელში, რომელშიც სითხის სვეტის სიმაღლე მეტია.

38. როგორი უნდა იყოს სითხის სიმკვრივე  $\rho_0$ , რომ მასში ჩაშვებისას ალუმინის ბურთულის წონა  $z = 1.5$ -ჯერ შემცირდეს? (ალუმინის სიმკვრივეა  $\rho = 2700$  კგ/მ<sup>3</sup>)

ა. 1000 კგ/მ<sup>3</sup>; ბ. 1500 კგ/მ<sup>3</sup>; გ. 900 კგ/მ<sup>3</sup>; დ. 800 კგ/მ<sup>3</sup>.

39. რამდენი  $k\%$ -ით უნდა შემცირდეს გემის ტვირთის მასა, რომ ზღვიდან მდინარეში გადასვლისას გემის წყალქვეშა ნაწილის მოცულობა არ შეიცვალოს? (ზღვის წყლის სიმკვრივე  $\rho = 1030$  კგ/მ<sup>3</sup>, მტკნარი წყლის -  $\rho_0 = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>)

ა. 1.1%; ბ. 2.9%; გ. 3.5%; დ. 4.5%.

310. მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმის ხის ძელი ტივტივებს წყალში. წყალზედა ნაწილის სიმაღლეა  $h_1 = 1.5$  სმ. ხის სიმკვრივეა  $\rho = 700$  კგ/მ<sup>3</sup>, წყლისა  $\rho_0 = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>. ძელის სიმაღლე  $h$  იქნება:

ა. 10 სმ; ბ. 8 სმ; გ. 5 სმ; დ. 4 სმ.

311. ტოლი მასის ( $m_1 = m_2$ ) სპილენძისა და ალუმინის ბურთულები გაწონასწორებულია ბერკეტთან სასწორზე. როგორ შეიცვლება წონასწორობის მდგომარეობა, თუ ბურთულებს წყალში ჩავუშვებთ?

ა. სპილენძის ბურთულა გადაძალავს; ბ. ალუმინის ბურთულა გადაძალავს;  
გ. წონასწორობა არ დაირღვევა; დ. მონაცემები არაა საკმარისი პასუხის გასაცემად.

312. ალუმინის ღრუ სფერო დაცურავს წყალში ნახევრად ჩაძირულ ( $n = 1/2$ ) მდგომარეობაში. სიღრუის მოცულობა  $V_2 = 440$  სმ<sup>3</sup>-ია. ალუმინის სიმკვრივეა  $\rho_1 = 2700$  კგ/მ<sup>3</sup>, წყლისა  $\rho_0 = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>. ალუმინის მასა  $m_1$  იქნება:

ა. 2.7 კგ; ბ. 270 გ; გ. 540 გ; დ. 5.4 კგ.

313. ერთმანეთთან შეერთებული სხვადასხვა განივი კვეთის მილები მოთავსებულია ჰორიზონტალურად, თანაც დიამეტრების შეფარდება  $n = D_1/D_2 = 2$ . სითხის დინების სიჩქარეთა შეფარდება შესაბამის კვეთებში  $Z = V_1/V_2$  იქნება:

ა. 2; ბ. 4; გ. 1/2; დ. 1/4.

ჰა14.η სიბლანტის კოეფიციენტის განზომილებაა:

ა. პა·წმ; ბ კგ/(მ·წმ); გ. ნ·წმ/მ<sup>2</sup>; დ. სამივე პასუხი სწორია.

ჰა15.Re რეინოლდსის რიცხვის განზომილებაა:

ა. მ/წმ; ბ. 1; გ. ნ·მ/წმ; დ. (მ/წმ)<sup>2</sup>.

ჰა16. როგორ შეიცვლება ლამინარული დინებისას სითხეში მოძრავ სფერულ ბურთულაზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა ( $Z = F_{f2} / F_{f1}$ ) მისი მოცულობის  $n_1 = 8$ -ჯერ გაზრდისას და სიჩქარის  $n_2 = 2$ -ჯერ შემცირებისას:

ა. გაიზრდება 2-ჯერ; ბ გაიზრდება 4-ჯერ; გ. არ შეიცვლება; დ. გაიზრდება 16-ჯერ.

ჰა17. როგორ შეივლება რეინოლდსის რიცხვი ( $Z = Re_2 / Re_1$ ) მილის რადიუსის  $n_1=2$ -ჯერ და სითხის დინების სიჩქარის  $n_2=4$ -ჯერ გაზრდისას:

ა. გაიზრდება 2-ჯერ; ბ. გაიზრდება 8-ჯერ; გ. არ შეიცვლება; დ. შემცირდება 2-ჯერ.

ჰა18. როგორ შეიცვლება ტურბულენტური დინებისას სითხეში მოძრავ სფერულ ბურთულაზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა ( $Z = F_{f2} / F_{f1}$ ) მისი რადიუსის  $n_1 = 2$ -ჯერ გაზრდისას და სიჩქარის  $n_2 = 4$ -ჯერ შემცირებისას:

ა. გაიზრდება 2-ჯერ; ბ. გაიზრდება 4-ჯერ; გ. არ შეიცვლება; დ. შემცირდება 4-ჯერ

# V. მოლეკულური ფიზიკა და თერმოდინამიკა

“ისტორია - ჭორის კვინტენსენციაა.” Thomas Carlyle

## V.1. ამოცანები ამოხსნით

1. სად უფრო მეტია მოლეკულების რაოდენობა ( $Z = N_1 / N_2$ ): ჭიქა წყალში თუ ჭიქა ვერცხლისწყალში? წყლის მოლეკული მასა  $M_1 = 0.018$  კგ/მოლ, სიმკვრივე -  $\rho_1 = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>; ვერცხლისწყლის მოლეკული მასა  $M_2 = 0.2$  კგ/მოლ, სიმკვრივე -  $\rho_2 = 13600$  კგ/მ<sup>3</sup>.

მოლეკულების რაოდენობა  $m = \rho V$  (1) მასის ნივთიერებაში  $N = n N_A = (m/M) N_A$  (2)  $\{N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$  მოლი<sup>-1</sup> ავოგადროს რიცხვია}. (1) => (2):

$$N_1 = (\rho_1 V_1 / M_1) N_A \quad (3); \quad N_2 = (\rho_2 V_2 / M_2) N_A \quad (4). \quad \{[(3)/(4)] \text{ და } V_1 = V_2\} \Rightarrow$$

$$N_1 / N_2 = (\rho_1 / M_1) / (\rho_2 / M_2) = (\rho_1 / \rho_2) (M_2 / M_1) = 2 / 2.448 < 1$$

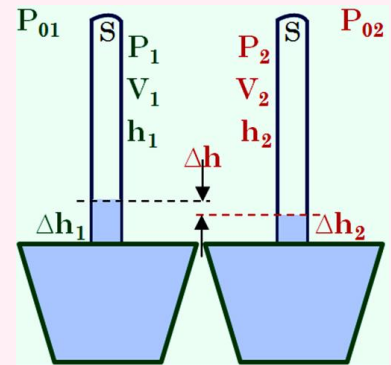
ჭიქა წყალში მოლეკულების რაოდენობა ნაკლებია. {მაგრამ, ჭიქა წყალში უფრო მეტია ატომების რაოდენობა, ვინაიდან ვერცხლისწყალი ერთატომიანი ნივთიერებაა, ხოლო წყლის მოლეკულა სამი ატომისგან შედგება}

2. გამოთვალეთ აირის მოლეკულის სიჩქარის კვადრატის საშუალო მნიშვნელობა ( $\overline{V^2}$ ), თუ აირის წნევაა  $P = 200$  კპა, მოცულობა  $V = 5$  მ<sup>3</sup> და მასა  $m = 6$  კგ.

მკთ-ს ძირითადი განტოლების (3.1) თანახმად აირის წნევა  $P = (1/3) m_0 n \overline{V^2}$  (1). მოლეკულების (3.2) კონცენტრაცია  $n = N/V \Rightarrow$  (1)  $\Rightarrow P = (1/3) m_0 (N/V) \overline{V^2}$  (2). აქ  $m_0 N = m$  (3)

$$\{(3) \Rightarrow (2)\} \Rightarrow \overline{V^2} = 3PV/m = 5 \cdot 10^5 \text{ მ}^2/\text{წმ}^2.$$

3. განიერ ჭურჭელში ჩასხმულ ვერცხლისწყალში ჩაშვებულ მილში ვერცხლისწყლის დონე  $\Delta h_1 = 5$  სმ-ით მაღლაა, ვიდრე ჭურჭელში. ჰაერის სვეტის სიმაღლე მილში  $h_1 = 71$  სმ-ია. ამ დროს ატმოსფერული წნევა  $P_{01} = 750$  ტორის ტოლია (1 ტორი = 1 ვ.სვ.მმ.) ატმოსფერული წნევის ცვლილების შედეგად ჰაერის სვეტის სიმაღლე  $\Delta h = 1$  სმ-ით გაიზარდა. იპოვეთ ატმოსფერული წნევის ახალი მნიშვნელობა  $P_{02}$ . ტემპერატურა უცვლელია.



პროცესი იზოთერმულია, ამიტომ მილში მოქცეული ჰაერისთვის შეგვიძლია დავწეროთ ბოილ-მარიოტის (5.8) კანონი:  $P_1 V_1 = P_2 V_2$  (1). ნახაზიდან:  $P_1 S h_1 = P_2 S h_2$ ,  $P_1 h_1 = P_2 h_2$ ,  $P_1 h_1 = P_2 (h_1 + \Delta h)$  (2)  $\Rightarrow P_2 = P_1 h_1 / (h_1 + \Delta h)$  (3), სადაც  $P_1 = P_{01} - \Delta h_1$  (4) {თუ წნევის ერთეულად ვიყენებთ ვ.სვ.მმ., მაშინ წნევა უშუალოდ სვეტის სიმაღლით შეგვიძლია გამოვსახოთ}.

$$\text{ასევე, } P_2 = P_{02} - \Delta h_2 = P_{02} - (\Delta h_1 - \Delta h) \quad (5). \quad \{(4), (5)\} \Rightarrow (3) \Rightarrow$$

$$P_{02} - (\Delta h_1 - \Delta h) = (P_{01} - \Delta h_1) h_1 / (h_1 + \Delta h) \quad (6) \Rightarrow$$

$$P_{02} = [(P_{01} - \Delta h_1) h_1 / (h_1 + \Delta h)] + (\Delta h_1 - \Delta h) \quad (7) \Rightarrow P_{02} = 730 \text{ ტორი}$$

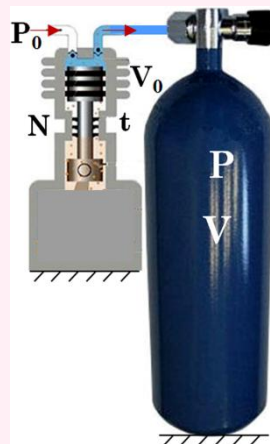
4. ცილინდრში დეგუმის ქვეშ არის  $t_1 = 47^\circ\text{C}$  ტემპერატურის იდეალური აირი. რა  $t_2$  ტემპერატურამდე უნდა გავათბოთ აირი, რომ წნევა გაიზარდოს  $n = 2$ -ჯერ, ხოლო მოცულობა  $q = 1/8$ -ით?

აირის უცვლელი მასისას, კლავირონის განტოლების (5.6) შესაბამისად:

$$P_1 \nu_1 / T_1 = P_2 \nu_2 / T_2 \quad (1) \text{ ანუ } P_1 \nu_1 / T_1 = n P_1 (\nu_1 + q \nu_1) / T_2 \quad (2) \Rightarrow$$

$$T_2 = n(q + 1) \cdot (t_1 + 273) = (9/4) \cdot 320 \text{ K} = 720 \text{ K} = 447^\circ \text{ C}$$

5. კომპრესორი ტუმბავს ჰაერს  $V=40$  ლ მოცულობის ბალონში. საწყისი წნევა ბალონში ატმოსფერული წნევის ტოლია ( $P_0 = 10^5$  პა). კომპრესორის შემწოვი კამერის მოცულობა  $V_0=2$  ლ და დგუში  $t=1$  წუთში  $N=20$  სვლას აკეთებს. როგორი  $P$  წნევა დამყარდება ბალონში  $t_1=5$  წუთის შემდეგ? ტემპერატურა მუდმივია.



ბოილ-მარიოტის (5.8) კანონის შესაბამისად,  $PV=P_0V_1$  (1).  $V_1$  ჰაერის იმ მასის მოცულობაა ატმოსფერული წნევისას, რომელიც, საბოლოოდ,  $P$  წნევის ქვეშ,  $V$  მოცულობის ბალონშია მოქცეული:  $V_1 = V + N_1V_0$  (2).  $t_1$  დროში დგუშის სვლათა რიცხვი  $N_1 = Nt_1 / t$  (3).

$$(1) \Rightarrow P=P_0V_1 / V \quad (4). \quad \{(2),(3)\} \Rightarrow (4) P=P_0(V + NV_0 t_1 / t) / V \Rightarrow$$

$$P = P_0(1 + NV_0 t_1 / Vt) \quad (5) \Rightarrow P = 6P_0 = 6 \cdot 10^5 \text{ პა}$$

6.  $C = 168$  ჯ/კ სითბოტევადობის ჭურჭელში,  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  ტემპერატურისას იყო  $m=500$  გ ყინული და ამდენივე წყალი. რა  $m_x$  რაოდენობის  $t_1=100^\circ\text{C}$  ტემპერატურის წყლის ორთქლი შეუშვეს წყალში, თუ ყინული მთლიანად გადნა და ჭურჭელში დამყარდა  $t_2=30^\circ\text{C}$  ტემპერატურა? {ორთქლადქცევის კუთრი სითბო  $L = 2.3 \cdot 10^6$  ჯ/კგ; წყლის კუთრი სითბოტევადობა  $c = 4.2 \cdot 10^3$  ჯ/(კგ·K); ყინულის დნობის კუთრი სითბოა  $\lambda = 330 \cdot 10^3$  ჯ/კგ}

სისტემა (ჭურჭელი, წყალი, ორთქლი) სითბურ ენერგიას იღებს ორთქლის კონდენსაციის  $Q_1 = Lm_x$  (1) და კონდენსირებული წყლის საბოლოო  $t_2$  ტემპერატურამდე გაცივების  $Q_2 = cm_x(t_1 - t_2)$  (2) შედეგად. ეს ენერგია ხმარდება ყინულის დნობას  $Q_3 = \lambda m$  (3), ჭურჭელში არსებული წყლის და ყინულიდან მიღებული წყლის  $t_2$  ტემპერატურამდე გათბობას  $Q_4 = c2m(t_2 - t_0)$  (4) და ჭურჭლის ტემპერატურის ზრდას  $Q_5 = C(t_2 - t_0)$  (5).

$$\text{ამრიგად: } Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (6). \quad \{(1),(2),(3),(4),(5)\} \Rightarrow (6) \Rightarrow$$

$$m_x[L + c(t_1 - t_2)] = \lambda m + [c2m + C] \cdot (t_2 - t_0) \quad (7) \Rightarrow$$

$$m_x = \{ \lambda m + [c2m + C] \cdot (t_2 - t_0) \} / [L + c(t_1 - t_2)] \quad (8) \Rightarrow m_x = 114 \text{ გ.}$$

7. ავტომობილის ბენზინის ავზის ტევადობაა  $V = 55$  ლ. რამდენ კილომეტრ გზაზე ( $S$ ) იქნება საკმარისი ეს საწვავი თანაბარი მოძრაობისას, თუ წინააღობის ძალაა  $F_f = 600$  ნ და ავტომობილის მარგი ქმედების კოეფიციენტია  $\eta = 17\%$ ? {ბენზინის სიმკვრივე  $\rho = 0.7$  კგ/მ<sup>3</sup>; ბენზინის წვის კუთრი სითბო  $q = 46 \cdot 10^6$  ჯ/კგ.}

მქვ  $\eta = A/Q = F_f S / Q$  (1)  $\Rightarrow S = \eta Q / F_f$  (2). საწვავის დაწვის შედეგად მიღებული სითბური ენერგია  $Q = mq = \rho V q$  (3)  $\Rightarrow (2) \Rightarrow S = \eta \rho V q / F_f$  (4)  $\Rightarrow S = 500$  კმ

8. იდეალური აირის მოცულობა ადიაბატური გაფართოებისას იზრდება  $n_1 = V_2 / V_1 = 2$ -ჯერ, ამ დროს აბსოლუტური ტემპერატურა მცირდება  $n_2 = T_1 / T_2 = 1.32$ -ჯერ. როგორია ამ გაზის მოლეკულების  $i$  თავისუფლების ხარისხთა რიცხვი?

ადიაბატური პროცესის განტოლებიდან  $\{TV^\gamma = \text{const}, \text{ ანუ } T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1} \quad (1)\}$  და მოცემულობის  $\{n_1=V_2/V_1; n_2=T_1/T_2\}$  გათვალისწინებით, განისაზღვრება  $\gamma$ :

$$\gamma = 1 + (\ln n_1)/(\ln n_2) = 1 + (\ln 1.32)/(\ln 2) = 1.4 \quad (2),$$

რომელიც დაკავშირებულია  $i$  თავისუფლების ხარისხთა რიცხვთან  $\gamma = (i+2)/i \quad (3) \Rightarrow$

$$i = 2/(\gamma-1) \quad (4). \quad \{(4),(2)\} \Rightarrow i = 5$$

**9.**ორატომიანი იდეალური აირის  $\nu$  მოლის იზობარული გაფართოებისას ტემპერატურა გაიზარდა  $\Delta T$ -ით. ივარაუდეთ, რომ მოლეკულა არაა ხისტი და გამოთვალეთ გადაცემული  $Q$  სითბოს რაოდენობა.

თერმოდინამიკის I კანონის თანახმად, გადაცემული  $Q$  სითბოს რაოდენობა  $\Delta U$  შინაგანი ენერჯიის ნაზრდისა და აირის მიერ შესრულებული  $A$  მუშაობის ჯამით განისაზღვრება:  $Q = \Delta U + A \quad (1)$ . ვინაიდან მოლეკულა არაა ხისტი, მას გააჩნია რხევითი თავისუფლების ხარისხიც, ამიტომ შინაგანი ენერჯიის ნაზრდი  $\Delta U = (7/2)\nu R \Delta T \quad (2)$ . შესრულებული მუშაობა  $A = \nu R \Delta T \quad (3)$ .  $\{(2),(3)\} \Rightarrow (1) \Rightarrow Q = (9/2)\nu R \Delta T$ .

**10.**სითბური ძრავა, რომლის მუშა სხეული ერთატომიანი იდეალური აირია, მუშაობს შემდეგი ციკლის მიხედვით: 1.აირი იზოქორულად თბება საწყისი წნევიდან  $k$ -ჯერ მეტ წნევამდე; 2.იზობარულად ფართოვება  $k$ -ჯერ მეტ მოცულობამდე; 3.იზოქორულად ცივდება საწყის წნევამდე და 4.იზობარულად უბრუნდება საწყის მდგომარეობას. დახაზეთ ციკლის გრაფიკი  $P$ - $V$  დიაგრამაზე და გამოთვალეთ ძრავას მექ  $\eta$ .

ციკლის გრაფიკს  $P$ - $V$  დიაგრამაზე ექნება ნახაზზე მოცემული სახე. მექ  $\eta = A/Q \quad (1)$ , სადაც  $A$  ციკლის დროს შესრულებული მუშაობაა,  $Q$  - სახურებლიდან მიღებული სითბოს რაოდენობა. მუშაობა გეომეტრიულად ციკლის გამომსახველი ფიგურის ფართობის ტოლია:  $A = (k-1)P_1(k-1)V_2 = (k-1)^2P_1V_1 \quad (2)$

სისტემა სითბოს ღებულობს 1-2 იზოქორული და 2-3 იზობარული პროცესების დროს:  $Q = Q_1 + Q_2 \quad (3)$ .

1-2 იზოქორული პროცესისას მთელი მიღებული სითბო შინაგანი ენერჯიის გაზრდას ხმარდება:

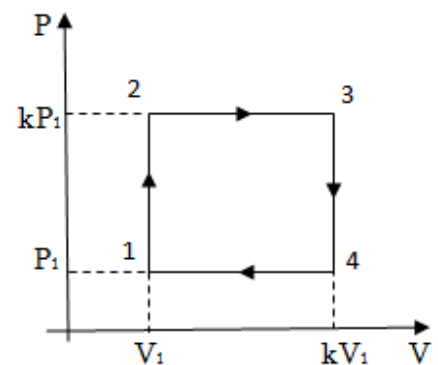
$$Q_1 = \Delta U_1 = (3/2)\nu R \Delta T_1 = (3/2)(P_2V_2 - P_1V_1) = (3/2)(P_2 - P_1)V_1 = (3/2)(k-1)P_1V_1 \quad (4)$$

2-3 იზობარული პროცესის დროს მიღებული სითბო ხმარდება შინაგანი ენერჯიის გაზრდას და მუშაობის შესრულებას:

$$Q_2 = \Delta U_2 + A_2 = (3/2)\nu R \Delta T_2 + P_2 \Delta V_2 = (3/2)(P_3V_3 - P_2V_2) + P_2(V_3 - V_2) = (3/2)(kP_1 \cdot kV_1 - kP_1V_1) + kP_1(k-1)V_1 = P_1V_1[(3/2)(k^2 - k) + k(k-1)] = P_1V_1(k-1)[(3/2)k + k] = (5/2)k(k-1)P_1V_1 \quad (5)$$

$\{(2),(3),(4),(5)\} \Rightarrow (1) \Rightarrow$

$$\eta = (k-1)^2P_1V_1 / [(3/2)(k-1)P_1V_1 + (5/2)k(k-1)P_1V_1] = 2(k-1)/(5k+3).$$



## V.2. ამოცანები

**მთ1.**  $V$  მოცულობის ჰაერის ბუშტი ამოდის  $H$  სიღრმის წყალსაცავიდან. იპოვეთ ბუშტის  $R$  რადიუსის დამოკიდებულება წყლის  $h$  სიღრმეზე. პროცესი იზოთერმულია. (წყლის სიმკვრივეა  $\rho$ , ატმოსფერული წნევა  $P_0$ )

**მთ2.** გადაპირქვავებული ცილინდრული ჭიქა, რომლის სიმაღლე  $H = 300$  მმ, ჩაუშვებს ვერცხლისწყალში ისე, რომ ჭიქის ფსკერი და ვერცხლისწყლის ზედაპირი ერთ დონეზეა. რა  $h$  სიმაღლეზე შევა ვერცხლისწყალი ჭიქაში? ატმოსფერული წნევა ნორმალურია ( $P_0 = 760$  ტორი),  $T = \text{const}$

**მთ3.** ერთი მხრიდან დახშული ვერტიკალური მილი ღია ბოლოთი ჩაშვებულია ვერცხლისწყლიან ჭურჭელში. ვერცხლისწყლის სვეტის სიმაღლე მილში  $h_1 = 40$  მმ-ით უფრო მაღლაა, ვიდრე ჭურჭელში. მის ზემოთ ჰაერის სვეტის სიმაღლე  $h_2 = 190$  მმ. რა  $\Delta h$ -ით უნდა ჩავწიოთ მილი, რომ ვერცხლისწყლის დონეები ჭურჭელში და მილში გათანაბრდეს? ( $T = \text{const}$ ; ვერცხლისწყლის სიმკვრივე  $\rho = 13.6 \cdot 10^3$  კგ/მ<sup>3</sup>; ატმოსფერული წნევა  $P_0 = 10^5$  პა)

**მთ4.**  $T_1 = 270$  K ტემპერატურის აირით სავსე ბოთლი დახურულია  $S = 2.7$  სმ<sup>2</sup> განივკვეთის ფართობის საცობით. საცობის შემაკავებელი ხახუნის ძალა  $F = 12$  ნ, საწყისი წნევა ბოთლში გარე ატმოსფერული წნევის ტოლია ( $P_0 = 10^5$  პა). რა  $T_2$  ტემპერატურამდე უნდა გავათბოთ აირი, რომ საცობი ამოვარდეს?

**მთ5.** სპირტქურაზე  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  ტემპერატურის  $m_1 = 0.2$  კგ წყლის ადუღებას და მთლიანად აორთქლებას მოხმარდა  $m_2 = 50$  გ სპირტი. იპოვეთ სპირტქურის მქკ  $\eta$ . {სპირტის წვის კუთრი სითბო  $q = 29 \cdot 10^6$  ჯ/კგ; ორთქლადქცევის კუთრი სითბო  $L = 2.3 \cdot 10^6$  ჯ/კგ; წყლის დუდილის ტემპერატურაა  $t = 100^\circ\text{C}$ , კუთრი სითბოტევადობა  $c = 4200$  ჯ/კგ·K}

**მთ6.**  $m = 240$  გ მასის და  $t_1 = 127^\circ\text{C}$  ტემპერატურის ჟანგბადის მოცულობა იზობარულად გაიზარდა  $n = 1.5$ -ჯერ. იპოვეთ აირის  $A$  მუშაობა გაფართოებისას {ჟანგბადის მოლური მასა  $M = 0.032$  კგ/მოლ. აირის უნივერსალური მუდმივა  $R = 8.31$  ჯ/(K მოლი)}

**მთ7.**  $v = 10$  მოლი აირის იზობარულად გათბობას  $\Delta T = 100$  K -ით დასჭირდა  $Q = 23.5$  კჯ სითბოს რაოდენობა. იპოვეთ აირის მუშაობა  $A$  და შინაგანი ენერჯიის ცვლილება  $\Delta U$ . {აირის უნივერსალური მუდმივა  $R = 8.31$  ჯ/(K მოლი)}

**მთ8.** ტყვია მოხვდა ხის კედელს  $V_1 = 400$  მ/წმ სიჩქარით, გახვრიტა იგი და გამოვიდა  $V_2 = 100$  მ/წმ სიჩქარით. ტყვიის ტემპერატურა დაჯახების მომენტში იყო  $t_1 = 96^\circ\text{C}$ . ტყვიის რა ნაწილი ( $n$ ) გადნება, თუ მას გადაეცემა დაჯახების შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ნახევარი ( $k = 0.5$ )? {ტყვიის დნობის ტემპერატურაა  $t_2 = 328^\circ\text{C}$ , კუთრი სითბოტევადობა  $c = 130$  ჯ/კგ·K, დნობის კუთრი სითბო  $\lambda = 25 \cdot 10^3$  ჯ/კგ}

**მთ9.**ჭურჭელში მოთავსებულია  $m_1 = 14$  გ აზოტი (მოლური მასა  $M_1 = 0.028$  კგ/მოლ) და  $m_2 = 9$  გ წყალბადი (მოლური მასა  $M_2 = 0.002$  კგ/მოლ)  $t = 10^\circ\text{C}$  ტემპერატურისა და  $P = 10^6$  ნ/მ<sup>2</sup> წნევის ქვეშ. იპოვეთ ნარევის საშუალო მოლური მასა  $M_{av}$  და ჭურჭლის მოცულობა  $V$ .

**მთ10.**  $V = 0.5$  ლ მოცულობის ჭურჭელში მოთავსებულია  $m = 1$  გ იოდის ორთქლი.  $t = 1000^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე წნევა ჭურჭელში  $P = 700$  ტორი. იპოვეთ იოდის  $J_2$  მოლეკულების დისოციაციის ხარისხი  $\alpha$  (დისოცირებული მოლეკულების რიცხვის შეფარდება მოლეკულების საერთო რიცხვთან) იოდის  $J$  ატომებად. მოლეკულური იოდის მოლური მასა  $M = 0.254$  კგ/მოლ.

**მთ11.**  $V = 8.3$  ლ მოცულობის ბალონში მოთავსებულია შეკუმშული წყალბადი. ბალონის დაზიანების გამო მისგან აირი გაედინება.  $t_1 = 7^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე ბალონში წნევა  $P_1 = 52$  ატმ. ბარომეტრის ჩვენება არ შეცვლილა  $t_2 = 17^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზეც. იპოვეთ ბალონიდან გამოსული აირის  $\Delta m$  მასა. წყალბადის მოლური მასა  $M = 2.016$  გ/მოლ.

**მთ12.** რა  $T$  ტემპერატურაზეა ჟანგბადის მოლეკულების  $V_q$  საშუალო კვადრატული სიჩქარე  $\Delta V = 80$  მ/წმ-ით მეტი მათ  $V_m$  უალბათეს სიჩქარეზე? ჟანგბადის მოლური მასა  $M = 0.032$  კგ/მოლ.

**მთ13.**  $m = 100$  გ აზოტი (მოლური მასა  $M = 0.028$  კგ/მოლ) მოთავსებულია დახშულ ჭურჭელში. აირის ტემპერატურა  $t_1 = 7^\circ\text{C}$ . რა  $Q$  სითბოს რაოდენობა უნდა გადავცეთ აირს, რომ მისი მოლეკულების  $V_q$  საშუალო კვადრატული სიჩქარე გაიზარდოს ორჯერ ( $n = V_{q2} / V_{q1} = 2$ )?

**მთ14.** იდეალური სითბური ძრავას მიერ შესრულებული  $A$  მუშაობა სახურებლიდან მიღებული  $Q_1$  სითბოს 40%-ს შეადგენს ( $\eta = A/Q = 0.4$ ). როგორია სახურებლის ტემპერატურა  $t_1$ , თუ მაცივრის ტემპერატურა  $t_2 = 27^\circ\text{C}$ ?

**მთ15.**  $P$  ატმოსფერული წნევა მყინვარწვერზე შეადგენს  $P_0$  ნორმალური ატმოსფერული წნევის დაახლოებით  $k = P/P_0 = 0.53$ -ს. მიიჩნიეთ, რომ ტემპერატურა ნორმალურია -  $T_0 = 273$  K და განსაზღვრეთ მყინვარწვერის  $h$  სიმაღლე (ჰაერის მოლური მასა  $M = 0.029$  კგ/მოლ).

**მთ16.**  $m$  მასის იდეალური აირის ტემპერატურა იცვლება კანონით  $T = aV^2$ , სადაც  $a$  მუდმივი სიდიდეა,  $V$ - მოცულობა. აირის მოლური მასაა  $M$ . განსაზღვრეთ აირის  $A$  მუშაობა  $V_1$ -დან  $V_2$ -მდე გაფართოებისას.

**მთ17.**  $m = 240$  გ მასის და  $T = 400$  K ტემპერატურის ჟანგბადის მოცულობა იზობარულად გაიზარდა  $n = 1.5$ -ჯერ. იპოვეთ აირის  $A$  მუშაობა გაფართოებისას და მისი შინაგანი ენერჯის ცვლილება  $\Delta U$ .

**მთ18.**ჰაერის იზობარული გათბობისთვის დაიხარჯა  $Q_p = 280$  ჯ სითბო. რა სითბოს რაოდენობა  $Q_v$  დასჭირდება იმავე მასის ჰაერის იმდენივე გრადუსით იზოქორულ გათბობას? ჰაერის მოლური მასა  $M = 0.029$  კგ/მოლ, კუთრი სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს  $c_p = 1$ ჯ/კგ.K.

**მთ19.**ორი თბოიზოლირებული ჭურჭელი შეერთებულია ერთმანეთთან ონკანიანი წვრილი მილით. ჭურჭლებში მოთავსებულია  $v_1$  და  $v_2$  რაოდენობის და  $T_1$  და  $T_2$  ტემპერატურის იდეალური ერთატომიანი აირები. რა  $T$  ტემპერატურა დამყარდება ჭურჭლებში ონკანის გახსნის შემდეგ?

**მთ20.**იპოვეთ სპილენძის  $\rho$  სიმკვრივე  $t = 500^\circ\text{C}$ , თუ ცნობილია, რომ მისი სიმკვრივე  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ -ზე  $\rho_0 = 8900$  კგ/მ<sup>3</sup>, ხოლო მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტი  $\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5}$  გრად<sup>-1</sup>.

**მთ21.** $m = 2$  გ აზოტს (მოლური მასა  $M = 0.028$  კგ/მოლ) უჭირავს  $V = 820$  სმ<sup>3</sup> მოცულობა  $P = 1520$  ტორი წნევის დროს. აზოტი განიხილეთ, როგორც რეალური აირი და იპოვეთ მისი  $T$  ტემპერატურა. ვან-დერ-ვაალსის მუდმივები აზოტისთვის:  $a = 0,135$  პა·მ<sup>6</sup>/მოლ<sup>2</sup>,  $b = 3,9 \cdot 10^{-5}$  მ<sup>3</sup>/მოლ.

**მთ22.** $v = 1$  მოლ აზოტს უჭირავს  $V = 0.1$ ლ მოცულობა  $t = -100^\circ\text{C}$  ტემპერატურის დროს. აზოტი განიხილეთ, როგორც რეალური აირი {ვან-დერ-ვაალსის მუდმივები აზოტისთვის:  $a = 0,135$  პა·მ<sup>6</sup>/მოლ<sup>2</sup>,  $b = 3,9 \cdot 10^{-5}$  მ<sup>3</sup>/მოლ} და იპოვეთ  $P$  წნევა, რომელსაც იგი ახდენს ჭურჭლის კედლებზე. შეადარეთ მიღებული შედეგი წნევას, რომელიც იქნებოდა, აირი რომ იდეალური ყოფილიყო  $Z = P/P_i$ .

**მთ23.**რეალური აირის  $v=1$  მოლი იზოთერმულად ფართოვდება  $V_1$  -დან  $V_2$  მოცულობამდე. აირის ტემპერატურაა  $T$ , ვან-დერ-ვაალსის მუდმივები -  $a$  და  $b$ . იპოვეთ აირის მიერ შესრულებული  $A$  მუშაობა.

**მთ24.**მუდმივი  $T = 300$  K ტემპერატურის პირობებში, იდეალური აირის მუშაობა იზოთერმული გაფართოებისას  $A = 600$  ჯ-ს. იპოვეთ  $\Delta S$  ენტროპიის ნაზრდი.

**მთ25.** $t_1 = -10,7^\circ\text{C}$  ტემპერატურის და  $m = 200$ გ მასის ყინული გადააქციეს  $t_2 = 0^\circ\text{C}$  ტემპერატურის წყლად. ყინულის დნობის კუთრი სითბო  $\lambda = 3,33 \cdot 10^5$  ჯ/კგ, კუთრი სითბოტევადობა  $c = 2100$  ჯ/კგ.K და ის არაა დამოკიდებული ტემპერატურაზე. იპოვეთ  $\Delta S$  ენტროპიის ნაზრდი.

**მთ26.** $t = 0^\circ\text{C}$  ტემპერატურისა და  $P = 10^5$  პა წნევის დროს ჰელიუმის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი  $\chi = 0.143$  ვტ/(მ.K). განსაზღვრეთ  $D$  დიფუზიის კოეფიციენტი აღნიშნულ პირობებში.



**მთ27.**  $t = 0^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურისა და  $P = 10^5$  პა წნევის დროს ჟანგბადის (მოლური მასა  $M=0.032$ კგ/მოლ) დიფუზიის კოეფიციენტი  $D = 1,8 \cdot 10^{-5}$  მ<sup>2</sup>/წმ. იპოვეთ ჟანგბადის მოლეკულების საშუალო თავისუფალი განარბენის სიგრძე  $\lambda$  აღნიშნულ პირობებში.

**მთ28.**  $r = 1$  მმ რადიუსის ვერცხლისწყლის ორი წვეთი შეერთდა ერთ დიდ წვეთად. განსაზღვრეთ ვერცხლისწყლის წვეთის ტემპერატურის ნაზრდი  $\Delta T$ , თუ ვერცხლისწყლის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი  $\alpha = 0.5$  ნ/მ, სიმკვრივე  $\rho = 13600$  კგ/მ<sup>3</sup>, კუთრი სითბოტევადობა  $c = 138$  ჯ/(კგ·K).

*“იფიქრო საკუთარი თავით, ეს არის ამ ქვეყანაზე ყველაზე რთული. აი, რატომაც ალბათ, რომ ადამიანთა ძალიან მცირე რაოდენობა ამით დაკავებული.” Henry Ford*

### V.3. ტესტები

**მთ1.** თანაფარდობა საშუალო  $V_a$ , საშუალო კვადრატულ  $V_q$  და უალბათეს  $V_m$  სიჩქარეებს შორის მოიცემა უტოლობებით:

- ა.  $V_q < V_a < V_m$ ;    ბ.  $V_m < V_a < V_q$ ;    გ.  $V_a < V_q < V_m$ ;    დ.  $V_m < V_q < V_a$ .

**მთ2.** ცელსიუსის სკალით გაზომილი იდეალური აირის ტემპერატურა  $n = t_2/t_1 = 2$ -ჯერ გაიზარდა. ამ დროს მოლეკულების უალბათესი სიჩქარე გაიზარდება  $Z = V_{m2}/V_{m1}$  ?

- ა. 2-ჯერ;    ბ. 1.4-ჯერ;    გ.  $(2)^{1/2}$ -ჯერ;    დ. მონაცემები არაა საკმარისი პასუხის გასაცემად.

**მთ3.** მოცემული მასის იდეალური აირის წნევა გაიზარდა  $n_p = 8$ -ჯერ, მოცულობა კი შემცირდა  $n_v = 2$ -ჯერ. რამდენჯერ შეიცვალა ტემპერატურა ( $Z = T_2/T_1$ )?

- ა. გაიზარდა 4-ჯერ;    ბ. შემცირდა 4-ჯერ;    გ. გაიზარდა 16-ჯერ;    დ. არ შეცვლილა.

**მთ4.** მოცემული მასის იდეალური აირი ფართოვდება ( $V_1 \rightarrow V_2$ ) ქვემოთ ჩამოთვლილიდან ერთერთი იზოპროცესით. საბოლოო წნევა მინიმალური იქნება ( $P \rightarrow P_{\min}$ ), თუ პროცესი:

- ა. იზობარულია;    ბ. იზოქორულია;    გ. იზოთერმულია;    დ. ადიაბატურია.

**მთ5.** იდეალური აირის გაფართოებისას ( $V_1 \rightarrow V_2$ ) სრულდება მუშაობა:  $A_1$  იზოთერმული პროცესისას;  $A_2$  - იზობარულიას;  $A_3$  - ადიაბატურისას. მაშინ, სამართლიანია თანაფარდობა:

- ა.  $A_1 < A_2 < A_3$ ;    ბ.  $A_1 < A_3 < A_2$ ;    გ.  $A_3 < A_1 < A_2$ ;    დ.  $A_3 < A_1 < A_2$ .

**მთ6.** მუდმივი წნევის პირობებში იდეალური სამატომიანი აირის  $C_{\mu 3}$  მოლური სითბოტევადობის შეფარდება მუდმივი მოცულობის პირობებში  $C_{\mu 2}$  ხისტ ორატომიანი აირის მოლურ სითბოტევადობასთან ( $Z = C_{\mu 3}/C_{\mu 2}$ ) ტოლია:

- ა. 1;    ბ. 1.5;    გ. 1.4;    დ. 1.6.

**მთ7.** იდეალური სითბური ძრავას მაცივრის  $T_2$  აბსოლუტური ტემპერატურა  $Z = 4$ -ჯერ ნაკლებია  $T_1$  სახურებლის ტემპერატურაზე. ძრავას მქკ  $\eta$  იქნება:

ა. 75%;    ბ. 25%;    გ. 50%;    დ. 80%.

**მთ8.** რეალურ აირში ჯოულ-ტომსონის ეფექტის შედეგად აირის ტემპერატურა:

ა. ყოველთვის მუდმივია;    ბ. ყოველთვის იზრდება;    გ. ყოველთვის მცირდება;    დ. შეიძლება გაიზარდოს, შეიძლება შემცირდეს.

**მთ9.** ზღვის დონიდან რა  $h$  სიმაღლეზე შემცირდება ატმოსფერული წნევა  $e$ -ნეპერის რიცხვჯერ? ტემპერატურა ( $t = 0^\circ\text{C}$ ) მიიჩნით მუდმივად, ჰაერის მოლური მასა  $M = 0.029$  კგ/მოლ.

ა.  $\approx 2.7$  კმ-ზე;    ბ.  $\approx 8$  კმ-ზე;    გ.  $\approx 5.4$  კმ-ზე;    დ.  $\approx 12$  კმ-ზე.

**მთ10.** იდეალური ერთატომიანი აირის იზობარული გათბობისას მისი შინაგანი ენერჯის ნაზრდის შეფარდება მის მიერ შესრულებულ მუშაობასთან ( $Z = \Delta U/A$ ) იქნება:

ა. 2/3;    ბ. 3/5;    გ. 3/2;    დ. 5/2.

**მთ11.** იდეალური ხისტი ორატომიანი აირის იზობარული გათბობისას მისი შინაგანი ენერჯის გაზრდას ხმარდება გადაცემული სითბოს რაოდენობის ( $Z = \Delta U/Q$ ):

ა. 2/3;    ბ. 3/5;    გ. 2/5;    დ. 5/7.

**მთ12.** იდეალური სამატომიანი აირის იზობარული გათბობისას მუშაობის შესრულებას ხმარდება გადაცემული სითბოს რაოდენობის ( $Z = A/Q$ ):

ა. 2/3;    ბ. 3/4;    გ. 1/4;    დ. 2/5.

**მთ13.** იზოტროპული კრისტალური მესრის მოცულობითი გაფართოების  $\alpha$  კოეფიციენტი მის ხაზოვანი გადართოების  $\beta$  კოეფიციენტზე ( $Z = \alpha / \beta$ ):

ა. მეტია 3-ჯერ;    ბ. ნაკლებია 3-ჯერ;    გ. ) მეტია 9-ჯერ;    დ. ნაკლებია 9-ჯერ.

**მთ14.** ვან-დერ-ვაალსის განტოლებაში  $a$  მუდმივას განზომილებაა:

ა. პა/მოლ<sup>2</sup>;    ბ. ჯ.მ<sup>3</sup>/მოლ<sup>2</sup>;    გ. პა.მ<sup>3</sup>/მოლ<sup>2</sup>;    დ. პა.მ<sup>6</sup>.

**მთ15.** ვან-დერ-ვაალსის განტოლებაში  $b$  მუდმივას განზომილებაა:

ა. მ<sup>3</sup>;    ბ. მ<sup>3</sup>·მოლ;    გ. მ<sup>3</sup>·მოლ<sup>2</sup>;    დ. მ<sup>3</sup>/მოლ.

**მთ16.** თერმოდინამიკურ სისტემას  $t = 27^\circ\text{C}$  ტემპერატურის დროს მიეწოდა  $\Delta Q = 6$  კჯ სითბოს რაოდენობა. ამ დროს სისტემის ენტროპიის ცვლილება  $\Delta S$  იქნება:

ა. 222 ჯ/K;    ბ. 20 ჯ/K;    გ. 30 ჯ/K;    დ. 25 ჯ/K.

**მთ17.**დამსველებელ სითხეში ჩაშვებულია ორი კაპილარი. პირველის განივკვეთის ფართობი ოთხჯერ მეტია მეორისაზე ( $n=S_1/S_2=4$ ). მაშინ სითხის აწევის სიმაღლე ( $Z=h_1 / h_2$ ) პირველ კაპილარში მეორესთან შედარებით იქნება:

ა. 4-ჯერ მეტი;    ბ. 4-ჯერ ნაკლები;    გ. 2-ჯერ მეტი;    დ. 2-ჯერ ნაკლები.

**მთ18.**მიახლოებით როგორი იქნება წყლის დუღილის ტემპერატურა  $T_b$  მყინვარწვერზე, თუ ზღვის დონიდან მისი სიმაღლეა  $h \approx 5000$  ?

ა.  $83^{\circ}\text{C}$ ;    ბ.  $80^{\circ}\text{C}$ ;    გ.  $88^{\circ}\text{C}$ ;    დ.  $92^{\circ}\text{C}$ .

**მთ19.D** დიფუზიის კოეფიციენტის ერთეულია:

ა. მ/წმ<sup>2</sup>;    ბ. მ<sup>2</sup>/წმ;    გ. მ<sup>2</sup>/წმ<sup>2</sup>;    დ. მ<sup>2</sup>·წმ.

**მთ20. K** სითბოგამტარობის კოეფიციენტის ერთეულია:

ა. ჯ/(მ.წმ);    ბ. ჯ.წმ/K;    გ. ვტ/(მ.K);    დ. ჯ.წმ/K.

# VI. ელექტროსტატიკა

“უსაფუძვლო ოცნებით ცხოვრება უკეთესი არ ხდება, ის უმჯობესდება ენერჯის, შეუპოვრობის და საკუთარი მიზნისადმი ერთგულების წყალობით.” Margaret Thatcher

## VI.1. ამოცანები ამოხსნით

1. ორი ერთნაირი ლითონის ბურთულებიდან ერთის მუხტი  $n$ -ჯერ ( $n=5$ ) მეტია მეორის მუხტზე:  $q_1 = nq$ ,  $q_2 = q$ . ბურთულები ერთმანეთს შეახეს და ისევ დააშორეს პირვანდელ  $r$  მანძილზე. რამდენჯერ ( $Z$ ) შეიცვალა ურთიერთქმედების ძალის სიდიდე? განიხილეთ: [1] ბურთულები დამუხტულია ერთი ნიშნის მუხტებით; [2] ბურთულები დამუხტულია სხვადასხვა ნიშნის მუხტებით.

ურთიერთქმედების ძალა შეხებამდე:  $F = kq_1q_2 / r^2 = knq^2 / r^2$  (1)

[1] ბურთულები ერთნაირია, ამიტომ შეხების შემდეგ მათი მუხტები გათანაბრდება. მუხტის შენახვის კანონის შესაბამისად თითოეული ბურთულას მუხტი იქნება

$$q_0 = (q_1 + q_2) / 2 = (n+1)q / 2$$
 (2)

ურთიერთქმედების ძალა შეხების შემდეგ:  $F_1 = kq_0^2 / r^2 = [(n+1)^2 / 4] kq^2 / r^2$  (3)

$$\{(1), (3)\} \Rightarrow Z = F_1 / F = [(n+1)^2 / 4] / n = 9 / 5 = 1.8$$

ურთიერთქმედების ძალა 1.8-ჯერ გაიზარდა. ამ შემთხვევაში (ერთი ნიშნის მუხტების შეხების შემდეგ) ურთიერთქმედების ძალა ყოველთვის იზრდება;

[2] შეხების შემდეგ ბურთულების საერთო მუხტის მოდული იქნება

$$q_0 = (|q_1| - |q_2|) / 2 = (n-1)q / 2$$
 (4)

ურთიერთქმედების ძალა:  $F_2 = kq_0^2 / r^2 = [(n-1)^2 / 4] kq^2 / r^2$  (5)

$$\{(1), (5)\} \Rightarrow Z = F_2 / F = [(n-1)^2 / 4] / n = 4 / 5 = 0.8$$

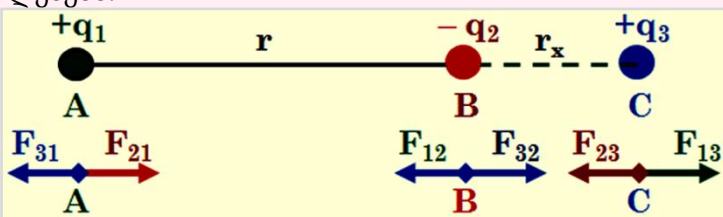
ურთიერთქმედების ძალა 1.25-ჯერ შემცირდა. შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ ამ შემთხვევაში ურთიერთქმედების ძალა შეიძლება ან შემცირდეს, ან გაიზარდოს - ეს დამოკიდებულია მუხტების სიდიდეთა შეფარდებაზე.

2.  $q_1 = 36$  ნკ და  $q_2 = -4$  ნკ წერტილოვანი მუხტები მოთავსებულია ერთმანეთისგან  $r = 8$  სმ მანძილზე. [1] სად ( $r_x$ ) უნდა მოვათვასოთ  $q_3$  მუხტი და [2] როგორი უნდა იყოს იგი, რომ სამივე მუხტი წონასწორობაში იყოს?

რამდენიმე აუცილებელი შენიშვნა:

- მესამე მუხტი აუცილებლად პირველ ორ მუხტზე გამავალი წრფის რომელიმე წერტილში უნდა მოთავსდეს (წინააღმდეგ შემთხვევაში ძალები ერთმანეთის მიმართ კუთხით იქნებიან განლაგებული და ტოლქმედი ნული ვერ იქნება);
- სამიველი წერტილი მოცემულ მუხტებს გარეთ მდებარეობს და თანაც მოდულით მცირე მუხტის მხარეს;
- მოცემული მუხტები ერთნიშნა რომ ყოფილიყო, მაშინ სამიველი წერტილი მუხტებს შორის იქნებოდა განლაგებული;

ეს დასკვნები ადვილი მისახვედრია, თუ დავაკვირდებით მუხტებზე მოქმედი ძალების მიმართულებებს:



[1]  $r_x$ -ის განსასაზღვრავად ჩავწეროთ  $q_3$  მუხტის წონასწორობის პირობა:

$$F_{23} = F_{13} \Rightarrow kq_1q_3 / (r+r_x)^2 = kq_2q_3 / r_x^2$$

ანუ:  $[(r+r_x)/r_x]^2 = q_1/q_2 \Rightarrow (r+r_x)/r_x = 3$  და საბოლოოდ:  $r_x = r/2 = 4$  სმ;

როგორც ვხედავთ,  $q_3$  მუხტის მდებარეობა მის სიდიდესა და ნიშანზე დამოკიდებული არაა - C წერტილში მოთავსებული ნებისმიერი მუხტი წონასწორობაში იქნება;

[2]  $q_3$  მუხტის ნიშანსა და სიდიდეს ცალსახად განსაზღვრავს დანარჩენი მუხტების წონასწორობის მოთხოვნა.  $q_3$  დადებითი უნდა იყოს, წინააღმდეგ შემთხვევაში  $q_2$  მუხტის წონასწორობა შეუძლებელი იქნება (მასზე მოქმედ  $F_{12}$  და  $F_{32}$  ძალებს ერთი მიმართულება ექნებათ!).  $q_3$  მუხტის სიდიდის დასადგენად ამ ძალების ტოლობას დავყვართ:

$$F_{32} = F_{12} \Rightarrow kq_2q_3/r_x^2 = kq_1q_2/r^2 \Rightarrow q_3 = (r_x/r)^2q_1 \Rightarrow q_3 = 9 \text{ ნკ.}$$

3. ერთ წერტილში  $L = 9$  სმ სიგრძის ძაფებზე დაკიდებულია ორი ბურთულა, თითოეულის მასა  $m = 0.3$  გ. როცა ბურთულები ერთნაირად დამუხტეს, ისინი ერთმანეთს  $r = 8$  სმ-ით დაშორდნენ. იპოვეთ თითოეული ბურთულას  $q$  მუხტი.  $\{k = 9 \cdot 10^9 \text{ ნ} \cdot \text{მ}^2/\text{კ}^2\}$

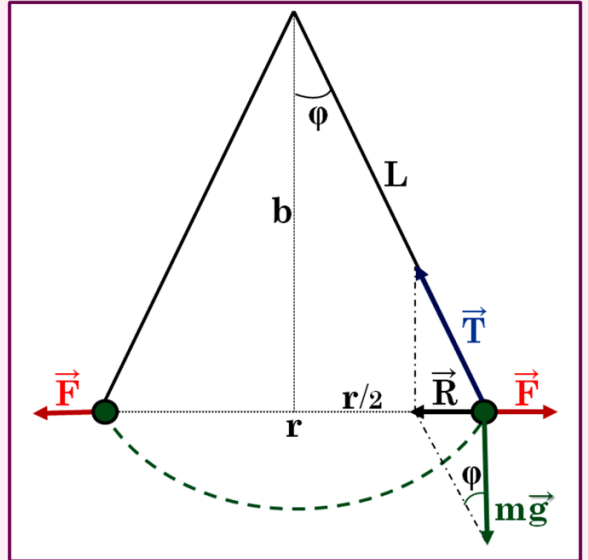
დამუხტული ბურთულა წონასწორობაშია, ვინაიდან კულონურ  $\vec{F}$  ძალას აწონასწორებს  $m\vec{g}$  სიმძიმის და ძაფის  $\vec{T}$  დაჭიმულობის ძალების ტოლქმედი  $\vec{R}$ .

ნახაზიდან:  $tg\phi = R/mg = F/mg$  (1); ასევე –  $tg\phi = 0.5r/b$  (2), სადაც  $b^2 = L^2 - r^2/4$  (3).

$$(1) \Rightarrow F = mg \text{ ანუ } kq^2/r^2 = mgtg\phi \quad (4) \Rightarrow$$

$$q = r \{[(mg)/k]tg\phi\}^{1/2} = 46.4 \cdot 10^{-9} (tg\phi)^{1/2} \quad (5)$$

$$\{(2),(3)\} \Rightarrow tg\phi \approx 0.5 \text{ და საბოლოოდ: } q \approx 33 \text{ ნკ}$$



4. წერტილოვანი  $q$  მუხტის ველის რომელიმე ორ წერტილში დამაბულობები  $n$ -ჯერ განსხვავდებიან. რამდენჯერ ( $z$ ) განსხვავდებიან იმავე წერტილებში პოტენციალები?



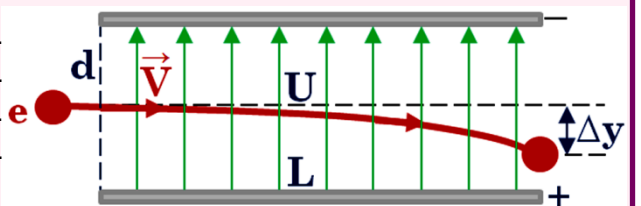
$q$  მუხტიდან  $r_1, r_2$  მანძილებით დაცილებულ წერტილებში  $E_1 = kq/r_1^2$  (1),  $E_2 = kq/r_2^2$  (2),  $\phi_1 = kq/r_1$  (3),  $\phi_2 = kq/r_2$  (4).

$$\{(1)/(2)\} \Rightarrow E_1/E_2 = (r_2/r_1)^2 \quad (5) \Rightarrow r_2/r_1 = \sqrt{n} \quad (6); \quad \{(3)/(4)\} \Rightarrow z = \phi_1/\phi_2 = r_2/r_1 \quad (7)$$

$$(6) \Rightarrow (7) \text{ და საბოლოოდ } z = \sqrt{n}$$

5. ბრტყელი კონდენსატორის ფირფიტებს შორის  $V = 2 \cdot 10^7$  მ/წმ სიჩქარით ძალწირების მართობულად შედის ელექტრონი (ელექტრონის მუხტი  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  კ). კონდენსატორის სიგრძე  $L = 5$  სმ, ფირფიტებს შორის მანძილი  $d = 2$  სმ, ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობა  $U = 200$  ვ. იპოვეთ  $\Delta y$  - პირვანდელი მიმართულებიდან ელექტრონის გადახრა კონდენსატორიდან გამოსვლისას. {ელექტრონის მასა:  $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$  კგ}

ძალწირების მართობულად ელექტრონზე ძალა არ მოქმედებს და ჰორიზონტალური სიჩქარე მუდმივია. ამდენად,  $t = L/V$  (1) განსაზღვრავს კონდენსატორში ელექტრონის მოძრაობის დროს. ველის გავლენით ელექტრონი



იმენს  $\mathbf{a} = \mathbf{eE}/m$  (2) აჩქარებას ძალწირების გასწვრივ. ველის დამაბულობა  $\mathbf{E} = \mathbf{U}/d$  (3).  $t$  დროში ელექტრონის გადახრა  $\Delta y = \mathbf{at}^2/2$  (4).  $\{(1), (2), (3)\} \Rightarrow (4) \Rightarrow$   
 $\Delta y = \mathbf{eUL}^2 / 2\mathbf{mdV}^2$  (5) და  $\Delta y = 5.5$  მმ

6.ერთნაირად დამუხტული წყლის  $n = 64$  მცირე წვეთი გაერთიანდა ერთ დიდ სფერულ წვეთად. რამდენჯერ ( $z$ ) აღემატება დიდი წვეთის პოტენციალი მცირე წვეთისას?

$q$  მუხტის და  $r$  რადიუსის მცირე წვეთის პოტენციალი იქნება  $\phi = \mathbf{kq}/r$  (1),  $Q$  მუხტის და  $R$  რადიუსის დიდი წვეთის პოტენციალი კი  $\Phi = \mathbf{kQ}/R$  (1). ცხადია,  $Q = \mathbf{nq}$  (3), ხოლო დიდი წვეთის მოცულობა მცირე წვეთების მოცულობათა ჯამის ტოლია  $V = \mathbf{nV}_0$  ანუ  $(4/3)\pi R^3 = \mathbf{n} \cdot (4/3)\pi r^3 \Rightarrow R = \mathbf{rn}^{1/3}$  (4);  $\{(3),(4)\} \Rightarrow (2) \Rightarrow \Phi = (\mathbf{kq}/r)\mathbf{n}^{2/3}$  (5);  $\{(5) / (1)\} \Rightarrow$   
 $\Phi/\phi = \mathbf{n}^{2/3} = 16$

7.დამუხტული ბრტყელი კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მანძილი  $n$ -ჯერ გაზარდეს:  $d_2 = \mathbf{nd}_1$ . რამდენჯერ შეიცვალა მუხტი  $q$ , ძაბვა ფირფიტებს შორის  $U$ , ველის დამაბულობა  $E$  და ველის ენერჯია  $W$ , თუ კონდენსატორი: [1] გამორთული იყო ძაბვის წყაროდან? [2] ჩართული იყო მუდმივი ძაბვის წყაროსთან?

[1] გამორთულია, ე.ი.:  $q = \text{const}$ ;  $E = \text{const}$ ;  $U_2/U_1 = E d_2/E d_1 = d_2/d_1 = \mathbf{n}$  (გაიზარდა  $n$ -ჯერ);  $W_2/W_1 = (q^2/2C_2)/(q^2/2C_1) = C_1/C_2$  (კონდენსატორის ტევადობა  $C = \epsilon_0 S/d$ ,  $\epsilon_0$  - ელექტრული მუდმივაა,  $S$  - შემონაფენის ფართობი) ანუ  $W_2/W_1 = C_1/C_2 = d_2/d_1 = \mathbf{n}$  (გაიზარდა);  
 [2] ჩართულია, ე.ი.:  $U = \text{const}$ ;  $E_2/E_1 = (U/d_2) / (U/d_1) = d_1/d_2 = 1/n$  ( $n$ -ჯერ შემცირდა);  $q_2/q_1 = (C_2 U) / (C_1 U) = C_2/C_1 = d_1/d_2 = 1/n$  (შემცირდა. ამ დასკვნის გაკეთება  $E$  დამაბულობის მიხედვითაც შეიძლებოდა);  $W_2/W_1 = (C_2 U^2/2)/(C_1 U^2/2) = d_1/d_2 = 1/n$  (შემცირდა).

8.ერთი გამტარის ტევადობა  $C_1 = 10$  პფ, მუხტი  $q_{01} = 6 \cdot 10^{-7}$  კ; მეორისა, შესაბამისად,  $C_2 = 30$  პფ,  $q_{02} = -2 \cdot 10^{-7}$  კ; იპოვეთ გამტართა მუხტები  $q_1$  და  $q_2$  მათი წვრილი მავთულით შეერთების შემდეგ.

წვრილი მავთულით შეერთების შემდეგ გათანაბრდება გამტარების პოტენციალები  $\phi_1 = \phi_2 = \phi$  (ერთნაირი გამტარების შემთხვევაში მუხტებიც გათანაბრდება. იხ. ამოცანა 1). მაშინ,  $q_1 = C_1 \phi$  (1),  $q_2 = C_2 \phi$  (2). მუხტის შენახვის კანონის თანახმად  $q_1 + q_2 = q_{01} + q_{02}$  (3).  $\{(1),(2)\} \Rightarrow (3) (C_1 + C_2)\phi = q_{01} + q_{02}$  და  $\phi = (q_{01} + q_{02}) / (C_1 + C_2)$  (4)  $\Rightarrow \{(1),(2)\}$   
 $q_1 = C_1(q_{01} + q_{02}) / (C_1 + C_2)$  და  $q_1 = 10^{-7}$  კ;  $q_2 = C_2(q_{01} + q_{02}) / (C_1 + C_2)$  და  $q_2 = 3 \cdot 10^{-7}$  კ

9.რა  $F$  ძალით მოქმედებს უსასრულო დამუხტული სიბრტყის ველი მის პარალელურად განლაგებულ უსასრულო დამუხტული ძაფის თითოეულ მეტრზე ( $L = 1$  მ)? მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე სიბრტყეზე  $\sigma = 2 \cdot 10^{-5}$  კ/მ<sup>2</sup>, მუხტის წირითი სიმკვრივე ძაფზე  $\lambda = 3 \cdot 10^{-6}$  კ/მ.

მუხტის წირითი სიმკვრივე  $\lambda = q/L$  (1) - ესაა ძაფის სიგრძის ერთეულზე მოსული მუხტი. უსასრულო დამუხტული სიბრტყის ველის დამაბულობა  $E = \sigma / 2\epsilon_0$  (2), ელექტრული მუდმივა  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  ფ/მ. საძიებელი ძალა  $F = qE = \lambda LE$  (3). (2)  $\Rightarrow$  (3)  $\Rightarrow$   
 $F = \sigma \lambda L / 2\epsilon_0 = 3.4$  ნ.

## VI.2. ამოცანები

ეს1.  $m = 20$  გ მასისა და  $q_1 = 100$  ნკ მუხტის მქონე ბურთულა ჰკიდია ძაფზე. ბურთულას ქვემოდან  $r = 3$  სმ მანძილზე მიუახლოეს  $q_2$  მუხტის მქონე ბურთულა, რის შედეგად ძაფის დაჭიმულობა  $n$ -ჯერ ( $n=2$ ) შემცირდა. იპოვეთ  $q_2$  მუხტის სიდიდე.

ეს2. ერთ წერტილში დამაგრებულ ერთნაირი სიგრძის ძაფებზე ჩამოკიდებული ორი ერთნაირი ბურთულა დამუხტეს, რის გამოც ისინი დაშორდნენ ერთმანეთს და ძაფებს შორის კუთხე გახდა  $\alpha = 120^\circ$ . ბურთულების ზეთში ჩაშვების შემდეგ ძაფებს შორის კუთხე შემცირდა  $\beta = 90^\circ$ -მდე. იპოვეთ ზეთის დიელექტრიკული შეღწევადობა  $\epsilon$ .

ეს3.  $q_1 = 50$  ნკ და  $q_2 = -50$  ნკ მუხტები მოთავსებულია ერთმანეთისგან  $L = 12$  სმ მანძილზე. იპოვეთ ველის  $E$  დაძაბულობა წერტილში, რომელიც თითოეული მუხტისგან დაშორებულია  $r = 30$  სმ მანძილით.

ეს4. ელექტრონი  $V_0 = 1000$  კმ/წმ საწყისი სიჩქარით შეიჭრა  $E = 120$  ვ/მ დაძაბულობის ელექტრულ ველში და მოძრაობს ველის მიმართულებით. [1] რა  $L$  მანძილს გაივლის და [2] რა  $t$  დროის განმავლობაში იმოძრაებს იგი გაჩერებამდე? {ელექტრონის მასა  $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$  კგ, მუხტი  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  კ}

ეს5. დედამიწის ელექტრული ველის დაძაბულობა  $E = 130$  ვ/მ. რამდენი ზედმეტი  $N$  ელექტრონი უნდა იყოს  $M = 100$  მგ მასის წყლის წვეთზე, რომ მისი ვარდნის აჩქარება შეიცვალოს  $\Delta a = 1$  მმ/წმ<sup>2</sup> - ით? ელექტრონის მუხტი  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  კ.

ეს6. ორი კონცენტრული სფერული ზედაპირი რადიუსებით  $R_1 = 2$  სმ და  $R_2 = 4$  სმ დამუხტულია  $q_1 = 10$  ნკ და  $q_2 = -20$  ნკ მუხტებით. იპოვეთ ველის პოტენციალები  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  და  $\phi_3$  წერტილებში, რომლებიც სფეროების საერთო ცენტრიდან დაშორებულია მანძილებით  $r_1 = 1$  სმ,  $r_2 = 3$  სმ,  $r_3 = 5$  სმ

ეს7. კონდენსატორის შემონაფენებს შორის დიელექტრიკის ფენაა მოთავსებული. კონდენსატორი დამუხტულია  $U_1 = 1$  კვ ძაბვამდე და გამორთულია წყაროდან. იპოვეთ დიელექტრიკის დიელექტრული შეღწევადობა  $\epsilon$ , თუ მისი მოშორებისას ძაბვა შემონაფენებს შორის გაიზარდა  $U_2 = 3$  კვ-მდე.

ეს8.  $r_1 = 6$  სმ და  $r_2 = 8$  სმ რადიუსების სფეროები დამუხტულია  $\phi_1 = 120$  ვ და  $\phi_2 = 85$  ვ პოტენციალებამდე. სფეროები შეაერთეს გამტარით. იპოვეთ სფეროების პოტენციალი  $\phi$  და მუხტები  $q_1$  და  $q_2$  შეერთების შემდეგ.

ეს9.ჰორიზონტალურად მოთავსებული ბრტყელი კონდენსატორის ქვედა ფირფიტა დამუხტულია დადებითად.  $d = 0.1$  მ-ით დაშორებულ ზედა ფირფიტიდან ქვემოთ ვარდება  $q = +5 \cdot 10^{-10}$  კ მუხტისა და  $m = 2 \cdot 10^{-5}$  კგ მასის ბურთულა. რა  $\Delta P$  იმპულსს გადასცემს ბურთულა ქვედა ფირფიტას თუ დაჯახება დრეკადია, ხოლო კონდენსატორზე ძაბვა  $U = 20$  კვ-ია ?

ეს10.ელექტრონი შეიჭრა ერთგვაროვან ელექტრულ ველში ძალწირის საპირისპირო მიმართულებით და გაიბრინა  $\Delta\phi = 18$  ვ პოტენციალთა სხვაობა, რის შედეგადაც მისი ენერგია გახდა  $W = 3.2 \cdot 10^{-17}$  ჯ. განსაზღვრეთ ელექტრონის საწყისი  $V_0$  სიჩქარე (ელექტრონის მასა  $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$  კგ, მუხტი  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  კ)

ეს11.იპოვეთ სპილენძის ბირთვების ჯამური  $Q$  მუხტი  $V=1$  სმ<sup>3</sup> მოცულობის სპილენძის ბურთულაში. სპილენძის მოლური მასა  $M=63.5 \cdot 10^{-3}$  კგ/მოლ, რიგითი ნომერი  $Z=29$ , ელექტრონის მუხტი  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  კ, სიმკვრივე  $\rho = 8900$  კგ/მ<sup>3</sup>, ავოგადროს მუდმივა  $N_A=6.02 \cdot 10^{23}$  მოლ<sup>-1</sup>.

ეს12.R რადიუსიანი სფერული ზედაპირი დამუხტულია  $\sigma$  ზედაპირული სიმკვრივით. განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დამაბულობა  $E_0$  და პოტენციალი  $\phi_0$  სფეროს ცენტრში (ელექტრული მუდმივა  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  ფ/მ).

ეს13.R რადიუსიანი სფერული ზედაპირი დამუხტულია  $\rho$  მოცულობითი სიმკვრივით. განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დამაბულობა  $E_0$  და პოტენციალი  $\phi_0$  სფეროს ცენტრში (ელექტრული მუდმივა  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  ფ/მ).

ეს14.განსაზღვრეთ  $\lambda$  წირითი სიმკვრივით თანაბრად დამუხტული  $R$  რადიუსიანი რგოლის ელექტრული ველის  $E_0$  დამაბულობა რგოლის ცენტრში და  $E(r)$  დამაბულობა რგოლის ღერძზე, როგორც ცენტრამდე  $r$  მანძილის ფუნქცია (ელექტრული მუდმივა  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  ფ/მ).

ეს15.ორი წერტილოვანი მუხტი  $q_1 = 2$  მკვ და  $q_2 = 4$  მკვ მოთავსებულია ვაკუუმში ერთმანეთისგან  $r_1 = 40$  სმ მანძილზე. რა  $A$  მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ მუხტები ერთმანეთს დავუახლოოთ  $r_2 = 25$  სმ მანძილამდე (კულონის კოეფ.  $k = 9 \cdot 10^9$  ნ·მ<sup>2</sup>/კ<sup>2</sup>).

ეს16.უსასრულო დამუხტული სიბრტყის მახლობლად მოთავსებულია  $q = 5$  მკვ წერტილოვანი მუხტი. დამუხტული სიბრტყის ელექტრული ველის გავლენით მუხტი გადაადგილდა ძალწირის გასწვრივ  $L=2$  სმ მანძილზე. ამ დროს ველის მუშაობა  $A=0.3$  ჯ. იპოვეთ მუხტის  $\sigma$  ზედაპირული სიმკვრივე სიბრტყეზე. (ელექტრული მუდმივა  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  ფ/მ)

ეს17. ბურთულას მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე  $\sigma = 3.33 \cdot 10^{-7}$  კ/მ<sup>2</sup> და მისი პოტენციალი  $\phi = 792$  ვ. იპოვეთ ბურთულას  $R$  რადიუსი. ( $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  ფ/მ)



ეს18. ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალი რაღაც არეში დამოკიდებულია მხოლოდ  $x$  კოორდინატზე:  $\phi = -ax^2/2 + c$ , სადაც  $a$  და  $c$  - მუდმივებია. როგორია ელექტრული ველის  $E$  დაძაბულობის სიდიდე და მიმართულება?

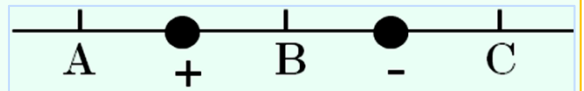
ეს19. დიპოლის მუხტი  $q = 1$  ნკ, მხარი -  $L = 1$  სმ. როგორი იქნება ველის დაძაბულობა  $E_{\perp}$  დიპოლის მხრის შუაწერტილზე გავლებულ მართობზე, დიპოლიდან  $r = 40$  სმ მანძილზე ( $r \gg L$ )? როგორი იქნება ველის დაძაბულობა იმავე მანძილზე, ოღონდ დიპოლის ღერძის გასწვრივ  $E_{\parallel}$ ? {ელექტრული მუდმივა  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  ფ/მ}

ეს20. იზოტროპული დიელექტრიკის ( $\epsilon = 5$ ) რომელიღაც წერტილში ელექტრული წანაცვლების ვექტორის სიდიდე  $D = 5$  მკვ/მ<sup>2</sup>. იპოვეთ  $P$  პოლარიზაციის ვექტორის სიდიდე ამ წერტილში.

“საწყენია, რომ ბედნიერება არ გდია მისკენ მიმავალ გზაზე.” Stanislaw J. Lec

### VI.3. ტესტები

ეს .ორი ტოლი სიდიდის და სხვადასხვა ნიშნის წერტილოვანი მუხტების მიერ შექმნილი ველის  $E$  დაძაბულობა ამ მუხტებზე გამავალი წრფის რომელ წერტილში იქნება ნულის ტოლი?

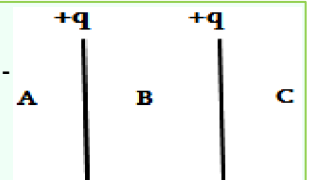


- ა. A;   ბ. B;   გ. C;   დ. არც ერთში.

ეს2. ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებზე მუხტის ორჯერ გაზრდით მისი  $C$  ტევადობა:

- ა. გაიზრდება ორჯერ;   ბ. არ შეიცვლება;   გ. შემცირდება ორჯერ;  
 დ. გაიზრდება ორჯერ, თუ შემონაფენებს შორი დიელექტრიკია მოთავსებული

ეს3. თუ კონდენსატორის შემონაფენებს დავმუხტავთ ტოლი მუხტებით, მაშინ ელექტრული ველის  $E$  დაძაბულობა ნულის ტოლი იქნება წერტილში:

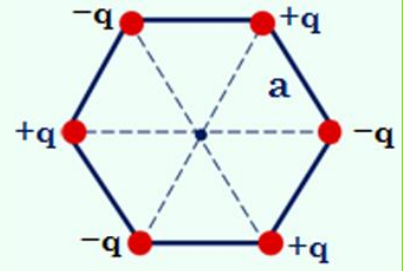


- ა. A;   ბ. B;   გ. C;   დ. არც ერთში.

ეს4.  $q_1 = 5$  მკვ მუხტი მოძრაობს  $r = 5$  სმ რადიუსის წრიულ ტრაექტორიაზე, რომლის ცენტრში მოთავსებულია  $q_2 = 10$  მკვ მუხტი. ელექტრული ველის  $A$  მუშაობა იქნება:

- ა. 0;   ბ. 9 ჯ;   გ. 9 მჯ;   დ. 0.9 ჯ.

ეს5.ა გვერდის მქონე წესიერი ექვსკუთხედის წვეროებზე რიგ-რიგობით განლაგებულია  $+q$  და  $-q$  მუხტები. ელექტრული ველის  $E$  დამაბულობა ექვსკუთხედის ცენტრში იქნება:



- ა.  $2kq^2/a^2$ ;   ბ.  $3kq^2/a^2$ ;   გ.  $6kq^2/a^2$ ;   დ. 0.

ეს6.ა<sub>1</sub> მუხტი თანაბრადაა განაწილებული  $R_1$  რადიუსიან სფეროს ზედაპირზე. როგორ შეიცვლება მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე ( $Z = \sigma_2 / \sigma_1$ ), თუ ორჯერ მეტ მუხტს ( $q_2 = 2q_1$ ) გავანაწილებთ ორჯერ მეტი რადიუსის ( $R_2 = 2R_1$ ) სფეროს ზედაპირზე

- ა. არ შეიცვლება;   ბ. გაიზრდება 2-ჯერ;   გ. შემცირდება 2-ჯერ;   დ. შემცირდება 4-ჯერ.

ეს7. თანაბრად დამუხტული სფერული ზედაპირის ველის დამაბულობა  $E$  სფეროს შიგნით:

- ა. მუდმივია და უდრის მის მნიშვნელობას სფეროს ზედაპირზე;   ბ. ნულია;  
 გ. კლებულობს ცენტრამდე მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად;  
 დ. კლებულობს ცენტრამდე მანძილის პროპორციულად.

ეს8.ა მოცულობითი სიმკვრივით თანაბრად დამუხტული  $r$  რადიუსის სფერული ბირთვის  $E$  ველის დამაბულობა სფეროს შიგნით:

- ა. მუდმივია და უდრის მის მნიშვნელობას ბირთვის ზედაპირზე;   ბ. ნულია;  
 გ. იზრდება ცენტრიდან მანძილის კვადრატის პროპორციულად;  
 დ. იზრდება ცენტრიდან მანძილის პროპორციულად.

ეს9.  $R = 3$  სმ რადიუსიანი სფერული ზედაპირი თანაბრადაა დამუხტული. სფეროს ცენტრიდან  $r_1 = 6$  სმ მანძილზე ელექტრული ველის დამაბულობა  $E_1 = 2,5 \cdot 10^3$  ნ/ვ. სფეროს ცენტრიდან  $r_2 = 5$  სმ მანძილზე ველის დამაბულობა  $E_2$  იქნება:

- ა.  $0,5 \cdot 10^3$  ნ/ვ;   ბ.  $3,6 \cdot 10^3$  ნ/ვ;   გ.  $6,25 \cdot 10^3$  ნ/ვ;   დ. 0.

ეს10.  $R = 3$  სმ რადიუსიანი სფერული ზედაპირი თანაბრადაა დამუხტული. სფეროს ცენტრიდან  $r_1 = 6$  სმ მანძილზე ელექტრული ველის დამაბულობა  $E_1 = 2,5 \cdot 10^3$  ნ/ვ. სფეროს ცენტრიდან  $r_2 = 2$  სმ მანძილზე ველის დამაბულობა  $E_2$  იქნება:

- ა.  $1,25 \cdot 10^3$  ნ/ვ;   ბ.  $6,25 \cdot 10^3$  ნ/ვ;   გ.  $2,25 \cdot 10^4$  ნ/ვ;   დ. 0.

ეს11. უსასრულო თანაბრად დამუხტული სიბრტყის ელექტრული ველის  $E$  დამაბულობა სიბრტყიდან დაშორებისას:

- ა. არ იცვლება;   ბ. იზრდება მანძილის პროპორციულად;   გ. მცირდება მანძილის უკუპროპორციულად;  
 დ. მცირდება მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად.

ეს12. დიპოლის ელექტრული ველის  $E$  დამაბულობა მისგან საკმაოდ შორს ( $r \gg l$ ):

- ა. არ იცვლება;   ბ. იცვლება  $r^3$ -ის უკუპროპორციულად;   გ. იცვლება  $r^2$ -ის უკუპროპორციულად;   დ. იცვლება  $r$ -ის უკუპროპორციულად.

## VII. მუდმივი ელექტრული დენი

*“კიდევაც თუ თქვენი ახსნა იმდენად ცხადია, რომ გამორიცხავს ნებისმიერ მცდარ გააზრებას, მაინც მოიძებნება ადამიანი, რომელიც თქვენ არასწორად გაგიგებთ.”* Francis Chisholm

### VII.1. ამოცანები ამოხსნით

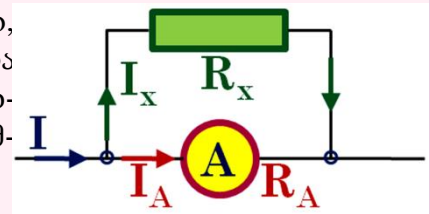
1. იპოვეთ ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობის  $V_d$  სიჩქარე  $S = 25 \text{ მმ}^2$  განივკვეთის სპილენძის გამტარში, როცა მასში  $I = 50 \text{ ა}$  დენი გადის. ივარაუდეთ, რომ **Cu**-ის ყოველ ატომზე მოდის 1 თავისუფალი ელექტრონი. (ავოგადროს მუდმივა, ელექტრონის მუხტი, **Cu**-ის მოლური მასა და სიმკვრივე:  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ მოლი}^{-1}$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ კ}$ ,  $M = 0,064 \text{ კგ/მოლი}$ ,  $\rho = 8900 \text{ კგ/მ}^3$ )

$I = enV_d S$  (1) და  $V_d = I/(enS)$  (2). თავისუფალი ელექტრონების  $n$  კონცენტრაცია პირობის თანახმად ემთხვევა **Cu**-ის ატომების კონცენტრაციას:  $n = N/V$  (3), სადაც  $N = (m/M)N_A$  (4) ატომების რაოდენობაა,  $V$  - გამტარის მოცულობა. (4)  $\Rightarrow$  (3) გვექნება  $n = (mN_A/M)$  (5); ამრიგად, (5)  $\Rightarrow$  (2)  $V_d = IM/(e\rho SN_A)$  და  $V_d = 0,15 \text{ მმ/წმ}$ .

2. ვარვარების ნათურაში ვოლფრამის ძაფის სიგრძე  $L = 20 \text{ სმ}$ , ხოლო წინალობა  $t = 2500^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე  $R_t = 200 \text{ ომი}$ . იპოვეთ ძაფის  $D$  დიამეტრი, თუ ვოლფრამის კუთრი წინალობა  $\rho_0 = 56 \text{ ნომი-მ}$  და წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი  $\alpha = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

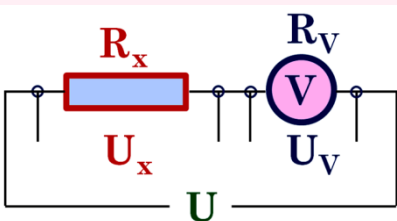
$0^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე ძაფის წინალობა  $R_0 = \rho_0 L/S = 4\rho_0 L/\pi D^2$  ანუ  $D = (4\rho_0 L/\pi R_0)^{1/2}$  (1); წინალობის ტემპერატურული დამოკიდებულებიდან  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$  (2)  $\Rightarrow$   $R_0 = R_t / (1 + \alpha t)$  (3); (3)  $\Rightarrow$  (1)  $D = \{4\rho_0 L / [\pi R_t / (1 + \alpha t)]\}^{1/2} \Rightarrow D = 28,6 \text{ მკმ}$

3. ამპერმეტრის გაზომვის ზღვარია  $I_A$  (მაქსიმალური დენი, რომლის გაზომვაც შეიძლება მოცემული ამპერმეტრით). რა  $R_x$  წინალობის შუნტი იქნება საჭირო, რომ შესაძლებელი გახდეს იმავე ამპერმეტრით  $n$ -ჯერ მეტი დენის ( $I = nI_A$ ) გაზომვა, თუ ამპერმეტრის წინალობაა  $R_A$ ?



შუნტი ამპერმეტრთან უნდა ჩაირთოს პარალელურად, მისი წინალობა კი ისე უნდა შეირჩეს, რომ ამპერმეტრში ისევ  $I_A$  დენმა გაიაროს, ხოლო დანარჩენი  $I_x = I - I_A = nI_A - I_A = (n-1)I_A$  დენი უნდა გავიდეს შუნტში; რადგან ისინი პარალელურად არიან ჩართული, დენები მათში წინალობების უკუპროპორციულად განაწილდება:

$$(n-1)I_A/I_A = R_A/R_x \text{ და } R_x = R_A/(n-1)$$



4. ვოლტმეტრის გაზომვის ზღვარია  $U_V$  (მაქსიმალური ძაბვა, რომლის გაზომვაც შეიძლება მოცემული ვოლტმეტრით). რა დამატებითი  $R_x$  წინალობა იქნება საჭირო, რომ შესაძლებელი გახდეს იმავე ვოლტმეტრით  $n$ -ჯერ მეტი ძაბვის ( $U = nU_V$ ) გაზომვა, თუ ვოლტმეტრის წინალობაა  $R_V$ ?

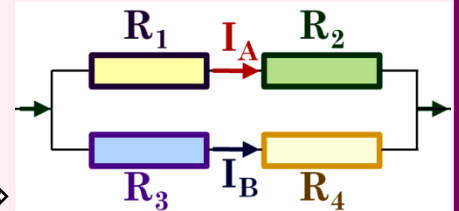
დამატებითი წინალობა ვოლტმეტრთან უნდა ჩაირთოს მიმდევრობით. მისი წინალობა კი ისე უნდა შეირჩეს, რომ ვოლტმეტრზე ისევ  $U_V$  ძაბვა დაეცეს, ხოლო დანარჩენი ძაბვა  $U_x = U - U_V = nU_V - U_V = (n-1) \cdot U_V$  დაეცეს დამატებით წინალობაზე. რადგან ისინი

მიმდევრობით არიან ჩართული, ძაბვები მათში წინააღობების პროპორციულად განაწილდება:

$$(n - 1)U_V / U_V = R_x / R_v \Rightarrow R_x = R_v(n - 1)$$

5. ნახაზზე გამოსახული წრედის რომელ წინააღობაში გამოიყოფა მეტი სითბოს რაოდენობა წრედში დენის გავლისას?  $\{R_1 = R_4 = 2 \text{ ომი}; R_2 = 4 \text{ ომი}; R_3 = 1 \text{ ომი}\}$

პარალელურ შტოებში დენები წინააღობების უკუპროპორციულია:  $I_B/I_A = (R_1 + R_2)/(R_3 + R_4) = 2$  (1); ვინაიდან მიმდევრობით უბნებში დენები ერთნაირია, ამიტომ ჯოჯოხეთის კანონით საკმარისია ერთმანეთს შევადაროთ  $R_2$ -ზე და  $R_4$ -ზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობები:



$$Q_4 / Q_2 = I_B^2 R_4 t / I_A^2 R_2 t = (I_B / I_A)^2 \cdot (R_4 / R_2) \quad (2); \quad (1) \Rightarrow (2) \Rightarrow Q_4 / Q_2 = 2, \text{ ყველაზე მეტი სითბო გამოიყოფა } R_4\text{-ე.}$$

6. იპოვეთ დენის წყაროს ემპ  $\mathcal{E}$  და შიდა წინააღობა  $r$ , თუ  $I_1 = 30$  ა დენის დროს სიმძლავრე გარე წრედში  $P_1 = 180$  ვტ, ხოლო  $I_2 = 10$  ა დენის დროს კი -  $P_2 = 100$  ვტ.

სრული წრედისთვის ომის კანონით  $I_1 = \mathcal{E}/(R_1 + r)$  (1),  $I_2 = \mathcal{E}/(R_2 + r)$  (2);  $\Rightarrow \{(1), (2)\}$   
 $I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r)$  და  $r = (I_2 R_2 - I_1 R_1)/(I_1 - I_2)$  (3); დენის სიმძლავრე  $P_1 = I_1^2 R_1$  ე.ი.  $R_1 = P_1/I_1^2$  (4), და  $R_2 = P_2/I_2^2$  (5);  $\{(4), (5)\} \Rightarrow (3)$   $r = [(P_2/I_2 - P_1/I_1)]/(I_1 - I_2) = 0.2$  ომი (6);  
 $\{(4), (6)\} \Rightarrow (1) \Rightarrow \mathcal{E} = I_1(R_1 + r) = 12$  ვ.

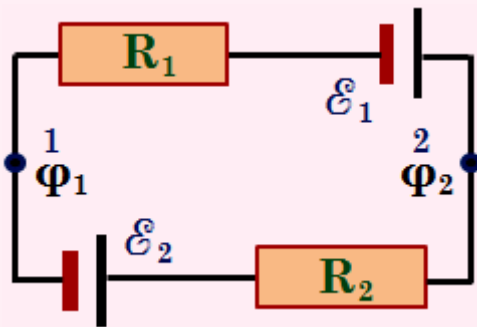
7. რამდენი  $W$  ელექტროენერგია დაიხარჯება  $V=2.5$  ლ წყალბადის მისაღებად  $t = 25^\circ\text{C}$  ტემპერატურისა და  $P = 100$  ვტ წნევის პირობებში, თუ ელექტროლიზი მიმდინარეობს  $U = 5$  ვ ძაბვაზე, დანადგარის მარგი ქმედების კოეფიციენტი კი  $\eta = 75\%$ ? {წყალბადის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი  $k = 1,04 \cdot 10^{-8}$  კგ/კ, მოლური მასა  $M = 0.002$  კგ/მოლი, აირის უნივერსალური მუდმივა  $R = 8.31$  ჯ/კ.მოლი}

დახარჯული ელექტროენერგია დენის მუშაობის ტოლია  $W = A = IU\tau$  (1). ფარადეის კანონით ელექტროლიზის დროს გამოყოფილი მასა  $m = \eta k I \tau$  (2)  $\Rightarrow (1) W = Um/\eta k$  (3). კლავირონ-მენდელეევის  $PV = (m/M)RT$  განტოლებიდან  $m = PVM/RT$  (4)  $\Rightarrow (3) \Rightarrow W = UPVM/\eta k R(t + 273)$  და  $W = 1,3 \cdot 10^5$  ჯ.

8. გამტარში გამავალი დენი დროს მიხედვით იცვლება კანონით:  $I = 4 + 3t^2$ , სადაც დენი იზომება ამპერებში, დრო - წამებში. იპოვეთ გამტარში გასული  $q$  მუხტის სიდიდე პირველი  $t_1 = 2$  წმ-ის განმავლობაში.

$$I = dq/dt \quad (1) \Rightarrow q = \int_0^2 I dt = \int_0^2 (4 + 3t^2) dt = (4t + t^3) \Big|_0^2 = 16 \text{ კ}$$

9. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$  ნახაზზე მოცემული სქემის 1 და 2 წერტილებს შორის, თუ  $R_1 = 10$  ომი,  $R_2 = 20$  ომი,  $\mathcal{E}_1 = 5$  ვ,  $\mathcal{E}_2 = 2$  ვ. დენის წყაროების შიგა წინააღობები უგულებელყოფილია.



ვინაიდან  $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$ , დენი მიედინება საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით, რომელსაც ვირჩევთ დადებით მიმართულებად. წრედის არაერთგვაროვანი "1-R<sub>1</sub>-E<sub>1</sub>-2" უბნისთვის ომის კანონის შესაბამისად:  $I R_1 = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_1$  (1); ომის კანონიდან სრული წრედისთვის:  $I = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) / (R_1 + R_2)$  (2); {(2)-ში გათვალისწინებულია, რომ დენის წყაროები „შემხვედრი“ მიმართულებითაა შეერთებული}. (2) => (1) =>

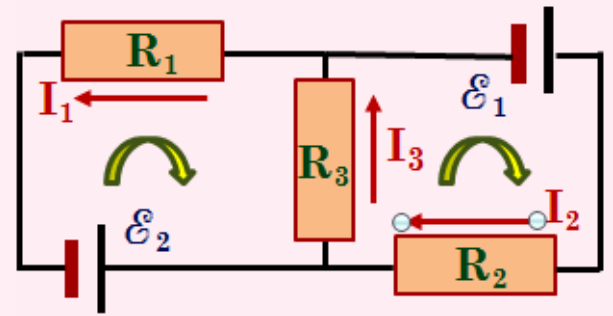
$$\varphi_1 - \varphi_2 = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) \cdot R_1 / (R_1 + R_2) - \mathcal{E}_1 = -(\mathcal{E}_2 R_1 + \mathcal{E}_1 R_2) / (R_1 + R_2); \Delta\varphi = -4 \text{ ვ.}$$

ასეთივე შედეგს მივიღებდით, თუ ჩავწერდით ომის კანონს წრედის არაერთგვაროვანი "2-R<sub>2</sub>-E<sub>2</sub>-1" უბნისთვის:  $I R_2 = \varphi_2 - \varphi_1 - \mathcal{E}_2$  =>

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) \cdot R_2 / (R_1 + R_2) - \mathcal{E}_2 = -(\mathcal{E}_2 R_1 + \mathcal{E}_1 R_2) / (R_1 + R_2).$$

10. იპოვეთ სქემაზე მითითებული  $I_1$ ,  $I_2$  და  $I_3$  დენები. დენის წყაროების შიგა წინაღობები უგულებელყოფილია.

- { $R_1 = 100$  ომი,  $R_2 = 150$  ომი,  $R_3 = 150$  ომი};
- { $\mathcal{E}_1 = 80$  ვ,  $\mathcal{E}_2 = 75$  ვ }



• ამოცანის ამოხსნა ეფუძნება კირხჰოფის კანონებს. სქემაში გამოვყოთ ორი შეკრული კონტური (მარცხენა და მარჯვენა), მათში შემოვლის მიმართულებად ავირჩიოთ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულება, რომელიც მონიშნულია ისრებით. დენის მიმართულებებს ვირჩევთ პირობითად. თუ დენის მიმართულება ემთხვევა შემოვლის მიმართულებას, ეს დენი განტოლებაში შევა დადებითი ნიშნით, თუ არა და - უარყოფითი ნიშნით. თუ შემოვლის მიმართულებით წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან გადავდივართ დადებითზე, შესაბამისი ემ ძალა განტოლებაში შევა დადებითი ნიშნით, თუ არა და - უარყოფითი ნიშნით.

• კირხჰოფის I კანონი ეხება კვანძებში შემავალ და გამავალ დენებს. ვინაიდან სულ ორი კვანძი გვაქვს, გვექნება ერთი დამოუკიდებელი განტოლება:

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1)$$

• სქემაზე გვაქვს სამი შეკრული კონტური, რომლებიც, კირხჰოფის II კანონის თანახმად, გვაძლევს ორ დამოუკიდებელ განტოლებას:

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_1 \quad (2)$$

$$-I_1 R_1 - I_3 R_3 = -\mathcal{E}_2 \quad (3)$$

• ამრიგად, ვღებულობთ სამეცნობიან განტოლებათა სისტემას:

$$\{ I_1 + I_2 - I_3 = 0; \quad I_2 R_2 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_1; \quad I_1 R_1 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_2 \} \quad (4),$$

რომლის ამონახსნებია (5):

$$\{ I_1 = [\mathcal{E}_2 (R_2 + R_3) - \mathcal{E}_1 R_3] / (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_3 R_2); \quad I_2 = (R_1 / R_2) \cdot I_1 (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) / R_2; \quad I_3 = I_1 + I_2 \}$$

და

$$I_1 = 0.2 \text{ ა; } \quad I_2 = (1/6) \text{ ა; } \quad I_3 = (11/30) \text{ ა.}$$

“თუ თქვენი პრობლემა ამოხსნადია - რა საჭიროა დეღვა; თუ თქვენს პრობლემას ამოხსნა არ გააჩნია - რატომ უნდა იდელოვოთ !?” Remedios

## VII.2.ამოცანები

**ედ1.** იპოვეთ ელექტრომადულარაში გამავალი დენის ძალა  $I$ , თუ იგი  $V = 2$  ლ წყალს  $\tau = 20$  წუთში ადუღებს. ძაბვა წრედში  $U = 220$  ვ, მადულარას მქ  $\eta = 70\%$ , წყლის საწყისი ტემპერატურა  $t_1 = 12^\circ\text{C}$ , საბოლოო  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . (წყლის კუთრი სითბოტევადობა და სიმკვრვე:  $c = 4200$  ჯ/კგ. K,  $\rho = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>)

**ედ2.** ერთნაირი ძაბვისთვის გათვალისწინებული ორი ნათურა ნომინალური სიმძლავრეებით  $P_{01} = 100$  ვტ და  $P_{02} = 200$  ვტ ჩართულია მიმდევრობით ამავე ძაბვის წრედში. რა  $P_1$  და  $P_2$  სიმძლავრე გამოიყოფა თითოეულ ნათურაზე?

**ედ3.** დენის წყაროს შიგა წინალობა  $n$ -ჯერ ნაკლებია გარე წინალობაზე. იპოვეთ წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა  $\mathcal{E}$ , თუ ძაბვა წყაროს მომჭერებზე არის  $U$ .

**ედ4.** გენერატორის მომჭერებზე  $U = 220$  ვ-ია. როგორ  $U_1$  ძაბვაზე იმუშავებს ძრავა, რომელიც დაშორებულია გენერატორიდან  $L = 300$  მ-ით, თუ  $I = 10$  ა დენი მიდის სპილენძის სადენით, რომლის განივკვეთის ფართობია  $S = 17$  მმ<sup>2</sup>? (სპილენძის კუთრი წინალობა  $\rho = 1.7 \cdot 10^{-8}$  ომი.მ)

**ედ5.** დენის წყარო კვებავს  $U_1 = 220$  ვ ძაბვაზე გაანგარიშებულ პარალელურად შეერთებულ  $n = 100$  ნათურას. თითოეული ნათურის წინალობაა  $R_0 = 1.1$  კომი, მიმყვანი სადენების წინალობა  $R_2 = 4$  ომი, წყაროს შიგა წინალობა  $r_0 = 0.8$  ომი. განსაზღვრეთ მიმყვან სადენებში დენი  $I$ , ძაბვა წყაროს მომჭერებზე  $U$  და მისი ემმ  $\mathcal{E}$ .

**ედ6.**  $L = 100$  მ სიგრძის ერთგვაროვანი რკინის ღერო შეერთებულია  $U = 100$  ვ მუდმივი ძაბვის წყაროსთან  $\tau = 10$  წმ-ით. როგორი იქნება ღეროს ტემპერატურის  $\Delta T$  ცვლილება? (რკინის კუთრი წინალობა  $\rho = 12 \cdot 10^{-8}$  ომი.მ, სიმკვრივე  $D = 7.8 \cdot 10^3$  კგ/მ<sup>3</sup>, კუთრი სითბოტევადობა  $c = 0.46 \cdot 10^3$  ჯ/კგK)

**ედ7.**  $V = 1$  ლ მოცულობის დახურულ ჭურჭელში მოთავსებული ჰაერი ნორმალურ პირობებშია ( $T_0 = 273$  K,  $P_0 = 10^5$  პა). მას აცხელებენ  $U = 10$  ვ ძაბვის,  $I = 0.2$  ა დენის და  $\eta = 50\%$  მქ-ს მქონე გამახურებლით. რა  $\tau$  დროის შემდეგ აიწევს წნევა  $P = 1$  მგპა-მდე? (ჰაერის კუთრი სითბოტევადობა  $c = 0.46 \cdot 10^3$  ჯ/კგK, სიმკვრივე  $\rho = 1.29 \cdot 10^{-3}$  კგ/მ<sup>3</sup>)

**ედ8.** იპოვეთ  $\text{ZnSO}_4$ -ის ხსნარის ელექტროლიზისას მიღებული თუთიის მასა  $m$ , თუ ძაბვა  $U = 24$  ვ, ხოლო დახარჯული ელექტროენერგია  $W = 2$  კვტ.სთ. (თუთიის მოლური (ატომური) მასა  $M = 0.065$  კგ/მოლი, ვალენტობა  $Z = 2$ , ელექტრონის მუხტი  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  კ, ავოგადროს მუდმივა  $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$  1/მოლ)

**ედ9.** ფირფიტის მოვერცხლისას დენის სიმკვრივე  $j = 0.4$  ა/დმ<sup>2</sup>. რა  $V$  სიჩქარით იზრდება ვერცხლის ფენა? (ვერცხლის მოლური მასა  $M = 0.108$  კგ/მოლი, ვალენტობა  $Z = 1$ , სიმკვრივე  $\rho = 10500$  კგ/მ<sup>3</sup>, ფარადის რიცხვი  $F = 9.65 \cdot 10^4$  კ/მოლი)

ედ10. გამტარში გამავალი დენი დროის მიხედვით იცვლება კანონით:  $I = 3 + 2t$ . {დენი იზომება ამპერებში, დრო - წამებში}. იპოვეთ გამტარში გასული  $q$  მუხტის სიდიდე დროის შუალედში  $t_1 = 2$  წმ-დან  $t_2 = 4$  წმ-მდე.

ედ11. გამტარის განივ კვეთში გასული მუხტის სიდიდე დროის მიხედვით იცვლება შემდეგი კანონით:  $q = 0.5t + 0.002 t^3$ . {მუხტი იზომება კულონებში, დრო - წამებში}. იპოვეთ  $I$  დენის ძალის მყისი მნიშვნელობა  $t_1 = 10$  წმ მომენტში.

ედ12. იპოვეთ ელექტრული ველის  $E$  დამაბულობა გამტარში, თუ მისი კუთრი წინალობა  $\rho = 2,5 \cdot 10^{-8}$  ომი.მ, განივი კვეთის ფართობი  $S = 5$  მმ<sup>2</sup>, ხოლო მასში გამავალი დენი  $I = 2$  ა.

ედ13.  $I_1 = 0.2$  ა დენის დროს ძაბვა წრედის არაერთგვაროვანი უბნის ბოლოებზე  $U_1 = 8$  ვ,  $I_2 = 1.5$  ა დენის დროს კი -  $U_2 = 8$  ვ. იპოვეთ წრედის ამ უბანზე ჩართული წყაროს  $\mathcal{E}$  ემძ.

ედ14. ნახშირის ღერო მიმდევრობითაა შეერთებული ისეთივე განივი კვეთის ფართობის მქონე რკინის ღეროსთან. როგორი უნდა იყოს ამ ღეროების სიგრძეთა შეფარდება  $Z = L_2 / L_1$ , რომ ამ კომბინაციის წინალობა არ იყოს ტემპერატურაზე დამოკიდებული? ნახშირის კუთრი წინალობა  $0^\circ\text{C}$ -ზე  $\rho_{01} = 4 \cdot 10^{-5}$  ომი.მ, მისი ტემპერატურული კოეფიციენტი  $\alpha_1 = -0.8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ; რკინისა, შესაბამისად,  $\rho_{02} = 1.2 \cdot 10^{-7}$  ომი.მ,  $\alpha_2 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

ედ15. როგორი იქნება სპილენძის ღეროს ტემპერატურის ნაზრდი  $\Delta t$ , თუ  $\tau = 0.5$  წმ-ის განმავლობაში მასში გავატარებთ  $j = 9$  ა/მმ<sup>2</sup> სიმკვრივის დენს? სპილენძის სიმკვრივე  $d = 8900$  კგ/მ<sup>3</sup>, კუთრი წინალობა  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$  ომი.მ, კუთრი სითბოტევადობა  $c = 380$  ჯ/კგK.

ედ16. განსაზღვრეთ იმ ელექტრონების სრული იმპულსი  $P$ , რომლებსაც გადააქვთ  $I = 400$  ა დენი  $L = 10$  კმ სიგრძის გამტარში. ელექტრონის მასა  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  კგ, მუხტი  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  კ.

ედ17. იპოვეთ ელექტრონების  $\mu$  ძვრადობა სპილენძის გამტარში, თუ მისი კუთრი წინალობა  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$  ომი.მ, სიმკვრივე  $d = 8900$  კგ/მ<sup>3</sup>, მოლური მასა  $M = 0.064$  კგ/მოლ. ივარაუდეთ, რომ სპილენძის თითოეულ ატომზე მოდის ერთი თავისუფალი ელექტრონი. ელექტრონის მუხტი  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  კ, ავოგადროს რიცხვი  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  მოლ<sup>-1</sup>.

### VII.3. ტესტები

ედ1. სხვადასხვა წინაღობის გამტარების პარალელური შეერთებისას სრული წინაღობა:

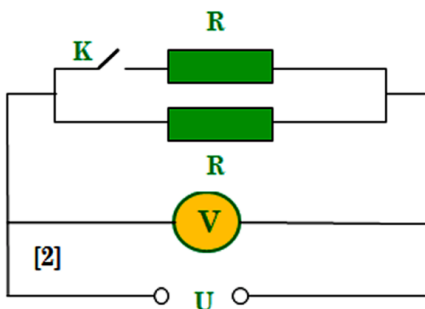
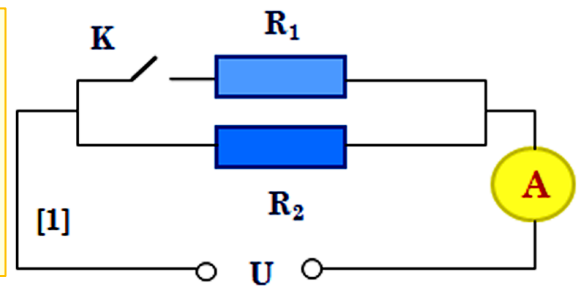
- ა. მეტია მათ შორის უდიდესზე; ბ. ტოლია გამტართა წინაღობების საშუალო არითმეტიკულის; გ. ნაკლებია მათ შორის უმცირესზე; დ. ტოლია ამ წინაღობათა ჯამის.

ედ2. სხვადასხვა წინაღობის ორი ნათურა შეერთებულია პარალელურად. უფრო მეტად გაანათებს ის ნათურა:

- ა. რომელზეც მეტი ძაბვაა; ბ. რომელშიც მეტი დენი გადის;  
 გ. რომელსაც მეტი წინაღობა აქვს; დ. ორივე ერთნაირად გაანათებს.

ედ3. როგორ შეიცვლება ამპერმეტრის ჩვენება, თუ K ჩამრთველს ჩავრთავთ (ძაბვა  $U$  მუდმივია,  $R_1 = 2R_2$ )?

- ა. გაიზარდა 1.5-ჯერ; ბ. შემცირდება 1.5-ჯერ;  
 გ. გაიზარდა 2-ჯერ; დ. შემცირდება 2-ჯერ.

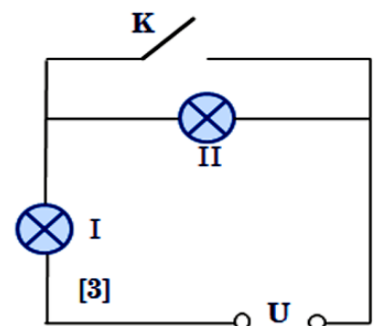


ედ4. როგორ შეიცვლება ვოლტმეტრის ჩვენება, თუ K ჩამრთველს ჩავრთავთ (ძაბვა  $U$  მუდმივია)?

- ა. შემცირდება 2-ჯერ; ბ. გაიზარდა 2-ჯერ;  
 გ. არ შეიცვლება; დ. გაიზარდა 4-ჯერ.

ედ5. როგორ შეიცვლება ნათურების სიკაშკაშე, თუ K ჩამრთველს ჩავრთავთ (ძაბვა  $U$  მუდმივია)?

- ა. არ შეიცვლება;  
 ბ. I-ის მოიკლებს, II-ის მოიმატებს;  
 გ. I-ის მოიმატებს, II-ის არ შეიცვლება;  
 დ. I-ის მოიმატებს, II ჩაქრება.



ედ6.  $U_1 = 220$  ვოლტზე გაანგარიშებული ნათურა ჩართეს  $U_2 = 110$  ვ ძაბვის ქსელში. რამდენჯერ ( $z = P_2 / P_1$ ) შეიცვალა ნათურის სიმძლავრე ნომინალურთან შედარებით?

- ა. 2; ბ. 4; გ. 1/2; დ. 1/4.



ედ7. ერთი ნათურა  $P_1 = 100$  ვტ სიმძლავრისაა და გათვლილია  $U_1 = 110$  ვ ძაბვაზე, მეორის სიმძლავრეა  $P_2 = 50$  ვტ და გათვლილია  $U_2 = 220$  ვ ძაბვაზე. ამ ნათურების წინააღმდეგობა შეფარდება  $Z = R_2/R_1$  იქნება:

ა. 1; ბ. 4; გ. 8; დ. 1/8.

ედ8.ორი წრიული განივი კვეთის მქონე ერთი და იგივე ლითონის ღერო შეერთებულია მიმდევრობით. მათი დიამეტრების შეფარდება  $k = D_2/D_1 = 2$ . როგორია მათში ელექტრონების დრეიფული სიჩქარეების შეფარდება  $Z = V_{d2}/V_{d1}$  ?

ა. 1; ბ. 2; გ. 4; დ. 0.25.

ედ9.ორი წრიული განივი კვეთის მქონე სხვადასხვა ლითონის ღერო შეერთებულია მიმდევრობით. მათი კუთრი წინააღმდეგობის შეფარდება  $k = \rho_2/\rho_1 = 16$ . როგორია მათი დიამეტრების შეფარდება  $Z = D_2/D_1$ , თუ მათზე გამოყოფილი კუთრი სიმძლავრეები ერთნაირია?

ა. 1; ბ. 2; გ. 0.5; დ. 4.

ედ10.  $\mu$  ძვრადობის ერთეული SI სისტემაში არის:

ა. მ<sup>2</sup>/ვ.წმ; ბ. წმ<sup>2</sup>/ვ.მ; გ. ვ<sup>2</sup>/მ.წმ; დ. ვ.წმ/მ<sup>2</sup>.

ედ11.ორ ლითონის გამტარში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციების შეფარდება  $k = n_1/n_2 = 2$ . როგორი იქნება მათი ძვრადობების შეფარდება  $Z = \mu_1/\mu_2$ , თუ მათი კუთრი წინააღმდეგობები ტოლია?

ა. 1; ბ. 0.5; გ. 2; დ. 4.

ედ12.წრედის რომელიღაც კვანძში შემავალი და გამომავალი დენების აბსოლუტური მნიშვნელობებია:  $|I_1| = 1$  ა,  $|I_2| = 2$  ა,  $|I_3| = 3$  ა.  $|I_4| = 4$  ა. მაშინ შემავალი და გამომავალი დენები, შესაბამისად, შეიძლება იყოს:

ა. 1,2 და 3,4; ბ. 1,3 და 2,4; გ. 1,4 და 2,3; დ. 2,1 და 3,4 .

ედ13.რთული წრედის რომელიღაც ჩაკეტილ უბანზე ჩართულია ორი წინააღმდეგობა:  $R_1 = 5$  ომი,  $R_2 = 4$  ომი. წრედის ამ უბანზე დენის წყარო არაა ჩართული. პირველ გამტარში გადის  $I_1 = 2$  ა დენი. რა  $I_2$  დენი გადის მეორე გამტარში?

ა. 1.25 ა; ბ. 0.25 ა; გ. 2.5 ა; დ. 0.8 ა.

ედ14.აირში დენი გადააქვს:

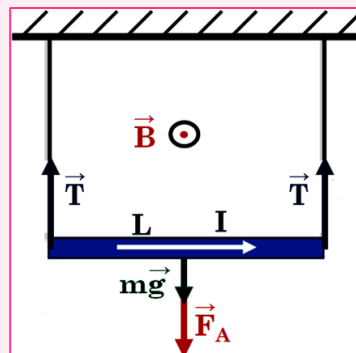
ა. მხოლოდ ელექტრონებს; ბ. ხვრელებს; გ. ელექტრონებს და იონებს;  
დ. მხოლოდ იონებს.

## VIII. მაგნეტიზმი

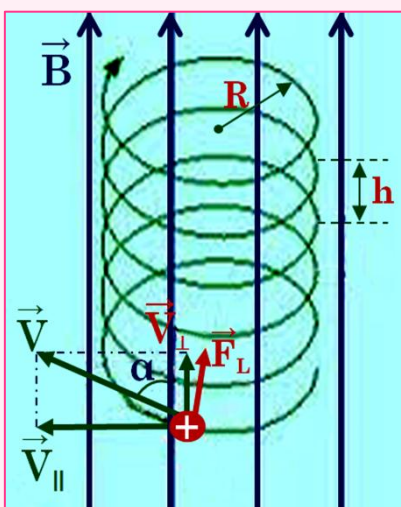
“ფუნდამენტური კვლევა არის ის, რითიც ვარ დაკავებული, როდესაც წარმოდგენა არა მაქვს, რითი ვარ დაკავებული.” Wernher von Braun

### VIII.1. ამოცანები ამოხსნით

1.  $L = 0.2$  მ სიგრძის და  $m = 5$  გ მასის წრფივი გამტარი დაკიდებულია ჰორიზონტალურად ორ მსუბუქ ძაფზე  $B = 50$  მტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში, რომელიც გამტარის მართობულადაა მიმართული. ძაფები და გამტარი მოთავსებულია ნახაზის სიბრტყეში, ხოლო მაგნიტური ინდუქცია მართობულია ნახაზის სიბრტყის და ჩვენსკენაა მიმართული. როგორი დენი უნდა გავატაროთ გამტარში, რომ ერთერთი ძაფი გაწყდეს, თუ ძაფების სიმტკიცე წყვეტაზე  $F_0 = 40$  მნ?



ძაფი რომ გაწყდეს, ამპერის ძალა  $F_A$  მიმართული უნდა იყოს  $mg$  სიმძიმის ძალის გასწვრივ ვერტიკალურად ქვევით (მარტო გამტარის სიმძიმის ძალის გავლენით ძაფი არ გაწყდება). მარცხენა ხელის წესიდან გამომდინარე, დენი ნახაზზე მითითებული მიმართულებით უნდა მიედინებოდეს. გამტარი წონასწორობაშია, თუ  $mg + F_A = 2T$  (1),  $\{T$  – თითოეული ძაფის დაჭიმულობის ძალაა,  $F_A = IBL$  (2) – ამპერის ძალა}. (2)  $\Rightarrow$  (1):  $mg + IBL = 2T$ ; გაწყვეტისას  $T = F_0$ , ამიტომ ერთერთი ძაფის გაწყვეტის პირობა შემდეგნაირად ჩაიწერება:  $mg + IBL > 2F_0 \Rightarrow I > (2F_0 - mg) / BL$  და  $I > 3$  ა.



2.  $q$  მუხტის,  $m$  მასის და  $\vec{v}$  სიჩქარის დამუხტული ნაწილაკი შედის  $\vec{B}$  ინდუქციის მაგნიტურ ველში. სიჩქარე ინდუქციის ვექტორთან ადგენს  $\alpha$  კუთხეს. ნაწილაკი ამ დროს მოძრაობს ხრახნწირზე. იპოვეთ: [1] ამ ხრახნწირის  $R$  რადიუსი და [2]  $h$  ბიჯი.

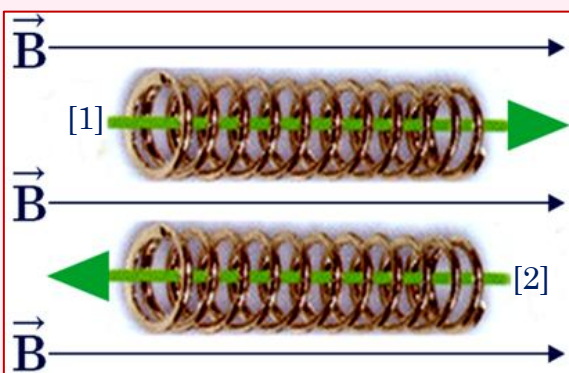
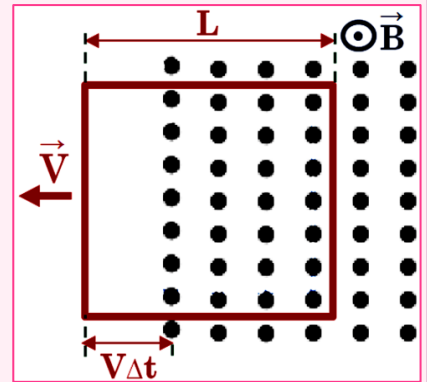
ნაწილაკის სიჩქარის ვექტორი დავშალოთ ორ ურთიერთ მართობულ მდგენელად, რომელთაგან ერთი  $\vec{B}$ -ს პარალელურია, მეორე კი – მართობი:  $\vec{v} = \vec{v}_{\parallel} + \vec{v}_{\perp}$  (1). ლორენცის ძალა გამოდის ცენტრისკენული ძალის რტლში და ნაწილაკი იწყებს მოძრაობას წრეწირზე, ხოლო ლორენცის ძალას და, შესაბამისად, ხრახნწირის რადიუსს განსაზღვრავს სიჩქარის მართობული მდგენელი:  $V_{\perp} = V \sin \alpha$  (2);  $F_L = mV_{\perp}^2 / R$ , ანუ  $qV_{\perp} B = mV_{\perp}^2 / R$  და [1]  $R = mV_{\perp} / qB = mV \sin \alpha / qB$  (3).

სიჩქარის  $\vec{v}$  მდგენელზე მაგნიტური ველი არ მოქმედებს, ველის გასწვრივ ნაწილაკი მოძრაობს მუდმივი სიჩქარით, ამიტომ ხრახნწირის ბიჯი ის მანძილია, რომელზეც გადაადგილდება ნაწილაკი ველის გასწვრივ ერთი ბრუნის განმავლობაში  $h = V_{\parallel} T = VT \cos \alpha$  (4). ბრუნვის პერიოდი  $T = 2\pi R / V_{\perp}$  (5). (3)  $\Rightarrow$  (5)  $\Rightarrow T = 2\pi m / qB$  (6). (6)  $\Rightarrow$  (4)  $\Rightarrow$  [2]  $h = 2\pi m V \cos \alpha / qB$  (7).

3.  $bL = 2$  სმ გვერდის მქონე კვადრატული ჩარჩო მოთავსებულია  $B = 10$  მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. ჩარჩოს წინაღობა  $R = 1$  ომი. ჩარჩოს სიბრტყე მართობია მაგნიტური ველის ინდუქციისა. როგორი  $I$  დენი გაივლის ჩარჩოში, თუ მას  $V = 1$  სმ/წმ სიჩქარით გამოვიტანთ მაგნიტური ველიდან ინდუქციის წირების მართობულად? {მაგნიტურ ველს მკვეთრი საზღვრები აქვს, ჩარჩოს გვერდები კი ამ საზღვრების პარალელურია}

$$d\vec{B} = (\mu_0 / 4\pi) I [d\vec{l} \times \vec{r}_1] / r_1^3$$

სანამ ჩარჩო მაგნიტური ველის საზღვრებს შიგნითაა, მისი გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი არ იცვლება და მასში ინდუქციური დენი არ აღიძვრება. როგორც კი ჩარჩოს ერთერთი გვერდი გასცდება მაგნიტური ველის საზღვრებს, ჩარჩოს გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი იწყებს შემცირებას.  $\Delta t$  დროის შუალედში ჩარჩო გადაადგილდება  $V\Delta t$  მანძილზე და ჩარჩოს ფართობის ის ნაწილი, რომელსაც კვეთს მაგნიტური ველის წირები, შემცირდება  $\Delta S$ -ით,  $\Delta S = -LV\Delta t$ . მაგნიტური ინდუქციის ნაკადის ცვლილება იმავე დროში  $\Delta\Phi = -B\Delta S = -BLV\Delta t$ . ჩარჩოში აღძრული ინდუქციის ემძ  $\mathcal{E}_i = -\Delta\Phi/\Delta t = BLV$ , ხოლო ინდუქციური დენი  $I_i = \mathcal{E}_i/R = BLV/R$  და  $I_i = 2$  მკა.



4.  $B = 60$  მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია  $N = 100$  ხვიისგან შემდგარი კოჭა (სპირალი), რომლის განივკვეთის ფართობია  $S = 50$  სმ<sup>2</sup> და ღერძი ინდუქციის წირების გასწვრივა ( $\varphi_1 = 0^\circ$ ) მიმართული [1]. იპოვეთ კოჭაში აღძრული  $\mathcal{E}_i$  ემძ-ის საშუალო მნიშვნელობა, თუ იგი  $\Delta t = 0.2$  წამის განმავლობაში მობრუნდა  $\Delta\Phi = 180^\circ$ -ით ისე [2], რომ მისი ღერძი კვლავ წირების გასწვრივ არის მიმართული ( $\varphi_2 = 180^\circ$ ).

კოჭაში აღძრული ინდუქციის ემძ  $\mathcal{E}_i = -N\Delta\Phi/\Delta t$  (1). ხოლო

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = BS(\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1) = -2BS \quad (2) \Rightarrow (1) \quad \mathcal{E}_i = 2NBS/\Delta t \quad \text{და} \quad \mathcal{E}_i = 0.3 \text{ ვ}$$

5. იპოვეთ სასრული სიგრძის  $I$  დენიანი წრფივი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის  $B$  ინდუქცია მისგან ნებისმიერ  $r$  მანძილზე.

გამოვყოთ გამტარზე  $I d\vec{l}$  დენის ელემენტი, რომელიც  $Y$  ღერძის გასწვრივაა მიმართული. ბიო-სავარ-ლაპლასის კანონის თანახმად

$$d\vec{B} = (\mu_0 / 4\pi) I [d\vec{l} \times \vec{r}_1] / r_1^3 \quad (1)$$

ინდუქციის ვექტორი მიმართულია ნახაზის სიბრტყის მართობულად, (1) შეიძლება გადავწეროთ სკალარული სახით და ვაინტეგროთ:

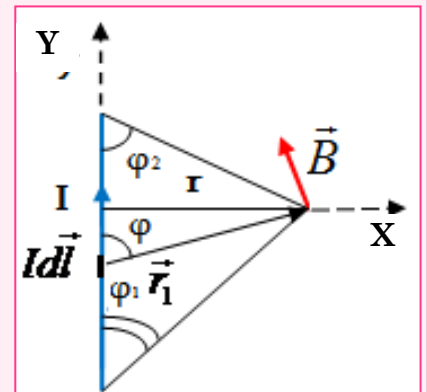
$$B = (\mu_0 / 4\pi) I \int dy \sin\varphi / r_1^2 \quad (2)$$

ინტეგრალქვეშა გამოსახულება დავიყვანოთ ერთ ცვლადზე (ინტეგრალი მარტივად აღდება კუთხურ ცვლადზე გადასვლისას):  $\{ \text{ctg}\varphi = -y/r; r_1 = r/\sin\varphi; dy = r d\varphi / \sin^2\varphi \}$  (3)

{(3) => (2)}  $\Rightarrow$

$$B = (\mu_0 / 4\pi) I \int_{\varphi_1}^{\pi-\varphi_2} [(r d\varphi \cdot \sin\varphi) / (\sin^2\varphi / r^2)] = (\mu_0 I / 4\pi r) \int_{\varphi_1}^{\pi-\varphi_2} \sin\varphi \cdot d\varphi = (\mu_0 I / 4\pi r) (\cos\varphi + \sin\varphi) \quad (4)$$

ინტეგრების ზედა საზღვრად ავიღეთ  $\pi-\varphi_2$  კუთხე, რომელიც აითვლება  $y$  ღერძის დადებითი მიმართულებიდან. (4)-დან, როგორც კერძო შემთხვევა, შეიძლება მივიღოთ უსას-



რულო  $I$  დენიანი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციის გამოსათვლელი ფორმულა: ამ დროს  $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ , ამიტომ

$$\mathbf{B} = \mu_0 I / 2\pi r \quad (5)$$

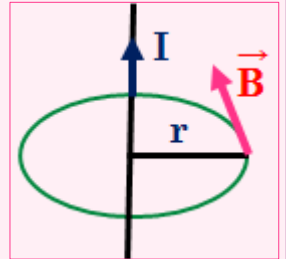
6. იპოვეთ წრფივი უსასრულო  $I$  დენიანი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქცია მისგან ნებისმიერ  $r$  მანძილზე.

ვიყენებთ სრული დენის კანონს:  $\int \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{L}} = \mu_0 I$ .

ინტეგრების კონტურად ავირჩიოთ წრეწირი, რომელიც მდებარეობს გამტარის მართობ სიბრტყეში და მისი ცენტრი დევს გამტარზე. ვინაიდან კონტურის ყველა წერტილში მაგნიტური ველის ინდუქცია ერთნაირია, ინტეგრების შედეგად მივიღებთ:

$$2\pi r \cdot \mathbf{B} = \mu_0 I \Rightarrow \mathbf{B} = \mu_0 I / 2\pi r$$

ეს შედეგი მიიღება ბიო-სავარ-ლაპლასის კანონის გამოყენებითაც - იხ. წინა ამოცანის ფორმულა (5).



*“თუ გეჩვენება, რომ სამუშაოს მარტივად შეასრულებ - ეს აუცილებლად რთული იქნება.” Joseph Murphy*

### VIII.2. ამოცანები

**მა1.**  $N = 500$  ხვიის მქონე ბრტყელი ჩარჩო, რომლის ფართობი  $S = 100 \text{ სმ}^2$ , მოთავსებულია  $\mathbf{B} = 0.05$  ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. ჩარჩოში გამავალი დენი  $I = 4$  ა. იპოვეთ კუთხე  $\alpha$  ჩარჩოს ნორმალსა და ინდუქციის ვექტორს შორის, თუ ჩარჩოზე მოქმედებს მახრუნებელი მომენტი  $\mathbf{M} = 0.5$  ნ·მ.

**მა2.**  $L = 20$  სმ სიგრძისა და  $m = 10$  გ მასის სწორი გამტარი ორი უწონო ძაფით დაკიდებულია მაგნიტის პოლუსებს შორის. ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ინდუქცია  $\mathbf{B} = 50$  მტლ და გამტარის მართობია. გამტარში დენის გატარებისას ძაფებმა ვერტიკალთან  $\alpha = 45^\circ$  კუთხე შეადგინეს. იპოვეთ გამტარში გამავალი  $I$  დენი.

**მა3.**  $W = 30$  კევ ენერგიის ელექტრონი შედის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად. იპოვეთ მისი ტრაექტორიის  $\mathbf{R}$  სიმრუდის რადიუსი, თუ მაგნიტური ველი ინდუქცია  $\mathbf{B} = 10$  მტლ. {ელექტრონის მუხტი და მასა:  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  კ,  $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$  კგ}

**მა4.**  $S = 5 \text{ სმ}^2$  ფართობის და  $N = 1000$  ხვიის მქონე ჩარჩო ჩაკეტილია  $\mathbf{R} = 10$  კომი წინააღობის გალვანომეტრით. ჩარჩო მოთავსებულია  $\mathbf{B} = 10$  მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომლის წირები ჩარჩოს სიბრტყის მართობია. რა  $q$  მუხტი გაივლის გალვანომეტრის წრედში, თუ მაგნიტური ველის ინდუქციის მიმართულებას ნელნელა შევცვლით საწინააღმდეგოთი?

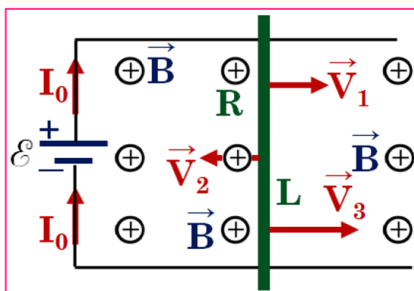
**მა5.** თვითმფრინავი მიფრინავს ჰორიზონტალურად  $V = 900$  კმ/სთ სიჩქარით. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა  $U = \mathcal{E}_i$  თვითმფრინავის ფრთების ბოლოებს შორის, თუ დედამიწის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვერტიკალური მდგენელი  $B = 50$  მკტლ, თვითმფრინავის ფრთების სრული სიგრძე კი  $L = 12$  მ.

**მა6.** გამოთვალეთ  $L = 0.4$  ჰნ ინდუქციურობის ელექტრომაგნიტის ხვიაში აღძრული თვითინდუქციის  $\mathcal{E}_{is}$  ემძ, თუ მასში დენის ძალა  $\Delta t = 0.02$  წამში თანაბრად მცირდება  $\Delta I = 5$  ა-ით.

**მა7.**  $L = 0.5$  ჰნ ინდუქციურობის კოჭაში დენის ძალის ორჯერ გაზრდისას მაგნიტური ველის ენერგია გაიზარდა  $\Delta W = 3$  ჯ-ით. იპოვეთ დენის ძალის  $I_0$  და ველის ენერგიის  $W_0$  საწყისი მნიშვნელობები.

**მა8.**  $B = 0.01$  ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან ჰორიზონტალურ მაგნიტურ ველში მის მართობულად მოთავსებულია ჰორიზონტალური რკინის გამტარი, რომლის განივკვეთი  $S = 0.5$  მმ<sup>2</sup>. რა სიდიდის  $I$  დენი უნდა გავატაროთ გამტარში, რომ იგი ჰაერში დაეკიდოს? {რკინის სიმკვრივეა  $\rho = 7800$  კგ/მ<sup>3</sup>}

**მა9.**  $L = 1$  მ აქტიური სიგრძის და  $R = 2$  ომი წინაღობის AB გამტარი მოთავსებულია  $B=0.1$  ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. გამტარი მიერთებულია  $\mathcal{E}=1$  ვ



ემძ-ს დენის წყაროსთან (წყაროს შიგა წინაღობა და მიმყვანი სადენების წინაღობა უგულებელყოფილია). იპოვეთ  $I$  დენის ძალა გამტარში, თუ: [0] გამტარი უძრავია  $V_0 = 0$ ; [1] გამტარი მოძრაობს მარჯვნივ  $V_1 = 4$  მ/წმ სიჩქარით; [2] გამტარი მოძრაობს მარცხნივ მოდულით იმავე სიჩქარით ( $V_2 = 4$  მ/წმ). [3] რა მიმართულებით და რა  $V_3$  სიჩქარით უნდა ვამოძრაოთ გამტარი, რომ მასში დენი არ გავიდეს ( $I_3=0$ )?

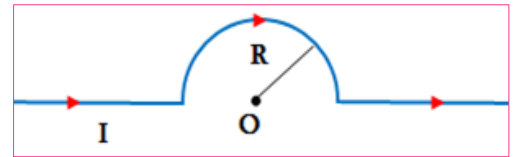
**მა10.** იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია  $B$ , რომელსაც ქმნის  $L$  სიგრძის  $I$  დენიანი წრფივი გამტარი წერტილში, რომელიც მდებარეობს გამტარის შუამართობზე და მისგან დაშორებულია  $h$  მანძილით.

**მა11.** ორი გრძელი წრფივი პარალელური გამტარი მოთავსებულია ერთმანეთისგან  $d = 10$  სმ მანძილზე. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია  $B$  იმ წერტილში, რომელიც  $d=10$  სმ-ით არის დაშორებული თითოეული გამტარიდან, თუ მათში მიედინება  $I = 5$  ა დენი ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით.

**მა12.** გრძელი ცილინდრული მილის ზედაპირის გასწვრივ მიედინება  $I$  დენი. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია  $B$  მილის შიგნით და გარეთ, მილის ღერძიდან  $r$  მანძილზე.

**მა13.R** რადიუსიან გრძელ ცილინდრულ გამტარში მიედინება  $j$  სიმკვრივის მუდმივი დენი. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია  $B$  ცილინდრის ღერძიდან  $r$  მანძილზე, შიგნით ( $r < R$ ) და გარეთ ( $r > R$ ).

**მა14.I** დენიან გამტარს ნახაზზე მოყვანილი ფორმა აქვს. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია  $B$  ნახევარწრის  $O$  ცენტრში.



**მა15.R** = 10 სმ რადიუსის მქონე წრიულ კონტურში მიედინება  $I = 6.4$  ა დენი. იპოვეთ ამ დენიანი კონტურის  $M$  მაგნიტური მომენტი.

**მა16.R** რადიუსიანი  $L$  ინდუქტივობის წრიული ზეგამტარი რგოლი მოთავსებულია  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. რგოლის სიბრტყე  $B$  ვექტორის პარალელურია და დენი რგოლში ნულის ტოლია. რგოლი მოაბრუნეს  $90^\circ$ -ით და დააყენეს  $B$ -ს მართობულად. განსაზღვრეთ  $I$  დენი რგოლში მობრუნების შემდეგ.

**მა17.R** წინაღობის უძრავი კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი  $\tau$  დროის განმავლობაში იცვლება კანონით  $\Phi = At(\tau - t)$ . იპოვეთ ამ დროში კონტურში გამოყოფილი  $Q$  სითბოს რაოდენობა.

**მა18.** რკინის გულარიან კოჭაში  $I$  დენის გატარებისას მაგნიტური ველის ინდუქცია კოჭას შიგნით არის  $B$ . რა  $I_1$  დენი უნდა გავატაროთ კოჭაში გულარის ამოღების შემდეგ, რომ მაგნიტური ველის ინდუქცია არ შეიცვალოს? გულარის მაგნიტური ამთვისებლობაა  $\mu$ .

**მა19.** გაზომვის შედეგად დადგინდა, რომ მოცემულ  $n$ -ტიპის ნახევრად გამტარში ჰოლის მუდმივა  $R_H = 5 \cdot 10^{-3} \text{ მ}^3/\text{კ}$ ; როგორია ელექტრონების კონცენტრაცია  $n$  ამ ნახევრად გამტარში?

**მა20.** კოჭას წინაღობა  $R = 10$  ომი და ინდუქტივობა  $L = 0.144$  ჰენრი. ჩართვიდან რა  $t$  დროის შემდეგ გახდება დენი საბოლოო მუდმივი მნიშვნელობის ნახევრის ტოლი?

“ორი ელემენტი, რომლებიც ყველაზე ხშირად გვხვდება სამყაროში-  
წყალბადი და სიბრიყვე.” Frank Zappa

### VIII.3. ტესტები

მა1. მუდმივი მაგნიტის პოლუსებს შორის ჩარჩოს თანაბარი ბრუნვისას მასში აღძრული  $\mathbf{E}_i$  ინდუქციის ემმ-ის მყისი მნიშვნელობა მაქსიმალურია, როცა ჩარჩოს სიბრტყე ინდუქციის წირების :

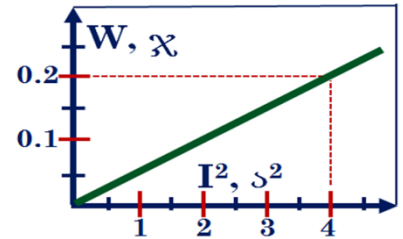
- ა. მართობია;
- ბ. პარალელურია;
- გ.  $45^\circ$ -იან კუთხეს ქმნის მათთან;
- დ. ნებისმიერადაა ორიენტირებული .

მა2. დამუხტული ნაწილაკი ბრუნავს წრეწირზე ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. მისი ბრუნვის პერიოდი  $T$  დამოკიდებულია:

- ა. მხოლოდ მასაზე;
- ბ. მხოლოდ მუხტზე;
- გ. მხოლოდ სიჩქარეზე;
- დ. მუხტზე და მასაზე

მა3. გრაფიკზე გამოსახულია დენიანი კოჭას მაგნიტური ველის ენერჯიის დამოკიდებულება მასში გამავალი დენის კვადრატზე. კოჭას ინდუქტივობა ტოლია:

- ა.  $0.05 \text{ ჰნ}$ ;
- ბ.  $20 \text{ ჰნ}$  ;
- გ.  $0.1 \text{ ჰნ}$ ;
- დ.  $25 \text{ მჰნ}$ .



მა4. ერთი ელექტრონის კინეტიკური ენერჯია  $n = 2$ -ჯერ მეტია მეორე ელექტრონის კინეტიკურ ენერჯიაზე. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მათ მიერ შემოწერილი წრეწირების რადიუსების შეფარდება  $Z = R_1/R_2$  იქნება:

- ა.  $2^{1/2}$ ;
- ბ.  $0.5$ ;
- გ.  $2$ ;
- დ.  $2^{-1/2}$ .

მა5. ერთერთ კოჭაში დენის ცვლილებისას აღძრული თვითინდუქციის ემმ  $\mathcal{E}_{is1} = 3$  ვ-ს, მეორე კოჭაში დენის ისეთივე სიჩქარით ცვლილებისას აღიძვრება  $\mathcal{E}_{is2} = 1.5$  ვ თვითინდუქციის ემმ. როგორია ამ კოჭების ინდუქტიურობათა შეფარდება  $Z = L_2/L_1$  ?

- ა.  $1$ ;
- ბ.  $2$ ;
- გ.  $1.5$ ;
- დ.  $0.5$ .

მა6.  $W_k$  კინეტიკური ენერჯიის ელექტრონი შევიდა  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. როგორ შეიცვლება ( $\Delta W_k$ ) მისი კინეტიკური ენერჯია?

- ა. არ შეიცვლება;
- ბ. გაიზრდება;
- გ. შემცირდება;
- დ. დამოკიდებულია კუთხეზე  $B$ -სა და ელექტრონის სიჩქარეს შორის.

მა7. კოჭაში გადის  $I = 17$  ა დენი. კოჭას წინააღობაა  $R = 5$  ომი, ხოლო ინდუქტიურობა  $L = 0.05 \text{ ჰნ}$ . რისი ტოლი იქნება ძაბვა  $U$  კოჭას მომჭერებზე, თუ დენი თანაბრად იზრდება  $\Delta I / \Delta t = 10^3$  ა/წმ სიჩქარით ?

- ა.  $85$  ვ;
- ბ.  $135$  ვ;
- გ.  $50$  ვ;
- დ.  $35$  ვ.

მა8. როდესაც ჩაკეტილ გამტარ კოჭაში მაგნიტი შეაქვთ  $\Delta t_1$  დროის განმავლობაში, აჩერებენ კოჭაში  $\Delta t_2$  დროის განმავლობაში, გამოაქვთ კოჭიდან  $\Delta t_3$  დროის განმავლობაში, მაშინ დენის არსებობის დრო შეადგენს:

- ა.  $\Delta t_1 + \Delta t_2$ ;    ბ.  $\Delta t_2 + \Delta t_3$ ;    გ.  $\Delta t_1 + \Delta t_3$ ;    დ.  $\Delta t_3 - \Delta t_1$ .

მა9. ერთი კოჭას ინდუქციურობა  $k = L_1/L_2 = 4$ -ჯერ მეტია მეორე კოჭას ინდუქციურობაზე, მაგრამ მეორე კოჭაში გამავალი დენი  $n = I_2/L_1 = 2$ -ჯერ მეტია პირველ კოჭაში გამავალ დენზე. როგორია ამ დენიანი კოჭების მაგნიტური ველის ენერგიების შეფარდება  $Z = W_2/W_1$ ?

- ა. 2;    ბ. 1/2;    გ. 1/8;    დ. 1.

მა10. მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად  $V$  სიჩქარით შეიჭრა ელექტრონი. იპოვეთ  $B$  ველის ინდუქცია, თუ ველში ელექტრონმა  $R$  რადიუსიანი წრეწირი შემოწერა (ელექტრონის მუხტია  $-e$ , მასა  $-m$ )

- ა.  $eR / mV$ ;    ბ.  $mV / eR$ ;    გ.  $mVe / R$ ;    დ.  $VR / em$ .

მა11. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ელექტრონის მიმოქცევის პერიოდია  $T = 8.9$  ნწმ. როგორია მაგნიტური ველის  $B$  ინდუქციის სიდიდე? (ელექტრონის მუხტი და მასა:  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  კ,  $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$  კგ)?

- ა. 0.6 მტლ;    ბ. 1.2 მტლ;    გ. 2 მტლ;    დ. 4 მტლ.

მა12. დენიანი კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია  $W_0 = 1$  ჯ. კოჭაში გამავალი დენის ძალის  $n = 2$ -ჯერ გაზრდისას რამდენით გაიზრდება მაგნიტური ველის ენერგია ( $\Delta W$ )?

- ა. 1 ჯ;    ბ. 3 ჯ;    გ. 0.75 ჯ;    დ. 2 ჯ.

მა13. რამდენ  $N$  ხვიას, განივკვეთით  $S = 100$  სმ<sup>2</sup>, უნდა შეიცავდეს კოჭა, რომ  $\Delta t = 10^{-2}$  წამის განმავლობაში მაგნიტური ინდუქციის  $\Delta B = 0.2$  ტლ-თი ცვლილებისას აღიძვრას  $\mathcal{E}_i = 200$  ვ ინდუქციის ემმ?

- ა. 10;    ბ.  $10^3$ ;    გ.  $10^4$ ;    დ. 400

მა14. ფერომაგნეტიკის მაგნიტური ამთვისებლობა  $\mu$  დამოკიდებულია:

- ა. მხოლოდ მაგნიტურ ველზე;    ბ. მხოლოდ მაგნიტური ველის ცვლილების ხასიათზე;    გ. მაგნიტურ ველზე და მისი ცვლილების ხასიათზე;    დ. მუდმივი სიდიდეა.

მა15. ერთი ნახევრად გამტარის ძვრადობა ორჯერ მეტია ( $k = \mu_1 / \mu_2 = 2$ ) მეორის ძვრადობაზე, ხოლო ჰოლის მუდმივა ( $j = R_{H1} / R_{H2} = 1/2$ ). - ორჯერ ნაკლები. მაშინ მათი გამტარობების შეფარდება  $Z = \sigma_1 / \sigma_2$  იქნება:

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



**მა16.** კოქას წინაღობა  $R = 1.64$  ომი და ინდუქტივობა  $L = 0.2$  ჰნ. რამდენჯერ შემცირდება დენი კოქაში ( $Z = I_0 / I$ ) დენის წყაროს გამორთვიდან და კოქას დამოკლებიდან  $t = 0.05$  წმ-ის შემდეგ?

ა. 1.5-ჯერ;    ბ. 2-ჯერ;    გ. 2.5-ჯერ;    დ. ) 3-ჯერ.

**მა17.** გრძელ კოქაში გამავალი დენის ორჯერ გაზრდისას ( $k = I_2 / I_1 = 2$ ) კოქას მაგნიტური ველის ენერგიის სიმკვრივე ( $Z = w_2 / w_1$ ):

ა. არ იცვლება;    ბ. გაიზრდება 2-ჯერ;    გ. გაიზრდება 4-ჯერ;    დ. გაიზრდება 8-ჯერ.

## IX. ცვლადი დენი

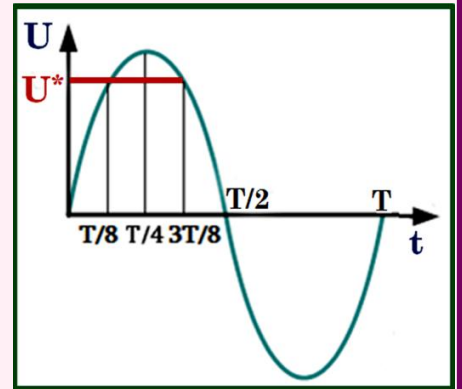
*“სიტყვები ჩვენ გვჭირდება, რათა დავმალეთ ჩვენი აზრები.”* Voltaire

### IX.1. ამოცანები ამოხსნით

1.  $U = 220$  ვ ძაბვის ცვლადი დენის წრედში, რომლის სიხშირეა  $\nu = 50$  ჰც, მიმდევრობით ჩართულია კონდენსატორი ტევადობით  $C = 35.4$  მკვ, აქტიური წინაღობა  $R = 100$  ომი და ინდუქტივობა  $L = 0.7$  ჰნ. განსაზღვრეთ დენის ძალა წრედში  $I$ , ძაბვები: აქტიური წინაღობაზე  $U_R$ , კონდენსატორზე  $U_C$  და ინდუქტივობაზე  $U_L$ .

წრედის სრული წინაღობა  $Z = [R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2]^{1/2}$  (1); ციკლური სიხშირე  $\omega = 2\pi\nu$  (2);  $\{(1),(2)\} \Rightarrow Z = 164$  ომი; დენის ძალა წრედში  $I = U / Z = 1.34$  ა; ძაბვა აქტიურ წინაღობაზე  $U_R = IR = 134$  ვ; ძაბვა კონდენსატორზე  $U_C = I / \omega C = 121$  ვ; ძაბვა ინდუქტივობაზე  $U_L = I\omega L = 295$  ვ

2. ნეონის ნათურა ნათებას იწყებს, როცა მის ელექტროდებზე ძაბვა მკაცრად განსაზღვრულ  $U^*$  მნიშვნელობას მიაღწევს (ჩაქრობის ძაბვა ანთების ძაბვას უტოლდება). ნათურა ჩართულია ცვლადი ძაბვის წრედში, რომელშიც ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა  $U_a$  რიცხობრივად ემთხვევა  $U^*$  ძაბვას. პერიოდის რა  $k$  ნაწილის განმავლობაში ანთია ნათურა?



ნათურა აინთება დროის იმ  $t_1$  მომენტში, როდესაც ძაბვის მყისი მნიშვნელობა  $u_1 = U_0 \sin(2\pi/T)t_1$  გაუტოლდება  $U^* = U_a = U_0/\sqrt{2}$  მნიშვნელობას. ამდენად  $\sin(2\pi/T)t_1 = 1/\sqrt{2} \Rightarrow (2\pi/T)t_1 = \pi/4 \Rightarrow t_1 = T/8$ . მეოთხედ პერიოდში ნათურა ანთია  $\Delta t_1 = T/4 - t_1 = T/8$ -ის განმავლობაში; მთელ პერიოდში ნათების დროა  $\Delta t = 4\Delta t_1 = T/2$ . ამდენად,  $k = \Delta t/T = 1/2$ .

3. რხევითი კონტური შედგება  $L = 10$  მჰნ ინდუქტივობის კოჭისა,  $C = 0.405$  მკვ ტევადობის კონდენსატორისა და  $R = 2$  ომი აქტიური წინაღობიგან. იპოვეთ, რამდენჯერ შემცირდება ძაბვა ( $Z = U_1 / U_0$ ) კონდენსატორის შემონაფენებზე ერთი პერიოდის განმავლობაში.

ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებზე იცვლება კანონით  $U = U_0 e^{-bt} \cos(2\pi/T)t$ , სადაც მილევის კოეფიციენტი  $b = R/2L = 100$  წმ<sup>-1</sup>; ერთი პერიოდის  $T = 2\pi(\sqrt{LC})^{1/2} = 4.10^{-4}$  წმ შემდეგ:  $Z = U_1/U_0 = e^{-bT} = 1.04$ .

4. ცვლადი დენის წრედში ჩართული სადულარა ჩაშვებულია წყალში. წრედში ძაბვა იცვლება კანონით (SI სისტემა)  $u = 230 \sin 314t$ . ადულების შემდეგ, გარკვეული დროის განმავლობაში, აორთქლდა  $m = 1.15$  გ წყალი. რამდენი  $N$  რხევა შეასრულა დენმა ამ დროში, თუ სადულარას წინაღობა  $R = 30$  ომია, წყლის ორთქლადქცევის კუთრი სითბო  $L = 23 \cdot 10^5$  ჯ/კვ

ძაბვის ცვლილების წარმოდგენილი კანონი გვიჩვენებს, რომ ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობა  $U_0 = 230$  ვ, ხოლო რხევის ციკლური სიხშირე  $\omega = 2\pi/T = 314$  წმ<sup>-1</sup>. შესრულებული რხევების რიცხვი  $N$ , რხევის მოცემული პერიოდისას ( $T = 2\pi/314 = 2 \cdot 10^{-2}$  წმ),

( $T = 2\pi/314 = 2 \cdot 10^{-2}$  წმ), დამოკიდებულია აორთქლების ხანგრძლივობაზე  $N = t_0/T$  (1), რომელიც, თავის მხრივ, სადულარას სიმძლავრით  $P = U_a^2/R$  (2) განისაზღვრება. სადულარას მიერ გამოყოფილი სითბო  $Q = Pt_0$  (3) ხმარდება წყლის ორთქლადქცევას  $mL = Q = Pt_0$  (4)  $\Rightarrow t_0 = mL/P$  (5).  $\{(2) \text{ და } U_a = U_0/\sqrt{2}\}$  გათვალისწინებით (5)-ში  $t_0 = 2mLR / U_0^2$  (6). საბოლოოდ, (6)  $\Rightarrow$  (1) მივიღებთ  $N = 2mLR / U_0^2 T$  და  $N = 150$ .

*“ამოცანის ამოხსნისას ყოველთვის სასარგებლოა პასუხის წინდაწინ ცოდნა.” ?*

## IX.2. ამოცანები

**ცდ1.ა** ციკლური სიხშირის ცვლადი დენის წრედში პარალელურადაა ჩართული  $R$  წინაღობის რეზისტორი და  $C$  ტევადობის კონდენსატორი. განსაზღვრეთ წრედის სრული წინაღობა  $Z$  და ფაზათა სხვაობა ძაბვასა და დენს შორის  $\phi$ .

**ცდ2.ა** ციკლური სიხშირის ცვლადი დენის წრედში პარალელურადაა ჩართული  $R$  წინაღობის რეზისტორი და  $L$  ინდუქტივობის კოჭა. განსაზღვრეთ წრედის სრული წინაღობა  $Z$  და ფაზათა სხვაობა ძაბვასა და დენს შორის  $\phi$ .

**ცდ3.**  $L = 2,26 \cdot 10^{-2}$  ჰნ ინდუქტივობის კოჭა პარალელურადაა ჩართული  $R$  წინაღობასთან  $v = 50$  ჰც სიხშირის ცვლადი დენის წრედში. განსაზღვრეთ  $R$ , თუ ცნობილია, რომ ფაზათა სხვაობა ძაბვასა და დენს შორის  $\phi = 60^\circ$ .

**ცდ4.**  $U = 220$  ვ ძაბვის ცვლადი დენის წრედში მიმდევრობით ჩართულია კონდენსატორი, აქტიური წინაღობა და ინდუქტივობა. განსაზღვრეთ ძაბვა აქტიურ წინაღობაზე  $U_R$ , თუ ძაბვა კონდენსატორზე  $U_C = 2U_R$  და ძაბვა ინდუქტივობაზე  $U_L = 3U_R$ .

**ცდ5.**  $L$  ინდუქტივობის და  $R = 10$  ომი აქტიური წინაღობის კოჭა ჩართულია  $U = 127$  ვ ძაბვის და  $v = 50$  ჰც სიხშირის ცვლადი დენის წრედში. განსაზღვრეთ  $L$  ინდუქტივობა, თუ ცნობილია, რომ კოჭა მოიხმარს  $P = 400$  ვტ სიმძლავრეს და ფაზათა სხვაობა ძაბვასა და დენს შორის  $\phi = 60^\circ$ .

**ცდ6.** რხევითი კონტურის კონდენსატორი დამუხტეს, რის შემდეგაც კონტურში აღიძრა ელექტრული რხევები, რომლის პერიოდია  $T$ . რხევის დაწყებიდან რა  $t_1$  დროის შემდეგ განახევრდება მუხტი ( $q = q_0 / 2$ ) კონდენსატორის შემონაფენებზე?

**ცდ7.** რა  $L$  ინდუქტივობის კოჭა უნდა ჩავრთოთ რხევით კონტურში, რომელიც შეიცავს  $C = 2$  მკვ ტევადობის კონდენსატორს, რომ მივიღოთ  $v = 1000$  ჰც ბგერითი სიხშირის რხევები?

**ცდ8.**რხევითი კონტური შეიცავს  $L = 5.07$  მჰნ ინდუქტივობის კოჭას. რას უდრის კონტურის აქტიური წინაღობა  $R$ , თუ  $f_1 = 10^{-3}$  წმ-ში ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებზე შემცირდა 3-ჯერ ( $Z = U_0/U=3$ )?

**ცდ 9.**რხევითი კონტურის კოჭას ინდუქციურობა  $L = 0.2$  ჰნ, კონდენსატორის ტევადობა  $C = 10$  მკგ, მაქსიმალური ძაბვა კონდენსატორზე  $U_0 = 2$  ვ. როგორი იქნება  $I$  დენის ძალა, როცა კონტურის ენერგია თანაბრად იქნება განაწილებული ელექტრულსა და მაგნიტურ ველებს შორის?

*“თქვენ უფრო ჭკვიანი ხართ ვიდრე ფიქრობთ და უფრო კრეატიული, ვიდრე შეგიძლიათ წარმოიდგინოთ.”* Joys Wyckoff

### IX.3.ტესტები

**ცდ1.** $\chi_L$  ინდუქციური წინაღობა ცვლადი დენის სიხშირის 2-ჯერ გაზრდისას ( $k=v_2/v_1$ ):  
ა. არ შეიცვლება; ბ. გაიზრდება 2-ჯერ; გ. გაიზრდება 4-ჯერ; დ. შემცირდება 2-ჯერ.

**ცდ2.** $\chi_C$  ტევადური წინაღობა ცვლადი დენის სიხშირის 2-ჯერ გაზრდისას ( $k=v_2/v_1$ ):  
ა. არ შეიცვლება; ბ. გაიზრდება 2-ჯერ; გ. გაიზრდება 4-ჯერ; დ. შემცირდება 2-ჯერ.

**ცდ3.**მცვლადი დენის წრედში მიმდევრობითაა ჩართული  $R$  აქტიური წინაღობა და  $L$  ინდუქტივობის კოჭა. ამ დროს ფაზათა სხვაობა ძაბვასა და დენს შორის  $\phi = 60^\circ$ . როგორი გახდება ფაზათა სხვაობა  $\phi_1$ , თუ მათ პარალელურად შევავრთებთ?  
ა.  $30^\circ$ ; ბ.  $45^\circ$ ; გ.  $60^\circ$ ; დ. მონაცემები არაა საკმარისი.

**ცდ4.**ცვლადი დენის წრედში მიმდევრობითაა ჩართული  $R$  აქტიური წინაღობა და  $C$  კონდენსატორი. ამ დროს ფაზათა სხვაობა ძაბვასა და დენს შორის  $\phi = 30^\circ$ . როგორი გახდება ფაზათა სხვაობა  $\phi_1$ , თუ მათ პარალელურად შევავრთებთ?  
ა.  $30^\circ$ ; ბ.  $45^\circ$ ; გ.  $-60^\circ$ ; დ. მონაცემები არაა საკმარისი.

**ცდ5.**ცვლადი დენის წრედში, რომლის სიხშირეა  $\nu = 50$  ჰც, მიმდევრობით ჩართულია კონდენსატორი ტევადობით  $C = 10$  მკგ, აქტიური წინაღობა  $R$  და ინდუქტივობა  $L$ . როგორი უნდა იყოს ინდუქტივობა  $L$ , რომ დენის ძალა წრედში გახდეს მაქსიმალური?  
ა.)  $0.1$  ჰნ; ბ.  $1$  ჰნ; გ.  $1$  მჰნ; დ.  $10$  მჰნ.

ცდ6. რხევითი კონტურის  $C_0$  კონდენსატორს მიმდევრობით მიუერთეს მეორე ისეთივე კონდენსატორი. ამის შედეგად კონტურის სიხშირე ( $Z = \nu / \nu_0$ ):

- ა. შემცირდება 2-ჯერ;      ბ. გაიზარდება 2-ჯერ;      გ. გაიზარდება  $2^{1/2}$ -ჯერ;  
დ. შემცირდება  $2^{1/2}$ -ჯერ.

ცდ7. რხევითი კონტურის  $C_0$  კონდენსატორს პარალელურად მიუერთეს მეორე ისეთივე კონდენსატორი. ამის შედეგად კონტურის სიხშირე ( $Z = \nu / \nu_0$ ):

- ა. შემცირდება 2-ჯერ;      ბ. გაიზარდება 2-ჯერ;      გ. გაიზარდება  $2^{1/2}$ -ჯერ;  
დ. შემცირდება  $2^{1/2}$ -ჯერ.

ცდ8. რისი ტოლია რხევით კონტურში მაგნიტური ველის ენერჯიის შეფარდება ელექტრული ველის ენერჯიასთან ( $Z = W_M / W_E$ ) დროის  $t_1 = T/8$  მომენტში?

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

ცდ9. რხევითი კონტურის წინაღობის ორჯერ გაზრდისას ( $k = R / R_0 = 2$ ) და კოჭას ინდუქტივობის ორჯერ შემცირებისას ( $m = L/L_0 = 1/2$ ) მილევის კოეფიციენტი ( $Z = b / b_0$ ):

- ა. შემცირდება 4-ჯერ;      ბ. გაიზარდება 4-ჯერ;      გ. გაიზარდება  $2^{1/2}$ -ჯერ;  
დ. შემცირდება  $2^{1/2}$ -ჯერ.

ცდ10. გარემოში, რომლის დიელექტრიკული შეღწევადობა  $\epsilon = 9$ , ხოლო მაგნიტური შეღწევადობა  $\mu = 4$ , სინათლის გავრცელების  $V$  სიჩქარე იქნება:

- ა.  $c / 6$ ;      ბ.  $c / 36$ ;      გ.  $c / 5$ ;      დ.  $c / 13$ .

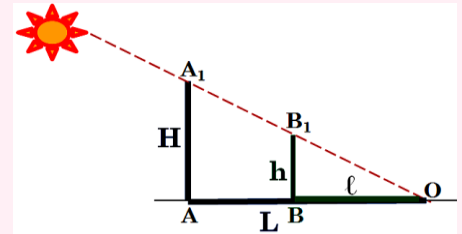
# X.ოპტიკა

*“როდესაც გეჩვენება, რომ მთელი სამყარო შენს საწინააღმდეგოდ არის განწყობილი, გახსოვდეს, რომ თვითმფრინავის აფრენა ქარის საწინააღმდეგოდ ხდება!” Henry Ford*

## 1.ამოცანები ამოხსნით

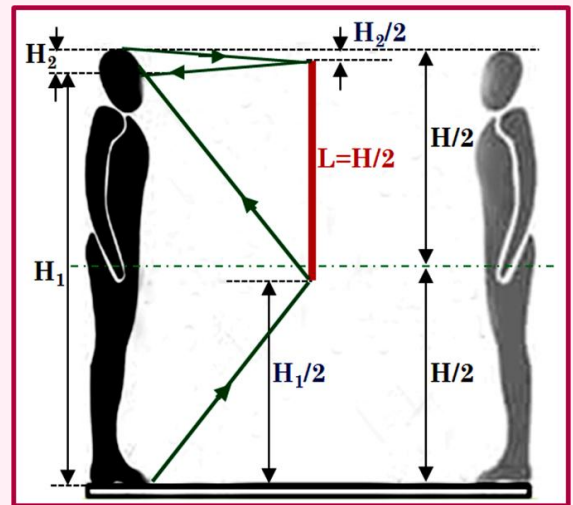
1.მზის სხივებში სატელევიზიო ანძის ჩრდილის სიგრძე  $L = 400$ მ;  $h = 1.80$  მ სიმაღლის ადამიანის ჩრდილის სიგრძე (იმავე მომენტში)  $l = 2$  მ. იპოვეთ სატელევიზიო ანძის სიმაღლე  $H$ .

დედამიწაზე დაცემული მზის სხივები პრაქტიკულად პარალელურნი არიან. ამიტომ,  $\Delta OAA_1 \sim \Delta OBB_1$  ანუ  $H/h = L/l$  და  $H = (L/l)h = 360$  მ.



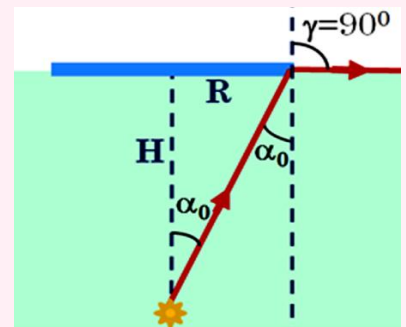
2.[1] რა მინიმალური  $L$  სიგრძის უნდა იყოს ვერტიკალურად დაკიდებული ბრტყელი სარკე, რომ მასში  $H$  სიმაღლის ადამიანმა მთელის თავისი ტანი დაინახოს ფეხის წვერიდან კეფამდე? [2] როგორ უნდა დაიკიდოს ეს სარკე? [3] თუ ოჯახის ყველაზე მაღალი წევრი ასეთნაირად შერჩეულ სარკეს დაკიდებს სახლში, დაინახვენ თუ არა მასში საკუთარ ტანს მთლიანად ოჯახის დანარჩენი წევრები?

ადამიანი მთელ თავის ტანს დაინახავს, თუ თვალში მოხვდება როგორც კეფიდან, ისე ფეხის წვერიდან წამოსული და სარკეში არეკლილი სხივები.  $H_1$  და  $H_2$  -ით აღვნიშნულია მანძილები იატაკიდან (ფეხის წვერიდან) თვალამდე და თვალისა და კეფამდე, შესაბამისად. ნახაზიდან გამომდინარე [1]: სარკის მინიმალური სიმაღლე  $L = H - H_1/2 - H_2/2 = H - H/2 = H/2$ ; [2]: სარკე ისე უნდა დაიკიდოს, რომ ზედა კიდე იმყოფებოდეს თვალისა და კეფამდე მანძილის შუაწერტილის გასწვრივ. ამ დროს ქვედა კიდე იქნება იატაკიდან თვალამდე მანძილის შუაწერტილის გასწვრივ, ანუ ატაკიდან  $H_1/2$  სიმაღლეზე. [3]: ცხადია, რომ უფრო დაბალი ადამიანი ამ სარკეში თავის ფეხის წვერებს ვერ დაინახავს (შეიძლება საერთოდ ვერ დაინახოს თავისი თავი). ოჯახის ყველა წევრი მთელ ტანს დაინახავს სარკეში, თუ სარკის ზედა კიდე განლაგდება ოჯახის ყველაზე მაღალი წევრის, ხოლო ქვედა კიდე – ყველაზე დაბალი წევრის შესაბამის სიმაღლეებზე. სარკის მინიმალური ზომა ამ შემთხვევაში იქნება  $L_0 = H_{max} - H_{max2}/2 - H_{min1}/2$ , სადაც  $H_{max}$  ოჯახის ყველაზე მაღალი წევრის სიმაღლეა,  $H_{max2}$  – მისი თვალისა და კეფამდე მანძილი,  $H_{min1}$  - იატაკიდან ოჯახის ყველაზე დაბალი წევრის თვალამდე მანძილი.



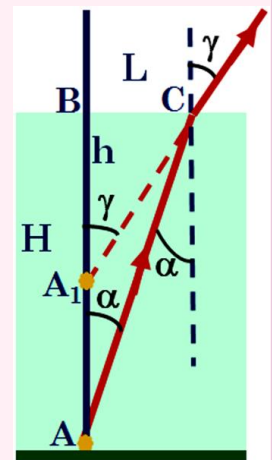
3.ჭურჭლის ფსკერზე, რომელშიც  $H$  სიმაღლის წყლის ფენა ასხია, იმყოფება სინათლის წერტილოვანი წყარო. წყლის ზედაპირზე ცურავს გაუმჭვირვალე დისკო, რომლის ცენტრი ერთ ვერტიკალზეა სინათლის წყაროსთან. როგორი უნდა იყოს დისკოს უმცირესი  $R$  რადიუსი, რომ სინათლის სხივები წყლიდან არ გამოდიოდეს?

სინათლის სხივი წყლიდან არ გამოვია, თუ გაუმჭვირვალე დისკოს კიდესთან წყალი-ჰაერის გამყოფ საზღვარზე დაცემის კუთხე  $\alpha_0$  სრული არეკვლის ზღვრული კუთხის ტოლი ან მეტია:  $\sin \alpha_0 = 1/n$  (1), სადაც  $n$  წყლის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელია. ნახაზიდან ჩანს, რომ  $R = H \tan \alpha_0 = H \sin \alpha_0 / \cos \alpha_0$  (2). ხოლო  $\cos \alpha_0 = (1 - \sin^2 \alpha_0)^{1/2} = (1 - 1/n^2)^{1/2} = (n^2 - 1)^{1/2} / n$  (3).  $\{(1), (3)\} \Rightarrow (2) \Rightarrow R = H / (n^2 - 1)^{1/2}$ .



4. ზემოდან ვერტიკალურად დამზერისას წყალსაცავის სიღრმე გვეჩვენება  $h = 3$  მ-ის ტოლად. როგორია წყალსაცავის ჭეშმარიტი სიღრმე  $H$ , თუ წყლის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი  $n = 4/3$  ?

ვიპოვოთ წყალსაცავის ფსკერზე მდებარე  $A$  წერტილის გამოსახულება  $A_1$ .  $AB$  სხივი მართობულად ეცემა წყალი-ჰაერის გამყოფ საზღვარზე და მიმართულების შეუცვლელად გადის ჰაერში.  $AC$  სხივი გარდატეხისას იცვლის მიმართულებას და მისი გაგრძელების გადაკვეთა  $AB$  სხივთან იძლევა  $A$  წერტილის  $A_1$  გამოსახულებას. ცხადია, რომ წყალსაცავის მოჩვენებითი სიღრმე  $h = A_1B$ . ნახაზიდან ჩანს, რომ  $H = AB = BC / \tan \alpha$  (1),  $h = A_1B = BC / \tan \gamma$  (2), ე.ი.  $H/h = (\tan \gamma / \tan \alpha)$  (3); გარდატეხის კანონის თანახმად,  $\sin \alpha / \sin \gamma = 1/n$  (4). გავითვალისწინოთ, რომ  $\alpha$  და  $\gamma$  ძალიან მცირე კუთხეებია (ვინაიდან  $AC$  სხივი ძალიან ახლოს უნდა იყოს ნორმალთან, რომ გარდატეხის შემდეგ იგი თვალში მოხვდეს), ე.ი.  $H/h = (\sin \gamma / \sin \alpha)$  (5). (4)  $\Rightarrow$  (5)  $H/h = n$  და  $H = nh$ .



5.  $S$  მნათი წერტილი მოძრაობს  $V_y = 3$  მ/წმ სიჩქარით ვერტიკალური მიმართულებით, ხოლო სარკე –  $V_x = 2$  მ/წმ სიჩქარით ჰორიზონტალური მიმართულებით რა  $V$  სიჩქარით მოძრაობს  $S$  მნათი წერტილის  $S^*$  გამოსახულება?

ვერტიკალური მიმართულებით მნათი წერტილის გამოსახულების გადაადგილების სიჩქარე ემთხვევა მნათი წერტილის გადაადგილების  $V_y$  სიჩქარეს (ერთსა და იმავე დროში ორივე ერთნაირ  $V_y t$  მანძილს გაივლის). ჰორიზონტალური მიმართულებით  $t$  დროის შემდეგ მანძილი მნათ წერტილსა და სარკეს შორის შემცირდება  $V_x t$ -ით და გახდება  $L - V_x t$  ( $L$  საწყისი მანძილია სარკესა და მნათ წერტილს შორის). ამ დროს მანძილი მნათ წერტილსა და მის გამოსახულებას შორის გახდება  $2(L - V_x t)$ ; ამრიგად, ჰორიზონტალური მიმართულებით  $t$  დროში მნათი წერტილი გადაადგილდა  $[2L - 2(L - V_x t)] = 2V_x t$  მანძილით, ე.ი. მისი სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი ყოფილა  $2V_x$ . გამოსახულების სრული სიჩქარე  $V = (V_y^2 + 4V_x^2)^{1/2}$  სიჩქარეთა ვექტორული წესის თანახმად და  $V = 5$  მ/წმ.

6. სინათლის სხივი მანძილს სინათლის წყაროსა და ეკრანს შორის ვაკუუმში გადის  $t_1$  დროში. ეკრანის წინ მოათავსეს სითხით სავსე ჭურჭელი ისე, რომ სხივს წყაროსა და ეკრანს შორის  $S$  მანძილის ნახევრის გავლა სითხეში უხდება, ამასთან მთელი მანძილის გავლას სხივი ანდომებს  $t_2 = 1.15t_1$  დროს. იპოვეთ სითხის გარდატეხის  $n$  მაჩვენებელი (სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში  $c = 10^8$  მ/წმ. ჭურჭლის კედლების სისქე უგულებელყავით).

მანძილი სინათლის წყაროსა და ეკრანს შორის  $S = ct_1$  (1). სითხეში სინათლის გავრცელების სიჩქარე  $V = c/n$  (2). ვინაიდან მეორე შემთხვევაში სხივი მთელი მანძილის ნახევარს ვაკუუმში გადის და ნახევარს – სითხეში, ამიტომ  $t_2 = (S/2)/c + (S/2)/V$  (3). (2) $\Rightarrow$ (3)  
 $\Rightarrow t_2 = (S/2c)(n+1)$  ანუ  $1.15t_1 = (S/2c)(n+1)$  (4); (1) $\Rightarrow$ (4)  $\Rightarrow (n+1)/2 = 1.15$  და  $n = 1.3$ .

7. ყვითელი სინათლის გავრცელების სიჩქარე წყალში  $V_1 = 225\ 000$  კმ/წმ, მინაში –  $V_2 = 198\ 200$  კმ/წმ. განსაზღვრეთ  $n_{21}$  მინის გარდატეხის მაჩვენებელი წყლის მიმართ.

მინის გარდატეხის მაჩვენებელი წყლის მიმართ  $n_{21} = n_2/n_1$ , სადაც  $n_2 = c/V_2$  მინის აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებელია, ხოლო  $n_1 = c/V_1$  წყლის აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებელი.  $c$  სინათლის სიჩქარეა ვაკუუმში. ამრიგად,  $n_{21} = V_1/V_2 = 1.135$ .

8. სივრცის რომელიღაც წერტილში იკრიბება სინათლის ორი კოჰერენტული ტალღა, რომელთა ტალღის სიგრძე  $\lambda = 500$  ნმ, სვლათა სხვაობა კი -  $\Delta = 750$  ნმ. ინტერფერენციის შედეგად ამ ადგილზე განათებული ზოლი მიიღება თუ ჩაბნელებული?

ინტერფერენციული მაქსიმუმის პირობა:  $\Delta = 2n\lambda/2$ , მინიმუმისა -  $\Delta = (2n+1)\lambda/2$ , სადაც  $\Delta$  სვლათა სხვაობა,  $n$  - მთელი რიცხვი. ამოცანისთვის პასუხის გასაცემად უნდა გავარკვიოთ, სვლათა სხვაობა ტალღის სიგრძის ნახევრის კენტი ჯერადია, თუ ლუწი:

$$\Delta/(\lambda/2) = 750/250 = 3 \quad \text{ე.ი., იმ ადგილას ჩაბნელებული ზოლი მიიღება.}$$

9. რამდენჯერ შეიცვლება მანძილი მეზობელ ინტერფერენციულ ზოლებს შორის ეკრანზე იუნგის ცდაში, თუ მწვანე შუქფილტრს ( $\lambda_1 = 500$  ნმ) შევცვლით წითელი შუქფილტრით ( $\lambda_2 = 650$  ნმ) ?

მანძილი მეზობელ ინტერფერენციულ ზოლებს შორის  $b = L\lambda/d$ , სადაც  $L$  მანძილია წყაროდან ეკრანამდე,  $d$  - მანძილი წყაროებს შორის,  $\lambda$  - სინათლის ტალღის სიგრძე. ამოცანის პირობის მიხედვით  $L$  და  $d$  არ იცვლება, ამიტომ -  $b_2/b_1 = \lambda_2/\lambda_1 = 1.3$ .

პასუხი: მანძილი მეზობელ ინტერფერენციულ ზოლებს შორის გაიზრდება 1.3-ჯერ.

10. მინის ფირფიტას ეცემა ბრტყელი მონოქრომატული სინათლე. მინის შთანთქმის კოეფიციენტი მოცემული ტალღის სიგრძისთვის  $k_\lambda = 1.00$  მ<sup>-1</sup>. რა  $\eta$  პროცენტით შემცირდება სინათლის ინტენსივობა ფირფიტაში გავლისას, თუ ფირფიტის სისქე  $X = 5$  მმ?

ბუგერ-ლამბერტ-ბერის კანონის თანახმად,  $I = I_0 e^{-k_\lambda X}$ , სადაც  $I_0$  დაცემული სინათლის ინტენსივობაა,  $I$  - გასული სინათლის.  $\eta = (I_0 - I)/I_0 = 1 - (I/I_0) = 1 - e^{-k_\lambda X}$ ;

$$\text{ვინაიდან } k_\lambda X \ll 1, \quad e^{-k_\lambda X} \approx 1 - k_\lambda X, \quad \eta = k_\lambda X = 0.005 = 0.5 \%.$$

11. რას უდრის  $\phi$  კუთხე პოლარიზატორისა და ანალიზატორის მთავარ სიბრტყეებს შორის, თუ ბუნებრივი სინათლის ინტენსივობა პოლარიზატორსა და ანალიზატორში გავლის შემდეგ შემცირდა  $k = 4$ -ჯერ?



პოლარიზატორში გავლის შედეგად ბუნებრივი სინათლის ინტენსივობა 2-ჯერ მცირდება:  $I_0 / I_1 = 2$  (1), სადაც  $I_0$  ბუნებრივი სინათლის ინტენსივობაა,  $I_1$  - პოლარიზატორიდან გამოსული სინათლის ინტენსივობა; მალიუსის კანონის თანახმად  $I_2 = I_1 \cos^2 \varphi$  (2), სადაც  $I_2$  ანალიზატორიდან გამოსული სინათლის ინტენსივობაა. პირობის თანახმად  $I_2 / I_0 = 1/k = 1/4$  (3).

{(1),(3)}-ის გათვალისწინებით, (2)-დან მივიღებთ:  $\cos \varphi = (2/k)^{1/2} = 2^{-1/2} \Rightarrow \varphi = 45^\circ$ .

*“ინდივიდუალობა იწყება იქ, სადაც მთავრდება შედარება.” Karl Lagerfeld*

## 2. ამოცანები

**ოპ1.** გამოთვალეთ მზის სხივებში დედამიწის ჩრდილის კონუსის სიგრძე  $H$ . მზის რადიუსია  $R = 6.95 \cdot 10^8$  მ, დედამიწისა –  $r = 6.37 \cdot 10^6$  მ, საშუალო მანძილი დედამიწიდან მზემდე –  $L = 1.5 \cdot 10^{11}$  მ.

**ოპ2.**  $d = 2.4$  მ სიღრმის აუზის ფსკერზე დევს ბრტყელი სარკე. სინათლის სხივი ეცემა წყლის ზედაპირს  $\alpha = 45^\circ$  კუთხით, ირეკლება სარკიდან და ბრუნდება ჰაერში. იპოვეთ  $L$  მანძილი წყალში სხივის შესვლის და გამოსვლის წერტილებს შორის. წყლის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n = 4/3$ .

**ოპ3.** სინათლის სხივი გადის  $d = 6$  სმ სისქის ერთგვაროვან ბრტყელ-პარალელურ ფირფიტაში. დაცემის კუთხე  $\alpha = 60^\circ$ , გარდატეხის -  $\beta = 30^\circ$ . იპოვეთ ფირფიტაში გავლილი სხივის  $\Delta L$  წანაცვლება.

**ოპ4.** მცირე გარდამტეხი კუთხის მინის პრიზმას ( $n = 1.5$ ) მართობულად დაეცა სხივი და პრიზმაში გავლისას გადაიხარა  $\theta = 2^\circ$ -ით. იპოვეთ პრიზმის გარდამტეხი  $\varphi$  კუთხე.

**ოპ5.** ორი კოჰერენტული სინათლის წყარო, რომელთა ტალღის სიგრძე  $\lambda = 350$  ნმ, იძლევა ინტერფერენციულ სურათს. მესამე რიგის მაქსიმუმი ( $n = 3$ ) დაიმზირება  $\theta = 2^\circ$ -იანი კუთხით. განსაზღვრეთ მანძილი  $d$  სინათლის წყაროებს შორის.

**ოპ6.** იუნგის ცდაში ჰვრიტეს ეცემოდა მონოქრომატული სინათლე, რომლის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 600$  ნმ. ჰვრიტეებს შორის მანძილი  $d = 1$  მმ, ხოლო მანძილი ჰვრიტეებიდან ეკრანამდე  $L = 3$  მ. იპოვეთ პირველი ინტერფერენციული მაქსიმუმის მდებარეობა  $y$  (დაშორება ცენტრალური ზოლიდან).

**ოპ7.** იუნგის ცდაში მანძილი ჰვრიტეებს შორის  $d = 0.1$  მმ, მონოქრომატული სინათლის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 550$  ნმ. იპოვეთ კუთხური მანძილი  $\delta \theta$  მეზობელ ნათელ ზოლებს შორის.

ოპ8. რაღაც ნივთიერებაში  $X$  მანძილზე სინათლის გავრცელებისას ინტენსივობა მცირდება  $m_1 = 2$ -ჯერ. რამდენჯერ ( $m_2$ ) შემცირდება ინტენსივობა  $3X$  მანძილზე?

ოპ9. რამდენჯერ ( $n$ ) აღემატება ატმოსფეროში ლურჯი სინათლის ( $\lambda_1 = 460$  ნმ) გაბნევის ინტენსივობა წითელი სინათლის ( $\lambda_2 = 650$  ნმ) გაბნევის ინტენსივობას?

ოპ10. რომელიღაც ნივთიერებისთვის სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე  $\alpha_0 = 45^\circ$ . რას უდრის ამ ნივთიერებიდან სინათლის არეკვლისას სრული პოლარიზაციის (ბრიუსტერის) კუთხე  $\phi$ ?

ოპ11. რას უდრის მინის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n$ , თუ მისგან არეკვლილი სხივი სრულად პოლარიზებული იქნება, როცა გარდატეხის კუთხე  $\beta = 30^\circ$ ?

“შიში ტყვედ გაქცევს, იმედი კი თავისუფლებას განიჭებს.“ ?

### 3. ტესტები

ოპ1. ჩრდილის წარმოქმნა განპირობებულია სინათლის

- ა. არეკვლით;    ბ. გარდატეხით;    გ. წრფივი გავრცელებით;  
დ. თეთრი სინათლის დაშლით.

ოპ2. ნახევარჩრდილი მიიღება, როცა:

- ა. სინათლის წყარო წერტილოვანია;    ბ. სხეული დიდი ზომისაა;  
გ. ეკრანი ახლოსაა საგანთან;    დ. წყაროს და საგნის ზომები ერთი რიგისაა.

ოპ3. ჩვენს ირგვლივ საგნებს ვხედავთ:

- ა. სარკული არეკვლის გამო;    ბ. გარდატეხის გამო;  
გ. დიფუზური არეკვლის გამო;    დ. თეთრი სინათლის დაშლის გამო.

ოპ4. საგანი ბრტყელი სარკიდან  $d = 10$  სმ-ითაა დაშორებული. მანძილი  $L$  საგანსა და მის გამოსახულებას შორის იქნება:

- ა. 10 სმ;    ბ. 20 სმ;    გ. 5 სმ;    დ. 40 სმ.

ოპ5. ბრტყელ სარკეში საგნის გამოსახულება:

- ა. ) ნამდვილია;    ბ. წარმოსახვითია;    გ. გადიდებულია;    დ. შემცირებულია.

ოპ6. დაცემის კუთხე გარდატეხის კუთხეზე:

- ა. ყოველთვის მეტია;    ბ. ყოველთვის ნაკლებია;    გ. ყოველთვის ტოლია;  
დ. შეიძლება იყოს მეტი, ნაკლები ან ტოლი.

ოპ7. პირველი გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელია  $n_1=1.6$ , მეორისა  $n_2=2$ . სინათლის სხივის სიჩქარე მეორე გარემოში პირველთან შედარებით ( $Z=V_2/V_1$ ):

- ა. 2-ჯერ მეტია;    ბ. 1.6-ჯერ მეტია;    გ. 1.25-ჯერ მეტია;    დ. 1.25-ჯერ ნაკლებია.

ოპ8. სინათლე გადადის ოპტიკურად მეტად მკვრივი გარემოდან ოპტიკურად ნაკლებად მკვრივ გარემოში. გარდატეხილი სხივი გამყოფ საზღვარს:

- ა. დაუახლოვდება;    ბ. დაშორდება;    გ. გაჰყვება;    დ. გაჰყვება ნორმალს.

ოპ9. საგნის გამოსახულება ბრტყელ სარკეში შორდება საგანს  $V_0=6$  მ/წმ სიჩქარით. სხეულის სიჩქარე  $V$  სარკის მიმართ ტოლია:

- ა. 12 მ/წმ;    ბ. 9 მ/წმ;    გ. 6 მ/წმ;    დ. 3 მ/წმ.

ოპ10. წყლის ოპტიკური სიმკვრივე მეტია ყინულის ოპტიკურ სიმკვრივეზე. რომელ მათგანშია სინათლის გავრცელების სიჩქარე მეტი?

- ა. ყინულში;    ბ. წყალში;    გ. ორივეში ერთნაირია;    დ. პასუხი დამოკიდებულია ყინულისა და წყლის ტემპერატურაზე.

ოპ11. სინათლის ტალღის სიგრძე წყალში  $\lambda = 420$  ნმ. როგორია ამ სინათლის ტალღის სიგრძე  $\lambda_0$  ჰაერში? წყლის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n = 4/3$ .

- ა. 420 ნმ;    ბ. 390 ნმ;    გ. 520 ნმ;    დ. 560 ნმ.

ოპ12. დაალაგეთ ტალღის სიგრძის ზრდის მიხედვით სინათლის სპექტრის ფერები:

- ა. წითელი, მწვანე, ლურჯი;    ბ. მწვანე, წითელი, ლურჯი;  
გ. წითელი, ლურჯი, მწვანე;    დ. ლურჯი, მწვანე, წითელი.

ოპ13. რადაც ნივთიერებაში სინათლის გავრცელებისას  $X = 2$  მმ მანძილზე ინტენსივობა მცირდება  $e$ -ჯერ. ამ ნივთიერების შთანთქმის კოეფიციენტი  $\alpha$  ყოფილა:

- ა.  $2 \text{ მ}^{-1}$ ;    ბ.  $200 \text{ მ}^{-1}$ ;    გ.  $0.5 \text{ მ}^{-1}$ ;    დ.  $500 \text{ მ}^{-1}$ .

ოპ14. სინათლის არეკვლისას მინიდან, რომლის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n = 1.6$ , სრული პოლარიზაციის (ბრიუსტერის) კუთხე  $\phi$  იქნება:

- ა.  $30^\circ$ ;    ბ.  $45^\circ$ ;    გ.  $58^\circ$ ;    დ.  $65^\circ$ .

## XI. ფარდობითობის და ფოტონური თეორიები

*“რა მსურს ვიცოდე სამყაროს შესახებ? - მხოლოდ ერთი რამ მინდა ვიცოდე კონკრეტულად, რატომ არის ყველაფერი ისე, როგორც არის!” Steven Weinberg*

### 1. ამოცანები ამოხსნით

1. ტყუპი ძმებიდან ერთერთი დედამიწაზე დარჩა, მეორე კი კოსმოსში გაემგზავრა რაკეტით, რომლის სიჩქარე დედამიწის მიმართ  $V = 0,95c$  ( $c$  - სინათლის სიჩქარეა). კოსმონავტი ტყუპისცალის თვალსაზრისით მოგზაურობის დაწყებიდან გავიდა  $\Delta t_0 = 10$  წელი. რამდენი წელი  $\Delta t$  გავიდა დედამიწაზე დარჩენილი ტყუპისცალის თვალსაზრისით?

ფარდობითობის თეორიის თანახმად  $\Delta t = \Delta t_0 / (1 - V^2/c^2)^{1/2}$ , ანუ  $\Delta t \approx 32$  წელი. ამდენად, დედამიწაზე დარჩენილი ძმა თავის ტყუპისცალზე 22 წლით „უფროსია“ (ტყუპების პარადოქსი!).

2. რა ამაჩქარებელი პოტენციალთა სხვაობა  $\Delta\phi$  უნდა გაიაროს ელექტრონმა, რომ მისი გასწვრივი ზომები შემცირდეს  $\eta = 2$ -ჯერ?

ფარდობითობის თეორიის თანახმად  $L = L_0(1 - \beta^2)^{1/2}$ , სადაც  $L$  მოძრავი სხეულის გასწვრივი ზომაა,  $L_0$  - უძრავისა,  $\beta = V/c$ . პირობის თანახმად,  $L/L_0 = 1/\eta$ , ამდენად  $(1 - \beta^2)^{1/2} = 1/\eta$ . რელატივისტური ნაწილაკის კინეტიკური ენერგია

$$E_k = mc^2 \{ [1 / (1 - \beta^2)^{1/2}] - 1 \} = mc^2 (\eta - 1) \quad (1)$$

სადაც  $m$  ელექტრონის მასაა. მეორეს მხრივ, ელექტრონის კინეტიკური ენერგია ელექტრული ველის მიერ მასზე შესრულებული მუშაობის ტოლია:  $E_k = e\Delta\phi$  (2), სადაც  $e$  ელექტრონის მუხტია. (1)  $\Rightarrow$  (2)  $\Rightarrow \Delta\phi = mc^2 (\eta - 1) / e = 510$  კვ

3. რა  $W$  ენერგიას ასხივებს მზე  $t = 1$  სთ-ის განმავლობაში, თუ მისი ტემპერატურა  $T = 5800$  K. მზის რადიუსი  $R = 6,95 \cdot 10^8$  მ. მზე მიიჩნით აბსოლუტურად შავ სხეულად. სტეფან-ბოლცმანის მუდმივა  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  ვტ/მ<sup>2</sup>K<sup>4</sup>.

სტეფან-ბოლცმანის კანონის თანახმად,  $T$  ტემპერატურის სხეულის ფართობის ერთეულის მიერ დროის ერთეულში გამოსხივებული ენერგია  $E_1 = \sigma T^4$ . მზის ზედაპირის ფართობი  $S = 4\pi R^2$ , სადაც  $R$  - მზის რადიუსია. ამრიგად, მზის მიერ  $t$  დროში გამოსხივებული სრული ენერგია  $W = E_1 \cdot S t = 4\pi \sigma T^4 R^2 t$ ,  $W = 1,4 \cdot 10^{30}$  ჯ {=  $3,9 \cdot 10^{23}$  კვტ.სთ}.

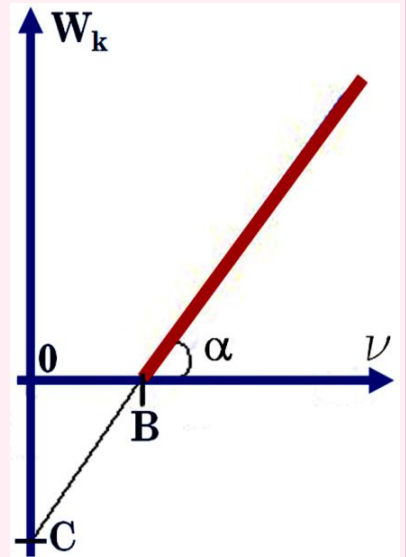
4. აბსოლუტურად შავი სხეულის ტემპერატურა ადამიანის ნორმალური ტემპერატურის ტოლია:  $t = 37^\circ\text{C}$ . რა  $\lambda_m$  ტალღის სიგრძეზე მოდის მისი გამოსხივების უნარიანობის მაქსიმუმი? ვინის მუდმივა  $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$  მ·K.

ვინის წანაცვლების კანონის თანახმად,  $\lambda_m T = b \Rightarrow \lambda_m = b / T = b / (t + 273) = 9,35$  მკმ.

5. ფოტოეფექტის დროს პლატინიდან ამოფრქვეული ელექტრონების სიჩქარეა  $V = 1.6 \cdot 10^6$  მ/წმ, პლატინიდან გამოსვლის მუშაობა  $W_0 = 5.3$  ევ. იპოვეთ დაცემული სინათლის  $\lambda$  ტალღის სიგრძე ( $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$  ჯწმ;  $c = 3 \cdot 10^8$  მ/წმ;  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$  კგ;  $1$  ევ =  $1.6 \cdot 10^{-19}$  ჯ).

ფოტოეფექტის კანონით  $hc / \lambda = W_0 + W_k \Rightarrow \lambda = hc / (W_0 + m_e V^2 / 2) \approx 100$  ნმ.

6. გრაფიკზე ნაჩვენებია ფოტოელექტრონების კინეტიკური ენერჯიის დამოკიდებულება დაცემული სინათლის სიხშირეზე. {1} გრაფიკის რომელი წერტილი შეესაბამება ფოტოეფექტის წითელ საზღვარს ( $\nu_0$ )? როგორ განვსაზღვროთ გრაფიკიდან {2} გამოსვლის  $W_0$  მუშაობა და {3} პლანკის მუდმივა  $h$ ?



ფოტოეფექტის კანონიდან, ელექტრონის კინეტიკური ენერჯია  $W_k = h\nu - W_0$  (1). წითელი საზღვრის შესაბამისი  $\nu_0$  სიხშირისას  $h\nu_0 = W_0$  (2) და {(2) =>(1)} მივიღებთ, რომ  $W_k = 0$ .

{1} გრაფიკზე ნულოვანი კინეტიკური ენერჯია და, ამდენად,  $\nu_0$  სიხშირე გვაქვს B წერტილში.

{2} გამოსვლის მუშაობის საპოვნელად გრაფიკი უნდა გავაგრძელოთ ორდინატთა ღერძის გადაკვეთამდე და OC მონაკვეთის სიგრძე გვამღევს სწორედ  $W_0$  გამოსვლის მუშაობას.

{3} პლანკის მუდმივას რიცხობრივად განსაზღვრავს გრაფიკის დახრილობა:  $h = tg\alpha = OC/OB$ .

7. რამდენ N ფოტონს გამოასხივებს  $t = 1$  წამში  $P = 100$  ვტ სიმძლავრის ელექტრონათურა, თუ გამოსხივების საშუალო ტალღის სიგრძე  $\lambda = 600$  ნმ, ხოლო ნათურის მქკ  $\eta = 3.3\%$  ? ( $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$  ჯწმ;  $c = 3 \cdot 10^8$  მ/წმ)

ნათურის მქკ გვიჩვენებს, თუ მოხმარებული ელექტროენერჯიის რა ნაწილი გარდაიქმნება ხილულ გამოსხივებად  $\eta = [Nhc/\lambda]/Pt$ . ამდენად, ერთ წამში გამოსხივებული ფოტონების რიცხვი  $N/t = \eta P / (hc/\lambda) = 10^{19}$  წმ<sup>-1</sup>.

8. როგორი იყო რენტგენის გამოსხივების ტალღის სიგრძე  $\lambda_0$ , თუ კომპტონის ეფექტის დროს  $\theta = 60^\circ$  კუთხით გაბნეული სხივების ტალღის სიგრძე  $\lambda_1 = 2.54 \cdot 10^{-9}$  სმ ?

კომპტონის ფორმულის თანახმად,  $\Delta\lambda = 2\Lambda_c \sin^2(\theta/2)$ , სადაც  $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0$  - გამოსხივების ტალღის სიგრძის ცვლილებაა, ხოლო  $\Lambda_c = 2.43 \cdot 10^{-12}$  მ - კომპტონის ტალღის სიგრძე ელექტრონისთვის.

ამრიგად,  $\lambda_0 = \lambda_1 - 2\Lambda_c \sin^2(\theta/2) = 2.42 \cdot 10^{-9}$  სმ

*“ვერასდროს ვერ გადაწყვიტავ პრობლემას, თუ ისევე იაზროვნებ, როგორც მისი შემქმნელი.” Albert Einstein*

## 2. ამოცანები

**ფფ1.** რა ამაჩქარებელი პოტენციალთა სხვაობა  $\Delta\phi$  უნდა გაიაროს ელექტრონმა, რომ მისი სიჩქარე გახდეს  $V = 0.95c$ ?

**ფფ2.** რა  $V$  სიჩქარე აქვს ნაწილს, თუ მისი სრული ენერგია  $\eta = 5$ -ჯერ აღემატება მის უძრაობის ენერგიას?

**ფფ3.** ამაჩქარებელში პროტონების კინეტიკური ენერგია  $E_k = 10$  გეე. როგორია ამ დროს პროტონების  $V$  სიჩქარე?

**ფფ4.** იპოვეთ ღუმელის ტემპერატურა  $T$ , თუ მასში გაკეთებული  $S = 3$  სმ<sup>2</sup> ფართობის ნახვრეტიდან ყოველ წამს გამოსხივდება  $W = 17.1$  ჯ ენერგია. ღუმელი მიიჩნით აბსოლუტურად შავ სხეულად, სტეფან-ბოლცმანის მუდმივა  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  ვტ/მ<sup>2</sup>კ<sup>4</sup>.

**ფფ5.** აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სიმძლავრე  $P = 38$  კვტ. როგორია მისი ტემპერატურა  $T$ , თუ მისი ფართობი  $S = 0.6$  მ<sup>2</sup>.

**ფფ6.** გახურებული ლითონის ზედაპირი, რომლის ფართობი  $S = 20$  სმ<sup>2</sup>-ს და ტემპერატურა  $t = 1727^\circ\text{C}$ -ს,  $\tau = 1$  წუთში ასხივებს  $W = 3 \cdot 10^4$  ჯ ენერგიას. იპოვეთ  $\eta$  - ამ სხეულის გამოსხივების უნარიანობის შეფარდება იმავე ტემპერატურის მქონე აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების უნარიანობასთან.

**ფფ7.** იპოვეთ მზის სხივური ენერგია  $W_1$ , რომელიც  $\tau = 1$  წუთში ეცემა მზის სხივისადმი მართობულად განლაგებულ  $S = 1$  სმ<sup>2</sup> ფართობს დედამიწაზე (ე.წ. „მზიური მუდმივა“). საშუალო მანძილი დედამიწიდან მზემდე  $R = 1,5 \cdot 10^{11}$  მ, დედამიწის რადიუსი  $R_0 = 6,37 \cdot 10^8$  მ. მზე მიიჩნით აბსოლუტურად შავ სხეულად.

**ფფ8.** აბსოლუტურად შავი სხეულის ტემპერატურა  $T_1 = 2900$  K. გაცივების შედეგად ტალღის სიგრძე, რომელიც გამოსხივების უნარიანობის მაქსიმუმს შეესაბამებოდა, შეიცვალა  $\Delta\lambda = 1$  მკმ-ით. როგორი გახდა საბოლოო ტემპერატურა  $T_2$ ?

**ფფ9.**  $E = 5$  ევ ენერგიის სინათლის კვანტი ამოაგდებს ელექტრონს ლითონის ზედაპირიდან, რომლიდანაც გამოსვლის მუშაობა  $A = 4.6$  ევ. რა მაქსიმალური იმპულსი  $P$  გადაეცემა ამ დროს ლითონის ზედაპირს?

**ფფ10.**ლითონის ზედაპირიდან  $v_1 = 2,2 \cdot 10^{15}$  ჰც სიხშირის სინათლის მიერ ამოგდებული ფოტოელექტრონებისთვის შემაკავებელი ძაბვა  $U_1 = 6.6$  ვ, ხოლო  $v_2 = 4,6 \cdot 10^{15}$  ჰც სიხშირის დროს -  $U_2 = 16.5$  ვ. ამ მონაცემებით განსაზღვრეთ  $h$  პლანკის მუდმივა.

**ფფ11.**რენტგენის გამოსხივების კვანტის ენერგია  $E_0 = 0.6$  მევ. კომპტონის ეფექტის შედეგად რენტგენის გამოსხივების ტალღის სიგრძე შეიცვალა  $\eta = 20\%$ -ით. იპოვეთ გაბნეული ელექტრონის ენერგია  $E_1$ .

**ფფ12.**კომპტონის ეფექტში დაცემული კვანტის ენერგია თანაბრად გადანაწილდა გაბნეულ ფოტონსა და ელექტრონს შორის. გაბნევის კუთხე  $\theta = \pi/2$ . იპოვეთ გაბნეული ფოტონის ენერგია  $E_1$ .

“თუ არ ელით მოულოდნელობას ვერც იპოვით მას.” *Hetaclitus*

### 3. ტესტები

**ფფ1.**კოსმოსურ სხივებში შემავალი მეზონი მოძრაობს  $V = 0.95c$  სიჩქარით, სადაც  $c$  - სინათლის სიჩქარეა. დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლის თვალსაზრისით დროის რა  $\Delta t$  შუალედი შეესაბამება მეზონის „საკუთარი დროის“  $\Delta t_0 = 1$  წმ შუალედს?

ა. 0.5 წმ;    ბ. 2.5 წმ;    გ. 3.2 წმ;    დ. 4 წმ.

**ფფ2.**რა  $V$  სიჩქარის დროს იქნება მოძრავი სხეულის სიგრძის რელატივისტური შემოკლება  $\eta = 25\%$ ?

ა.  $0.5c$ ;    ბ.  $1.5c$ ;    გ.  $(3^{1/2} / 4)c$ ;    დ.  $(7^{1/2} / 4)c$ .

**ფფ3.**რა  $V$  სიჩქარე უნდა ჰქონდეს მოძრავ სხეულს, რომ მისი გასწვრივი ზომა შემცირდეს  $\eta = 2$ -ჯერ?

ა.  $0.7c$ ;    ბ.  $0.9c$ ;    გ.  $(3^{1/2} / 2)c$ ;    დ.  $(3^{1/2} / 4)c$ .

**ფფ4.**რამდენჯერ  $N = \Delta t / \Delta t_0$  გაიზრდება არასტაბილური ელემენტარული ნაწილაკის სიცოცხლის ხანგრძლივობა, თუ იგი გაჩენის მომენტიდანვე იწყებს მოძრაობას  $V = 0.99c$  სიჩქარით?

ა. 2.5-ჯერ;    ბ. 7.1-ჯერ;    გ. 5.2-ჯერ;    დ. 6-ჯერ.

**ფფ5.**ერთი სხეულის აბსოლუტური ტემპერატურა ორჯერ მეტია მეორის აბსოლუტურ ტემპერატურაზე  $\eta = T_1 / T_2 = 2$ . რამდენჯერ  $(Z = R_1 / R_2)$  მეტია პირველი სხეულის ინტეგრალური ნათება მეორისაზე? ორივე სხეული მიიჩნით აბსოლუტურად შავ სხეულად.

ა. 16-ჯერ;    ბ. 8-ჯერ;    გ. 4-ჯერ;    დ. 2-ჯერ.

**ფფ6.** ერთი სხეულის ინტეგრალური ნათება 81-ჯერ მეტია მეორის ინტეგრალური ნათებაზე ( $n_1 = R_1 / R_2 = 81$ ). როგორია მათი აბსოლუტური ტემპერატურების შეფარდება  $n_2 = T_1 / T_2$  ?

ა. 9; ბ. 3; გ. 1/3; დ. 81.

**ფფ7.** აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების უნარიანობის მაქსიმუმის შესაბამისი ტალღის სიგრძე შეიცვალა  $\lambda_{m1} = 0.8$  მკმ-დან  $\lambda_{m2} = 0.4$  მკმ-მდე. როგორ შეიცვალა ამ დროს მისი აბსოლუტური ტემპერატურა ( $Z = T_2 / T_1$ ) ?

ა. შემცირდა 2-ჯერ; ბ. შემცირდა 4-ჯერ; გ. გაიზარდა 2-ჯერ; დ. გაიზარდა 4-ჯერ

**ფფ8.** აბსოლუტურად შავი სხეულის აბსოლუტური ტემპერატურა გაიზარდა  $Z = 4$ -ჯერ. ამ დროს გამოსხივების უნარიანობის მაქსიმუმის შესაბამისი ტალღის სიგრძე შეიცვალა  $\Delta\lambda = 3$  მკმ-ით. როგორი იყო გამოსხივების უნარიანობის მაქსიმუმის შესაბამისი  $\lambda_{m1}$  ტალღის სიგრძე თავდაპირველად?

ა. 1 მკმ; ბ. 4 მკმ; გ. 0.75 მკმ; დ. 0.25 მკმ.

**ფფ9.** როგორია სინათლის  $\lambda$  ტალღის სიგრძე, თუ მისი კვანტის ენერგია  $E = 3$  ევ? სპექტრის რომელ უბანს მიეკუთვნება ეს სინათლე? {პლანკის მუდმივა  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  ჯწმ; სინათლის სიჩქარე  $c = 3 \cdot 10^8$  მ/წმ; 1 ევ =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  ჯ}

ა. 415 ნმ, წითელი; ბ. 715 ნმ, წითელი; გ. 415 ნმ, იისფერი; დ. 715 ნმ, იისფერი.

**ფფ10.** ფოტოეფექტის ჩამკეტი ძაბვის მნიშვნელობა ერთი ნივთიერებისთვის  $U_{c1} = 4$  ვ, მეორე ნივთიერებისთვის -  $U_{c2} = 2$  ვ. ამ ნივთიერებებიდან ამოფრქვეული ფოტოელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარეთა შეფარდება  $Z = V_1 / V_2$  იქნება:

ა. 8; ბ. 4; გ. 2; დ.  $2^{1/2}$ .

**ფფ11.** ფოტონის ენერგიის ორჯერ გაზრდისას ( $X = E_2 / E_1 = 2$ ) როგორ შეიცვლება მისი იმპულსი ( $Y = P_2 / P_1$ ):

ა. იზრდება 2-ჯერ; ბ. იზრდება 4-ჯერ; გ. იზრდება  $2^{1/2}$ -ჯერ; დ. მცირდება 2-ჯერ.

**ფფ12.** ფოტოელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარე დაცემული სინათლის ინტენსივობის ორჯერ გაზრდისას:

ა. იზრდება 2-ჯერ; ბ. იზრდება 4-ჯერ; გ. არ იცვლება; დ. მონაცემები საკმარისი არაა.

**ფფ13.** კომპტონის ეფექტის დროს  $\theta_1 = 30^\circ$ -ით გაბნევისას რენტგენის გამოსხივების ტალღის სიგრძე შეიცვალა  $\Delta\lambda_1 = 0,34 \cdot 10^{-12}$  მ-ით.  $\theta_2 = 45^\circ$ -ით გაბნევისას ტალღის სიგრძის ცვლილება  $\Delta\lambda_2$  იქნება:

ა.  $0,24 \cdot 10^{-12}$  მ; ბ.  $0,45 \cdot 10^{-12}$  მ; გ.  $0,76 \cdot 10^{-12}$  მ; დ.  $0,85 \cdot 10^{-12}$  მ.



## XII. ატომი და ბირთვი

“ადამიანებს გამოადგებოდა ხანდახან ცხოვრებისგან «თავისუფალი დღე».”  
Stanislaw J. Lec

### 1. ამოცანები ამოხსნით

1. იპოვეთ ელექტრონის  $E_k$  კინეტიკური,  $E_p$  პოტენციური და  $E$  სრული ენერგია წყალბადის ატომში ბორის პირველ ორბიტაზე.

$E_k = m_e V_1^2 / 2$  (1), სადაც  $V_1$  - ელექტრონის სიჩქარე  $r_1 = h^2 \epsilon_0 / \pi m_e e^2$  (2) რადიუსის პირველ ორბიტაზე {პლანკის მუდმივა  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  ჯ.წმ}. ბორის დაკვანტვის პირობის თანახმად,  $m_e V_1 r_1 = h / 2\pi$  (3). (2) => (3)  $\Leftrightarrow V_1 = e^2 / 2\epsilon_0 h$  (4);

(4) => (1)  $\Leftrightarrow E_k = m_e e^4 / 8\epsilon_0^2 h^2 = 13.6$  ევ. პოტენციური ენერგია  $E_p = -e^2 / 4\pi\epsilon_0 r_1 = -2E_k = -27.2$  ევ (5). სრული ენერგია  $E = E_k + E_p = -m_e e^4 / 8\epsilon_0^2 h^2 = -13.6$  ევ.

2. დაადგინეთ კავშირი რადიოაქტიური დაშლის  $\lambda$  მუდმივასა და ნახევრად დაშლის  $T$  პერიოდს შორის.

რადიოაქტიური დაშლის კანონის თანახმად  $N = N_0 e^{-\lambda t}$  (1), სადაც  $N$  არის  $t$  დროში დაუშლელი ბირთვების რაოდენობა,  $N_0$  - ბირთვების რაოდენობა საწყის  $t = 0$  მომენტში. ნახევრად დაშლის პერიოდი არის დრო, რომლის განმავლობაში იშლება ბირთვების საწყისი რაოდენობის ნახევარი, ანუ  $N = N_0 / 2$  (2).  $\{(1), (2)\} \Leftrightarrow e^{-\lambda T} = 1/2$ , რომლის გალოგარითმებით მივიღებთ:  $T = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$ .

3. იპოვეთ  ${}^7_3\text{Li}$  იზოტოპის ბმის ენერგია.

ბმის ენერგია  $E_b = (Zm_p + Nm_n - M)c^2$ , სადაც  $Z$  პროტონების რაოდენობაა ბირთვში,  $N$  - ნეიტრონების რაოდენობა,  $m_p$  - პროტონის მასა,  $m_n$  - ნეიტრონის მასა,  $M$  - ბირთვის მასა,  $c$  - სინათლის სიჩქარე. თუ ამ ფორმულაში მასებს და სიჩქარეს ჩავსვამთ SI ერთეულებში, პასუხს მივიღებთ ჯოულებში.

ჩვეულებრივ, ბმის ენერგიას გამოსახავენ მეგე-ებში. ამისთვის მასა უნდა გამოვსახოთ მ.ა.ე.-ში, მასის დეფექტის მიღებული მნიშვნელობა კი გავამრავლოთ 931-ზე (მ.ა.ე.-ის შესაბამისი ენერგია არის 931 მეგე - თანახმად აინშტაინის ფორმულისა  $E = mc^2$ ).

გარდა ამისა, ცხრილებში, როგორც წესი, მოცემულია ნეიტრალური ატომის მასა. ბირთვის მასის მისაღებად მას უნდა გამოაკლდეს ელექტრონების მასა, მაგრამ ამის გაკეთება საჭირო არ იქნება, თუ პროტონის მასის მაგივრად ავიღებთ წყალბადის  ${}^1_1\text{H}$  ატომის მასას -  $m({}^1_1\text{H}) = 1,00814$ , ელექტრონების მასები გამოკლებისას გაბათილდება. ამრიგად,  $E_b = [3({}^1_1\text{H}) + 4m_n - M] \cdot 931 = (3 \cdot 1.00814 + 4 \cdot 1.00899 - 7.01823) \cdot 931 = 39.24$  მეგე.

*“გარკვეული დროით შეიძლება ყველა მოატყუო, ზოგიერთებს შეიძლება მუდმივად ატყუებდეს, მაგრამ შეუძლებელია ატყუებდე ყველას და ყოველთვის.” Abraham Lincoln*

## 2.ამოცანები

**აბ1.**ელექტრონი წყალბადის ატომში გადავიდა მეექვსე ( $i=6$ ) ორბიტიდან მეხუთე ( $f=5$ ) ორბიტაზე. იპოვეთ  $E_{if}$  გამოსხივებული კვანტის ენერგია ევ-ებში.

**აბ2.**ელექტრონის კოორდინატი ცდაზე განისაზღვრა  $\Delta X=10^{-15}$  მ-ის სიზუსტით. როგორი იქნება იმავდროულად გაზომილი იმპულსის ცდომილება  $\Delta P_x$ ? ( $\hbar=1.055\cdot 10^{-34}$  ჯწმ)

**აბ3.**იპოვეთ წყალბადის ბირთვის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის  $E$  დამახასიათებელი წყალბადის ატომის  $I$  ორბიტაზე ( $R_1$  ანუ ბორის რადიუსი  $R_B = 0.529\cdot 10^{-10}$  მ;  $k = 9\cdot 10^9$  ნმ<sup>2</sup>/კ<sup>2</sup>;  $q_p = 1.6\cdot 10^{-19}$  კ)

**აბ4.**წყალბადის ატომში ელექტრონის გადასვლისას  $m=4$  ორბიტიდან  $n=2$  ორბიტაზე გამოსხივდება ფოტონი, რომელიც შეესაბამება წყალბადის სპექტრის მწვანე ხაზს. იპოვეთ სპექტრის ამ ხაზის შესაბამისი ტალღის სიგრძე  $\lambda$ . (სინათლის სიჩქარე  $c=3\cdot 10^8$  მ/წმ; პლანკის მუდმივა  $h=6.626\cdot 10^{-34}$  ჯწმ)

**აბ5.**რა მინიმალურ  $R_{min}$  მანძილზე შეიძლება მიუახლოვდეს  $\alpha$ -ნაწილაკი ოქროს ატომის უძრავ ბირთვს, თუ მისი სიჩქარე  $V_\alpha = 3\cdot 10^7$  მ/წმ, ხოლო მასა  $m_\alpha = 6,6\cdot 10^{-27}$  კგ. ოქროს რიგითი ნომერი  $Z = 79$ , ელექტრონის მუხტი  $e = 1,6\cdot 10^{-19}$  კ. რელატივისტური ეფექტები უგულებელყავით.  $\alpha$ -ნაწილაკი მოძრაობს ბირთვის ცენტრზე გამავალი წრფის გასწვრივ.

**აბ6.**იპოვეთ ელექტრონის მიმოქცევის პერიოდი პირველ ორბიტაზე  $T_1$  (ისარგებლეთ პირველი ამოხსნილი ამოცანით).

**აბ7.**რამდენი ევ-ით ( $\Delta E_k$ ) შეიცვალა ელექტრონის კინეტიკური ენერგია წყალბადის ატომში, თუ ატომის მიერ გამოსხივებული ფოტონის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 486$  ნმ?

**აბ8.**წყალბადის ატომში ელექტრონი გადავიდა ჯერ  $n_1 = 4$  დონიდან  $n_2 = 3$  დონეზე, შემდეგ კი -  $n_2 = 3$  დონიდან  $n_3 = 2$  დონეზე. იპოვეთ ამ გადასვლების დროს ატომის მიერ გამოსხივებული ენერგიების შეფარდება ( $\eta = E_1 / E_2$ ).

**აბ9.**რადიოაქტიური ნახშირბადის  $^{14}_6C$  -ის შემცველობა ძველი ხის ნაჭერში შეადგენს ცოცხალ მცენარეში მისი შემცველობის  $\eta = 0.0416$  ნაწილს. როგორია ამ ხის ნაჭრის ასაკი  $t$ ? ( $^{14}_6C$  იზოტოპის ნახევრად დაშლის პერიოდი  $T = 5568$  წ.).

**აბ10.**იპოვეთ დე ბროილის ტალღის  $\lambda$  ტალღის სიგრძე ელექტრონისთვის, რომელმაც გაიარა  $U = 100$  ვ ამაჩქარებელი პოტენციალთა სხვაობა.

აბ11.რა  $V$  სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ელექტრონს, რომ მისი დე ბროილის ტალღის სიგრძე გაუტოლდეს მის კომპტონის ტალღის სიგრძეს? {მითითება: ელექტრონის იმპულსის ვის გამოიყენეთ რელატივისტური ფორმულა.}

აბ12.იპოვეთ  ${}^4\text{He}$  იზოტოპის. ( ${}^4\text{He}$ -ის ატომის მასა  $M = 4,00388$  მ.ა.ე.)  $E_b$  ბმის ენერგია.

აბ13.ურანის ბირთვის გახლეჩისას ნატეხების საერთო მასა საწყისი ბირთვის მასაზე  $\Delta M=0.2m_p$ -თი ნაკლებია. რა რაოდენობის ენერგია  $E$  გამოიყოფა ურანის ერთი ბირთვის გაყოფისას? {პროტონის მასა  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$  კგ; სინათლის სიჩქარე  $c=3 \cdot 10^8$  მ/წმ}

აბ14.რამდენჯერ აღემატება ( $\eta$ )  $m_1 = 1$  კგ ურანის გახლეჩისას გამოყოფილი  $E$  ენერგია  $m_2 = 50$  ტ ნავთობის დაწვის დროს გამოყოფილ  $Q$  სითბოს რაოდენობას, თუ ურანის ერთი ბირთვის გახლეჩისას გამოიყოფა  $E_0 = 2 \cdot 10^8$  ევ ენერგია? {ნავთობის წვის კუთრი სითბო  $q=4.6 \cdot 10^7$  ჯ-ს, ურანის მოლური მასაა  $M=235 \cdot 10^{-3}$  კგ/მოლი, ავოგადროს რიცხვი  $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$  მოლი $^{-1}$ }

აბ15.დეიტერიუმისგან ტრიტიუმის სინთეზირება შეიძლება შემდეგი ბირთვული რეაქციით:  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \Rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^3_1\text{H}$ . რა  $E$  ენერგია გამოიყოფა ამ დროს?

*“თქვენს გონებაში ხდება ის, რასაც თქვენ აცნობიერებთ.” Tarthang Tulku*

### 3.ტესტები

აბ1.ელექტრონი ატომში გადადის: I შემთხვევაში - მეხუთე ( $n=5$ ) ორბიტიდან მეოთხეზე ( $m=4$ ), II შემთხვევაში - მეოთხე ( $n=4$ ) ორბიტიდან მესამეზე ( $m=3$ ). რომელ შემთხვევაში გამოსხივდება მეტი სიხშირის ( $Z = \nu_1 / \nu_2$ ) კვანტი?

ა. I; ბ. II; გ. ორივეში ერთნაირია; დ. მონაცემები არაა საკმარისი.

აბ2.განსაზღვრეთ წყალბადის სპექტრის ბალმერის სერიაში უმცირესი  $\lambda_{\min}$  ტალღის სიგრძე (რიდბერგის მუდმივა  $R = 3.29 \cdot 10^{15}$  ჰც).

ა. 250 ნმ; ბ. 300 ნმ; გ. 365 ნმ; დ. 400 ნმ .

აბ3. განსაზღვრეთ წყალბადის სპექტრის ბალმერის სერიაში უდიდესი  $\lambda_{\max}$  ტალღის სიგრძე (რიდბერგის მუდმივა  $R = 3.29 \cdot 10^{15}$  ჰც).

ა. 657 ნმ; ბ. 750 ნმ; გ. 555 ნმ; დ. 870 ნმ.

აბ4. როგორია წყალბადის სპექტრის ბალმერის სერიაში პირველი ხაზის ( $3 \rightarrow 2$ ) შესაბამისი  $\lambda_1$  ტალღის სიგრძის შეფარდება მესამე ხაზის ( $5 \rightarrow 2$ ) შესაბამის  $\lambda_3$  ტალღის სიგრძესთან ( $\eta = \lambda_1 / \lambda_3$ )?

ა. 3; ბ. 9; გ. 1/9; დ. 1.5.

აბ5. ურანის  ${}_{92}\text{U}^{235}$  ბირთვმა ჩაიჭირა 1 ნეიტრონი და დაიშალა ორ ნამსხვრევად და 4 ნეიტრონად. ერთერთი ნამსხვრევაა  ${}_{55}\text{Cs}^{137}$ . რომელი იზოტოპის ბირთვია მეორე ნამსხვრევი?

ა.  ${}_{38}\text{Sr}^{87}$ ; ბ.  ${}_{37}\text{Rb}^{91}$ ; გ.  ${}_{37}\text{Rb}^{90}$ ; დ.  ${}_{37}\text{Rb}^{95}$ .

აბ6. ურანის  ${}_{92}\text{U}^{235}$  ერთი ბირთვის დაყოფისას გამოიყოფა დაახლოებით  $E_0 = 200$  მეგ ენერგია. რა  $E$  ენერგია გამოიყოფა  $m = 1$  გ ურანის დაშლისას? {ურანის მოლური მასა  $M = 235 \cdot 10^{-3}$  კგ/მოლი, ავოგადროს რიცხვი  $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$  მოლი $^{-1}$ }

ა.  $5.1 \cdot 10^{23}$  მეგ; ბ.  $8.2 \cdot 10^{10}$  ჯ; გ. 23 მგვტ.სთ; დ. სამივე პასუხი სწორია.

აბ7. ბირთვული სინთეზისას  $m_0 = 5 \cdot 10^4$  კგ წყალბადი გარდაიქმნა  $m = 49644$  კგ ჰელიუმად. გამოთვალეთ გამოყოფილი  $E$  ენერგია.

ა.  $3.2 \cdot 10^{19}$  ჯ; ბ.  $9.6 \cdot 10^{18}$  ჯ; გ.  $3.6 \cdot 10^2$  ჯ; დ.  $3.6 \cdot 10^{18}$  ჯ.

აბ8. ელექტრონის კინეტიკური ენერგია გაიზარდა  $\eta = 4$ -ჯერ. ამ დროს მისი დე ბროილის ტალღის სიგრძე ( $\eta_1 = \lambda_2 / \lambda_1$ ):

ა. გაიზარდა 2-ჯერ; ბ. გაიზარდა 4-ჯერ; გ. შემცირდა 2-ჯერ; დ. შემცირდა 4-ჯერ.

აბ9. ელექტრონსა და პროტონს ერთნაირი კინეტიკური ენერგია აქვთ. მაშინ ელექტრონის დე ბროილის ტალღის სიგრძის შეფარდება პროტონის დე ბროილის ტალღის სიგრძესთან  $\eta = \lambda_e / \lambda_p$  იქნება:

ა. 42,8; ბ. 2000; გ. 1/2000; დ. 0.023.

აბ10. რა სიზუსტით შეიძლება განისაზღვროს ნაწილაკის იმპულსი?

პასუხი დამოკიდებულია ნაწილაკის:

ა. ნებისმიერი; ბ. სიჩქარეზე; გ. ზომეზე; დ. კოორდინატის განსაზღვრის სიზუსტეზე.

აბ11. თუ მთავარი კვანტური რიცხვი  $n = 3$ , მაშინ ორბიტალური კვანტური რიცხვი  $l$  ღებულობს მნიშვნელობებს:

ა. 1, 2, 3;    ბ. 0, 1, 2;    გ. 0, 1, 2, 3;    დ.  $\pm 2, \pm 1$ .

აბ12. თუ ორბიტალური კვანტური რიცხვი  $l = 2$ , მაშინ მაგნიტური კვანტური რიცხვი  $m$  ღებულობს მნიშვნელობებს:

ა.  $\pm 2$ ;    ბ.  $\pm 2, \pm 1$ ;    გ.  $\pm 2, \pm 1, 0$ ;    დ. 0, 1.

აბ13. პაულის აკრძალვის პრინციპს ემორჩილებიან:

ა. ბოზონები;    ბ. ფოტონები;    გ. გრავიტონები;    დ. ფერმიონები.

აბ14. შეავსეთ ბირთვული რეაქციის ჩანაწერი:  ${}_{13}\text{Al}^{27} + {}_0\text{n}^1 \Rightarrow ? + {}_2\text{He}^4$ .

ა.  ${}_{11}\text{Be}^{23}$ ;    ბ.  ${}_{11}\text{Na}^{24}$ ;    გ.  ${}_{12}\text{Mg}^{23}$ ;    დ.  ${}_{12}\text{Na}^{23}$ .

აბ15. ენერგიის გამოყოფა ურანის ბირთვის დაშლისას აიხსნება:

- ა. აინშტაინის თანაფარდობით მასასა და ენერგიას შორის;
- ბ. ურანის ბირთვის დიდი ზმის ენერგიით;
- გ. ზმის კუთრი ენერგიის მასურ რიცხვზე დამოკიდებულებით;
- დ. რეაქციის პროდუქტების მცირე ზმის ენერგიით.

**პასუხები (ამოცანების)**

№	პარამეტრი	ფორმულა	სიდიდე
1	2	3	4
პ1	$V_x; V_y; h$	$V \cos \varphi; V \sin \varphi; V t \sin \varphi$	86.6 მ/წმ; 50 მ/წმ; 500 მ
პ2	L	$t [(V_1)^2 + (V_2)^2]^{1/2}$	$1.5 \cdot 10^4$ მ
პ3	t	$(L_1 + L_2) / (V_1 - V_2)$	3 წთ
პ4	$V; V_0$	$V = 0.5(V_1 + V_2); V_0 = 0.5(V_1 - V_2)$	8 მ/წმ; 2 მ/წმ
პ5	$t_2$	$t_1 t_0 / (t_0 - 2t_1)$	3.6 სთ
პ6	z	$(n + 1) / (n - 1)$	-
პ7	L	$d(V_0 / V)$	250 მ
პ8	$t_x$	$t t_0 / (t_0 + t)$	45 წმ
პ9	$V_a$	$0.5(V_1 + V_2)$	18 მ/წმ
პ10	$V_a$	$3V_1 V_2 V_3 / (V_2 V_3 + V_1 V_3 + V_1 V_2)$	$\approx 1.64$ მ/წმ
პ11	$V_1; V_2$	$V_1 = 0.5(n + 1)V_a; V_2 = (n + 1)V_a / 2n$	90 კმ/სთ; 45 კმ/სთ
პ12	$t_i; x_i$	$5t_i^2 + 6t_i - 11 = 0$	1წმ; 12 მ
პ13	$S_i$	$V_0 = 3$ მ/წმ; $a = 4$ მ/წმ <sup>2</sup> ; $S_i = 3t_1 + 2t_1^2$ ;	65 მ
პ14	$a; t$	$a = (V^2 - V_0^2) / 2S; t = 2S / (V + V_0)$	$0.25$ მ/წმ <sup>2</sup> ; 20 წმ
პ15	a	$a = [(n-1) / (n+1)] 2S/t^2$	$0.4$ მ/წმ <sup>2</sup>
პ16	$V_0; V$	$V_0 = (S/t) - 0.5at; V = (S/t) + 0.5at$	2 მ/წმ; 8 მ/წმ
პ17	$V_a$	$[0.5(a_1 t_1^2) + a_1 t_1 t_2 + S_3] / [t_1 + t_2 + (2S_3 / a_1 t_1)]$	2.6 მ/წმ
პ18	$\Delta V_2$	$S_1 = S_2 = 13$ მ; $\Delta V_2 = V_1(2^{0.5} - 1)$	4.1 მ/წმ
პ19	$S_2$	$S_1 \{ [(t_1 + t_2)^2 / t_1^2] - 1 \}$	150 მ
პ20	$S_X$	$t_3 = 3$ წმ... $t_{10} = 10$ წმ; $S_X = S_{IV}(t_{10}^2 - t_9^2) / (t_4^2 - t_3^2)$	0.38 მ
პ21	$V(t); a(t); S_1;$ $V_1; a_1$	$V(t) = 2 - 2t + 12t^2; a(t) = -2 + 24t; S_1 = At_1 - Bt_1^2 + Ct_1^3$	32 მ; 46 მ/წმ; 46 მ/წმ <sup>2</sup>
პ22	z	$T_1 = 1$ სთ; $T_2 = 12$ სთ; $z = m(T_2 / T_1)$	18
პ23	N	$nL / V$	$4.5 \cdot 10^4$
პ24	V	$T = 365$ დღ = $3.15 \cdot 10^7$ წმ; $V = 2\pi R / T$	$\approx 30$ კმ/წმ
პ25	T; V	$T = t / N; V = \pi N D / t$	0.1 წმ; 12.5 მ/წმ
პ26	R	$V^2 / a_c$	500 მ
პ27	$V_x, V_y, a_x, a_y$	$V_x = -A\omega \sin \omega t; V_y = A\omega \cos \omega t;$ $a_x = -A\omega^2 \cos \omega t; a_y = -A\omega^2 \sin \omega t$	$x^2 + y^2 = A^2$
პ28	t	$t = (R / a_\tau)^{1/2}$	0.2 წმ
პ29	$a_n, a_\tau$	$a_n = V^2 / R; a_\tau = 6(CV/3)^{1/2};$	$4.5$ მ/წმ <sup>2</sup> ; $0.06$ მ/წმ <sup>2</sup>
ღ1	r	$(kn^{1/2} / (n^{1/2} + 1))R$	54R
ღ2	$\Delta t$	$(2h / g)^{1/2} - [2(h - h_1) / g]^{1/2}$	1 წმ
ღ3	$\Delta l$	$2V_0 t$	-
ღ4	$\Delta t$	$(2/g)(V_0^2 - 2gh_1)^{1/2}$	2 წმ
ღ5	$h_n$	$(2n-1)H/k^2$	5მ; 15მ; 25მ; 35მ
ღ6	t	$[V_0 \sin \varphi \pm (V_0^2 \sin^2 \varphi - 2gh)^{1/2}] / g$	0.28 წმ; 0.72 წმ
ღ7	F	$m(2C - 6Dt);$	4 მ
ღ8	m	$F / 6Ct;$	1 კგ
ღ9	$F_1; F_2; F_3; F_4$	$F_1 = mg[(H/L) - \mu B/L]; F_2 = mg[(H/L) + \mu B/L];$ $F_3 = ma + F_2; F_4 = ma + mg[(\mu B/L) - H/L]$	400 მ; 800 მ; 1000 მ $F_4 = -200$ მ
ღ10	F	$m(a + \mu g) / (\cos \varphi + \mu \sin \varphi)$	$\approx 5$ მ
ღ11	N	$2mMg / (2M + m)$	0.4 მ
ღ12	$K_p; K_m$	$K_p = k_1 + k_2; K_m = k_1 k_2 / (k_1 + k_2)$	-

Q13	$\mu$	$n / (1 - n)$	0.25
Q14	$T_1; T_2$	$T_1 = m_1 m_3 (1 + \mu) g / (m_1 + m_2 + m_3);$ $T_2 = m_3 (m_1 + m_2) (1 + \mu) g / (m_1 + m_2 + m_3)$	0.625 5 1.875 5
Q15	$N_1; N_2$	$N_1 = (M - m) g / 3; N_2 = 2(M + 2m) g / 3$	10 5; 40 5
Q16	$V; \varphi$	$V = [(M V_1)^2 + (m V_2)^2]^{1/2} / (M + m); \operatorname{tg} \varphi = m V_2 / M_1 V_1$	$\approx 2 \text{ მ/წმ}; 45^\circ$
Q17	$A$	$G m_1 m_2 (r_2 - r_1) / r_1 r_2$	
Q18	$A_n / A_{n+1}$	$A_n = (2n + 1) k x^2 / 2 \quad \{n = 0, 1, 2, 3\}$	1:3:5:7...
Q19	$F$	$E_{k0} / S$	100 5
Q20	$V_0$	$[2(n - 1) g h]^{1/2}$	12 მ/წმ
Q21	$k$	$k = \cos \varphi$	0.5
Q22	$\varphi$	$\cos \varphi = 1 - [m^2 V_0^2 / (m + M)^2 2 g L] = 0.5$	$60^\circ$
Q23	$V$	$V_1 V_2 (N_1 + N_2) / (N_1 V_2 + N_2 V_1)$	17.5 მ/წმ
Q24	$\eta$	$N t / \rho \nu g H$	70 %
Q25	$S$	$m^2 V_0^2 / 2 \mu M^2 g$	0.63 8
Q26	$\Delta V; \Delta E_k$	$\Delta V = (m V_0 \cos \varphi) / M; \Delta E_k = M \Delta V^2 / 2$	0.02 წმ; 15 ჰჯ
Q27	$\alpha_\tau$	$\alpha_\tau = W_k / (2 \pi R N m)$	0.5 მ/წმ <sup>2</sup>
Q28	$J; L$	$J = (2/5) M R^2; L = 2 \pi J / T$	$9.67 \cdot 10^{37} \text{ ჰმ}^2; 7 \cdot 10^{33} \text{ ჰმ}^2 / \text{წმ}$
Q29	$M$	$J \omega / \dot{t}$	90 5.8
Q30	$A$	$m(2 \pi n)^2 R^2 / 2$	710 ჰ
Q31	$A$	$F_{iK} \perp V$	0
Q32	$F$	$4 \pi m V \sin \varphi / T$	378 5
Q33	$n_x$	$(M + 2m) n / M$	22 ბრ/წმ

რტ1	$V_0, \alpha_0$	$V_0 = 2 \pi A / T; \alpha_0 = (2 \pi / T)^2 A$	0.78 მ/წმ, 12.3 მ/წმ <sup>2</sup>
რტ2	$V_1$	$V_1 = - (2 \pi / T) A \sin(2 \pi t_1 / T), \cos(2 \pi t_1 / T) = 1/2$	- 0.13 მ/წმ
რტ3	$A, v, T$	$x = 5 \sin \pi t (\text{სმ}); 2 \pi v = \pi$	5 სმ; 0.5 ჰც; 2 წმ; 2.5 სმ; -2.5 სმ
რტ4	$W, V_0$	$k A^2 / 2; V_0 = A(k/m)^{1/2}$	5 ჰ; 5 მ/წმ
რტ5	$W_k, W_p$	$(m/2)(2 \pi N / t)^2 \sin^2(\pi/6); (m/2)(2 \pi N / t)^2 \cos^2(\pi/6)$	$\approx 24.6 \text{ ჰ}; \approx 73.8 \text{ ჰ}$
რტ6	$Z_1, Z_2, Z_3$	$Z_i = t g^2(2 \pi t / T)$	1/3; 1; 3
რტ7	$Z$	$e^\lambda$	1.22
რტ8	$V_1, V_0$	$V_1 = \lambda(N_1 + N_2) / 2t; V_0 = \lambda(N_1 - N_2) / 2t$	15 მ/წმ; 5 მ/წმ.
რტ9	$L_m$	$\lambda / 2$	
რტ10	$\Delta / (\lambda / 2)$	$2 \Delta v / V = 3$	მეხეხეხეხეხე
რტ11	$\xi$	$\rho A^2 \omega^2 / 2$	172 ჰ/მ <sup>3</sup>

ჰს1	$h$	$F_1 = \rho g h \pi R^2; F_2 = \rho g 0.5 h \cdot 2 \pi R h; F_1 = F_2$	$h = R$
ჰს2	$\Delta h$	$(m_2 - m_1) / \rho_0 S$	2 88
ჰს3	$n$	$(\rho_0 + \rho g H) / \rho_0$	5
ჰს4	$M$	$4 \pi R^2 \rho_0 / g$	$5.1 \cdot 10^{18} \text{ ჰგ}$
ჰს5	$M$	$0.25 \pi D^2 L (\rho - \rho_0)$	$\approx 64 \text{ ჰგ}$
ჰს6	$\rho_0$	$[1 - (F_1 / F_0)] \rho$	
ჰს7	$\rho$	$(M_2 g = \Delta F_A) \rightarrow (n_2 - n_1) \rho_0$	$4.08 \text{ გ/სმ}^3$
ჰს8	$n$	$(1 - \rho / \rho_1) / (1 - \rho / \rho_2)$	$\approx 1.4$
ჰს9	$V_1$	$\{F[1 - (\rho_0 / \rho)] - F_1\} / \rho_0 g$	$5 \cdot 10^{-4} \text{ მ}^3$
ჰს10	$H$	$\rho h / (\rho_0 - \rho)$	4 მ
ჰს11	$V$	$4 m / (\pi D^2 \rho t)$	0.12 მ/წმ
ჰს12	$d$	$\{4 V / [\pi t (2 g h)^{1/2}]\}^{1/2}$	1.4 სმ
ჰს13	$P$	$\rho V^2 / 2$	$2.5 \cdot 10^5 \text{ ჰგ}$
ჰს14	$h$	$h = H / 2; S_M = H$	

პა15	$V_M$	$(1/18)\rho g d^2/\eta$	4.1 მ/წმ
პა16	$\eta$	$(2/9)(\rho_0-\rho)gr^2/V$	1.1 კგ/(მ·წმ).
მთ1	$R$	$[3V(P_0 + \rho gH) / 4\pi(P_0 + \rho gh)]^{1/3}$	
მთ2	$h$	$(0.5P_0 + H) - [(0.5P_0 + H)^2 - H^2]^{1/2}$	70 მმ
მთ3	$\Delta h$	$h_1 + \rho gh_1 h_2 / P_0$	50 მმ
მთ4	$T_2$	$T_1[1+(F / SP_0)]$	390 K
მთ5	$\eta$	$m_1[c(t - t_1) + L] / qm_2$	37%
მთ6	$A$	$A = (n-1)(m/M)R(t_1 + 273)$ ;	$\approx 12.5$ კჯ
მთ7	$A, \Delta U$	$A = vR\Delta T$ ; $\Delta U = Q - vR\Delta T$	8.3 კჯ; 15.2 კჯ
მთ8	$n$	$[0.5k(V_1^2 - V_2^2) - c(t_2 - t_1)] / (\lambda - 0.5kV_2^2)$	32%
მთ9	$M_{av}, V$	$M_{av} = (m_1 + m_2) / [(m_1 / M_1) + (m_2 / M_2)]$ $V = (m_1 + m_2)RT / P \cdot M_{av}$	0.0046 კგ/მოლი, $11.7 \cdot 10^{-3}$ მ <sup>3</sup>
მთ10	$\alpha$	$(PVM / mRT) - 1$	12%
მთ11	$\Delta m$	$(PVM/R) \cdot [(t_2 - t_1) / (t_1 + 273^0 C)]$	1.28 გ
მთ12	$T$	$M\Delta V^2 / R(3^{1/2} - 2^{1/2})^2$	246 K
მთ13	$Q$	$(5m/2M)R3T_1$	62.5 კჯ
მთ14	$T_1$	$T_2 / (1 - \eta)$	227 <sup>0</sup> C
მთ15	$h$	$- RT_0 \ln k / Mg$	$\approx 5$ კმ
მთ16	$A$	$0.5(m/M) \cdot R\alpha \cdot (V_2^2 - V_1^2)$	
მთ17	$A, \Delta U$	$A = vR(n - 1)T$ ; $\Delta U = (5/2)vR(n - 1)T$	12.4 კჯ; 31 კჯ
მთ18	$Q_v$	$[c_p - (R/M)] \cdot (Q_p/c_p)$	$\approx 200$ ჯ
მთ19	$T$	$(v_1 T_1 + v_2 T_2) / (v_1 + v_2)$	
მთ20	$\rho$	$\rho_0 / (1 + \alpha t)$	8825 კგ/მ <sup>3</sup>
მთ21	$T$	$(M/mR) \cdot [P + (m/M)^2 \cdot (a/V^2)] \cdot [V - (m/M) \cdot b]$	280 K
მთ22	$P, Z$	$P = [RT/(V-b)] - (a/V^2)$ ; $P_i = RT/V$	$10^7$ პა; 0.7
მთ23	$A$	$RT \cdot \ln[(V_2 - b)/(V_1 - b)] + a \cdot [(1/V_2) - (1/V_1)]$	
მთ24	$\Delta S$	$A / T$	2 ჯ/K
მთ25	$\Delta S$	$cm \cdot \ln(T_2 / T_1) + \lambda m/T_2$	261 ჯ/K
მთ26	$D$	$2\chi T / 3P$	$2.6 \cdot 10^{-4}$ მ <sup>2</sup> /წმ
მთ27	$\lambda$	$3D[\pi M/8RT]^{1/2}$	$1.27 \cdot 10^{-7}$ მ
მთ28	$\Delta T$	$3\alpha \cdot (2 - 4^{1/3}) / 2cpr$	$1.6 \cdot 10^{-4}$ K
ეს1	$q_2$	$(n-1)mgr^2/nkq_1$	100 ნკ
ეს2	$\varepsilon$	$[\operatorname{tg}(\alpha/2)/\operatorname{tg}(\beta/2)][\sin^2(\alpha/2)/\sin^2(\beta/2)]$	$\approx 2.6$
ეს3	$E$	$kqL/r^3$ , მიმართულია მუხტების შემაერთებელი წრვის პარალელურად	$\frac{2}{3}$ კვ/მ
ეს4	$L, t$	$L = mV_0^2/2eE$ ; $t = mV_0/eE$ ;	2.37 სმ; $\approx 47$ ნწმ
ეს5	$N$	$M\Delta\alpha/eE$	$4.8 \cdot 10^9$
ეს6	$r_1, r_2, r_3$	$\varphi_1 = k(q_1/R_1 + q_2/R_2)$ ; $\varphi_2 = k(q_1/r_2 + q_2/R_2)$ , $\varphi_3 = k(q_1/r_3 + q_2/r_3)$	0; -1500ვ; -1800ვ
ეს7	$\varepsilon$	$U_2/U_1$	3
ეს8	$\varphi, q_1, q_2$	$\varphi = (\varphi_1 r_1 + \varphi_2 r_2)/(r_1 + r_2)$ ; $q_1 = \varphi r_1/k$ ; $q_2 = \varphi r_2/k$	100 ვ; $\approx 6.7 \cdot 10^{-10}$ კ
ეს9	$\Delta P$	$2m\{2d[g - (qU/md)]\}^{1/2}$	$4 \cdot 10^{-5}$ კგ/წმ
ეს10	$V_0$	$[(2/m)(W - e\Delta\varphi)]^{1/2}$	$8 \cdot 10^6$ მ/წმ
ეს11	$Q$	$\rho VM^{-1} N_A Ze$	$3.9 \cdot 10^5$ კ
ეს12	$E_0, \varphi_0$	$E_0=0$ ; $\varphi_0 = \sigma R/\varepsilon_0$	
ეს13	$E_0, \varphi_0$	$E_0=0$ ; $\varphi_0 = \rho R^2/2\varepsilon_0$	
ეს14	$E_0, E(r)$	$E_0=0$ ; $E(r) = \lambda rR / 2\varepsilon_0(R^2 + r^2)^{3/2}$	
ეს15	$A$	$kq_1q_2(r_2^{-1} - r_1^{-1})$	0.11 ჯ



ეს16	$\sigma$	$2\epsilon_0 A/qL$	$8.65 \cdot 10^{-5} \text{ ვ/მ}^2$
ეს17	$R$	$\epsilon_0 \Phi / \sigma$	$2.1 \cdot 10^{-2} \text{ მ}$
ეს18	$E, \vec{E}$	$E = ax; \vec{E} = ax \vec{i}$	
ეს19	$E_{\perp}, E_{\parallel}$	$ E_{\perp}  = qL / 4\pi\epsilon_0 r^3;  E_{\parallel}  = 2 E_{\perp} $	$1.4 \text{ ვ/მ}; 2.8 \text{ ვ/მ}$
ეს20	$P$	$(1 - \epsilon^{-1}) \cdot D$	$4 \text{ მკვ/მ}^2$

ერ1	$I$	$c\rho V(t_2 - t_1)/\eta U\tau$	$4 \text{ ს}$
ერ2	$P_1, P_2$	$P_1 = P_{01}/(P_{01}/P_{02} + 1)^2; P_2 = P_{02}/(P_{02}/P_{01} + 1)^2$	$\approx 44.4 \text{ ვტ}; \approx 22.2 \text{ ვტ}$
ერ3	$\mathcal{E}$	$(n+1)U/n$	
ერ4	$U_1$	$U - 2I\rho L/S$	$214 \text{ ვ}$
ერ5	$I, U, \mathcal{E}$	$I = U_1/(R_0/n); U = U_1 + IR_2; \mathcal{E} = U + Ir$	$20\text{ს}; 300\text{ვ}; 316\text{ვ}$
ერ6	$\Delta T$	$U^2 \tau / \rho \rho_0 c L^2$	$23.2 \text{ K}$
ერ7	$\tau$	$\{c\rho V T_0 [(P/P_0) - 1]\} / \eta IU$	$3.2 \text{ წმ}$
ერ8	$m$	$MW/eN_A ZU$	$\approx 100 \text{ გ}$
ერ9	$V$	$jM/\rho ZF$	$4 \cdot 10^{-9} \text{ მ/წმ}$
ერ10	$q$	$3(t_2 - t_1) + t_2^2 - t_1^2$	$18 \text{ ვ}$
ერ11	$I$	$0.5 + 0.006 \cdot t^2$	$1.1 \text{ ს}$
ერ12	$E$	$\rho I/S$	$10 \text{ მვ/მ}$
ერ13	$\mathcal{E}$	$(I_1 U_2 - I_2 U_1) / (I_2 - I_1)$	$-2 \text{ ვ}$
ერ14	$Z$	$\rho_{01} \cdot \alpha_1 / \rho_{02} \cdot \alpha_2$	$44$
ერ15	$\Delta t$	$j^2 \rho \tau / cd$	$0.2 \text{ K}$
ერ16	$P$	$I \cdot m \cdot L / e$	$2,3 \cdot 10^{-7} \text{ კვ.მ/წმ.}$
ერ17	$\mu$	$M / \rho \cdot d \cdot e \cdot N_A$	$0.026 \text{ მ}^2 / \text{ვ.წმ}$

მს1	$\alpha$	$\sin \alpha = M / NIBS$	$30^\circ$
მს2	$I$	$(mg/BL) \text{tg} \alpha$	$10 \text{ ს}$
მს3	$R$	$(2mW)^{1/2} / eB$	$5.8 \text{ სმ} \oplus$
მს4	$q$	$2NBS/R$	$1 \text{ მკვ}$
მს5	$U$	$VBL$	$0.15 \text{ ვ}$
მს6	$\mathcal{E}_{is}$	$L(\Delta I/\Delta t)$	$100 \text{ ვ}$
მს7	$I_0, W_0$	$I_0 = (2\Delta W/3L)^{1/2}; W_0 = \Delta W/3$	$2 \text{ ს}; 1 \text{ ჯ}$
მს8	$I$	$\rho Sg/B$	$3.9 \text{ ს}$
მს9	$I_0, I_1, I_2, V_3$	$I_0 = \mathcal{E}/R; I_1 = (\mathcal{E} + V_1 BL)/R; I_2 = (\mathcal{E} - V_2 BL)/R; V_3 = \mathcal{E}/BL$	$0.5 \text{ ს}; 0.7 \text{ ს}; 0.3 \text{ ს}; 10 \text{ მ/წმ, მარჯვენის}$
მს10	$B$	$(\mu_0 I / 2\pi h) \cdot [1 + (2h/L)^2]^{-1/2}$	
მს11	$B$	$\mu_0 I / 2\pi d$	$10 \text{ მკტლ}$
მს12	$B_{in}, B_{out}$	$B_{in} = 0; B_{out} = \mu_0 I / 2\pi r$	
მს13	$B_{in}, B_{out}$	$B_{in} = \mu_0 j r / 2; B_{out} = \mu_0 j R^2 / 2r$	
მს14	$B$	$\mu_0 I / 4R$	
მს15	$M$	$\pi R^2 I$	$0.2 \text{ ს.მ}^2$
მს16	$I$	$\pi B R^2 / L$	
მს17	$Q$	$A^2 \tau^3 / 3R$	
მს18	$I_1$	$\mu I$	
მს19	$n$	$1/eR_H$	$1,25 \cdot 10^{21} \text{ მ}^{-3}$
მს20	$t$	$L \cdot \ln 2 / R$	$0.01 \text{ წმ}$

ვდ1	$Z, \varphi$	$Z = R / (\omega^2 R^2 C^2 + 1)^{1/2}; \text{tg} \varphi = -R\omega C$	
ვდ2	$Z, \varphi$	$Z = R\omega L / (\omega^2 L^2 + R^2)^{1/2}; \text{tg} \varphi = R / \omega L$	
ვდ3	$R$	$2\pi \nu L \cdot \text{tg} \varphi$	$12.3 \text{ ომი}$

694	$U_R$	$U / 2^{1/2}$	156 გ
695	$L$	$[(U^2 \cdot P^{-2} \cdot \cos^2 \varphi - R^2) / 2\pi v]^{1/2}$	0.055 ჰმ
696	$t_1$	$T/6$	
697	$L$	$(4\pi^2 v^2 C)^{-1}$	12.7 მჰმ
698	$R$	$(2L / t_1) \cdot \ln Z$	11.1 მბმ
699	$I$	$U_0 \cdot (C / 2L)^{1/2}$	0.01 ს

მ31	$H$	$L / [(R/r) - 1]$	$1.4 \cdot 10^9$ მ.
მ32	$L$	$2d \sin \alpha / (n^2 - \sin^2 \alpha)^{1/2}$	$\approx 3$ მ.
მ33	$\Delta L$	$d \sin(\alpha - \beta) / \cos \beta$	3.46 სმ
მ34	$\varphi$	$\Theta (n-1)$	$4^0$
მ35	$d$	$n\lambda / \sin \theta$	0.03 მმ
მ36	$y$	$L\lambda / d$	1.8 მმ
მ37	$\delta \theta$	$\lambda / d$	$0.3^0$
მ38	$m_2$	$m_1^3$	8
მ39	$\eta$	$(\lambda_2 / \lambda_1)^4$	4
მ310	$\varphi$	$\text{tg} \varphi = 1 / \sin \alpha_0$	$55^0$
მ311	$n$	$\text{ctg} \beta$	1.73

ფფ1	$\Delta \varphi$	$(mc^2/e) [(1-\beta^2)^{-1/2} - 1]$	$1.1 \cdot 10^6$ ვ
ფფ2	$V$	$[(\eta^2 - 1)^{1/2} / \eta] \cdot c$	0.986c
ფფ3	$V$	$\{1 - [mc^2 / (E_k + mc^2)]^2\}^{1/2} c$	0.996c
ფფ4	$T$	$(W / \sigma \cdot S)^{1/4}$	1000K
ფფ5	$T$	$(P / \sigma \cdot S)^{1/4}$	900K
ფფ6	$\eta$	$W / \tau \cdot S \cdot \sigma \cdot T^4$	0.27
ფფ7	$W_1$	$\sigma \cdot T^4 (R_0 / R)^2 S \cdot \tau$	8.27 ჯ
ფფ8	$T_2$	$bT_1 / (b + T_1 \Delta \lambda)$	1450 K
ფფ9	$P$	$[2m(E - A)]^{1/2}$	$3.4 \cdot 10^{-25}$ კგ·მ/წმ
ფფ10	$h$	$e(U_2 - U_1) / (v_2 - v_1)$	$6.6 \cdot 10^{-34}$ ჯ·წმ
ფფ11	$E_1$	$\eta E_0 / (\eta + 1)$	0.1 მევ
ფფ12	$E_1$	$m_e c^2 / 2$ {e-ს უძრავობის ენერჯიის ნახევარი}	0.26 მევ

სბ1	$E_{if}$	$13.6 \cdot [(1/i^2) - (1/f^2)]$	0.17 ევ
სბ2	$\Delta P_x$	$\hbar / 2\Delta X$	$0.528 \cdot 10^{-19}$ კგ·მ/წმ
სბ3	$E$	$ke / R_B^2$	$5.1 \cdot 10^{11}$ ვ/მ
სბ4	$\lambda$	$hc / [2.17 \cdot 10^{-18} \cdot (1/n^2 - 1/m^2)]$	0.49 მკ
სბ5	$R_{\min}$	$Ze^2 / (\pi \epsilon_0 m_a V_a^2)$	$1.2 \cdot 10^{-14}$ მ
სბ6	$T_1$	$4\epsilon_0^2 \hbar^3 / m_e e^4$	$1.43 \cdot 10^{-16}$ წმ
სბ7	$\Delta E_k$	$hc / \lambda$	2.55 ევ
სბ8	$\eta$	$(1/n_2^2 - 1/n_1^2) / (1/n_3^2 - 1/n_2^2)$	0.35
სბ9	$t$	$[\ln(1/\eta) / \ln 2] \cdot T$	25500 წელი
სბ10	$\lambda$	$h / (2m \cdot e \cdot U)^{1/2}$	$1.23 \cdot 10^{-10}$ მ
სბ11	$V$	$c / 2^{1/2}$	$1.5 \cdot 10^8$ მ/წმ
სბ12	$E_b$	$[2({}^1\text{H}) + 2m_n - M] \cdot 931$	28.3 მეგევ
სბ13	$E$	$\Delta M c^2$	$\approx 2 \cdot 10^8$ ევ
სბ14	$\eta$	$m_1 N_A E_0 / m_2 q M$	35.6
სბ15	$E$	$[2m({}^2\text{H}) - m({}^1\text{H}) - m({}^3\text{H})] \cdot 931$	4.04 მეგევ

## პასუხები (ტესტების)

№	პარამეტრი	ფორმულა	ვარიანტი
1	2	3	4
კ1	$x_m$	$x_1 = x_2 \Rightarrow t = 5\sqrt{3} \Rightarrow x_m = 30 \text{ მ}$	ბ
კ2	$t_m$	$x_1 = x_2 \Rightarrow t_m < \sqrt{2} \text{ არ შეხვდებიან}$	დ
კ3	Z	$Z = V_1 / V_2 = \Delta x_1 / \Delta x_2$	ბ
კ4	$V_a$	$(V_1 + V_2) / 2$	ბ
კ5	$V_a$	$2V_1V_2 / (V_1 + V_2)$	ბ
კ6	$S_{II}$	$S_{II} = S - S_I = (3/2)at_1^2 = 3S_I$	ბ
კ7	$x(t)$	ა-? $x=>0$ მყისიერდ; გ-? $x$ -ს ნახტომი; დ-? $x$ სულ მზარდი	ბ
კ8	Z	$(\Delta V_1 / \Delta t_1) / (\Delta V_2 / \Delta t_2)$	ბ
კ9	S; $V_a$	$t=t_1=t_2=2 \sqrt{2} \text{ წმ}; S=Vt+0.5Vt; V_a=S/2t$	ბ
კ10	$V_2$	$V_1 \sqrt{S_2 / S_1}$	დ
კ11	S	$(V_0/2)t$	ბ
კ12	t	$V_0=16 \text{ მ/წმ}; a=4 \text{ მ/წმ}^2; t=V_0/a$	დ
კ13	S	$V_0=16 \text{ მ/წმ}; a=4 \text{ მ/წმ}^2; S=V_0^2/2a$	ბ
კ14	t	კვ.განტოლების დისკრიმინანტი $D<0$ .ე.ი. არ შეხვდებიან	დ
კ15	$S_2$	$S_2 = (V_2^2/V_1^2) S_1$	ბ
კ16	V	$(2d/t) - V_0$	ბ
კ17	t; a	$t=2S/V_0; a=V_0^2/2S$	ბ
კ18	V	$V = 2\pi R/T$	ბ
კ19	n	$n = V/\pi D$	ბ
კ20	Z	$(T_1/T_2) / (R_2/R_1)$	ბ
კ21	V	$\sqrt{a_c R}$	ბ
კ22	Z	$(R_1 / R_2) \cdot (T_2 / T_1)^2$	ბ
კ23	Z	$(3 - 4t_3 + 3t_3^2) / (3 - 4t_1 + 3t_1^2)$	ბ
კ24	$a_c, a_t$	$a_c = \omega^2 R; a_t = dV / dt$	ბ
კ25	$\beta$	$2\pi(n_2 - n_1) / \Delta t$	ბ
კ26	$\Delta t$	$2\pi n / \beta$	ბ
დ1	z	$z = 1/k^2$	ბ
დ2	$\mu$	$V_0 / gt$	დ
დ3	$\mu$	$V_0^2 / 2gS$	ბ
დ4	$F_f$	$mg \sin \varphi$	ბ
დ5	z	$t_r / t_1 = (mg + F_r) / (mg - F_r)$	ბ
დ6	V	$(m_1 V_1 + m_2 V_2) / (m_1 + m_2)$	ბ
დ7	V; m	$V = 2E_k / P; m = P^2 / 2E_k$	ბ
დ8	$V_0$	$[2A / (n - 1)m]^{1/2}$	ბ
დ9	$A_f$	$m(gH - 0.5V^2)$	ბ
დ10	$A_r$	$0.5m(V_0^2 - V^2)$	დ
დ11	$\varphi$	$\sin \varphi = (2gH / V_0^2)^{1/2}$	დ
დ12	Z	$X_1^2 / X_1^2$	ბ

ღ13	-	k	-	$mV^2 / X^2$	-	ბ
ღ14	-	$E_k$	-	$(mgt^2) / 8$	-	ბ
ღ15	-	$\eta$	-	$mgV / N_0$	-	ღ
ღ16	-	$T_0$	-	$2\pi (R/g)^{1/2}$	-	ბ
ღ17	-	Z	-	$[(mL^2/12) + (mL^2/4)] / (mL^2/12)$	-	ბ
ღ18	-	$E_k$	-	$3mV^2/4$	-	ბ
ღ19	-	$E_{k2}$	-	$3 E_{k1} / 4$	-	ღ
ღ20	-	Z	-	$mR^2 \omega^2 / (mR^2/5)\omega^2$	-	ბ
ღ21	-	A	-	$[(Z^2-1) / 3] \cdot \rho \pi^3 \cdot 1.6R^5 n^2$	-	ბ
ღ22	-	M	-	$2\pi J(n_1 - n_2) / \Delta t$	-	ბ
ღ23	-	[L]	-	$[m] \cdot [V] \cdot [R]$	-	ბ
ღ24	-	X	-	$1/Z^2$	-	ღ
ღ25	-	X	-	$1/Z$	-	ბ

რტ1	-	$\nu_2$	-	$Y^{1/2} \nu_1$	-	ბ
რტ2	-	$T_2$	-	$Y^{1/2} T_1$	-	ბ
რტ3	-	$V_a$	-	$4A/T$	-	ბ
რტ4	-	V	-		-	ღ
რტ5	-		-		-	ბ
რტ6	-		-		-	ბ
რტ7	-		-		-	ბ
რტ8	-		-		-	ღ
რტ9	-		-		-	ბ
რტ10	-		-		-	ბ
რტ11	-		-		-	ბ
რტ12	-	$V_0$	-	$\omega A$	-	ბ
რტ13	-	Z	-	$tg^2 (2\pi/T)t$	-	ბ
რტ14	-	$\nu$	-	$1/6t_1$	-	ბ
რტ15	-	Z	-	X	-	ბ
რტ16	-	$\lambda$	-	$2\pi \Delta L / \Delta \varphi$	-	ღ
რტ17	-	Z	-	$k^2 / n$	-	ბ
რტ18	-		-		-	ბ

ჰს1	-	$\rho$	-	$\rho_2 < \rho < \rho_1$	-	ბ
ჰს2	-	F	-	mg	-	ბ
ჰს3	-	$\rho_0$	-	F/Vg	-	ბ
ჰს4	-	h	-	h=const	-	ღ
ჰს5	-		-		-	ბ
ჰს6	-	$\Delta h$	-		-	ბ
ჰს7	-	p	-	$p \sim 1/S$	-	ბ
ჰს8	-	$\Delta h$	-	$\rho_1 h_1 / \rho_2$	-	ბ
ჰს9	-	H	-	R	-	ბ
ჰს10	-	h	-	$h(\rho_0 - \rho) / \rho$	-	ბ
ჰს11	-	$\Delta F$	-	$F_{A1} < F_{A2}$	-	ბ
ჰს12	-	$m_1$	-	$\rho_0 V_2 / (2 - \rho_0 / \rho_1)$	-	ბ

ჰს13	Z	-	$D_2^2 / D_1^2$	-	რ
ჰს14	[ $\eta$ ]	-	$3\gamma\dot{\gamma} = 5\dot{\gamma}^2 = 3\dot{\gamma}(\dot{\gamma})$ [M/(L·T)]	-	რ
ჰს15	[Re]	-		-	რ
ჰს16	Z	-	$n_1^{1/3} / n_2$	-	რ
ჰს17	Z	-	$n_1 \cdot n_2$	-	რ
ჰს18	Z	-	$(n_1 / n_2)^2$	-	რ

მთ1	-	-		-	რ
მთ2	Z	-	$[(2t_1 + 273^0 \text{ C}) / (t_1 + 273^0 \text{ C})]^{1/2}; t_1 = ?$	-	რ
მთ3	Z	-	$n_p / n_v$	-	რ
მთ4	$P \rightarrow P_{\min}$	-		-	რ
მთ5	$A_1, A_3, A_2$	-		-	რ
მთ6	Z	-	$(i_1 + 2) / i_2; i_1 = 5, i_2 = 6$	-	რ
მთ7	$\eta$	-	$(Z - 1) / Z$	-	რ
მთ8	T	-		-	რ
მთ9	h	-	$RT/Mg$	-	რ
მთ10	Z	-	$(3/2)vR\Delta T / vR\Delta T$	-	რ
მთ11	Z	-	$(5/2)vR\Delta T / (7/2)vR\Delta T$	-	რ
მთ12	Z	-	$vR\Delta T / 4vR\Delta T$	-	რ
მთ13	Z	-	$\alpha = 3\beta$	-	რ
მთ14	[a]	-		-	რ
მთ15	[b]	-		-	რ
მთ16	$\Delta S$	-	$\Delta Q / T$	-	რ
მთ17	Z	-	$1/n^{1/2}$	-	რ
მთ18	$T_b$	-		-	რ
მთ19	[D]	-		-	რ
მთ20	[ $\kappa$ ]	-		-	რ

ქს1	E	-		-	რ
ქს2	C	-	$\epsilon_0 \epsilon S/d$	-	რ
ქს3	E	-		-	რ
ქს4	A	-		-	რ
ქს5	E	-		-	რ
ქს6	Z	-	$(q_2 / q_1) \cdot (R_1 / R_2)^2$	-	რ
ქს7	E	-		-	რ
ქს8	E	-	$(4/3)\pi\rho r$	-	რ
ქს9	$E_2$	-	$E_1 \cdot (r_1^2 / r_2^2)$	-	რ
ქს10	E	-		-	რ
ქს11	E	-	$\sigma / 2\epsilon_0$	-	რ
ქს12	E	-	$\sim R^{-3}$	-	რ

ქდ1	R	-		-	რ
ქდ2	-	-		-	რ
ქდ3	-	-		-	რ
ქდ4	-	-		-	რ

ედ5	-	-		-	რ
ედ6	Z	-	$U_2^2 / U_1^2$	-	რ
ედ7	Z	-	$(P_1 U_2^2) / (P_2 U_2^2)$	-	რ
ედ8	Z	-	$(1/k)^2$	-	რ
ედ9	Z	-	$k^{1/4}$	-	რ
ედ10	[ $\mu$ ]	-	[ V ] / [ E ]	-	რ
ედ11	Z	-	1/k	-	რ
ედ12	$\Sigma I=0$	-	$I_1 - I_2 - I_3 + I_4$	-	რ
ედ13	$I_2$	-	$I_1 \cdot R_1 / R_2$	-	რ
ედ14	-	-		-	რ

მა1	$\epsilon_{imax}$	-		-	რ
მა2	T	-	$2\pi m / qB$	-	რ
მა3	L	-	$2W/I^2$	-	რ
მა4	Z	-	$n^{1/2}$	-	რ
მა5	Z	-	$\epsilon_{is2} / \epsilon_{is1}$	-	რ
მა6	$\Delta W_k$	-	ლორენცის ძალა მუშაობას არ ასრულებს	-	რ
მა7	U	-	$IR + L(\Delta I / \Delta t)$	-	რ
მა8	t	-		-	რ
მა9	Z	-	$n^2/k$	-	რ
მა10	B	-		-	რ
მა11	B	-	$2\pi m / eT$	-	რ
მა12	$\Delta W$	-	$W_0(n^2 - 1)$	-	რ
მა13	N	-	$ \epsilon_i \Delta t / \Delta BS $	-	რ
მა14	$\mu$	-		-	რ
მა15	Z	-	$k / j$	-	რ
მა16	Z	-	$\exp[(R / L) \cdot t]$	-	რ
მა17	Z	-	$k^2$	-	რ

ცდ1	$\chi_{L2} / \chi_{L1}$	-	k	-	რ
ცდ2	$\chi_{C2} / \chi_{C1}$	-	1/k	-	რ
ცდ3	$\Phi_1$	-	{ $tg\phi = \omega L/R$ ; $tg\phi_1 = R/\omega L$ }	-	რ
ცდ4	$\Phi_1$	-	{ $tg\phi = 1/R\omega C$ ; $tg\phi_1 = -R\omega C$ }	-	რ
ცდ5	L	-	$1/\omega^2 C$	-	რ
ცდ6	Z	-	$C = C_0 / 2$	-	რ
ცდ7	Z	-	$C = 2C_0$	-	რ
ცდ8	Z	-	$tg^2[(2\pi / T) \cdot t_1]$	-	რ
ცდ9	Z	-	k / m	-	რ
ცდ10	V	-	$c / (\epsilon\mu)^{1/2}$	-	რ

ოპ1	-	-		-	რ
ოპ2	-	-		-	რ
ოპ3	-	-		-	რ
ოპ4	L	-	2d	-	რ
ოპ5	-	-		-	რ

ጣጌ6			
ጣጌ7	Z	$V_2 / V_1 = n_1 / n_2$	ጣጌ
ጣጌ8			ጣጌ
ጣጌ9	V	$V=V_0/2$	ጣጌ
ጣጌ10	V	$V=c/n$	ጣጌ
ጣጌ11	$\lambda_0$	$n\lambda$	ጣጌ
ጣጌ12	$n(\lambda)$		ጣጌ
ጣጌ13	$\alpha$	$\alpha=1/X$ , ጣጌ ( $I / I_0$ ) = e	ጣጌ
ጣጌ14	$\varphi$	$tg\varphi = n$	ጣጌ

ጭጭ1	$\Delta t$	$\Delta t_0(1 - \beta^2)^{-1/2}$ ; ( $\beta = V/c$ )	ጣጌ
ጭጭ2	V	$(7^{1/2} / 4) \cdot c$	ጣጌ
ጭጭ3	V	$[(\eta^2 - 1)^{1/2} / \eta] \cdot c$	ጣጌ
ጭጭ4	N	$(1 - \beta^2)^{-1/2}$ ; ( $\beta = V/c$ )	ጣጌ
ጭጭ5	Z	$(T_1 / T_2)^4$	ጣጌ
ጭጭ6	$\eta_2$	$\eta_1^{1/4}$	ጣጌ
ጭጭ7	Z	$\lambda_{m1} / \lambda_{m2}$	ጣጌ
ጭጭ8	$\lambda_{m1}$	$Z \cdot \Delta\lambda / (Z-1)$ ,	ጣጌ
ጭጭ9	$\lambda$	$hc / E$ , 415 ኔፅ - ጣጌጭጭጭጭ	ጣጌ
ጭጭ10	Z	$(U_{c1} / U_{c2})^{1/2}$	ጣጌ
ጭጭ11	Y	X	ጣጌ
ጭጭ12	$V_m$		ጣጌ
ጭጭ13	$\Delta\lambda_2$	$[(1-\cos\theta_2)/(1-\cos\theta_1)]\Delta\lambda_1$	ጣጌ

ጸፅ1	Z	$h\nu \sim (n^{-2} - m^{-2})$	ጣጌ
ጸፅ2	$\lambda_{min}$	$4c/R$	ጣጌ
ጸፅ3	$\lambda_{max}$	$36c/5R$	ጣጌ
ጸፅ4	$\eta$	$(2^{-2} - 5^{-2}) / (2^{-2} - 3^{-2})$	ጣጌ
ጸፅ5	${}_Z X^A$	${}_{92}U^{235} + {}_0n^1 \Rightarrow {}_{55}Cs^{137} + {}_Z X^A + 4{}_0n^1$ ; Z=37, A=95 ( ${}_{37}Rb^{95}$ )	ጣጌ
ጸፅ6	E	$NE_0 = (mN_A / M) \cdot E_0$	ጣጌ
ጸፅ7	E	$(m_0 - m)c^2$	ጣጌ
ጸፅ8	$\eta_1$	$1 / \eta^{1/2}$	ጣጌ
ጸፅ9	$\eta$	$(mp / me)^{1/2}$	ጣጌ
ጸፅ10	$\Delta P$		ጣጌ
ጸፅ11	$\ell$		ጣጌ
ጸፅ12	m		ጣጌ
ጸፅ13			ጣጌ
ጸፅ14			ጣጌ
ጸፅ15			ጣጌ

# ინფორმაცია (ცხრილები), რომელიც გამოგადგებათ

## გაიხსნული სიმბოლოები

$\alpha$ ალფა	$\lambda$ ლამბდა
$\beta$ ბეტა	$\mu$ მიუ
$\gamma$ გამა	$\nu$ ნიუ
$\Delta$ დელტა	$\Theta$ თეტა
$\varepsilon$ ეპსილონი	$\pi$ პი
$\eta$ ეტა	$\rho$ რო
$\varphi$ ფი	$\tau$ ტაუ
$\kappa$ კაპა	

## ფიზიკურ სიდიდეთა ძირითადი ერთეულები

სიდიდე	განზომილება	ერთეული	აღნიშვნა
სიგრძე	L	მეტრი	მ
დრო	T	წამი	წმ
მასა	M	კილოგრამი	კგ
ტემპერატურა	Q	კელვინი	K
ნივთიერების რაოდენობა	N	მოლი	მოლი
დენის ძალა	I	ამპერი	ა
სინათლის ძალა	J	კანდელა	კდ

## ძირითადი ფიზიკური მუდმივები

ბორის რადიუსი	<b>a</b>	$5.292 \cdot 10^{-11}$ მ
სინათლის სიჩქარე	<b>c</b>	$2.998 \cdot 10^8$ მ / წმ
ელემენტარული მუხტი	<b>e</b>	$1.602 \cdot 10^{-19}$ კ
ელექტრული მუდმივა	$\varepsilon_0$	$8.854 \cdot 10^{-12}$ ფ / მ
გრავიტაციული მუდმ.	<b>G</b>	$6.672 \cdot 10^{-11}$ ნმ <sup>2</sup> /კგ <sup>2</sup>
თავის.ვარდნის აჩქარ.	<b>g</b>	$9.807$ მ/წმ <sup>2</sup>
პლანკის მუდმივა	<b>h</b>	$6.626 \cdot 10^{-34}$ ჯ წმ
“ _ ”	<b>ħ</b>	$1.055 \cdot 10^{-34}$ ჯ წმ
ბოლცმანის მუდმივა	<b>k</b>	$1.381 \cdot 10^{-23}$ ჯ / K
კულონის მუდმივა	<b>k<sub>0</sub></b>	$8.988 \cdot 10^9$ ნ მ <sup>2</sup> / კ <sup>2</sup>
მასის ატომური ერთ.	<b>მ.ა.ე.</b>	$1.661 \cdot 10^{-27}$ კგ
ელექტრონის მასა	<b>m<sub>e</sub></b>	$9.110 \cdot 10^{-31}$ კგ
ნეიტრონის მასა	<b>m<sub>n</sub></b>	$1.675 \cdot 10^{-27}$ კგ
პროტონის მასა	<b>m<sub>p</sub></b>	$1.673 \cdot 10^{-27}$ კგ
მაგნიტური მუდმივა	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7}$ ჰნ / მ
ავოგადროს რიცხვი	<b>N<sub>A</sub></b>	$6.022 \cdot 10^{23}$ მოლი <sup>-1</sup>
ნორმალ. ატმოსფ.წნევა	<b>P<sub>0</sub></b>	$1.013 \cdot 10^5$ პა
აირის უნივერ.მუდმივა	<b>R</b>	$8.314$ ჯ / K მოლი
აბსოლუტური ნული	<b>T<sub>K</sub></b>	$-273.16$ °C

## ერთეულთა თავსაკრები

მამ-რავლი	თავ-სართი	აღნიშვნა
$10^1$	დეკა	და
$10^2$	ჰექტო	ჰ
$10^3$	კილო	კ
$10^6$	მეგა	მგ
$10^9$	გიგა	გ
$10^{12}$	ტერა	ტ
$10^{15}$	პეტა	პ
$10^{18}$	ექსა	ე
$10^{-1}$	დეცი	დ
$10^{-2}$	სანტი	ს
$10^{-3}$	მილი	მ
$10^{-6}$	მიკრო	მკ
$10^{-9}$	ნანო	ნ
$10^{-12}$	პიკო	პ
$10^{-15}$	ფემტო	ფ
$10^{-18}$	ატო	ა



ფიზიკურ სიდიდთა ნაჩოქავი ერთეულები (SI სისტემა)

სიდიდე	აღნიშვნა	ერთეული	აღნიშვნა	სხვა გაგრძელებ. ერთეულები
ფართობი	S	კვადრატული მეტრი	მ <sup>2</sup>	სმ <sup>2</sup> = 10 <sup>-4</sup> მ <sup>2</sup>
მოცულობა	V	კუბური მეტრი	მ <sup>3</sup>	ლ = 10 <sup>-3</sup> მ <sup>3</sup>
ბრტყელი კუთხე	φ	რადიანი	რად	გრად = 0.0175 რად
სივრცითი კუთხე	g	სტერადიანი	სტერ	
გადაადგილება, გზა	S, L	მეტრი	მ	კმ = 10 <sup>3</sup> მ
სიჩქარე	V	მეტრი წამთან	მ წმ <sup>-1</sup>	კმ სთ <sup>-1</sup> = 0.278 მ წმ <sup>-1</sup>
აჩქარება	a	მეტრი წამ კვადრატთან	მ წმ <sup>-2</sup>	
კუთხური სიჩქარე	ω	რადიანი წამთან	რად წმ <sup>-1</sup>	
სიხშირე	n	ჰერცი	ჰც	წმ <sup>-1</sup> ≡ ჰც
სიმკვრივე	r	კილოგრამი კუბურ მეტრთან	კგ მ <sup>-3</sup>	გ სმ <sup>-3</sup> = 10 <sup>3</sup> კგ მ <sup>-3</sup>
ძალა	F	ნიუტონი	ნ	კგ.ძ = 9.8 ნ
იმპულსი	P	კილოგრამ-მეტრი წამთან	კგ მ წმ <sup>-1</sup>	
ძალის იმპულსი	F t	ნიუტონი წამი	ნ წმ	
ძალის მომენტი	M	ნიუტონი მეტრი	ნ მ	
მუშაობა, ენერჯია	A, E	ჯოული	ჯ	ვგ = 1.6 10 <sup>-19</sup> ჯ
სიმბლავრე	N, P	ვატი	ვტ	ცხ.ძ = 735.5 ვტ
წნევა	P	პასკალი	პა	ვ.სგ.მმ = 133.3 პა
სითბოს რაოდენობა	Q	ჯოული	ჯ	კალორია = 4.187 ჯ
კუთრი სითბოტევადობა	c	ჯოული კილოგრამ-კელვინზე	ჯ კგ <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	
მოლური მასა	M	კილოგრამი მოლთან	კგ მოლი <sup>-1</sup>	

კონცენტრაცია	n	1 კუბურ მეტრთან	$\text{მ}^{-3}$	$\text{სმ}^{-3} = 10^6 \text{ მ}^{-3}$
ელექტრული მუხტი	q	კულონი	კ	
დენის სიმკვრივე	J	ამპერი კვადრატულ-მეტრთან	$\text{ა მ}^{-2}$	
ძაბვა, ემმ	U, E	ვოლტი	ვ	
ელ. ველის დამაბულობა	E	ვოლტი მეტრთან	$\text{ვ მ}^{-1}$	
წინააღმდეგობა	R	ომი	ომი	
კუთრი წინააღმდეგობა	$\rho$	ომი მეტრი	ომი მ	ომი $\text{მმ}^2 \text{ მ}^{-1} = 10^{-6}$ ომი მ
ელექტრო ტევადობა	C	ფარადა	ფ	
მაგნიტური ინდუქცია	B	ტესლა	ტლ	
მაგნიტური ნაკადი	F	ვებერი	ვბ	
ინდუქტივობა	L	ჰენრი	ჰნ	
სინათლის ნაკადი	F	ლუმენი	ლმ	
განათებულობა	E	ლუქსი	ლქ	
ოპტიკური ძალა	D	დიოპტრი	დპტრ	$\text{მ}^{-1} \equiv \text{დპტრ}$

**წოვირითი ნივთიერების სიმკვრივე , კგ / მ<sup>3</sup>**

ბირთვული ნივთიერება	$10^{17}$
მზის ცენტრალური ნაწილის ნივთიერება	$10^5$
დედამიწის ბირთვი	$12 \cdot 10^3$
ტყვია	$11.3 \cdot 10^3$
ალუმინი	$2.7 \cdot 10^3$
წყალი	$1 \cdot 10^3$
ჰაერი	1.3
ნივთიერება მაღალ (ლაბორატორიულ) ვაკუუმში	$10^{-15}$
ნივთიერება ვარსკლავთშორის სივრცეში	$10^{-21}$
ნივთიერება გალაქტიკათშორის სივრცეში	$10^{-27}$