2016 წლის ფიზიკის ნაკრების მეორე შესარჩევი წერა

ამოცანა 1

წყალბადის ატომების დაჯახება (3 ქულა)

ძირითად ენერგეტიკულ მდგომარეობაში მყოფ წყალბადის უძრავ ატომს ეჯახება არარელატივისტური v სიჩქარით მოძრავი ასეთივე წყალბადის ატომი. წყალბადის ატომის მასაა $m=1{,}69\cdot10^{-27}$ კგ, ხოლო მისი იონიზაციის ენერგიაა $E_i=13{,}6$ ევ. ბორის მოდელის თანახმად წყალბადის ატომის დასაშვები შინაგანი ენერგიები განისაზღვრება ფორმულით:

$$E_n=-\frac{E_i}{n^2}$$

ისარგებლეთ ბორის მოდელით და იპოვეთ v_0 ზღვრული სიჩქარე (ფორმულა და რიცხვითი მნიშვნელობა), რომელზე ნაკლები სიჩქარეებისათვის ატომების დაჯახება დრეკადია. ამ სიჩქარის მიღწევის შემდეგ ატომების დაჯახება შეიძლება იყოს არადრეკადი. ელემენტარული მუხტია $1{,}60\cdot10^{-19}$ კ.

ამოხსნა:

v_0 ზღვრული სიჩქარის შემთხვევაში პირველად არის შესაძლებელი არადრეკადი დაჯახება. ამ დროს შინაგან ენერგიაში გადადის საწყისი ენერგიის მაქსიმალური ნაწილი და ის ყოფნის ერთ-ერთი ატომის გადასვლას პირველ აღგზნებულ მდგომარეობაში. ამ დროს დაჯახების შემდეგ ატომების სიჩქარე ერთმანეთის ტოლია.

$$\frac{mv_0^2}{2}=\frac{2mv^2}{2}+\Delta E$$

$$mv_0=2mv \Rightarrow v=v_0/2,$$

(1,5 ქულა)

$$\Delta E=\frac{E_i}{1^2}-\frac{E_i}{2^2}=\frac{3E_i}{4}$$ **(0,5 ქულა)**

საბოლოოდ

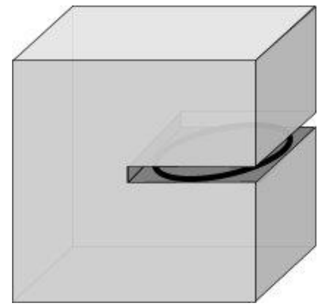
$$v_0=\sqrt{\frac{3E_i}{m}}$$ **(0,5 ქულა)**

$v_0=6{,}26\cdot10^4$ მ/წმ **(0,5 ქულა)**

ამოცანა 2

ფერომაგნეტიკი (5 ქულა)

განვიხილოთ $2a \times 2a \times a$ ზომის აგურის ფორმის ფერომაგნეტიკი, რომლის მაგნიტური შეღწევადობა $\mu \gg 1$. მასში გაკეთებულია d სისქის ღრეჩო (იხ. ნახ.). შეგიძლიათ ჩათვალოთ, რომ $\mu d \gg a \gg d$. ზეგამტარი ნივთიერებისაგან დამზადებული a დიამეტრისა და L ინდუქციურობის წრიული გამტარი, რომელშიც გადის I დენი, მოთავსებულია ღრეჩოში. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ იმისათვის, რომ გამოვიღოთ რგოლი ფერომაგნეტიკიდან და გადავიტანოთ მისგან დიდ მანძილზე?

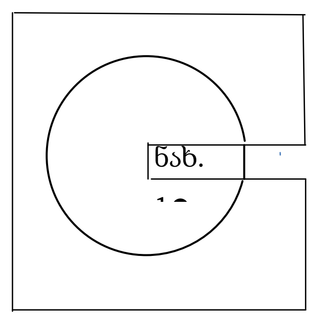


შენიშვნა. ა) კონტურის ინდუქციურობა ტოლია L-ის, როცა ის ფერომაგნეტიკიდან დიდ მანძილზეა. ბ) შეიძლება ჩათვალოთ, რომ μ მუდმივია. გ) შეგიძლიათ გამოიყენოთ თეორემა ცირკულაციის შესახებ

$$\int \frac{B_l}{\mu} dl = \mu_0 I$$

ინტეგრება ხდება ჩაკეტილი კონტურის გასწვრივ, ხოლო I არის დენი, რომელიც განჭოლავს ჩაკეტილი კონტურით შემოსაზღვრულ ზედაპირს.

ამოხსნა:



გავავლოთ ჩაკეტილი კონტური როგორც ნახატზეა ნაჩვენები. ღრეჩოში მაგნიტური ველის ინდუქციის მდგენელი ფერომაგნეტიკის ზედაპირის მართობულად აღვნიშნოთ B_0-ით. ღრეჩოს სისქის სიმცირის გამო მისი ცვლილება სიგანის გასწვრივ შეგვიძლია უგულებელვყოთ, ის შეიძლება იცვლებოდეს მხოლოდ სიგრძის გასწვრივ. ცირკულაციის შესახებ თეორემის თანახმად, $B_0 d + \int \frac{B_l}{\mu} dl = \mu_0 I$, სადაც ინტეგრალი აიღება ფერომაგნეტიკში. **(1 ქულა)**

სასაზღვრო პირობის თანახმად, ფერომაგნეტიკში ზედაპირთან მაგნიტური ველის ინდუქციის მართობული მდგენელი B_0-ის ტოლია. ინტეგრების წირის გასწვრივ $B_l \approx B_0$, ხოლო წირის სიგრძე a-ს რიგისაა, ამიტომ

$$\int \frac{B_l}{\mu} dl \approx \frac{B_0 a}{\mu} \qquad \textbf{(1 ქულა)}$$

რადგანაც $\frac{a}{\mu} \ll d$, ცირკულაციის თეორემიდან მივიღებთ

$$B_0 \approx \frac{I\mu_0}{d}$$ **(0,5 ქულა)**

B_0 არ აღმოჩნდა დამოკიდებული ღრეჩოში ადგილმდებარეობაზე. **(0,5 ქულა)**

დენიანი კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადია $\Phi = B_0\pi a^2/4 = \frac{\mu_0 I\pi a^2}{4d}$. **(0,5 ქულა)** მაგნიტური ველის საწყისი ენერგიაა

$$W_0 = \frac{\Phi I}{2} = \frac{\mu_0 I^2 \pi a^2}{8d}.$$ **(0,5 ქულა)**

რგოლის ფერომაგნეტიკიდან გამოტანის შემდეგ რგოლის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იგივე უნდა დარჩეს, ამიტომ დენის მაგნიტური ველის ენერგია იქნება:

$$W = \frac{\Phi^2}{2L}.$$ **(0,5 ქულა)**

შესრულებული მუშაობაა

$$A = \frac{\Phi^2}{2L} - \frac{\Phi I}{2} = \frac{\pi\mu_0 I^2 a^2}{8d}\left(\frac{\pi\mu_0 I a^2}{4dL} - 1\right).$$ **(0,5 ქულა)**

ამოცანა 3

მოძრაობა ნახევარსფეროში (7 ქულა)

L სიგრძის თოკის ერთი ბოლო დამაგრებულია R>L რადიუსის ნახევარსფეროს A წერტილში, ხოლო მეორე ბოლოზე მიბმულია m მასის მცირე ზომის ბურთულა. საწყის მომენტში თოკი დაჭიმულია და მოთავსებულია ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, ამასთან, სხეული ეხება სფეროს ზედაპირს (იხ. ნახ.). სხეულს ათავისუფლებენ და ის იწყებს უსაწყისო სიჩქარით მოძრაობას სფეროს შიდა ზედაპირზე.

იპოვეთ:

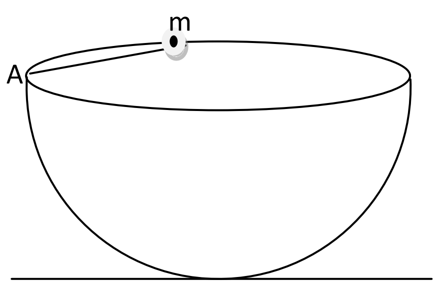
ა) სხეულის მოძრაობის ტარექტორია და მისი მახასიათებელი პარამეტრები;

(1,5 ქულა)

ბ) სხეულის აჩქარება ნახევარსფეროს უდაბლესი წერტილიდან H სიმაღლეზე; **(2 ქულა)**

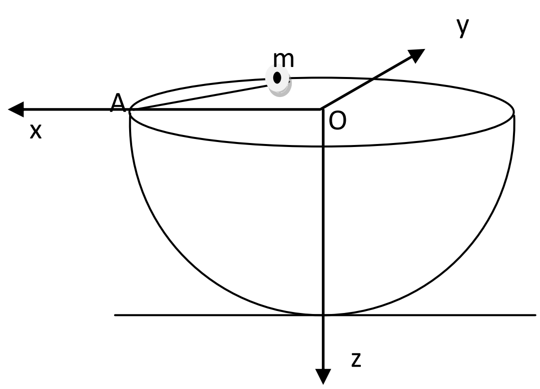
გ) თოკის დაჭიმულობის ძალა ტრაექტორიის უდაბლეს წერტილში; **(3,5 ქულა)**

ხახუნი უგულებელყავით, ნახევარსფერო უძრავადაა დამაგრებული.



ამოხსნა:

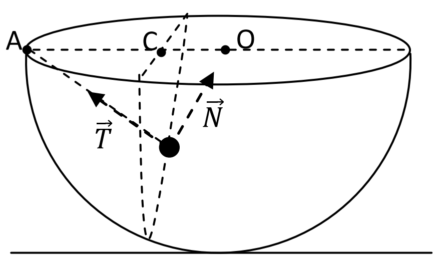
ა) ნახევარსფეროს O ცენტრიდან გავავლოთ x, y, z ღერძები როგორც ნახ. 1-ზეა ნაჩვენები.



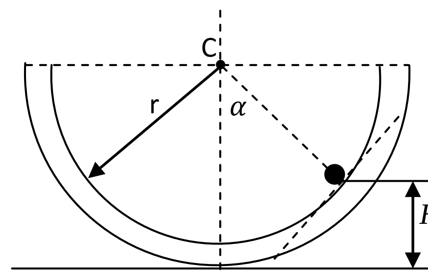
მაშინ სხეულის მოძრაობის ტრაექტორია იქნება ორი სფეროს $x^2+y^2+z^2=R^2$ და $(x-R)^2+y^2+z^2=L^2$ გადაკვეთა **(0,5 ქულა)**. ამ განტოლებებიდან მივიღებთ, რომ

$x = (2R^2 - L^2)/2R$ და $y^2 + z^2 = L^2(4R^2 - L^2)/4R^2$. მაშასადამე, სხეული მოძრაობს yOz სიბრტყის პარალელურ სიბრტყეში $r = \frac{L}{2R}\sqrt{4R^2 - L^2}$ რადიუსის წრეწირზე **(0,5 ქულა)**, რომლის ცენტრი მდებარეობს Ox ღერძზე (C წერტილი ნახ. 2.), კოორდინატთა სათავიდან $OC = (2R^2 - L^2)/2R$ მანძილზე **(0,5 ქულა)**.

ბ) აღნიშნულ წრეწირზე სხეულის მოძრაობისას ძაფის დაჭიმულობისა და რეაქციის ძალები ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში ტრაექტორიის მხების მართობულია. ამიტომ მხები აჩქარება ტოლი იქნება $a_\tau = g\sin\alpha$ (ნახ. 3) **(1 ქულა)**. შესაბამისად აჩქარება H სიმაღლეზე



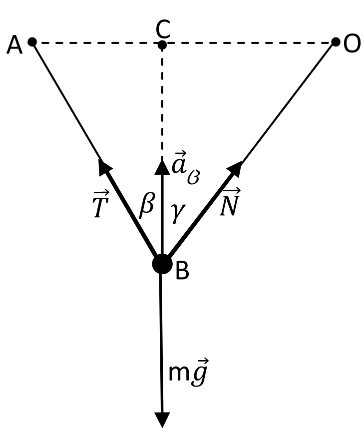
ნახ. 2



ნახ. 3

$$a = \sqrt{\left(\frac{V^2}{r}\right)^2 + g^2(\sin\alpha)^2} = \frac{g}{r}\sqrt{3(R-H)^2 + r^2}. \text{ (1 ქულა)}$$

გ) ტრაექტორიის უდაბლეს B წერტილში ბურთულაზე მოქმედი სამივე ძალა ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეშია, ამასთან სხეულის სიჩქარე ამ სიბრტყის მართობია. აქედან გამომდინარეობს, რომ ბურთულას ტანგენციალური აჩქარება ნულია. ე. ი. სხეულის აჩქარება $\vec{a} = \vec{a}_ც$ მიმართულია ვერტიკალურად ზევით წრეწირის C ცენტრისაკენ (ნახ. 4) **(1 ქულა)**. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად



ნახ. 4.

$$T\sin\beta = N\sin\gamma;$$

$$T\cos\beta + N\cos\gamma - mg = ma_ც = 2mg. \text{ (1 ქულა)}$$

$$\Rightarrow T = \frac{3mg\sin\gamma}{\sin(\beta+\gamma)} \qquad \text{(0,5 ქულა)}$$

ნახ. 4-დან ჩანს, რომ $\sin(\beta+\gamma) = \frac{AO}{AB}\cos\gamma = \frac{R}{L}\cos\gamma. \Rightarrow$

$$T = \frac{3mgL}{R}\operatorname{tg}\gamma = \frac{3mgL}{R}\frac{OC}{BC} = \frac{3mg(2R^2-L^2)}{R\sqrt{4R^2-L^2}}. \qquad \text{(1 ქულა)}$$

ამოცანა 4

ვარდნილი მაგნიტოფონი (10 ქულა)

დედამიწიდან h სიმაღლეზე მოთავსებული მაგნიტოფონი, რომელიც უკრავს f_0 სიხშირის ერთ ტონს, იწყებს ვარდნას. თქვენ დგახართ ზუსტად მაგნიტოფონის ქვეშ და ზომავთ დაკვირვებულ სიხშირეს დროის სხვადასხვა მომენტში. t=0 იყოს მაგნიტოფონის ვარდნის დაწყების მომენტი. თქვენი დაკვირვების შედეგი ასახულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში:

t (წმ)	f (ჰც)
2.0	581
4.0	619
6.0	665
8.0	723
10.0	801

სიმძიმის ძალის აჩქარებაა g=9.80 მ/წმ^2. ჰაერში ბგერის სიჩქარეა c=340 მ/წმ. უგულებელყავით ჰაერის წინააღმდეგობა. თქვენ დაგჭირდებათ ბგერებისათვის დოპლერის ეფექტის ფორმულა უძრავ ჰაერში ბგერის წყაროსა და დამკვირვებლის ერთი წრფის გასწვრივ მოძრაობის შემთხვევაში, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$f=f_0\frac{c\mp u}{c\mp v},$$

სადაც f_0 წყაროს მიერ გამოსხივებული სიხშირეა, f – დამკვირვებლის მიერ აღქმული სიხშირე, u – დამკვირვებლის სიჩქარე, ხოლო v – წყაროს სიჩქარე ($u<c$, $v<c$). დადებითად ითვლება დამკვირვებლის მიერ აღქმული ბგერის გავრცელების მიმართულება. თუ სიჩქარეები მიმართულია დადებით მხარეს, მაშინ მათ წინ ვირჩევთ ზედა ნიშანს, ხოლო საწინააღმდეგო შემთხვევაში – ქვედას.

ა) დაამტკიცეთ ზევით მოყვანილი ფორმულა; **(2 ქულა)**

ბ) გამოსახეთ t მომენტში დამკვირვებლის მიერ აღქმული ბგერის f სიხშირე t, f_0, g, h და c სიდიდეებით. განიხილეთ მხოლოდ ის შემთხვევა, როდესაც მაგნიტოფონის სიჩქარე ჰაერში ბგერის სიჩქარეზე ნაკლებია; **(2 ქულა)**

გ) მილიმეტრულ დანაყოფიან ფურცელზე ააგეთ ექსპერიმენტული გრაფიკი, რომელიც თეორიულად წრფე უნდა იყოს. დარწმუნდით, რომ თეორია დამაკმაყოფილებლად აღწერს გაზომვების შედეგებს; **(3 ქულა)**

დ) გამოთვალეთ მაგნიტოფონის მიერ გამოცემული ტონის f_0 სიხშირე; **(1,5 ქულა)**

ე) გამოთვალეთ h სიმაღლე, საიდანაც ჩამოვარდა მაგნიტოფონი (მაგნიტოფონი ფანტასტიკურად მძლავრია). **(1,5 ქულა)**

ამოხსნა:

ა) ვთქვათ, წყაროსა და დამკვირვებლის სიჩქარეები მიმართულია დაკვირვებული ბგერის გავრცელების მიმართულებით. t_1 მომენტში წყაროსა და დამკვირვებელს შორის მანძილი იყოს L_1. t_1 მომენტში წყაროს მიერ გამოსხივებული ბგერა დამკვირვებელს მიაღწევს $t_1' = t_1 + \frac{L_1}{c-u}$ მომენტში. t_2 მომენტში წყაროსა და დამკვირვებელს შორის მანძილი იქნება $L_2 = L_1 + (u - v)(t_2 - t_1)$. t_2 მომენტში წყაროს მიერ გამოსხივებული ბგერა დამკვირვებელს მიაღწევს $t_2' = t_2 + \frac{L_2}{c-u}$ მომენტში. $\Delta t = t_2 - t_1$ დროის შუალედში წყაროს მიერ გამოსხივებულ N რხევას დამკვირვებელი იღებს $\Delta t' = t_2' - t_1' = \Delta t + \frac{L_2-L_1}{c-u} = \Delta t + \frac{(u-v)\Delta t}{c-u} = \frac{c-v}{c-u}\Delta t$ დროის შუალედის განმავლობაში. აქედან მიიღება:

$$f = \frac{N}{\Delta t'} = \frac{N}{\Delta t} \cdot \frac{c-u}{c-v} = f_0 \frac{c-u}{c-v}$$

ცხადია, რომ თუ რომელიმე სიჩქარის მიმართულება საწინააღმდეგოდ შეიცვლება, მაშინ მის წინ შეიცვლება ნიშანი. **(2 ქულა)**

ბ) t მომენტში მიიღებდით მაგნიტოფონის მიერ რაღაც τ მომენტში გამოცემულ ბგერას. გვექნება განტოლება:

$$\frac{g\tau^2}{2} + c(t - \tau) = h$$

საიდანაც

$$\tau = \frac{c \pm \sqrt{c^2+2gh-2gct}}{g}$$ **(0,5 ქულა)**

უსასრულოდ დიდი c–ს შემთხვევაში უნდა მივიღოთ τ=t, რასაც გვაძლევს ფესვის წინ მინუს ნიშნის არჩევა. ამიტომ

$$\tau = \frac{c - \sqrt{c^2+2gh-2gct}}{g}$$ **(0,5 ქულა)**

თქვენ მიერ მიღებული ბგერის გამოცემის მომენტში მაგნიტოფონის სიჩქარე იყო

$$v = g\tau = c - \sqrt{c^2 + 2gh - 2gct}$$ **(0,5 ქულა)**

დოპლერის ეფექტის თანახმად გვექნება (გავითვალისწინოთ, რომ დამკვირვებელი უძრავია და წყარო მოძრაობს დამკვირვებლისაკენ):

$$f = f_0 \frac{c}{\sqrt{c^2+2gh-2gct}}$$ **(0,5 ქულა)**

გ) ექსპერიმენტის თეორიასთან შესადარებლად მიზანშეწონილია წრფივი დამოკიდებულების შემოწმება.

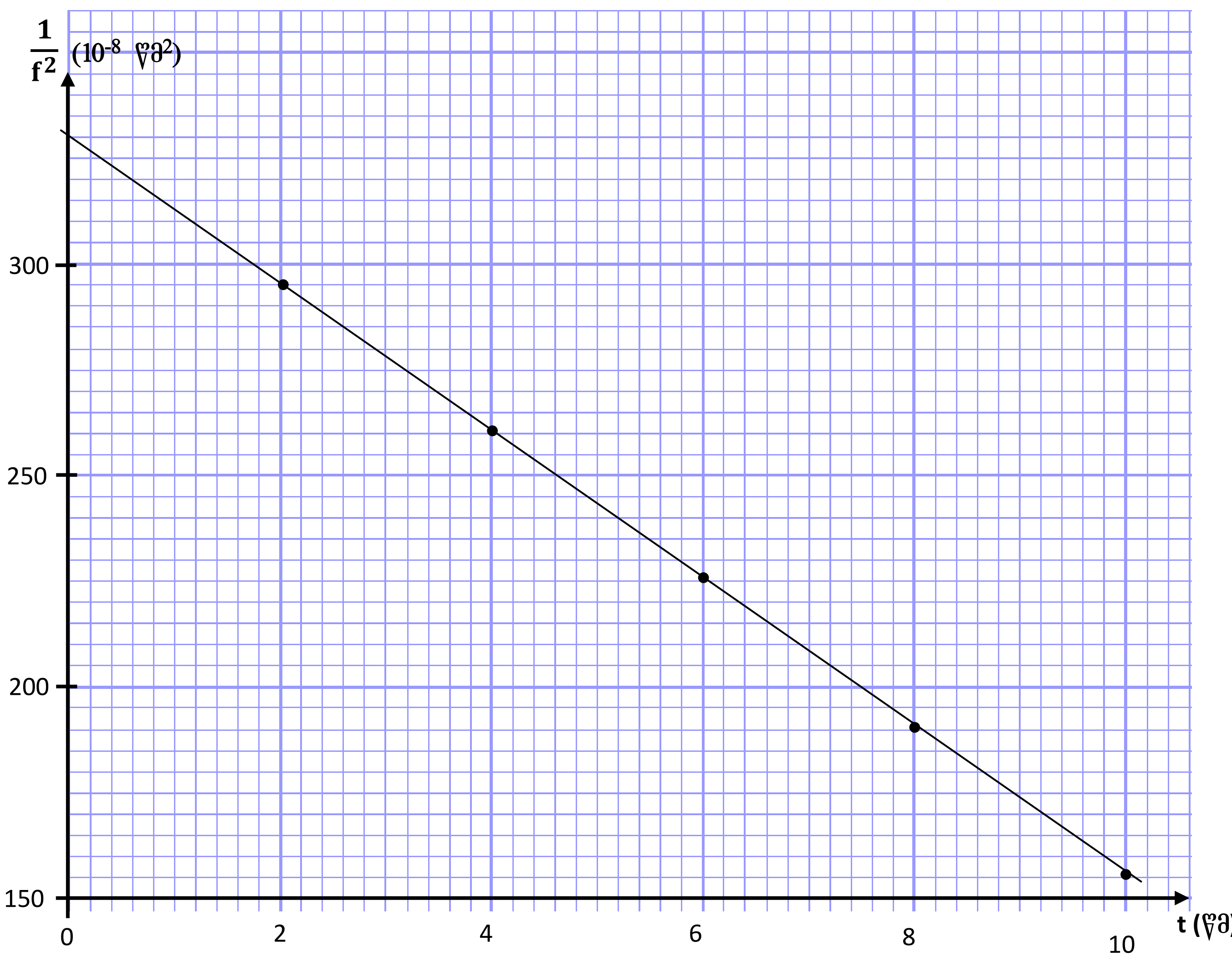
ზედა ფორმულიდან გამომდინარე წრფივი დამოკიდებულებაა $\frac{1}{f^2}$ –სა და t დროს შორის:

$$\frac{1}{f^2} = \frac{1}{f_0^2}\left(1 + \frac{2gh}{c^2} - \frac{2g}{c}t\right)$$ **(1 ქულა)**

გადავზომოთ ვერტიკალურ ღერძზე $\frac{1}{f^2}$ ხოლო ჰორიზონტალურ ღერძზე – t. შევადგინოთ ცხრილი: **(0,5 ქულა)**

t (წმ)	f (ჰც)	$\frac{1}{f^2}$ (10^{-6} წმ^2)
2.0	581	2.96
4.0	619	2.61
6.0	665	2.26
8.0	723	1.91
10.0	801	1.56

ცდომილების ფარგლებში მიღებული ექსპერიმენტული გრაფიკი იქნება წრფე, რაც ასაბუთებს თეორიას.



(1,5 ქულა)

დ) გრაფიკის B კუთხური კოეფიციენტი, თეორიული ფორმულის თანახმად, არის

$$B = -\frac{2g}{cf_0^2}$$

ხოლო ექსპერიმენტული გრაფიკიდან $B \approx -1.75\times10^{-7}$ წმ-ს, მაშასადამე

$$f_0 = \sqrt{\frac{2g}{-B}} = 574 \text{ ჰც}$$

(1,5 ქულა)

ე) გრაფიკის მიერ ვერტიკალურ ღერძზე მოკვეთილი მონაკვეთი, თეორიული ფორმულის თანახმად, არის

$$A = \frac{1}{f_0^2}\left(1 + \frac{2gh}{c^2}\right)$$

ხოლო ექსპერიმენტული გრაფიკიდან $A \approx 3.31\times10^{-6}$წმ^2. აქედან მიიღება, რომ

$h \approx 533$ მ **(1,5 ქულა)**

დიახაც რომ ფანტასტიკურად მძლავრი მაგნიტოფონია, მისი ხმა რომ ამ სიმაღლიდან გვესმის!