Državno natjecanje iz fizike, Poreč, 10. - 13. travnja 2019.
Zadaci – 3. skupina

Zadatak 1 (18 bodova)

Stablo visoko $H = 25$ m, mase $m = 15$ t stoji na ravnoj podlozi. Šumari otpile deblo horizontalnim rezom i stablo, zbog male početne neravnoteže počne padati. Pretpostavi da je trenje stabla s podlogom beskonačno, tj. stablo se samo rotira oko donje točke koja je uvijek u dodiru s tlom. Stablo tretiramo kao nesavitljivi homogeni tanki štap momenta inercije oko točke u dodiru s tlom: $I_0 = \frac{1}{3}mH^2$. Zanemarujemo otpor zraka.

a) Skiciraj sile na stablo kada je stablo pod kutem $\varphi < 90°$ u odnosu na tlo!
b) Kojom brzinom će vrh stabla udariti o tlo?

Zadatak 2 (18 bodova)

Zvuk motora superbrzog električnog automobila je na frekvenciji $f_0 = 1\,700$ Hz. U početnom trenutku $t = 0$ promatrač je tik do automobila kad automobil počne ubrzavati akceleracijom $a = 30\ \mathrm{m/s^2}$. Pretpostavi da je brzina zvuka u zraku $v_Z = 340$ m/s. Izračunaj koju će frekvenciju promatrač čuti nakon $t = 5$ s.

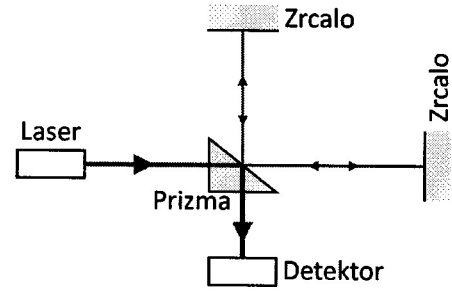
Zadatak 3 (16 bodova)

Čovjek mase 90 kg i ovca mase 50 kg se nalaze na malom čamcu duljine 5 metara i mase 200 kg. Čovjek sjedi na pramcu (prednji dio broda), dok je ovca na krmi (stražnji dio broda). U nekom trenu se odluče zamjeniti. Čovjek ode na krmu, a ovca na pramac. Čamac se nalazi na mirnom moru. Utjecaj valova, morskih struja i vjetra te trenja s morem je zanemariv. Koliko se čamac pomaknuo? Kako položaj centra mase čamca utječe na rezultat?

Zadatak 4 (18 bodova)

Laserski interferometar se sastoji od lasera koji odašilje svjetlost valne duljine $\lambda = 1064$ nm na prizmu koja dijeli svjetlost na dva međusobno okomita kraka. Svaki krak putuje 4 km prije refleksije od zrcala i povratka nazad. Susreću se ponovno u prizmi gdje interferiraju i interferirajući val ulazi u detektor gdje se očitava njegova amplituda. Operater precizno uštima udaljenost jednog zrcala od prizme tako da je interferencija valova potpuno destruktivna, te je amplituda $A_d = 0$. Kolika je razlika u putevima dvije zrake prije dolaska gravitacijskog vala?

Gravitacijski val prolazi kroz Zemlju i pogađa naš postav tako da jedan krak smanji za neki iznos u, a drugi krak poveća za taj isti iznos u. Amplituda interferirajućih valova je sada $A_g = 1\%A_{max}$. Koliko je gravitacijski val produžio prostor, tj. koliki je u?



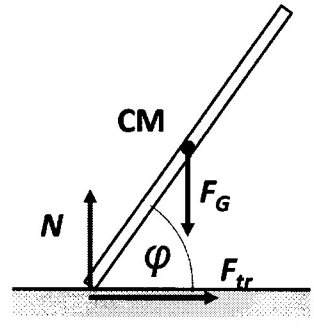
VAŽNO: Tijekom ispita ne smijete imati nikakav pisani materijal (knjige, bilježnice, formule...). Za pisanje koristite kemijsku olovku ili nalivpero. Pri ruci ne smijete imati mobitele ni druge elektroničke uređaje osim kalkulatora.

Državno natjecanje iz fizike, Poreč, 10.-13. travnja 2019.
Rješenja i smjernice za bodovanje – 3. skupina

Zadatak 1 (18 bodova)

a) Na stablo u padu djeluju:

1) Gravitacijska sila **(1 bod)**
2) sila reakcije podloge **(1 bod)**
3) sila trenja koja drži donji kraj na mjestu **(3 boda)**



(3 boda)

b) Zbog kompleksnosti jednadžbi gibanja, odgovor tražimo iz zakona očuvanja energije. Energija koju stablo ima prije padanja jednaka je gravitacijsko potencijalnoj energiji stabla kojem je položaj centra mase na pola visine, što vrijedi za homogeni štap:

$$E = \frac{1}{2}mgH$$

(3 boda)

Gledamo gibanje stabla oko donje točke koja miruje. Tik pred udar o tlo stablo ima kinetičku rotacijsku energiju

$$E = \frac{1}{2}I_0\omega^2$$

(2 boda)

Pritom koristimo izraz za moment inercije oko donje točke stabla. Izjednačavanjem tih energija dobijemo:

$$\frac{1}{2}mgH = \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{3}mH^2\omega^2$$

Možemo izraziti nepoznatu kutnu brzinu:

$$\omega = \sqrt{\frac{3g}{H}}$$

Vrh stabla je na udaljenosti H od centra rotacije, pa je njegova linearna brzina $v = H\omega$. Stoga je konačni izraz:

$$v = \sqrt{3gH}$$

(3 boda)

Izvrijednavanjem dobijemo vrijednost $v = 27.1$ m/s. **(2 boda)**

Zadatak 2 (18 bodova)

Kako automobil ubrzava tako mu se povećava brzina. Budući da se automobil udaljava od promatrača, frekvencija koju čuje zbog doplerovog efekta je sve niža. Ako automobil u nekom trenutku ide brzinom v od promatrača, frekvencija je snižena za

$$f = f_0 \frac{v_Z}{v_Z + v}$$

(3 boda)

No, zvuku koji automobil proizvede kada je udaljen od promatraća za D će trebati vrijeme $t_Z = v_Z D$ da stigne do promatrača. Zvuk automobila kojeg promatrač čuje nije jednak frekvenciji koju automobil odašilje u tom trenutku, već u trenutku prije! **(5 bodova)**

Automobil krene u trenutku $t = 0$ i u trenutku τ ispusti zvuk kojemu treba vrijeme D/v_Z da dođe do promatrača. Vrijedi $\tau + D/v_Z = T = 5$ s. Udaljenost $D = \frac{1}{2}a\tau^2$. Rješavamo za τ:

$$\frac{a}{2v_Z}\tau^2 + \tau = T \Rightarrow \tau = \frac{v_Z}{a}\left(\sqrt{1 + \frac{2Ta}{v_Z}} - 1\right)$$

(5 bodova)

U to vrijeme brzina automobila je $v_\tau = a\tau$, pa je frekvencija koju promatrač čuje:

$$f = f_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2Ta}{v_Z}}}$$

(3 boda)

$f = 1\,239$ Hz. **(2 boda)**

Zadatak 3 (16 bodova)

Vanjske sile ne djeluju na čamac, pa je centar mase sustava stacionaran. **(3 boda)**

Postavimo čamac tako da mu je stražnji dio na koordinati $x = 0$ a prednji na $x = L = 5$ m. Neka je tada centar mase čamca na koordinati x_B, čovjek na koordinati $x_c = L$ i ovca na $x_o = 0$. Centar mase sustava je tada:

$$x_{CM} = \frac{m_c x_c + m_B x_B + m_o x_o}{m_B + m_c + m_o} = \frac{m_c L + m_B x_B}{M_{uk}}$$

(3 boda)

Kada se ovca i čovjek preraspodjele pretpostavimo da se čamac pomakne u pozitivnom smjeru osi za u, tako da je u sada koordinata stražnjeg dijela čamca. Položaj čovjeka je tada u, položaj centra mase čamca na $x_B + u$, a položaj ovce $L + u$. Pišemo:

$$x_{CM} = \frac{m_c u + m_B(x_B + u) + m_o(L + u)}{M_{uk}}$$

Izjednačavanjem tih dviju jednadžbi, uz pokrate dobijemo:

$$u = \frac{m_c - m_o}{M_{uk}} L = 0.588 \text{ m}$$

(6 bodova)

Pozitivni predznak pomaka u označava da se čamac pomaknuo u desno, kao što je i pretpostavljeno. Primjećujemo da se položaj centra mase čamca, x_B pokratio u jednadžbama pa zaključujemo da nikako ne utječe na rezultat. **(4 boda)**

Zadatak 4 (18 bodova)

Put koji prijeđe zraka koja od prizme ide horizontalno je $l_A = 2D_A$, gdje je D_A udaljenost zrcala. Druga zraka prijeđe put $l_B = 2D_B$. Vrijednosti D_A i D_B su takve da zrake potpuno destruktivno interferiraju.

Razlika udaljenosti je $l_A - l_B = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$. **(5 bodova)**

Možemo napisati jednadžbu oba vala u točki kada se ponovno susretnu:

$$y_A = y_0 \sin(kx - \omega t)$$
$$y_B = y_0 \sin(kx - \omega t - k(2n-1)\lambda/2)$$

gdje val B ima kraći put za pola valne duljine. Raspisom vala B, korištenjem $k = 2\pi/\lambda$ i korištenjem identiteta za sinus zbroja i razlike:

$$\begin{aligned} y_B &= y_0 \sin(kx - \omega t - (2n-1)\pi) = \\ &= y_0 \sin(kx - \omega t)\cos((2n-1)\pi) - y_0 \cos(kx - \omega t)\sin((2n-1)\pi) = \\ &= -y_0 \sin(kx - \omega t) \end{aligned}$$

Interferencijom dva vala očito je da dobijemo potpunu destruktivnu interferenciju.

Kada prođe gravitacijski val, bez narušenja općenitosti uzimamo da se A krak povećao a B smanjio: $D'_A = D_A + u$, $D'_B = D_B - u$. **(3 boda)**

Napišemo li dva vala koji interferiraju:

$$\begin{aligned} y_A &= y_0 \sin(kx - \omega t + ku) = \\ &= y_0 \sin(kx - \omega t)\cos(ku) + y_0 \cos(kx - \omega t)\sin(ku) \\ y_B &= y_0 \sin(kx - \omega t - (2n-1)\pi - ku) = \\ &= y_0 \sin(kx - \omega t - ku)\cos((2n-1)\pi) - y_0 \cos(kx - \omega t - ku)\sin((2n-1)\pi) = \\ &= -y_0 \sin(kx - \omega t)\cos(ku) + y_0 \cos(kx - \omega t)\sin(ku) \end{aligned}$$

i zbrojimo:

$$y_{A+B} = 2y_0 \sin(ku)\cos(kx - \omega t)$$

Vidimo da je amplituda ovog vala $A = 2y_0 \sin(ku)$. **(5 bodova)**

Maksimum amplitude je $A = 2y_0 = A_{max}$. Za $A = 1\%\ A_{max}$ slijedi

$$\sin(ku) = 0.01$$

Vrijedi $ku = 0.01$, tj:

$$\frac{2\pi}{\lambda}u = 0.01 \Rightarrow u = \frac{0.01}{2\pi}\lambda = 1.69\ \text{nm}$$

(5 bodova)

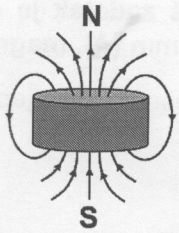
Državno natjecanje iz fizike
Poreč, 10.-13. travnja 2019.

EKSPERIMENTALNI ZADATAK

3. skupina

Pribor: magnet, zaporni sat, drvena ploča s metalnim trakama, konstrukcija kosine, kompas, drvena letva (ili odgovarajući potpornji za manje nagibe kosine), mjerna traka.

Neodimijski magneti, NdFeB, najjači su permanentni magneti. U zadatku se koristi neodimijski magnet u obliku diska. Raspored njegovih magnetskih polova prikazan je na slici:



Prema podacima proizvođača magneta:

magnetska indukcija na površini magneta, u zraku iznosi **B=0,41T**
promjer magneta: **(10** $\pm$ 0,05)**mm**
visina magneta: **(5** $\pm$ 0,05)**mm**
masa magneta je **m=(2,9** $\pm$ 0,1)**g**

1. dio

Napomena: Za vrijeme izvođenja svih mjerenja udaljite metalne objekte od magneta!

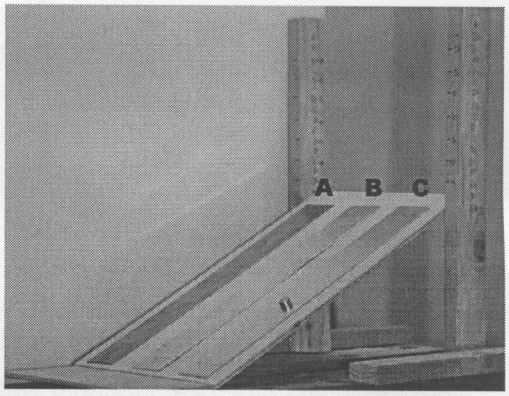
Na drvenu ploču površine 20cm x 31,5cm zalijepljene su tri vodljive trake duljine oko 28 cm i širine oko 4 cm. Traka A je bakrena, debljine 0,6 mm, traka B alumijska, debljine 0,6 mm i traka C aluminijska, debljine 1,5 mm.

Položite dasku na stol. Postavite magnet na traku C (aluminijsku traku debljine 1,5 mm). Magnet postavite tako da se magnet, kad dasku malo nagnete, kotrlja niz aluminijsku traku. Kakvo je gibanje magneta? Kosinu sastavite tako da ispod jednog kraja daske postavite priloženu drvenu letvu. Nagib kosine neka bude što manji. Pokušajte usmjeriti kosinu tako da se magnet kotrlja po pravocrtnoj stazi. Koji uvjet mora biti ispunjen? Obrazložite svoja opažanja uz odgovarajuće skice.

Napomena: Za vrijeme izvođenja mjerenja pazite da na metalnim trakama ne bude nečistoća. Pokušajte puštati magnet uvijek s istog mjesta. Gibanja magneta bi trebala biti kroz sredinu metalne trake.

2. dio

Dasku s metalnim trakama postavite kao na slici. Započnite s najmanjom visinom sastavljene kosine (ukupno je moguće postaviti sedam različitih visina kosine).



Pustite magnet klizati između metalnih traka. *Kako se magnet giba?*

Postavite magnet na bakrenu traku (A) tako da njegov sjeverni pol usmjeren prema gore. Neka u svim vašim mjernjima bude takvo usmjerenje magneta! Pustite magnet da kliže niz kosinu. Ponovite i za stazu B i C.

Na osnovi videosnimki gibanja može se uzeti da se magnet giba stalnom brzinom niz kosinu. Jaki i relativno masivni neodimijski magneti gotovo se od početka gibaju stalnom brzinom niz kosinu.

Eksperimentalna je činjenica da se u ovim slučajevima pojavljuje sila otpora koja je proporcionalna brzini tijela:

$$F = -bv$$

b je koeficijent gušenja koji ovisi o utjecaju magnetske indukcije, električnim svojstvima materijala vodjive trake i njezinoj geometriji (debljini i širini).

1) *Napišite jednadžbu gibanja magneta niz kosinu i odredite kojim se silama djeluje na magnet. Nacrtajte dijagram sila.*

Vaš zadatak je odrediti koeficijente trenja klizanja između magneta i bakra debljine 0,6mm (A), magneta i aluminija 0,6mm (B), magneta i aluminija 1,5mm (C) debljine.

Rješenje vaše jednadžbe gibanja može se prikazati u obliku:

$$v = v_g(1 - e^{-\gamma t})$$

gdje su v_g i γ :

$$v_g = \frac{mg}{b}(sin\varphi - \mu cos\varphi)$$

$$\gamma = \frac{b}{m}$$

v_g je granična brzina. Magnet ovu brzinu postiže vrlo brzo i možemo u našim mjerenjima pretpostaviti da se magnet giba upravo ovom brzinom niz kosinu.

2) *Objasnite uzrok ovakvom gibanju magneta. O kakvoj se pojavi ovdje radi? Obrazloženje popratite i odgovarajućim skicama.*

Napomena:

Potrebno je izvesti veći broj mjerenja, a na osnovi promatranja gibanja magneta odaberite nizove od pet mjerenja.

Za akceleraciju sile teže uzeti vrijednost g = 9,81 ms^{-2}.

3) *Odredite granične brzine za slučajeve klizanja niz staze A, B i C za sedam različitih nagiba. Izvedite jednostavniju procjenu točnosti mjerenja.*
4) *Prikažite grafičku ovisnost granične brzine o sinusu kuta nagiba kosine (graf - v_g, $sin\varphi$).*
5) *Na osnovi izraza za graničnu brzinu i vaših mjerenja odredite faktore trenja (što jednostavnije) za slučajeve gibanja magneta na stazi A, B i C.*
6) *Odredite koeficijente gušenja b za gibanje magneta niz staze A, B i C za pet proizvoljno odabrane nagibe staza. Što možete zaključiti?*
7) *Na osnovi izraza $\gamma = \frac{b}{m}$ procijenite koliko je vremena potrebno da magnet postigne 99% granične brzine.*
8) *Usporedite električnu otpornost bakrenog vodiča debljine 0,6 mm i aluminijskog vodiča debljine 0,6 mm.*
9) *Usporedite koeficijente gušenja b, aluminijskih vodiča debljine 0,6 mm i 1,5 mm.*
10) *Što je sve uvjetovalo točnost vaših mjerenja?*

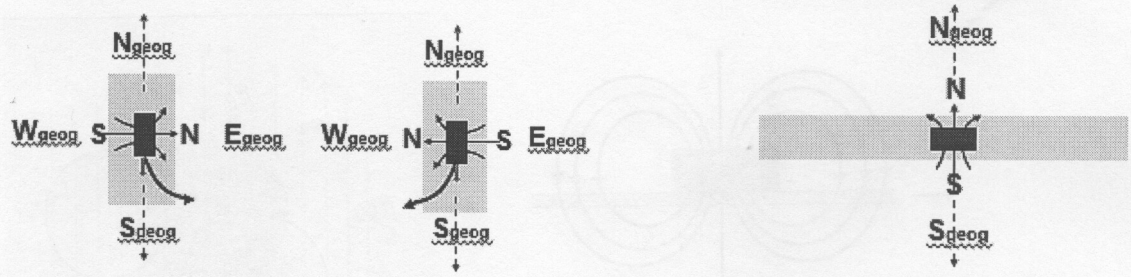
Državno natjecanje iz fizike
Poreč, 10.-13. travnja 2019.

RJEŠENJE EKSPERIMENTALNOG ZADATKA

3. skupina

1. dio

Ako nasumično usmjerimo kosinu opazit će se zakretanje magneta sa pravocrtne staze, ulijevo ili udesno, u ovisnosti o tome kako su usmjereni njegovi magnetski polovi u odnosu na geografske polove (Zemljine magnetske polove):



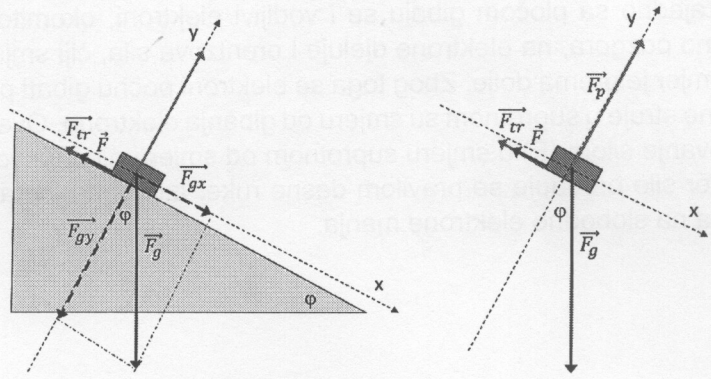
Da bi što je više moguće smanjili na najmanju moguću mjeru značajan zakretni moment na disk zbog utjecaja Zemljinog magnetskog polja, usmjerenje magneta mora biti takvo da se poklapa sa geografskim polovima.

3 boda

2. dio

1. ***Napišite jednadžbu gibanja magneta niz kosinu i odredite kojim se silama djeluje na magnet. Nacrtajte dijagram sila.***

$$m\vec{a} = \vec{F_g} + \vec{F_{tr}} + \vec{F} + \vec{F_p}$$



Djelovanja na magnet koji klizi niz kosinu:

F_g - sila teže , F_{tr} - sila trenja, F- sila otpora (gušenja), F_p – reakcija podloge

Jednadžba gibanja: $ma = mgsin\varphi - \mu mgcos\varphi - bv$ **3 boda**

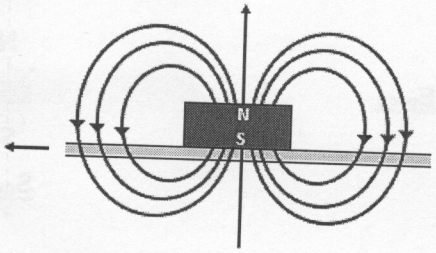
2) *Objasnite uzrok ovakvom gibanju magneta. O kakvoj se pojavi ovdje radi? Obrazloženje popratite i odgovarajućim skicama.*

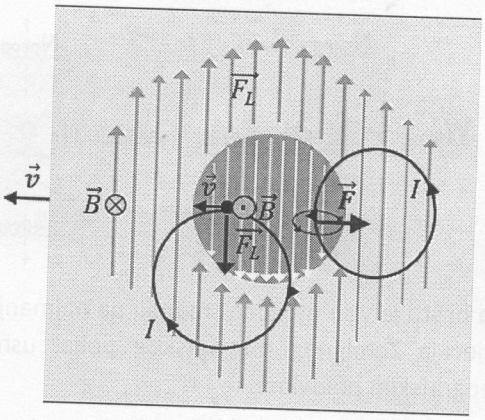
Uzrok vrtložnim strujama je elektromagnetska indukcija. Potrebna magnetska polja mogu biti promjenjiva u vremenu ili polja koja se ne mijenjaju tijekom vremena.

U ovom zadatku razmatraju se vrtložne struje koje su nastale u vremenski neporomjenjivim magnetskim poljima. Vrtložne struje nastaju samo ako se polje i vodljivi materijal u kojem nastaju vrtložne struje, gibaju relativno jedno u odnosu na drugo.

Kada se magnet giba u odnosu na nemagnetičnu vodljivu ploču (primjer aluminij ili bakar) opaža se značajni učinak kočenja prouzrokovanog nastankom vrtložnih struja.

Prema Lenzovom pravilu nastala inducirana struja zbog promjenjiva magnetskog toka stvara takvo polje koje se protivi uzroku svog nastanka. U našem slučaju uzrok je gibanje magneta u odnosu na vodljivu ploču.





Magnet na slici ispod svojeg južnog magnetskog pola koji se nalazi na vodljivoj ploči pokriva područje kružnog oblika u kojem magnetske silnice prolaze u smjeru prema gore kroz vodljivu ploču. Izvan toga je područje u kojem silnice prolaze u suprotnom smjeru. Kada se magnet giba po ploči nastaje promjenjivi magnetski tok.

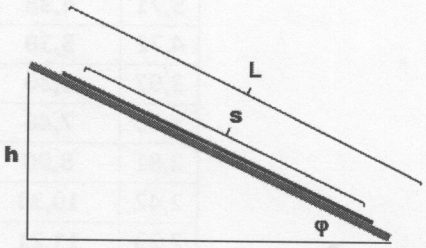
Jednostavnije je razmotrit situaciju kada se ploča giba u odnosu na magnet kako je prikazano na slikama. Zajedno sa pločom gibaju se i vodljivi elektroni, okomito na smjer magnetskih silnica. Gledano odzgora, na elektrone djeluje Lorentzova sila, čiji smjer se utvrđuje pravilom desne ruke. Smjer je prema dolje. Zbog toga se elektroni počnu gibati po zatvorenim stazama. Nastale vrtložne struje u suprotnom su smjeru od gibanja elektrona. Ove struje u polju magneta uzrokuju djelovanje silom (F) u smjeru suprotnom od smjera gibanja vodljive ploče i dolazi do kočenja . Smjer sile određuje se pravilom desne ruke. Izvan magneta je polje slabije pa je i Lorentzova sila na slobodne elektrone manja.

3 boda

3) *Odredite granične brzine za slučajeve klizanja niz staze A, B i C za sedam različitih nagiba. Izvedite jednostavniju procjenu točnosti mjerenja.*

L=31,5cm

r.b.	h/cm	sinφ=h/L	φ/rad	φ/°
1.	15	0,4762	0,50	28,44
2.	17	0,5397	0,57	32,66
3.	19	0,6032	0,65	37,10
4.	21	0,6667	0,73	41,81
5.	23	0,7302	0,82	46,90
6.	25	0,7937	0,92	52,53
7.	27	0,8571	1,03	59,00



Traka A Cu, d=0,6mm

R.br.mj.	t(φ1)/s	t(φ2)/s	t(φ3)/s	t(φ4)/s	t(φ5)/s	t(φ6)/s	t(φ7)/s
1.	5,73	4,78	3,94	3,34	2,81	2,43	2,25
2.	5,75	4,68	3,97	3,31	2,80	2,41	2,22
3.	5,69	4,75	4,01	3,35	2,81	2,40	2,22
4.	5,65	4,65	3,96	3,37	2,85	2,43	2,24
5.	5,73	4,72	3,97	3,38	2,78	2,41	2,22
$\bar{t}$/s	**5,71**	**4,72**	**3,97**	**3,35**	**2,81**	**2,42**	**2,23**
r_m(%)	1,05	1,48	1,01	1,19	1,42	0,83	0,90

Traka B Al, d=0,6mm

R.br.mj.	t(φ1)/s	t(φ2)/s	t(φ3)/s	t(φ4)/s	t(φ5)/s	t(φ6)/s	t(φ7)/s
1.	4,22	3,56	2,94	2,53	2,22	1,87	1,59
2.	4,25	3,56	2,94	2,56	2,16	1,84	1,56
3.	4,22	3,53	2,97	2,53	2,18	1,85	1,62
4.	4,31	3,63	2,93	2,51	2,19	1,84	1,59
5.	4,24	3,62	2,94	2,53	2,19	1,83	1,56
$\bar{t}$/s	**4,25**	**3,58**	**2,94**	**2,53**	**2,19**	**1,85**	**1,58**
r_m(%)	1,41	1,40	1,02	1,18	1,37	1,08	2,53

Traka C Al, d=1,6mm

R.br.mj.	t(φ1)/s	t(φ2)/s	t(φ3)/s	t(φ4)/s	t(φ5)/s	t(φ6)/s	t(φ7)/s
1.	7,6	6,28	5,28	4,53	3,97	3,37	3,00
2.	7,66	6,35	5,35	4,60	3,97	3,44	2,97
3.	7,69	6,37	5,31	4,59	4,03	3,43	3,01
4.	7,6	6,28	5,31	4,57	3,93	3,43	3,03
5.	7,63	6,18	5,33	4,56	3,94	3,43	2,97
$\bar{t}$/s	**7,64**	**6,29**	**5,32**	**4,57**	**3,97**	**3,42**	**3,00**
r_m(%)	0,65	1,75	0,75	0,88	1,51	1,46	1,00

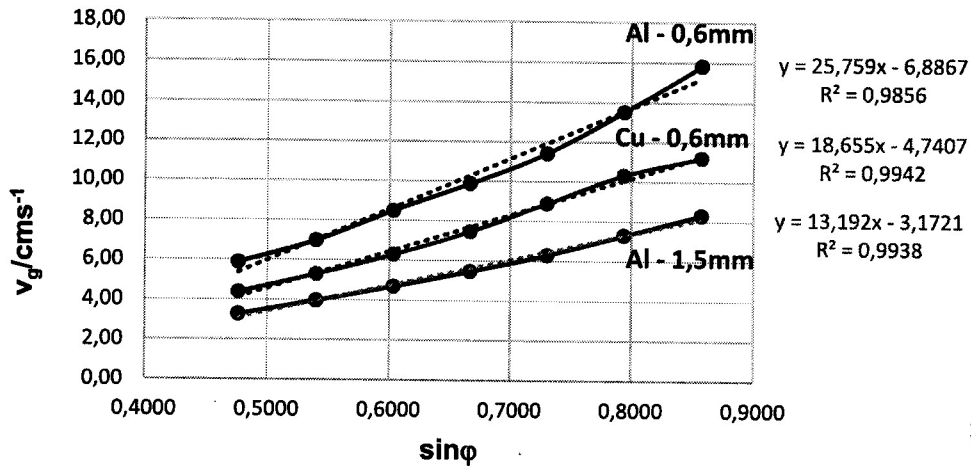
$$v_g = \frac{s}{t}$$

s=25cm

Cu/0,6mm		Al/0,6mm		Al/1,5mm	
t/s	v_g/cm·s^{-1}	t/s	v_g/cm·s^{-1}	t/s	v_g/cm·s^{-1}
5,71	**4,38**	4,25	**5,88**	7,64	**3,27**
4,72	**5,30**	3,58	**6,98**	6,29	**3,97**
3,97	**6,30**	2,94	**8,50**	5,32	**4,70**
3,35	**7,46**	2,53	**9,88**	4,57	**5,47**
2,81	**8,90**	2,19	**11,42**	3,97	**6,30**
2,42	**10,33**	1,85	**13,51**	3,42	**7,31**
2,23	**11,21**	1,58	**15,82**	3,00	**8,33**

5 bodova

4) Prikažite grafičku ovisnost granične brzine o sinusu kuta nagiba kosine (graf - v_g, sinφ).



3 boda

5) Na osnovi izraza za graničnu brzinu i vaših mjerenja odredite faktore trenja (što jednostavnije) za slučajeve gibanja magneta na stazi A, B i C.

Faktor trenja klizanja:

podijelimo jednadžbe i eliminiramo koeficijent gušenja b:

$$v_{g2} = \frac{mg}{b}(sin\varphi_2 - \mu cos\varphi_2)$$

$$v_{gi} = \frac{mg}{b}(sin\varphi_i - \mu cos\varphi_i)$$

Koeficijent trenja se može odrediti iz izraza:

$$\mu = \frac{v_i sin\varphi_2 - v_2 sin\varphi_i}{v_i cos\varphi_2 - v_2 cos\varphi_i}$$

Indeks i predstavlja vrijednosti za kuteve φ_3, φ_4, φ_6, φ_7 i odgovarajuće granične brzine (tablica).

Uzete su vrijednosti za područja u kojima su najmanja odstupanja.

	$\mu(A)$	$\mu(B)$	$\mu(C)$
	0,16	0,25	0,21
	0,19	0,24	0,18
	0,21	0,26	0,22
$\bar{\mu}$	**0,18**	**0,25**	**0,20**
$\Delta\mu_m$	0,03	0,01	0,02
r_m	17%	4%	9,9%

Faktor trenja za magnet i vodljive plohe:

Cu, d=0,6mm: **$\mu(A)=(0,18 \pm 0,03)$**

Al, d=0,6mm: **$\mu(B)=(0,25 \pm 0,01)$**

Al, d=1,5mm: **$\mu(C)=(0,20 \pm 0,02)$** **3 boda**

6) Odredite koeficijente gušenja b, za gibanje magneta niz staze A, B i C za pet proizvoljno odabrane nagibe staza. Što možete zaključiti?

$$b = \frac{mg}{v_g}(sin\varphi - \mu cos\varphi)$$

φ/°	A Cu, d=0,6mm b/ Nsm^{-1}	B Al, d=0,6mm: b/ Nsm^{-1}	C Al, d=1,5mm: b/ Nsm^{-1}
28,4	0,207	0,124	0,261
32,7	0,208	0,134	0,266
37,1	0,208	0,135	0,269
41,8	0,203	0,138	0,269
46,9	0,194	0,139	0,268
52,5	0,189	0,135	0,262
59	0,194	0,131	0,257
$\bar{b}$/Nsm^{-1}	**0,200**	**0,134**	**0,265**
Δb_m/ Nsm^{-1}	0,012	0,006	0,007
r_m	6%	4%	2,7%

Koeficijent gušenja za dani metal ne ovisi o nagibu staza. **4 boda**

7) Na osnovi izraza $\gamma = \frac{b}{m}$ procijenite koliko je vremena potrebno da magnet postigne 99% granične brzine.

$$v = v_g(1 - e^{-\gamma t}) \Rightarrow \; 0,99 = 1 - e^{-\gamma t} \Rightarrow t = \frac{4,605}{\gamma}$$

	A Cu, d=0,6mm	B Al, d=0,6mm:	C Al, d=1,5mm:
b/ Nsm^{-1}	0,200	0,134	0,265
γ / s^{-1}	68,96	46,21	91,30
t/s	0,07	0,01	0,05

Procjena vremena da se postigne 99% granične brzine je na osnovu srednjih vrijednosti mjerenja. Unatoč tome uočava se, posebno u slučaju aluminija debljine 0,6 mm da je brzina gotovo od samog početka stalna. Tako da je pretpostavka koja se koristila u izračunima opravdana. **2 boda**

8) *Usporedite električnu otpornost bakrenog vodiča debljine 0,6 mm i aluminijskog vodiča debljine 0,6 mm.*

Lorentzova sila F proporcionalna je jakosti vrtložnih struja. Ove struje su veće jakosti kod vodiča manjih omskih otpora. Zato pri jednakom uvjetima (relativnoj brzini gibanja magneta i vodiča, jednakoj geometriji vodiča – debljini i širini trake), sila je gušenja obrnuto proporcionalna specifičnom otporu vodiča. Analogno je koeficijent gušenja obrnto proporcionalan električnoj otpornosti:

$$\frac{\boldsymbol{\rho(Al, 0,6mm)}}{\boldsymbol{\rho(Cu, 0,6mm)}} = \frac{b(Cu, 0{,}6mm)}{b(Al, 0{,}6mm)} = \frac{0{,}200}{0{,}134} \approx \mathbf{1,49}$$

Odstupanje u odnosu na teorijske podatke iznosi oko 5%. **2 boda**

9) *Usporedite koeficijente gušenja b, aluminijskih vodiča debljine 0,6 mm i 1,5 mm.*

$$\frac{b(Al, 1{,}5mm)}{b(Al, 0{,}6\,mm)} = \frac{0{,}265}{0{,}134} \approx 2$$ **1 bod**

10) *Što je sve uvjetovalo točnost vaših mjerenja?*

- moguća manja oštećenja na površini vodiča i tragovi nečistoća
- pri manjim kutevima nagiba više dolaze do utjecaja nehomogenosti i moguće nepravilnosti na površini materijala
- tijekom klizanja zbog tih nepravilnost moguće su manja zaktretanja magneta. Ovakva mjerenja treba ponoviti.
- magnetska polja su tek približno homogena
- gibanja blizu rubova traka (rubni efekti)
- poteškoće u što točnijem očitavanju vremenskih intervala... **1 bod**