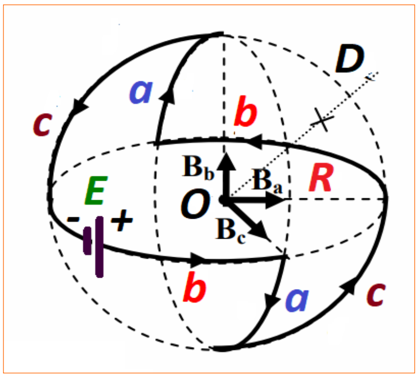
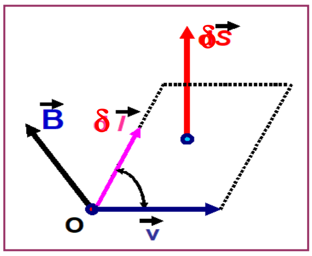
BAREM DE EVALUARE ȘI NOTARE

	Parţial	Punctaj
Barem subiectul I : *Electromagnetismul … și geometria sferică*		10 p
I A. – *Inducția magnetică … în centrul unei ”sfere” …*		**3 p**
Se știe că o spiră circulară parcursă de curentul staționar I creează un câmp magnetic de inducție $\vec{B}$ cu mărimea $B=\dfrac{\mu_0 I}{2R}$ în centrul spirei; direcția si sensul vectorului $\vec{B}$ sunt date de regula burghiului drept. În cazul nostru sunt trei jumătăți de spire (fiecare compusă din două sferturi de spiră), caz în care mărimea câmpului magnetic	**0,80 p**	**3 p**
produs de fiecare jumătate de spiră în centrul sferei are valoarea $B=\dfrac{\mu_0 I}{4R}$.	**0,60 p**	
În figura alăturată se prezintă câmpul magnetic de inducție $\vec{B}_a$, creat împreună de cele două arce „**a**”, precum și câmpurile magnetice de inducție $\vec{B}_b$ și $\vec{B}_c$ create de arcele „**b**” și respectiv „**c**”. Vectorii inducție magnetică sunt reciproc perpendiculari. 	**0,60 p**	
Câmpul magnetic total $\vec{B}$, va avea valoarea $B=\sqrt{B_a^2+B_b^2+B_c^2}=\dfrac{\mu_0\cdot I}{4R}\cdot\sqrt{3}$ și va fi direcționat pe linia punctată OD (din desen), aflată pe diagonala mare a cubului format de vectorii $\vec{B}_a$, $\vec{B}_b$ și $\vec{B}_c$.	**1 p**	

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul final va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu ponderea ideilor corecte din rezolvarea elevului.

MINISTERUL EDUCAȚIEI
Olimpiada Națională de Fizică
Brașov 21-26 aprilie 2024
Proba teoretică
Clasa a XI-a

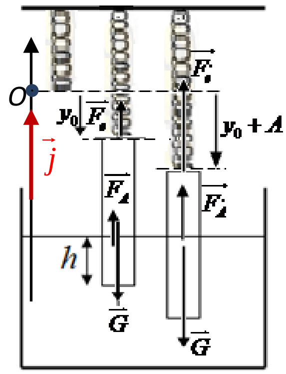
BAREM DE EVALUARE ȘI NOTARE

I B. ... *Sferă rotitoare în câmp magnetic*		**7 p**
1. Conform legii inducției electromagnetice a lui Faraday: $\delta e = -\vec{B}\cdot\frac{\delta\vec{S}}{\delta t} = -\vec{B}\cdot\frac{\vec{v}\delta t\times\delta\vec{l}}{\delta t} = \vec{B}\cdot\left(\delta\vec{l}\times\vec{v}\right) = \delta\vec{l}\cdot\left(\vec{v}\times\vec{B}\right)$	**3 p**	**7 p**
Două puncte de contact **A** și **B** aflate pe un meridian delimitează pe sferă un arc de cerc conductor. Acest arc conductor și restul de arc conductor care completează meridianul pe care află **A** și **B** generează prin rotație o suprafață prin care variază câmpul magnetic. Astfel apare t.e.m indusă între **A** și **B**. Valoarea acesteia se obține însumând contribuțiile infinitezimale *de* între **A** și **B**. Cele 2 puncte pot fi alese in orice poziții pe suprafața sferei. 	**1 p**	
2.a) Tensiunea dintre un polul **N** al sferei conductoare și ***M*** este: $e_{NM} = \frac{B_0\cdot\omega\cdot R^2}{2}$. Intensitatea curentului electric indicată de ampermetru cu rezistența internă r_A legat între ***N*** și ***M*** este: $I_{NM} = \frac{B_0\cdot\omega\cdot R^2}{2r_A}$.	**1 p**	
b) Tensiunea dintre polii sferei conductoare: $e_{NS} = 0$, deoarece $\theta = \pi = 180°$, deci intensitatea curentului indicat de ampermetru este nulă ($I_{NS} = 0$) .	**1 p**	
3. Datorita rotației, electronii vor fi accelerați în sistemul de referință neinerțial al sferei în rotație. Aceștia vor fi acumulați într-o fâșie centrată pe ecuator. Astfel o t.e.m. va fi colectată între 2 puncte aflate la latitudini diferite.	**1 p**	

Bareme propuse de:
prof. dr. **Luciu ALEXANDRESCU**, *Centrul Județean de Excelență, Brașov* ;
prof. **Dumitru ANTONIE**, *Colegiul Tehnic nr.2 din Târgu* **–** *Jiu*;
prof. **Florin MORARU**, *Colegiul Național „Nicolae Bălcescu" din Brăila*;
Coordonator: Conf. univ. dr. **Tiberius O. CHECHE**, *Facultatea de Fizică, Universitatea din București.*

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul final va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu ponderea ideilor corecte din rezolvarea elevului.

BAREM DE EVALUARE ȘI NOTARE

		Parţial	Punctaj
Barem subiectul II : ***Oscilații diverse*** **...**			**10 p**
II A. – ***Cilindru oscilant*** **...**			**4 p**
A	**a.** La echilibru $m\cdot g = F_A + F_e$ $m\cdot g = k\cdot y_0 + \rho\cdot g\cdot S\cdot h$ $h = \frac{m\cdot g - k\cdot y_0}{\rho\cdot g\cdot S}$ $h = \frac{0,02\cdot 10 - 1\cdot 0,1}{1000\cdot 10^{-4}\cdot 10}\ \text{m} = 0,1\ \text{m}$  	**0,20p** **0,40p** **0,20p** **0,20p**	**1 p**
	b. Teorema de variaţie a energiei cinetice starea iniţială fiind cea când cilindrul pleacă din starea de echilibru cu viteza v şi starea finală când cilindrul se opreşte după parcurgerea distanţei A $\Delta E_C = L_G + L_{F_e} + L_{F_A}$	**0,20p**	**2 p**
	$\Delta E_C = -\frac{mv^2}{2}$		
	$L_G = -\Delta U_G = -\left[-mg\left(y_0 + A\right) - \left(-mgy_0\right)\right] = mgA$	**0,40p**	
	$L_{F_e} = -\Delta U_e = -\left[\frac{k}{2}\left(y_0 + A\right)^2 - \frac{k}{2}{y_0}^2\right]$		
	$L_{F_A} = \int \overrightarrow{F_A}\cdot\overrightarrow{\mathrm{d}y} = \int F_A \mathrm{d}y\cdot\cos\pi = -\int F_A \mathrm{d}y$	**0,60p**	
	$F_A\left(y\right) = \rho Sg\cdot y$		
	$L_{F_A} = -\int_h^{h+A} \rho Sg\cdot y\mathrm{d}y = -\rho Sg\left[\frac{\left(h+A\right)^2}{2} - \frac{h^2}{2}\right]$		
	$L_{F_A} = -\frac{\rho Sg}{2}\left[\left(h+A\right) - h\right]\left[\left(h+A\right) + h\right] = -\rho Sg\frac{A^2}{2} - \rho Sgh$		

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul final va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu ponderea ideilor corecte din rezolvarea elevului.

BAREM DE EVALUARE ȘI NOTARE

	$-\frac{mv^2}{2}=mgA-\left[\frac{k}{2}\left(y_0+A\right)^2-\frac{k}{2}{y_0}^2\right]-\rho Sg\frac{A^2}{2}-\rho Sgh$ $-\frac{mv^2}{2}=mgA-\rho Sg\frac{A^2}{2}-\rho Sgh-\left[\frac{k}{2}\left(y_0+A\right)^2-\frac{k}{2}{y_0}^2\right]$		
	$mv^2=\left(k+\rho Sg\right)A^2+2A\left(ky_0+\rho Sg-mg\right)$	**0,40p**	
	$\left(ky_0+\rho Sgy_0-m\cdot g\right)=0$		
	$mv^2=\left(k+\rho Sg\right)A^2$	**0,40p**	
	$A=\sqrt{\frac{mv^2}{k+\rho Sg}}$		
	$A=0{,}05\ \text{m}$		
	c. $m\ddot{\vec{y}}=m\vec{g}+\vec{F}_e+\vec{F}_A$ unde $\vec{y}=-\left(y_0+x\right)\cdot\vec{j}$	**0,20p**	**1 p**
	$\vec{F}_e=k\left(y_0+x\right)\cdot\vec{j}$		
	$\vec{F}_A=\rho Sg\left(h+x\right)\cdot\vec{j}$		
	$-m\ddot{x}=k(y_0+x)-mg+\rho Sg\left(h+x\right)$		
	$m\ddot{x}+kx+\rho Sgx+ky_0+\rho Sgh-mg=0$	**0,20p**	
	$ky_0+\rho Sgh-mg=0$		
	$m\ddot{x}+kx+\rho Sgx=0$		
	$\ddot{x}+\frac{(k+\rho Sg)}{m}\cdot x=0$	**0,20p**	
	$\omega=\sqrt{\frac{k+\rho\cdot S\cdot g}{m}}$		
	$\omega=10\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$		
	Legea de mişcare $x\left(t\right)=A\cos\left(\omega t+\varphi\right)$	**0,20p**	
	Din condiţiile iniţiale		

BAREM DE EVALUARE ȘI NOTARE

	$x(0)=0 \Rightarrow x(0)=A\cos\varphi=0 \Rightarrow \varphi=\frac{\pi}{2}$ $\dot{x}(0)=-\mathrm{v}=-\omega A\sin\frac{\pi}{2} \Rightarrow \mathrm{v}=\omega A$		
	$x(t)=\frac{v}{\omega}\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)=-\frac{v}{\omega}\sin\omega t$		
	$v(t)=\dot{x}(t)=-v\cos\omega t$		
	La momentul $t=\pi/10$ s $v=-0,5\cdot\cos(10\cdot\pi/10)$ m/s $v=0,5$ m/s și corpul se află în urcare.	**0,20p**	
	II B. – ***Moduri de oscilație*** **...**		**6 p**
	a) Ecuațiile de mișcare: $m\ddot{x}_1=-kx_1+bm(\dot{x}_2-\dot{x}_1)$ si $\ddot{x}_1-b(\dot{x}_2-\dot{x}_1)+\omega_0^2x_1=0$ $m\ddot{x}_2=-kx_2-bm(\dot{x}_2-\dot{x}_1)$ si $\ddot{x}_2+b(\dot{x}_2-\dot{x}_1)+\omega_0^2x_2=0$	**1 p**	**6 p**
	b) Adunăm ecuațiile și obținem: $\frac{d^2(x_1+x_2)}{dt^2}+\omega_0^2(x_1+x_2)=0$ sau $\ddot{q}_1+\omega_0^2q_1=0$, unde $q_1=x_1+x_2$, o ecuație de oscilator liniar armonic cu soluție de forma $q_1=A_1\cos(\omega_0t+\alpha_1)$.	**0.75 p**	
	Scădem ecuațiile și obținem: $\frac{d^2(x_2-x_1)}{dt^2}+2b\frac{d(x_2-x_1)}{dt}+\omega_0^2(x_2-x_1)=0$ sau $\ddot{q}_2+2b\dot{q}_2+\omega_0^2q_2=0$, unde $q_2=x_2-x_1$, care are soluția $q_2=A_2e^{-bt}\cos(\omega' t+\alpha_2)$, cu $\omega'=\sqrt{\omega_0^2-b^2}$.	**0.75 p**	

BAREM DE EVALUARE ȘI NOTARE

	Deci $x_1(t)=\frac{q_1-q_2}{2}=\frac{1}{2}\left[A_1\cos(\omega_0 t+\alpha_1)-A_2 e^{-bt}\cos(\omega' t+\alpha_2)\right]$ $x_2(t)=\frac{q_1+q_2}{2}=\frac{1}{2}\left[A_1\cos(\omega_0 t+\alpha_1)+A_2 e^{-bt}\cos(\omega' t+\alpha_2)\right]$ și corpurile pot oscila astfel încât oscilațiile lor sunt combinații liniare de oscilații care au frecvențele ω_0 și ω'.	**0.5 p**	
	c) Pentru $x_1(0)=x_2(0)=A>0$ (un resort întins, celălalt comprimat) și $\dot{x}_1(0)=\dot{x}_2(0)=0$ (corpurile au viteză(relativă) nulă) se obține un sistem de patru ecuații cu soluția $A_1=2A,\ \alpha_1=0, A_2=0$. Corpurile oscilează în fază, *fără amortizare*, după legea: $x_1(t)=x_2(t)=A\cos(\omega_0 t)$. Pentru $x_1(0)=-x_2(0)=A>0$ (ambele resorturi comprimate sau alungite) și $\dot{x}_1(0)=\dot{x}_2(0)=0$ (corpurile au viteză (relativă) nulă) se obține un sistem de patru ecuații. Soluția sistemului este $A_1=0,\ \alpha_2=\mathrm{arctg}(-b/\omega'),\ 2A=-A_2\cos\alpha_2$. Dacă $\alpha_2\in(\pi/2,\ \pi)$, atunci $A_2=2A\omega_0/\omega'>0$ și corpurile oscilează în antifază, *cu amortizare*, după legea: $x_1(t)=-x_2(t)=-\frac{A\omega_0 e^{-bt}}{\omega'}\cos[\omega' t+\alpha_2]$.	**1.5 p** **1.5 p**	

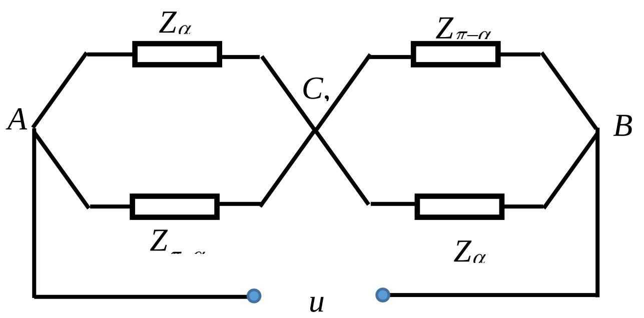
Bareme propuse de:
prof. dr. **Luciu ALEXANDRESCU**, *Centrul Județean de Excelență, Brașov* ;
prof. **Dumitru ANTONIE**, *Colegiul Tehnic nr.2 din Târgu – Jiu*;
prof. **Florin MORARU**, *Colegiul Național „Nicolae Bălcescu" din Brăila*;
Coordonator: Conf. univ. dr. **Tiberius O. CHECHE**, *Facultatea de Fizică, Universitatea din București.*

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul final va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu ponderea ideilor corecte din rezolvarea elevului.

BAREM DE EVALUARE ȘI NOTARE

	Parţial	Punctaj
Barem subiectul III : ***Circuit de curent alternativ sinusoidal***		10 p

a) Schema echivalentă:



1 p

Pentru fiecare arc de cerc α și π- α, impedantele complexe sunt:

$$\bar{Z}_\alpha = R\alpha r_0 + j\omega R\alpha L_0 = R\alpha\left(r_0 + j\omega L_0\right)$$

$$Z_\alpha = \frac{\pi\sqrt{2}}{4}\ \Omega$$

1 p

10 p

$$\bar{Z}_{\pi-\alpha} = R\left(\pi-\alpha\right)r_0 + j\omega R\left(\pi-\alpha\right)L_0 = R\left(\pi-\alpha\right)\left(r_0 + j\omega L_0\right)$$

$$Z_{\pi-\alpha} = \frac{3\pi\sqrt{2}}{4}\ \Omega$$

1 p

b) Circuitul este echivalent cu doua impedanțe $\bar{Z}_p$ identice, legate in serie. $\bar{Z}_p$ este echivalent cu impedanțele $\bar{Z}_\alpha$ si $\bar{Z}_{\pi-\alpha}$ legate in paralel. Obținem:

$$\bar{Z} = 2\bar{Z}_p = 2\frac{\bar{Z}_\alpha \bar{Z}_{\pi-\alpha}}{\bar{Z}_\alpha + \bar{Z}_{\pi-\alpha}} = 2\underbrace{\frac{R\alpha\left(\pi-\alpha\right)}{\pi}}_{A}\left(r_0 + j\omega L_0\right)$$

2 p

$$= A\left(r_0 + j\omega L_0\right) = A\sqrt{r_0^2 + \omega^2 L_0^2}\, e^{j\varphi}$$

cu $\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L_0}{r_0}$

0.5 p

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul final va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu ponderea ideilor corecte din rezolvarea elevului.

BAREM DE EVALUARE ȘI NOTARE

Impedanţa reală $Z = A\sqrt{r_0^2 + \omega^2 L_0^2} = 2\dfrac{R\alpha(\pi - \alpha)}{\pi}\sqrt{r_0^2 + \omega^2 L_0^2} = \dfrac{3\pi}{8}\sqrt{2}\ \Omega$	1 p	
şi defazajul $\mathrm{tg}\varphi = \dfrac{\omega L_0}{r_0} = 1$ $\varphi = \pi/4$	0,50 p	
c) $\bar{u} = \sqrt{2}Ue^{j\omega t}$ $\bar{i} = \dfrac{\bar{u}}{\bar{Z}} = \dfrac{\sqrt{2}Ue^{j\omega t}}{A\sqrt{r_0^2 + \omega^2 L_0^2}e^{j\varphi}} = \dfrac{\sqrt{2}U}{A\sqrt{r_0^2 + \omega^2 L_0^2}}e^{j(\omega t - \varphi)}$	1 p	
$p = ui = 2UI\cos\omega t\cos(\omega t - \varphi)$	1 p	
$p = \dfrac{2U^2}{A\sqrt{r_0^2 + \omega^2 L_0^2}}\cos\omega t\cos(\omega t - \varphi)$	0.5 p	
$p = \dfrac{2U^2}{A\sqrt{r_0^2 + \omega^2 L_0^2}}\cos\omega t(\cos\omega t\cos\varphi + \sin\omega t\sin\varphi)$ .... $\xrightarrow{t=1/100\,\mathrm{s}} \dfrac{800}{3\pi}\mathrm{W}$	0.5 p	

Bareme propuse de:
prof. dr. **Luciu ALEXANDRESCU**, *Centrul Județean de Excelență, Brașov* ;
prof. **Dumitru ANTONIE**, *Colegiul Tehnic nr.2 din Târgu* **–** *Jiu*;
prof. **Florin MORARU**, *Colegiul Național „Nicolae Bălcescu" din Brăila*;
Coordonator: Conf. univ. dr. **Tiberius O. CHECHE**, *Facultatea de Fizică, Universitatea din București.*