Subiectul 1

Interferenţă multiplă – lama Lummer-Gehrcke

<table>
<tr><th>Barem de notare</th><th>Parţial</th><th>Total</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>10</td></tr>
<tr><td>a) Pentru radiaţie monocromatică, intensitatea luminoasă obţinută prin suprapunerea a N fascicule succesive, egal defazate cu $\Delta\varphi$, este maximă atunci când este satisfăcută condiţia:
$$\frac{\Delta\varphi}{2}=k\pi$$
Altfel spus diferenţa de drum optic dintre două fascicule consecutive trebuie să îndeplinească condiţia:
$$\Delta r = 2nd\cos r = k\lambda$$
k fiind un număr întreg.</td><td>1p</td><td rowspan="3">2,5p</td></tr>
<tr><td>Când fasciculele luminoase succesive părăsesc lama aproape paralel cu feţele acesteia unghiul de incidenţă la suprafaţa sticlă-aer este apropiat de unghiul limită, corespunzător reflexiei totale:
$$r \cong \arcsin\frac{1}{n} = 45^\circ$$</td><td>1p</td></tr>
<tr><td>Pentru $r = 45^\circ$ obţinem:
$$k=\frac{2nd\cos r}{\lambda}=8\cdot 10^4$$</td><td>0,5p</td></tr>
<tr><td>b) Creşterea lungimii de undă implică scăderea ordinului de interferenţă. Pentru ca maximul de ordinul k_1 al radiaţiei cu lungimea de undă $(\lambda+\Delta\lambda)$ să se suprapună peste maximul de ordinul (k_1+1) al radiaţiei cu lungimea de undă λ trebuie îndeplinite condiţiile:
$$\begin{cases} 2nd\cos r = (k_1+1)\lambda \\ 2nd\cos r = k_1(\lambda+\Delta\lambda) \end{cases}$$</td><td>1p</td><td rowspan="3">2,5p</td></tr>
<tr><td>Putem scrie:
$$\frac{2nd\cos r}{\lambda}-\frac{2nd\cos r}{\lambda+\Delta\lambda}=1$$
$$2nd\cos r\left(\frac{1}{\lambda}-\frac{1}{\lambda+\Delta\lambda}\right)\cong 2nd\cos r\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2}=1$$
şi obţinem:
$$d=\frac{\lambda^2}{2n(\Delta\lambda)\cos r}.$$</td><td>1p</td></tr>
<tr><td>$d \cong 3{,}12\,\text{cm}$</td><td>0,5p</td></tr>
</table>

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultat va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporţional cu conţinutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.

<table>
<tr><td>

c) La suprapunerea a N fascicule succesive egal defazate cu $\Delta\varphi$, condiţia de obţinere a unei intensităţi luminoase minime se obţine din faptul că:

$\sin\left(\frac{N\Delta\varphi}{2}\right)=0$, dar $\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)\neq 0$, respectiv $N\frac{\Delta\varphi}{2}=p\pi$ şi $\frac{\Delta\varphi}{2}\neq k\pi$.

Obţinem condiţia:

$$\frac{\Delta\varphi}{2}=\left\{\frac{1}{N}\pi,\frac{2}{N}\pi,\frac{3}{N}\pi,\ldots,\frac{N-1}{N}\pi\right\}+k\pi$$

$p=1,2,3,\ldots,(N-1)$

care poate fi scrisă sub forma :

$$\Delta\varphi=2\left(k+\frac{p}{N}\right)\pi$$

Altfel spus diferenţa de drum optic dintre două fascicule consecutive trebuie să îndeplinească condiţia:

$$\Delta r=\left(k+\frac{p}{N}\right)\lambda$$

</td><td>1,5p</td><td rowspan="4">**4p**</td></tr>
<tr><td>

Pentru acelaşi ordin k, suprapunerea maximului pentru radiaţia cu lungimea de undă $\lambda+\Delta\lambda$ peste primul minim adiacent al radiaţiei cu lungimea de undă λ, necesită îndeplinirea condiţiei:

$$2nd\cos r=k(\lambda+\Delta\lambda)=\left(k+\frac{1}{N}\right)\lambda$$

De aici obţinem:

$$\Delta\lambda=\frac{\lambda}{kN}\quad(*)$$

</td><td>1p</td></tr>
<tr><td>

Două fascicule vecine, consecutive, ies prin faţa lamei la distanţa $x=2(d\cdot tgr)$ unul de altul.

Pe lungimea $L=45\,\text{cm}$ a lamei sunt N locuri de emergenţă, deci numărul de fascicule succesive care ies prin fiecare faţă este:

$$N=\left[\frac{L}{2d\cdot tgr}\right]=11\,\text{fascicule}$$

</td><td>1p</td></tr>
<tr><td>

Din relaţia $(*)$, după calcule, se obţine lărgimea spectrală:

$$\Delta\lambda=5{,}68\cdot 10^{-13}\,\text{m}.$$

</td><td>0,5p</td></tr>
<tr><td>**Oficiu**</td><td>**1p**</td><td>**10p**</td></tr>
</table>

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultat va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporţional cu conţinutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.

Subiectul 2
Produsul a două transformări Lorentz

Barem de notare	Parţial	Total
		10
a)		**3p**
$$T=\frac{T_0}{\sqrt{1-\frac{v_0^2}{c^2}}}$$		
$$T_1=T_0\cdot\frac{c^2-v_0v_1}{\sqrt{\left(c^2-v_o^2\right)\left(c^2-v_1^2\right)}}$$		
b)		**3p**
$$V_1=\sqrt{V_{1X_1}^2+V_{1Y_1}^2+V_{1Z_1}^2};$$ $$V_{1X_1}=0;\ V_{1Y_1}=\frac{V\cos\theta-v_1}{1-\frac{v_1V\cos\theta}{c^2}};\ V_{1Z_1}=\frac{V\sin\theta}{1-\frac{v_1V\cos\theta}{c^2}}\cdot\sqrt{1-\frac{v_1^2}{c^2}};$$		
$$V_2=\sqrt{V_{2X_2}^2+V_{2Y_2}^2+V_{2Z_2}^2}.$$ $$V_{2X_2}-v_2;$$ $$V_{2Y_2}=\frac{V\cos\theta-v_1}{1-\frac{v_1V\cos\theta}{c^2}}\cdot\sqrt{1-\frac{v_2^2}{c^2}};$$ $$V_{2Z_2}=\frac{V\sin\theta}{1-\frac{v_1V\cos\theta}{c^2}}\cdot\sqrt{1-\frac{v_1^2}{c^2}}\cdot\sqrt{1-\frac{v_2^2}{c^2}};$$		
c)		**3p**
$$\vec{V}_1=\vec{V}_{1Y_1};\ V_1=0{,}96\cdot c;$$		
$$\vec{V}_2=\vec{V}_{2X_2}+\vec{V}_{2Y_2};$$ $$V_2=0{,}97\cdot c;$$ $$\tan\theta_2=\frac{V_{2X_2}}{V_{2Y_2}}=-0{,}78;$$		
Oficiu	**1p**	**10p**

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultat va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporţional cu conţinutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.

Subiectul 3
Modele atomice

Barem de notare	Parţial	Total
		10
a)Din $E=\frac{mv^2}{2}-\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$ și	0,2	**2p**
$\frac{mv^2}{r}=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ rezultă	0,2	
$E=-\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r}$ și	0,2	
$dE=\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r^2}dr$	0,2	
Din $\frac{dE}{dt}=-\frac{\mu_0 e^2 a^2}{6\pi c}$ și		
$a=\frac{v^2}{r}=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m r^2}$ rezultă	0,2	
$dt=-\frac{96\,\pi^3 c^3 \varepsilon_0^3 m^2 r^4}{e^6}dE$	0,2	
Se obține $dt=-\frac{12\,\pi^2\varepsilon_0^2 m^2 r^2 c^3}{e^4}dr$ care prin integrare conduce la	0,4	
$\Delta t=\frac{4\,\pi^2\varepsilon_0^2 m^2 c^3}{e^4}(r_{atom}^3-r_{nucleu}^3)$.	0,2	
$\Delta t\cong 1{,}3\cdot 10^{-11}s$	0,2	
b) În modelul clasic radiația emisă de electron are frecvența egală cu frecvența de rotație în jurul nucleului.	0,2	**1p**
Din $m\omega^2 r=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ și $\omega=2\pi\nu$ rezultă	0,2	
$\nu=\frac{e}{4\pi r}\sqrt{\frac{1}{\pi\varepsilon_0 m r}}$.	0,2	
Pentru $r_{atom}=0{,}5\cdot 10^{-10}$m se obține $\nu_{minim}\cong 7{,}1\cdot 10^{15}Hz$	0,2	
Pentru $r_{nucleu}=1{,}0\cdot 10^{-15}$m se obține $\nu_{maxim}\cong 8{,}0\cdot 10^{22}Hz$.	0,2	
c) Din $E=-\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r}$ și $\nu=\frac{e}{4\pi r}\sqrt{\frac{1}{\pi\varepsilon_0 m r}}$ rezultă $\nu=\frac{4\varepsilon_0}{e^2}\lvert E\rvert\sqrt{\frac{2\lvert E\rvert}{m}}$	1p	**1p**
d) Protonul și electronul se mișcă nerelativist în jurul centrului de masă pe traiectorii circulare de raze $r_e=\frac{MR}{m+M}$ și $r_p=\frac{mR}{m+M}$, unde R reprezintă distanța proton – electron	0,5	**3p**
Condițiile de stabilitate pe traiectorie $M\omega^2 r_p=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$ și $m\omega^2 r_e=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$	0,5	
Condițiile de staționaritate $2\pi r_p=n_1\frac{h}{p_p}$ (3) și $2\pi r_e=n_2\frac{h}{p_e}$	0,5	

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultat va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporţional cu conţinutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.

Barem de notare	Parţial	Total
Rezultă $\frac{mM}{m+M}R\omega^2 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$ și din adunarea momentelor cinetice se obține $\frac{mM}{m+M}\omega R^2 = n\frac{h}{2\pi}$ cu $n \in \mathbb{N}$	0,5	
Din rezolvarea ecuațiilor precedente rezultă $R = n^2\frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi\mu e^2}$	0,4	
și $\omega = \frac{1}{n^3}\frac{\pi\mu e^4}{2\varepsilon_0^2 h^3}$, unde $\mu = \frac{mM}{m+M}$	0,4	
În final $E_n = -\frac{1}{n^2}\frac{\mu e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$	0,2	
e) Numărul de undă al primei linii din seria Balmer satisface relația $\frac{hc}{\lambda_{32}} = E_3 - E_2$	0,2	**1p**
Rezultă $\frac{1}{\lambda_{32}} = \frac{5}{36}\frac{\mu e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c}$,	0,6	
numeric $\frac{1}{\lambda_{32}} = 1{,}53 \cdot 10^6\ m^{-1}$	0,2	
f) Din $h\upsilon_{n+1,n} = E_{n+1} - E_n$ $$\upsilon_{n+1,n} = -\frac{\mu e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}\left(\frac{1}{(n+1)^2} - \frac{1}{n^2}\right) = -\frac{1}{n^2}\frac{\mu e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}\left[\left(1+\frac{1}{n}\right)^{-2} - 1\right]$$ $\upsilon_{n+1,n} = \frac{1}{n^3}\frac{\mu e^4}{4\varepsilon_0^2 h^3}$	0,8	**1p**
$\upsilon_{n+1,n} = \frac{4\varepsilon_0}{e^2}\lvert E_n\rvert\sqrt{\frac{2\lvert E_n\rvert}{m}}$	0,2	
Oficiu	**1p**	**10p**

Barem propus de:
prof. Florin BUTUȘINĂ – Colegiul Național ”Simion Bărnuțiu”, *Șimleu-Silvaniei*
prof. Petrică PLITAN – Colegiul Naţional ”Gh. Şincai”, *Baia Mare*
prof. dr. Mihail SANDU – Liceul Tehnologic de Turism, *Călimăneşti*
prof. Constantin GAVRILĂ – Colegiul Național ”Sfântul Sava”, *București*
prof.dr. Leonaș DUMITRAȘCU – Liceul ”Ștefan Procopiu”, *Vaslui*

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultat va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporţional cu conţinutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.