Concursul Naţional de Fizică „Evrika” ediţia XXV
Martie 2015
BAREM

XII

<table>
<tr><th>Subiect 1.</th><th>Parţial</th><th>Punctaj</th></tr>
<tr><td>1. Barem Subiect 1</td><td></td><td>10</td></tr>
<tr><td>a. Pentru:

$$d_1 - d_2 = n\lambda$$

$$S_1M - S_2M = (n-1)\lambda$$

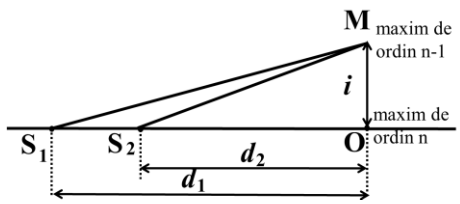


Figura 1</td><td>1,00</td><td rowspan="3">3</td></tr>
<tr><td>unde:

$$S_1M=\sqrt{i^2+d_1^2} \approx d_1\left(1+\frac{1}{2}\frac{i^2}{d_1^2}\right)$$

$$S_2M=\sqrt{i^2+d_2^2} \approx d_2\left(1+\frac{1}{2}\frac{i^2}{d_2^2}\right)$$

</td><td>1,00</td></tr>
<tr><td>Rezultă:

$$i=\sqrt{\frac{2d_1d_2\lambda}{d_1-d_2}}$$

</td><td>1,00</td></tr>
<tr><td>b. Distanţa dintre fronturile de undă, egală cu lungimea de undă, coincide cu interfranja:

$$i=\lambda$$

</td><td></td><td>1</td></tr>
<tr><td>c.
Fronturile de undă se intersectează sub un unghi drept (Figura 2).

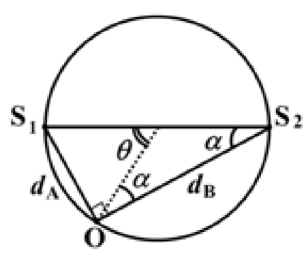


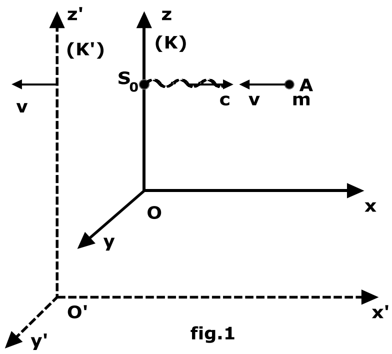
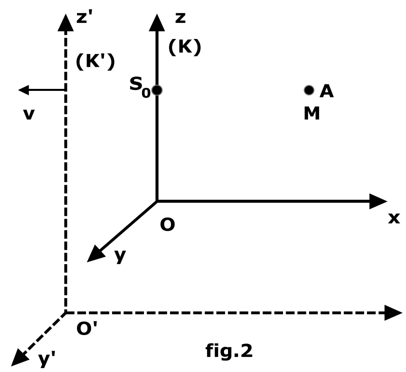
Figura 2
Utilizăm notaţiile

$$d_1 = d_A = S_1S_2 \cdot \sin\alpha = S_1S_2 \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

</td><td>1,00</td><td>5</td></tr>
</table>

$d_2 = d_B = S_1S_2 \cdot \cos\alpha = S_1S_2 \cdot \cos\frac{\theta}{2}$		
Pentru franja de ordinul *n*: $d_A - d_B = n \cdot \lambda$ Pentru franja de ordinul $n+1$: $d_{A1} - d_{B1} = (n+1)\cdot\lambda$	1,00	
Variațiile infinitezimale ale distanțelor d_A și d_B sunt: $\Delta d_A = d_{A1} - d_A = \Delta\left(S_1S_2 \cdot \sin\frac{\theta}{2}\right) = S_1S_2 \cdot \frac{\Delta\theta}{2} \cdot \cos\frac{\theta}{2}$ $\Delta d_B = d_{B1} - d_B = \Delta\left(S_1S_2 \cdot \cos\frac{\theta}{2}\right) = -S_1S_2 \cdot \frac{\Delta\theta}{2} \cdot \sin\frac{\theta}{2}$	1,00	
Din ultimele două relații obținem: $(d_{A1} - d_{B1}) - (d_A - d_B) = S_1S_2 \cdot \frac{\Delta\theta}{2}\left(\sin\frac{\theta}{2} + \cos\frac{\theta}{2}\right) = \lambda$	0,50	
Interfranța i este: $i = \Delta\left(\widehat{d}_A\right) = \Delta\left(\frac{S_1S_2}{2} \cdot \theta\right) = \frac{S_1S_2}{2}\Delta\theta$	1,00	
Rezultă: $i = \dfrac{\lambda}{\sin\frac{\theta}{2} + \cos\frac{\theta}{2}} = \dfrac{\lambda\sqrt{d_1^2 + d_2^2}}{d_1 + d_2}$	0,50	
Oficiu		**1**

Subiect2.	Parțial	Punctaj
2. Barem Subiect 2		**10**
A. Din ecuațiile de mişcare ale navelor spațiale: $F_A = \frac{dp_A}{dt}$ $F_B = \frac{dp_B}{dt}$	0,50	**4,50**
Obținem: $p_A = F_A \cdot t$ $p_B = F_B \cdot t$	0,50	
Dar: $p_A = \frac{v_A \cdot E_A}{c^2} = \frac{v_A \cdot \sqrt{c^2 \cdot p_A^2 + m^2 \cdot c^4}}{c^2}$ $p_B = \frac{v_B \cdot E_B}{c^2} = \frac{v_B \cdot \sqrt{c^2 \cdot p_B^2 + m^2 \cdot c^4}}{c^2}$	0,50	
În urma efectuării calculelor obținem vitezele navelor la momentul t: $v_A = \frac{c \cdot F_A \cdot t}{\sqrt{m^2 \cdot c^2 + F_A^2 \cdot t^2}}$ $v_B = \frac{c \cdot F_B \cdot t}{\sqrt{m^2 \cdot c^2 + F_B^2 \cdot t^2}}$	1,00	
Deoarece: $v_A = \frac{dx_A}{dt}$ $v_B = \frac{dx_B}{dt}$	0,50	
Coordonatele navelor la momentul t sunt: $x_A = \frac{c}{F_A} \cdot \left[\sqrt{m^2 \cdot c^2 + F_A^2 \cdot t^2} - m \cdot c\right]$ $x_B = \frac{c}{F_B} \cdot \left[\sqrt{m^2 \cdot c^2 + F_B^2 \cdot t^2} - m \cdot c\right]$	1,00	

Dacă $F_B = \beta \cdot F_A$ şi $t_A = \beta \cdot t_B$ obţinem: $v_A = v_B$ $x_A = \beta \cdot x_B$	0,50	
B.  fig.1  fig.2 Fie un corp A care are viteza v faţă de sistemul de referinţă inerţial (K) (fig.1). La un moment de timp oarecare el absoarbe un foton de energie **ε**emis de sursa fixă S_0 .În urma absorbţiei, corpul A se opreşte (fig. 2). Vom scrie faţă de (K), pentru sistemul fizic „corpul A + foton”, legile de conservare ale energiei şi impulsului (faţă de Ox): $\boldsymbol{\varepsilon + \gamma mc^2 = Mc^2}$ $\boldsymbol{\frac{\varepsilon}{c} - \gamma mv = 0}$ **m**, **M** fiind masele corpului A înainte şi după absorbţia fotonului, **c** – viteza luminii şi $\boldsymbol{\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}}$, iar $\boldsymbol{\beta = \frac{v}{c}}$.	1,00	**4,50**

Alegem sistemul de referinţă inerţial mobil (K') astfel încât faţă de sistemul de referinţă inerţial (K'), corpul A până la ciocnire să fie în repaus. După absorbţia fotonului, el va avea viteza v. De aceea, faţă de (K') legile de conservare ale energiei şi impulsului se scriu astfel: $\varepsilon' + mc^2 = \gamma Mc^2$ $\frac{\varepsilon'}{c} = \gamma Mv$	1,00	
Din relaţiile de mai sus rezultă $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$	1,00	
Pe de altă parte, din formula efectului Doppler relativist, avem $\frac{\nu'}{\nu} = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$	1,00	
Din ultimele două relaţii rezultă: $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{\nu'}{\nu}$ sau $\frac{\varepsilon}{\nu} = \frac{\varepsilon'}{\nu'}$ Deoarece raportul $\frac{\varepsilon}{\nu}$ este invariant, rezultă că valoarea lui este aceeaşi, indiferent de sistemul de referinţă inerţial din care este măsurat şi prin urmare poate fi notat cu o constantă. Prin tradiţie, această constantă se notează cu **h**şi se numeşte **constanta lui Planck**. Astfel obţinem: $\frac{\varepsilon}{\nu} = h$ de unde $\varepsilon = h\nu$	0,50	
Oficiu		**1**

Subiect 3.	**Parţial**	**Punctaj**
3. Barem Subiect 3		**10**
1.a. Condiţia de maxim Din grafic se vede că pentru unda de referinţă $U_{s,ref} = 2,0\,V$ şi $I_{sat,ref} = 6,0\,\mu A$. Din legea efectului fotoelectric: $$eU_s = E_{c,\max} = h\nu_{ref} - L_{ext} = h\frac{\omega_{ref}}{2\pi} - L_{ext}$$ se vede că tensiunea de stopare depinde numai de ω, deci va rămâne aceeaşi ca şi în cazul de referinţă, adică: $U_{s,1a} = 2,0\,V$	0,50	
Pentru curentul de stauraţie sunt evidente relaţiile de proporţionalitate directă: $$I_{sat} \sim N_{electroni\ emisi} \sim N_{fotoni\ incidenti} \sim \frac{w}{h\nu} \sim \frac{E_0^2}{\omega}$$ unde w este densitatea medie temporală de energie electromagnetică a undei electromagnetice plane, $w = \frac{\varepsilon_0 E_0^2}{2}$. Deci se poate scrie: $$\frac{I_{sat,ref}}{I_{sat,1a}} = \frac{E_0^2/\omega}{E_1^2/\omega} = \left(\frac{E_0}{E_1}\right)^2$$	0,50	**3**
De aici: $I_{sat,1a} = I_{sat,ref}\left(\frac{E_1}{E_0}\right)^2 = \frac{50}{3}\mu A$	0,25	
1b. Din formula (1) se poate calcula L_{ext}: $$L_{ext} = h\frac{\omega_{ref}}{2\pi} - eU_s = 6,83\cdot 10^{-19}\,J$$	0,50	
Prin urmare, pentru noua frecvenţă, tensiunea de stopare devine $$U_{s,1b} = \frac{1}{e}\left(h\frac{\omega'}{2\pi} - L_{ext}\right) = 1,01\,V$$	0,50	
iar din $$\frac{I_{sat,ref}}{I_{sat,1b}} = \frac{E_0^2/\omega}{E_0^2/\omega'} = \frac{\omega'}{\omega}$$	0,50	
Deci $$I_{sat,1b} = I_{sat,ref}\frac{\omega}{\omega'} = 7,13\,\mu A$$	0,25	

2a. Folosind $\cos\alpha\cos\beta=\frac{1}{2}\left[\cos(\alpha+\beta)+\cos(\alpha-\beta)\right]$, rezultă că avem de-a face cu o superpoziţie de două unde: $E(t)=\frac{E_0}{2}\left\{\cos\left[(\omega_1+\omega_2)t+\varphi_1+\varphi_2\right]\right\}+\frac{E_0}{2}\left\{\cos\left[(\omega_1-\omega_2)t+\varphi_1-\varphi_2\right]\right\}$	0,50	
Tensiunea de stopare este determinată de energia cinetică **maximă** a fotoelectronilor emişi, care la rândul ei este determinată de unda cu frecvenţă maximă. Din legea efectului fotoelectric rezultă: $U_{s,2a}=\frac{1}{e}\left(h\frac{\omega_1+\omega_2}{2\pi}-L_{ext}\right)\approx 2{,}1V$	0,50	
iar $I_{sat,2a}\sim N_{fotoni\ incidenti}\sim\frac{w_1}{h(\nu_1+\nu_2)}+\frac{w_2}{h(\nu_1-\nu_2)}\sim\frac{(E_0/2)^2}{\omega_1+\omega_2}+\frac{(E_0/2)^2}{\omega_1-\omega_2}=$ $=\frac{E_0^2}{4}\frac{2\omega_1}{\omega_1^2-\omega_2^2}=\frac{E_0^2\omega_1}{2(\omega_1^2-\omega_2^2)}$ $\frac{I_{sat,2a}}{I_{sat,ref}}=\frac{E_0^2\omega_1}{2(\omega_1^2-\omega_2^2)}\cdot\frac{\omega}{E_0^2}=\frac{\omega\omega_1}{2(\omega_1^2-\omega_2^2)}$	0,50	**3**
de unde $I_{sat,2a}=I_{sat,ref}\frac{\omega\omega_1}{2(\omega_1^2-\omega_2^2)}=3{,}00\mu A$	0,50	
2b. Acum $E(t)=\frac{E_0}{2}\cos\varphi_0+E_0\cos(\omega t+\varphi_0)+\frac{E_0}{2}\cos(2\omega t+\varphi_0)$	0,50	
Neglijăm componenta continuă (adică efectul Schottky – emisia de câmp) şi procedând ca la 2a) aflăm: $U_{s,2b}=\frac{1}{e}\left(h\frac{2\omega}{2\pi}-L_{ext}\right)=11{,}8V$		

<table>
<tr>
<td>

$$\frac{I_{sat,2b}}{I_{sat,ref}}=\frac{E_0^2/\omega+E_0^2/4\cdot 2\omega}{E_0^2/\omega}=\frac{9}{8},$$

de unde $I_{sat,2b}=6,75\mu A$

</td>
<td>0,50</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>

3.1 Prin definiţie $\zeta=\frac{N_{electroni\ emisi}}{N_{fotoni\ incidenti}}=\frac{N_e}{N_f}$

$$N_e=\frac{Q}{e}=\frac{I_{sat}\Delta t}{e}$$

</td>
<td>0,50</td>
<td rowspan="6">3</td>
</tr>
<tr>
<td>

Din $w=\frac{\varepsilon_0 E_0^2}{2}$ rezultă numărul de fotoni din unitatea de volum:

$$n_f=\frac{w}{h\nu}=\frac{\varepsilon_0 E_0^2\cdot 2\pi}{2h\omega}=\frac{\pi\varepsilon_0 E_0^2}{h\omega}$$

</td>
<td>0,50</td>
</tr>
<tr>
<td>

Numărul de fotoni incidenţi pe placă în timpul Δt va fi:

$$N_f=n_f c\Delta t\cdot S\sin\alpha=\frac{\pi\varepsilon_0 E_0^2}{h\omega}Sc\Delta t\sin\alpha$$

</td>
<td>0,50</td>
</tr>
<tr>
<td>

Deci

$$\zeta=\frac{I_{sat}\Delta t}{e}\cdot\frac{h\omega}{\pi\varepsilon_0 E_0^2 Sc\Delta t\sin\alpha}=\frac{h\omega I_{sat}}{\pi e\varepsilon_0 E_0^2 Sc\sin\alpha}$$

Se obţine numeric: $\zeta=5,034\cdot 10^{-3}$

</td>
<td>0,50</td>
</tr>
<tr>
<td>

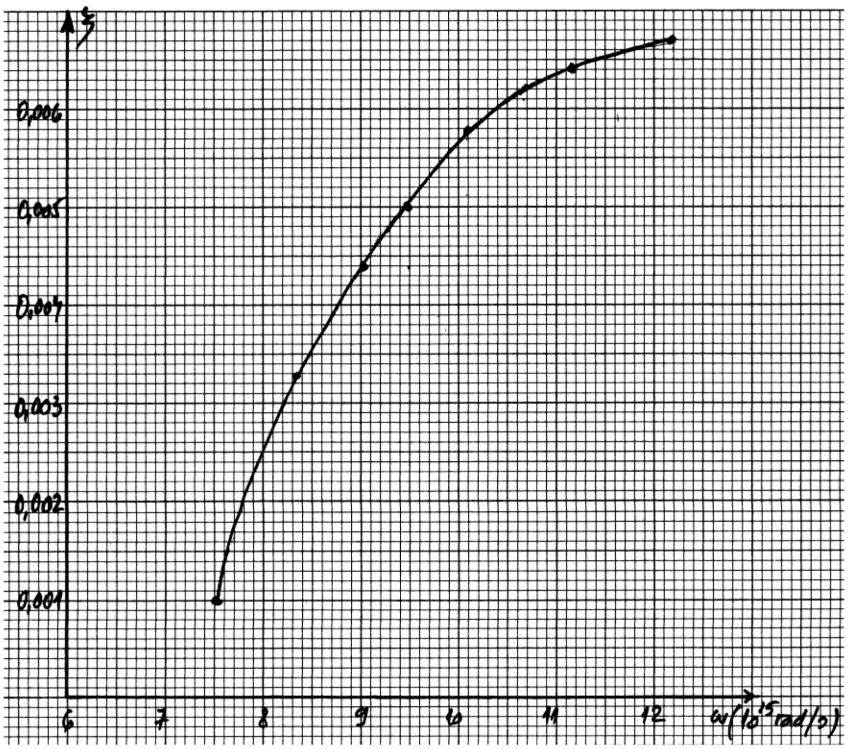
3.2 Din legea efectului fotoelectric, se poate calcula pentru diverse tensiuni de stopare, pulsaţia corespunzătoare a radiaţiei:

$$\omega=\frac{2\pi}{h}\left(eU_s+L_{ext}\right)$$

Apoi, pentru această pulsaţie calculăm randamentul cuantic şi completăm tabelul din enunţ cu încă două coloane. Se obţine:

<table>
<tr><th>Nr. determinării</th><th>U_s(V)</th><th>I_{sat}(μA)</th><th>$\omega\cdot 10^{-15}$(rad/s)</th><th>ζ</th></tr>
<tr><td>1</td><td>0,7</td><td>1,5</td><td>7,53</td><td>0,000976</td></tr>
<tr><td>2</td><td>1,3</td><td>4,5</td><td>8,44</td><td>0,003354</td></tr>
<tr><td>3</td><td>1,7</td><td>5,5</td><td>9,05</td><td>0,004396</td></tr>
<tr><td>4</td><td>2,0</td><td>6,0</td><td>9,50</td><td>0,005034</td></tr>
<tr><td>5</td><td>2,4</td><td>6,5</td><td>10,1</td><td>0,005798</td></tr>
<tr><td>6</td><td>2,8</td><td>6,6</td><td>10,7</td><td>0,006237</td></tr>
<tr><td>7</td><td>3,1</td><td>6,5</td><td>11,2</td><td>0,006429</td></tr>
<tr><td>8</td><td>3,8</td><td>6,3</td><td>12,2</td><td>0,006788</td></tr>
</table>

</td>
<td>0,50</td>
</tr>
</table>

Graficul este cel de mai jos, de pe fig.2. Se observă că randamentul cuantic creşte în domeniul dat de frecvenţe, dar creşterea devine mai lentă pentru frecvenţe mai mari. 	0,50	
Oficiu		**1**

Barem propus de:
Prof. Gabriel FLORIAN, Colegiul Naţional “Carol I” Craiova
Prof. Liviu ARICI, Colegiul Naţional „Nicolae Bălcescu” Brăila