МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
ЕСЕННО НАЦИОНАЛНО СЪСТЕЗАНИЕ ПО ФИЗИКА
София, 07 – 09.11.2025 г.
Тема 11.клас (Пета възрастова група)
Решения и указания

Задача 1. Фотоефект

а) Фотоелектроните се отделят от повърхността на катода с максимална скорост, която се задава от уравнението на Айнщайн

$$E_{\text{к,max}} = h\nu - A_0 \text{, } \textbf{[0,5 т.]}$$

където максималната кинетична енергия на електрона е

$$E_{\text{к,max}} = \frac{mv_{\max}^2}{2} \textbf{ [0,5 т.]}$$

и е изпълнено равенството $\nu = c/\lambda$. Тогава имаме

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = h\frac{c}{\lambda} - A_0 \text{, } \textbf{[0,5 т.]}$$

т.е. получаваме израза

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2}{m}\left(h\frac{c}{\lambda} - A_0\right)} \text{. } \textbf{[0,5 т.]}$$

При ускоряващо напрежение радиусът на петното върху анода се определя от фотоелектроните, които при отделянето си от катода имат вектор на скоростта, насочен успоредно на повърхността на катода. Тогава тяхната начална компонента на скоростта по правата, перпендикулярна към анода, е $v_x = 0$.**[0,5 т.]** Следователно те изминават разстоянието до анода за време

$$t_1 = \sqrt{\frac{2d}{a}} \text{, } \textbf{[0,5 т.]}$$

при което се отклоняват в перпендикулярно направление и попадат върху анода на разстояние

$$R_1 = v_{\max} t_1 \text{. } \textbf{[0,5 т.]}$$

Следователно радиусът на петното върху анода се дава с израза

$$R_1 = \sqrt{\frac{4d}{ma}\left(h\frac{c}{\lambda} - A_0\right)} \text{. } \textbf{[0,5 т.]}$$

б) При задържащо напрежение фотоелектронът трябва да има компонента на скоростта $v_x \neq 0$,**[0,5 т.]** за да е възможно да попадне върху анода. Ще приемем, че векторът на скоростта на отделящия се от катода фотоелектрон сключва ъгъл α с повърхността на катода. **[0,5 т.]** Тогава имаме

$$v_{x,\text{нач.}} = v_{\max}\sin\alpha \text{. } \textbf{[0,5 т.]}$$

Следователно трябва да са изпълнени условията

$$v_{\max}\sin\alpha - at_2 = 0,$$ **[0,5 т.]** $$v_{\max}\sin\alpha . t_2 - \frac{at_2^2}{2} = d,$$ **[0,5 т.]**

където t_2 е времето за достигане на анода. От тези равенства следват изразите:

$$\sin\alpha = \frac{\sqrt{2da}}{v_{\max}},$$ **[0,5 т.]** $$t_2 = \sqrt{\frac{2d}{a}} = t_1 .$$ **[0,5 т.]**

Радиусът R_2 на петното върху анода в този случай е

$$R_2 = (v_{\max}\cos\alpha)t_2 = R_1\sqrt{1 - \frac{2ad}{v_{\max}^2}} < R_1 .$$ **[0,5 т.]**

в) Като използваме последния получен израз можем да запишем

$$\frac{R_2}{R_1} = \sqrt{1 - \frac{mad}{E_{\text{к},\max}}} .$$ **[0,5 т.]**

Тъй като имаме

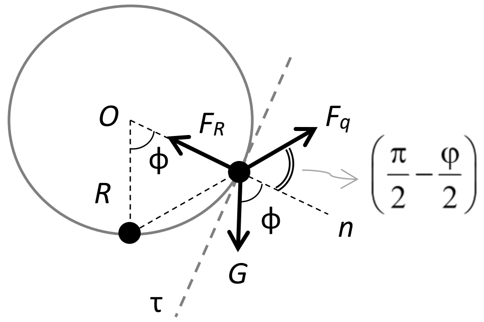
$$ma = q_0\mathcal{E} = \frac{q_0 U}{d},$$ **[0,5 т.]**

за напрежението на източника получаваме

$$U = \frac{1}{q_0}\left[1 - \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2\right]E_{\text{к},\max} = \frac{3}{4q_0}\left(h\frac{c}{\lambda} - A_0\right) \approx 0,36\ \text{V}.$$ **[1 т.]**

Задача 2. Механично равновесие

а) На фиг. 1 са показани силите, които действат на частицата в указаното положение.



Фиг. 1

Това са силата на отблъскване между зарядите F_q,**[0,5 т.]** силата на тежестта G, насочена вертикално надолу, **[0,5 т.]** и силата на реакция на опората F_R, насочена към центъра на окръжността. **[0,5 т.]**

Като отчетем, че

$$F_q = k\frac{q^2}{r^2}$$ **[0,5 т.]**

и израза за разстоянието r между двата заряда

$$r = 2R\sin\frac{\varphi}{2},$$ **[1 т.]**

намираме силата

$$F_q = k\frac{q^2}{4R^2\sin^2(\varphi/2)}.$$ **[0,5 т.]**

Тъй като силата на тежестта е $G = mg$,**[0,5 т.]** а силата на реакция на опората F_R не води до преместване в радиално направление, имаме

$$F_R = mg\cos\varphi + F_q\cos\left(\frac{\pi}{2}-\frac{\varphi}{2}\right) = mg\cos\varphi + k\frac{q^2\sin(\varphi/2)}{4R^2\sin^2(\varphi/2)}.$$ **[1 т.]**

б) Резултантната сила F, която действа по тангенциалното направление, е

$$F(\varphi) = \left|mg\sin\varphi - F_q\cos(\varphi/2)\right| = \left|mg\sin\varphi - k\frac{q^2\cos(\varphi/2)}{4R^2\sin^2(\varphi/2)}\right|.$$ **[1 т.]**

В равновесно положение при $\varphi = \varphi_0$, трябва да е изпълнено условието $F(\varphi_0) = 0$, **[0,5 т.]** т.е. имаме

$$mg\sin\varphi_0 - F_q\cos(\varphi_0/2) = 0.$$ **[0,5 т.]**

Последното условие може да се запише във вида

$$\cos(\varphi_0/2)\left[2mg\sin(\varphi_0/2) - \frac{kq^2}{4R^2}\frac{1}{\sin^2(\varphi_0/2)}\right] = 0,$$ **[1 т.]**

откъдето следва:

1. $\cos\frac{\varphi_0}{2} = 0$, т.е. $\varphi_0 = \pi$ **[0,5 т.]**
2. $\sin\frac{\varphi_0}{2} = \left(\frac{kq^2}{8mgR^2}\right)^{1/3} = x_0 \le 1$. **[0,5 т.]**

Когато $x_0 = 1$, намираме отново $\varphi_0 = \pi$.**[0,5 т.]** При $x_0 < 1$, условието 2 определя ъгъл $\varphi_0 < \pi$ **[0,5 т.].**

Задача 3. Движение по окръжност

а) В този случай стрелецът е неподвижен, а мишената се движи (фиг. 2,*а*).**[0,5 т.]** Стрелата достига периферията на платформата за време $t = r/v$.**[0,5 т.]** За това време мишената ще се премести от т. *А* в т. *А*$_1$ по дъга с дължина l **[0,5 т.]**, на която съответства централен ъгъл $\theta_1 = l/r$.**[1 т.]** Следователно стрелата трябва да бъде насочена под ъгъл θ_1 **[0,5 т.]**, като за времето t е в сила и равенството $t = l/\omega r = \theta_1/\omega$ **[1 т.]**, т.е. получаваме $\theta_1 = \omega t = \omega r/v$. **[1 т.]**

б) В разглеждания случай точката, в която стои стрелецът, се движи със скорост $\vec{v}_A$, която има големина $v_A = \omega r$ **[0,5 т.]** и е насочена по допирателната към периферията на платформата (фиг. 2,*б*). **[0,5 т.]** Стрелата се изстрелва със скорост $\vec{v}$ спрямо платформата, така че нейната резултантна скорост спрямо Земята е

$$\vec{v}' = \vec{v}_A + \vec{v}.$$ **[1 т.]**

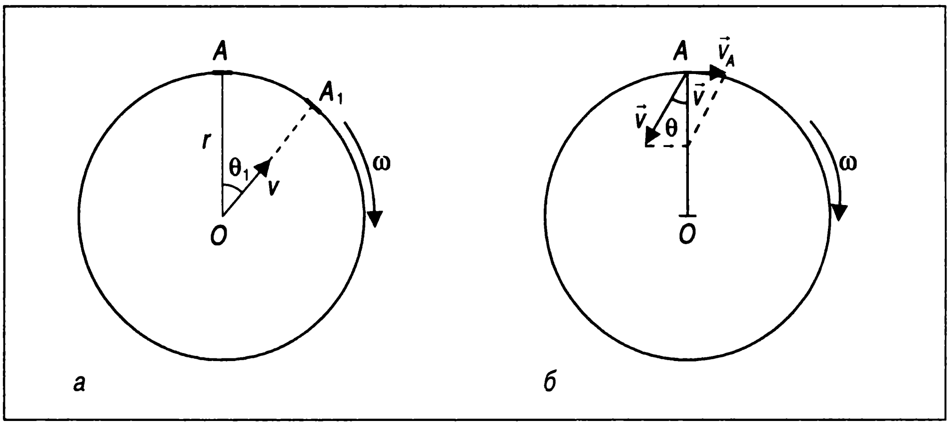
Стрелата ще попадне в мишената, ако векторът $\vec{v}'$ е насочен към нея, т.е. към т. *О*. **[0,5 т.]**

Тъй като векторът $\vec{v}_A$ е перпендикулярен на отсечката *AO* **[0,5 т.] ,** определяме

$$\sin\theta_2 = \frac{v_A}{v} = \frac{\omega r}{v} \leq 1 .$$ **[1 т.]**

Този резултат показва, че стрелата ще попадне в мишената при зададени r и v, ако ъгловата скорост на платформата е

$$\omega \leq \omega_{\max} = \frac{v}{r} .$$ **[1 т.]**



Фиг. 2