

CONCURSUL NAȚIONAL DE FIZICĂ “EVRIKA!”
Ediția a 22-a, 16 – 18 martie 2012, Călimănești
CLASA a XII-a – Barem de notare

Subiectul 1

| | | |
|-----------|---|------------|
| a) | | 2 p |
| | Raportul dintre masa de mișcare și masa de repaus a unui proton accelerat este: $\gamma = \frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ | 0,5 p |
| | Expresia raportului în funcție de energiile date: $E_c = E - E_0 = \gamma E_0 - E_0 \Rightarrow \gamma = \frac{E_c}{E_0} + 1 \Rightarrow \frac{m}{m_0} = \frac{E_c}{E_0} + 1$ | 1 p |
| | Dependența are forma unei drepte cu panta $\frac{1}{E_0} = 1,066 \text{ GeV}^{-1}$ | 0,5 p |
| b) | | 3 p |
| | Vitezele protonilor față de sistemul (S) legat de laborator: v_1 și v_2 , cu $v_{1x} = -v_{2x} = \beta c$. Compunerea relativistă a vitezelor, cu v_{rel} viteza fasciculului (1) față de fasciculul (2) considerat sistemul (S'): $u_x' = \frac{u_x - v_x}{1 - \frac{u_x v_x}{c^2}} \text{ în care: } \begin{cases} u_x = v_{1x} = \beta c \\ v_x = v_{2x} = -\beta c \Rightarrow v_{rel} = \frac{2\beta}{1 + \beta^2} c \\ u_x' = v_{rel} \end{cases}$ | 2 p |
| | Viteza protonilor la sfârșitul accelerării: $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{E_c}{E_0} + 1 \Rightarrow \beta = \frac{1}{\gamma} \sqrt{\gamma^2 - 1} \Rightarrow \beta = 0,999999991 \text{ (a noua zecimală este 1)}$ | 0,5 p |
| | Viteza relativă a protonilor din fasciculul (1) față de cei din fasciculul (2): $v_{rel} = c$ | 0,5 p |
| c) | | 4 p |
| | La transformarea energiei și impulsului unei particule dintr-un sistem de referință inerțial în altul cantitatea $E^2 - p^2 c^2$ este un invariant. | 0,5 p |
| | Datorită liniarității transformărilor Lorentz, pentru un sistem de particule cu energia totală E_1 și impulsul total \vec{p}_1 în sistemul (S), respectiv energia totală E_2 și impulsul total \vec{p}_2 în sistemul (S'): $E_1^2 - (\vec{p}_1)^2 c^2 = E_2^2 - (\vec{p}_2)^2 c^2$ | 0,5 p |
| | Fie (S) sistemul laboratorului și (S') sistemul centrului de masă pentru sistemul de particule, m masa de mișcare a protonului incident și p impulsul acestuia, iar m_0 masa de repaus a protonului/antiprotonului: | |
| | (S): $\begin{cases} E_1 = (m + m_0)c^2 \\ p_1 = p \end{cases}$ | 0,5 p |
| | (S'): $\begin{cases} E_2 = 4m_0c^2 \\ p_2 = 0 \end{cases}$ în care am considerat că particulele sunt generate în repaus în sistemul centrului de | 0,5 p |

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul 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.

| | | |
|--|--|-------------|
| | masă (pentru „condiția de prag” de producere a reacției) | |
| | Din invarianța cantității $E^2 - (\vec{p})^2 c^2$ față de sistemele considerate, rezultă: $16m_0^2 c^4 = m^2 c^4 + 2mc^2 m_0 c^2 + m_0^2 c^4 - p^2 c^2$ | 0,5 p |
| | Dar $m^2 c^4 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4$ ceea ce conduce în final la rezultatul: | 0,5 p |
| | $mc^2 = 7m_0 c^2$ | 0,5 p |
| | Rezultă că energia cinetică minimă a protonului incident pentru a produce reacția este: $E_C = E - m_0 c^2 = 6m_0 c^2 \Rightarrow E_C = 5,628 GeV$ Reacția se poate produce cu protoni extrași de pe parcursul treptei 3 de accelerare la energii de ordinul 6 GeV | 0,5 p |
| | Oficiu | 1 p |
| | Total | 10 p |

-
1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
 2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul 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

| | | |
|-----------|--|--------------|
| a) | | 4,5 p |
| | Dacă tensiunea instantanee pe rezistor este: $u = U + \varepsilon_{termic} \quad (1)$ | 0,5 |
| | atunci abaterea pătratică medie a sa, cauzată de zgomotul termic este: $\overline{(\Delta u)^2} = \overline{(u - U)^2} = \overline{\varepsilon_{termic}^2} \quad (2)$ | 0,5 |
| | În cazul zgomotului de alice, pentru fotomultiplicator: $\overline{(\Delta u)^2} = \overline{(u - R \cdot mI)^2} = \overline{[R(mI + m\delta) - mIR]^2} = m^2 R^2 \overline{\delta^2} \quad (3)$ | 0,75 |
| | de unde se obține pentru fotomultiplicator: $\overline{\varepsilon_{alice}^2} = m^2 R^2 \overline{\delta^2} \quad (4)$ | 0,25 |
| | iar pentru fotocelula simplă ($m = 1$): $\overline{\varepsilon_{alice}^2} = R^2 \overline{\delta^2} \quad (5)$ | 0,25 |
| | Când cele două tipuri de zgomot au efecte echivalente: $\overline{\varepsilon_{termic}^2} = \overline{\varepsilon_{alice}^2} \quad (6)$ | 0,5 |
| | atunci, pentru fotomultiplicator: $I_c = \frac{2kT}{eRm^2} \quad (7)$ | 0,5 |
| | de unde se obține: $U_c = mI_c \cdot R = \frac{2kT}{em} = 5,00 \cdot 10^{-8} \text{ V} \quad (8)$ | 0,5 |
| | Pentru fotocelula uzuală ($m = 1$): $U_c = \frac{2kT}{e} = 50,0 \text{ mV} \quad (9)$ | 0,25 |
| | Se observă de aici că pentru $U \geq U_c$ zgomotul de alice este dominant, iar la curenți mici el este înecat de către zgomotul termic. Utilizarea fotomultiplicatorului este în mod clar mai avantajoasă, deoarece semnalul său util este practic neafectat de zgomotul termic! | 0,5 |
| b) | | 3,5 p |
| | Ținând cont că cele două tipuri de zgomot au efect cumulativ, din enunț rezultă că pentru fotomultiplicator: $\alpha \geq \frac{ \Delta u }{mIR} = \frac{\sqrt{(\Delta u)^2}}{mIR} = \left(\frac{\sqrt{(\Delta u)^2}}{mIR} \right)_{termic} + \left(\frac{\sqrt{(\Delta u)^2}}{mIR} \right)_{alice} \quad (10)$ | 1 p |
| | Utilizând (2), (3) și legile date în enunț, se obține: $\alpha \geq \frac{2\sqrt{RkT\Delta f} + mR\sqrt{2eI\Delta f}}{mIR} \quad (11)$ | 0,5 p |
| | Respectiv: $I \geq \frac{e\Delta f}{\alpha^2} \left(\frac{2\alpha}{me} \sqrt{\frac{kT}{R\Delta f}} + 1 + \sqrt{1 + \frac{4\alpha}{me} \sqrt{\frac{kT}{R\Delta f}}} \right) = 3,46 \cdot 10^{-17} \text{ A} \quad (12)$ | 1,5 p |
| | Ceea ce devine în cazul fotocelulei uzuale ($m = 1$): $I \geq \frac{e\Delta f}{\alpha^2} \left(\frac{2\alpha}{e} \sqrt{\frac{kT}{R\Delta f}} + 1 + \sqrt{1 + \frac{4\alpha}{e} \sqrt{\frac{kT}{R\Delta f}}} \right) = 1,27 \cdot 10^{-12} \text{ A} \quad (13)$ | 0,5 p |

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul 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.

| | | |
|-----------|--|-------------|
| | <p>Observații: Pentru fotomultiplicator, valoarea minimă a fotocurentului pentru care raportul dintre zgomot și semnal este sub 10%, este:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentru zgomotul termic: $I \geq \frac{2}{m\alpha} \sqrt{\frac{kT\Delta f}{R}} = 1,27 \cdot 10^{-18} \text{ A}$ - pentru zgomotul de alicie: $I \geq \frac{2e\Delta f}{\alpha^2} = 3,20 \cdot 10^{-17} \text{ A}$ <p>de unde se observă că zgomotul de alicie este cel dominant. Pe de altă parte, în cazul fotocelulei uzuale:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentru zgomotul termic: $I \geq \frac{2}{\alpha} \sqrt{\frac{kT\Delta f}{R}} = 1,27 \cdot 10^{-12} \text{ A}$ - pentru zgomotul de alicie: $I \geq \frac{2e\Delta f}{\alpha^2} = 3,20 \cdot 10^{-17} \text{ A}$ <p>de unde se observă că în acest caz domină zgomotul termic.</p> | |
| c) | | 1 p |
| | <p>Din relația (11) rezultă pentru fotomultiplicator:</p> $\alpha = \frac{2\sqrt{RkT\Delta f} + mR\sqrt{2eI_0\Delta f}}{mI_0R} = 5,67 \cdot 10^{-3} \quad (14)$ | 0,5 |
| | <p>iar pentru fotocelula uzuală ($m = 1$):</p> $\alpha \geq \frac{2\sqrt{RkT\Delta f} + R\sqrt{2eI_0\Delta f}}{I_0R} = 12,7 \quad (15)$ | 0,25 |
| | <p>Acest rezultat era așteptat, deoarece la valori atât de mici ale curentului, semnalul util este înecat în zgomotul termic - în cazul fotocelulei simple, pe când în cazul fotomultiplicatorului semnalul este unul foarte clar, acesta fiind foarte sensibil chiar și în cazul curentului de obscuritate.</p> | 0,25 |
| | Oficiu | 1 p |
| | Total | 10 p |

Subiect propus de
conf. univ. dr. Sebastian POPESCU, Facultatea de Fizică, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași,
prof. Gabriel Octavian NEGREA, Colegiul Național „Gheorghe Lazăr” – Sibiu

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporțional cu conținutul 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.