



Ministerul Educației Naționale
Inspectoratul Școlar Județean Satu Mare
Olimpiada Națională de Fizică
31 martie - 5 aprilie 2013
Proba teoretică
Barem

XII

Pagina 1 din 3

Problema 3 – Anihilări și generări „particulă - antiparticulă”!

Barem de notare	Parțial	Punctaj
Problema 3		10
a)	1,50	1,50
Utilizând relația relativistă dintre masă și energie, precum și expresia impulsului relativist pentru un punct material în mișcare cu viteza v , obținem: $E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4,$ reprezentând relația relativistă dintre energia și impulsul unui punct material. Dacă $\vec{p}_1$ și respectiv $\vec{p}_2$ sunt impulsurile celor doi fotoni rezultați, iar E_1 și respectiv E_2 sunt energiile celor doi fotoni rezultați, atunci, în acord cu legile de conservare ale impulsului și energiei, rezultă: $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2;$ $E + m_0 c^2 = E_1 + E_2,$ unde $\vec{p}$ și E sunt impulsul și respectiv energia totală ale pozitronului, înainte de întâlnirea electronului; $E_1 = \frac{m_0 c^2 (E_c + 2m_0 c^2)}{E_c + 2m_0 c^2 - \cos \theta_1 \sqrt{E_c (E_c + 2m_0 c^2)}};$ $E_2 = \frac{m_0 c^2 (E_c + 2m_0 c^2)}{E_c + 2m_0 c^2 - \cos \theta_2 \sqrt{E_c (E_c + 2m_0 c^2)}}.$ Este evident că energiile celor doi fotoni, E_1 și respectiv E_2 , au valori care se situează între valorile minimă și maximă, ale căror expresii sunt: $E_{\min} = \frac{m_0 c^2 (E_c + 2m_0 c^2)}{E_c + 2m_0 c^2 + \sqrt{E_c (E_c + 2m_0 c^2)}};$ $E_{\max} = \frac{m_0 c^2 (E_c + 2m_0 c^2)}{E_c + 2m_0 c^2 - \sqrt{E_c (E_c + 2m_0 c^2)}}.$	0,25	
b)	2,50	2,50
1) În interiorul mezonului π^0 se formează perechea virtuală proton-antiproton, din a căror anihilare, cu respectarea legilor de conservare ale energiei și a impulsului, rezultă doi fotoni.	0,50	
2) Din totalitatea orientărilor posibile ale zborurilor celor doi fotoni rezultați din dezintegrarea mezonului π^0 considerat în zbor cu viteza $\vec{v}$, valorile $E_{\max}$ și $E_{\min}$ ale energiilor celor doi fotoni, corespunzând variantei reprezentată în figura alăturată, din care, în acord cu legile de conservare ale energiei și a impulsului, rezultă:	2,00	

1. Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 10 la 1 (1 punct din oficiu). Punctajul final reprezintă suma acestora.



$v = c \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$		
c) 1) În raport cu SRL, impulsul total al sistemului foton – electron, precum și energia totală a acestui sistem, înaintea interacțiunii, sunt: $p_L = \frac{h\nu_L}{c} + 0 = \frac{E_1}{c}; E_L = E_1 + m_0c^2.$ În raport cu SRCM, impulsul total și energia totală ale sistemului foton – electron, înaintea interacțiunii, sunt: $\vec{p}_{CM} = \vec{p}_{f,CM} + \vec{p}_{e^+,CM} = 0; E_{CM}.$ Rezultă: $\left(p^2 - \frac{E^2}{c^2} \right) = \text{constant};$ $E_{CM}^2 = m_0c^2(m_0c^2 + 2E_1).$ Reacția propusă: $\gamma + e^- \rightarrow (e^+ + e^-) + e^-,$ din care rezultă trei particule, cu mase de repaus identice, m_0, nu poate avea loc, decât dacă: $E_{CM} \geq 3m_0c^2;$ $E_{CM}^2 = m_0c^2(m_0c^2 + 2E_1) \geq 9m_0^2c^4;$ $E_1 \geq 4m_0c^2; E_0 = 4m_0c^2.$	5,00	5,00
2) Din conservarea energiei sistemului, în procesul formării perechii electron – pozitron, dintr-un foton, în vid, rezultă: $E_{\text{initial}} = E_{\text{final}};$ $p_{\text{foton}} > p_{\text{electron}} + p_{\text{pozitron}}.$ Din legea conservării impulsului rezultă: $\vec{p}_f = \vec{p}_{\text{electron}} + \vec{p}_{\text{pozitron}};$ $p_{\text{foton}} < p_{\text{electron}} + p_{\text{pozitron}}.$ Consecințele celor două legi de conservare sunt contradictorii. Ca urmare, în condițiile precizate, adică în vid, procesul generării perechii electron – pozitron, dintr-un foton, nu este posibil. Procesul se poate produce numai în câmpul unui nucleu, de obicei în câmpul unui nucleu greu. Procesul generării perechii electron – pozitron dintr-un foton este posibil, din punct de vedere energetic, numai dacă energia fotonului este suficientă ca să asigure energiile de repaus ale perechii electron - pozitron,	2,50	

1. Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 10 la 1 (1 punct din oficiu). Punctajul final reprezintă suma acestora.



adică:		
$E_{\text{foton, minim}} = m_{0e}c^2 + m_{0p}c^2 = 2m_0c^2.$		
3) La trecerea unui foton prin substanță, din interacțiunea acestuia cu câmpul unui nucleu, atunci când energia fotonului depășește o valoare de prag ($E_0 > 2m_0c^2$), se realizează procesul generării unei perechi electron – pozitron, după schema: $\gamma \rightarrow e^- + e^+,$ cu respectarea legii conservării energiei: $E_0 = 2m_0c^2 + E_{ce} + E_{cpz},$ unde E_{ce} și E_{cpz} sunt energiile cinetice ale electronului și respectiv pozitronului rezultați din conversia fotonului; $E_0 = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_e^2}{c^2}}} + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_{pz}^2}{c^2}}} \right),$ unde v_e și v_{pz} sunt vitezele electronului și respectiv a pozitronului rezultați. Deși procesul generării perechii electron - pozitron se desfășoară cu implicarea unui nucleu, totuși în legea conservării energiei nu s-a ținut seama de energia preluată de nucleu, deoarece masa nucleului este mult mai mare decât masa electronului, astfel încât viteza de recul a nucleului este foarte mică. Cu toate acestea, în acest proces, impulsul transmis nucleului, $\vec{p}_N$, nu mai este neglijabil, astfel încât, după schema reprezentată în figura alăturată, din legea conservării impulsului, rezultă: $\vec{p}_f = \vec{p}_e + \vec{p}_{pz} + \vec{p}_N,$ ceea ce dovedește că $v_e \neq v_{pz}$, iar orientările vectorilor $\vec{v}_e$ și $\vec{v}_{pz}$ nu sunt simetrice față de direcția fotonului incident. Prezența a trei impulsuri necunoscute în legea conservării impulsului, face nerezolvabilă problema determinării valorilor vitezelor electronului și a pozitronului rezultați, precum și a unghiurilor lor de emergență.	1,50	
Oficiu		1,00

1. Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 10 la 1 (1 punct din oficiu). Punctajul final reprezintă suma acestora.