

XXXIX OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP III

Zadanie teoretyczne

ZADANIE T3

Nazwa zadania: „Historia pewnego kwantu i protonu”

Kwant γ (foton) padając na spoczywający proton p spowodował reakcję $\gamma + p \rightarrow n + \Pi^+$,

W której powstały neutron n i mezon Π^+ . Produkty reakcji (n , Π^+), poruszały się wzdłuż tej samej prostej i w tym samym kierunku ze stałymi prędkościami. Po pewnym czasie od chwili powstania mezon Π^+ rozpadł się na inne cząstki. W układzie odniesienia, w którym mezon spoczywał, czas ten wynosił τ . Droga przebyta przez mezon Π^+ w układzie odniesienia, w którym spoczywał proton, wynosiła d i była i była odcinkiem prostej. Początek tego odcinka odpowiadał powstaniu a koniec –rozpadowi mezonu. Jaka energię E_γ miał kwant γ w układzie odniesienia, w którym spoczywał proton.

Dane: $\tau = 2,6 \cdot 10^{-8}$ s; $d = (4/3)c\tau$, gdzie $c = 3 \cdot 10^8$ ms⁻¹ jest prędkością światła; energie spoczynkowe protonu i neutronu są w przybliżeniu równe sobie, $m_p c^2 = m_n c^2 = E_0 = 940$ MeV; energia spoczynkowa mezonu Π^+ jest równa $m_{\Pi^+} c^2 = \sigma E_0$, gdzie $\sigma = 0,15$.

ROZWIĄZANIE ZADANIA T3

Korzystając z zasad zachowania energii i pędu w układzie, w którym spoczywał proton otrzymujemy równania

$$\left. \begin{aligned} E_\gamma + m_p c^2 &= \gamma m_{\pi^+} c^2 + \gamma' m_n c^2 \\ E_\gamma / c &= \gamma v m_{\pi^+} + \gamma' v' m_n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

gdzie v jest prędkością mezonu Π^+ a v' jest prędkością neutronu w układzie spoczywającego protonu, zaś γ i γ' oznaczają odpowiednio $\gamma = [1 - (v/c)^2]^{-1/2}$. Wyrażając energię fotonu w jednostkach $E_0 = m_p c^2$, $E_\gamma = \varepsilon E_0$ i mając na uwadze tożsamości $\gamma/c = (\gamma^2 - 1)^{1/2}$, $\gamma' v'/c = (\gamma'^2 - 1)^{1/2}$ możemy sprowadzić równania (1) do postaci

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon + 1 &= \sigma \gamma + \gamma' \\ \varepsilon &= \sigma (\gamma^2 - 1)^{1/2} + (\gamma'^2 - 1)^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Zgodnie z transformacją Lorentza czas życia mezon Π^+ w układzie spoczywającego protonu wynosi $t = \gamma \tau$. Długość drogi przebytej przez mezon Π^+ w układzie spoczywającego protonu wynosi więc $d = vt = \gamma v \tau$ a ponieważ $d = (4/3)c\tau$ otrzymujemy stąd $\gamma v/c = (\gamma^2 - 1)^{1/2} = 4/3$ i $\gamma = 5/3$.

Ostatecznie pozostaje do rozwiązania układ dwóch równań z dwoma niewiadomymi ε i γ'

$$\varepsilon + 1 = \frac{5}{3}\sigma + \gamma', \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{4}{3}\sigma (\gamma'^2 - 1)^{1/2}$$

Rozwiązaniem jego jest

$$\varepsilon = \sigma (10/3 - \sigma) / [2(1 - \sigma/3)] \quad (4)$$

co odpowiada energii kwantu gamma padającego na spoczywający proton wynoszącej

$$E_\gamma = \varepsilon E_0 \approx 236 \text{ MeV}$$

Proponujemy następującą punktację do 10 punktów za część teoretyczną i do 10 punktów za część doświadczalną.

Część teoretyczna

- | | |
|---|-----------|
| 1 Równanie równowagi sił działających na blaszkę. | do 4 pkt. |
| 2 Równanie równowagi ciśnień. | do 2 pkt. |
| 3 Związek głębokości zanurzenia z kątem α | do 4 pkt. |

Część doświadczalna

- | | |
|---|-----------|
| 1 Opis metody (uzasadnienie użycia natłuszczonej szmatki, sposób wyznaczenia kąta α) | do 5 pkt. |
| 2 Pomiar (seria pomiarów, wartość średnia) | do 3 pkt. |
| 3 Ocena błędów | do 2 pkt. |

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Fizyka w Szkole”

Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szc.pl