

Oddziaływanie Promieniowania Jonizującego z Materią

Zestaw Zadań 1

Problem 1.

Cząstki naładowane przechodząc przez materię tracą energię kinetyczną głównie przez jonizację i wzbudzenia. Straty te są opisywane przybliżonymi równaniami w zależności od tego, czy cząstka jest lekka, czy ciężka.

Wykonaj obliczenia:

- maksymalnej energii, jaką może przekazać relatywistyczny: i) elektron, ii) proton o pędzie p .
- Porównaj wynik do otrzymanego z zależności przybliżonej: $E_{kin}^{max} \approx 2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2$ lub $E_{kin}^{max} \approx \frac{p^2}{\gamma m_0 + m_0^2/2m_e}$

Rozwiązanie można przedstawić również np. w formie Jupyter Notebooka, podstawiając różne masy cząstek padających. Można również pokazać zależność od pędu.

Problem 2.

Proszę policzyć *mass collision stopping power* w wodzie dla protonów o energii 0.5 MeV oraz ich czas zatrzymania.

Problem 3.

Rozpatrzmy rozpad naładowanego pionu: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$. Jaka jest energia kinetyczna wyprodukowanego mionu? Jaki jest jego zasięg w ciekłym wodorze (przyjąć gęstość ciekłego wodoru: $\rho = 0.07 \text{ g/cm}^3$).

Problem 4.

Cząstki α o energii kinetycznej $E_{kin}^{(i)} = 5 \text{ MeV}$ przechodzą przez cienką folię miedzaną o grubości $5 \mu\text{m}$. Wyznacz:

- stratę jonizacyjną w folii,
- końcową energię kinetyczną cząstek $E_{kin}^{(f)}$
- czas zatrzymania tej cząstki.

Problem 5.

Mion o energii $E_\mu = 100 \text{ GeV}$ przechodzi przez warstwę żelaza o grubości $L = 3 \text{ m}$. Jaki jest dominujący mechanizm straty energii dla tego mionu? Ile wyniesie średnia strata energii mionu?

Problem 6.

Jaką energię będą miały 5 MeV-owe protony po przejściu $100 \mu\text{m}$ krzemu? A 5 GeV-owe?

Problem 7.

Elektron o energii początkowej 2 GeV przechodzi przez 10 cm wody o długości radiacyjnej 36.1 cm. Oblicz jego końcową energię. A jaka będzie ta energia w przypadku mionu?

Problem 8.

Używając diagramu z końca dokumentu oszacuj, ile wynosi czas zatrzymania elektronu o energii 0.1 MeV oraz 0.5 MeV w:

- a) wodzie
- b) powietrzu

Problem 9.

Proszę policzyć jaką energię ma 1 MeV-owy foton po rozproszeniu Comptonowskim o 90°.

Problem 10.

Ile potrzeba cząstek α , aby energia zdeponowana w ośrodku wynosiła 1 J?

Problem 11.

Wielokrotne rozpraszanie (ang. multiple scattering) związane jest z oddziaływaniem cząstek naładowanych z jądrami atomowymi materiału, który penetrują. Podczas tych oddziaływań, z uwagi na znaczną różnicę w masie, cząstki nie tracą energii, lecz zmieniają pęd. Proszę obliczyć maksymalny przekaz pędu przy zderzeniu ciężkiej cząstki z elektronem.

Problem 12.

Średni kąt rozproszenia elektronów w emulsji o grubości 500 μm wynosi $\sqrt{\langle\theta^2\rangle} = 5^\circ$. Wyznacz pęd elektronów, długość radiacyjna emulsji wynosi $X_0 = 5 \text{ cm}$.

Problem 13.

Statystycznie, odchylenie średnie podczas przejścia przez cienki materiał detektora powinno być bliskie zeru. Wg teorii Moliere'a rozkład kąta odchylenia powinien być w przybliżeniu normalny o szerokości, którą możemy opisać jak poniżej:

$$\theta_{RMS} = \sqrt{\langle\theta^2\rangle} = \frac{13.6 [MeV]}{\beta c p} z \sqrt{\frac{x}{X_0}} \left(1 + 0.038 \cdot \ln\left(\frac{x}{X_0}\right) \right)$$

gdzie: p – jest pędem cząstki rozpraszanej, βc – oznacza jej prędkość oraz z – to jej ładunek. Grubość detektora mierzymy w jednostkach długości radiacyjnej X_0 .

Proszę wyznaczyć szerokość rozkładu kąta rozproszenia dla protonów o pędzie: 50 MeV oraz energii kinetycznej 200 MeV, które przechodzą przez: 0.1 g/cm² Al oraz 2 mm Cu.

gdzie: m_0 – masa cząstki przyspieszanej, p – jej pęd oraz τ – czas własny.

Medium	$L_{rad} \text{ (g cm}^{-2}\text{)}$	$\frac{L_{rad}}{\rho} \text{ (cm)}$	$E_C \text{ (MeV)}$
Air	36.20	30050	83
H ₂ O	36.08	36.1	93
Pb	6.37	0.56	9.5
Cu	12.86	1.43	25
Al	24.01	8.9	51
Fe	13.84	1.76	27.4

$$X_0 = L_{rad} \simeq \frac{716.4 [\text{g cm}^{-2}] A}{Z(Z + 1) \ln(287/\sqrt{Z})}$$

