

### 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 elektronowi 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.

Policzyć energię straconą przez ciężką naładowaną cząstkę, która oddziałuje elektromagnetycznie z atomowym elektronem. Proszę wykonać obliczenia w sposób klasyczny, wyrażając wynik poprzez minimalny i maksymalny parametr zderzenia.

### Problem 3.

Policzyć drogę, jaką przebędą do rozpadu wysokoenergetyczny pion i mion w atmosferze. Jak zmieniają się losy tych cząstek, gdy znajdują się w detektorze o gęstym ośrodku?

### Problem 4.

Policzyć energię neutronu w rozpadzie beta. Proszę przedyskutować przekrój czynny na oddziaływanie neutronów i wpływ tego na detekcję neutronów.

### Problem 5.

Jaki jest związek pomiędzy przekrojem czynnym a średnią drogą swobodną? Policz przykład.

### Problem 6.

Rozpatrz dwa protony o tej samej energii kinetycznej zbliżające się do siebie po prostym torze. Protony są odpychane siłą kulombowską i zbliżyły się do siebie na minimalną odległość (DOCA) na  $2 \times 10^{-10}$  m. Jaka jest energia tych protonów?

### Problem 7.

Ile potrzeba cząstek  $\alpha$ , aby energia zdeponowana w ośrodku wynosiła 1 J?

### Problem 8.

Sygnal ma rozkład Poissona o średniej 16. Policz prawdopodobieństwo wystąpienia 12, 16, 20 zliczeń. Porównaj wynik dla rozkładu Gaussa o średniej 16 i odchyleniu standardowym 4.

**Problem 9.**

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

**Problem 10.**

Cząstki  $\alpha$  o energii kinetycznej  $E_{kin}^{(i)} = 5 \text{ MeV}$  przechodzą przez ciekłą 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 11.**

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 12.**

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

**Problem 13.**

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

**Problem 14.**

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 15.**

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

- wodzie
- powietrzu

**Problem 16.**

Proszę pokazać, że foton nie może przekazać całej swojej energii do elektronu w zderzeniu Comptonowskim

**Problem 17.**

Proszę policzyć jaką energię ma 1 MeV-owy foton po rozproszeniu Comptonowskim o  $90^\circ$ .

**Problem 18.**

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 19.**

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

**Problem 20.**

Policz rozdzielczość komory drutowej o odległości pomiędzy drutami  $\Delta$ .

**Problem 21.**

Detektor GEM ma szczelinę konwersji 2 mm. Wypełnienie gazem wynosi 90% Ar i 10% CH<sub>4</sub>. Miony promieniowania kosmicznego spadają prostopadle na ten detektor. Jakie jest prawdopodobieństwo, że mion pozostanie niewykryty, ponieważ nie ma pierwotnej jonizacji?

**Problem 22.**

Wyprowadzić wyrażenie dla rozdzielczości energetycznej (FWHM i w %) detektora krzemowego dla promieniowania X w temperaturze pokojowej. Ile będzie wynosić rozdzielczość energetyczna dla energii Xów 50 keV?

**Problem 23.**

Policzyć liczbę elektronów wyprodukowanych w krzemowym detektorze o grubości 500  $\mu\text{m}$  przez MIP.

**Problem 24.**

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:

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

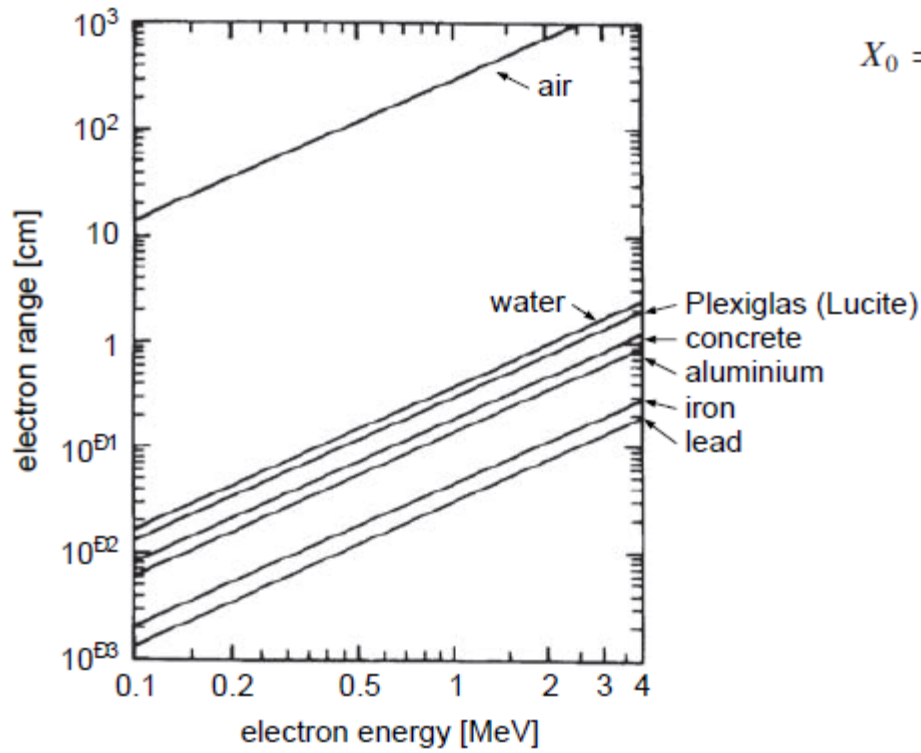
gdzie:  $p$  – jest pędem cząstki rozpraszanej,  $\beta c$  – oznacza jej prędkość oraz  $z$  – to jej ładunek. Grubość detektora mierzymy w jednostkach długości radiacyjnej  $X_0$ .

**Problem 25.**

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

**Problem 26.**

Jednym z najważniejszych zadań wielkich detektorów jest pomiar energii cząstek neutralnych. Wyznacz średnią liczbę cząstek w kaskadzie elektromagnetycznej, zainicjowanej przez foton pochodzący z rozpadu bozonu Higgs'a. Przyjmijmy, że energia fotonu wynosi:  $E_\gamma = 50 \text{ GeV}$ . Załóżmy, że kaskada rozwija się w bloku żelaznym a pomiaru dokonujemy na głębokościach odpowiednio: 10, 13 i 20 cm.



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

