

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.

Zadanie projektowe*. Badamy formułę Bethego.

- Proszę zrobić analizę formuły Bethego (omówione na wykładzie)
- policzyć *mass collision stopping power* w wodzie dla protonów o energii 1 MeV;

Problem 2.

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. 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.

Problem 3.

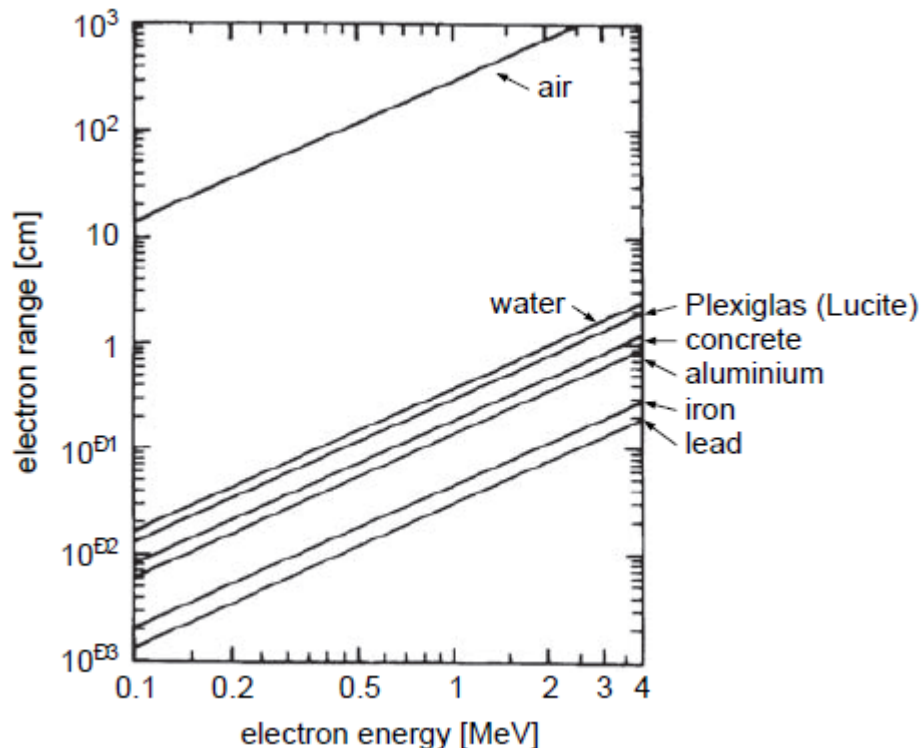
Średni kąt rozproszenia elektronów w emulsji o grubości 500 μm wynosi $\sqrt{\langle \theta^2 \rangle} = 5^\circ$. Wyznacz pęd elektronów, długość radiacyjna emulsji wynosi $X_0 = 5$ cm.

Problem 4.

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

- wodzie

b) powietrzu



Problem 5.

Oddziaływanie promieniowania z materią zależy od liczby centrów rozpraszania znajdujących się w danym materiale. Wyznacz:

- liczbę atomów znajdujących się w 1 cm^3
- liczbę atomów na 1 g

dla krzemu oraz węgla. Do jakich celów moglibyśmy użyć detektorów wykonanych z takich materiałów?

Problem 6.

Cząstki α o energii kinetycznej $E_{kin}^{(i)} = 5.2 \text{ MeV}$ przechodzą przez cienką folię miedzianą o grubości $5 \mu\text{m}$. Wyznacz:

- stratę jonizacyjną w folii
- końcową energię kinetyczną cząstek $E_{kin}^{(f)}$
- szerokość rozkładu opisującego efekt zmiany kąta na skutek wielokrotnego rozpraszania

Problem 7.

Odległość pomiędzy drutami komorze wielodrutowej wypełnionej argonem wynosi 2 mm. Jaka jest przestrzenna zdolność rozdzielcza tego detektora? Proszę porównać wynik z paskowym detektorem krzemowym – odległość między paskami wynosi 50-100 μm .

Problem 8.

Pion o energii 200 MeV przechodzi przez detektory opisane w Problemie 7. Proszę porównać straty energii w obydwu detektorach i policzyć liczbę ładunków wytworzonych w tych detektorach.

Problem 9.

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 10.

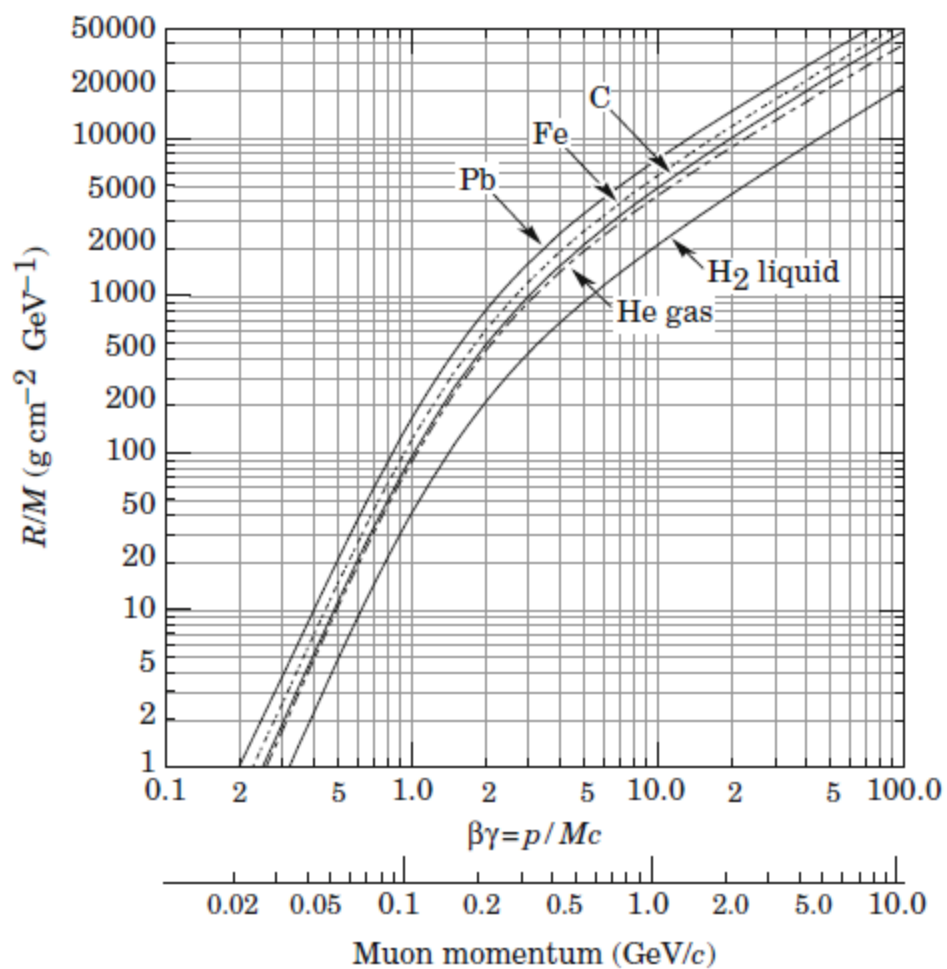
Rozpatrzmy rozpad naładowanego pionu: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$. Jaka jest energia kinetyczna wyprodukowanego mionu? Jaki jest jego zasięg w ciekłym wodorze (przyjąć gęstość ciekłego wodoru: $\rho = 0.07 \text{ g/cm}^3$).

Problem 11.

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 Higgsa. 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.

Problem 12.

Oszacuj zasięg, w ciekłym wodorze, mionu wyprodukowanego w rozpadzie: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$. W rozwiązaniu pomocny będzie poniższy diagram:



Problem 13.

Proton o dużej energii przechodzi przez scyntylator plastikowy o grubości 1 *cm*. Jaki jest dominujący mechanizm strat energii? Ile wyniesie średnia strata energii?

Dodatki.

Medium	L_{rad} (g cm ⁻²)	$\frac{L_{rad}}{\rho}$ (cm)	E_C (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

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