

### 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.

Oszacuj zasięg, w ciekłym wodorze, mionu wyprodukowanego w rozpadzie:  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ . W rozwiązaniu pomocny będzie poniższy diagram z Rys.1.

### Problem 4.

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

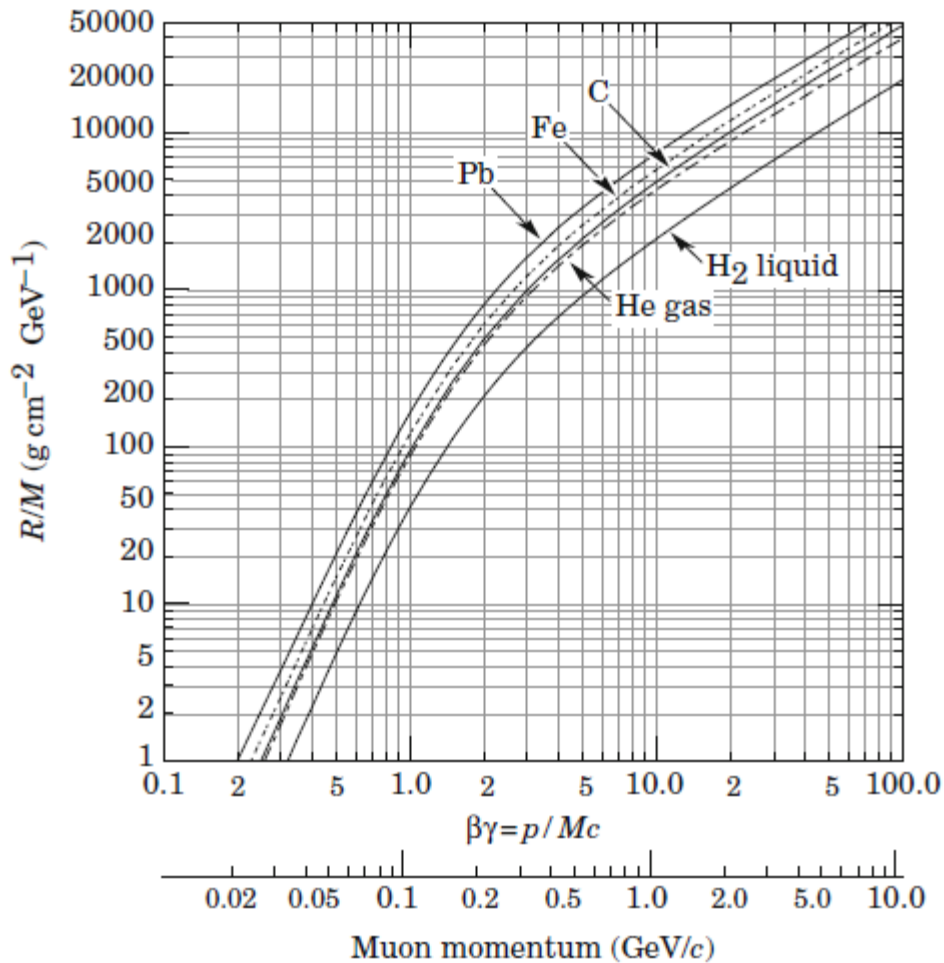
- stratę jonizacyjną w folii,
- końcową energię kinetyczną cząstek  $E_{kin}^{(f)}$
- czas zatrzymania tej cząstki w krzemie.

### Problem 5.

Mion o energii  $E_\mu = 100$  GeV przechodzi przez warstwę żelaza o grubości  $L = 3$  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  $100 \mu m$  krzemu?



Rys.1.

#### Problem 7.

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 8.

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 9.

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 10.

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  $X_0$ .

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

gdzie:  $m_0$  – masa cząstki przyspieszanej,  $p$  – jej pęd oraz  $\tau$  – czas własny.

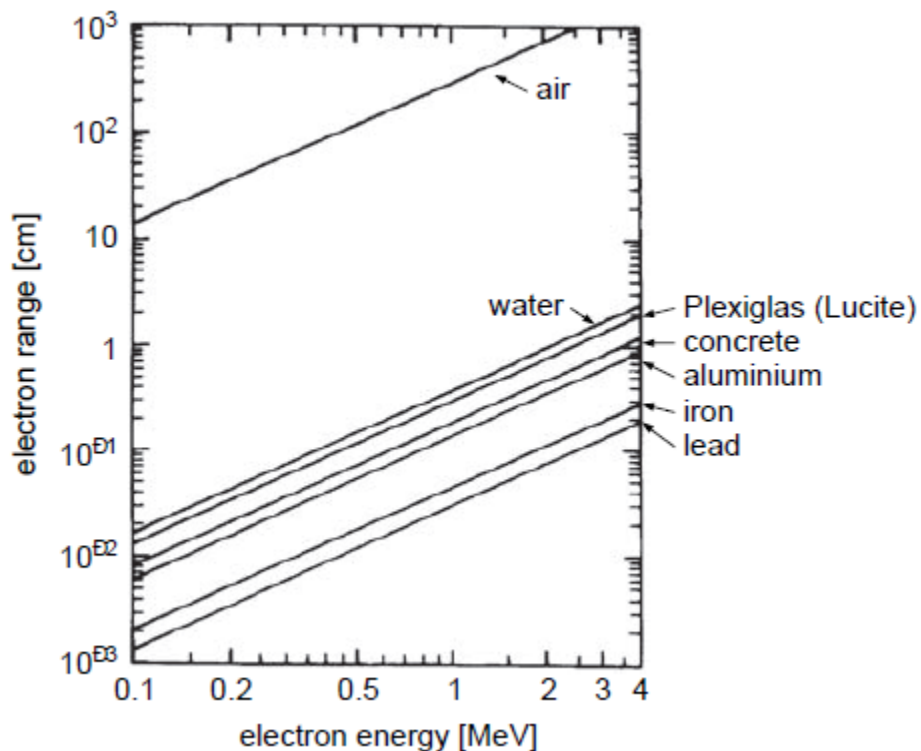
#### Problem 11.

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 12.

Używając poniższego diagramu oszacuj, ile wynosi czas zatrzymania elektronu o energii  $0.1 \text{ MeV}$  oraz  $0.5 \text{ MeV}$  w:

- wodzie
- powietrzu



#### Problem 13.

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

#### Problem 14.

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

Medium	$L_{rad}$ (g cm <sup>-2</sup> )	$\frac{L_{rad}}{\rho}$ (cm)	$E_C$ (MeV)
Air	36.20	30050	83
H <sub>2</sub> 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

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