Introduzione alla Fisica Nucleare e Subnucleare

Prova scritta _ 17, 06, 2020

Esercizio 1

Calcolare la sezione d'urto differenziale $\mathrm{d}\sigma/\mathrm{d}\Omega$ per diffusione di nuclei di ^{3}He da 3.5 MeV, su nuclei d'oro (Z=79), a un'angolo di 10 gradi.
$(\ \alpha = \dfrac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} \simeq \dfrac{1}{137} \ ; \quad \hbar \simeq 1.055 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \simeq 6.582 \times 10^{-22} \text{ MeV} \cdot \text{s} \ )$

Soluzione esercizio 1

Si tratta di un urto colombiano che per angoli dell'ordine di 10 gradi non dovrebbe disintegrare l'^{3}He incidente (che ha un'energia media di legame per nucleone di poco superiore a 2.57 MeV). Si utilizza quindi la formula della sezione d'urto di Rutherford (non serve Mott, dato il piccolo angolo di diffusione).

$$\frac{\mathrm{d}\sigma(\vartheta)}{\mathrm{d}\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{16\pi\epsilon_0 E_k}\right)^2 \frac{1}{\mathrm{sen}^4\dfrac{\vartheta}{2}} \equiv \frac{\mathrm{d}\sigma(\vartheta)}{\mathrm{d}\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 \alpha\hbar c}{4E_k}\right)^2 \frac{1}{\mathrm{sen}^4\dfrac{\vartheta}{2}}$$

E sostituendo si ottiene:

$$\frac{\mathrm{d}\sigma(\vartheta = 10^o)}{\mathrm{d}\Omega} \simeq \frac{(1.627 \times 10^{-14})^2}{\mathrm{sen}^4\dfrac{\vartheta}{2}} \simeq \frac{2.65 \times 10^{-28}}{5.77 \times 10^{-5}} \simeq 4.592 \times 10^4 \text{ barn}$$

Esercizio 2

Si dica quali delle seguenti alternative è possibile e se ne motivi qualitativamente e quantitativamente la scelta:
a) il ^{238}Pu può decadere spontaneamente emettendo deutoni;
b) il ^{238}Pu può decadere spontaneamente emettendo particelle alfa;
c) il ^{238}Pu può decadere spontaneamente emettendo sia deutoni che particelle alfa.
Si conoscono:
- massa protone = 1.00794 uma = 938.27 MeV
- massa deutone = 2.014101778 uma
- massa particella alfa = 4.002602 uma
- massa 234U = 234.040945 uma
- massa 236Np = 236.04657 uma
- massa 238Pu = 238.049553 uma

Soluzione esercizio 2

Si calcolano i Q-valori per i supposti decadimenti in deutoni e in particelle alfa.
Risulta:
$Q_d = (238.049553 - 236.04657 - 2.014101778)\dfrac{938.27}{1.00794}$ MeV $= -10$ MeV;

$Q_\alpha = (238.049553 - 234.040945 - 4.002602)\dfrac{938.27}{1.00794}$ MeV $= 5.6$ MeV.

Poiché $Q_d < 0$, il decadimento in deutoni è energeticamente vietato; essendo $Q_\alpha > 0$ è invece energeticamente permesso il decadimento in particelle α.

Esercizio 3

Un fascio di raggi x di 5 keV viene attenuato al 7.35% nel passare attraverso 0.05 mm di alluminio mentre un analogo fascio di 10 keV viene attenuato al 70.18%.
Si calcoli il coefficiente di assorbimento dei fotoni alle 2 energie in oggetto. Analizzando la dipendenza dall'energia, si mostri inoltre che la sezione d'urto che domina il processo è quella fotoelettrica.

Soluzione esercizio 3

$$N(x)/N(0) = e^{-\mu x}$$

è la percentuale di fotoni che non vengono assorbiti.
Pertanto

$$e^{-\mu(5keV)x} = N(x)/N(0) = 0.0735$$

e

$$e^{-\mu(10keV)x} = N(x)/N(0) = 0.7018$$

$$\mu(5keV) = -ln(0.0735)/x = 2.61/x$$

$$\mu(10keV) = -ln(0.7018)/x = 0.354/x$$

e quindi, essendo x= 0.005 cm risulta

$$\mu(5keV) = 522cm^{-1}$$

$$\mu(10keV) = 70.8cm^{-1}$$

Siccome $\mu = N_0\sigma$, prodotto di numero di atomi per unità di volume e sezione d'urto, e siccome sappiamo che la sezione d'urto fotoelettrica (e quindi μ) scala E^{-3} verifichiamo la dipendenza dall'energia:

$$\mu(5keV)/\mu(10keV) = \sigma(5keV)/\sigma(10keV) = 7.373 = (5keV/10keV)^\alpha = 0.5^\alpha$$

$$\alpha = ln(7.373)/ln(0.5) = -1.997/0.693 = -2.88$$

Ne viene pertanto che

$$\sigma \sim E^{-2.88} \sim E^{-3}$$

e quindi la sezione d'urto dominante è quella fotoelettrica.

Esercizio 4

Considerando che l'atmosfera terrestre corrisponde a circa $1000g/cm^2$ si stimi quanta energia ha perso un muone che arriva al suolo con un'energia pari a 3 GeV trascurando la variazione logaritmica del potere frenante.

Soluzione esercizio 4

Siccome a 3 GeV un muone è relativistico, lo è stato a maggior ragione anche durante l'attraversamento dell'atmosfera.
Considerando che al minimo di ionizzazione una particella perde circa 2 $MeV/g \times cm^2$, se trascuriamo la variazione di potere frenante del termine logaritmico possiamo stimare la perdita di energia come

$$\Delta E = dE/dX * \Delta X = 2MeV/g \times cm^2 \times 10^3 g/cm^2 = 2000\ MeV$$

Esercizio 5

Stabilire quali reazioni e quali decadimenti sono permessi e quali sono proibiti, indicando per quelli permessi l'interazione responsabile e per quelli proibiti tutti i numeri quantici che sono violati:

- 1) $K^- + p \rightarrow \Xi^0 + \bar{K^0}$
- 2) $\bar{\nu}_\mu + u \rightarrow \mu^+ + d$
- 3) $W^+ \rightarrow \pi^+ \gamma$
- 4) $J/\psi \rightarrow \tau^+ \tau^-$

Soluzione esercizio 5

1) proibita, interazione forte con violazione di stranezza.
2) permessa, interazione debole.
3) permessa, decadimento debole.
4) proibita, violazione della conservazione dell'energia ($M_{J/\psi} < M_{\tau\tau}$).

Esercizio 6

Un fascio di neutrini muonici, interagendo con un bersaglio di materia (fermo), induce la reazione: $\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$. Calcolare l'energia di soglia dei neutrini muonici per produrre la reazione. (Assumere i valori $m_{\nu_\mu} = 0, m_p = 938MeV, m_n = 939MeV, m_\mu = 105MeV$).

Soluzione esercizio 6

$K_\nu^S = \frac{(m_p+m_\mu)^2-m_n^2}{2m_n} = 110.2\text{MeV}$.