

Introduzione alla Fisica Nucleare e Subnucleare

Prova scritta – 14, 07, 2020

Esercizio 1

Si completino i seguenti decadimenti nucleari indicandone anche la tipologia (la tabella degli elementi è in allegato):

- ${}_{38}^{90}\text{Sr} \rightarrow {}_{39}^{90}\text{Y} + \dots$
- $\dots \rightarrow {}_{88}^{228}\text{Ra} + \alpha$
- ${}_{29}^{62}\text{Cu} \rightarrow \dots + \nu_e$
- $e^- + \dots \rightarrow {}_{100}^{256}\text{Fm} + \dots$
- ${}_{40}^{95}\text{Zr} \rightarrow \dots + e^- + \dots$
- ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow \dots \text{Th} + \dots$

Soluzione 1

- ${}_{38}^{90}\text{Sr} \rightarrow {}_{39}^{90}\text{Y} + e^- + \bar{\nu}_e$, decadimento β^-
- ${}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow {}_{88}^{228}\text{Ra} + \alpha$, decadimento α
- ${}_{29}^{62}\text{Cu} \rightarrow {}_{28}^{62}\text{Ni} + e^+ + \nu_e$, decadimento β^+
- $e^- + {}_{101}^{256}\text{Md} \rightarrow {}_{100}^{256}\text{Fm} + \nu_e$, cattura K
- ${}_{40}^{95}\text{Zr} \rightarrow {}_{41}^{95}\text{Nb} + e^- + \bar{\nu}_e$, decadimento β^-
- ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + \alpha$, decadimento α

Esercizio 2

Supponendo, in una visione semiclassica, che il momento magnetico μ_p di un protone sia interamente dovuto al moto orbitale di un π^+ , con velocità di modulo c attorno a un centro di rotazione elettricamente neutro, e ricordando che $\mu_p \simeq 2.79 \times \mu_N$, con $\mu_N \simeq 5.05 \times 10^{-27} \text{ J} \times \text{T}^{-1}$, si stimi la distanza media fra il π^+ e il centro di rotazione elettricamente neutro. Si esprima un giudizio sulla plausibilità del risultato ottenuto.

Soluzione 2

Si calcola μ_p : $\mu_p \simeq 2.79 \times 5.05 \times 10^{-27} \simeq 14.11 \times 10^{-27} \text{ J}\times\text{T}^{-1}$

Daltronde μ_p in una visione semiclassica, può essere imputato alla corrente I_{π^+} associata al moto orbitale del π^+ lungo una traiettoria orbitale, che non ha motivi per non essere simmetrica rispetto al centro, ovvero un cerchio, di raggio r , circonferenza $C = 2\pi r$ ed area $S = \pi r^2$.

In quest'ipotesi si può porre: $\mu_p = I_{\pi^+} \times S$.

Essendo $I_{\pi^+} = q_{\pi^+} \times \nu$, con $q_{\pi^+} \simeq 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, e $\nu = c/C = c/2\pi r$, si ottiene

$$\mu_p \simeq \frac{c \times 1.6 \times 10^{-19}}{2\pi r} \times \pi r^2 \simeq \frac{3 \times 10^8 \times 1.6 \times 10^{-19}}{2} \times r =$$
$$= 2.4 \times 10^{-11} \times r \text{ J}\times\text{T}^{-1}$$

Uguagliando col valore noto di μ_p si ha infine, per la distanza media r cercata:

$$r \simeq \frac{14.11 \times 10^{-27}}{2.4 \times 10^{-11}} \simeq 5.9 \times 10^{-16} \text{ m, ovvero poco più di mezzo Fermi, quindi una distanza plausibile, essendo dello stesso ordine di grandezza del range delle forze nucleari!}$$

Esercizio 3

Calcolare l'energia del centro di massa \sqrt{s} di un ipotetico *muon collider* che fa scontrare frontalmente un fascio di μ^+ di energia 20 GeV contro un fascio di μ^- di energia 5 GeV.

Quanto deve essere l'energia di un fascio di muoni per generare la stessa \sqrt{s} in un esperimento *a targhetta fissa* (ovvero contro un bersaglio fisso)?

Soluzione 3

$$1. \sqrt{s} = \sqrt{(p_1 + p_2)^2} = \sqrt{2m_\mu^2 + 2(E_1 E_2 + |p_1||p_2|)} =$$
$$= \sqrt{2m_\mu^2 + 2E_1 E_2 (1 + \sqrt{1 - (\frac{m_\mu}{E_1})^2} \sqrt{1 - (\frac{m_\mu}{E_2})^2})} \simeq 20 \text{ GeV.}$$

$$2. \sqrt{2m_\mu^2 + 2m_\mu E^*} = \sqrt{s} \rightarrow E^* = \frac{s - 2m_\mu^2}{2m_\mu} = 100 \text{ GeV.}$$

Esercizio 4

Nel collider dell'esercizio precedente, si vuole studiare la produzione di leptoni τ^\pm ($m_\tau = 1777 \text{ MeV}$, $\tau_\tau = 3.0 \times 10^{-13} \text{ s}$).

1. Disegnare il diagramma di Feynman per questo processo indicando il tipo di interazione e tutti i numeri quantici coinvolti.

2. Quanto vale l'energia dei τ prodotti?
3. Calcolare il cammino medio dei τ all'interno di un rivelatore cilindrico.

Soluzione 4

1. $\mu^+\mu^- \rightarrow Z/\gamma^* \rightarrow \tau^+\tau^-$. Interazione EM/debole, tutti numeri quantici sono conservati: Q, L_μ, L_τ .
2. $E_\tau = \sqrt{s}/2 = 10 \text{ GeV}$
3. $L = \beta\gamma c\tau_\tau = \frac{p}{m} c\tau_\tau = \frac{\sqrt{E_\tau^2 - m_\tau^2}}{m_\tau} c\tau_\tau = 0.053 \text{ cm}$

Esercizio 5

Due particelle A e B, del medesimo impulso $p = 200 \text{ MeV}/c$, vengono rivelate con uno spettrometro prima di essere fatte incidere su un rivelatore di range.

Si misurano due raggi di curvatura, pari a 30 cm e 15 cm rispettivamente per le particelle A e B e dalla misura del range della particella B la si identifica come particella alfa.

La misura del range della particella A risulta essere approssimativamente 16 volte maggiore di quello della particella alfa.

Di quale particella si tratta?

Soluzione 5

Siccome l'impulso di una particella è legato al raggio di curvatura della traiettoria tramite la relazione $p[\text{GeV}/c] = 0.3zR[\text{m}]B[\text{T}]$, la carica della particella B dev'essere doppia di quella della particella A, e quindi pari ad 1. Inoltre vale la relazione

$$R \approx \frac{K}{Mz^2} E_0^2 \quad (1)$$

perchè le particelle sono non relativistiche (perlomeno finora lo sappiamo per la particella alfa). Ne viene anche che

$$E = p^2/2M$$

e quindi

$$E_A = (M_B/M_A)E_B$$

$$R_A = \frac{K}{M_A z_A^2} E_A^2 = 16 \frac{K}{M_B z_B^2} E_B^2 = 16 \frac{K}{M_B z_B^2} E_A^2 (M_A/M_B)$$

essendo B l'indice della particella alfa, e quindi $z_B = 2$ otteniamo

$$M_A^2 = 1/4 M_B^2$$

$$M_A = M_B/2$$

per cui la massa della particella A è pari a quella del deutone.

Esercizio 6

In un esperimento che usa la luce Cherenkov si misura che l'energia cinetica di una particella di massa ignota è pari a $E_K = 314$ MeV. Si osserva inoltre che l'angolo Cherenkov di emissione in un rivelatore con indice di rifrazione $n = 1.88$ è pari a $\theta_C = \arccos(0.55)$. Si valuti di quale particella si tratta.

Soluzione 6

Siccome

$$\cos(\theta_C) = 1/n\beta$$

$$\beta = 1/(n \times \cos(\theta_C)) = 1/(1.88 \times 0.55) = 0.967$$

Ne viene che $\gamma = 1/(1 - \beta^2) = 3.925$ e siccome $E = \gamma mc^2 = E_K + mc^2$ abbiamo infine

$$mc^2 = E_K/(\gamma - 1) = 107 \text{ MeV}/c^2$$

e quindi si tratta di un muone.

Tavola Periodica degli Elementi

																		STATI di AGGREGAZIONE a 20 °C																																																					
																		SOLIDI				LIQUIDI				GASSOSI				ARTIFICIALI																																									
																		Gruppo																																																					
																		13 IIIA		14 IVA		15 VA		16 VIA		17 VIIA																																													
																		5		6		7		8		9		10																																											
																		B		C		N		O		F		Ne																																											
																		Boro		Carbonio		Azoto		Ossigeno		Fluoro		Neon																																											
																		13		14		15		16		17		18																																											
																		Al		Si		P		S		Cl		Ar																																											
																		Alluminio		Silicio		Fosforo		Zolfo		Cloro		Argon																																											
																		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36																			
																		K		Ca		Sc		Ti		V		Cr		Mn		Fe		Co		Ni		Cu		Zn		Ga		Ge		As		Se		Br		Kr																			
																		Potassio		Calcio		Scandio		Titanio		Vanadio		Cromo		Manganese		Ferro		Cobalto		Nikel		Rame		Zinco		Gallio		Germanio		Arsenico		Selenio		Bromo		Kripton																			
																		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54																			
																		Rb		Sr		Y		Zr		Nb		Mo		Tc		Ru		Rh		Pd		Ag		Cd		In		Sn		Sb		Te		I		Xe																			
																		Rubidio		Stronzio		Ittrio		Zirconio		Niobio		Molibdeno		Tecnezio		Rutenio		Rodio		Palladio		Argento		Cadmio		Indio		Stagno		Antimonio		Tellurio		Iodio		Xenon																			
																		55		56		57		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86																			
																		Cs		Ba		La		Hf		Ta		W		Re		Os		Ir		Pt		Au		Hg		Tl		Pb		Bi		Po		At		Rn																			
																		Cesio		Bario		Lantanio		Afnio		Tantalio		Tungsteno		Renio		Osmio		Inridio		Platino		Oro		Mercurio		Tallio		Piombo		Bismuto		Polonio		Astatio		Radon																			
																		87		88		89		104		105		106		107		108		109		110		111		112																															
																		Fr		Ra		Ac		Rf		Db		Sg		Bh		Hs		Mt		Ds		Rg		Cn																															
																		Francio		Radio		Attinio		Rutherfordio		Dubnio		Seaborgio		Bohrio		Hassio		Meitnerio		Darmstadio		Roentgenio		Copernicio																															

Numero Atomico: 1

Peso Atomico: 1,0079

Valenza: -1

Densità (g/cm³): 0,000899

Temp. Fusione (°C): -259,2

Temp. Ebollizione (°C): -253

Numero di Ossidazione: 1,-1

Simbolo: H

Nome: Idrogeno

																		6																																													
																		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71																			
																		Ce		Pr		Nd		Pm		Sm		Eu		Gd		Tb		Dy		Ho		Er		Tm		Yb		Lu																			
																		Cerio		Praseodimio		Neodimio		Promezio		Samario		Europio		Gadolinio		Terbio		Disprosio		Olmio		Erbio		Tulio		Itterbio		Lutezio																			
																		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103																			
																		Th		Pa		U		Np		Pu		Am		Cm		Bk		Cf		Es		Fm		Md		No		Lr																			
																		Torio		Protoattinio		Uranio		Nettunio		Plutonio		Americio		Curio		Berchelio		Californio		Einsteinio		Fermio		Mendelevio		Nobelio		Laurenzio																			
																		7																																													
																		Serie dei Lantanidi																																													
																		Serie degli Attinidi																																													