

I Bonus di Fisica Nucleare e Subnucleare 1 - AA 2018/2019

17 Aprile 2019

NOME E COGNOME:	CANALE:

1. Un acceleratore di elettroni e positroni di 120 GeV di energia ciascuno, i cui impulsi sono diretti lungo l'asse z nel sistema di riferimento del laboratorio e formano un angolo di 180° fra loro, produce bosoni di Higgs e bosoni Z tramite il processo

$$e^+ + e^- \rightarrow H + Z.$$

Il bosone di Higgs è una particella di spin zero e massa $m_H = 125 \text{ GeV}$, mentre lo Z ha una massa di 90 GeV ($\hbar = c = 1$).

Uno sperimentatore cerca eventi in cui lo Z decade tramite il processo

$$Z \rightarrow e^+ + e^-,$$

mentre il bosone di Higgs decade, attraverso il processo a cascata

$$\begin{aligned} H &\rightarrow X + X, \\ X &\rightarrow \mu^+ + \mu^-, \\ X &\rightarrow e^+ + e^-, \end{aligned}$$

in due ipotetiche particelle di spin zero, X , di massa m_X e vita media propria τ_X , entrambe incognite, la cui esistenza è predetta da alcune teorie di nuova fisica. Le particelle X decadono a loro volta in elettroni e muoni.

In uno di questi eventi, lo sperimentatore ricostruisce le tracce di due coppie elettrone-positrone e di una coppia muone-antimuone. I loro quadrimpulsi, misurati nel sistema di riferimento del laboratorio, valgono

$$\begin{aligned} \underline{p}_\mu^{(1)} &= (E, p_x, p_y, p_z) = (15.0, -7.9, -5.4, -11.5), \\ \underline{p}_\mu^{(2)} &= (42.3, -33.1, 5.0, -25.9), \\ \underline{p}_e^{(1)} &= (69.7, 33.2, -61.1, -5.4), \\ \underline{p}_e^{(2)} &= (30.8, 22.1, 16.8, 13.2), \\ \underline{p}_e^{(3)} &= (47.4, 18.4, 36.6, 24.0), \\ \underline{p}_e^{(4)} &= (34.8, -33.4, 8.3, 5.0), \end{aligned}$$

dove energie e impulsi sono espressi in GeV e sono misurati con una precisione di 100 MeV.

- Dopo aver identificato le particelle provenienti dal decadimento delle due X , stimare la massa m_X .
- Le tracce dell'elettrone e del positrone che vengono dal decadimento di X iniziano in un punto comune, distante 10 mm dal punto in cui è stato prodotto H . Calcolare la vita media propria τ_X .

- c. A che angolo sono emesse le particelle X nel sistema di riferimento in cui l' H è fermo, rispetto alla direzione z ?
- d. Qual è la separazione angolare nel sistema del laboratorio fra l'elettrone e il positrone provenienti dal decadimento della X , in questo specifico evento?

Si consideri ora il generico processo $e^+ + e^- \rightarrow H + Z \rightarrow X + X + Z \rightarrow e^+ + e^- + \mu^+ + \mu^- + e^+ + e^-$, assumendo che la massa di X sia quella trovata al punto 1.

- e. Dopo aver calcolato l'energia massima che può avere X nel sistema del laboratorio, si determini l'angolo di apertura minimo necessario per risolvere le tracce dell'elettrone e del positrone provenienti dal decadimento della X .
2. Le osservazioni cosmologiche dell'ultimo secolo mostrano come l'universo si comporrebbe in gran parte di particelle di materia oscura, χ , che non interagiscono elettromagneticamente con la materia ordinaria, e che si muovono rispetto ad un osservatore sulla Terra con velocità $v \approx 200 \text{ km/s} \ll c$. Una sperimentatrice vuole costruire un esperimento che osservi la reazione

$$\chi + N \rightarrow \chi + N,$$

dove la particella χ , di massa ignota, diffonde sul nucleo N degli atomi di cui è composto il rivelatore. La strategia sperimentale è quella di misurare l'energia di rinculo del nucleo tramite processi di scintillazione e ionizzazione da questo indotti su altri atomi del rivelatore.

- a. La sperimentatrice vuole rivelare particelle di massa $m_\chi = 100 \text{ GeV}$. Assumendo che il nucleo nello stato iniziale sia fermo, si ricavi l'espressione dell'energia massima di rinculo del nucleo nel riferimento del laboratorio, svolgendo il calcolo in approssimazione non-relativistica ed esprimendo il risultato in funzione della massa ridotta del sistema χN ,

$$\mu \equiv \frac{m_\chi m_N}{m_\chi + m_N}.$$

- b. Qual è la massa del nucleo che dovrebbe scegliere la sperimentatrice, per costruire il suo rivelatore, in modo da ottenere l'energia massima di rinculo del nucleo più alta possibile? Quanto vale quest'energia?
- c. Se la densità numero di χ nell'universo è di 3 particelle per dm^3 , e la sezione d'urto del processo $\chi + N \rightarrow \chi + N$ vale

$$\sigma = A \times \left(\frac{\mu}{B} \right)^2,$$

dove $A = 1 \times 10^{-42} \text{ cm}^2$, $B = 5 \text{ GeV}$ e m_N è la massa del nucleo, quante interazioni ci si aspetta che avvengano in un anno per un rivelatore di 1000 kg di massa, del materiale identificato al punto precedente?