

I candidati svolgano una delle dissertazioni, rispondano alle domande (a) di tutti i problemi, e ne risolvano almeno uno per intero.

**Dissertazioni** (si raccomanda di limitarsi ad un massimo di tre facciate)

- (1) Simmetrie e principi di conservazione in fisica quantistica
- (2) Le tecniche interferometriche possono essere di grande utilità per la raccolta di radiazione, o di onde gravitazionali, provenienti da corpi celesti. Il candidato descriva un esempio di sua scelta.
- (3) Evidenze sperimentali per cui gli adroni risultano essere costituiti da quark.
- (4) Fornire una spiegazione quantistica della struttura degli atomi.

## **Problemi**

### **n. 1**

Il muone è una particella carica di massa  $106 \text{ MeV}/c^2$ , di vita media  $10^{-6}\text{s}$ , che decade in elettrone, neutrino, antineutrino ( $m_e=0.5 \text{ MeV}/c^2$ ).

(a) L'elettrone è l'unica particella misurata nel decadimento, dalla sua misura, dal decadimento del muone a riposo è possibile capire se il decadimento è in due o in più di due corpi. Si mostri in quale modo.

(b) Nel caso del decadimento in tre particelle, si calcoli l'energia massima dell'elettrone dal decadimento del muone a riposo.

(c) Il leptone  $\tau$  ( $m=2000 \text{ MeV}/c^2$ ) può decadere anch'esso come il muone. Si stimi la vita media del  $\tau$ .

**n. 2**

Un corpo planetario sferico di raggio  $r = 100$  km é in orbita a 10UA (UA= Unita' astronomica = semiasse orbita terrestre) dal Sole, su un'orbita che giace sul piano dell'eclittica. Ipotizzando orbite circolari, si calcolino:

- (a) Il periodo orbitale del pianeta .
- (b) Il valore massimo e il minimo della sua velocità angolare sulla sfera celeste, vista dalla Terra (seguendone il moto apparente dovuto alla rotazione terrestre).
- (c) Stimare la magnitudine apparente del corpo, nell'ipotesi che rifletta tutta la luce ricevuta dal Sole (si prenda come valore della magnitudine ASSOLUTA del Sole  $M_v=5$ ).

**n. 3**

Si consideri il decadimento

$$\pi^+ \longrightarrow \nu_\mu + \mu^+$$

Il  $\pi^+$  é una particella di massa  $m \approx 140$  Mev e spin zero, il leptone  $\mu$  ha massa  $m \approx 106$  Mev, e si consideri il neutrino  $\nu_\mu$  di massa nulla.

- (a) Si scriva la distribuzione in energia e la distribuzione angolare del  $\mu$  nel sistema di riferimento a riposo del  $\pi^+$ .
- (b) Nel caso il  $\pi^+$  abbia un impulso  $\vec{p}$ , si calcoli la distribuzione in energia dei  $\mu$  nel laboratorio.

**n. 4**

Un razzo ruota intorno alla terra con un'orbita circolare di raggio  $R$  e con un tempo di rivoluzione  $T$ . In un certo istante per un breve tempo é stato messo in azione il motore che ha fatto aumentare la velocità del razzo di un fattore  $X$ , portando il corpo a ruotare su un'orbita ellittica.

- (a) Supponendo che, dopo l'accensione, il corpo ha aumentato la velocità nella direzione del moto, si calcoli la distanza massima dal centro della terra raggiunta dal corpo dopo lo spegnimento della spinta.
- (b) Calcolare il periodo di rivoluzione  $T_r$  del corpo posizionato sulla nuova orbita.

I candidati svolgano una delle dissertazioni, rispondano alle domande (a) di tutti i problemi, e ne risolvano almeno uno per intero.

**Dissertazioni** (si raccomanda di limitarsi ad un massimo di tre facciate)

(1) Fare un concisa presentazione di una delle teorie che descrive una delle forze fondamentali in natura, menzionando anche alcune delle sue principali evidenze sperimentali.

(2) Dai corpi celesti ci arrivano fotoni, neutrini, onde gravitazionali ecc.. Gli strumenti usati sono sempre piú spesso grandi strutture sperimentali. Il candidato illustri, in un esempio di sua scelta, le potenzialitá e le principali problematiche tecniche relative alla raccolta dei relativi segnali.

(3) Tecniche sperimentali di identificazione e misura di muoni di alta energia ( $E > 1\text{GeV}$ ).

(4) Descrivere metodi investigativi in grado di fornire informazioni strutturali microscopiche dei materiali

## **Problemi**

### **n. 1**

Il mesone  $\pi^0$  è una particella a spin zero e di massa  $135\text{ MeV}/c^2$  che decade in due fotoni.

(a) Si determini la distribuzione angolare dei fotoni emessi nel sistema di riposo del  $\pi^0$  e la loro energia. Nel sistema in cui il  $\pi^0$  ha un'energia di 3 GeV si determinino l'energia massima e minima dei fotoni emessi.

(b) Si determini l'angolo minimo tra i due fotoni nel decadimento di un  $\pi^0$  di 3 GeV di energia.

(c) Si mostri come la misura delle caratteristiche dei fotoni nello stato finale ci fornisce indicazioni sullo stato di spin/paritá dei  $\pi^0$ .

**n. 2**

Una stella di massa  $M = 10^{35}g$  ha una luminosità pari a  $5 \times 10^{38} \text{ erg/s}$ . Si assuma che la sua unica fonte di energia è quella di fusione dell'idrogeno (massa 1.007 a.m.u.) in elio (massa 4.002 a.m.u.).

(a) Quanta energia può liberare (approssimativamente) per unità di massa di idrogeno?

(b) Quale è il massimo tempo di vita che essa può avere?

(c) Nella vita di una stella sono presenti anche altri processi fisici, diversi dalle reazioni nucleari, in grado di produrre energia. Quale è in grado di liberare una quantità di energia complessiva maggiore rispetto ai processi di nucleosintesi?

**n. 3**

Si consideri un sistema di due oscillatori quantistici unidimensionali accoppiati, identici e di massa unitaria, descritto dalla Hamiltoniana

$$H = \frac{p_1^2}{2} + \frac{p_2^2}{2} + \frac{1}{2}\omega^2 x_1^2 + \frac{1}{2}\omega^2 x_2^2 + \gamma x_1 x_2$$

(a) Calcolare gli autovalori dell'operatore Hamiltoniano.

(b) Scrivere la funzione d'onda dello stato fondamentale.

(c) In presenza di una perturbazione  $P = u(x_1 - x_2)^4$ , calcolare la correzione  $O(u)$  all'energia dello stato fondamentale.

**n. 4**

I nuclei di deuterio  $D$  possono interagire producendo un protone ed un nucleo di trizio  $T$ . Noi sappiamo che nell'interazione il protone libero trasporta un'energia cinetica di 3 Mev (Le energie cinetiche delle particelle prima della reazione sono trascurabili).

(a) Calcolare l'energia cinetica trasportata dal nucleo di trizio.

(b) Calcolare la variazione totale di energia del sistema.

I candidati svolgano una delle dissertazioni, rispondano alle domande (a) di tutti i problemi, e ne risolvano almeno uno per intero.

**Dissertazioni** (si raccomanda di limitarsi ad un massimo di tre facciate)

(1) Tecniche sperimentali di identificazione e misura di elettroni di alta energia ( $E > 1\text{GeV}$ ).

(2) La stima delle distanze in ambito astrofisico é di grande importanza. Il candidato discuta, anche limitandosi ad un ambito parziale, le tecniche usate e le relative problematiche legate ai piú recenti progressi.

(3) L'irraggiamento di corpo nero.

(4) Evidenziare un metodo sperimentale per la misura della emissione di onde elettromagnetiche da parte di atomi, molecole o solidi.

## Problemi

### n. 1

L'universo é riempito di radiazione di fondo a 3 K ( $E = 10^{-3}$  eV). La densitá media di fotoni é di  $300\text{ cm}^{-3}$ . Raggi gamma di alta energia possono interagire con questa radiazione attraverso il processo  $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$  con una sezione d'urto  $\sigma = (8\pi/9)r_e^2$  ( $r_e$  é il raggio classico dell'elettrone,  $r_e = 2.8 \times 10^{-15}$  m).

(a) Si determini l'energia di soglia del gamma di alta energia perché la reazione possa avvenire. ( $m_e = 0.5\text{MeV}/c^2$ )

(b) Si determini la distanza media che il gamma di alta energia percorre prima di essere convertito, e la si paragoni con la dimensione dell'universo.

(c) Anche i protoni cosmici di alta energia possono interagire con la radiazione di fondo attraverso la reazione: protone fotone in  $\pi^+$  neutrone ( $p^+\gamma \rightarrow \pi^+n$ ). Si stimi l'energia di soglia dei protoni per questa reazione. ( $m_{\pi^+} = 140\text{MeV}/c^2$ ,  $m_p = m_n = 1\text{GeV}/c^2$ )

**n. 2**

Un sistema binario é formato da due stelle identiche di massa  $M = 1.4 M_s$ , in orbita circolare con un periodo orbitale di 8 ore.

(a) Calcolare la distanza  $R$  fra le due stelle. É possibile limitare inferiormente o superiormente la densità delle due stelle?

(b) Il sistema emette onde gravitazionali con una potenza data dalla formula:

$$P = \frac{64G^4 M^5}{5c^5 R^5}$$

Descrivere qualitativamente l'evoluzione temporale del sistema.

(c) Stimare la scala dei tempi della suddetta evoluzione.

**n. 3**

Consideriamo un gas perfetto di  $N$  particelle di massa  $m$  e spin  $1/2$  in un volume  $V$ .

(a) Calcolare l'energia massima che possono avere le particelle a  $T = 0$ .

(b) Calcolare l'energia interna e la pressione del gas a  $T = 0$ .

**n. 4**

L'energia media di un sistema all'equilibrio termico é  $\langle E \rangle$ .

(a) Dimostrare che la deviazione quadratica media dell'energia da  $\langle E \rangle$  é data da

$$\langle (E - \langle E \rangle)^2 \rangle = KT^2 C_v$$

dove  $C_v$  é la capacità termica dell'intero sistema a volume costante.

(b) Usare questo risultato per mostrare che l'energia di un sistema macroscopico (nel limite termodinamico) tende a un valore ben definito quando il sistema é all'equilibrio termico.