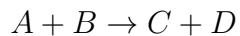


## **Domande Contenute nel File:**

**nuclei\_1.tex**

- 1)** Definisci l'energia di legame di un nucleo. **01**  
**2)** Definisci il Q-valore della reazione: **01**



- 3)** Come viene definita l'unità di massa atomica? **01**  
**4)** Disegna schematicamente, e commenta, l'andamento delle energie di legame per nucleone in funzione di A per nuclei con A>10. **01**  
**5)** Quali sono i prodotti dei decadimenti  $\alpha$   $\beta$  e  $\gamma$ ? **01**  
**6)** Qual'è la condizione necessaria perchè un nucleo possa decadere? **01**  
**7)** Che tipo di andamento hanno le densità di carica dei nuclei? Confronta in un disegno le densità di un nucleo leggero e uno più pesante (ad es.  $^{12}\text{C}$  e  $^{208}\text{Pb}$ ). **01**  
**8)** Qual'è l' ordine di grandezza dell'energia degli elettroni usati in processi di diffusione per lo studio dei nuclei atomici? Perché? **01**  
**9)** Qual'è la legge che descrive il decadimento di N nuclei in funzione del tempo? **01**  
**10)** In cosa consiste il processo di fissione spontanea e in quale regione della tavola degli isotopi avviene? **01**  
**11)** Qual'è la differenza tra processi di diffusione elastica ed inelastica? **01**  
**12)** Indica la sequenza dei numeri magici. Questi valori si riferiscono al numero di massa del nucleo? **01**  
**13)** Schematizza in un disegno l'andamento della parte scalare dell'interazione nucleone-nucleone in funzione della distanza relativa. **01**  
**14)** Cos'è la materia nucleare simmetrica? **01**

## Domande Contenute nel File:

nuclei\_2.tex

- 1) Schematizza in un disegno e descrivi lo spettro di emissione di elettroni da un decadimento  $\beta$  in funzione della loro energia. **03**
- 2) Descrivi lo spettro di emissione dei nuclei di  ${}^4\text{He}$  provenienti da un decadimento  $\alpha$ . **03**
- 3) In una misura di massa nucleare con lo spettrometro di massa è noto  $R_1$ , il raggio di curvatura dello ione di massa  $M_1$  e carica  $Z_1$ , usato per calibrare lo strumento. Mostrare come sia possibile ottenere il valore incognito  $M_2$  della massa del nucleo con carica nota  $Z_2$ , misurando il raggio di curvatura  $R_2$ . Nota che l'energia cinetica dei nuclei, quando entrano nella zona dello spazio in cui è presente il campo magnetico è  $ZeV$ , dove  $V$  è il potenziale elettrostatico e  $Ze$  la carica del nucleo. **03**
- 4) Lo spettrometro di massa è utilizzabile solo per misure con nuclei stabili. **03**  
Com'è possibile misurare le masse di nuclei instabili?
- 5) Come sono legate vita media e costante di decadimento di un nucleo instabile? Dimostra la relazione tra le due quantità utilizzando le loro definizioni. **03**
- 6) Il decadimento **03**  
$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$$
  
è energeticamente proibito. Com'è possibile che molti nuclei decadano  $\beta^+$  ?
- 7) La cattura elettronica è un processo in competizione con il decadimento  $\beta^+$  del nucleo. Calcola il  $Q$ -valore per entrambi i processi e identifica quello energeticamente più favorevole. **03**
- 8) Il meccanismo che, in alcuni nuclei, produce la fissione spontanea è lo stesso che governa l'emissione  $\alpha$ ? Perché? **03**
- 9) Qual'è la definizione operativa di sezione d'urto? **03**
- 10) Qual'è il legame tra distribuzione di carica, fattore di forma e sezione d'urto elastica di elettroni su nuclei? **03**
- 11) Il modello a campo medio fa un'ipotesi sulla forma dell'operatore hamiltoniano? **03**

niano che descrive il sistema a molticorpi, come il nucleo. In cosa consiste questa approssimazione?

- 12) Indica alcune evidenze empiriche dell'esistenza dei numeri magici. **03**
- 13) L'analisi di una roccia mostra che è composta da due isotopi dello stesso elemento. Un isotopo è stabile mentre l'altro decade con vita media  $\tau$ . Nota la percentuale degli isotopi radioattivi rispetto a quelli stabili, determinare l'età della roccia ipotizzando che, nel momento della sua formazione il numero di nuclei radioattivi fosse uguale a quello dei nuclei stabili. **03**
- 14) Un fascio di elettroni di energia  $\epsilon_i$  diffonde da un bersaglio nucleare di massa  $M$ . L'energia degli elettroni rivelati ad un angolo di diffusione  $\theta$  è  $\epsilon_f$ . Utilizzando unità naturali ( $\hbar = c = 1$ ), e considerando l'approssimazione ultra-relativistica ( $m_e \ll \epsilon$ ):  
a) calcolare  $|\mathbf{q}|$ , il modulo del momento trasferito al nucleo,  
b) identificare per quale valore di  $\theta$  il valore di  $|\mathbf{q}|$  è massimo,  
c) nel caso b), e per un processo elastico, calcolare l'energia cinetica di rinculo del bersaglio. **03**
- 15) Un nucleo pari-pari, con spin  $J_i$  e parità  $P_i$ , decade  $\alpha$  nello stato fondamentale del nucleo figlio, con spin  $J_f$  e parità  $P_f$ . Quali sono i valori di  $J_i$ ,  $P_i$ ,  $J_f$ ,  $P_f$  e del momento angolare orbitale relativo  $L$  tra particella  $\alpha$  e nucleo figlio. Perché? **03**
- 16) È possibile per due protoni diffondere con momento angolare relativo  $L = 0$  in modo che gli spin siano in uno stato di tripletto  $S = 1$ ? Per due neutroni? Per un protone e un neutrone? Perché? **03**
- 17) Un nucleo può decadere in due maniere diverse con costanti di decadimento  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  rispettivamente. Qual è la legge di decadimento totale in funzione di  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ ? **03**
- 18) Un livello di singola particella con parità negativa può contenere 8 nucleoni. Quali sono i valori del momento angolare orbitale  $l$  e del momento totale  $j$  di questo livello? **03**
- 19) Come viene definito il momento di quadrupolo elettrico di un nucleo? In che unità di misura viene espresso? Come sono classificati i nuclei in base al valore del loro momento di quadrupolo? **03**

- 20)** Consideriamo un nucleo di momento angolare nullo e deformazione permanente. Com' è legata l'energia di rotazione al momento d'inerzia e all'autovaleure del momento angolare? **03**

## Domande Contenute nel File:

nuclei\_3.tex

- 1) Quali sono le considerazioni che indicano nell'effetto tunnel il meccanismo responsabile del decadimento  $\alpha$ ? **05**
- 2) La tavola degli isotopi mostra che la valle di stabilità si trova attorno alla linea  $Z=N$ , per nuclei con  $A \leq 40$ . Per nuclei più pesanti la stabilità si ottiene solo quando si ha  $N > Z$ . Qual' è l'origine fisica di questo comportamento? **05**
- 3) Il fatto che il valore delle distribuzioni di carica al centro del nucleo non subisca grosse variazioni per tutti i nuclei con  $A > 10$  è utilizzato per inferire una proprietà dell'interazione forte. Di quale proprietà si tratta? Qual'è la relazione tra questa proprietà e l'osservazione fatta sopra? **05**
- 4) Classifica le seguenti transizioni elettromagnetiche, caratterizzate dal loro momento angolare e dalla parità, secondo la tradizionale distinzione tra transizioni elettriche e magnetiche. Ordinala secondo probabilità descrescente. **05**

$$4^- ; 10^+ ; 6^- ; 7^+ ; 2^- ; 2^+ ; 3^- ; 5^-$$

- 5) Nello studio della struttura nucleare che vantaggi presentano le sonde elettromagnetiche, soprattutto fotoni ed elettroni, rispetto a quelle adroniche? **05**
- 6) Il modello a strati, implementato dall'interazione di appaiamento, fa delle previsioni molto accurate dei valori di momento angolare e parità dello stato fondamentale dei nuclei. Quali sono le regole per la determinazione di queste quantità utilizzando il modello a strati? Utilizzale per determinare il momento angolare e la parità dello stato fondamentale del nucleo  $^{11}_6C_5$ . **05**
- 7) Nel modello a strati nel nucleo di  $^{16}_8O_8$  risultano occupati i livelli  $1s1/2$ ,  $1p3/2$  e  $1p1/2$  sia per protoni che per neutroni. La transizione che eccita un nucleone dal livello  $1p3/2$  al livello  $1d5/2$  a quali eccitazioni di multipolo può contribuire? **05**
- 8) Quali ipotesi riguardanti il proiettile e il bersaglio sono necessarie per ottenere la sezione d'urto di Rutherford ? **05**
- 9) Quali ipotesi riguardanti il proiettile e il bersaglio sono necessarie per ottenere la sezione d'urto di Rutherford ? **05**

tenere la sezione d'urto di Mott? Quali sono le ipotesi che differiscono da quelle necessarie per ottenere la sezione d'urto di Rutherford ?

- 10) Utilizzando la formula semi-empirica della massa identifica il valore di Z del nucleo stabile per un insieme di isobari pari-dispari. **05**

- 11) In un reattore nucleare vengono prodotti ad un tasso costante  $P$  nuclei radioattivi al secondo. Se  $\lambda$  è la loro costante di decadimento, dimostra che il numero di nuclei all'istante  $t$  è dato dalla relazione **05**

$$N(t) = P(1 - e^{-\lambda t})$$

- 12) La definizione operativa di sezione d'urto è basata sulle ipotesi che il processo avvenga considerando l'urto individuale delle particelle del fascio con un solo componente isolato, il nucleo ad esempio, che compone il bersaglio. Quali sono le condizioni sperimentalistiche che garantiscono la validità di queste ipotesi? **05**

- 13) Da quali dati empirici vengono dedotte le caratteristiche dell'interazione tra due nucleoni? Si tratta di una interazione fondamentale? Perché? **05**

- 14) Il deutone ha momento di quadrupolo elettrico diverso da zero. Che proprietà dell'interazione nucleone-nucleone ne consegue? Perché? **05**

- 15) Qual'è l'espressione analitica del potenziale di Woods-Saxon. Quali sono le caratteristiche che la rendono più adeguata a descrivere le proprietà dei nuclei atomici rispetto ad altri potenziali, come ad esempio l'oscillatore armonico o la buca quadrata? **05**

- 16) Come si differenziano gli spettri rotazionali da quelli vibrazionali? **05**

## Domande Contenute nel File:

nuclei\_4.tex

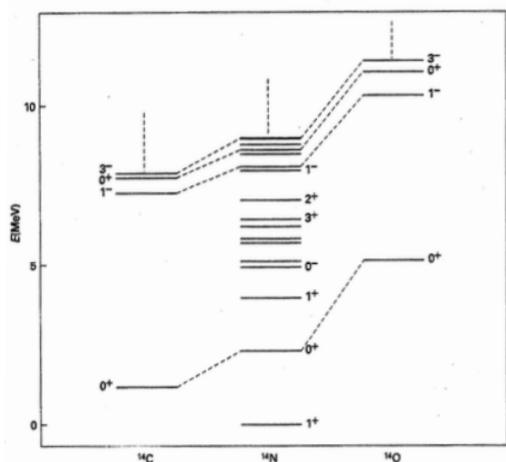


Figura 1:

cinetica della particella  $\alpha$ , e  $K$  è:

$$K = \frac{e^2 2Z}{4\pi\epsilon_0}$$

con  $Z$  il numero di protoni del bersaglio. Perché Rutherford si aspettava angoli di diffusione di pochi archi di grado, contrariamente a quanto osservato? Alcune particelle  $\alpha$  venivano deflesse anche di  $180^\circ$ . Ricorda che  $e^2/4\pi\epsilon_0 = 1.44$  MeV fm, e considera  $E = 1$  MeV e  $Z = 50$ .

- 1) La figura 1 è utilizzata per dedurre che l'isospin è un numero quantico che si comporta come un momento angolare. Spiega come si raggiunge questa conclusione. **07**
- 2) Nell'analisi semiclassica dell'esperimento di Rutherford il parametro d'impatto delle particelle  $\alpha$  usate come proiettili è legato all'angolo di diffusione dalla relazione **07**

$$b = K \frac{1}{2E} \frac{\cos \theta/2}{\sin \theta/2}$$

dove  $E$  rappresenta l'energia

Dimostra che questa espressione dello stato a molticorpi è soluzione dell'equazione di Schrödinger a campo medio. Quali sono le motivazioni fisiche che impongono la struttura a determinante?

- 6) Per ottenere la corretta sequenza dei numeri magici è necessario inserire nel-  
l'hamiltoniana di campo medio a simmetria sferica un termine di spin-orbita  
proporzionale a  $\mathbf{l} \cdot \mathbf{s}$ , dove  $\mathbf{l}$  è l'operatore momento angolare orbitale e  $\mathbf{s}$  l'ope-  
ratore di spin. Quali sono gli autovalori dell'operatore  $\mathbf{l} \cdot \mathbf{s}$ ? Come vengono  
modificati gli autovalori dell'hamiltoniana di campo medio a simmetria cen-  
trale quando questo termine viene inserito? Qual è la degenerazione di ogni  
livello energetico?

- 7) 07

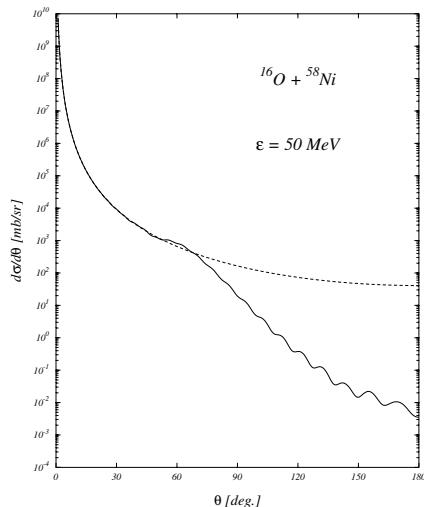
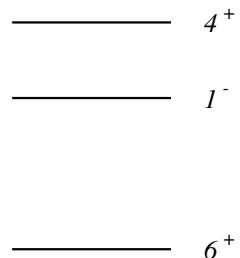


Figura 2:

Nella figura 2 è mostrata la sezione d'urto per la reazione  $^{16}\text{O} + ^{58}\text{Ni}$ . Fino a circa  $50^\circ$  la sezione d'urto segue un andamento proporzionale a  $\sin^4 \theta/2$ , come previsto dalla formula di Rutherford. Per valori più grandi di  $\theta$  la sezione d'urto presenta delle oscillazioni. Spiega le ragioni di questo diverso comportamento. In altre parole, quale delle ipotesi necessarie per ottene-  
re la sezione d'urto di Rutherford non è più soddisfatta per  $\theta > 50^\circ$ ?

8)



07

La figura 3 mostra lo schema dei livelli di un nucleo. Identifica tutte le transizioni gamma che possono avvenire. Ordinalle secondo la probabilità di transizione ed identifica quelle che emettono fotoni con la stessa energia.

Figura 3:

9)

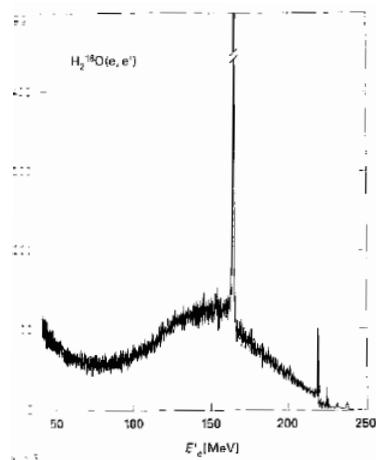


Figura 4:

ne su nuclei di H e quale su nuclei di  $^{16}\text{O}$ ? Perché la posizione dei due picchi non coincide? Perché le ampiezze dei due picchi sono così differenti?

- 10) Qual è il comportamento della formula semi-empirica della massa per una serie di nuclei con la stessa massa  $A$ , al variare di  $Z$ ? Quanti nuclidi stabili ci sono per una serie di isobari con  $A$  dispari? Spiega il motivo del diverso comportamento osservato nei due casi indicati. 07
- 11) L'interazione nucleare forte è a corto raggio. Qual è il significato di questa affermazione? Descrivi la relazione tra questa caratteristica dell'interazione nucleare forte con le seguenti osservazioni empiriche. 07
1. Comportamento delle energie di legame per nucleone in funzione della massa nucleare.
  2. Distribuzione di carica, e di materia dei nuclei.
  3. Per nuclei con numero di protoni  $Z$  maggiore di 20, si ha stabilità per un numero di neutroni  $N > Z$ .
- 12) La sezione d'urto di fissione per l'assorbimento di un neutrone lento (termico) è maggiore per i nuclei pari-dispari, come ad esempio l'isotopo  $^{235}\text{U}$ , che per i nuclei pari-pari, come l' $^{238}\text{U}$ . Perché? 07

07

La figura 4 mostra la sezione d'urto di diffusione di elettronni su bersaglio di acqua. L'energia incidente degli elettronni è fissata a 300 MeV, e l'ascissa riporta l'energia dell'elettrone diffuso. L'angolo di diffusione è fissato. Le unità in ordinata sono arbitrarie. Descrivere il significato del picco stretto e molto alto a circa  $E'=160$  MeV e quello molto più ampio piccato a 150 MeV circa. Quale dei due picchi si riferisce alla diffusione su nuclei di H e quale su nuclei di  $^{16}\text{O}$ ?

- 13)** Come si ottengono i valori empirici di densità ed energia di legame per nucleone della materia nucleare nel punto di stabilità dell'equazione di stato della materia nucleare? **07**
- 14)** Ricava il valore della densità in funzione dell'impulso di Fermi nel modello a gas di Fermi. **07**
- 15)** Com' è possibile ricavare il valore del momento angolare del nucleo analizzando la struttura iperfine dello spettro atomico? **07**
- 16)** Eccitazioni di particella singola e collettive sono due classificazioni estreme dei modi di eccitazione di un nucleo. In cosa si differenziano? Quale dei due tipi di eccitazione è ben descritto dal modello a campo medio? Qual' è l'approssimazione fatta dal modello a campo medio che impedisce la descrizione di entrambi i modi di eccitazione? **07**
- 17)** La risonanza gigante di dipolo elettrico è presente in tutti i nuclei con  $A > 10$ . In quale tipo di processi di diffusione viene meglio eccitata? Quali sono i numeri quantici che la caratterizzano? Come viene descritta in un modello a due fluidi ? **07**

### **Domande Contenute nel File:**

`part_1.tex`

- 1) Quali sono i numeri quantici che caratterizzano la risonanza  $\Delta$ ? **01**
- 2) Com' è definita la variabile  $x$  di Bjorken? **01**
- 3) Nel modello a quark ingenuo, qual' è la composizione di barioni e mesoni in **01** termini di quark?
- 4) Quanti sapori differenti di quark esistono, e quali sono i valori dei numeri **01** quantici che li distinguono?
- 5) Fai un esempio di decadimento debole di tipo leptonico, uno di tipo semi- **01** leptonico e uno di tipo adronico.
- 6) Quali sono i bosoni mediatori dell'interazione debole e quali sono i numeri **01** quantici che li caratterizzano?
- 7) Cosa sono il bottomio e il charmonio? **01**
- 8) Che differenza c' è tra quark di valenza, del mare e costituenti? **01**
- 9) Si afferma che gli adroni sono entità prive di numero quantico di colore. **01** Questa affermazione non è sufficientemente precisa. Come dovrebbe essere più correttamente formulata?
- 10) Il decadimento  $p \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$  non è mai stato osservato. Quale legge di **01** conservazione violerebbe?

## Domande Contenute nel File:

part\_2.tex

1)

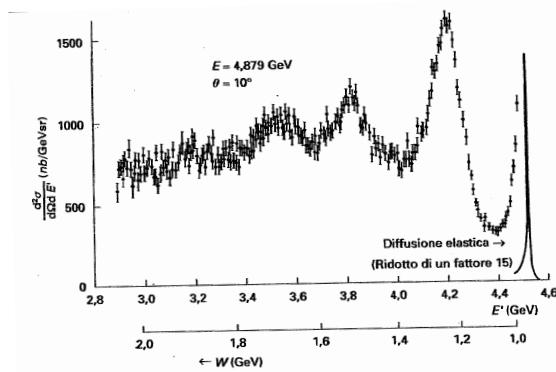


Figura 5:

03

La figura 5 mostra la sezione d'urto per un processo di diffusione anelastica di elettroni su protoni. In ascissa sono rappresentate sia  $E'$ , l'energia dell'elettrone diffuso, sia la massa invariante  $W$ . Quali sono i numeri quantici della risonanza che appare a  $W \sim 1.3$  GeV? Com'è possibile stimare la sua vita media ( $\hbar \sim 6.6 \cdot 10^{-22}$  s MeV)? Quali sono i principali modi di decadimento di questa risonanza?

- 2) Presenta alcune evidenze empiriche del fatto che il protone abbia dimensioni finite e struttura interna. 03
- 3) Come sono normalizzati i fattori di forma  $G_E(Q^2)$  e  $G_M(Q^2)$  del protone e del neutrone nel limite in cui il quadrimomento  $Q$  tende a zero? 03
- 4) Dal punto di vista energetico, qual' è il vantaggio degli anelli di accumulazione rispetto agli acceleratori con bersaglio fisso, nella produzione di particelle? 03
- 5) Spiega perchè il mesone  $\pi^0$  non può essere prodotto in collisioni  $e^+e^-$ . 03
- 6) Cosa si intende per universalità dell'interazione debole? 03
- 7) Come vengono classificati i mesoni leggeri in base ai numeri quantici di spin, terza componente di isospin, e stranezza? 03
- 8) Per quali ragioni fisiche le interazioni fondamentali sono state storicamente identificate secondo la sequenza: gravitazionale, elettromagnetica ed infine le interazioni nucleari forte e debole? 03

- 9)** Quali sono i processi fisici che permettono di identificare l'esistenza dell'interazione debole? **03**
- 10)** Qual è il valore della terza componente dell'isospin dei seguenti sistemi di quark: (a)  $u\bar{s}$ , (b)  $c\bar{d}$ , (c)  $\bar{u}\bar{u}\bar{d}$ , (d)  $ddc$ , (e)  $ubc$ , (f)  $s\bar{s}$ . **03**
- 11)** Quali sono le particelle da aggiungere nelle seguenti reazioni deboli di cambio carica per conservare il numero leptonico? **03**
1.  $\mu^- \rightarrow e^- + ?$
  2.  $\tau^+ \rightarrow e^+ + ?$
  3.  $e^- + {}_Z^A X \rightarrow ?$
  4.  $\nu_\mu + n \rightarrow ?$
  5.  ${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z-1}^A Y + ?$
  6.  $\overline{\nu}_e + p \rightarrow ?$
- 12)** Queste reazioni e/o decadimenti non avvengono in natura. Quali regole di conservazione vengono violate? **03**
1.  $\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$
  2.  $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \overline{\nu}_\mu$
  3.  $\overline{\nu}_\mu + n \rightarrow p + e^-$
  4.  $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$
  5.  $\mu^- + p \rightarrow n + \pi^0$
  6.  $e^+ + e^- \rightarrow \nu_e + \overline{\nu}_\mu$
- 13)** I leptoni  $\overline{\nu}_e$  e  $\nu_e$  sono due particelle differenti. Questa affermazione si basa sul fatto che mentre alcuni processi sono stati identificati altri non sono mai stati osservati. Menziona qualcuno di questi processi in modo da giustificare l'affermazione iniziale. **03**

## Domande Contenute nel File:

part\_3.tex

- 1) Come sono legate le funzioni di struttura del nucleone alla sezione d'urto anelastica elettrone-nucleone, ottenuta in approssimazione di Born delle onde piane? **05**
- 2) La struttura della funzione d'onda che descrive lo stato fondamentale della risonanza  $\Delta^{++}$  viene comunemente utilizzata per introdurre il numero quantico di colore. Perché? **05**
- 3) Il concetto di energia di legame è definibile per i leptoni? E per gli adroni (sia barioni che mesoni)? Amesso che sia definibile, è una quantità misurabile in questi casi? **05**
- 4) Qual è il contenuto in termini di numero quantico di colore dei gluoni? In quanti tipi differenti possono essere classificati? **05**
- 5) Ogni teoria delle interazioni forti deve prevedere il confinamento e la libertà asintotica. A quali fenomeni fisici sono legate queste due caratteristiche dell'interazione forte? **05**
- 6) In un processo di produzione generato da una collisione  $e^+e^-$ , quali sono i numeri quantici delle risonanze che possono essere prodotte? **05**
- 7) Per valori dell'energia disponibile nel centro di massa  $\sqrt{s} \gg m_\tau$  le sezioni d'urto dei processi  $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$  e  $e^+ + e^- \rightarrow \tau^+ + \tau^-$  sono identiche. Cosa si può dedurre da questa osservazione? **05**
- 8) Il mesone  $K$  decade in due o tre pioni, ad esempio **05**

$$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$$

$$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$$

Questi decadimenti sono governati dall'interazione debole e mostrano la violazione di una proprietà fisica conservata invece da tutte le altre interazioni fondamentali. Di quale proprietà si tratta? Perché viene violata in questi decadimenti?

- 9) Come vengono classificati i barioni leggeri in base ai numeri quantici di spin, **05**

terza componente di isospin, e stranezza?

10)

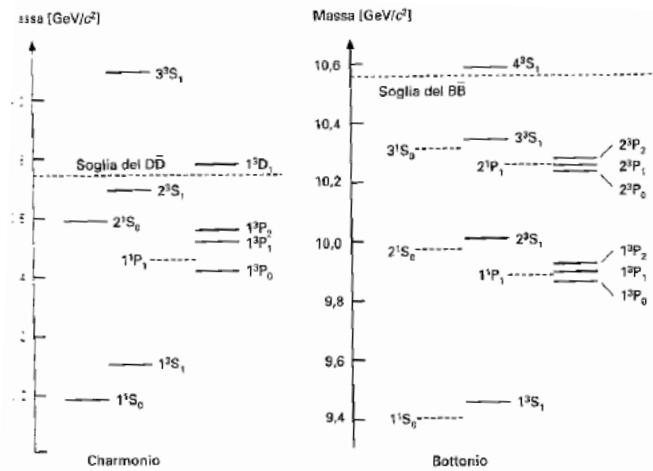


Figura 6:

05

Nella figura 6 qual è il significato della linea indicata come  $D\bar{D}$ ?

## Domande Contenute nel File:

part\_4.tex

1)

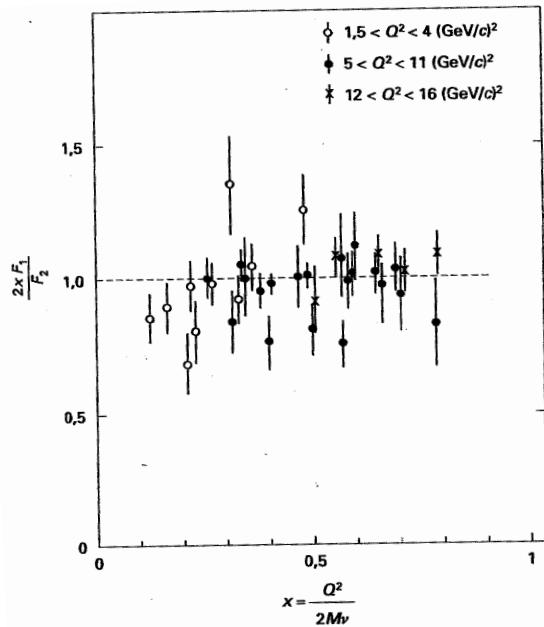


Figura 7:

La figura 7 mostra che la relazione di Callan-Gross

$$2xF_1(x) = F_2(x)$$

con

$$F_1(x) = MW_1(Q^2, \nu)$$

$$F_2(x) = \nu W_2(Q^2, \nu)$$

dove  $W_1(Q^2, \nu)$  e  $W_2(Q^2, \nu)$  sono le funzioni di struttura, è verificata sperimentalmente. Che implicazioni ha questo fatto? Se gli elettroni diffondessero anche da parton a spin nullo, la relazione di Callan-Gross come sarebbe modificata? Perché?

- 2) La sezione d'urto di diffusione elastica di elettroni su muoni nel sistema del laboratorio è: 07

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = f_{rec}\sigma_M \left[ 1 + 2 \frac{\mathbf{q}^2 - \omega^2}{4M^2} \tan^2 \frac{\theta}{2} \right]$$

dove  $f_{rec}$  è un fattore che considera il rinculo del bersaglio,  $\sigma_M$  la sezione d'urto di Mott,  $\mathbf{q}$  il trimomento trasferito, e  $\omega$  l'energia persa dall'elettrone. Che tipo di processi descrive la sezione d'urto di Mott? Quali sono le ipotesi che portano alla sua espressione? Perché nel caso in questione la sezione d'urto di Mott è corretta dalla presenza del secondo termine tra parentesi quadre?

- 3) La sezione d'urto elastica di diffusione di elettroni su protoni nel sistema del 07

laboratorio può essere scritta come:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = f_{rec}\sigma_M \left[ F_E(\mathbf{q}^2) + 2F_M(\mathbf{q}^2) \frac{\mathbf{q}^2 - \omega^2}{4M^2} \tan^2 \frac{\theta}{2} \right]$$

dove  $f_{rec}$  è un termine che considera il rinculo del nucleo,  $\sigma_M$  la sezione d'urto di Mott,  $\mathbf{q}$  il trimomento trasferito, e  $\omega$  l'energia persa dall'elettrone. Qual'è l'interpretazione fisica dei fattori  $F_E$  ed  $F_M$ ?

- 4) Cos' è il processo di separazione di Rosenbluth? **07**
- 5) In processi di diffusione profondamente anelastica di elettroni su protoni si osserva che le funzioni di struttura del protone scalano rispetto alla variabile  $x$  di Bjorken. Cosa significa? Che interpretazione si dà di questo fenomeno? **07**
- 6) Indicando con  $xq_j(x)$  la densità di partoni di tipo  $j$  che trasportano una frazione  $x$  dell'impulso totale del nucleone, si dovrebbe avere: **07**

$$\int_0^1 dx x \sum_j q_j(x) = 1$$

Sperimentalmente si osserva che questo integrale è circa 0.5. Come viene interpretato questo fatto?

- 7) I valori delle masse dei mesoni  $\rho^0$  e  $\omega$  sono molto simili ( $m_{\rho^0} = 770$  MeV  $m_\omega = 782$  MeV). La differenza tra questi valori è inferiore all'ampiezza delle rispettive risonanze, che possono essere eccitate in processi di annichilazione  $e^+ e^-$ . Come è possibile sapere quale dei due mesoni è stato prodotto? Quale delle due risonanze ha maggiore ampiezza? Perchè? **07**
- 8) La risonanza  $J/\Psi$  si presenta ad un'energia di 3097 MeV con un'ampiezza di soli 93.5 keV. Per quale motivo l'ampiezza della risonanza è così piccola confrontata con la massa del mesone? **07**
- 9) Descrivi l'esperimento di M. Wu et al. che ha permesso di verificare che la parità non è conservata in processi governati dall'interazione debole. **07**
- 10) Indica i possibili modi di decadimento indotti dalle interazioni forte, debole ed elettromagnetica di una risonanza prodotta da annichilazione  $e^+ e^-$ . **07**
- 11) Perché viene introdotto l'angolo di Cabibbo o, più in generale, la matrice di Kobayashi-Maskawa? **07**

- 12)** Considera la situazione di massimo impulso dell' elettrone nel decadimento **07**

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

È favorita la situazione in cui l'elettrone viene emesso nella stessa direzione dello spin del muone oppure la direzione opposta? Perché?

- 13)** Per quali motivi l'ampiezza della risonanza  $J/\Psi$  è di soli 88 keV, piccola, se **07** confrontata con la massa invariante della particella che è di 3097 MeV?
- 14)** Quali sono le evidenze empiriche della violazione della simmetria  $CP$ ? **07**