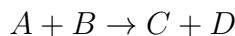


## Domande Contenute nel File:

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) Fai un esempio di decadimento debole di tipo leptonico, uno di tipo semi-leptonico e uno di tipo adronico. 01  
14) Quali sono i bosoni mediatori dell'interazione debole e quali sono i numeri quantici che li caratterizzano? 01  
15) Com' è definita la variabile  $x$  di Bjorken? 01

- 16)** Quali sono i numeri quantici che caratterizzano la risonanza  $\Delta$ ? **01**
- 17)** Nel modello a quark ingenuo, qual' è la composizione di barioni e mesoni in **01** termini di quark?
- 18)** Quanti sapori differenti di quark esistono, e quali sono i valori dei numeri **01** quantici che li distinguono?
- 19)** Che differenza c'è tra quark di valenza, del mare e costituenti? **01**
- 20)** 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?
- 21)** Il decadimento  $p \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$  non è mai stato osservato. Quale legge di **01** conservazione violerebbe?

## Domande Contenute nel File:

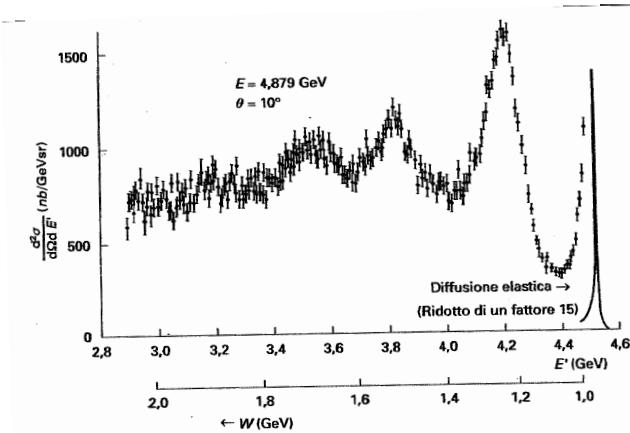
nuclei\_2.tex

- 1) Schematizza in un disegno e descrivi lo spettro di emissione di elettroni da **03** un decadimento  $\beta$  in funzione della loro energia.
- 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 **03** 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.
- 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 **03**  $\beta^+$  del nucleo. Calcola il  $Q$ -valore per entrambi i processi e identifica quello energeticamente più favorevole.
- 8) Qual' è la definizione operativa di sezione d'urto? **03**
- 9) Qual' è il legame tra distribuzione di carica, fattore di forma e sezione d'urto **03** elastica di elettroni su nuclei?
- 10) Il modello a campo medio fa un'ipotesi sulla forma dell'operatore hamiltoniano che descrive il sistema a multicorpi, come il nucleo. In cosa consiste questa approssimazione? **03**

- 11) Indica alcune evidenze empiriche dell'esistenza dei numeri magici. **03**
- 12) 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**
- 13) 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**
- 14) 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**
- 15) E' 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**
- 16) 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**
- 17) Cosa si intende per universalità dell'interazione debole? **03**
- 18) Quali sono i processi fisici che permettono di identificare l'esistenza dell'interazione debole? **03**
- 19) Quali sono le particelle da aggiungere nelle seguenti reazioni deboli di cambio carica per conservare il numero leptonico?  
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.  $\bar{\nu}_e + p \rightarrow ?$

- 20)** Queste reazioni e/o decadimenti non avvengono in natura. Quali regole di **03** conservazione vengono violate?
1.  $\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$
  2.  $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$
  3.  $\bar{\nu}_\mu + n \rightarrow p + e^-$
  4.  $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$
  5.  $\mu^- + p \rightarrow n + \pi^0$
  6.  $e^+ + e^- \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_\mu$
- 21)** Presenta alcune evidenze empiriche del fatto che il protone abbia dimensioni **03** finite e struttura interna.
- 22)** Come sono normalizzati i fattori di forma  $G_E(Q^2)$  e  $G_M(Q^2)$  del protone e **03** del neutrone nel limite in cui il quadrimomento  $Q$  tende a zero?
- 23)** La sezione d'urto elastica di diffusione di elettroni su protoni nel sistema del **06** 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  $F_M$ ?
- 24)** La figura 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?



### Domande Contenute nel File:

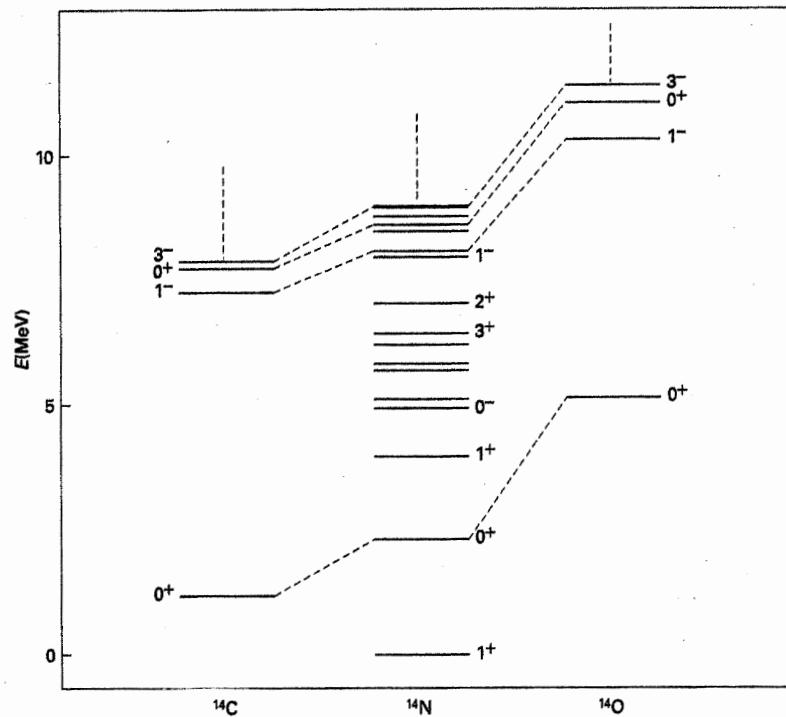
nuclei\_3.tex

- 1) Quali sono le considerazioni che indicano nell'effetto tunnel il meccanismo **04** responsabile del decadimento  $\alpha$ ?
- 2) La tavola degli isotopi mostra che la valle di stabilità si trova attorno alla **04** 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?
- 3) Il fatto che il valore delle distribuzioni di carica al centro del nucleo non **04** 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?
- 4) Classifica le seguenti transizioni elettromagnetiche, caratterizzate dal loro **04** momento angolare e dalla parità, secondo la tradizionale distinzione tra transizioni elettriche e magnetiche. Ordinalle secondo probabilità descrescente.

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

- 5) Nello studio della struttura nucleare che vantaggi presentano le sonde elet- **04** tromagnetiche, soprattutto fotoni ed elettroni, rispetto a quelle adroniche?

- 6) Il modello a strati, implementato dall'interazione di appaiamento, fa delle **04** 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  $^{11}_6\text{C}_5$ .
- 7) Nel modello a strati nel nucleo di  $^{16}_8\text{O}_8$  risultano occupati i livelli  $1s1/2$ , **04**  $1p3/2$  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?
- 8) Quali ipotesi riguardanti il proiettile e il bersaglio sono necessarie per ottenere la sezione d'urto di Rutherford? **04**
- 9) Quali ipotesi riguardanti il proiettile e il bersaglio sono necessarie per ottenere la sezione d'urto di Mott? Quali sono le ipotesi che differiscono da quelle necessarie per ottenere la sezione d'urto di Rutherford? **04**
- 10) Utilizzando la formula semi-empirica della massa identificare il valore di  $Z$  **04** del nucleo stabile per un insieme di isobari pari-dispari.
- 11) 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?
- 12) Il concetto di energia di legame è definibile per i leptoni? E per gli adroni **04** (sia barioni che mesoni)? Amesso che sia definibile, è una quantità misurabile in questi casi?
- 13) Qual è il contenuto in termini di numero quantico di colore dei gluoni? In **04** quanti tipi differenti possono essere classificati?
- 14) Ogni teoria delle interazioni forti deve prevedere il confinamento e la libertà **04** asintotica. A quali fenomeni fisici sono legate queste due caratteristiche dell'interazione forte?



### Domande Contenute nel File:

nuclei\_4.tex

- 1) La figura è utilizzata per dedurre che l'isospin è un numero quantico che **06** si comporta come un momento angolare. Spiega come si raggiunge questa conclusione.
- 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

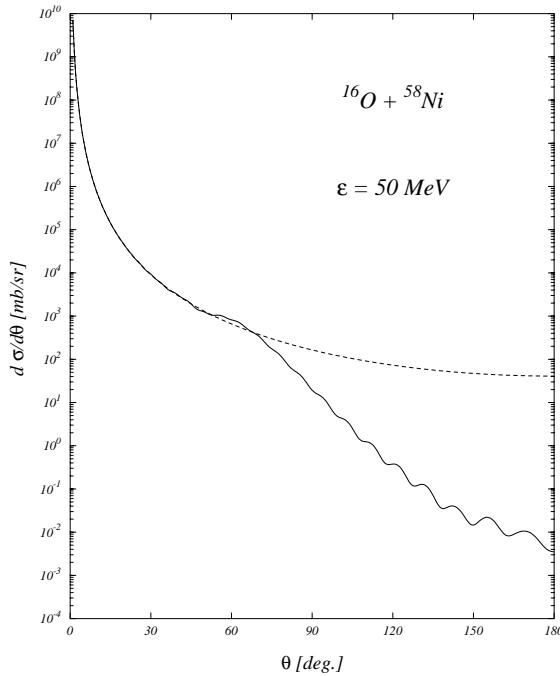
$$b = K \frac{1}{2E} \frac{\cos \theta/2}{\sin \theta/2}$$

dove  $E$  rappresenta l'energia 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  $Z = 50$ .

- 3) Discuti l'interpretazione fisica dei termini che compongono la formula-semi-empirica della massa di Bethe-Weissecker. **06**
- 4) Che procedimento si usa per estrarre le distribuzioni di carica dei nuclei dai dati di sezione d'urto elastica elettrone-nucleo? **06**
- 5) Nella descrizione di un nucleo con un modello a campo medio gli stati del nucleo sono determinanti di Slater di funzioni d'onda di singola particella. Perchè il modello implica questa restrizione nella descrizione degli stati del sistema a molticorpi? **06**
- 6) Per ottenere la corretta sequenza dei numeri magici è necessario inserire nell'hamiltoniana di campo medio a simmetria sferica un termine di spin-orbita proporzionale a  $\mathbf{l} \cdot \mathbf{s}$ . Quali sono gli autovalori di questo operatore? Come vengono modificati gli autovalori dell'hamiltoniana di campo medio a simmetria centrale quando questo termine viene inserito? Qual'è la degenerazione di ogni livello energetico? **06**
- 7) **06**



Nella figura è mostrata la sezione d'urto per la reazione  $^{16}O + ^{58}Ni$ . 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 ottenere la sezione d'urto di Rutherford non è più soddisfatta per  $\theta > 50^\circ$ ?

- 8) La sezione d'urto di diffusione elastica di elettroni su muoni nel sistema del **06** laboratorio è:

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

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? Perchè nel caso in questione la sezione d'urto di Mott è corretta dalla presenza del secondo termine tra parentesi quadre?

- 9) Cos' è il processo di separazione di Rosenbluth? **06**

- 10) In processi di diffusione profondamente anelastica di elettroni su protoni si **06** osserva che le funzioni di struttura del protone scalano rispetto alla variabile  $x$  di Bjorken. Cosa significa? Che interpretazione si dà di questo fenomeno?
- 11) Indicando con  $xq_j(x)$  la densità di partoni di tipo  $j$  che trasportano una **06** frazione  $x$  dell'impulso totale del nucleone, si dovrebbe avere:

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

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

- 12) La figura mostra che la relazione di Callan-Gross **06**

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

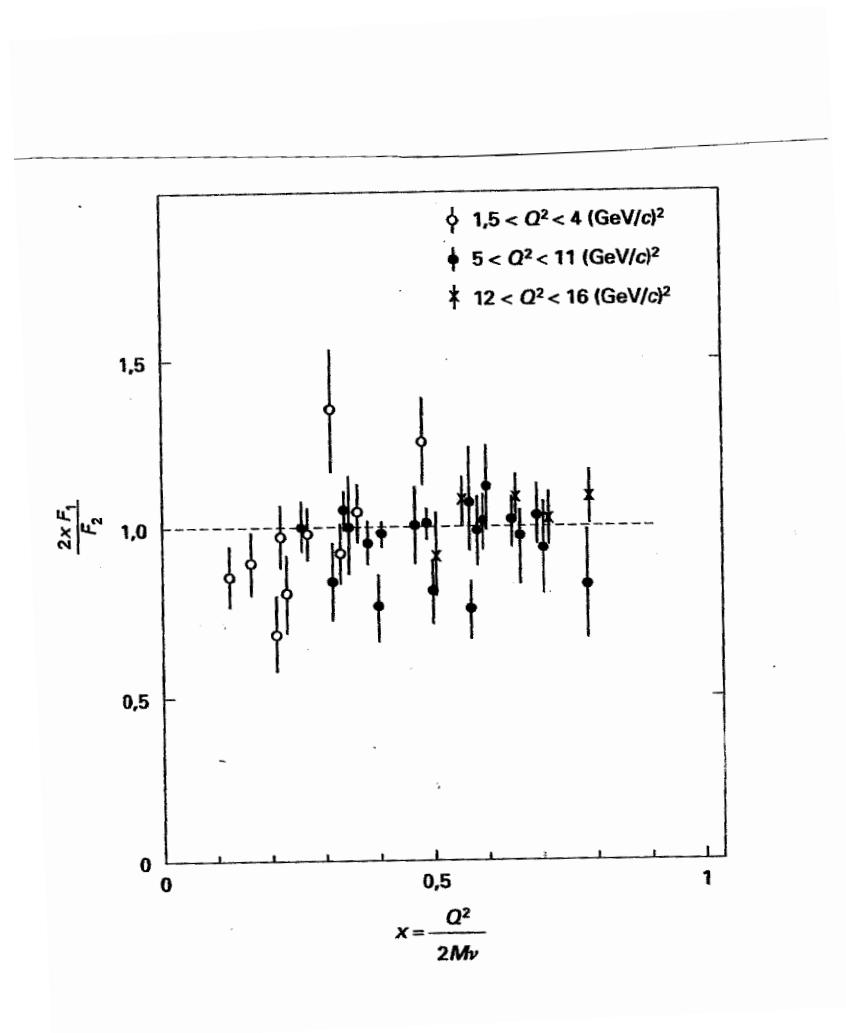
con

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

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

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 partoni a spin nullo, la relazione di Callan-Gross come sarebbe modificata? Perché?

- 13) La figura mostra lo schema dei livelli di un nucleo. Identifica tutte le **06** transizioni gamma che possono avvenire. Ordinalle secondo la probabilità di transizione ed identifica quelle che emettono fotoni con la stessa energia.



— 4 +

— 1 -

— 6 +