

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**
$$A + B \rightarrow C + D$$
- 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 α , β e γ ? **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}C e ^{208}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) Schematizza in un disegno l'andamento della parte scalare dell'interazione nucleone-nucleone in funzione della distanza relativa. **01**
- 13) Cos'è la materia nucleare simmetrica? **01**
- 14) Indica la sequenza dei numeri magici. Questi valori si riferiscono al numero di massa del nucleo? **01**

Domande Contenute nel File:

nuclei_2.tex

- 1) Schematizza in un disegno e descrivi lo spettro di emissione di elettroni da un decadimento β in funzione della loro energia. **03**
- 2) Descrivi lo spettro di emissione dei nuclei di ${}^4\text{He}$ provenienti da un decadimento α . **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. Com'è possibile misurare le masse di nuclei instabili? **03**
- 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 β^+ ?
- 7) La cattura elettronica è un processo in competizione con il decadimento β^+ 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 α ? 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 multicorpi, come il nucleo. In cosa consiste questa approssimazione?
- 12) Indica alcune evidenze empiriche dell'esistenza dei numeri magici. **03**
- 13) 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**
- 14) Consideriamo un nucleo di momento angolare nullo e deformazione permanente. Com'è legata l'energia di rotazione al momento d'inerzia e all'autovalore del momento angolare? **03**
- 15) Cosa si intende per eccitazione quasi-elastica del nucleo e per quali valori dell'energia di eccitazione del nucleo risulta essere il processo dominante? **03**
- 16) 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 τ . 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**
- 17) Un fascio di elettroni di energia ϵ_i diffonde da un bersaglio nucleare di massa M . L'energia degli elettroni rivelati ad un angolo di diffusione θ è ϵ_f . Utilizzando unità naturali ($\hbar = c = 1$), e considerando l'approssimazione ultra-relativistica ($m_e \ll \epsilon$): **03**
- calcolare $|\mathbf{q}|$, il modulo del momento trasferito al nucleo,
 - identificare per quale valore di θ il valore di $|\mathbf{q}|$ è massimo,
 - nel caso b), e per un processo elastico, calcolare l'energia cinetica di rinculo del bersaglio.
- 18) Un nucleo pari-pari, con spin J_i e parità P_i , decade α 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 α e nucleo figlio. Perché? **03**
- 19) 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**

Domande Contenute nel File:

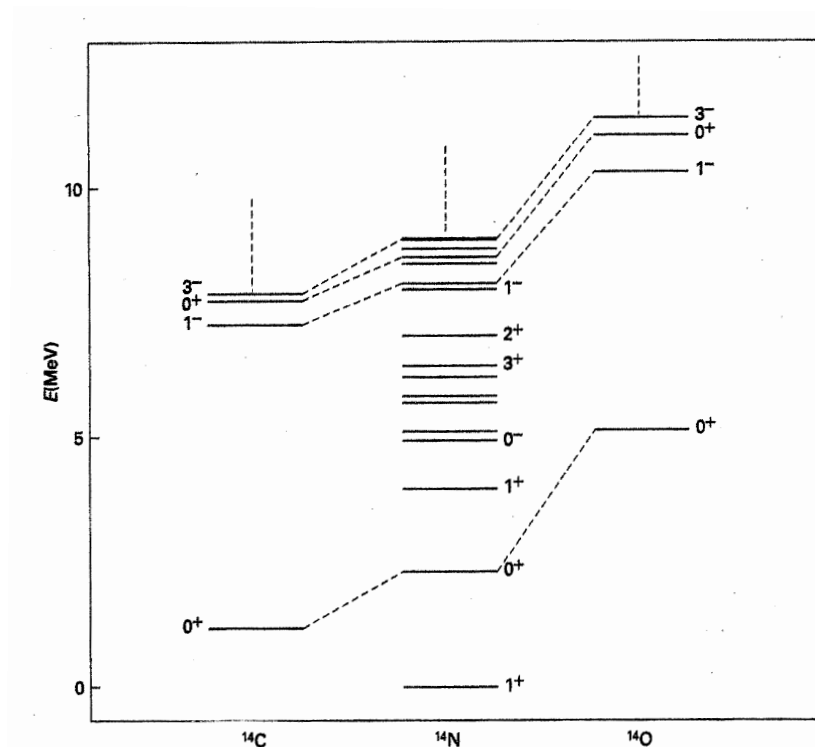
nuclei_3.tex

- 1) Quali sono le considerazioni che indicano nell'effetto tunnel il meccanismo responsabile del decadimento α ? **04**
- 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? **04**
- 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? **04**
- 4) Classifica le seguenti transizioni elettromagnetiche, caratterizzate dal loro momento angolare e dalla parità, secondo la tradizionale distinzione tra transizioni elettriche e magnetiche. Ordinale secondo probabilità decrescente. **04**

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

- 5) Nello studio della struttura nucleare che vantaggi presentano le sonde elettromagnetiche, soprattutto fotoni ed elettroni, rispetto a quelle adroniche? **04**
- 6) Da quali dati empirici vengono dedotte le caratteristiche dell'interazione tra due nucleoni? Si tratta di una interazione fondamentale? Perché? **04**
- 7) Il deutone ha momento di quadrupolo elettrico diverso da zero. Che proprietà dell'interazione nucleone-nucleone ne consegue? Perché? **04**
- 8) 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? **04**
- 9) 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 ${}^{11}_6\text{C}_5$. **04**

- 10) Nel modello a strati nel nucleo di ${}^{16}_8\text{O}_8$ risultano occupati i livelli $1s_{1/2}$, $1p_{3/2}$ e $1p_{1/2}$ sia per protoni che per neutroni. La transizione che eccita un nucleone dal livello $1p_{3/2}$ al livello $1d_{5/2}$ a quali eccitazioni di multipolo può contribuire? **04**
- 11) Come si differenziano gli spettri rotazionali da quelli vibrazionali? **04**
- 12) Quali ipotesi riguardanti il proiettile e il bersaglio sono necessarie per ottenere la sezione d'urto di Rutherford? **04**
- 13) 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**
- 14) Utilizzando la formula semi-empirica della massa identificare il valore di Z del nucleo stabile per un insieme di isobari pari-dispari. **04**



Domande Contenute nel File:

nuclei_4.tex

- 1) La figura è utilizzata per dedurre che l'isospin è un numero quantico che si comporta come un momento angolare. Spiega come si raggiunge questa conclusione. **06**
- 2) Nell'analisi semiclassica dell'esperimento di Rutherford il parametro d'impatto delle particelle α usate come proiettili è legato all'angolo di diffusione dalla relazione **06**

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

dove E rappresenta l'energia cinetica della particella α , e K è:

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

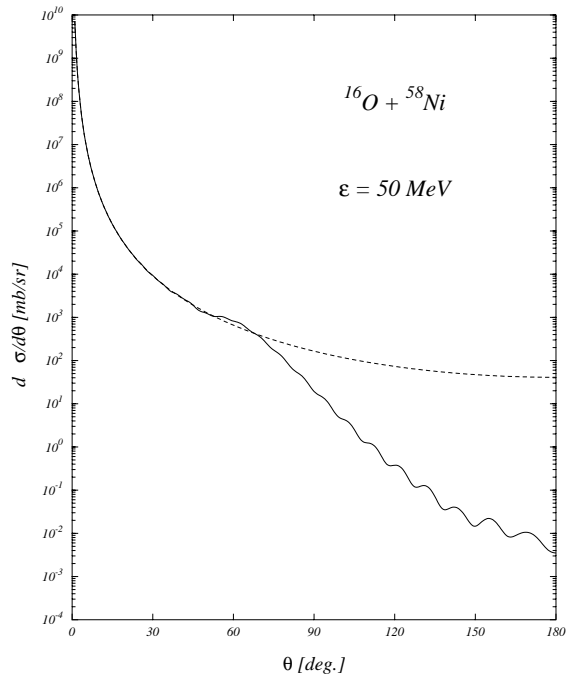
con Z il numero di protoni del bersaglio. Perché Rutherford si aspettava angoli di diffusione di pochi archi di grado, contrariamente a quanto osservato? Alcune particelle α venivano deflesse anche di 180° . Ricorda che $e^2/4\pi\epsilon_0 = 1.44 \text{ MeV fm}$, e considera $E = 1 \text{ MeV}$ e $Z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

- 3) Discuti l'interpretazione fisica dei termini che compongono la formula-semi-empirica della massa di Bethe-Weissecker. **06**
- 4) 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}U , che per i nuclei pari-pari, come l' ^{238}U . Perché? **06**
- 5) Che procedimento si usa per estrarre le distribuzioni di carica dei nuclei dai dati di sezione d'urto elastica elettrone-nucleo? **06**
- 6) Nella descrizione di un nucleo con un modello a campo medio gli stati del nucleo sono determinati da Slater di funzioni d'onda di singola particella. Perché il modello implica questa restrizione nella descrizione degli stati del sistema a molti corpi? **06**
- 7) 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? **06**
- 8) Ricava il valore della densità in funzione dell'impulso di Fermi nel modello a gas di Fermi. **06**
- 9) 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**
- 10) Com'è possibile ricavare il valore del momento angolare del nucleo analizzando la struttura iperfine dello spettro atomico? **06**
- 11) 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'ap- **06**

prossimazione fatta dal modello a campo medio che impedisce la descrizione di entrambi i modi di eccitazione?

12) La risonanza gigante di dipolo elettrico è presente in tutti i nuclei con $A > 10$. **06**
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 ?

13) **06**

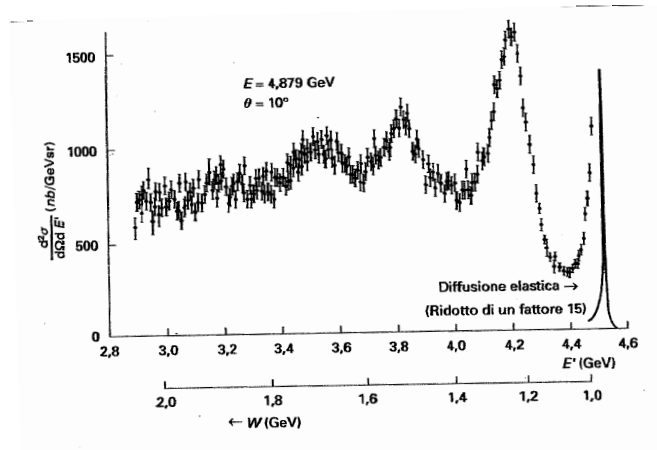


Nella figura è mostrata la sezione d'urto per la reazione $^{16}\text{O} + ^{58}\text{Ni}$. Fino a circa 50° la sezione d'urto segue un andamento proporzionale a $\sin^4 \theta/2$, come previsto dalla formula di Rutherford. Per valori più grandi di θ la sezione d'urto presenta delle oscillazioni. Spiega 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 $\theta > 50^\circ$?

Domande Contenute nel File:

part_1.tex

- 1) Quali sono i numeri quantici che caratterizzano la risonanza Δ ? **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 termini di quark? **01**
- 4) Quanti sapori differenti di quark esistono, e quali sono i valori dei numeri quantici che li distinguono? **01**
- 5) Fai un esempio di decadimento debole di tipo leptonic, uno di tipo semi-leptonic e uno di tipo adronico. **01**
- 6) Quali sono i bosoni mediatori dell'interazione debole e quali sono i numeri quantici che li caratterizzano? **01**
- 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. Questa affermazione non è sufficientemente precisa. Come dovrebbe essere più correttamente formulata? **01**
- 10) Il decadimento $p \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$ non è mai stato osservato. Quale legge di conservazione violerebbe? **01**



Domande Contenute nel File:

part_2.tex

- 1) 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? **03**
- 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 π^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, **03**

terza componente di isospin, e stranezza?

- 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. $e^- + \frac{A}{Z}X \rightarrow ?$
 4. $\nu_\mu + n \rightarrow ?$
 5. $\frac{A}{Z}X \rightarrow \frac{A}{Z-1}Y + ?$
 6. $\bar{\nu}_e + p \rightarrow ?$
- 12) Queste reazioni e/o decadimenti non avvengono in natura. Quali regole di conservazione vengono violate? **03**
1. $\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$
 2. $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$
 3. $\bar{\nu}_\mu + n \rightarrow p + e^-$
 4. $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$
 5. $\mu^- + p \rightarrow n + \pi^0$
 6. $e^+ + e^- \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_\mu$

Domande Contenute nel File:

part_3.tex

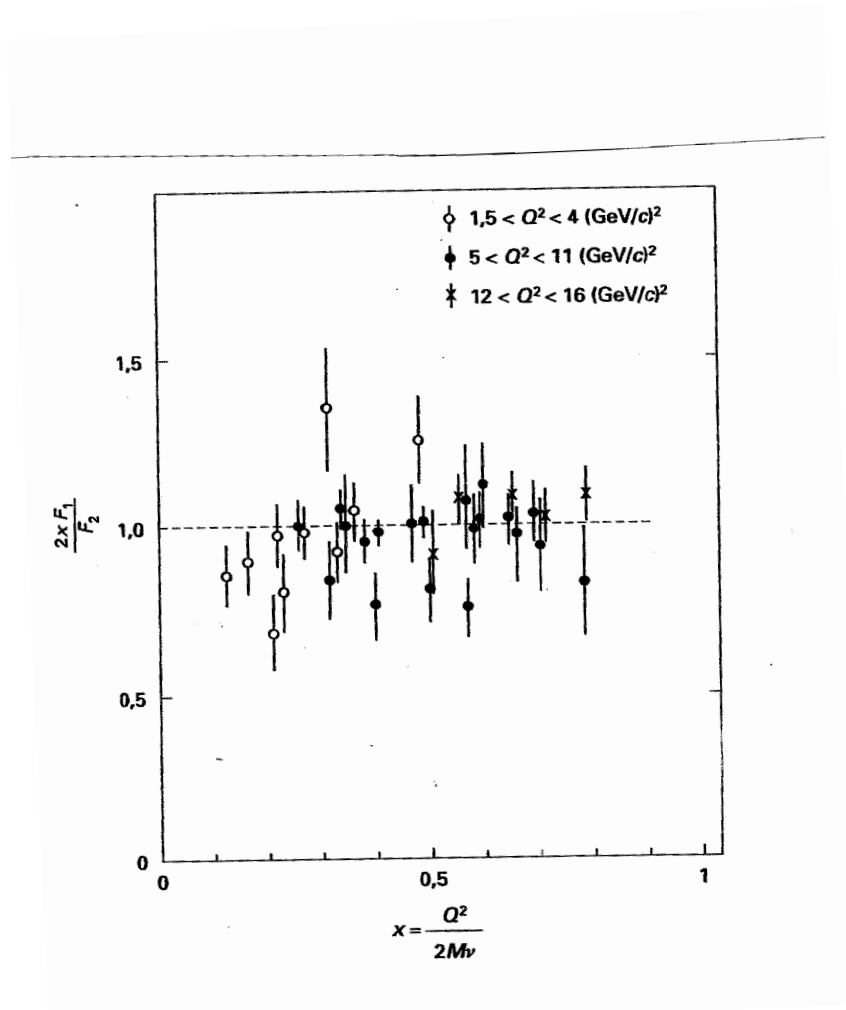
- 1) Come sono legate le funzioni di struttura del nucleone alla sezione d'urto anelastica elettrone-nucleone, ottenuta in approssimazione di Born delle onde piane? **04**
- 2) La struttura della funzione d'onda che descrive lo stato fondamentale della risonanza Δ^{++} viene comunemente utilizzata per introdurre il numero quantico di colore. Perché? **04**
- 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? **04**
- 4) Qual è il contenuto in termini di numero quantico di colore dei gluoni? In quanti tipi differenti possono essere classificati? **04**
- 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? **04**
- 6) In un processo di produzione generato da una collisione e^+e^- , quali sono i numeri quantici delle risonanze che possono essere prodotte? **04**
- 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? **04**
- 8) Il mesone K decade in due o tre pioni, ad esempio **04**

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

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

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, terza componente di isospin, e stranezza? **04**



Domande Contenute nel File:

part_4.tex

- 1) 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 ?

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

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

dove f_{rec} è un fattore che considera il rinculo del bersaglio, σ_M la sezione d'urto di Mott, \mathbf{q} il trimomento trasferito, e ω 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 laboratorio può essere scritta come: **06**

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

dove f_{rec} è un termine che considera il rinculo del nucleo, σ_M la sezione d'urto di Mott, \mathbf{q} il trimomento trasferito, e ω 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? **06**
- 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? **06**
- 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: **06**

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

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

- 7) I valori delle masse dei mesoni ρ^0 e ω sono molto simili ($m_{\rho^0} = 770$ MeV **06**
 $m_{\omega}=782$ 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? Perché?
- 8) La risonanza J/Ψ si presenta ad un'energia di 3097 MeV con un'ampiezza **06**
di soli 93.5 keV. Per quale motivo l'ampiezza della risonanza è così piccola
confrontata con la massa del mesone?
- 9) Descrivi l'esperimento di M. Wu et al. che ha permesso di verificare che la **06**
parità non è conservata in processi governati dall'interazione debole.
- 10) Indica i possibili modi di decadimento indotti dalle interazioni forte, debole **06**
ed elettromagnetica di una risonanza prodotta da annichilazione $e^+ e^-$.
- 11) Perché viene introdotto l'angolo di Cabibbo o, più in generale, la matrice di **06**
Kobayashi-Maskawa?
- 12) Considera la situazione di massimo impulso dell' elettrone nel decadimento **06**

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

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