

### Parte 3: Particelle subnucleari

1. Che cosa sono i leptoni e gli adroni ed in che cosa differiscono? Ed i mesoni ed i barioni? Sono conosciute altre particelle che non siano leptoni o adroni? (\*)
2. Dare una stima approssimativa delle masse delle seguenti particelle: elettrone, muone, neutrino, pione, mesone  $K$ , mesone  $\rho$ , nucleone, l'iperone  $\Lambda$ , particella  $\Delta$ , fotone, gluone,  $W^\pm$  e  $Z^0$ . (\*\*)
3. Quali sono le interazioni fondamentali in Natura? A quali processi "elementari" (visti come diagrammi alla "Feynmann") corrispondono? (\*)
4. Dato un diagramma alla "Feynmann" rappresentante un processo fisico, stimare l'ordine di grandezza della sua probabilità. (\*\*)
5. Perché processi con molte emissioni/assorbimenti di fotoni sono meno probabili di processi con poche emissioni/assorbimenti? (\*\*)
6. Spiegare perché un processo di scambio di particelle  $W^\pm$  o  $Z^0$  (interazione debole) ha una probabilità molto minore ad un processo analogo con uno scambio di un fotone. (\*\*)
7. Enunciare le "leggi" di conservazione dei numeri barionici e leptonici e fornire almeno una evidenza sperimentale di questa conservazione. (\*\*)
8. Come è stata misurata la massa, lo spin, e la parità dei pioni? (\*\*\*)
9. Come decadono i pioni? Perché i pioni carichi decadono prevalentemente in muone + neutrino muonico? (\*\*\*)
10. Come si possono avere informazioni sulla massa, vita media, spin e parità delle particelle viste come risonanze? Considerare il caso della particella  $\Delta$  ed il mesone  $\rho$ . Queste particelle sono multipletti di isospin? Come si può verificare questo sperimentalmente? (\*\*\*)
11. In un laboratorio si osservano un certo numero di eventi della reazione  $\gamma + p \rightarrow K^- + \pi^+ + n + K^+$ . Il numero dei processi registrati viene quindi riportato su di un grafico in funzione della "massa invariante" dei due prodotti di reazione  $n$  e  $K^+$ . Se si osservasse un picco in questo grafico per una certa massa  $m_\theta$ , quale conclusione si trarrebbe? Quali sarebbero i valori di carica e stranezza di questa ipotetica particella? [ $p$  = protone,  $n$  = neutrone] (\*\*)
12. Quali sono le particelle strane e come mai sono state chiamate così? Cos'è la produzione associata? Perché si introduce il numero quantico di stranezza? (\*\*)

13. Perché il mesone  $K^{*+}$  di stranezza  $S = +1$  e massa di circa 900 MeV ha una vita media di  $10^{-23}$  secondi e non vive più a lungo come altre particelle strane? (\*\*\*)
14. Cos'è un ipernucleo? (\*\*)
15. Rappresentare graficamente le famiglie di particelle con un dato  $J^\pi$  e massa simile in un sistema di coordinate dove vengono riportati i valori di  $T_z$  sull'asse  $x$  e della stranezza sull'asse  $y$ . [discutere i casi dei mesoni con  $J^\pi = 0^-$  e  $1^-$  e dei barioni con  $J^\pi = (1/2)^+$  e  $(3/2)^+$ ] (\*\*)
16. Quali sono le cariche, spin, numeri barionici, isospin e stranezza dei quarks  $u$ ,  $d$  e  $s$ ? E dei corrispondenti antiquarks? (\*\*)
17. Discutere il modello a quark per i mesoni. Da quali quarks e/o antiquarks sono composti i mesoni  $\pi^\pm$ ,  $\pi^0$ ,  $K^\pm$ ,  $K^0$  e  $\bar{K}^0$ ? (\*\*)
18. Discutere il modello a quark dei barioni, ed in particolare della simmetria sotto permutazioni della parte di spin e di "sapore" della funzione d'onda. Qual è la (più plausibile) simmetria della parte spaziale per i barioni più leggeri e perché? Dimostrare che i barioni più leggeri con  $J^\pi = (3/2)^\pi$  si riuniscono in un decupletto e quelli con  $J^\pi = (1/2)^+$  in un ottetto. (\*\*\*)
19. Spiegare perché è stato introdotto il numero quantico di colore in relazione alla spettroscopia dei barioni. Quali altre conferme sperimentali ci sono di questa nuova proprietà dei quarks? (\*\*\*)
20. In che modo l'introduzione del numero quantico di colore "spiegherebbe" la non-osservazione di stati di tipo  $qq$ , o  $qq\bar{q}$ , ecc.? (\*\*\*)
21. Elencare alcune delle proprietà della forza di colore. (\*\*\*)
22. In una reazione  $e^+ - e^-$  vengono osservati spesso due "jets" di adroni. Come si spiega questo fenomeno con il modello a quark? (\*\*\*)
23. Discutere gli spettri degli stati del "ciarmonio" (sistema  $c\bar{c}$ ) e del "bottomio" (sistema  $b\bar{b}$ ); quali informazioni se ne deduce sull'interazione tra quark-antiquark? (\*\*\*)
24. Discutere alcuni aspetti dell'interazione debole tra quarks: la simmetria leptoni-quarks e il "mixing" di quarks. (\*\*\*)
25. Le particelle con "charm" decadono in maggior numero in particelle "strane" che in particelle non strane. Mostrare che infatti l'ipotesi del "mixing" di quarks predice  $\Gamma(c \rightarrow s + \ell^+ + \nu_\ell) / \Gamma(c \rightarrow d + \ell^+ + \nu_\ell) \gg 1$  [Suggerimento: questo rapporto è legato all'angolo di Cabibbo] [ $\ell$  = un leptone e  $\nu_\ell$  = neutrino della stessa famiglia]. (\*\*\*\*)

26. È più probabile il decadimento  $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$  o  $\Sigma^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$ ? (\*\*)
27. Discutere del perché lo scambio di gluoni dà luogo ad una interazione molto più complicata dello scambio di fotoni. (\*\*)
28. Definire le proprietà dell'operatore coniugazione di carica  $C$ . Qual è la "C-parità"  $\xi$  del mesone  $\pi^0$ ? [la C-parità è l'autovalore dell'operatore  $C$ :  $C|\pi^0\rangle = \xi|\pi^0\rangle$ ] (\*\*\*)
29. Un positronio (sistema legato  $e^+ - e^-$ ) è in uno stato di momento angolare orbitale  $L$ , spin  $S$  e momento angolare totale  $J$ . Qual è la sua C-parità? (\*\*\*\*)
30. Discutere il decadimento dei muoni positivi e negativi e l'evidenza sperimentale della violazione di  $P$  e  $C$  e della conservazione di  $CP$  per i leptoni. (\*\*\*)
31. Discutere il sistema  $K^0 - \bar{K}^0$  tenendo conto della simmetria  $CP$ : cosa sono i  $K$  "lunghi" e  $K$  "corti"? La simmetria  $CP$  è conservata dai decadimenti deboli dei barioni? (\*\*\*)
32. Cosa sono le "correnti neutre" nell'interazione debole? A quale scambio di particella corrispondono? (\*\*\*)
33. Mostrare quali meccanismi contribuiscono alla diffusione elastica  $e^- - \nu_e \rightarrow e^- - \nu_e$ . [Suggerimento: disegnare i possibili "diagrammi di Feynman" con lo scambio di un  $W$  o  $Z$ ] (\*\*\*)
34. Discutere delle evidenze sperimentali sulle oscillazioni di neutrini. Considerando il caso di oscillazioni tra due specie di neutrini, mostrare che il periodo dell'oscillazione è proporzionale alla differenza delle masse al quadrato. (\*\*\*)
35. Discutere come si può determinare la massa del neutrino elettronico da un decadimento dei nuclei di  ${}^3\text{H}$ . (\*\*)