Parte 3: Particelle subnucleari

1. Quali sono le interazioni fondamentali in Natura? (*)
2. 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? (*)
3. Dare una stima approssimativa delle masse delle seguenti particelle: elettrone, muone, neutrino, pione, mesone K , mesone ρ , nucleone, l'iperone Λ , particella Δ , fotone, gluone, $W^\pm$ e Z^0 . (**)
4. Enunciare le "leggi" di conservazione dei numeri barionici e leptonici e fornire almeno una evidenza sperimentale di questa conservazione. (**)
5. Come è stata misurata la massa, lo spin, e la parità dei pioni? (***)
6. Come decadono i pioni? Perché i pioni carichi decadono prevalentemente in muone + neutrino muonico? (***)
7. Come si possono avere informazioni sulla massa, vita media, spin e parità delle particelle viste come risonanze? Considerare il caso della particella Δ ed il mesone ρ . Queste particelle sono multipletti di isospin? Come si può verificare questo sperimentalmente? (***)
8. 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_θ , quale conclusione si trarrebbe? Quali sarebbero i valori di carica e stranezza di questa ipotetica particella? [p = protone, n = neutrone] (**)
9. 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? (**)
10. 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? (***)
11. Cos'è un ipernucleo? (**)
12. Discutere la formula di Gell-Mann & Nishijima. (**)
13. Rappresentare graficamente le famiglie di particelle con un dato J^π 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 $(3/2)^+$] (**)

14. Quali sono le cariche, spin, numeri barionici, isospin e stranezza dei quarks u , d e s ? E dei corrispondenti antiquarks? (**)
15. Discutere il modello a quark per i mesoni. Da quali quarks e/o antiquarks sono composti i mesoni $\pi^\pm$, π^0 , $K^\pm$, K^0 e $\bar{K}^0$? (**)
16. 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 perchè? 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. (***)
17. Spiegare perchè 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? (***)
18. In che modo l’introduzione del numero quantico di colore “spiegherebbe” la non-osservazione di stati di tipo qq , o $qq\bar{q}$, ecc.? (***)
19. Elencare alcune delle proprietà della forza di colore. (***)
20. In una reazione $e^+ - e^-$ vengono osservati spesso due “jets” di adroni. Come si spiega questo fenomeno con il modello a quark? (***)
21. 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? (***)
22. Discutere gli aspetti generali di urti anelastici di elettroni di grandi energia su sistemi composti. Disegnare qualitativamente la sezione d’urto in funzione di $\nu =$ energia trasferita dall’elettrone al sistema composto. (**)
23. Per urti di elettroni, qual’è la regione degli urti “profondamente anelastici”? Che cosa è il fenomeno dello “scaling di Bjorken”? (**)
24. Interpretare lo scaling di Bjorken in termini del modello a partoni nei seguenti casi: a) urto di elettroni-deutone (partone=nucleone), b) urto elettrone-nucleone (partone=quark). Qual’è la differenza nei due casi? (***)
25. Discutere della presenza del “mare di quarks” nei nucleoni e come si possa mettere in evidenza. (***)
26. Discutere gli aspetti principali dell’interazione debole nei leptoni. (**)
27. Discutere alcuni aspetti dell’interazione debole tra quarks: la simmetria leptoni-quarks e il “mixing” di quarks. (***)

28. 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] [ℓ = un leptone e ν_ℓ =neutrino della stessa famiglia]. (****)
29. È più probabile il decadimento $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$ o $\Sigma^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$? (**)
30. Definire le proprietà dell’operatore coniugazione di carica C . Qual è la “ C -parità” ξ del mesone π^0 ? [la C -parità è l’autovalore dell’operatore C : $C|\pi^0\rangle = \xi|\pi^0\rangle$] (***)
31. 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? (****)
32. 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. (***)
33. Cosa sono le “correnti neutre” nell’interazione debole? A quale scambio di particella corrispondono? (***)
34. 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] (***)