
**Kolokvij iz fizike elementarnih čestica
12. srpnja 2008.**

1. (12 bodova)

- (a) Za opis raspršenja elektrona na protonu $e^-(k) p(p) \rightarrow e^-(k') X$, koriste se varijable: $q^2 = (k - k')^2$ i $p \cdot q$.
- i. Dokažite da q^2 i $p \cdot q$ nisu nezavisne varijable za elastično $ep \rightarrow ep$ raspršenje.
 - ii. Izrazite invarijantnu masu (W^2) hadronskog sustava X u ovisnosti o q^2 i $p \cdot q$.
- (b) Iz funkcija strukture $F_2^{ep}(x, Q^2)$ i $F_2^{en}(x, Q^2)$ za elektron-proton i elektron-neutron raspršenje se mogu dobiti informacije o raspodjela kvarkova $q(x, Q^2)$. Ovdje se zanemaruje Q^2 ovisnost (Bjorkenovo skaliranje). U partonskom modelu vrijedi

$$F_2(x) = \sum_i^{\text{partoni}} x e_i^2 q_i(x),$$

gdje je e_i naboj i-tog partona. Iz eksperimentalnih rezultata

$$\int_0^1 F_2^{ep}(x) dx = 0.18 \quad \text{ i } \quad \int_0^1 F_2^{en}(x) dx = 0.12$$

izračunajte udio impulsa koje nose u i d kvarkovi u protonu. Možete zanemariti kvarkove mora. Objasnite dobivene rezultate.

2. (17 bodova)

Razmotrite QCD raspršenje (jednoglunuisku izmjenu) u kvarka i \bar{d} antikvarka. Napišite inavrijantnu amplitudu. Usporedbom s QED raspršenjem u kvarka i \bar{d} antikvarka nađite bojne faktore, te ih izračunajte za sljedeće konfiguracije boje:

- (a) plavi-antizeleni \rightarrow plavi-antizeleni
- (b) *bojno singletno stanje* \rightarrow *bojno singletno stanje*

Objasnite dobivene rezultate u smislu QCD kratkodosežnog potencijala.

3. (**10 bodova**) Navedeni su parovi raspada. Nacrtajte dijagram za svaki raspad i objasnite kvalitativno za svaki par zašto je jedan potisnut u odnosu na drugog.

$$(a) \quad BR(B^0 \rightarrow D^- \pi^+) = 2.68 \times 10^{-3}$$

$$BR(B^0 \rightarrow \bar{D}^0 \pi^0) = 2.61 \times 10^{-4}$$

$$(b) \quad \Gamma(D_s^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau) = 8.42 \times 10^{-5} \text{ eV}$$

$$\Gamma(D^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu) = 2.78 \times 10^{-7} \text{ eV}$$

$$(c) \quad BR(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu) = 63.44\%$$

$$BR(K^+ \rightarrow e^+ \nu_e) = 1.55 \times 10^{-5}$$

4. (**5 bodova**)

Izmjerene su sljedeće karakteristike Z bozona: ukupna širina raspada $\Gamma(Z) = 2490 \text{ MeV}$ i parcijalna širina raspada na pojedini par nabijenih leptona $\Gamma(Z \rightarrow l\bar{l}) = 84 \text{ MeV}$. SM predviđa: parcijalnu širinu raspada na pojedini $q\bar{q}$ par $\Gamma(Z \rightarrow q\bar{q}) = 296 \text{ MeV}$ za kvarkove naboja $Q = \frac{+2}{3}$, odnosno 382 MeV^1 za kvarkove naboja $Q = \frac{-1}{3}$; parcijalnu širinu za svaku vrstu neutrina $\Gamma(Z \rightarrow \nu\bar{\nu}) = 166 \text{ MeV}$. Odredite pomoću tih podataka broj laganih neutrina ($m_\nu < \frac{M_Z}{2}$).

5. (**26 bodova**)

Snop mionskih antineutrina upada na mionsku metu. Neki od mogućih procesa su:

$$(a) \quad \bar{\nu}_\mu + \mu^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu + \mu^-,$$

$$(b) \quad \bar{\nu}_\mu + \mu^- \rightarrow \bar{q}_1 + q_2,$$

$$(c) \quad \bar{\nu}_\mu + \mu^- \rightarrow \bar{\nu}_\tau + \tau^-.$$

- i. Nacrtajte sve dijagrame koji doprinose procesima (a), (b) i (c) u vodećem redu računa smetnje.
- ii. Za koje je parove okusa kvarka q_2 i antikvarka \bar{q}_1 proces (b) dozvoljen? Navedite redosljed $q\bar{q}$ parova koji će se najčešće producirati počevši od najvjerojatnijeg procesa. Pretpostavite da je raspoloživa energija puno veća od svih kvarkovskih masa.
- iii. Za proces (c) pretpostavite energiju ulaznih antineutrina $E_{\bar{\nu}_\mu} = 10 \text{ GeV}$. Napišite invarijantnu amplitudu. Izračunajte usrednjeni, nepolarizirani, kvadrat invarijantne amplitude, $|\overline{\mathcal{M}}|^2$ i izrazite preko Mandelstamovih varijabli. Objasnite amplitudu u granici $s \rightarrow \infty$. Objasnite dobivenu kutnu ovisnost pomoću kiralnih stanja koja sudjeluju u procesu.

¹faktor 3 za boju uključen

Čestica	Kvarkovski sardžaj	J^P	Masa/MeV
B^0	bd	0^-	5279
D^-	$\bar{c}d$	0^-	1869
\bar{D}^0	$\bar{c}u$	0^-	1865
π^+	$u\bar{d}$	0^-	139.6
π^0	$(u\bar{u} - d\bar{d})$	0^-	135.0
D_S^+	$c\bar{s}$	0^-	1969
D^+	$c\bar{d}$	0^-	1869
K^+	$u\bar{s}$	0^-	493.7
W			80400
ν_e, ν_μ, ν_τ			$\simeq 0$
e, μ, τ			0.5, 106, 1777
u, d, s			$\sim 2 - 3, \sim 4 - 8, \sim 100$
c, b, t			1.5 GeV, 4.2 GeV, 171 GeV

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} 0.9738 & 0.2272 & 0.0039 \\ 0.2271 & 0.9730 & 0.0422 \\ 0.0081 & 0.0416 & 0.9991 \end{pmatrix}$$