
Ispit iz fizike elementarnih čestica
16. rujna 2009.

1. (12 bodova)

- (a) Odredite minimalnu energiju piona da u sudaru s mirujućim protonom može doći do reakcije $\pi^- p \rightarrow K^0 \Lambda^0$.
- (b) Razmotrite raspad mirujuće Λ^0 čestice, polarizirane u smjeru osi $+z$, na pion i proton $\Lambda^0 \rightarrow \pi^- p$. Neka je $A_{+1/2}$ amplituda za raspad u kojem je impuls protona u smjeru osi $+z$ i helicitet protona $h = +1$, a $A_{-1/2}$ amplituda za raspad u kojem je impuls protona u smjeru osi $-z$ i helicitet protona $h = -1$. Nađite kutnu raspodjelu protona u detektoru ako polarizacija protona nije mjerena.
- (c) Uz pretpostavku očuvanja pariteta povežite amplitude $A_{+1/2}$ i $A_{-1/2}$ i odredite kutnu raspodjelu. Koja sila je odgovorna za proces $\Lambda^0 \rightarrow \pi^- p$? Da li je paritet očuvan u ovom procesu?

2. (20 bodova)

Razmotrite proces $e^+(p_1, s_1)e^+(p_2, s_2) \rightarrow e^+(p_3, s_3)e^+(p_4, s_4)$.

- (a) Nacrtajte sve dijagrame koji doprinose ovom procesu u vodećem redu računa smetnje za QED. Korištenjem Feynmanovih pravila za QED napišite amplitudu za ovaj proces u vodećem redu.
- (b) Izračunajte usrednjeni, nepolarizirani kvadrat invarijantne amplitude, $|\overline{\mathcal{M}}|^2$ za $\sqrt{s} \simeq 10$ GeV. Izrazite rezultat pomoću Mandelstamovih varijabli $s = (p_1 + p_2)^2$, $t = (p_1 - p_3)^2$ i $u = (p_1 - p_4)^2$.
- (c) Izrazite diferencijalni udarni presjek $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ pomoću kuta raspršenja $\theta = \angle(p_1, p_3)$.

3. (15 bodova)

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

- (a) $rb \rightarrow bg$,
- (b) tripletna, antisimetrična konfiguracija: $\frac{1}{\sqrt{2}}(rb - br) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(rb - br)$,
- (c) sekstet, simetrična konfiguracija: $\frac{1}{\sqrt{2}}(gb + bg) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(gb + bg)$.

Objasnite dobivene rezultate. Kakav je QCD kratkodosežni potencijal?

4. (12 bodova)

Nacrtajte dijagram za svaki raspad i objasnite kvalitativno za svaki par zašto je jedan potisnut u odnosu na drugog.

- (a) $BR(\phi \rightarrow K^- K^+) = 49.2\%$
 $BR(\phi \rightarrow \pi^- \pi^0 \pi^+) < 15\%$
- (b) $BR(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau) = 1.4 \times 10^{-4}$
 $BR(B^+ \rightarrow e^+ \nu_e) < 9.8 \times 10^{-6}$
- (c) $BR(K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e) = 5.08\%$
 $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ e^+ e^-) = 2.74 \times 10^{-7}$

5. (24 bodova)

Nacrtajte sve dijagrame koji doprinose procesima (a), (b) i (c) u vodećem redu računa smetnje.

- (a) $\bar{\nu}_\mu + q_i \rightarrow \mu^+ + q_f$,
- (b) $\nu_\tau + \bar{\nu}_\tau \rightarrow \bar{q}_1 + q_2$,
- (c) $\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_\mu + e^-$.
 - i. Za koje je parove okusa kvarka q_i i q_f proces (a) dozvoljen? Za koje parove je proces najvjerojatniji?
 - ii. Za koje je parove okusa kvarka q_2 i antikvarka \bar{q}_1 proces (b) dozvoljen?
 - iii. Za proces (c) pretpostavite energiju ulaznih neutrina $E_{\nu_\mu} = 10 \text{ TeV}$. Napišite invarijantnu amplitudu. Izračunajte usrednjeni, nepolarizirani, kvadrat invarijantne amplitude, $\overline{|\mathcal{M}|^2}$ i izrazite preko Mandelstamovih varijabli. Objasnite amplitudu u granici $s \rightarrow \infty$.

6. (12 bodova)

Razmotrite proces $e^+ e^- \rightarrow H \rightarrow f \bar{f}$, gdje je H higgsov bozon.

- (a) Odredite usrednjeni, nepolarizirani, kvadrat invarijantne amplitude, $\overline{|\mathcal{M}|^2}$.
- (b) Odredite diferencijalni i ukupni udarni presjek $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ i σ u sustavu centra mase.
- (c) Koja kiralna stanja u početnom i konačnom stanju doprinose ovom procesu? Objasnite time dobivenu kutnu raspodjelu pod (b).

Čestica	Kvarkovski sardžaj	J^P	Masa/MeV
Λ^0	uds	$1/2^+$	1116
ϕ	$\bar{s}s$	0^-	1019
p	uud	$1/2^+$	938
π^+	$u\bar{d}$	0^-	139.6
π^0	$(u\bar{u} - d\bar{d})$	0^-	135.0
π^-	$d\bar{u}$	0^-	139.6
K^-	$s\bar{u}$	0^-	493.7
K^+	$u\bar{s}$	0^-	493.7
K^0	$d\bar{s}$	0^-	498
W, Z			80.4 GeV, 91 GeV
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

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