

---

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

---

**1. (7 bodova)**

Razmotrite čeonu sudar elektrona i fotona, tzv. inverzno Comptonovo raspršenje. Laserski snop valne duljine  $\lambda = 514 \text{ nm}$  čeonu se sudara s elektronima u prstenu HERA-e, energije  $E = 27 \text{ GeV}$ . Izračunajte maksimalnu energiju raspršenih fotona.

**2. (18 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  $\sqrt{s} \simeq 10 \text{ GeV}$ . Izrazite rezultat pomoću Mandelstamovih varijabli  $s = (p_1 + p_2)^2$ ,  $t = (p_1 - p_3)^2$  i  $u = (p_1 - p_4)^2$ .

**3. (7 bodova)**

Pioni ( $\pi^+, \pi^0, \pi^-$ ) i sigma barioni ( $\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$ ) predstavljaju triplete u izospinskom prostoru, dok nukleoni ( $p, n$ ) i kaoni ( $K^+, K^0, \bar{K}^0, K^-$ ) predstavljaju dublete. Uz pretpostavku invarijantnosti jake interakcije na rotacije u izospinskom prostoru, pronađite kroz koji izospinski kanal se mogu odvijati reakcije:

$$\begin{aligned} K^+ p &\rightarrow \Sigma^0 \pi^0 \\ K^- p &\rightarrow \Sigma^+ \pi^- \end{aligned}$$

Nađite omjer udarnih presjeka za ova dva procesa ako dominira jedan ili drugi kanal.

## 4. (17 bodova)

Razmotrite QCD raspršenje (jednoglonsku 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.

## 5. (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)  $BR(B^0 \rightarrow D^- \pi^+) = 2.68 \times 10^{-3}$   
 $BR(B^0 \rightarrow \bar{D}^0 \pi^0) = 2.61 \times 10^{-4}$
- (b)  $\Gamma(D_s^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau) = 8.42 \times 10^{-5} \text{ eV}$   
 $\Gamma(D^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu) = 2.78 \times 10^{-7} \text{ eV}$
- (c)  $BR(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu) = 63.44\%$   
 $BR(K^+ \rightarrow e^+ \nu_e) = 1.55 \times 10^{-5}$

## 6. (26 bodova)

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

- (a)  $\bar{\nu}_\mu + \mu^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu + \mu^-$ ,
- (b)  $\bar{\nu}_\mu + \mu^- \rightarrow \bar{q}_1 + q_2$ ,
- (c)  $\bar{\nu}_\mu + \mu^- \rightarrow \bar{\nu}_\tau + \tau^-$ .

- 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 inavrijantnu amplitudu. Izračunajte usrednjeni, nepolarizirani, kvadrat inavrijantne amplitude,  $|\overline{\mathcal{M}}|^2$  i izrazite preko Mandelstamovih varijabli. Objasnite amplitudu u granici  $s \rightarrow \infty$ . Objasnite dobivenu kutnu ovisnost pomoću kirlnih stanja koja sudjeluju u procesu.

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
$\pi^+$	$u\bar{d}$	$0^-$	139.6
$\pi^0$	$(u\bar{u} - d\bar{d})$	$0^-$	135.0
$D_S^+$	$c\bar{s}$	$0^-$	1969
$D^+$	$c\bar{d}$	$0^-$	1869
$K^+$	$u\bar{s}$	$0^-$	493.7
$W$			80400
$\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$			$\simeq 0$
$e, \mu, \tau$			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

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