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

1. (**11 bodova**)

Na akceleratoru LEP sudarani su elektroni i pozitroni. Za energije elektrona i pozitrona od 45.6 GeV moguće je producirati Z^0 bozon u mirovanju.

$$e^-e^+ \rightarrow Z^0$$

- (a) Kolika je masa Z^0 bozona?
- (b) Koliku energiju bi trebao imati pozitron da se u sudaru s mirujućim elektronom može producirati Z^0 bozon?
- (c) Z^0 bozon se može raspasti na mion i antimion.

$$Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$$

Kolika je brzina miona, nastalog u raspadu mirujućeg Z^0 bozona?

- (d) Oko točke raspada Z^0 bozona postavljen je sferični detektor. Nađite polumjer sferičnog detektora, ako se unutar njega raspadne polovica nastalih miona. (vrijeme života miona $\tau = 2.2 \times 10^{-6}$ s)

2. (**12 bodova**)

Pioni (π^+, π^0, π^-) i sigma barioni ($\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$) predstavljaju triplete u izospinskom prostoru, dok nukleoni (p, n) i kaoni (K^+, K^0) predstavljaju dublete. Uz pretpostavku invarijantnosti jake interakcija na rotacije u izospinskom prostoru, pronađite relaciju koja povezuje amplitude za sljedeće procese:

$$\pi^- p \rightarrow K^0 \Sigma^0$$

$$\pi^- p \rightarrow K^+ \Sigma^-$$

$$\pi^+ p \rightarrow K^+ \Sigma^+$$

3. (**7 bodova**)

Klasificirajte sljedeće raspade kao **jake**, **elektromagnetske**, **slabe**, ili **zabranjene**:

- (a) $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, (b) $\pi^+ \rightarrow K^+ \bar{K}^0$, (c) $\Lambda^0 \rightarrow p e^-$, (d) $D_s^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$,
- (e) $D^+ \rightarrow p + \pi^0$, (f) $\omega(782) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$, (g) $\pi^- \rightarrow \gamma\gamma\gamma$.

Ukoliko su zabranjeni, objasnite zašto.

4. (20 bodova)

Razmotrite proces $e^-(p_1) q(p_2) \rightarrow e^-(p_3) q(p_4)$, gdje q stoji za lagani kvark ($q = u, d, s$).

- (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 $\sqrt{s} = \sqrt{(p_1 + p_2)^2} = 10 \text{ GeV}$ i $q = u$. 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) Ako se uzmu u obzir sve poznate interakcije:
 - i. Nacrtajte dodatne dijagrame koji doprinose tom procesu u vodećem redu računa smetnje.
 - ii. Napišite amplitudu za te dijagrame.
 - iii. Objasnite zašto se doprinos tih dodatnih dijagrama može zanemariti na niskim energijama, npr. za $\sqrt{s} = 10 \text{ GeV}$.

5. (12 bodova)

U proton-proton sudarima se mogu stvoriti W^- ili W^+ bozoni, koji se mogu prepoznati po njihovom raspadu u elektron i antineutrino, odnosno u pozitron i neutrino:

$$W^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e, \quad W^+ \rightarrow e^+ \nu_e.$$

- (a) Koji su elementarni procesi odgovorni za produkciju W^- odnosno W^+ bozona u proton-proton sudarima? Nacrtajte Feynmanove dijagrame za oba procese. Ukoliko postoji više mogućnosti, dovoljno je navesti jednu od njih.
- (b) Za slučaj W^+ produkcije, odredite ovisnost diferencijalnog udarnog presjeka $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ u sustavu centra mase W^+ bozona o kutu θ između impulsa pozitrona i impulsa ulazeće (elementarne) čestice sa većim električnim nabojem.
- (c) Koji je udarni presjek veći: $\sigma(pp \rightarrow W^-)$ ili $\sigma(pp \rightarrow W^+)$? Obrazložite.

6. (25 bodova)

Snop mionskih neutrina energije $E = 50$ TeV upada na vodikovu metu. Dvije su vrste procesa moguće:

$$(i) \nu_\mu + q_i \rightarrow \mu^- + q_f, \quad (ii) \nu_\mu + q_i \rightarrow \nu_\mu + q_f.$$

gdje q_i i q_f označuju 2 kvarka.

- (a) Za koje su okuse kvarkova u početnom i konačnom stanju (q_i, q_f) procesi (i) i (ii) dozvoljeni? Možete pretpostaviti da je raspoloživa energija dovoljna za stvaranje svih kvarkovskih okusa.
- (b) Nacrtajte sve dijagrame koji doprinose procesima (i) i (ii) u vodećem redu računa smetnje.
- (c) Za proces (i):
 - i. Napišite invarijantnu amplitudu u vodećem redu.
 - ii. Izračunajte usrednjeni, nepolarizirani, kvadrat invarijantne amplitude, $\overline{|\mathcal{M}|^2}$. Energija ulaznih neutrina je $E_\nu = 50$ TeV.

Čestica	Kvarkovski sadržaj	Masa
e^-	/	0.51 MeV
μ^-	/	105.7 MeV
p	uud	938.27 MeV
π^+	$u\bar{d}$	139.6 MeV
π^0	$(u\bar{u} - d\bar{d})$	135.0 MeV
π^-	$\bar{u}d$	139.6 MeV
Λ^0	uds	1115 MeV
K^+	$u\bar{s}$	493.7 MeV
\bar{K}^0	$s\bar{d}$	497.7 MeV
D_s^+	$c\bar{s}$	1968.5 MeV
D^+	$c\bar{d}$	1869.3 MeV
$\omega(782)$	$c_1(u\bar{u} - d\bar{d}) + c_2s\bar{s}$	782.6 MeV