

## Részecskefizikai feladatok

1. Az a tény, hogy  $\nu_e$ -ket észleltek a SN1987A szupernovából a földi proton-bomlás detektorok (IMB, Kamiokande) lehetőséget ad arra, hogy alsó határt adjunk a neutrínók élettartamára. Ha viszont azt vesszük figyelembe, hogy a 10 és 40 MeV energiájú neutrínók 10 sec-en belül egy csomagban érkeztek, akkor az lehetőséget ad arra, hogy felsőhatárt adjunk a  $\nu_e$  tömegére. (A robbanás  $1.5 \cdot 10^5$  fényévre történt.) Mennyit kapunk?
2. A proton sugara kb. 0.8 fermi. Milyen energiájú elektron nyaláb szükséges ilyen felbontás eléréséhez, ha  $H_2$  cseppfolyós hidrogén cél-tárgyra lövünk?
3. A pion sugara 0.65 fermi. Mekkora energiájú pion nyalábra van szükség ahhoz, hogy ilyen felbontást érijünk el az álló targetben levő elektronokon való szóródáskor ( $\pi - e$  scattering!!)? Miért van olyan nagy eltérés a nyalábenergiában az előző feladathoz képest?
4. A HERA ütközőnyalábos gyorsítóban 30 GeV-es elektron ütközik 800 GeV-es protonnal, milyen felbontást lehet itt elérni? Hát a LEP-en, ahol 50 GeV-es elektron ütközik 50 GeV-es pozitronnal, illetve a LEP2-n 90 GeV-es nyalábokkal.
5. Igazoljuk Chadwick állítását, hogy ahhoz, hogy a Compton-effektus következtében  $0.1 \cdot c$  sebességű meglökött protont kapjunk, a bejövő  $\gamma$  energiájának 50 MeV körül kell lennie.
6. Mutassuk meg, hogy az 50 MeV-es  $\gamma$  maximum 400 keV-es visszalökődést hozhat létre nitrogén atommagon. Chadwick azonban talált ennél 3-szor nagyobb energiával visszalökött nitrogén magokat. Milyen energiájú neutronokkal érhető el ilyen visszalökődés?
7. A  $\pi^0$  izotróp módon bomlik 2 fotonra. Határozzuk meg a bomlás során keletkező fotonok energia eloszlását, ha  $\pi^0$  sebessége  $\beta = \frac{v}{c}$  a z-tengely mentén. Mekkora lehet a labor-rendszerben a két foton közötti maximális és minimális nyílásszög? Milyen szögek felelnek meg ezen szélsőértékeknek a pion CM-rendszerében?
8. A  $\pi^0$  élettartama  $\tau = 0.83 \cdot 10^{-16}$  sec. Milyen messzire repül az 1, 10,

- 100, ill. 1000 GeV-es pion ilyen élettartammal?
9. Tegyük fel, hogy sikerült a neutron nyalábban az átlagsebességet  $1 \text{ m/sec}$ -re csökkenteni. Hány  ${}^0K$ -os neutron-gáznak felelne ez meg?
  10. Anderson 1.5 Tesla erősségű mágneses térbe helyezett ködkamrában olyan pozitív nyomot talált, amelynek impulzusa  $63 \text{ MeV}/c$  volt. Mekkora volt a leírt kör sugara? Mekkora lett volna az energiája, ha a részecske tömege a proton ill. az elektron tömegével egyenlő? A befutott ív hossza nagyobb volt, mint  $5 \text{ cm}$ . Mivel a proton a fenti energiával normálállapotú levegőben maximum csak  $5 \text{ mm}$ -re jutott volna, viszont a mért pálya görbülete gyakorlatilag nem változott, ezért ez határozottan a pozitron létezésére mutatott. Mekkora sebessége ( $\beta$ -ja) lett volna az ilyen energiájú protonnak, ill. milyen sebessége volt a világs első pozitronának?
  11.  $l = 1$  méter hosszúságú kondenzátor lemezei közé a lapokkal párhuzamosan  $p$  impulzusú elektron ill. proton lép be, az elektromos térerősség  $E = 20000 \text{ Volt/cm}$ . Mekkora lesz kilépéskor az eltérés, ha  $p = 1 \text{ MeV}/c$ ,  $100 \text{ MeV}/c$ ,  $10 \text{ GeV}/c$  ill.  $1000 \text{ GeV}/c$ .
  12. Adva van  $1$  méter hosszú dipól mágnes, amelynek pofái között  $2$  Tesla homogén mágneses teret hozunk létre. Ebbe lövünk  $p$  impulzusú elektront ill. protont. Mekkora lesz kilépéskor az eltérés, ha  $p = 100 \text{ MeV}/c$ ,  $10 \text{ GeV}/c$  ill.  $1000 \text{ GeV}/c$ ?
  13. Neutrínó nyalábot úgy lehet előállítani, hogy egy hosszú csőbe vezetve töltött pionokat hagyunk elbomlani a  $\pi \rightarrow \mu + \nu_\mu$  séma szerint. Milyen hosszú bomlási csőre van szükség, ha a pionok energiája  $100 \text{ GeV}$ , és azt akarjuk, hogy legalább az  $e$ -ed részük bomoljon el? Határozzuk meg a keletkező neutrínók minimális és maximális energiáját.
  14. Neutrionókat lehet  $Kaon \rightarrow \mu + \nu_\mu$  bomlásból is nyerni, hasonlítsuk össze a neutrínók energia spektrumát, ha  $200 \text{ GeV}$ -es pionokból vagy kaonokból nyerjük őket. Mi az oka az ennyire eltérő spektrumoknak?
  15. Minimálisan milyen energiájú protonokat kell álló hidrogén magokra lőni, ahhoz, hogy anti-protont hozzunk létre?
  16. Mennyivel nagyobb energiájú proton nyalábra van szükség anti- $\Omega^-$  létrehozásához, mint az egyszerű  $\Omega^-$ -éhoz?

17. Milyen energiájú  $e^+e^-$  ütközőnyalábos gyorsítóra van szükség anti-proton ill  $\Omega^-$  létrehozásához?
18. Tegyük fel, hogy a tehetetlen tömeg a magok tömegével arányos, a gravitáló pedig a barion-számmal, milyen magokat kellene az Eötvös-kísérletben összehasonlítani, hogy maximális eltérést észleljünk?
19. Legyen  $t = 0$  időpillanatban tiszta  $K_0$  állapot. Tegyük fel, hogy nincs CP sértés. Rajzoljuk fel az interferencia következtében keletkező anti- $K_0$  komponens intenzitását a sajátidő függvényében különböző értékeket tételezve fel a CP sajátállapotok  $K_S$  és  $K_L$  közötti tömegkülönbségre:

$$\Delta m * \tau_S = 0.1, \quad 1, \quad 100$$

ahol feltételezzük, hogy  $\tau_L/\tau_S = 500$ .

20. A  $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$  bomlás esetén a kirepülő pionok összkinetikus energiája:

$$Q = T_1 + T_2 + T_3$$

Rajzoljunk fel egy egyelő oldalú háromszöget, amelynek a magassága  $Q$ . Ennek a belsejében felvett  $P$  pont esetén teljesül az, hogy az egyes oldalaktól mért távolságok összege konstans  $Q$ . Ezt a síkbeli "3-dim"  $T_1, T_2$  és  $T_3$  koordináta rendszert használva határozzuk meg a lehetséges végállapotok halmazának határát (Dalitz-plot) non-relativisztikus,  $m_\pi * p_i^2 = 2 * T_i$  esetben! Ne feledjük, hogy bomláskor az összimpulzus is megmarad!

21. Hogyan módosul az előző feladatbeli non-relativisztikus Dalitz-plot, ha a kinetikus energiát a relativisztikus formulával számítjuk? Mi lenne, ha a pion tömeg  $m_\pi$  lecsökkenne  $20 \text{ MeV}/c^2$ -re?
22. Határozzuk meg a Dalitz-plot konturját extrém relativisztikus esetben, ha  $p_i = E_i = T_i$  azaz ha  $m_\pi = 0$  lenne!
23. Határozzuk meg a Dalitz-plot konturjának egyenletét, ha a harmadik részecske tömege eltér:

$$M \rightarrow m, \quad m, \quad \mu \quad (m \neq \mu)$$

Használjuk ki, hogy a plot határára eső pontok speciális kinematikai konfigurációnak felelnek meg!

24. A mélyen rugalmatlan szórás ( $q^2, \nu$ ) diagramján jelöljük meg az azonos  $\Theta$  szórási szögeknek megfelelő vonalakat! (A szóródó lepton tömegét tekintsük elhanyagolhatónak.)
25. Egyetlen ábraán próbáljuk érzékeltetni a SLAC elektron nyalábjával ( $E = 30 \text{ GeV}$ ), az SPS müon nyalábjával ( $E = 280 \text{ GeV}$ ) és a HERA elektron-proton ütköző nyalábján ( $E_e = 20 \text{ GeV}$ ,  $E_p = 800 \text{ GeV}$ ) hozzáférhető ( $q^2, \nu$ ) tartományokat. (A szóródó lepton tömegét tekintsük elhanyagolhatónak.)
26. Tegyük fel, hogy nehézion ütközésben a magbéli nukleonokat az eredeti térfogat egy nyolcadára sikerült összenyomni. Ezen állapot energia sűrűsége hány  $^0K$ -os hőmérsékletnek felelne meg?
27. Az LHC utkozogyurubén olomionok fognak egymással szembe utkozni  $3.12 \text{ TeV/nukleon}$  energiával. Mekkora lesz ezen ionok "betája" és "gammaja"? Milyen lapos diszknek fognak látszani a tömegközépponti rendszerben?
28. Milyen messzire juthat egy elektron a vízben, ha csak az elektronhejben lévő kölcsönhatás lenne, amelyet a BETHE-BLOCH formula ír le, ha az elektron kinetikus energiaja:
  - a)  $T_1 = 1 \text{ MeV}$ ; b)  $T_2 = 1 \text{ GeV}$ ; c)  $T_3 = 10 \text{ GeV}$ .
29. Milyen messzire juthat egy müon a vízben, ha csak az elektronhejben lévő kölcsönhatás lenne, amelyet a BETHE-BLOCH formula ír le, ha a müon kinetikus energiaja:
  - a)  $T_1 = 1 \text{ MeV}$ ; b)  $T_2 = 1 \text{ GeV}$ ; c)  $T_3 = 10 \text{ GeV}$ .
30. Milyen messzire juthat egy proton a vízben, ha csak az elektronhejben lévő kölcsönhatás lenne, amelyet a BETHE-BLOCH formula ír le, ha a proton kinetikus energiaja:
  - a)  $T_1 = 1 \text{ MeV}$ ; b)  $T_2 = 1 \text{ GeV}$ ; c)  $T_3 = 10 \text{ GeV}$ .
31. Milyen messzire juthat egy pion a vízben, ha csak az elektronhejben lévő kölcsönhatás lenne, amelyet a BETHE-BLOCH formula ír le, ha

a pion kinetikus energiaja:

a)  $T_1 = 1 \text{ MeV}$ ; b)  $T_2 = 1 \text{ GeV}$ ; c)  $T_3 = 10 \text{ GeV}$ .

32. Milyen messzire juthat egy foton a vízben, ha csak az elektronhejban levo kölcsönhatás lenne, ha a foton kinetikus energiaja:

a)  $T_1 = 1 \text{ MeV}$ ; b)  $T_2 = 1 \text{ GeV}$ ; c)  $T_3 = 10 \text{ GeV}$ .

33. Tudjuk, hogy a részecskék az atom elektromágneses terevel is kölcsönhatnak, amelyet a  $Z$  radiációs hosszal jellemeznek. Durvan úgy lehet fogalmazni, hogy  $Z$  hossz megtetele után az elektron energiajának zomet fekezési sugárzás során fotonra alakítja. Ami fordítva is igaz, hogy a foton  $Z$  hossz befutása után elektron-positron parra alakul az atommag elektromágneses tereben. Becsüljük meg e modell alapján, hogy a keletkezo elektron-foton kaszkad milyen melyre tud a vízbe behatolni, ha a vízben  $Z = 36 \text{ cm}$ . Legyen az elektron kezdó energiaja:

A)  $1 \text{ GeV}$ ; B)  $100 \text{ GeV}$ ; C)  $10 \text{ TeV}$

34. Nemcsak a foton és az elektron(positron) de minden más részecske kölcsönhat a mag elektromágneses terevel. Az előző feladatban definiált  $Z$  radiációs hossz értéke azonban erősen függ az anyagon áthaladó részecske tömegétől, pontosabban

$$Z(m) = Z(m_e) * m^2 / m_e^2$$

azaz a muonra vonatkozó sugárzási hossz 40000-szer nagyobb. Ennek ismeretében becsüljük meg, hogy milyen messzire juthat a muon ill. az elektron a vasban, ha kezdeti energiajuk  $100 \text{ GeV}$ ? A vas elektronra vonatkozó  $Z$ -je  $1.76 \text{ cm}$ .

35. Az elektron, foton ill. muon közvetlen kölcsönhatása a magot alkotó kvarkokkal első közelítésben elhanyagolható, de a hadronok esetén ez a fókusz az anyagokon való áthaladáskor. Itt is meg lehet adni egy durva szabályt: a  $\lambda$  ún. abszorpciós hossz megtetele után a bejövő hadron felrobbant egy atommagot, amelyből két-három kirepülő újabb hadron viszi el a bejövő energia zomet. Milyen hosszú hadronikus zapor alakulhat ki a vízben a fenti durva modell szerint, ha a bejövő hadron energiaja  $100 \text{ GeV}$ , a víz abszorpciós hossza  $85 \text{ cm}$ .