NTNU **Institutt for fysikk**

Faglig kontakt under eksamen:
Professor Kåre Olaussen
Telefon: 9 36 52 eller 45 43 71 70

Eksamen i FY3403/TFY4290 PARTIKKELFYSIKK

Mandag 12. desember 2005
09:00–13:00

Tillatte hjelpemidler: Alternativ **C**
Typegodkjent kalkulator, med tomt minne (i henhold til NTNU liste).
K. Rottman: *Matematisk formelsamling* (alle språkutgaver).
Schaum's Outline Series: *Mathematical Handbook of Formulas and Tables.*

Sensur legges ut på fagets webside,
`http://web.phys.ntnu.no/~kolausen/FY3403/`,
såsnart den er klar.

Dette oppgavesettet er på 3 sider.

Oppgave 1. pN–produksjon av nye partikler

Mange tidlige partikkelakseleratorer baserte seg på at man akselererte protoner til en energi E og lot disse kollidere mot en fast mål. Dersom E var stor nok kunne man få produserte nye "eksotiske" partikler, sammen men en bakgrunn av andre partikler. Kollisjonsprosessen kan da beskrives som

$$p + N \to y + X, \tag{1}$$

der N er et nukleon (proton eller nøytron) i ro, y er den interessante "eksotiske" partikkelen, og X en (i den sammenheng) uinteressant med nødvendig bakgrunn av andre partikler for at prosessen skal adlyde konserveringslovene for sterke vekselvirkninger.
Finn den minste energien E vi må ha for å få produsert y, og gi eksempel på en tilhørende X, når y er

a) et antiproton, $\overline{p}$,

b) et positivt ladet ρ-meson, ρ^+,

c) et negativt ladet ρ-meson, ρ^-,

d) et K^+-meson,

e) et Ω^--baryon,

f) et J/ψ-meson.

g) Er det mulig å få produsert myoner, $\mu^\pm$, i pN–kollisjoner?

h) Ultrahøyenergetisk kosmisk stråling antas å være protoner med energi opp til 10^{20} eV. Hva er det maksimale antall hadroniske partikler man kan få produsert når et slikt (10^{20} eV) proton kolliderer med et atmosfærisk nukleon?

Oppgitt: Tabellen nedenfor angir omtrentlige masser for en del baryoner.

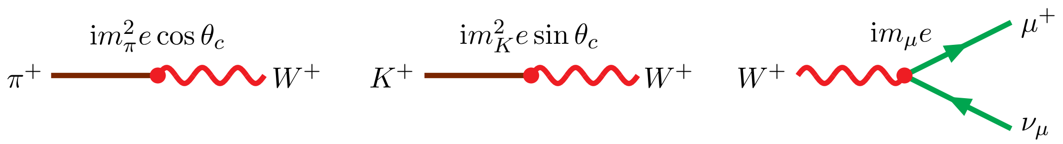
Partikkel	Masse	Partikkel	Masse
π-meson	140 MeV/c^2	K-meson	495 MeV/c^2
ρ-meson	770 MeV/c^2	Nukleon	940 MeV/c^2
η-meson	550 MeV/c^2	η'-meson	960 MeV/c^2
Δ-baryon	1 230 MeV/c^2	Λ-baryon	1 115 MeV/c^2
Ω-baryon	1 670 MeV/c^2	J/ψ-meson	3 100 MeV/c^2

Oppgave 2. Henfall av pseudoskalare mesoner

Som en sterkt forenklet (og derfor unøyaktig) modell for henfall av ladete π-mesoner og K-mesoner, f.eks

$$\pi^+ \to \mu^+ + \nu_\mu, \qquad K^+ \to \mu^+ + \nu_\mu,$$

antar vi at disse mesonene kan konvertere til et virtuelt W^+ vektormeson, som igjen kan konvertere til $\mu^+ + \nu_\mu$ som indikert av Feynmanreglene nedenfor.



Propagatoren for et virtuelt W-vektormeson med firerimpuls p settes til


$$\frac{\mathrm{i}}{p^2 - m_W^2}$$

I naturlige enheter har vi $m_\mu \approx 105.7$ MeV, $m_W \approx 80.4$ GeV, $\alpha = e^2/4\pi \approx 1/137.04$.

a) Tegn Feynman diagrammene for henfallsprosessene $\pi^+ \to \mu^+ + \nu_\mu$ og $K^+ \to \mu^+ + \nu_\mu$.

b) Skriv ned de tilhørende algebraiske uttrykk for henfallsamplitudene $\mathcal{M}_{\mathrm{fi}}$ i de to tilfellene.

c) Anta at mesonet er i ro før henfallet. Hva blir energien E_μ til myonet i de to tilfellene?

d) Det er eksperimentelt kjent at

$$\frac{\Gamma(K^+ \to \mu^+ + \nu_\mu)}{\Gamma(\pi^+ \to \mu^+ + \nu_\mu)} \approx \frac{4}{3}. \tag{2}$$

Velg θ_c slik at denne relasjonen er oppfylt.

e) Hva blir da henfallsratene, $\Gamma(\pi^+ \to \mu^+ + \nu_\mu)$ og $\Gamma(K^+ \to \mu^+ + \nu_\mu)$?

f) Bestem levetidene τ_π og τ_K til henholdsvis π^+ og K^+ i denne modellen, under antagelse om at de oppgitte henfallsmodene er de eneste som forekommer. Oppgi svaret i SI-enheter, dvs. sekunder. (Hvis du ikke har fått til forrige punkt, forklar med eksempel hvordan du konverterer fra en henfallsrate Γ gitt i naturlige enheter til en levetid τ gitt i sekunder.)

g) Forklar hvordan du vil generalisere denne modellen til å beskrive henfall av D_s^+-mesoner, dvs. $D_s^+ \to \mu^+ + \nu_\mu$.

Oppgitt:
a) Sammenhengen mellom amplitude $\mathcal{M}_{\rm fi}$ og henfallsrate er i dette tilfellet (med to partikler i sluttilstanden), i naturlige enheter,

$$\Gamma = \frac{|\boldsymbol{p}|}{8\pi m^2}|\mathcal{M}_{\rm fi}|^2, \tag{3}$$

der m er massen til partikkelen (i ro) som henfaller, og $|\boldsymbol{p}|$ er bevegelsesmengden til en av partiklene i sluttilstanden.
b) $\hbar = 1.0546 \times 10^{-34}$ Js $= 6.5822 \times 10^{-22}$ MeVs, $c = 2.9979 \times 10^8$ m/s.

Oppgave 3. Henfall av η-mesonet
De dominerende henfallsmodene til η-mesonet er

$$\eta \to 2\gamma \ (39\%), \qquad \eta \to 3\pi \ (55\%), \qquad \eta \to \pi\pi\gamma \ (5\%).$$

a) Forklar hvorfor 2π henfallsmoden er forbudt i både sterke og elektromagnetiske vekselvirkninger.

b) Forklar hvorfor 3π henfallsmoden er forbudt i sterke men tillatt i elektromagnetiske vekselvirkninger.