



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

Eksamen i FY3403 PARTIKKELFYSIKK

Lørdag 10. juni 2006
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/~kolaussen/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 kolliderere 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

$$p + N \rightarrow y + X, \quad (1)$$

der N er et nukleon (proton eller nøytron) i ro, y er den interessante “eksotiske” partikkelen, og X en (i denne sammenheng) uinteressant men 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, $\bar{p}$,
- 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

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, \quad K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu,$$

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.

$$\begin{array}{ccccccc}
 & im_\pi^2 e \cos \theta_c & & im_K^2 e \sin \theta_c & & im_\mu e & \mu^+ \\
 \pi^+ & & W^+ & K^+ & & W^+ & \\
 & & & & & & \nu_\mu
 \end{array}$$

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

- Tegn Feynman diagrammene for henfallsprosessene $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ og $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$.
- Skriv ned de tilhørende algebraiske uttrykk for henfallsamplitudene $\mathcal{M}_f$ i de to tilfellene.
- Anta at mesonet er i ro før henfallet. Hva blir energien E_μ til myonet i de to tilfellene?
- Det er eksperimentelt kjent at

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

Velg θ_c slik at denne relasjonen er oppfylt.

- Hva blir da henfallsratene, $\Gamma(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu)$ og $\Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu)$?
- 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.)
- Forklar hvordan du vil generalisere denne modellen til å beskrive henfall av D_s^+ -mesoner, dvs. $D_s^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$.

Oppgitt:

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

$$\Gamma = \frac{|\mathbf{p}|}{8\pi m^2} |\mathcal{M}_{\text{fi}}|^2, \quad (3)$$

der m er massen til partikkelen (i ro) som henfaller, og $|\mathbf{p}|$ er bevegelsesmengden til en av partiklene i slutttilstanden.

b) $\hbar = 1.0546 \times 10^{-34} \text{ Js} = 6.5822 \times 10^{-22} \text{ MeVs}$, $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Oppgave 3. Henfall av η -mesonet

De dominerende henfallsmodene til η -mesonet er

$$\eta \rightarrow 2\gamma \text{ (39\%)}, \quad \eta \rightarrow 3\pi \text{ (55\%)}, \quad \eta \rightarrow \pi\pi\gamma \text{ (5\%)}. \quad \eta \rightarrow \pi\pi\pi \text{ (1\%)}$$

- 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.