

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 kolliderer mot en fast mål. Dersom  $E$  var stor nok kunne man få produserte nye "eksotiske" partikler, sammen med 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

- et antiproton,  $\bar{p}$ ,
- et positivt ladet  $\rho$ -meson,  $\rho^+$ ,
- et negativt ladet  $\rho$ -meson,  $\rho^-$ ,
- et  $K^+$ -meson,
- et  $\Omega^-$ -baryon,
- et  $J/\psi$ -meson.
- 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.

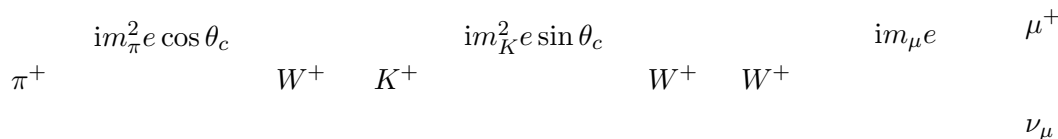
Partikkel	Masse	Partikkel	Masse
$\pi$ -meson	140 MeV/c <sup>2</sup>	$K$ -meson	495 MeV/c <sup>2</sup>
$\rho$ -meson	770 MeV/c <sup>2</sup>	Nukleon	940 MeV/c <sup>2</sup>
$\eta$ -meson	550 MeV/c <sup>2</sup>	$\eta'$ -meson	960 MeV/c <sup>2</sup>
$\Delta$ -baryon	1 230 MeV/c <sup>2</sup>	$\Lambda$ -baryon	1 115 MeV/c <sup>2</sup>
$\Omega$ -baryon	1 670 MeV/c <sup>2</sup>	$J/\psi$ -meson	3 100 MeV/c <sup>2</sup>

**Oppgave 2. Henfall av pseudoskalare mesoner**

Som en sterkt forenklet (og derfor unøyaktig) modell for henfall av ladete  $\pi$ -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.



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

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

Velg  $\theta_c$  slik at denne relasjonen er oppfylt.

- e) Hva blir da henfallsratene,  $\Gamma(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu)$  og  $\Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu)$ ?
- f) Bestem levetidene  $\tau_\pi$  og  $\tau_K$  til henholdsvis  $\pi^+$  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  $\Gamma$  gitt i naturlige enheter til en levetid  $\tau$  gitt i sekunder.)
- g) 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  $\mathcal{M}_f$  og henfallsrate er i dette tilfellet (med to partikler i slutttilstanden), i naturlige enheter,

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

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

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

**Oppgave 3. Henfall av  $\eta$ -mesonet**

De dominerende henfallsmodene til  $\eta$ -mesonet er

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

- a) Forklar hvorfor  $2\pi$  henfallsmoden er forbudt i både sterke og elektromagnetiske vekselvirkninger.
- b) Forklar hvorfor  $3\pi$  henfallsmoden er forbudt i sterke men tillatt i elektromagnetiske vekselvirkninger.