

## Øving 12

Dette er siste øving. Den inneholder mange oppgaver. Det holder å gjøre omtrent halvparten for å få øvingen godkjent.

### Oppgave 1

a)  $\bar{S}$ am spaserer med en hastighet 5 km/t i fartsretningen inne i et tog som kjører med en hastighet 80 km/t. Bestem  $\bar{S}$ ams hastighet i forhold til Siv, som betrakter det hele fra perrongen, både i følge Galileo og i følge Einstein. Hvor stor (prosentvis) feil gjør Galileo i dette tilfellet?

b)  $\bar{S}$ am løper nå med en hastighet  $c/2$  inne i toget som kjører med en hastighet  $3c/4$ . Hva er nå  $\bar{S}$ ams hastighet i forhold til Siv.

c) Vis at så lenge  $\bar{S}$ am løper og toget kjører med hastigheter som begge er mindre enn  $c$ , vil  $\bar{S}$ ams hastighet i forhold til Siv også være mindre enn  $c$ .

(Denne deloppgaven er muligens litt vanskelig. Et tips kan være å innføre dimensjonsløse størrelser  $\beta = v_{\bar{S}S}/c$ ,  $\beta_1 = v_{\bar{S}T}/c$  og  $\beta_2 = v_{TS}/c$ . Oppgaven blir da å vise at hvis både  $\beta_1 < 1$  og  $\beta_2 < 1$ , så er også  $\beta < 1$ , eventuelt  $\beta^2 < 1$ .)

### Oppgave 2

Siv blir en dag vitne til følgende dramatiske opptrinn:

$\bar{S}$ am har kokt Arnes øving i bølgefysikk og blir dessverre (for ham) oppdaget. Arne er av den nådeløse typen og fyrer av et skudd med pistolen sin etter  $\bar{S}$ am, som prøver å komme seg unna. Siv noterer at  $\bar{S}$ am er raskere enn Arne; de to løper med hastigheter henholdsvis  $5c/8$  og  $3c/8$ . Pistolen gir kula en utgangshastighet  $5c/16$  (i forhold til pistolen). Klarer  $\bar{S}$ am å unnsnippe?

### Oppgave 3

Anta at du har stilt opp en lang rekke med synkroniserte klokker, en for hver 300000. km. Hvilken tid *ser* du på klokke nummer 201 når den du har rett ved siden av deg (nummer 1) er 12:00:00? Hvilken tid *observerer* (dvs: *måler*) du på klokke nummer 201?

### Oppgave 4

$\bar{S}$ am og Siv er tvillinger. Når de fyller 18 år, får de hver sin klokke av foreldrene. Fra sin rike onkel i Amerika får  $\bar{S}$ am og Siv et hurtiggående romskip.  $\bar{S}$ am er glad i å reise og bestemmer seg for å ta en tur til Epsilon Indi, en stjerne som ligger ca 12 lysår unna jorden. For Siv gjelder "borte bra men hjemme best", så hun blir hjemme.  $\bar{S}$ am får raskt romskipet opp i toppfart som er  $0.98c$ . Epsilon Indi viser seg å være både ugjestmild og forlatt, så  $\bar{S}$ am vender umiddelbart tilbake til jorden. Hvor gamle er Siv og  $\bar{S}$ am når  $\bar{S}$ am går inn for landing?

Bruk  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s der tallverdi på lyshastigheten er nødvendig.

## Oppgave 5

Når høyenergetiske partikler (for eksempel protoner) kolliderer med atomer i den øvre delen av atmosfæren (15 - 20 km over bakken), genereres det nye partikler, for eksempel såkalte pioner. Pioner kan være elektrisk nøytrale eller ha ladning  $+e$  eller  $-e$ . Uansett er de svært ustabile, med levetider bare noen få ns (nanosekunder). Et ladet pion spaltes ("henfaller") fortrinnsvis til et myon og et (myon-)nøytrino, eksempelvis

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

Myonet er også ustabil og spaltes fortrinnsvis til et positron (eventuelt elektron, hvis det er snakk om  $\mu^-$ ), et nøytrino og et antinøytrino,

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}$$

Laboratorieeksperimenter viser at levetiden til myoner med lave hastigheter (dvs essensielt i ro) er ca  $2.2 \mu\text{s}$ . Hvordan kan det da ha seg at en betydelig andel av myonene som dannes i den øvre delen av atmosfæren når helt ned til jordoverflaten? Den gjennomsnittlige energien til myonene som når jordoverflaten er målt til ca 2 GeV, mens myonets hvileenergi er ca 105.7 MeV. (Merk at "levetid" her må oppfattes som "midlere levetid": Noen myoner lever kortere enn dette mens andre lever lenger.)

## Oppgave 6

Et positivt ladet pion,  $\pi^+$ , som ligger i ro, spaltes i to nye partikler, et myon,  $\mu^+$ , og et myon-nøytrino,  $\nu_\mu$ . Pionet har masse  $m_\pi \simeq 139.57 \text{ MeV}/c^2$ , myonet har masse  $m_\mu \simeq 105.66 \text{ MeV}/c^2$ . Nøytrinoet har så liten masse at vi kan se bort fra denne og sette  $m_\nu = 0$ .

a) Bruk prinsippet om bevarelse av relativistisk impuls og energi til å vise at myonets energi blir

$$E_\mu = \frac{(m_\pi^2 + m_\mu^2) c^2}{2m_\pi}$$

b) Vis deretter at myonets hastighet blir

$$v_\mu = \frac{m_\pi^2 - m_\mu^2}{m_\pi^2 + m_\mu^2} c$$

Regn ut tallverdier for  $E_\mu$  og  $v_\mu$ .

## Oppgave 7

En partikkel har i et bestemt inertialsystem total energi 5 GeV og impuls 3 GeV/c. (Dvs størrelsen  $cp$ , med dimensjon energi, har verdien 3 GeV.)

a) Hva er partikkelens energi i et system der impulsen er 4 GeV/c?

b) Hva er partikkelens masse?

c) Hva er relativ hastighet mellom disse to inertialsystemene? (Denne relativhastigheten har samme retning som partikkelens hastighet.)

## Oppgave 8

En partikkel med masse  $m$  og kinetisk energi  $2mc^2$  kolliderer med og fester seg til en partikkel i ro med masse  $2m$ . Hva blir massen  $M$  til "komposittpartikkelen"?

### Oppgave 9

En partikkel med masse  $M$  er i ro i labsystemet og spaltes spontant i tre identiske partikler, hver med masse  $m$ . En av partiklene farer vestover med hastighet  $4c/5$ , en annen farer sørover med hastighet  $3c/5$ .

- a) I hvilken retning, og med hvor stor hastighet farer partikkel nr 3?
- b) Bestem masseforholdet  $M/m$ .

### Oppgave 10

To satellitter beveger seg i motsatt retning, med hastigheter henholdsvis  $-v$  og  $v$  relativt deg. Den ene satellitten sender ut elektromagnetiske bølger med frekvens  $f_0$ . Hva er frekvensen  $f$  på signalet som den andre satellitten mottar? Hva blir forholdet  $f/f_0$  dersom  $v \ll c$ ?

Noen svar:

7 a) 5.66 GeV. b) 4.3 u. c) 0.186c.

8 4.1m.

9 a)  $29^\circ$ , 0.837c. b) 4.74.