

**Administrativt, bokmål:****NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET****FAKULTET FOR FYSIKK, INFORMATIKK OG MATEMATIKK**

Faglig kontakt under eksamen: Professor Svein Sigmond, tlf. 73 59 36 24 og 97 66 64 07

**Eksamen i fag 74440 Ladete Partiklers Fysikk**

Tirsdag 30. mai 2000 0900–1400 (5 timer)

**Tillatte hjelpemidler:**

Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i samsvar med liste utarbeidet av NTNU

Standard matematiske / fysiske formelsamlinger og tabeller

Utlevert formelsamling i Ladete Partiklers Fysikk

Ved sensuren vil det bli lagt lik vekt på hver av oppgavene.

**Administrativt, nynorsk:****NOREGS TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET****FAKULTET FOR FYSIKK, INFORMATIKK OG MATEMATIKK**

Fagleg kontakt under eksamen: Professor Svein Sigmond, tlf. 73 59 36 24 og 97 66 64 07

**Eksamen i fag 74440 Ladete Partiklers Fysikk**

Tysdag 30. mai 2000 0900–1400 (5 timar)

**Tillatne hjelpemidlar:**

Typegodkjend kalkulator, med tomt minne, i samsvar med liste utarbeidd av NTNU

Standard matematiske / fysiske formelsamlingar og tabellar

Utlevert formelsamling i Ladete Partiklers Fysikk

Ved sensuren vil det bli lagt lik vekt på kvar av oppgåvene.

**Faglige eksamensoppgaver:****Oppgave 1**

a) Gitt et laboratorierom med et rettvinklet koordinatsystem, og med en ladet partikkel ( $q, m$ ) som beveger seg i vakuum et konstant elektrisk felt  $E_y$  langs y-aksen og et konstant magnetisk felt  $B_z$  langs z-aksen. Vis at man alltid kan transformere partikkelbevegelsen  $v(t)$  til et annet inertialsystem med hastighet  $V$  relativt til

lab.systemet, hvor baneberegningene blir meget enklere fordi enten det elektriske feltet  $\vec{E}'$  eller det magnetiske feltet  $\vec{B}'$  er null. Sett opp formler for  $V$ ,  $\vec{E}'$ ,  $\vec{B}'$  uttrykt ved noen eller alle av størrelsene  $E_y$ ,  $B_z$ ,  $v$ ,  $q$ ,  $m$ . Formlene skal dekke alle praktiske verdier av  $E_y$  og  $B_z$ , inklusive svært små.

b) Gitt et system med tre metalliske elektroder  $A_0$ ,  $A_1$ , og  $A_2$ , hvor  $A_1$  og  $A_2$  er koblet til referanseelektroden  $A_0$  gjennom batterier med spenninger henholdsvis  $U_1$  og  $U_2$ . I punktet  $\vec{r}$  i rommet mellom elektrodene er det en ladet partikkel ( $q, m$ ) som beveger seg med hastighet  $\vec{v}$ . Angi oppskriften for hvordan en kan beregne strømmen  $I_I$  som partikkelen induserer i ledningen mellom elektrodene  $A_1$  og  $A_0$  (Shockley-Ramo-teoremet). Vis hvordan dette teoremet kan utnyttes til å tillate nøyaktig elektrisk registrering av tidspunktet for at en ladet partikkel treffer en plan elektrodeflate, f.eks. i et flyvetids massespektrometer.

c) Formuler Busch-teoremet, og gjør greie for dets gyldighetsområde.

## Oppgave 2

I en *protonsynkrotron* akselereres protoner ( $q, m$ ) i en sirkelbane med konstant baneradius  $R_o$ . Både ledemagnetfeltet  $B(t)$  og den ekvivalente elektriske vandrebeølgens vinkelfrekvens  $\omega_E(t)$  må da være funksjoner av partikkelenergien og dermed av tiden. Protonene injiseres vanligvis fra en lineærakselerator, og hentes ut av synkrotronen når ledemagnetfeltet har nådd sin maksimale verdi  $B_m$  (bestemt av magnetkonstruksjonen). De akselererte protonene bringes så enten til å kollideres med protoner som er i ro i laboratoriet (f.eks. i et hydrogen boblekammer) eller med en motsatt rettet stråle med protoner med samme energi.

Det gir oversiktlig regning og takknemlig sensor å bruke forholdsstørrelsene  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\kappa$  og  $\eta$  (se formelsamlingen) ved beregningene i denne oppgaven, som ved de fleste andre relativistiske beregninger.

- Utled relasjonen mellom ekvivalent elektrisk vandrebeølgerefrekvens  $\omega_E = \omega_c$  og ledemagnetfeltet  $B(t)$  som må være oppfylt for at protonene skal akselereres i sirkelbane med konstant radius  $R_o$ . (Uttrykket skal ikke inneholde forholdsstørrelsene eller  $v/c$ )
- Finn uttrykk og beregn verdi for den maksimale induksjonen  $B_m$  i til det midlere ledemagnetfeltet (tenkt midlet over hele baneomkretsen) i CERN's Super Proton Synkrotron (SPS), med maksimal protonenergi  $W_k = 400$  GeV og baneradius  $R_o = 1.1$  km. Beregn også fartsdifferensen  $\Delta v = c - v$ , i m/s, ved 400 GeV.
- Når disse 400 GeV protonene støter mot motsatt rettede protoner med samme energi, kan hele støtenergien nyttes til de uelastiske støtprosessene som en ønsker å studere, fordi tyngdepunktet til de støtende partiklene er i ro i laboratoriet. Finn uttrykk for og beregn verdier for protonenergien  $W_{k2}$  og akselerator-baneradien  $R_2$  som skal til for å gi samme utnyttbare støtenergi hvis protonene skal støte mot protoner i ro i laboratoriet, når ledemagneter med samme maksimale induksjon  $B_m$  skal benyttes.

## Oppgave 3

- Forklar kort hva er ambipolar diffusjon, definer den ambipolare diffusjonskoeffisienten  $D_a$ , og bruk ambipolar diffusjon til å definere begrepet *plasma*.
  - Finn uttrykket for den ambipolare diffusjonskoeffisienten  $D_a$  for en gass inneholdende fri elektroner og ioner med tettheter  $n_e \approx n_i \approx n$ , diffusjonskoeffisienter  $D_e$  og  $D_i$ , og mobiliteter  $\mu_e$  og  $\mu_i$ . Bruk Nernst-Townsend-relasjonen til å fjerne mobilitetene fra uttrykket, og forenkler uttrykket ved å anta like elektron- og ionetemperaturer  $T$  og utnytte masseforskjellen.
  - Gitt to parallelle plane glassplater i innbyrdes avstand  $2d$ . Lag et aksekors med origo midt mellom platene, og x-aksen loddrett platene slik at platene kommer i posisjoner  $x = \pm d$ . Legg z-aksen oppover mellom platene, og glem y-dimensjonen. Rommet mellom platene er gassfylt, og et elektrisk felt  $E_0$  i z-retningen holder en stasjonær gassutladning brennende mellom platene, slik at elektron- og ionetettheten i midtplanet  $x = 0$  holder seg konstant lik  $n_0$ . Elektronproduksjonen skyldes støtionisasjon drevet av feltet  $E_0$ , og vi skal anta  $(\partial n / \partial t)_{prod} = \beta \cdot E_0 \cdot n$ .  $n_0$  er stor nok til at den ioniserte gassen oppfører seg som et plasma med ambipolar diffusjonskoeffisient  $D_a$ . I stasjonær tilstand vil elektron- og ioneproduksjonen akkurat oppveie diffusjonstapet til glassveggene.
- Finn uttrykk for den resulterende elektron- og ionetetthetsfordelingen  $n(x)$  mellom glassplatene, og for det elektriske feltet  $E_0$  som opprettholder denne tetthetsfordelingen.

- Definer Townsend-, glimm-, og bueutladning.

Forklar kort hva som menes med Townsend overslagsmekanisme og kanal (streamer) overslagsmekanisme.