

NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:
Gunnar Berg, tel. 90589

Eksamen i fag 74440 Ladete Partiklers Fysikk

Onsdag 14.mai 1997 0900–1400 (5 timer)

Tillatte hjelpemidler:

- Godkjent lommekalkulator
- Standard matematiske / fysiske formelsamlinger og tabeller
- Utdelt formelsamling

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

Oppgave 1

To gassutladningskammere S og S' av glass, hver med to metall elektroder, er geometrisk likedannede, slik at alle dimensjoner i S' er $k=4$ ganger større enn i S . Elektrodeparene påtrykkes spenningene U_0 og U_0' . Fra de negative elektrodene (katodene) frigjøres elektroner. I første omgang er kammerne gasstomme (vakuum) og spenningene likespenninger. Senere i oppgaven endres dette.

- Ett elektron frigjøres fra hver katode i vakuum, i ekvivalente punkter og med null hastighet. Hvordan må likespenningene U_0 og U_0' velges i forhold til hverandre for at elektronbanene i de to kammerne skal bli ekvivalente?
- Nå skal spenningene være vekselspenninger, med amplituder U_0 og U_0' og frekvenser f og f' . Hvordan må U_0 og U_0' , frekvensene f og f' , og startfasene ϕ og ϕ' , velges i forhold til hverandre for at elektronbanene fortsatt skal være ekvivalente?
- Nå skal katodene i kammerne (fortsett i vakuum) emitere elektroner fra hele overflaten med strømtettheter j og j' som er store nok til at romladningsfeltene blir av betydning. Hvordan må j og j' stå i forhold til hverandre for at ekvivalensen opprettholdes? Og hva blir forholdet mellom totalstrømmene I og I' ?

Kammerne fylles nå med samme gassart og temperatur til tetthetene n og n' . Vi skal anta at de dominerende støtprosesser mellom elektronene og gassmolekylene alle er topartikkelstøt.

- Hvordan må gasstetthetene n og n' stå i forhold til hverandre for at elektronbaner og feltbilder fortsatt (i middel) skal være ekvivalente? Vil ekvivalensen da gjelde for alle tre punktene a)–c) over?
- Hva blir da forholdet mellom brøkene E/n og E'/n' i ekvivalente punkter i de to kammerne (E er elektrisk felt)? Forklar den fysiske sammenhengen mellom E/n og støtenergien mellom elektroner og gassmolekyler.
- Forklar sammenhengen mellom ekvivalenslovene for gassfylte systemer og Paschen's lov (om overslags-spenning mellom plane parallelle elektroder som funksjon av elektrodeavstand d og gasstetthet n).

Oppgave 2

- Gi en kort oversikt over prinsipiell konstruksjon og virkemåte for sykliske partikkelakseleratorer (særlig syklotron, synkrotron, betatron). Angi om partikkelfluksen fra akseleratorene er kontinuerlig, pulset med akselerasjonsfeltfrekvensen, eller pulset hver akselerasjonssyklus. Angi hvilke partikkeltyper akseleratorene er brukbare for. Diskuter bane- og fasestabilitet.
- Hvilke faktorer bestemmer og begrenser oppnåelig partikkelenergi for hver av akseleratorene i a) (magnetfelt, baneradius, elektrisk akselerasjonsfelt etc.)?

Finn et uttrykk for maksimal kinetisk partikkelenergi W_m for partikler (q, m_0) som funksjon av maksimal tilgjengelig (midlere) ledemagnetfelt B_m og maksimal baneradius R_m i en syklisk akselerator. Finn forenklete uttrykk for W_m for ikke-relativistiske og for ekstremt relativistiske partikkelenergi. (Innfør gjerne $\beta \equiv v/c$ i uttrykkene).

c) Gitt en synkrotron akselerator med baneradius $R_0 = 10$ km og maks. ekvivalent magnetisk ledefelt (midlet over banen) $B_0 = 5$ Tesla. En så stor akselerator vil gi ekstremt relativistiske partikkelenergi. Beregn maksimal kinetisk partikkelenergi W_0 . Angi tallverdien i elektronvolt.

Det følgende spørsmål kan gi litt kronglete regning, hvis en er uheldig. Ta det helt til slutt!

Beregn de maksimale energiene W_1 og W_2 som er tilgjengelig for uelastiske støtprosesser: 1) W_1 , når et elektron med kinetisk energi W_0 fra denne akseleratoren støter mot et stillestående elektron (i et fast stoff i laboratoriet); 2) W_2 , når et elektron fra akseleratoren støter mot et motsatt rettet positron fra samme akselerator.

Beregn forholdet W_2/W_1 .

Regningen blir enklest når W_0 innføres i stedet for elektronets β_0 . Forenkl uttrykk og beregninger der hvor enkelte ledd er neglisjerbare p.g.a. ekstremt relativistiske energier. Hva er den fysikalske grunnen til at W_1 er så mye mindre enn W_2 ? Hva er hovedvanskeligheten med kolliderende-stråle-metoden?

Oppgave 3

a) Forklar kort hva er ambipolar diffusjon, definer den ambipolare diffusjonskoeffisienten D_a , og bruk ambipolar diffusjon til å definere begrepet *plasma*.

b) 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 μ_e og μ_i . Bruk Nernst-Townsend-relasjonen til å fjerne mobilitetene fra uttrykket, og forenkle uttrykket ved å anta like elektron- og ionetemperaturer T og utnytte masseforskjellen.

c) 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 støt-ionisasjon 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.

d) Definer Townsend-, glimm-, og bueutladning.

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