

NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
 INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:
 Svein Sigmond, tel. 93624

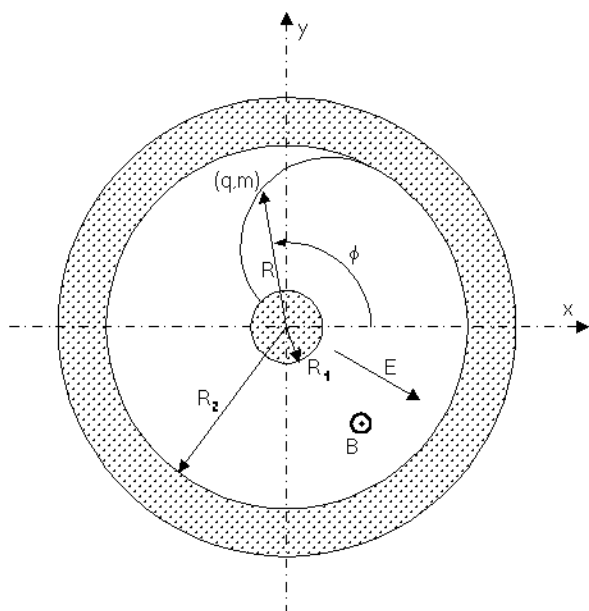
Eksamen i fag 74440 Ladete Partiklers Fysikk

Onsdag 12. mai 1999 0900–1300 (4 timer)

Tillatte hjelpemidler:

- Godkjent lommekalkulator
- Standard matematiske / fysiske formelsamlinger og tabeller
- Utlevert formelsamling i Ladete Partiklers Fysikk

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



Figuren viser to koaksiale sylindriske elektroder av metall. Rommet imellom har indre radius R_1 og ytre radius R_2 . Lengden er uten betydning her, vi regner per meter lengde. Et eventuelt magnetfelt vil ligge i akseretningen (z-retningen).

Oppgave 1

a) Hva er *Busch-teoremet*, og hva er begrensningene for dets gyldighetsområde?

Figuren illustrerer nå den såkalte *magnetron-geometrien* (ikke en fullstendig magnetron, se spørsmål **d**). Den består av et vakuumkammer mellom to konsentrisk sylindere. Den indre, *katoden*, er her lagt på jordpotensial, mens den ytre, *anoden*, er lagt på positiv likespenning U . Katoden er

glødende og emitterer elektroner med null kinetisk energi. Elektronene trekkes mot anoden av det elektriske feltet, og avbøyes av det konstante, uniforme magnetiske feltet B som ligger i akseretningen.

Denne diodens mest karakteristiske egenskap er at elektronene bare kan nå frem til anoden når anodespenningen U overstiger en grenseverdi U_0 (Hull's cut-off betingelse). Dette utnyttes i magnetron-oscillatorrøret, som du skal beskrive i spørsmål **d** (**d** kan besvares uavhengig av **a**, **b** og **c**). All regning i det følgende gjøres ikke-relativistisk.

b) Anta i dette spørsmålet at den elektriske feltfordelingen $E(R) > 0$ er en gitt, kjent funksjon, med total spenning U . Finn et uttrykk for den minimale verdi U_0 som anodespenningen U kan ha, for at et elektron med ladning $e < 0$ og masse m emittert med null energi fra katoden, skal kunne nå anoden.

Beregn U_0 når $R_1 = 3.0$ mm, $R_2 = 8.1$ mm, og $B = 0.19$ Tesla.

(Bortsett fra at hulromsresonatoren er utelatt, er dette dataene for den klassiske magnetronen 2 J 32, med 300 kW max. pulset mikrobølgeeffekt utgang).

c) Når dioden drives med anodespenning ubetydelig lavere enn cut-off-spenningen U_0 , vil ingen elektroner kunne nå anoden. I begynnelsen vil elektronene gå i sløyfebaner fra katoden, mot anoden, og tilbake til katoden igjen. Med tiden vil friksjonen mellom elektronene endre elektronbanene inntil alle elektronene beveger seg i konsentriske sirkelbaner med samme vinkelhastighet ω_0 , slik at de roterer som et stivt legeme uten indre friksjon. Vi skal nå regne på denne slutt-tilstanden:

Finn uttrykk for den elektriske feltfordelingen $E(R)$, elektrontetthetsfordelingen $n(R)$, og den felles sirklingsfrekvensen ω_0 , når anodespenningen U akkurat er lik cut-off-spenningen U_0 .

d) Tegn opp og beskriv virkemåten til magnetron-oscillatorrøret. Legg vekt på fasestabiliseringen, som sørger for at bare elektroner som gir energi til mikrobølgefeltet når anoden.

Oppgave 2

Figuren på forrige side skal nå være fylt med gass (luft, f.eks.), og vi skal legge positiv eller negativ likespenning U på ytre sylinder. Det skal ikke være noe magnetfelt ($B = 0$). Vi skal slippe løs ett elektron fra den negative elektroden (katoden), og beskrive og regne på drift, ionisasjon, og induisert elektrisk strøm i systemet. Spørsmålene **c**, **d** og **e** kan regnes uavhengig av **a** og **b**.

a) Definer den primære ionisasjonskoeffisienten α . Utled uttrykket for hvordan en elektronlavine $N_e(R)$ vokser med R når den driver i et elektrisk felt $E(R)$ (f.eks. i røret på figuren), når $\alpha(E)$ er gitt.

b) Hva menes med en *selvstendig Townsendutladning*? Gjør kort rede for prosessene som får utladningen til å brenne selvstendig, uten kontinuerlig generering av elektroner ved ytre midler.

Vi skal nå gå ut fra at den indre sylindere på figuren har svært liten radius i forhold til ytre, $R_1 \ll R_2$. Feltet ved indre elektrode blir da relativt svært sterkt, og vi skal gå ut fra at all elektronstøt-ionisasjon finner sted i en ionisasjons-sone tett inntil indre elektrodeflate, ved $R=R_1$, og at hvert elektron som passerer denne sonen lager en elektronlavine med i alt M elektroner (altså $M-1$ ionisasjoner). Anta videre at elektroner og positive ioner bruker neglisjerbare tider på å passere denne ionisasjonssonen, i forhold til de respektive transitt-tidene T_e og T_i mellom de to elektrodene. Vi skal se bort fra sekundære ionisasjonsprosesser.

c) Finn først et uttrykk for tiden $T(\mu, U, R_1, R_2)$ som en ladet partikkel med feltuavhengig mobilitet μ bruker for å drive mellom de konsentriske sylinderelektrodene R_1 og R_2 .

d) Bruk så Shockley-Ramo-teoremet til å finne uttrykk for strømmen $I(t)$ som en slik partikkel vil induere i den ytre krets som forsyner elektrodene med spenningen U .

e) Skisser strømforløpet i den ytre krets $I(t)$ som følger når 1) et elektron slippes fri fra indre elektrode (ved positiv U), og 2) fra ytre elektrode (ved negativ U). Regn med lavinemultiplikasjon $M \approx 10$ ved oppteigningen, og bruk forskjellige tidsskalaer for elektroner og ioner, med henholdsvis T_e og T_i som målestokk (elektronene driver ca 100 ganger fortere enn positive ioner).