

UNIVERSITET I OSLO

Det matematisk–naturvitenskapelige fakultet

Eksamen i AST 4210 — Stråling I

Eksamensdag: Tirsdag 6. desember 2005

Tid for eksamen: 14.30-17.30

Oppgavesettet er på 2 sider

Vedlegg: Ingen

Tillatte hjelpemidler: Alle ikke-kommuniserende hjelpemidler

*Kontroller at oppgavesettet er komplett
før du begynner å besvare spørsmålene.*

Oppgave I

En elektromagnetisk stråle med intensitet \mathcal{I}_ν forplanter seg i retning \hat{s} innenfor romvinkelen $d^2\Omega$ gjennom en svakt ionisert gass. Vi er interessert i frekvenser ν for hvilke $\nu \gg \omega_p/(2\pi)$ der ω_p er plasmafrekvensen for plasmaet.

- a) Hva er dimensjonen av \mathcal{I}_ν ? Hvilke forenklinger følger av antagelsen om frekvensene? Kan du uttrykke den “monokromatiske fotontetthet” N_ν for strålen?

Fotonene i strålen kan absorberes av individuelle atomer i gassen. Transisjonsraten for at et gitt atom skal foreta en transisjon fra en tilstand $|a\rangle$ til en tilstand $|b\rangle$ med høyere energi er gitt ved

$$w_{ba}^{\text{abs}} = \frac{4\pi^2\alpha}{\hbar} \mathcal{I}_\nu |\hat{\epsilon} \cdot \mathbf{r}_{ba}|^2 \quad \text{der} \quad \mathbf{r}_{ba} \equiv \langle b | \mathbf{r} | a \rangle.$$

- b) Forklar inngående størrelser. Hvilke krav må stilles til størrelsen $\hat{\epsilon}$. Verifiser at uttrykket har den forventede dimensjon. Hva er de tilsvarende uttrykk for to prosesser der atomet foretar den motsatte overgang fra $|b\rangle$ til $|a\rangle$? Hva kalles disse prosesser?
- c) Hva inngår i uttrykket for $\langle b | \mathbf{r} | a \rangle$?
[Sett opp det fulle uttrykk for et ett-elektron atom. Videre utregning kreves ikke.]
- d) Uttrykkene for transisjonsratene ovenfor refererer til absorpsjon eller emisjon av fotoner innenfor en liten romvinkel om en gitt retning. Vis at de midlere uttrykk (middel over alle retninger) fremkommer ved å erstatte $|\hat{\epsilon} \cdot \mathbf{r}_{ba}|^2$ med $|\mathbf{r}_{ba}|^2/3$ [Hint: velg retningen av \mathbf{r}_{ba} som “z-retning” under midlingen.]

Fotonene som absorberes eller emitteres i retning av strålen bidrar til emisivitet j_ν og lineær ekstinsjon koeffisient α_ν for gassen.

- e) Definer disse størrelser og antyd hvordan bidragene til disse størrelsene fra prosessene studert ovenfor kan uttrykkes.

Oppgave II

Vi skal nå studere enkelte sider ved strålingstransport ut av solatmosfæren. La \mathcal{I}_ν fortsatt betegne den monokromatiske strålingsintensitet i strålingsfeltet.

- a) Gi en generell beskrivelse hvordan retningsavhengigheten for \mathcal{I}_ν vil variere som funksjon av høyden (z) fra det indre av Sola, opp gjennom og ut av atmosfæren.

Vi antar nå at LTE gir en gyldig beskrivelse av strålingstransporten opp gjennom fotosfæren. Videre antar vi at kildefunksjonen S_ν varierer tilnærmet lineært med radiell optisk dybde $\tau'_\nu(z)$. Vi antar en fallende temperaturprofil $\mathcal{T}(z)$ opp gjennom fotosfæren.

- b) Hva er uttrykket for S_ν under disse antagelser. Hvordan vil S_ν kvalitativt variere med z gjennom fotosfæren for en gitt frekvens ν ? For en gitt høyde z hvordan varierer S_ν som funksjon av frekvens ν gjennom det synlige frekvensområde? [Gi en kvalitativt riktig skisse av den siste relasjon. Hva er bølgelengden λ ved frekvensen ν der S_ν antar sin maksimale verdi – f.eks. for $\mathcal{T} \sim 6000$ K?]

- c) Det sies ofte at intensiteten i strålingen fra Sola ved en gitt frekvens er dannet i en bestemt høyde. Hva bestemmer denne høyden? Vil denne høyden avhenge av fra hvilken retning observatøren ser inn mot atmosfæren?

- d) Vi ser mot sentrum av solskiven. Forventer du noen forskjell i den sentrale linjeintensitet for fiolette og røde spektrallinjer med tilnærmede identiske $\alpha_\nu(z)$ og $\tau'_\nu(z)$ profiler? Forklar.

Vi tar nå for oss en gitt spektrallinje dannet i fotosfæren. Vi tar for oss to frekvenser i linjen, senterfrekvensen ν_ℓ og en vingfrekvens ν_c .

- e) Vil linja fremstå som en emisjons- eller absorpsjonslinje? Forklar. Gi gjerne en grafisk illustrasjon av ditt resonnement.

- f) Hvordan vil den sentrale linjeintensitet \mathcal{I}_ν^ℓ , vingsintensiteten \mathcal{I}_ν^c og spesielt forholdet mellom disse $\mathcal{I}_\nu^\ell/\mathcal{I}_\nu^c$ variere fra sentrum av solskiven og ut mot solranden? Begrunn.

Vi ønsker til slutt å diskutere noen effekter av NLTE, det vil si at antagelsene om LTE ikke lengre er gyldig for en gitt frekvens. Slike effekter kan særlig forventes for den sentrale frekvens for “sterke” spektrallinjer, det vil si for frekvenser der α_ν tar spesielt store verdier. Effekten gir utslag i at den effektive kildefunksjon S_ν for slike frekvenser antar lavere verdier enn tilsvarende LTE verdi. Vi antar fortsatt at S_ν ved disse frekvenser kan tilnærmes som en lineær funksjon av τ'_ν .

- g) Hvilken effekt vil den nye antagelse ha på variasjonen av forholdet $\mathcal{I}_\nu^\ell/\mathcal{I}_\nu^c$ fra sentrum av solskiven og ut mot randen for “sterke” linjer?