

I Inleiding

Een H⁺ gebied (in de literatuur abusievelijk HII gebied genoemd; HII betekent eigenlijk het spectrum van geïoniseerd waterstof) bestaat voor het overgrote deel uit geïoniseerd waterstof. De ionisatie wordt veroorzaakt door UV straling van één of meer sterren. Welke spectrale typen zullen hier het meest geschikt voor zijn? De interstellaire ruimte bestaat voor ongeveer 90% (deeltjes) uit waterstof en we verwaarlozen voorlopig de overige bestanddelen. Een UV quantum verlaat het steroppervlak en wordt geabsorbeerd in het grensgebied neutraal-geïoniseerd waterstof. Als de absorptiecoëfficiënt voor Lyman continuüm straling gelijk is aan $6 \cdot 10^{-18} N_H$ ¹⁾ schat dan de dikte van het grensgebied. We gaan de dikte vergelijken met de afmetingen van het H⁺ gebied. Voor een bolvormig gebied met één centrale ster wordt de straal gegeven door de Strömgrenstraal R_S :

$$R_S N_e^{2/3} = \left[\frac{3 R_*^2}{\alpha(T_e)} N_L \right]^{1/3} = U (Sp) \quad \text{1) (zie dictaat)}$$

U (Sp) is een grootheid die alleen van de centrale ster afhangt; enige waarden:

Spectraaltipe	05	B0
U (Sp) pc.cm ⁻²	90	25

Zijn H⁺ gebieden scherp afgebakend of vertonen ze een geleidelijke overgang van geïoniseerd naar neutraal? Zie je wat je verwacht op de optische en radio plaatjes van een H⁺ gebied. Wat zou de oorzaak van de verschillen kunnen zijn?

II De ionisatie toestand in een H⁺ gebied

Welke fysische grootheden bepalen de ionisatie toestand in een H⁺ gebied? We veronderstellen weer een eenvoudig bolvormig H⁺ gebied.

III De afstand tot een H⁺ gebied

Hoe is de afstand tot een H⁺ gebied te bepalen? Is de afstand bekend dan zijn we in staat de berekende Strömgrenstraal te vergelijken met de ware afmetingen. Waar kan een grote waargenomen straal het gevolg van zijn, en een kleine?

1) voor de betekenis van de symbolen, zie bijgaande lijst, bijlage 1

IV De straling uit een H⁺ gebied

Voor de stralingsstructuur in een H⁺ gebied zijn andere elementen dan waterstof ook belangrijk. Juist omdat deze elementen zo schaars zijn ontsnapt de straling van deze elementen uit de nevel. Zo zijn C, N en O belangrijke koelers. Vanwege dergelijke complicaties kunnen we onmogelijk de gehele fysische toestand van het H⁺ gebied voorspellen. We kunnen wel voorspellen wat voor, en hoeveel, straling als functie van temperatuur en dichtheid er door waterstof wordt uitgezonden. Door te vergelijken met de waarnemingen vinden we dan temperatuur en electronendichtheid.

De spectrale eigenschappen van waterstof zijn verzameld in bijlage 2. Welke continue straling valt in het optische gebied en welke in het radiogebied? Er vallen ook lijnen in het radiogebied, dit zijn de recombinatielijnen (belang?).

Hoe hangt de emissiecoëfficiënt van de continue straling in het radiogebied af van electronendichtheid en temperatuur? Ga voor dit laatste na hoe de emissie afhangt van de snelheid van het electron. Het is niet mogelijk om de afhankelijkheid van de temperatuur te vinden uit simpele beschouwingen, het blijkt dat $j \sim T^{-0.35}$. Begrijpen we deze afhankelijkheid kwalitatief? De frequentieafhankelijkheid vinden we als volgt:

Een harmonisch oscillerend electron zendt straling uit met een frequentie die gelijk is aan de frequentie van de trilling die het electron uitvoert. In dit geval is de versnelling een sinusfunctie van de tijd. Het electron dat ons interesseert oscilleert niet maar ondergaat gedurende een korte tijd een versnelling. Deze versnelling is een scherp gepiekte functie van de tijd. Zo'n functie kunnen we opbouwen uit een oneindig aantal sinusvormige functies met gelijke amplitude. Probeer dit eens; welke frequenties treden op in de samenstelling? De versnelling van "ons" electron is dus te schrijven als de som, of beter een integraal, van een aantal sinusvormige versnellingen met gelijke amplitude. De uitgestraalde energie van het electron is evenredig met het kwadraat van de versnelling en levert straling met frequenties gelijk aan die van de versnelling (wiskundig theorema; sinussen zijn orthonormaal etc.). De emissiecoëfficiënt is dus voor een bepaald frequentiegebied (ga na hoe dit gebied afhangt van de fysische parameters) bekend.

De evenredigheidsconstante C_1 voor j is gegeven in de tabel op bijlage 1.

Als bronfunctie nemen we de Planckfunctie die in het radiogebied door Rayleigh-Jeans kan worden benaderd (gemaakte veronderstellingen?). Bepaal nu de absorptiecoëfficiënt en de optische diepte van de nevel en gebruik daarbij de emissiemaat zoals gedefinieerd in bijlage 1. Welke asymptote gevallen kunnen we onderscheiden bij de berekening van de uitgestraalde intensiteit? Maak nu een grafiek van $\log I$ tegen $\log v$.

Vergelijk de waargenomen spectra, uit bijlage 3 en 4, met de berekende en bepaal de relevante fysische grootheden van het H⁺ gebied. Is het ook mogelijk de totale massa van het H⁺ gebied te schatten?

V Toegift en speculaties

We hebben aangenomen dat het H⁺ gebied homogeen van structuur was. Wat betekenen inhomogeniteiten voor de temperatuur en dichtheid die we gevonden hebben? Wat verwacht je als de bron uit twee zeer verschillende componenten bestaat, laat je leiden door het spectrum van W49 uit bijlage 5. Hoe verhouden zich de temperatuur en dichtheden van de componenten? Uit contourmappen blijkt dat de dichtere component correspondeert met kleine heldere punten in een uitgebreider H⁺ gebied. We worden hier geconfronteerd met de zogenaamde compacte H⁺ gebieden (compact H II regions). Vaak wordt OH emissie in de buurt van deze compacte gebieden gevonden. Er wordt verondersteld dat de compacte H⁺ gebieden worden opgelicht door een pas gevormde ster, vandaar de zo hoge dichtheid. Om dat compacte gebied zou zich dan een dichte schil van neutraal materiaal bevinden (cocoon) van waaruit de OH emissie afkomstig is. Het is ook mogelijk dat zich in de dichte neutrale nevel zich nog meer sterren vormen en dat de OH emissie afkomstig is van een protoster.

H⁺ gebieden

bijlage 1

Lijst met grootheden en symbolen

- $\alpha(T_e)$ totale recombinatiecoëfficiënt van waterstof naar alle niveaus behalve naar de grondtoestand als functie van de temperatuur ($\alpha \approx 1$) [cm⁺³]
- B Planckfunctie, in het radiogebied $B_\nu d\nu = \frac{2\nu^2}{c^2} kT_e^{2x} = 1.536 \times 10^{-37} \nu^2 T_e$ [erg cm⁻² sterr⁻¹ sec⁻¹ Hz⁻¹]
- clichtsnelheid
- C_1 evenredigheidsconstante voor j $C_1 = 3.901 \times 10^{-39}$ [erg K^{0.35} cm³]
- E.M. de emissiemaat E.M. = $\int N_e^2 dl$ [pc cm⁻⁶]
- I intensiteit [erg cm⁻² sterr⁻¹ sec⁻¹ Hz⁻¹]
- j emissiecoëfficiënt [erg sterr⁻¹ cm⁻³ sec⁻¹ Hz⁻¹]
- κ absorptiecoëfficiënt [cm⁻¹]
- k constante van Boltzmann
- N totale dichtheid van waterstof [cm⁻³]
- N_e electronendichtheid [cm⁻³]
- N_H dichtheid van neutraal waterstof [cm⁻³]
- N_L aantal geëmitteerde Lyman continuum quanta per cm²
- R_S Strömgrenstraal [pc]
- R_* Sterstraal [cm]
- S fluxdichtheid, waargenomen flux over de gehele schotel van een radiotelescoop [Watt m⁻² sec⁻¹ Hz⁻¹]
- sterr. Sterradiaal = $\frac{32400}{\pi^2}$ vierkante graden
- τ optische diepte
- T_e electronentemperatuur [K]
- ν frequentie [Hz = sec⁻¹]
- \bar{v} gemiddelde snelheid [cm sec⁻¹]