

Werkcollege 2: De bepaling van een Strömgren straal

Onderdeel A

De materie tussen de sterren bestaat voor een groot deel uit koud en ijl waterstofgas. De dichtheid is zo laag dat ionisatie door botsingen vrijwel niet voorkomt. Vandaar dat waterstof zich veelal in de grondtoestand bevindt, het zogenaamde neutrale waterstof (HI).

Hete sterren stralen een aanzienlijk deel van hun energie uit op golflengten korter dan 91.2 nm. Deze straling is in staat HI vanuit de grondtoestand te ioniseren.

a) Laat zien dat de ionisatie energie die nodig is om HI te ioniseren overeenkomt met een golflengte van 91.2 nm.

Een enkele ster straalt N_{uv} ioniserende fotonen per seconde in een uniform medium. In een volume met straal R_s worden alle fotonen geabsorbeerd om HI te ioniseren. R_s is de zogenoemde Strömgren straal. De re-combinatie van electronen met het geïoniseerde HII is in balans met de ionisaties zodat het totaal aantal fotonen per seconde gelijk is aan het totaal aantal recombinaties:

$$N_{uv} = \frac{4\pi}{3} R_s^3 n_e n_{H^+} \alpha(2), \quad (1)$$

met n_e en n_{H^+} respectievelijk de electron en waterstof dichtheid en $\alpha(2) (= 2.59 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s}$ voor $T_e = 10^4 \text{ K}$) de re-combinatie coëfficiënt exclusief de $n = 1$ toestand.

b) Waarom wordt de re-combinatie naar de grondtoestand ($n = 1$) niet meegenomen in de bovenstaande formule?

Onderdeel B

Een jonge OB associatie bestaat uit 15 heldere O en B type sterren: 1 O5, 1 O6, 2 O7, 3 O8, 3 O9 en 5 B0 main sequence sterren. Het aantal ioniserende fotonen per ster is:

O5	$50 \times 10^{48} / \text{s}$
O6	$17 \times 10^{48} / \text{s}$
O7	$7 \times 10^{48} / \text{s}$
O8	$4 \times 10^{48} / \text{s}$
O9	$2 \times 10^{48} / \text{s}$
B0	$0.5 \times 10^{48} / \text{s}$

c) Bereken voor deze OB associatie de Strömgren straal. Neem voor de waterstof dichtheid $n_H = 10 \text{ cm}^{-3}$ en neem verder aan dat alle waterstof is geïoniseerd.

Onderdeel C

Een O5 ster blijkt het meest effectief te zijn in het ioniseren van HI. De Melkweg heeft een diffuse HII component in de halo. Neem voor het gemak aan dat deze halo volledig bestaat uit waterstof en dat al de waterstof is geïoniseerd.

De dichtheid van de halo kan worden geschat met behulp van gegevens over hogesnelheidswolken. Dit zijn compacte, relatief koude wolken van waterstof die met hoge snelheid door de veel hetere halo bewegen.

We kunnen hier aannemen dat deze wolken kunnen blijven bestaan omdat ze in druk evenwicht zijn met de halo. Een typische temperatuur en dichtheid voor een hogesnelheidswolk is respectievelijk $T = 300 \text{ K}$ en $n = 0.1 \text{ cm}^{-3}$. Neem voor de temperatuur in de halo $T_{halo} = 10^4 \text{ K}$.

d) Bepaal met behulp van het drukevenwicht de dichtheden n_{H^+} en n_e in de HII halo.

Onderdeel D

$H\alpha$ is de emissielijn van een waterstof atoom die ontstaat bij een overgang van het electron van niveau n_b naar niveau n_{b-1} . De golflengte van deze overgang is $\lambda_{H\alpha} = 656.3$ nm. De **Rydberg** constante voor waterstof heeft de waarde $R = 10.96776 \mu\text{m}^{-1}$.

e) Bepaal de quantum getallen n_b en n_{b-1} voor de $H\alpha$ overgang.

De lage dichtheid in HII gebieden maakt het onmogelijk om een waterstofatoom d.m.v. botsingen vanuit lagere energie toestanden te exciteren naar de n_b toestand. De aanwezigheid van $H\alpha$ betekent dus dat de hogere energieniveaus bezet moeten zijn. In HII gebieden is dit zeker het geval. Het geïoniseerde waterstof recombineert met een electron. Vervolgens vervalt het electron spontaan terug naar lagere energie niveaus. Hierbij worden meerdere fotonen van verschillende golflengtes uitgestraald als het electron de verschillende energieniveaus doorloopt. $H\alpha$ blijkt een goede maatstaaf te zijn voor de aanwezigheid van geïoniseerd waterstof.

Met behulp van gevoelige $H\alpha$ metingen is aangetoond dat er geïoniseerd waterstof is te vinden tot 30 kpc afstand van het Galactisch centrum. Neem aan dat de bij vraag (d) gevonden dichtheid geldt voor de gehele halo en dat de halo een perfecte bol van puur waterstof is, die vanuit het centrum wordt geïoniseerd.

f) Bepaal met behulp van eerdere gegevens het aantal O5 sterren dat nodig is om de halo geïoniseerd te houden. Neem hierbij in rekening dat de meeste straling van een O5 ster lokaal wordt geabsorbeerd en slechts 0.1 procent ontsnapt en in de halo terechtkomt.