

Deuterium

Een klein deel van alle waterstof in het heelal heeft naast een proton ook nog een neutron in de kern. Dit isotoop ${}^2_1\text{H}$ wordt deuterium genoemd, vaak kortweg aangeduid als D. Sterrenkundigen denken dat al het deuterium in het heelal vlak na de oerknal is gevormd. Sindsdien is de hoeveelheid deuterium in het heelal afgenomen door kernfusie in sterren. Bij deze reactie fuseert een deuteriumkern met een proton tot een nieuw, zwaarder deeltje.

3p 8 Geef de reactievergelijking van dit proces.

Sterrenkundigen willen graag weten hoe snel de hoeveelheid deuterium in het heelal afneemt. In gaswolken waar nog nooit een ster is ontstaan is de verhouding tussen de hoeveelheden D en H sinds de oerknal niet veranderd. Sterrenkundigen willen daarom de verhouding D/H in zulke gaswolken vergelijken met de verhouding D/H op andere plaatsen in het heelal.

Een veelgebruikte manier om de verhouding van het aantal atomen deuterium en waterstof in een gaswolk te bepalen is door te kijken naar het emissiespectrum van zo'n wolk. Wanneer een waterstof- of deuteriumatoom terugvalt van de 2^e naar de 1^e aangeslagen toestand, zendt het zichtbaar licht uit. Deze spectraallijn wordt bij waterstof aangeduid met H_α en bij deuterium met D_α . De verhouding tussen de intensiteiten van D_α en H_α is dus een maat voor de verhouding D/H in de wolk.

De energieniveaus van waterstof en deuterium zijn gegeven door:

$$E_n = -\frac{k}{n^2}$$

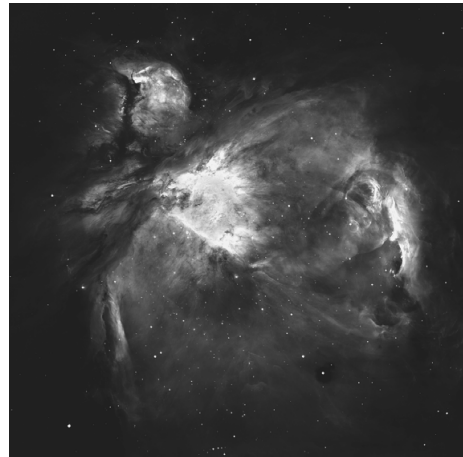
Hierin is

- E_n het energieniveau van de toestand n in eV
- k een constante, die voor waterstof gelijk is aan 13,606 eV en voor deuterium gelijk is aan 13,609 eV
- n de toestand

4p 9 Toon aan dat de golflengte van D_α gelijk is aan 655,95 nm.

De Orionnevel is een grote wolk van gloeiend gas in het sterrenbeeld Orion. Zie figuur 1. Het emissiespectrum van deze gaswolk is nauwkeurig onderzocht.

figuur 1



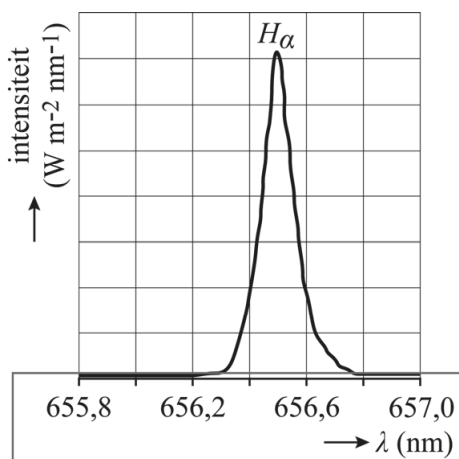
De waargenomen golflengte van D_α in de Orionnevel is 656,14 nm.

5p **10** Voer de volgende opdrachten uit:

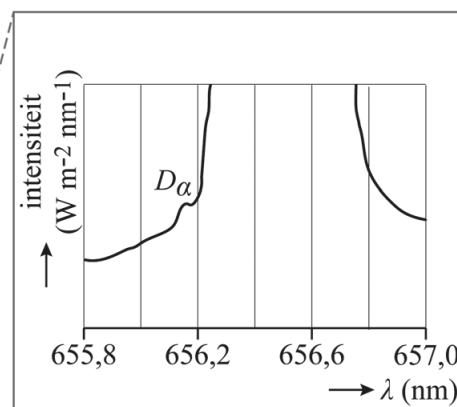
- Leg uit of de Orionnevel van ons af beweegt of naar ons toe beweegt.
- Bereken de radiale snelheid van de Orionnevel. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

In figuur 2 staat een deel van het waargenomen spectrum van de Orionnevel afgebeeld. De golflengte van D_α is iets kleiner dan de golflengte van H_α . De totale intensiteit van H_α is vele malen groter dan de totale intensiteit van D_α , waardoor D_α niet zichtbaar is in deze figuur. In figuur 3 staat het spectrum nogmaals afgebeeld, maar is op de verticale as alleen het onderste deel van het diagram weergegeven. Hierop is D_α wel zichtbaar.

figuur 2



figuur 3



Uit de figuren 2 en 3 kunnen de wetenschappers de totale intensiteit bepalen voor H_α en D_α . De intensiteit in een bepaald golflengte-interval is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek tussen de grenzen van dit interval.

Figuur 3 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 1p **11** Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de oppervlakte aan die bepaald moet worden om de totale intensiteit van D_α te bepalen.

Uit de figuren 2 en 3 kan de verhouding tussen het aantal atomen deuterium en het aantal atomen waterstof in de Orionnevel bepaald worden. Om de hypothese te toetsen dat deuterium verloren gaat bij het ontstaan van sterren hebben wetenschappers vergelijkbare metingen uitgevoerd aan grote gaswolken met een lage dichtheid. Door deze lage dichtheid weten wetenschappers dat hier nog nooit sterren gevormd zijn.

Met behulp van deze metingen hebben de wetenschappers een model opgesteld waarmee het verloop van de hoeveelheid deuterium in het heelal beschreven kan worden. Volgens dit model neemt elke 15 miljard jaar de hoeveelheid deuterium af met een factor tussen 2 en 3. Dit model gaat dus uit van een exponentiële afname. De tijd waarin de helft van de hoeveelheid deuterium in het heelal verloren is gegaan noemen we de halveringstijd.

- 3p **12** Bereken de ondergrens voor de halveringstijd die uit deze gegevens volgt.