

Waterstoflijnen (door Rutger Ockhorst)

De Zweedse natuurkundige Johannes Rydberg publiceerde in 1888 een formule die alle golflengtes die het waterstofatoom uit kan zenden voorspelt. De formule luidt:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1)$$

λ - de golflengte van de uitgezonden straling

R_H - de Rydberg constante

n_1 - Een geheel getal, groter of gelijk aan 1

n_2 - een geheel getal groter dan n_1

Later presenteerde Bohr zijn atoommodel en bleek dat de getallen n_1 en n_2 overeenkomen met energieniveaus in het waterstofatoom. De energie E_n van zo'n niveau werd volgens Bohr gegeven door:

$$E_n = \frac{13,6 \text{ eV}}{n^2} \quad (2)$$

a. Leg uit welk proces er plaats vindt als door waterstof een foton van 13,6 eV wordt uitgezonden (of opgenomen). Verwijs hierbij naar het Bohr-atoom. (2 punten)

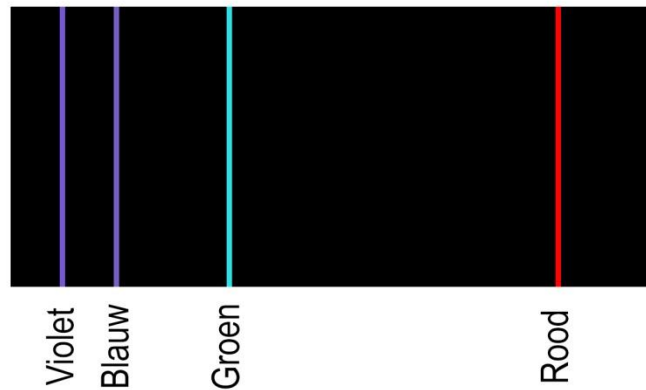
b. Gebruik formules 1 en 2 en laat zien dat de Rydberg constante een waarde heeft van ongeveer $1,1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$. (5 punten)

Rydberg leidde zijn formule af met behulp van de Balmerreeks, die al eerder gevonden was. De absorptielijnen uit de Balmerreeks komen overeen met $n_1 = 2$ en $n_2 > 2$. De eerste vier van deze lijnen bevinden zich in hetzelfde deel van het spectrum als zichtbaar licht en zijn dus met het oog waar te nemen. Zie onderstaande tabel:

λ (nm)	656	486	434	410
Kleur	Rood	Groen	Blauw	Violet

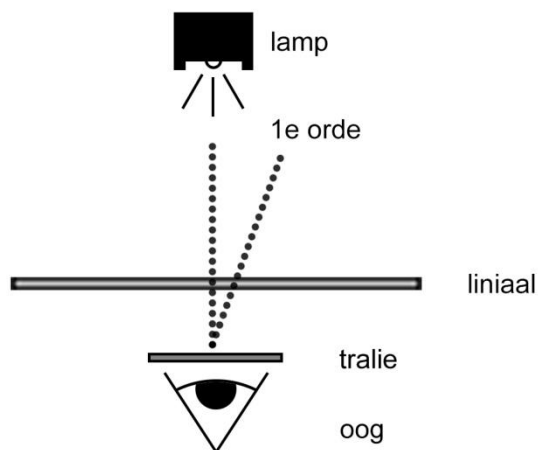
c. Leg uit of de overige lijnen uit de Balmerreeks zich bevinden in het ultra-violet of juist in het infrarood. (3 punten)

Niels heeft een gasontladingsbuis gevuld met waterstofgas onder lage druk. De concentratie gasatomen is dus relatief laag. Door een spanningsverschil over de uiteindes van de buis aan te brengen gaat er een stroom door de buis lopen. Het waterstofgas wordt daarbij opgebroken in losse atomen. Deze atomen nemen energie op en zenden het weer uit in overeenstemming met de formules van Bohr en Rydberg. Door via een tralie naar het uitgezonden licht te kijken kan Niels de afzonderlijke waterstoflijnen waarnemen.



d. Leg uit waarom het voor het waarnemen van de waterstoflijnen van belang is dat de druk in de gasontladingsbuis laag is. (2 punten)

Niels kijkt door het tralie (600 lijnen per mm), langs een liniaal, naar de waterstoflamp. De liniaal is zo opgesteld dat de plaats van de lamp voor Niels samenvalt met de 20,0 cm aanduiding op de liniaal. Hij ziet een 1^e orde maximum van een waterstoflijn samenvallen met 23,0 cm op de liniaal. De afstand tussen het tralie en de liniaal is 10,0 cm. Zie onderstaande illustratie van de opstelling (niet op schaal).



e. Toon aan dat de tralieconstante gelijk is aan $1,67 \cdot 10^{-6}$ m. (2 punten)

f. Bereken met behulp van deze gegevens de kleur van de waargenomen waterstoflijn. (3 punten)

Antwoordmodel Waterstoflijnen

Iedere bol komt overeen met een te behalen punt

a. Voorbeeld van een antwoord:

Een foton van 13,6 eV komt overeen met een overgang van $n = \infty$ naar $n = 1$. Er wordt dus een elektron ingevangen door een waterstof-ion om zo neutraal waterstof te vormen. (wanneer 13,6 eV wordt opgenomen wordt het waterstofatoom geïoniseerd).

- Inzicht dat 13,6 eV overeenkomt met overgang $n = \infty$ naar $n = 1$
- Completeren antwoord (opnemen of ioniseren)

b. Voorbeeld van een berekening:

Er geldt voor de energie van een foton $E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$. Voor $n_1 = 1$ en $n_2 = \infty$ wordt de Rydbergformule: $\frac{1}{\lambda} = R_H$. Combineren geeft $13,6 \text{ eV} = h \cdot c \cdot R_H$. Hieruit volgt $\frac{13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8} = 1,1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$.

- Gebruik van $E = h \cdot f$
- Gebruik van $f = \frac{c}{\lambda}$
- Herschrijven Rydbergformule
- Omrekenen van eV naar Joule
- Completeren

c. Voorbeeld van een antwoord:

De overige lijnen uit de Balmerreeks komen overeen met een overgang vanaf een (nog) hoger gelegen schil terug naar de tweede schil. Dit komt overeen met een groter energieverval. Via $E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ betekent dit een hogere frequentie en een lagere golflengte. De overige Balmerlijnen bevinden zich dus in het UV-deel van het spectrum.

- Inzicht dat een hogere schil overeen komt met een groter energieverval
- Inzicht dat dit overeenkomt met een lagere golflengte
- Consequente conclusie

d. Voorbeeld van een antwoord:

Het waterstofspectrum is het emissiespectrum van een enkel waterstofatoom zonder interactie met andere atomen. Dit geldt bij benadering wanneer het aantal atomen in de buis relatief laag is.

Alternatief:

Bij gas onder een hogere druk is er wel interactie. Hierdoor verbreden de lijnen zich. Bij voldoende gasatomen vloeien de lijnen in elkaar over en ontstaat een continu spectrum.

- Inzicht dat het spectrum hoort bij een geïsoleerd atoom
- Inzicht dat bij lage druk interactie verwaarloosd kan worden

e. Voorbeeld van een berekening:

De tralieconstante is de afstand tussen twee lijnen in het tralie en kan worden berekend met behulp van $d = \frac{1}{6,00 \cdot 10^5} = 1,67 \cdot 10^{-6}$

- Inzicht in begrip tralieconstante als de afstand tussen twee lijnen
- Completeren

f. Voorbeeld van een berekening

De hoek die overeen komt met de waarneming van Niels is $\alpha = \tan^{-1} \frac{3,00}{10,0} = 16,9^\circ$. Voor het 1^e orde maximum geldt $\lambda = d \cdot \sin \alpha$. Hieruit volgt $\lambda = 1,67 \cdot 10^{-6} \cdot \sin 16,9^\circ = 485\text{nm}$. Niels kijkt dus naar de groene lijn in het spectrum.

- Berekenen van hoek α
- Gebruik $n \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha$ met $n = 1$.
- Consequente conclusie