

Metingen aan de Balmerlijnen in het waterstofspectrum

1 Spectraallijnen van het waterstofatoom

Het Bohr-model van het waterstofatoom vertelt je dat absorptie en emissie van elektronen plaatsvinden bij discrete golflengten

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (1)$$

Hier is $R = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ de zogenaamde Rydbergconstante. In deze uitdrukking is $n < m$ het laagste energieniveau (het dichtst bij de atomaire kern) en m het hoogste energieniveau. Elektronen die een overgang maken van het m - naar het n -niveau zullen fotonen (licht) uitzenden, Zie figuur 1.

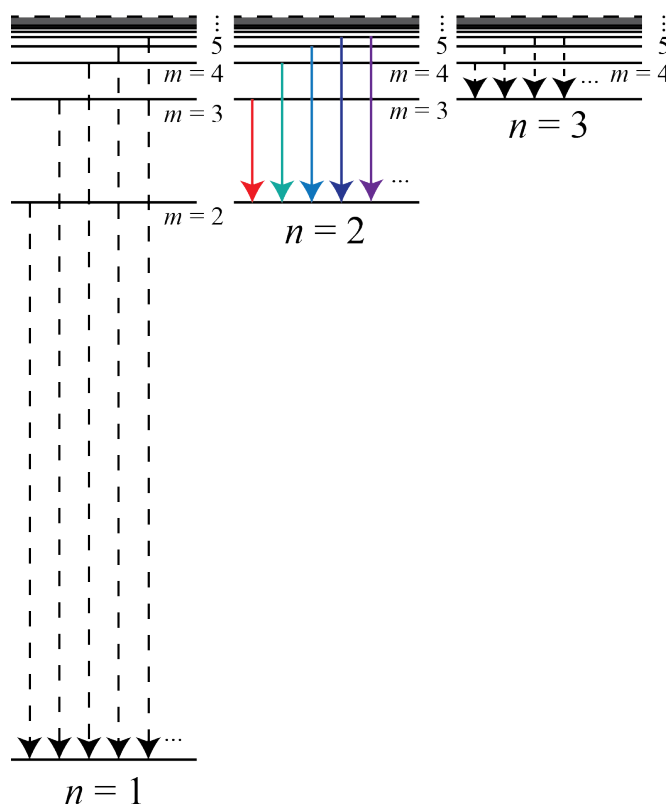
De lijnen in het waterstofspectrum worden gekarakteriseerd naar het n -niveau. Naar de ontdekker heten de $n = 1$ -lijnen de Lyman-reeks, de $n = 2$ -lijnen de Balmerreeks, de $n = 3$ -lijnen de Paschen-reeks, enzovoort.

2 Opstelling en meetmethode

In deze opstelling wordt gebruik gemaakt van een waterstof-spectraallamp (ook wel gasontladingslamp), zie Figuur 2 links. In deze lamp zit geen zuiver waterstof, zoals je misschien zou verwachten, maar water. Dit water wordt door een elektrische ontlading opgebroken in een waterstofatoom en een OH-groep, waar je mogelijk ook wat spectraallijnen van ziet. In het waterstofatoom vinden de gezochte overgangen plaats. Naast de waterstoflamp staan o.a. ook een (atoomnummer $Z = 2$) helium- en een ($Z = 11$) natriumlamp opgesteld.

De metingen worden uitgevoerd met een CCD-spectrometer, zie Figuur 2 midden. Een klassieke spectrometer bestaat uit een tralie (of een prisma) waar licht op wordt gestuurd. Verschillende kleuren licht worden onder verschillende hoeken gebroken, wat de experimentator in staat stelt te zien welke kleuren er in het oorspronkelijke licht voorkomen.

Om enig gevoel op te doen, meet je eerst met een zogenaamde handspectroscop (Figuur 2 rechts) die ook bij de opstelling ligt. De spectroscop is scherpgesteld (mocht dit niet goed zijn, je kunt de buis in- en uitschuiven om dit goed te zetten) en heeft een globale golflengteschaal die bij sterke verlichting te zien is.



Figuur 1: Schema van elektronovergangen in waterstof voor $n = 1$, $n = 2$ en $n = 3$. Voor de Balmerlijnen corresponderen de kleuren bij benadering met de werkelijke kleuren.

Vragen

- Kijk eerst met de handspectroscop naar buiten, en naar de TL-buizen. Verklaar je observaties, in het bijzonder: hoe verschillen beide vormen van ‘wit licht’?
- Zet vervolgens de spectraallampen aan. Kijk naar de globale posities / kleuren van de spectraallijnen. N.B. Spectraallampen hebben soms enige tijd nodig om ‘op te warmen’.

2.1 CCD-spectrometer

Het bijzondere van de CCD-spectrometer is dat het licht op de tralie wordt geleid met een optische fiber (wat ervoor zorgt dat het instrument erg veelzijdig is in gebruik), en dat het licht na breking bij het tralie op een CCD (lichtgevoelige detector) valt. Hiermee kan naast de positie van een spectraallijn ook de sterkte van de lijn worden bepaald.

Belangrijke informatie:

- Het bereik van de spectrometer is 340 tot ~ 1025 nm, behalve dat van de USB2000+, dat is 200 - 1100 nm (alhoewel de lens in de fiberkop transmissie beperkt tot golflengtes van ongeveer 390 nm en hoger). Dit bereik is opgedeeld in pixels; elke pixel omvat ongeveer 0,3 nm.
- De hoeveelheid licht (intensiteit) die op elke positie / pixel invalt in de integratietijd wordt uitgedrukt in gehele aantallen (*counts*). Afhankelijk van het type spectrometer loopt dit tot 4096 of 65536 counts. Als de lichtintensiteit te hoog wordt, zal de CCD verzadigen bij dit maximum.
- Op de optische fiber is een lens geplaatst die (min of meer) evenwijdig invallend licht de fiber in doet vallen. Voor het opvangen van licht is het dus zaak om goed op de lichtbron te richten.
- De kop van de fiber staat standaard op een statief met driehoekige voet gemonteerd. Als je dicht bij een lichtbron wilt komen, kun je de klem op een kleine blokvormige voet overzetten.
- **Let op:** de optische fiber is flexibel, maar bij te sterke kromming breekt zij en is permanent onbruikbaar!

Vragen






- Bereken of zoek op bij welke golflengten je de emissielijnen $m = 3, 4, 5, \dots$ van de Balmerreeks verwacht waar te nemen. Wat valt op aan de onderlinge afstand van de lijnen? Waar ligt de golflengte voor $m \rightarrow \infty$?
- De $n = 1$ -lijnen (Lyman-reeks) en de $n = 3$ -lijnen (Paschen-reeks) zijn in dit experiment niet (standaard) zichtbaar, waarom?

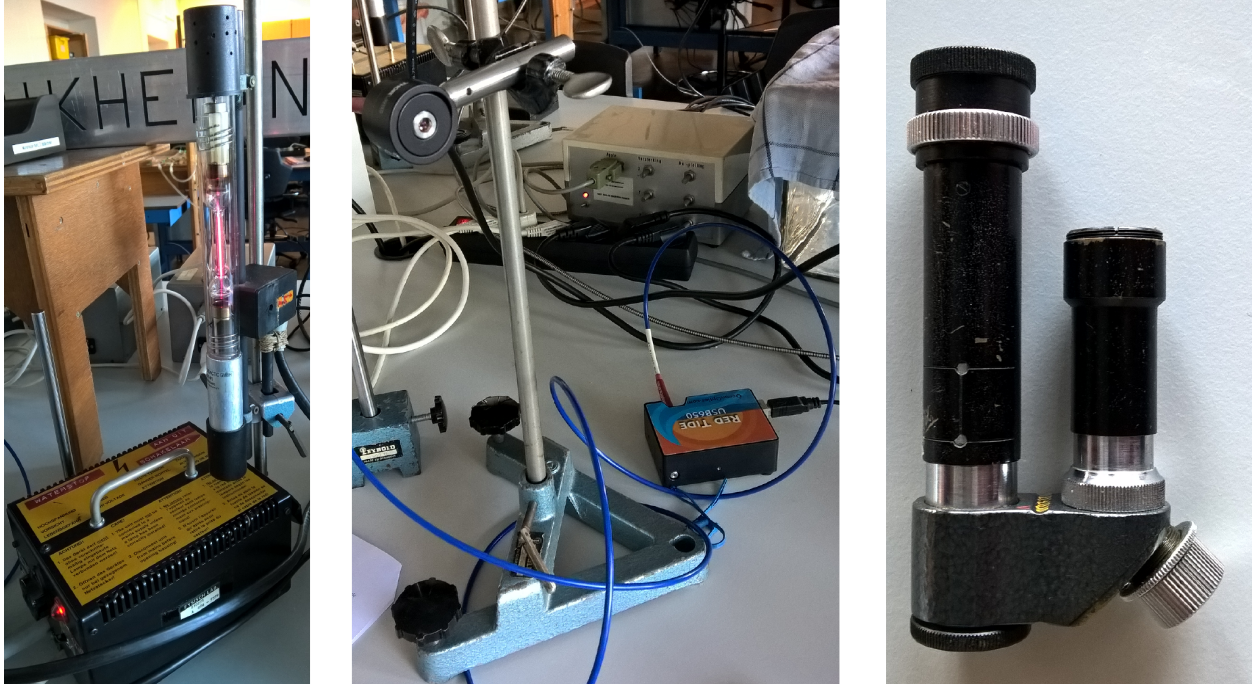
2.2 Bediening van de CCD-spectrometer

Metingen met de CCD-spectrometer vinden plaats met de computer. Je vindt het programma waarmee de spectrometer bediend kan worden via


All Programs — =-Courses=- — Physics — Ocean Optics — SpectraSuite — Spectrasuite

(maar je kunt ook zoeken op SpectraSuite). Het meetprogramma start direct met meten wanneer je het opent. Enkele suggesties voor het gebruik bij ‘echte’ metingen:

- De lichtintensiteit is het eenvoudigst te regelen door de afstand en/of de richting van de kop van de optische fiber iets aan te passen.
- Met icoontjes    kun je inzoomen (de meest rechter laat een specifiek gebied selecteren). Met  kun je door de grafiek schuiven. Met  kun je weer naar volledig bereik.



Figuur 2: Links: waterstof-spectraallamp. Midden: CCD-spectrometer (kastje) met optische fiber op statief. Rechts: handspectrometer.

- Door op de grafiek te klikken toon je een groene lijn met cursor en intensiteit.
- Met icon  kun je naast een grafiek ook een tabelweergave maken. Dit kan handig zijn om snel precieze piekposities waar te nemen.
- Scans to Average geeft het aantal metingen dat gemiddeld wordt voor weergave. Dit staat standaard op 1. Meer middelingen geeft een lagere ruis, maar de meting duurt dan ook langer.

Oefen jezelf in het werken met het meetprogramma alvorens te starten met het eigenlijke experiment.

Vragen

- Richt de fiber op de TL-balken in de practicumzaal, op het computerscherm, en daglicht afkomstig van buiten. Vergelijk met je kwalitatieve observaties met de handspectrometer.

3 Experiment

Plaats de CCD-spectrometer bij de waterstof-spectraallamp. Zet de waterstoflamp aan als dit nog niet is gebeurd.

- Bepaal zoveel mogelijk piekposities die te identificeren zijn met Balmerlijnen. Naarmate je de hogere orde (zwakkere) spectraallijnen wilt waarnemen, zul je de spectrometer dichter bij de bron moeten zetten.
- Tot welke m -waarde kan er (zichtbaar) iets gemeten worden? Merk op dat het best bijzonder is dat je met één zo'n meting als het ware een blauwdruk krijgt van de structuur van de elektronenbanden van waterstof.
- Zet in een figuur $\frac{1}{\lambda}$ uit tegen $\frac{1}{m^2}$. Als het goed is, is er sprake van een lineaire relatie. Bepaal en interpreteer de richtingscoëfficiënt en asafsnode van dit verband.

3.1 Vervolgfragen

Als er tijd en zin over is, kun je kijken naar het spectrum van de heliumlamp (aatomnummer $Z=2$) en de natriumlamp ($Z=11$). Je zou snel moeten zien dat het toevoegen van enkele elektronen aan het atoom al een enorme toename in het aantal zichtbare overgangen veroorzaakt. De natriumlamp heeft twee zeer sterke oranje spectraallijnen die heel dicht bij elkaar liggen (589.592 nm 589.995 nm). Lukt het om deze gescheiden waar te nemen?