

Quantum Rules!

Natriumlicht

Elektronen bewegen zich in banen van discrete energie rond de kern (zie fig. 1). Elektronen bewegen zich *niet* in planeetbanen, de banen kun je als drie dimensionale kansverdelingen voorstellen.

Licht bestaat uit discrete pakketjes energie, die we fotonen noemen. Elektronen kunnen energie opnemen en afstaan door fotonen te absorberen of uit te zenden. Door energie op te nemen kan een elektron van zijn huidige baan naar een nog lege baan met een hogere energie gaan. De energie van het foton dat wordt opgenomen moet daarvoor tenminste gelijk zijn aan het energieverschil tussen de twee banen. Na enige tijd valt het elektron weer terug naar zijn oude baan en zendt daarbij een nieuw foton uit. De frequentie (de kleur) komt overeen met het energieverschil tussen de twee energieniveaus. In Energie kan dus met 100 % efficiëntie worden overgedragen, maar de richting van het foton is niet behouden. Het nieuwe foton wordt in een *willekeurige richting* uitgezonden.

Je hebt nodig:

- natriumlamp
- NaCl-oplossing
- entnaald
- Papieren onderlegger
- gasbrander
- handspectroscop
- waxinelichtje
- elektronische thermometer
- ...

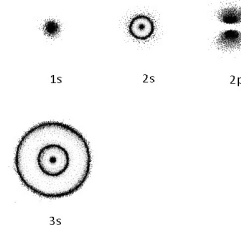


Fig. 1: orbitalen van natrium.

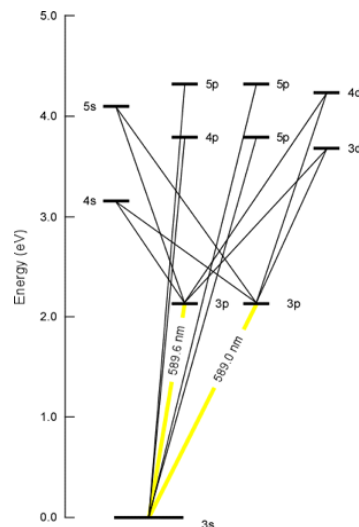
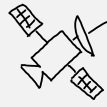


Fig. 2: energieniveau's en -overgangen in natrium met de twee vlak naast elkaar gelegen gele lijnen.

De ligging van de banen, en daarmee de golflengte van het opgenomen en uitgezonden licht, is voor iedere atoomsoort uniek. Een diagram dat de golflengten voor een atoomsoort laat zien noemen we een spectrum. Het is een unieke vingerafdruk van dat atoom.



Quantum Rules!



Halverwege de negentiende eeuw stelde Gustav Kirchhoff de wetten van de spectroscopie op. Deze staan weergegeven in fig. 3. Je ziet daar hoe de drie typen spectra tot stand komen.

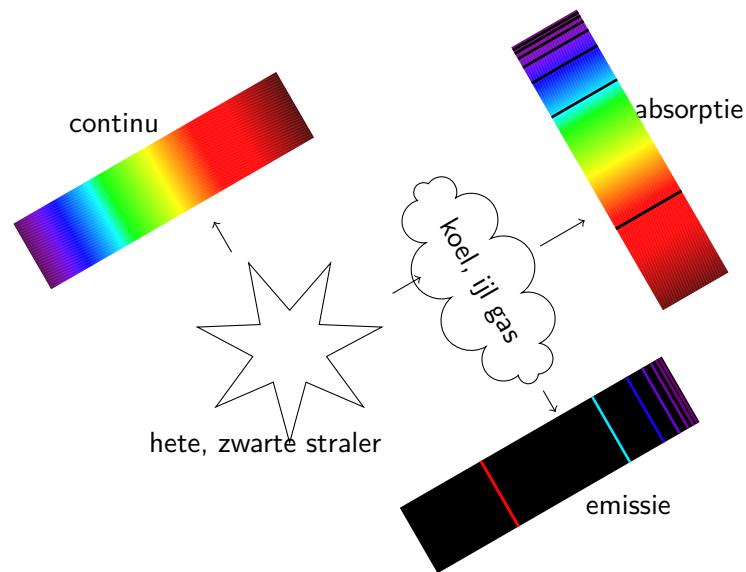


Fig. 3: stralingswetten van Kirchhoff

- Een heet lichaam (vaste stof, vloeistof of zeer dicht gas) zendt een continu spectrum uit.
- Straling met een continu spectrum dat door een koel ijl gas gaat absorbeert specifieke energieën uit het continue spectrum.
- Licht uit een ijl gas produceert een emissiespectrum.

In fig. 3 staan deze wetten geïllustreerd aan de hand van een hete ster, en een relatief koel atomaire waterstofas. In ons experiment gebruiken we natrium als model voor het broeikasgas CO_2 . Natrium heeft een duidelijke band in het zichtbaar licht, CO_2 heeft een band in ver infrarood.

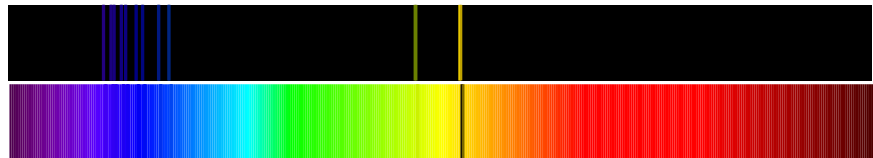
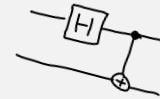


Fig. 4: emissie- en absorptiespectrum van natrium.

In dit experiment ga je deze wetten verkennen en leer je hoe je hiermee het broeikaseffect van de aarde kan verklaren.



Quantum Rules!

Opdracht 1

Op tafel staat een lage druk natriumlamp.

- Zet als eerste de natrium lamp aan.

De lamp heeft enige tijd nodig om op sterkte te komen. Zet de lamp niet meer uit, maar gebruik eventueel de lichtsluis om het licht van de lamp te blokkeren.

- Bekijk het licht met een spectroscop (fig. 5) en controleer of de golflengte overeenkomt met het spectrum van natrium in fig 4.
- Maak een foto van het spectrum door de spectroscop en gebruik die in je presentatie.

Gebruik de spectroscop (fig. 5) om naar verschillende stralingsbronnen te kijken zie tabel 1. Kun je de drie typen spectra uit fig 3 herkennen? Noteer ook of de bron heet is. Je kunt door de spectroscop fotograferen. Probeer de spectra met je telefoon vast te leggen en vul de tabel in.

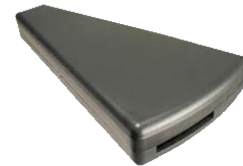


Fig. 5: handspectroscop

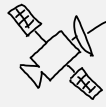
| bron | continu | absorptie | emissie | is warm? |
|----------------|---------|-----------|---------|----------|
| buitenlucht | | | | |
| TL-lamp | | | | |
| Na-lamp | | | | |
| LED | | | | |
| kaarsvlam | | | | |
| computerscherm | | | | |
| gloeilamp | | | | |

Tabel 1: diverse spectra

Opdracht 2

Op tafel staat een druppelflesje met een oplossing van keukenzout (NaCl), een entnaald en een kleine brander.

- Draai de lamp uit door de lichtsluis te verdraaien.
- Druppel een klein beetje NaCl-oplossing op het oog van de entnaald, en hou deze in de vlam.
- bekijk de vlam door de spectroscop.
- Maak foto's voor je presentatie.
- Zet de brander uit als je hem niet gebruikt.
- Verklaar wat je ziet.



Quantum Rules!

Opdracht 3

Schijn de natriumlamp op het witte scherm. Zet de brander voor het scherm. Klik de brander vervolgens aan. Het licht van de lamp moet dus door de vlam heen schijnen.

Hou de entaald met een druppel NaCl in de vlam en kijk of je een verandering kunt waarnemen in het gele schijnsel op het scherm. Kun je dit verklaren met de wetten van Kichhoff?.

Broeikaseffect

Iedereen heeft het er over maar hoe werkt het nu? Stel dat de energie van de zon (5600 K) door de atmosfeer (onze vlam) de aarde bereikt (onze natriumlamp). De aarde wordt daardoor warm (270 K) en straalt dus energie uit. Bij de lagere temperatuur van de aarde hoort een optimale golflengte van ongeveer $10\ \mu\text{m}$. Het gedrag van deze infraroodstraling wordt in ons model door natriumlicht vervuld. Deze energie gaat weer door de atmosfeer (vlam) maar wordt daar geabsorbeerd. De helft wordt weer richting aarde gestuurd en zorgt voor extra opwarming, het broeikaseffect.

De atmosfeer bestaat voornamelijk uit N_2 en O_2 , toch spelen deze gassen in het broeikaseffect geen rol. De reden hiervoor is dat elementaire twee-atomige gassen nauwelijks eigenfrequenties hebben in het infrarood. De complexere gassen zoals H_2O , CO_2 en CH_4 hebben resonanties in het micrometer gebied. Zo heeft CO_2 een sterke absorptie rond $10\ \mu\text{m}$. In deze [blog¹](#) wordt uitgelegd waarom juist deze gassen zo'n belangrijke rol spelen in het broeikaseffect terwijl ze toch in zo lage concentraties voorkomen.

In fig. 6 staan de spectra van de aarde (rood) en de zon (blauw). Het gaat hier alleen om de vorm, niet om de absolute grootte. Je ziet dat het spectrum van de zon nauwelijks golflengten bevat langer dan $4\ \mu\text{m}$, en dat het spectrum van de aarde nauwelijks golflengten bevat korter dan $4\ \mu\text{m}$.

De atmosfeer is transparant voor zichtbaar licht, dus bijna al het binnenkomende zonlicht bereikt het oppervlak van de aarde. Een groot gedeelte van de uitgestraalde warmte wordt door de atmosfeer geabsorbeerd en terugggestraalt. Zonder broeikaseffect zou het op aarde gemiddeld ongeveer 255 K zijn. Het broeikaseffect zorgt voor een extra 30°C , maar dat moet niet meer worden.

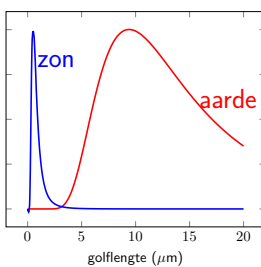


Fig. 6: spectra (relatief) van zon en aarde.

¹<https://scienceofdoom.com/2009/11/28/co2-an-insignificant-trace-gas-part-one/>