

Quantum Rules!

Natriumlicht en broeikas effect

In dit experiment onderzoeken we het licht van een natriumlamp en leer je hoe je hiermee het broeikas effect van de aarde beter begrijpen. De quantumaspecten van het broeikas effect worden steeds beter begrepen, zie bijvoorbeeld nieuws uit New Scientist (NL editie): <https://www.newscientist.nl/nieuws/quantumeffect-verklaart-waarom-co2-de-aarde-zo-sterk-opwarmt/>

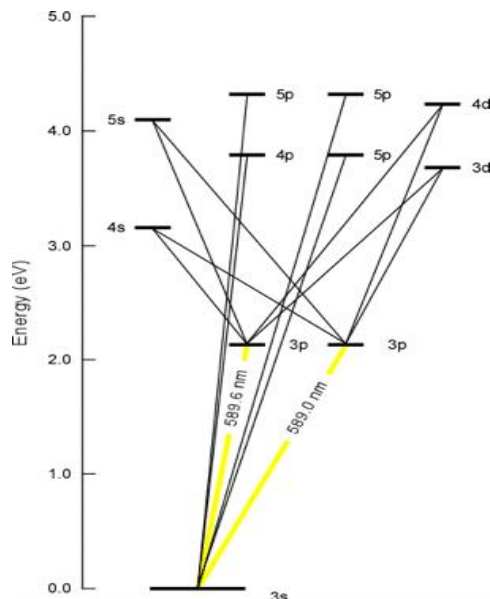
We gebruiken natrium als model voor het broeikasgas CO₂.

Natrium

Elektronen bewegen zich op discrete energie niveaus rond de kern. Dit resulteert in waarschijnlijkheidsverdelingen voor de elektronen in de orbitalen. Die van natrium staan in zie fig. 1.

Licht bestaat uit discrete pakketjes energie, fotonen. 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 gelijk zijn aan het energieverval 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 fig. 2 zie je het energieniveauschema van natrium met overgangen.



Je hebt nodig:

- natriumlamp
- handspectroscopen
- NaCl-oplossing
- entnaald
- gasbrander

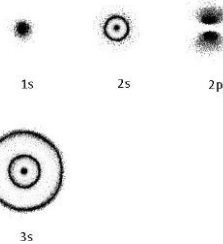
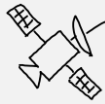


Fig 1: orbitalen van elektronen in natrium

Fig 2: energieniveaus en -overgangen in Na met in de twee lijnen tussen de 3p orbitalen en de grondtoestand. De twee bijbehorende energieverval (en dus golflengten van de straling) zorgen voor vlak naast elkaar gelegen gele lijnen: 589,0 en 589,6 nm.



Quantum Rules!

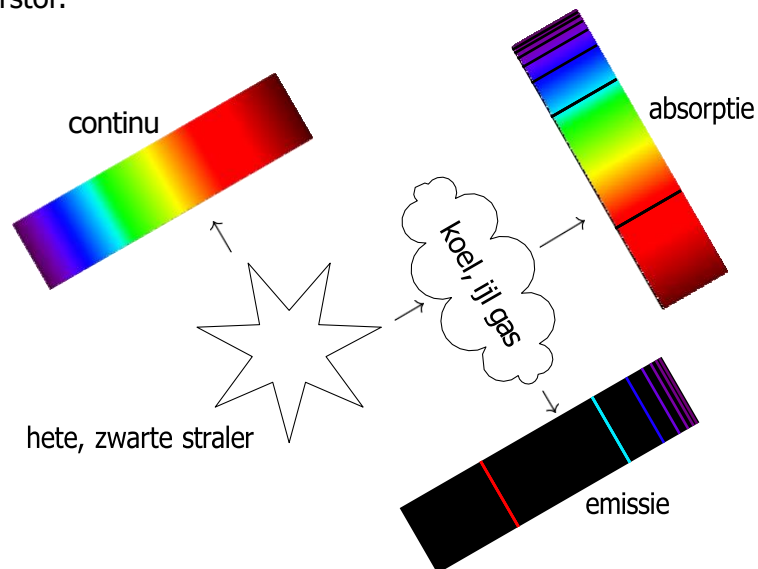
Energie kan dus met 100% efficiëntie worden overgedragen, maar de richting waarin het foton wordt uitgezonden als een elektron terugvalt naar een lagere toestand, is niet behouden: het foton wordt in een willekeurige richting uitgezonden.

Gustav Kirchhoff (die je mogelijk kent van de rekenregels voor stroomkringen) stelde in de 19^e eeuw een wet voor warmtestraling op, die je als volgt kunt formuleren: een gas absorbeert juist die golflengten, welke het in lichtgevende toestand zelf uitzendt.

In fig. 3 wordt deze wet geïllustreerd aan de hand van een hete ster (een zogenaamde zwarte straler) en een relatief koel atomair ij gas. Zowel de ster als de gaswolk bestaan voornamelijk uit waterstof.

Fig 3: de stralingswet van Kirchhoff:

- 1: Een heet lichaam (vaste stof, vloeistof of zeer dicht gas zoals een ster) zendt een continu spectrum uit.
2. Een koel ij gas absorbeert specifieke energieën uit het continue spectrum.
3. Het gas zendt een emissiespectrum uit met de golflengten die ontbreken in het absorptiespectrum.



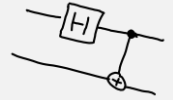
Beschrijving van het experiment

In dit experiment ga je deze wet verkennen aan de hand van het licht van een natriumlamp. Natrium heeft een duidelijk emissiespectrum in het zichtbaar licht:



Fig 4: emissie- en absorptiespectrum van natrium (Na)

CO₂ heeft energie-overgangen met golflengten in het ver infrarood: precies de straling die de Aarde uitzendt..



Quantum Rules!

Opdracht 1

Op tafel staat een lage druk natriumlamp. Zet nu eerst deze 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 kleuren overeenkomen met het spectrum van natrium in fig. 4.

1. Maak een foto van het spectrum door de spectroscop.
2. Waarom is het licht van de lamp eigenlijk oranje? Gebruik in je antwoord hoe je ogen 'zien'.
3. Het is ook mogelijk om (voor je ogen) oranje licht te maken door twee primaire kleuren licht te mixen. Welke zijn dat?

Bestudeer zo ook het spectrum van andere lichtbronnen in de buurt, zoals buitenlicht, de verlichting aan het plafond, de schemerlamp en het waxinelichtje op tafel.

4. Maak foto's en verwerk deze in een document met die van de natriumlamp.

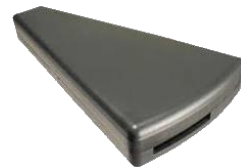


Fig 5: spectroscop

Opdracht 2

Schijn de natriumlamp op de witte muur. Zet de gasbrander tussen de lamp en de muur, in het oranje schijnsel.

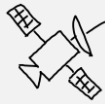
5. Beschrijf wat je ziet op de muur, in natuurkundige termen. Dus waarom is er een schaduw te zien? Wat gebeurt er met het oranje licht?
6. Verandert er iets aan de schaduw als je de brander aan doet? Waarom wel / niet?

Vraag toestemming om de brander aan te doen, terwijl je hem laat staan waar hij staat. Het licht van de lamp moet dus door de vlam heen schijnen.

7. Klopt je antwoord bij 6? Kan je uitleggen wat je ziet?

Houd nu de entaald met een druppel van de hoge-concentratie NaCl oplossing in de vlam en kijk of je een verandering kunt waarnemen in het gele schijnsel op de muur. Bekijk de vlam ook door de spectroscop

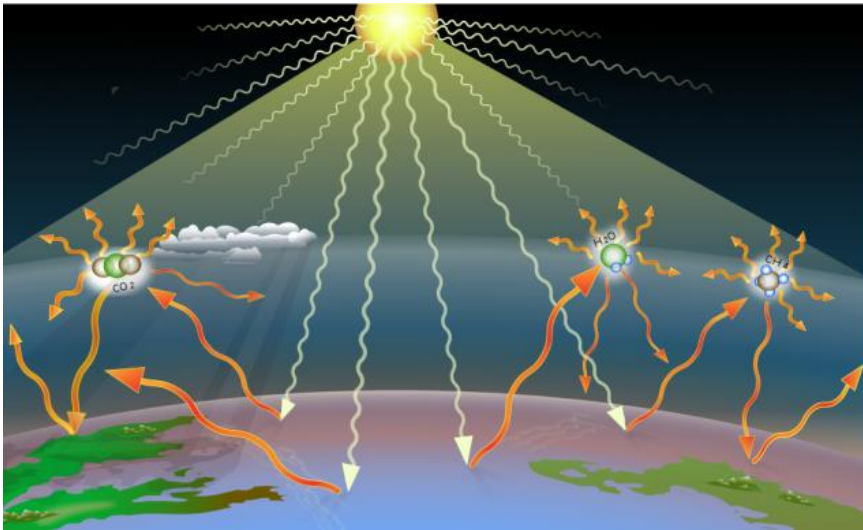
8. Beschrijf wat je ziet op de muur en in de vlam. Wees precies: wat gebeurt er met het licht van de lamp in de vlam. En is de schaduw van de vlam op de muur donker of een beetje licht?
9. Kun je dit verklaren met de stralingswet van van Kirchhoff en de soorten spectra in fig. 3?



Quantum Rules!

Broeikaseffect

Wat leert dit experiment dan ons over het broeikaseffect? Stel dat de energie van de zon ($T = 5800 \text{ K}$) door de atmosfeer (onze vlam) de aarde (onze natriumlamp) bereikt. De aarde wordt warm en straalt dus energie uit.



Een deel van die straling wordt geabsorbeerd door moleculen die van nature in de atmosfeer zitten: water (H_2O), methaan (CH_4) en koolstofdioxide (CO_2). Net als atomen trillen moleculen: dat doen ze in hun vrijheidsgraden: bindingen tussen de atomen en buiging van het molecuul: In tegenstelling tot twee-atomige moleculen als O_2 en N_2 , hebben de drie eerder genoemde moleculen wel die buigingstrillingen. Water maar ook CO_2 resoneert rond de $11 \mu\text{m}$.

Deze infraroodstraling is in ons experiment het natriumlicht. Deze energie gaat door de atmosfeer (vlam) maar wordt daar geabsorbeerd. Omdat het licht in alle richtingen wordt uitgestraald, gaat maar ongeveer de helft de atmosfeer uit.

Bij die $11 \mu\text{m}$ hoort een gemiddelde temperatuur van $T = 255 \text{ K}$ ofwel $-18 \text{ }^\circ\text{C}$. Ga maar na met de verschuivingswet van Wien! Dat is de temperatuur van de atmosfeer op 5 km hoogte. Per kilometer atmosfeer verandert de temperatuur met $6,5 \text{ }^\circ\text{C}$, dus door het natuurlijk broeikaseffect is de gemiddelde temperatuur op het aardoppervlak een aangename $14,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Als er door toedoen van de mens meer CO_2 (fossiele brandstoffen) en ander broeikasgassen (methaan uit ontdooiende permafrost) in de atmosfeer komt, reflecteert er meer warmtestraling en stijgt de gemiddelde temperatuur op aarde. Voor meer informatie, zie: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/hoewarmen-broeikasgassen-de-aarde-op>.