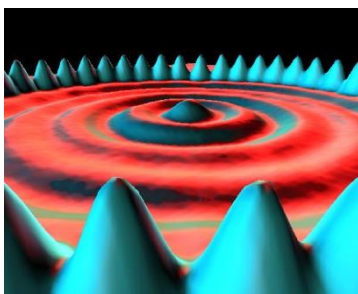


# Quantum Physics

*The physics of the very small  
with great applications*



## Deel 3: HANDS-ON ACTIVITEITEN

*Discreet Emissiespectrum van Helium*



Lifelong  
Learning  
Programme

Quantum Spin-Off is funded by the European Union under the LLP Comenius programme (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).

Renaat Frans, Laura Tamassia  
Contact: [renaat.frans@khlm.be](mailto:renaat.frans@khlm.be)

Dit materiaal reproduceert alleen de mening van de auteur en de Commissie kan niet verantwoordelijk worden gesteld voor het gebruik van de informatie die het materiaal bevat.

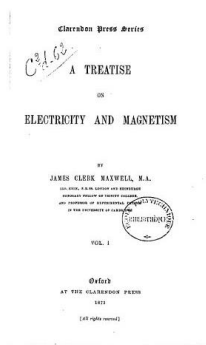
DISCRETE EMISSIESPECTRA

ONDERZOEKSVRAAG:

Bepaal bij welke precieze golflengtes de discrete emissielijnen van He worden uitgezonden?

DEEL 1: INLEIDING

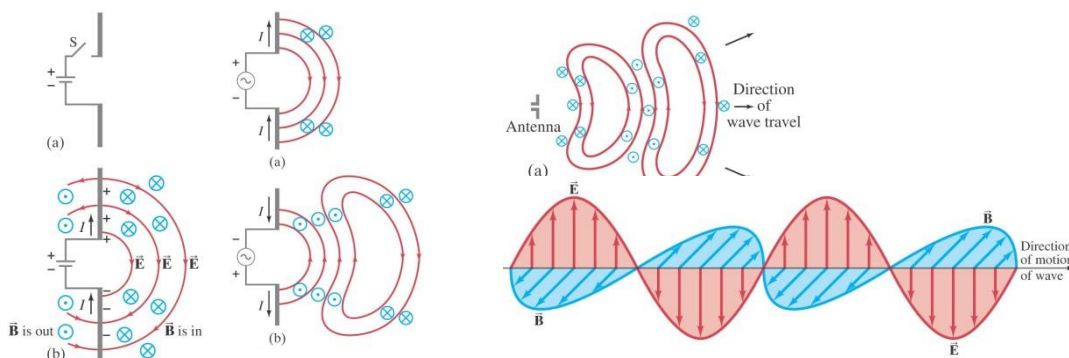
Maxwell voorspelde dat licht transversale elektromagnetische golven zijn



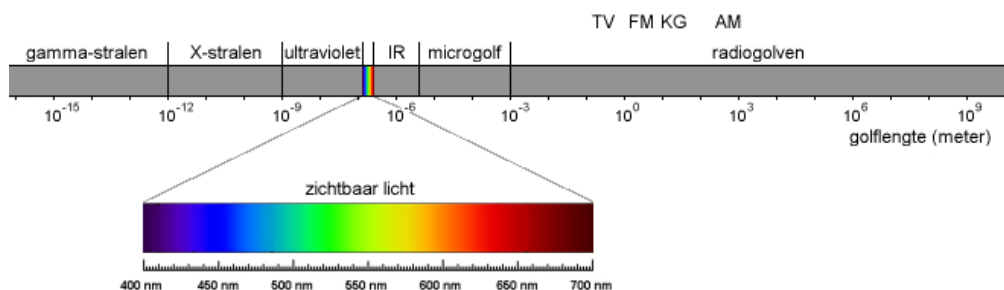
In de 19de eeuw voorspelde de Schotse natuurkundige James Clark Maxwell wat experimenteel nog niet was waargenomen: dat elke elektrische en/of magnetische storing zich moest voortplanten in de vorm van transversale golven (en niet longitudinaal zoals velen toen dachten). Immers een zich voortplantende elektromagnetische golf was een oplossing van zijn 4 vergelijkingen die het elektrisch en magnetisch veld beschrijven!

De vergelijkingen van Maxwell voorspelden dat een fluxverandering van het elektrisch veld  $\vec{E}$ , een magnetisch veld  $\vec{B}$  opwekt, loodrecht op het elektrische. En het zo ontstane magnetisch veld wekt opnieuw een elektrisch veld op, dan weer een magnetisch enz. Op de figuur hieronder is dat voorgesteld voor een antenne waarop een wisselstroom staat (eerst wijst de stroom  $I$  naar boven, daarna naar beneden). Je ziet hoe rond de stroomvoerende draad eerst een elektrisch veld

ontstaat en daardoor loodrecht daarop een magnetisch veld ( $\vec{B}$  in en uit het blad). Dit blijft zich dan voortplanten in de ruimte.



Uit Maxwells vergelijkingen volgde bovendien dat de golven zich met lichtsnelheid (ca.  $3.0 \cdot 10^8$  m/s) voortplanten. Naargelang de golflengte van de zo ontstane straling krijg je een gans spectrum van elektromagnetische straling (van korte golflengtes naar lange): gamma-stralen, X-stralen, ultra-violette straling, zichtbaar licht, infra-rood, microgolven, radiogolven. Op de figuur hieronder is het spectrum voorgesteld en zie je dat onze ogen slechts een fractie van het elektromagnetisch spectrum kunnen waarnemen.



Naargelang de golflengte nemen onze ogen deze zichtbare elektromagnetische straling

waar als verschillende kleuren.

Rangschik van lange golflengte naar korte: geel, blauw, rood, violet, groen

## Discreet Emissiespectrum van Helium

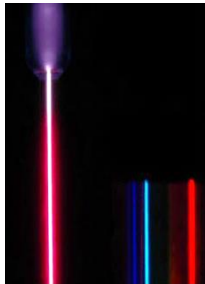
### Karakteristiek Licht uit de Elementen

In de 19<sup>de</sup> eeuw ontdekte men ook dat chemische elementen uit de tabel van Mendeleev zoals Waterstof (H), Helium (He), Kwik (Hg) e.d. heel karakteristieke kleuren uitzonden, eigen aan dat element. De waargenomen kleur is zo precies dat jij alleen al uit de waarneming van de kleur van het uitgezonden licht, kan zeggen van welke atomen ze afkomstig zijn.

Deze eigenschap van elementen wordt veelvuldig toegepast bij ontwikkelen van gasdrukampen, vuurwerk...

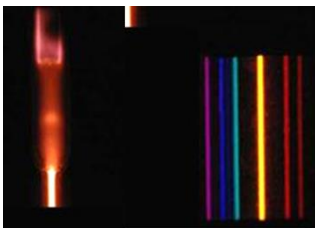


Lamp gevuld met het chemisch element Natrium zoals gebruikt op de Belgische autosnelwegen



Als je nu het uitgezonden licht van een element splitst in de samenstellende kleuren bv. met een prisma, kan je nakijken welke golflengtes (kleuren) precies worden uitgezonden voor welk element. Men noemt dit het meten van het emissiespectrum.

Hiernaast zie je een met waterstof H gevulde gasdrukamp met daaronder het gemeten emissiespectrum als je het uitgezonden licht in zijn samenstellende kleuren splitst.



Hiernaast zie je een met Helium He gevulde gasdrukamp met daaronder het gemeten emissiespectrum.

Omdat het emissiespectrum uniek is voor een bepaald element, kan je door het emissiespectrum op te meten, bepalen welk de chemische samenstelling is van de stoffen waaruit het licht afkomstig is. Op die manier kan men bv. de chemische samenstelling van sterren bepalen, maar ook of je 'gouden' ring wel echt goud is.

### Wat precies in de atomen straalt licht uit?



Dat chemische elementen zo een karakteristiek emissiespectrum hebben, moet iets te maken hebben met de karakteristieke bouw van dat element: elk element heeft een verschillend aantal kerndeeltjes (neutronen en protonen) in de kern heeft en ook een verschillend aantal ..... daarrond. Het is onwaarschijnlijk dat de kern betrokken is in het uitzenden van licht. Vermits licht een zich voortplantende elektromagnetische trilling is, is het ergens logisch dat de bewegingen van *elektrisch geladen* elektronen aan de oorsprong van de uitgezonden elektromagnetische straling liggen.

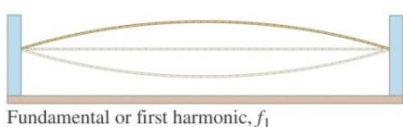
Snelle bewegingen van de elektronen zouden wel eens aanleiding kunnen geven tot uitgezonden straling met hoge frequentie, tragere trillingen tot straling met een lagere frequentie.

### Discrete emissielijnen eindelijk verklaard door kwantum atoommodel

Dat elementen discrete lijnen uitzenden was al in de 19<sup>de</sup> eeuw bekend. Niels Bohr, die als jonge student bij Rutherford in Cambridge werkte in het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw, vond het niet te begrijpen dat het atoommodel van Rutherford de mooie emissielijnen van de elementen *niet* kon verklaren.



Het is opmerkelijk dat tussen deze discrete lijnen niets wordt uitgestraald. In Rutherford's atoommodel draait het elektron echter als een 'planeet' rond de kern. Een zo draaiend elektron zou allerlei elektromagnetische trillingen moeten kunnen opwekken. Het volstaat het elektron wat sneller of trager te laten draaien om licht van allerlei golflengtes op te wekken. Maar als zo een wentelend elektron in Rutherford's atoommodel licht zou uitstralen, zou het energie verliezen. Bijgevolg zou – wegens behoud van energie - zijn draaisnelheid afnemen en zou het snel op de kern storten. Met andere woorden



Fundamental or first harmonic,  $f_1$



First overtone or second harmonic,  $f_2 = 2f_1$

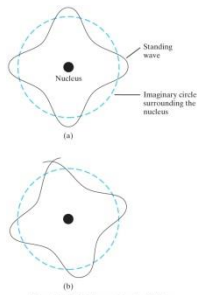


Second overtone or third harmonic,  $f_3 = 3f_1$

## Discreet Emissiespectrum van Helium

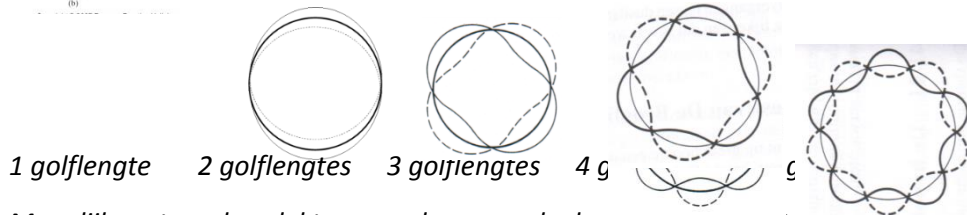
Rutherford's atoommodel was niet in staat om de emissielijnen te verklaren het kon zelfs eenvoudigweg niet bestaan want het zou instorten!

Dat er slechts een beperkt aantal discrete trillingstoestanden mogelijk zijn deed Louis de Broglie heel erg denken aan het beperkt aantal golven die je kan opwekken op een snaar, de zogenaamde staande golven.



Pas toen de Broglie het golfkarakter van het elektron aannam, kon begrepen worden dat net als voor een snaar, niet alle trillingstoestanden van het elektron in een atoom mogelijk zijn, maar slechts een discreet aantal mogelijke.

De elektrongolf in de Broglie's atoommodel bevindt zich in een cirkel rond de atoomkern. Net zoals op een snaar van een gitaar of viool slechts een aftelbaar aantal mogelijke golven kunnen bestaan (de rest dooft uit door destructieve superpositie), kan het elektron gevangen in het atoom ook enkel trillen in een aftelbaar aantal golven.



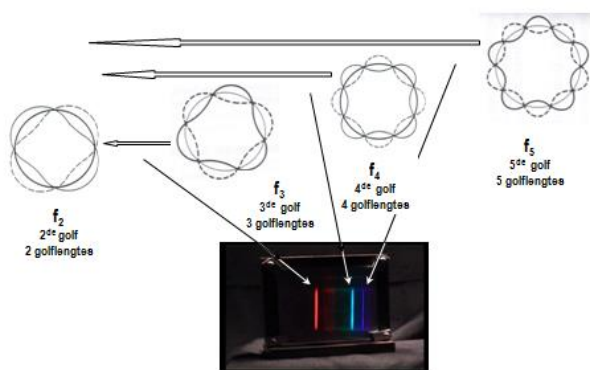
Mogelijke staande elektrongolven rond de kern van het waterstofatoom in de Broglie's kwantumatoommodel: van één volledige golflengte tot vijf volledige golflengtes. Elke andere mogelijkheid kan niet bestaan want die dooft zichzelf uit.

## Discreet Emissiespectrum van Helium

### Discrete emissielijnen verklaard door kwantumtheorie

Voer je meer energie toe aan een element bv. door in een spectraallamp het gas onder hoogspanning te zetten, dan zullen de elektronengolven in dat atoom met een *hogere frequentie* gaan trillen en dus *meer energie* krijgen.

De elektronengolven in Broglie's atoommodel komen dus overeen met discrete toestanden van energie. Vermits de mogelijke golven gekwantiseerd zijn, zijn de energieën dat ook. Uit Louis de Broglie's atoommodel volgt dus dat de energieën van de elektronen in het atoom gekwantiseerd zijn.



Een in een hogere energie trillende elektronengolf kan nu een pakket energie verliezen. Als een elektron in een atoom energie verliest, kan het dat slechts doen in discrete stappen. Bv. het kan ineens van de 3<sup>de</sup> trillingstoestand overgaan naar de 2<sup>de</sup>, van de 4<sup>de</sup> naar de 2<sup>de</sup> of van de 5<sup>de</sup> naar de 2<sup>de</sup>. Telkens geeft het elektron een welbepaalde hoeveelheid energie  $\Delta E$  af. Deze energie  $\Delta E$  gaat over in een trillingstoestand van het elektromagnetisch

veld. Hoe meer energie hoe groter de frequentie van het uitgezonden licht. Immers Max Planck had al ontdekt dat de energie die het elektromagnetisch veld opneemt recht evenredig is met de frequentie van het licht volgens de relatie

$$\Delta E = h \cdot f$$

Met  $h$  een zeer kleine evenredigheidsconstante (constante van Planck genoemd, door Planck ontdekt in 1900)

$$h = 6,6260693 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Het pakket energie dat een elektron verliest kan dan omgezet worden in een energiepakket  $h \cdot f$  van het elektromagnetisch veld. Wij zien dan licht van een bepaalde kleur overeenkomend met de frequentie  $f$ .

Voor een kleine overgang (van 3 naar 2) komt relatief weinig energie vrij: er ontstaat een rood lichtfoton: de  $f$  van rood licht is relatief (laag/hog).

De overgang van 4 naar 2 is al wat groter en geeft een al iets energetischer turkoois foton af.

De overgang van 5 naar 2 is het energierijkst en dit is een blauw-violet foton. de  $f$  van rood licht is relatief (laag/hog).

Energieovergangen kunnen ook zo klein worden dat we ze niet meer met het oog kunnen waarnemen bv. infrarode fotonen of net zo groot dat ze in het UV-deel of nog hoger in het spectrum komen.

Op die manier kan het kwantum atoommodel heel precies de waargenomen kleuren van de discrete spectraallijnen verklaren. De aanname dat deeltjes zoals elektronen, protonen, neutronen en zelfs hele moleculen een golfkarakter hebben, bleek een fundamentele eigenschap van de natuur te zijn.

In leerstation 7 zullen we precies de golflengtes uitrekenen tot op 4 cijfers op basis van de Broglie's kwantumatoommodel.

Waarom heeft elk element andere spectraallijnen?

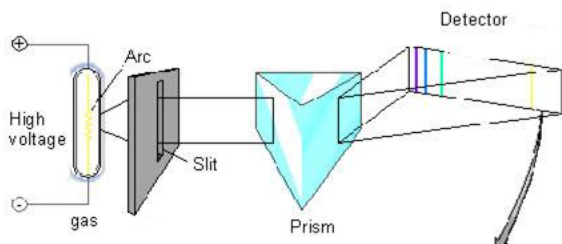
De lijnen in het uitgezonden emissiespectrum verschillen immers naargelang het chemisch element want elk element heeft een specifieke 'ladder' van energieniveaus waartussen overgangen kunnen optreden. Elk gas heeft m.a.w. een karakteristiek **lijnspectrum omdat de energieniveaus van de elektronen in elk element anders zijn.**

## DEEL 2: PRACTICUM

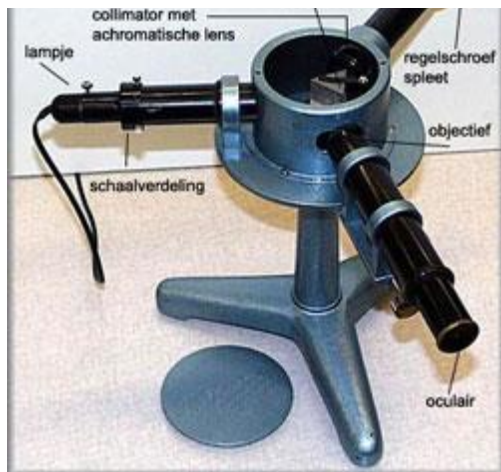
**Bepaal bij welke precieze golflengtes  
de discrete emissielijnen van He worden uitgezonden?**

In dit practicum gaan we de discrete golflengtes van het element He opmeten.

De kleurensamenstelling van licht kan je niet direct met het blote oog waarnemen. Een spectrometer splitst het licht in zijn verschillende kleuren (bv. met een prisma), zodat we de verschillende golflengten gescheiden naast elkaar kunnen waarnemen. De lijnen worden geprojecteerd op een schaal die we kunnen omzetten naar nanometer. Op die manier bepalen we de golflengte van elke spectraallijn.



Het He bevindt zich in een met He gevulde buis die onder hoogspanning kan worden gezet.



*Prismaspectrometer*

## Discreet Emissiespectrum van Helium

### Werkwijze:

1. Schakel de voeding van de lamp aan (wacht een minuutje totdat de lamp op temperatuur is)
2. Kijk door het oculair en observeer alle spectraallijnen van He
3. Beweeg het oculair naar links of naar rechts om alle lijnen te zien
4. Noteer de schaalverdelingen waarop je de lijnen waarneemt. De schaalverdeling wordt door een lamp geprojecteerd in het oculair. Zet de voeding van dit lampje aan.
5. Vul de tabel in
6. Noteer de golflengtes in nanometer door op de ijkgrafiek te kijken met hoeveel nanometer je afgelezen maatgetal op de schaal overeenkomt. Kijk op de ijkgrafiek die hoort bij je spectrometer. De spectrometers zijn genummerd.



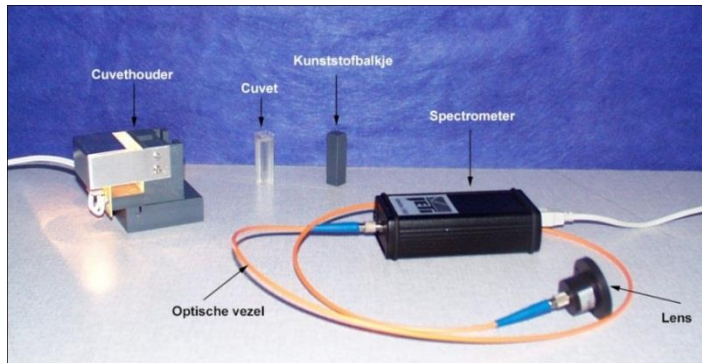
### Metingen:

Kleur van de lijn	Relatieve intensiteit (1=zwak, 3= heel sterk)	Stand meetlat (schaalverdelingen)	Golflengte $\lambda$ (nm) (via de ijkgrafiek horende bij je spectrometer)
Rood	1		
Rood	3		
Geel	3		
Groen	1		
Groen	2		
Groen-blauw	2		
Violet	1		
Violet	2		

## Discreet Emissiespectrum van Helium

### Controleer je meting met de digitale spectrometer (specbos)

Via een optische vezel wordt het licht in de digitale spectroscop gebracht. Binnen in de spectroscop wordt dit licht gesplitst in kleuren door diffractie aan een rooster. Blauw licht wordt weinig afgebogen, rood licht wordt meer afgebogen.



In de elektronische rooster-spectrometer wordt het licht dat is opgesplitst in kleuren, gemeten door een rij fotodiodes. In de Specbos 1000 wordt een rij van 128 fotodiodes gebruikt. Omdat de Specbos 1000 slechts 128 fotodiodes heeft, is de kleurresolutie beperkter dan deze van de prismaspectroscop: lijnen die slechts weinig uit elkaar liggen, zullen we niet als aparte kleuren kunnen meten. Het signaal van de fotodiodes wordt doorgegeven aan de computer, die meteen de intensiteit toont

die iedere diode geeft, en zo meteen een grafische voorstelling maakt van de intensiteit in functie van de golflengte.

#### Werkwijze digitale spectrometer

1. Start de software SPECBOS op (op de computer)
2. Meet een DARK SPECTRUM door de lens op de tafel te leggen. Dit is nodig omdat de lichtgevoelige fotodiodes altijd een nulsignaal afgeven dat moet afgetrokken worden van de gemeten waarde om de werkelijke intensiteit te bekomen.
3. Hou de lens voor de lichtbron en klik op REFERENCE SPECTRUM
4. Controleer je eerder gemeten golflengtes met de klassieke spectrometer met die van de digitale.