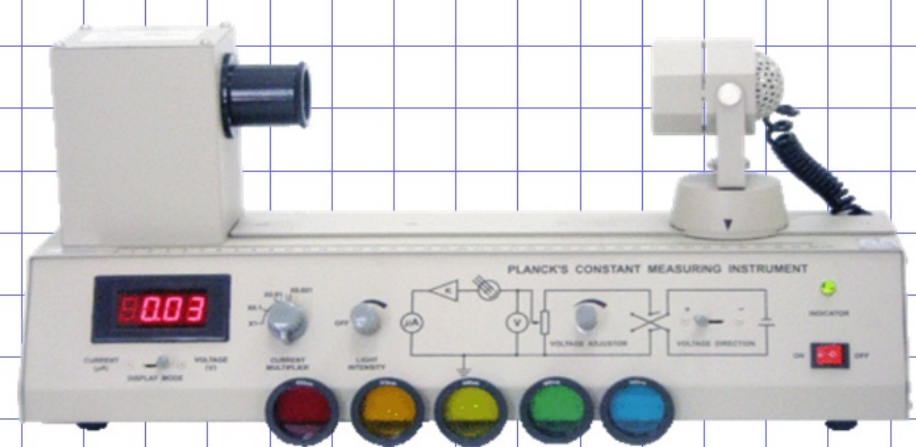
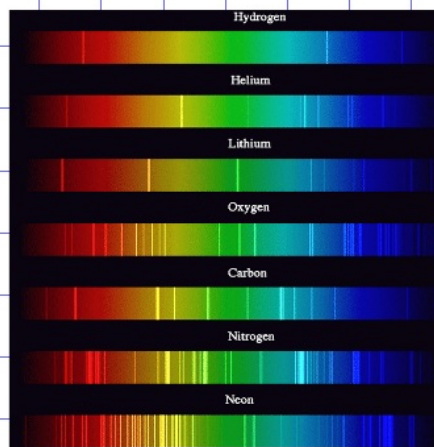




Hoofdstuk 12 Atoomfysica



Je zult succesvol zijn op het proefwerk als...

- §12.1 A. Je kunt rekenen aan de **golflengte en frequentie** van de EM-straling die een warm voorwerp uitzendt m.b.v. de wet van $\lambda_{max} \cdot T = k_W$.
- B. Je kunt rekenen aan het **vermogen en de intensiteit** van een stralingsbron met $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$ en $I = P/(4\pi r^2)$.

- §12.2 C. Je kunt rekenen aan de **energie van fotonen** met $E = h \cdot f$.
- D. Je kunt uitleggen wat het **foto-elektrisch effect** is, waar dit effect vanaf hangt en wat deze termen daarmee te maken hebben: uittree-energie, grensgolflengte, grensfrequentie, kwantum en constante van Planck.
- E. Je kunt uitleggen wat **fotocellen** zijn en wat deze termen daar mee te maken hebben: anode, kathode, fotostroom, remspanning en verzadigingsstroom.

- §12.3 F. Je kunt uitleggen hoe **gassen licht kunnen uitzenden** en kunnen absorberen en wat deze termen daar mee te maken hebben: continu spectrum, lijnenspectrum, aanslaan, terugvallen, grondtoestand, emissie en absorptie.
- G. Je kunt uitleggen hoe het **atoommodel van Borh** verklaart hoe gasontladingslampen een lijnenspectrum geven.

- §12.4 H. Je kunt rekenen aan de **energie en golflengte van uitgezonden fotonen** m.b.v. energieniveau's.

EM-straling van vaste stoffen ("zwarte stralers") zoals lava, gloeilamp, houtskool, mensen: **continu spectrum**

EM-straling van gassen zoals in vuur en gasontladingslampen: **lijnenspectrum**

$$\lambda_{max} \cdot T = k_W$$

$$I_{opp} = \sigma \cdot T^4$$

$$P_{bron} = I_{opp} \cdot A$$

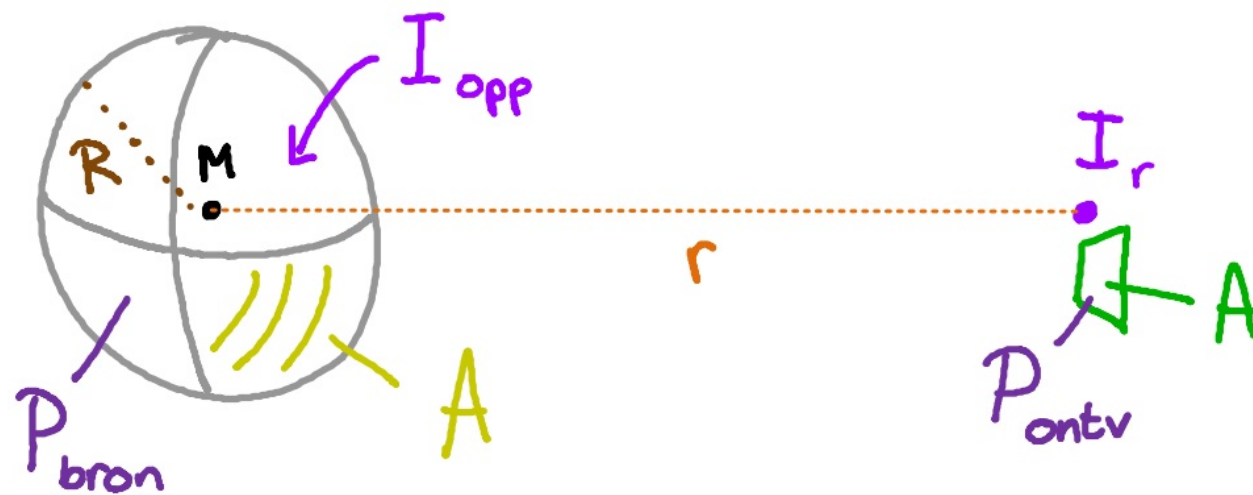
$$I_r = \frac{P_{bron}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

$$P_{ontv} = I_r \cdot A$$

constante v. Wien:
 $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

$$P_{bron} = \sigma \cdot T^4 \cdot A$$



$$\lambda_{max} \cdot T = k_w$$

$$P_{bron} = I_{opp} \cdot A$$

$$P_{ontv} = I_r \cdot A$$

$$I_{opp} = \sigma \cdot T^4$$

$$I_r = \frac{P_{bron}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

constante v. Wien:
 $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \text{ of } 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

$$P_{bron} = \sigma \cdot T^4 \cdot A$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Welke basistypen van opgaven keren elk hoofdstuk terug?

$$\sigma = \frac{2 \cdot (3,14)^5 \cdot (1,38 \cdot 10^{-23})^4}{15 \cdot (3,00 \cdot 10^8)^2 \cdot (6,626 \cdot 10^{-34})^3}$$

$$\sigma = \frac{610 \cdot 1,38^4 \cdot (10^{-23})^4}{15 \cdot 3,00^2 \cdot (10^8)^2 \cdot 6,626^3 \cdot (10^{-34})^3}$$

$$\sigma = \frac{2212 \cdot (10^{-92})}{135 \cdot (10^{16}) \cdot 291 \cdot (10^{-102})}$$

$$\sigma = \frac{2212}{135 \cdot 291} \cdot \frac{10^{-92}}{10^{16} \cdot 10^{-102}}$$

$$\sigma = 0,0563 \cdot 10^{-6} = 5,63 \cdot 10^{-6}$$

natuurconstante uit binas narekenen

$$J = \text{kg} \cdot \left(\frac{\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}}{\text{J} \cdot \text{s}} \right)^2$$

$$J = \text{kg} \cdot \left(\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{J} \cdot \text{s}} \right)^2$$

$$J = \text{kg} \cdot \left(\frac{\cancel{\text{N}} \cdot \text{m}^2}{\cancel{\text{N}} \cdot \cancel{\text{m}} \cdot \text{s}} \right)^2$$

$$J = \text{kg} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$J = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m}$$

tabel 3A en 4
uit binas:

$$J = \text{N} \cdot \text{m}$$

en

$$\text{N} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

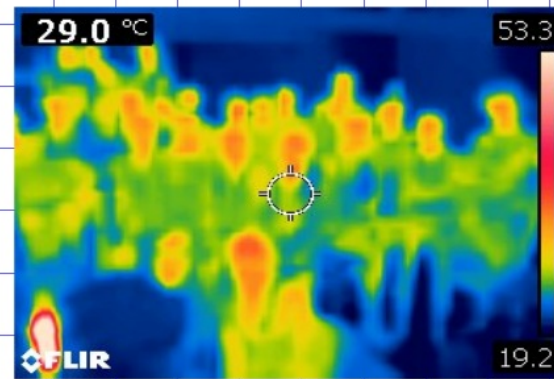
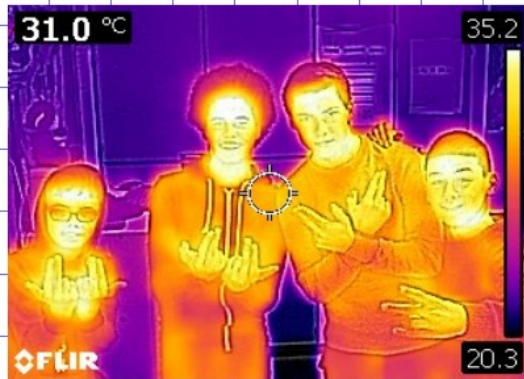
dimensie-analyse (aantonen dat een bepaalde eenheid bij een bepaalde grootheid hoort)

Hoofdstuk 12 Atoomfysica

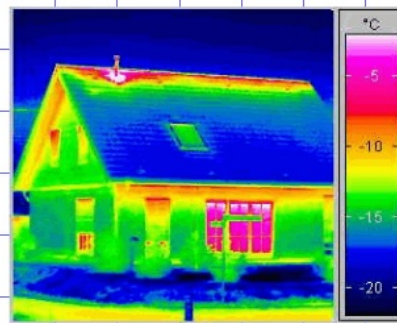
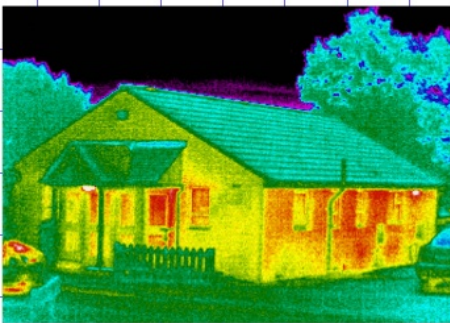
- *CONTEXT* -

De volgende pagina's geven interessante achtergrondinformatie bij de stof van dit hoofdstuk zoals voorbeelden uit de natuur van de verschijnselen of technische toepassingen van de natuurkundige inzichten bij deze verschijnselen. Zulke achtergrond informatie heet ook wel context. Het is niet noodzakelijk om deze pagina's te bestuderen voor het proefwerk maar het is wel interessante kennis!

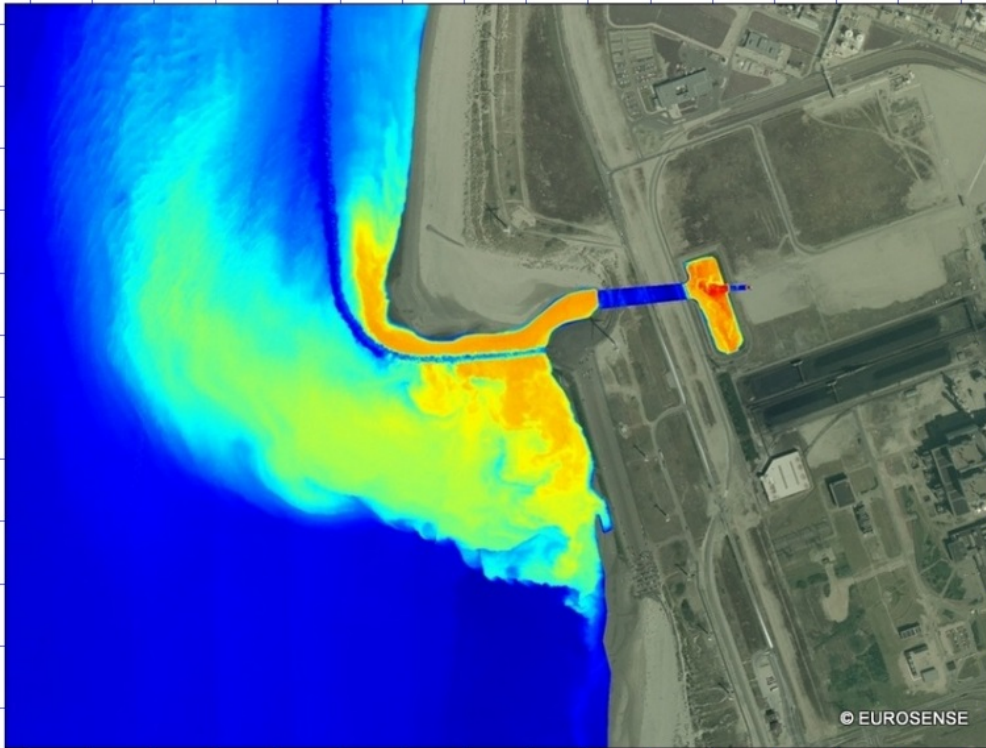
"Wat kun je op deze foto's zien?"



"Hoeveel helpen deze isolatiemiddelen in de winter?"



"Wat is thermische verontreiniging?"



"Hoe weten glasblazers hoe heet hun oven is?"



"Hoe werken gloeilampen?"

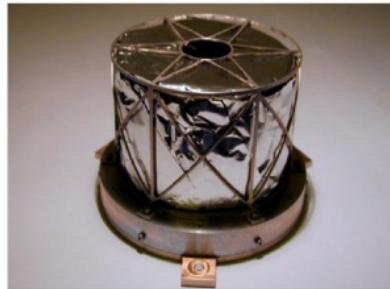


"Wat zijn zwarte stralers?"



3 Zwarte straler

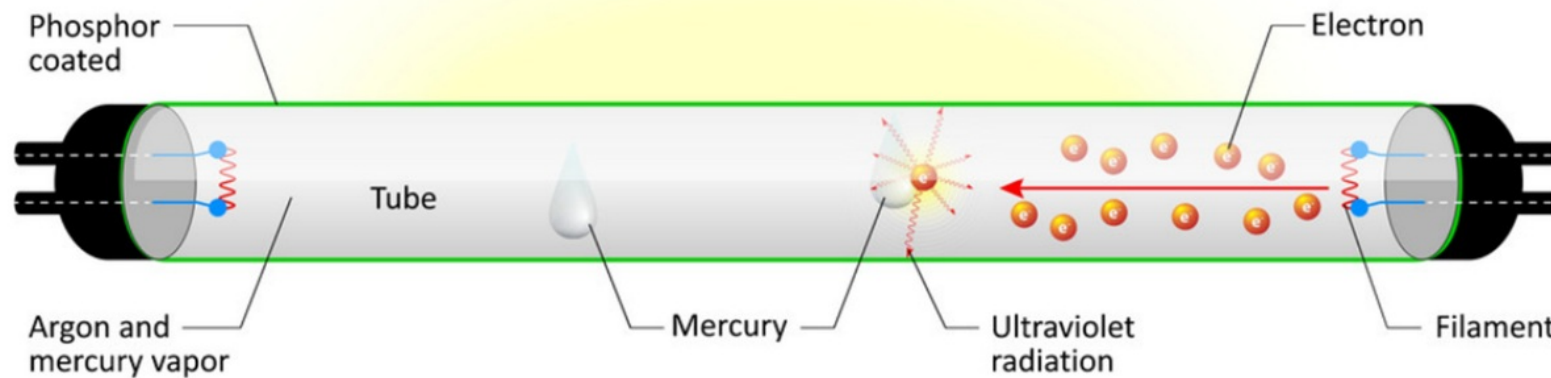
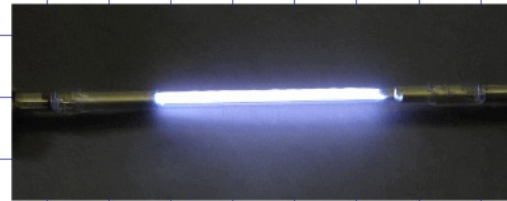
Alle materie zendt warmtestraling of thermische straling uit. Het wordt uitgezonden door trillende atomen en moleculen. Van de meeste voorwerpen in onze leefomgeving merk je niet veel van de warmtestraling. Wel zie je de gereflecteerde straling van de zon of een lamp. Als je dan de golflengte meet om de temperatuur te bepalen, vind je de temperatuur van de zon of die lamp. Een zwarte straler reflecteert geen warmte uit zijn omgeving. In figuur 12.11 is geprobeerd om zo'n zwarte straler te maken: vanaf de binnenkant komt niet of nauwelijks straling terug, maar vanuit de opening wordt wel warmtestraling uitgezonden. Bij deze straler vind je dus precies de golflengte die past bij de temperatuur van de straler.



▲ Figuur 12.11



"Hoe werken gasontladingslampen?"

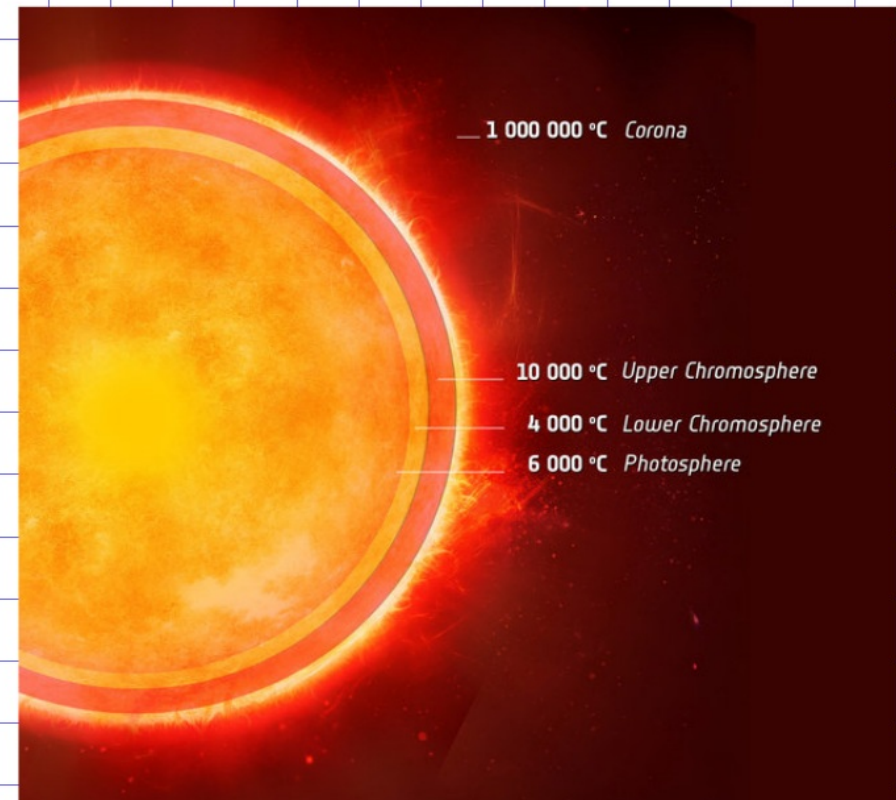
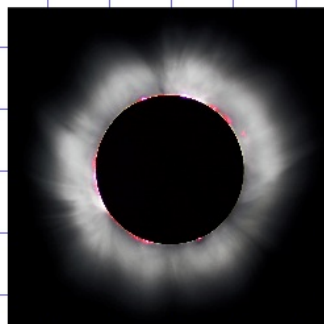
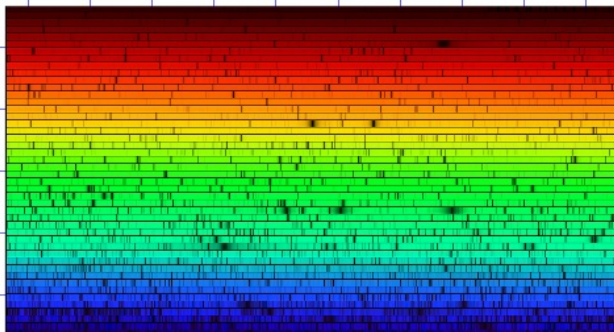
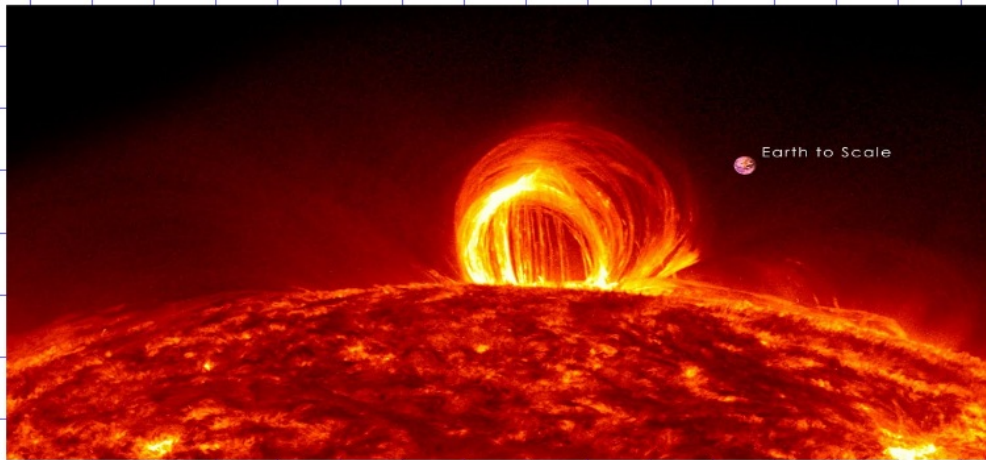


"Waarom lijkt alles geel onder een natriumlamp?"



"...en onder een gewone lamp niet?"

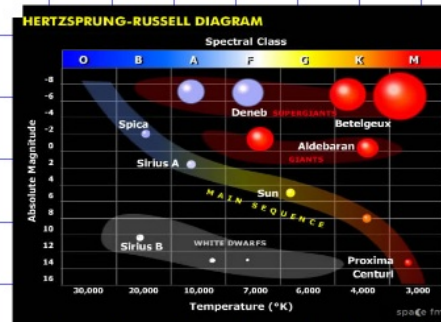
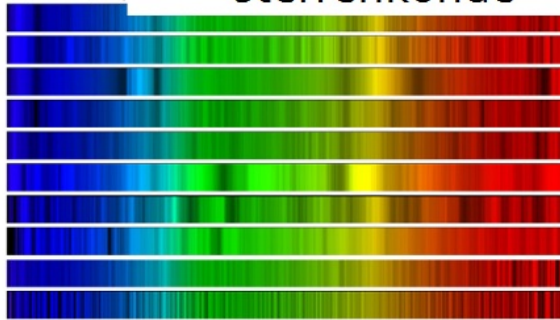
"Uit welke stoffen bestaat de zon?"



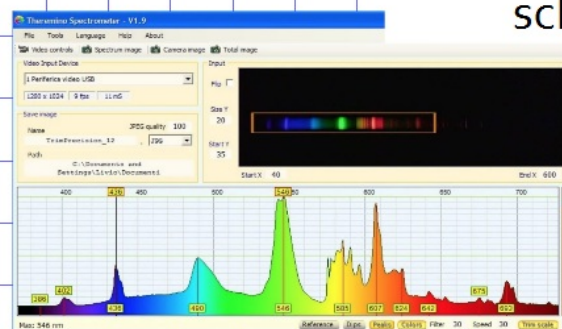
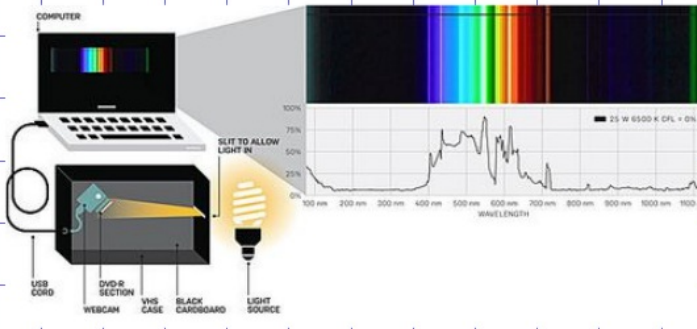
"Waar wordt spectrometrie toegepast?"

sterrenkunde

HIP 81377	Type: O9.5V
Spica HIP 66474	Type: B1v
Mizar HIP 66378	Type: A2v
Procyon HIP 31219	Type: F5iv
Muphrid HIP 67527	Type: G0iv
Arcturus HIP 69673	Type: K2II
HIP 30343	Type: M3III
HIP 52009	Type: C
HIP 49882	Type: SdF2
HIP 100287	Type: WC+



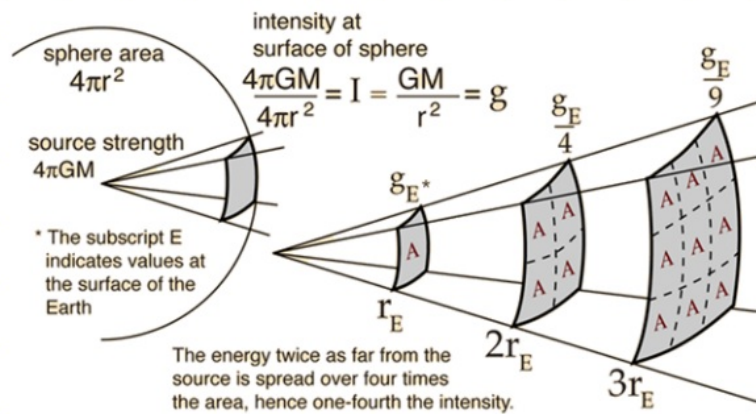
scheikunde



"Waarom geeft een vlam een continu spectrum?"

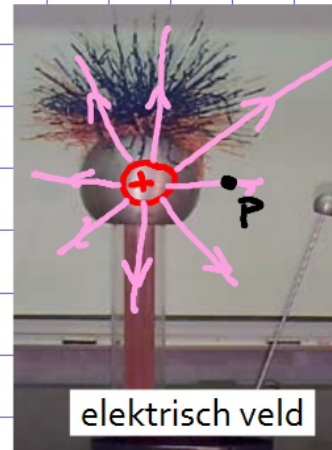
"Waar kom je in de natuur omgekeerde kwadratenwetten tegen?"

$$E = f \cdot \frac{Q}{r^2}$$



$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

stralingsintensiteit

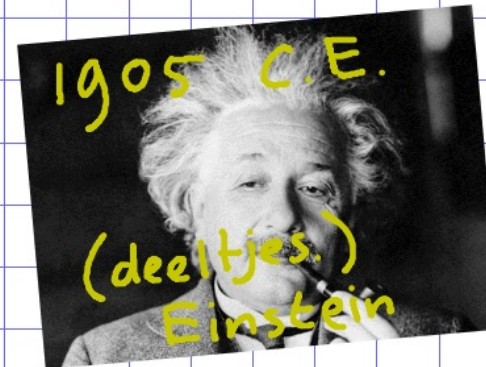
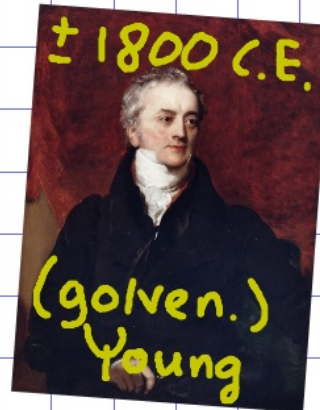
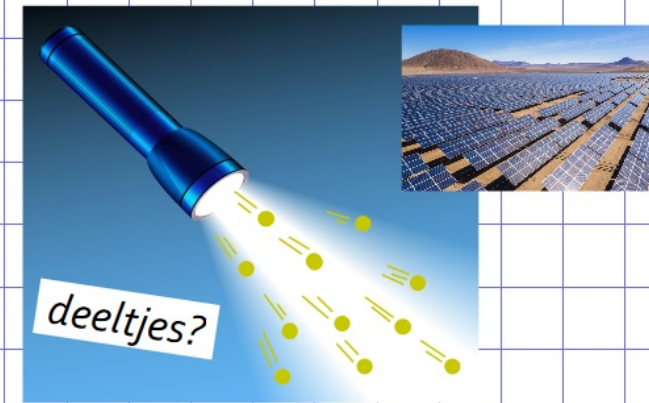
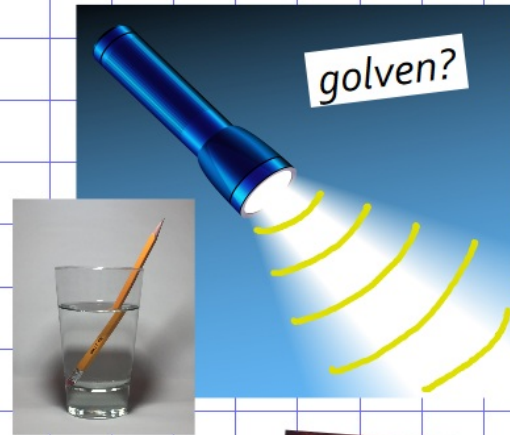
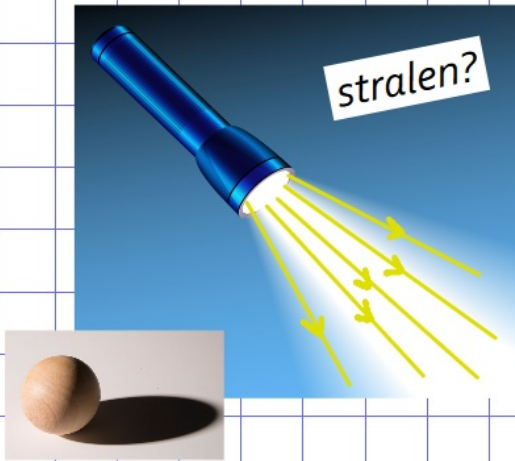


$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

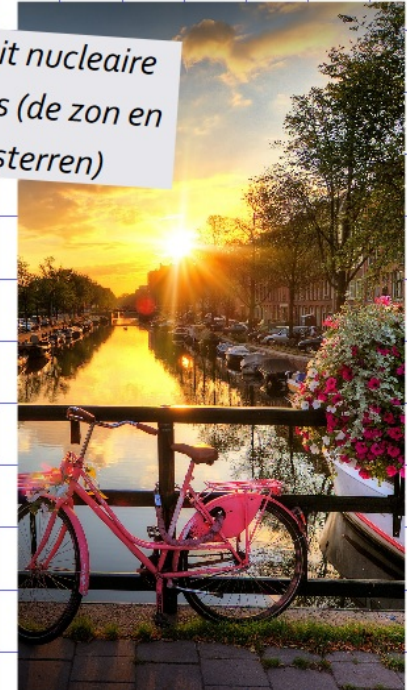


$$F_G = \frac{G \cdot m \cdot M}{r^2}$$

"Wat is licht?"



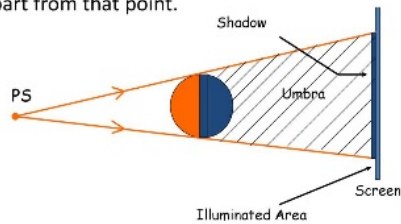
"Hoe kan licht ontstaan?"



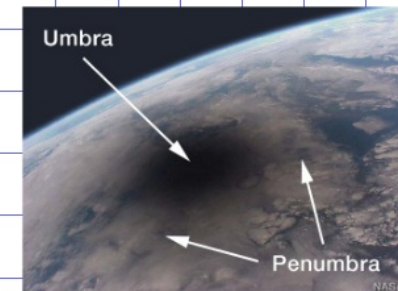
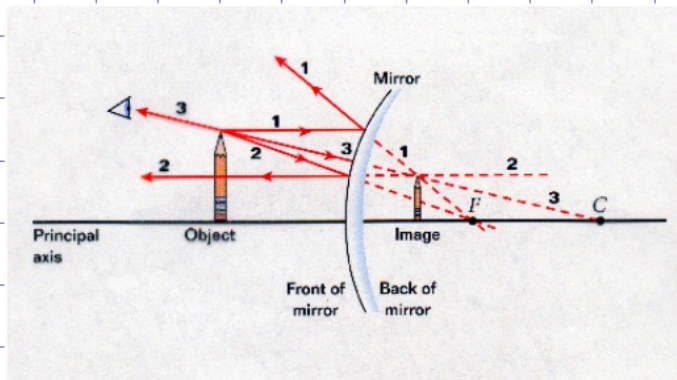
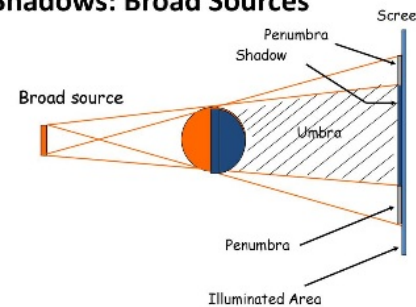
"Voor welke verschijnselen volstaat de straalbenadering van licht?"

1. Shadows: Point Sources

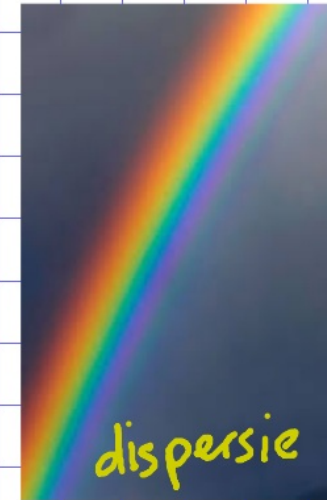
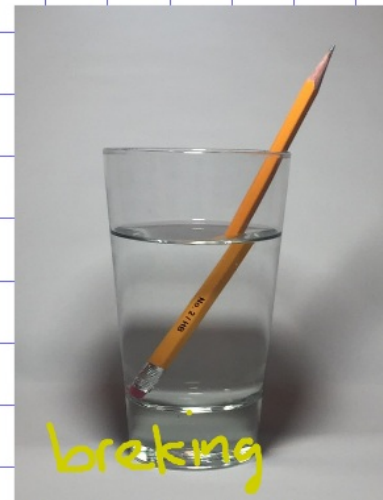
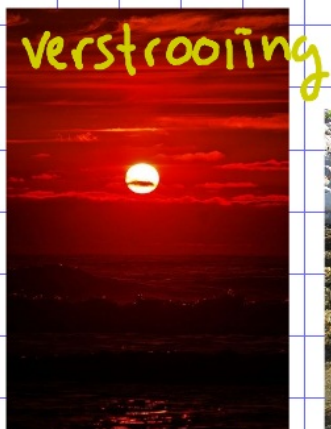
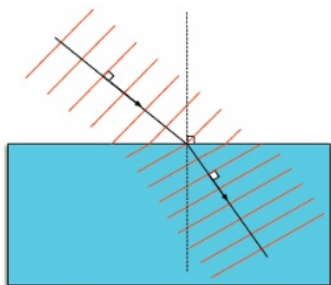
- A **point source** is such a small light source that it can be considered a point. All light rays depart from that point.



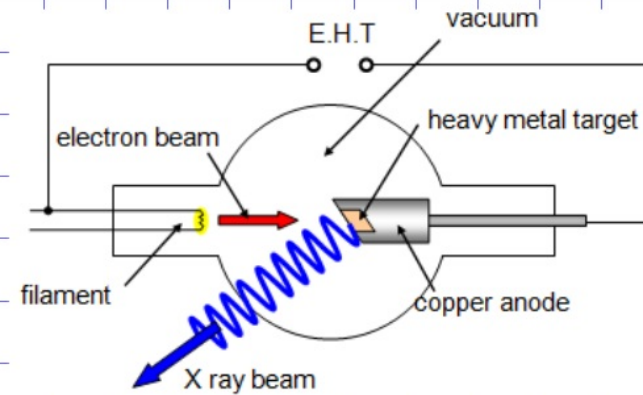
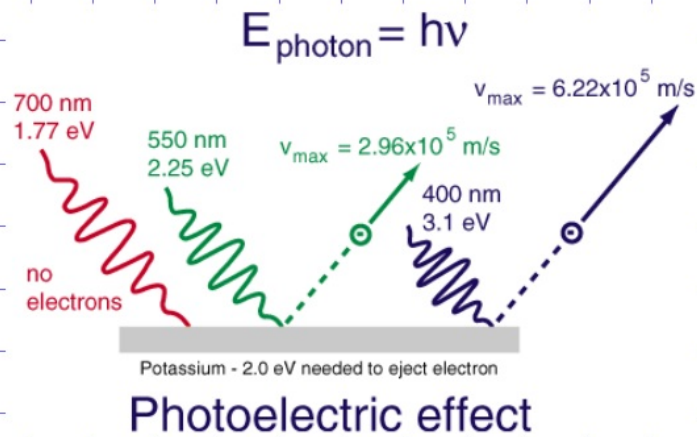
2. Shadows: Broad Sources



"Voor welke verschijnselen is de golfbenadering van licht nodig?"



"Voor welke verschijnselen is de deeltjesbenadering van licht nodig?"



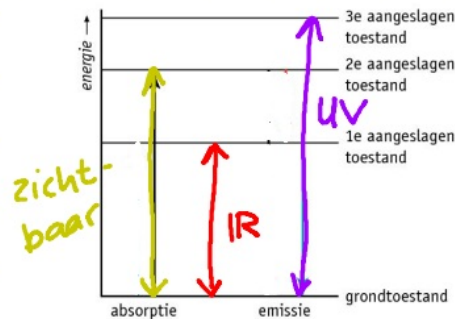
"Hoe werken fosforescentie en fluorescentie?"

"glow-in-the-dark"

Een atoom kan lang (minuten of uren) in de aangeslagen toestand verblijven alvorens het terugvalt naar de grondtoestand.

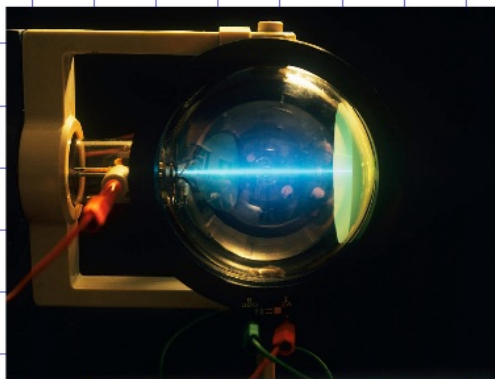
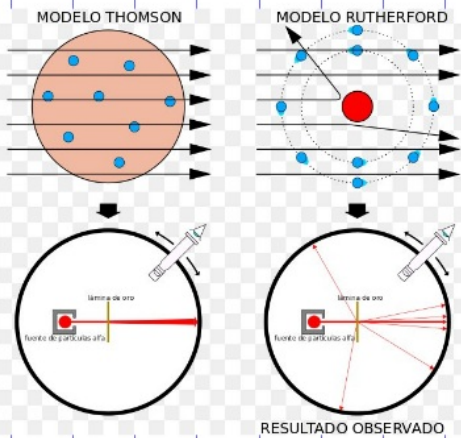
"blacklight"

Een atoom wordt aangeslagen naar een hogere toestand met UV-licht (onzichtbaar dus). Het vervalt in meerdere stappen (waarvan één zichtbaar) meteen weer naar de grondtoestand.



▲ Figuur 12.29 Een energieniveauschema

"Hoe zitten atomen in elkaar?"



A HISTORY OF THE ATOM: THEORIES AND MODELS

How have our ideas about atoms changed over the years? This graphic looks at atomic models and how they developed.

SOLID SPHERE MODEL



JOHN DALTON



1803

Dalton drew upon the Ancient Greek idea of atoms (the word 'atom' comes from the Greek 'atomos' meaning indivisible). His theory stated that atoms are indivisible, those of a given element are identical, and compounds are combinations of different types of atoms.

+ RECOGNISED ATOMS OF A PARTICULAR ELEMENT DIFFER FROM OTHER ELEMENTS

- ATOMS AREN'T INDIVISIBLE - THEY'RE COMPOSED FROM SUBATOMIC PARTICLES

PLUM PUDDING MODEL



J. J. THOMSON



1904

Thomson discovered electrons (which he called 'corpuscles') in atoms in 1897, for which he won a Nobel Prize. He subsequently produced the 'plum pudding' model of the atom. It shows the atom as composed of electrons scattered throughout a spherical cloud of positive charge.

+ RECOGNISED ELECTRONS AS COMPONENTS OF ATOMS

- NO NUCLEUS; DIDN'T EXPLAIN LATER EXPERIMENTAL OBSERVATIONS

NUCLEAR MODEL



ERNEST RUTHERFORD



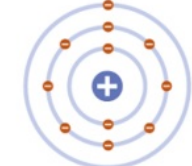
1911

Rutherford fired positively charged alpha particles at a thin sheet of gold foil. Most passed through with little deflection, but some deflected at large angles. This was only possible if the atom was mostly empty space, with the positive charge concentrated in the centre: the nucleus.

+ REALISED POSITIVE CHARGE WAS LOCALISED IN THE NUCLEUS OF AN ATOM

- DID NOT EXPLAIN WHY ELECTRONS REMAIN IN ORBIT AROUND THE NUCLEUS

PLANETARY MODEL



NIELS BOHR



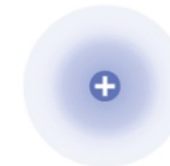
1913

Bohr modified Rutherford's model of the atom by stating that electrons moved around the nucleus in orbits of fixed sizes and energies. Electron energy in this model was quantised; electrons could not occupy values of energy between the fixed energy levels.

+ PROPOSED STABLE ELECTRON ORBITS; EXPLAINED THE EMISSION SPECTRA OF SOME ELEMENTS

- MOVING ELECTRONS SHOULD EMIT ENERGY AND COLLAPSE INTO THE NUCLEUS MODEL DID NOT WORK WELL FOR HEAVIER ATOMS

QUANTUM MODEL



ERWIN SCHRÖDINGER



1926

Schrödinger stated that electrons do not move in set paths around the nucleus, but in waves. It is impossible to know the exact location of the electrons; instead, we have 'clouds of probability' called orbitals, in which we are more likely to find an electron.

+ SHOWS ELECTRONS DON'T MOVE AROUND THE NUCLEUS IN ORBITS, BUT IN CLOUDS WHERE THEIR POSITION IS UNCERTAIN

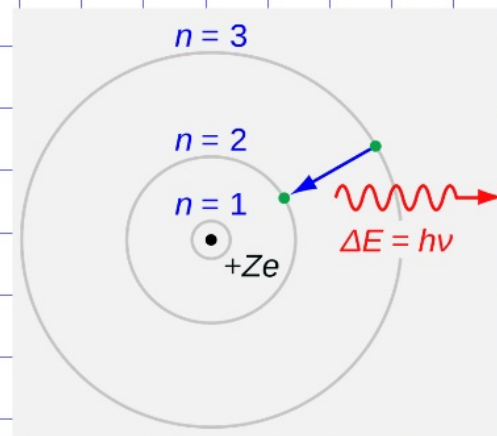
+ STILL WIDELY ACCEPTED AS THE MOST ACCURATE MODEL OF THE ATOM



© COMPOUND INTEREST 2016 - WWW.COMPOUNDCHEM.COM | Twitter: @compoundchem | Facebook: www.facebook.com/compoundchem
This graphic is shared under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives licence.

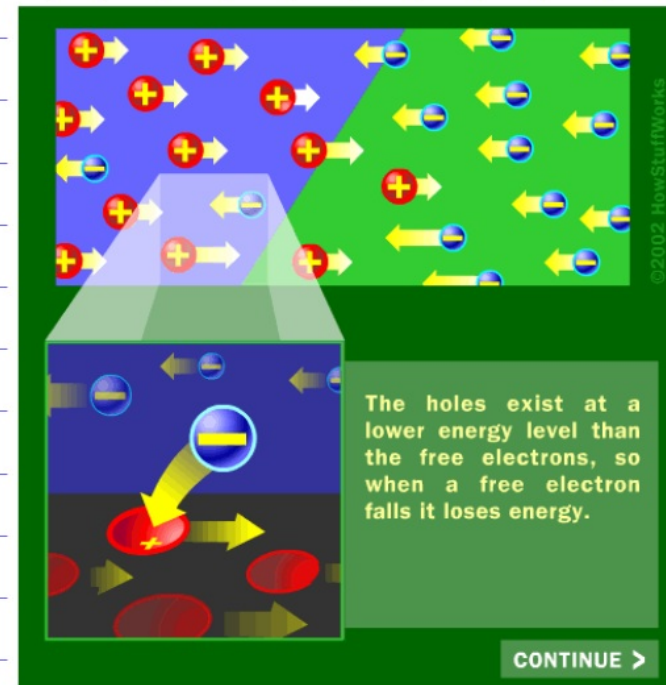
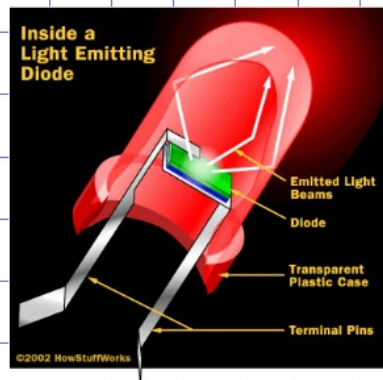
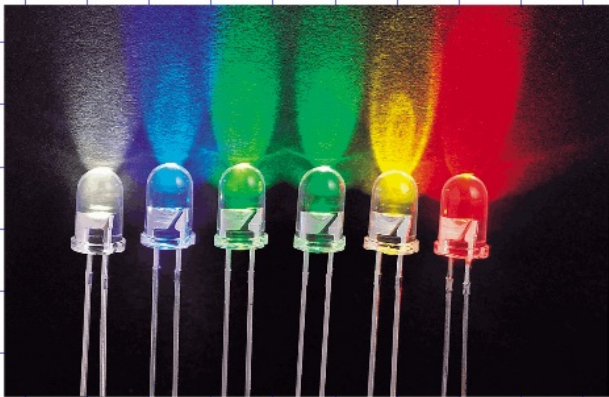


"Waarom zenden sommige lampen een lijnenspectrum uit en andere lampen een continu spectrum?"



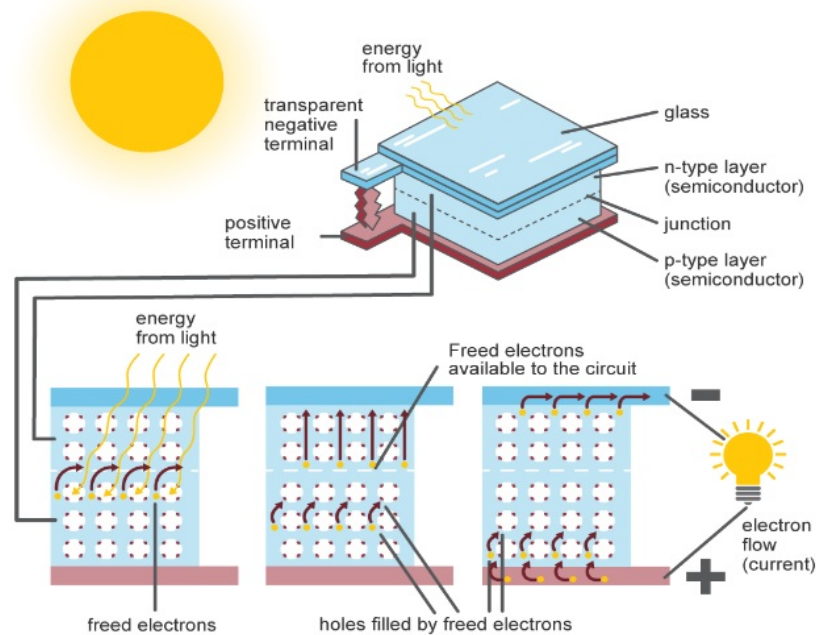
"Hoe werken elektrische lampen?"

Type 3: Light Emitting Diode (LED)

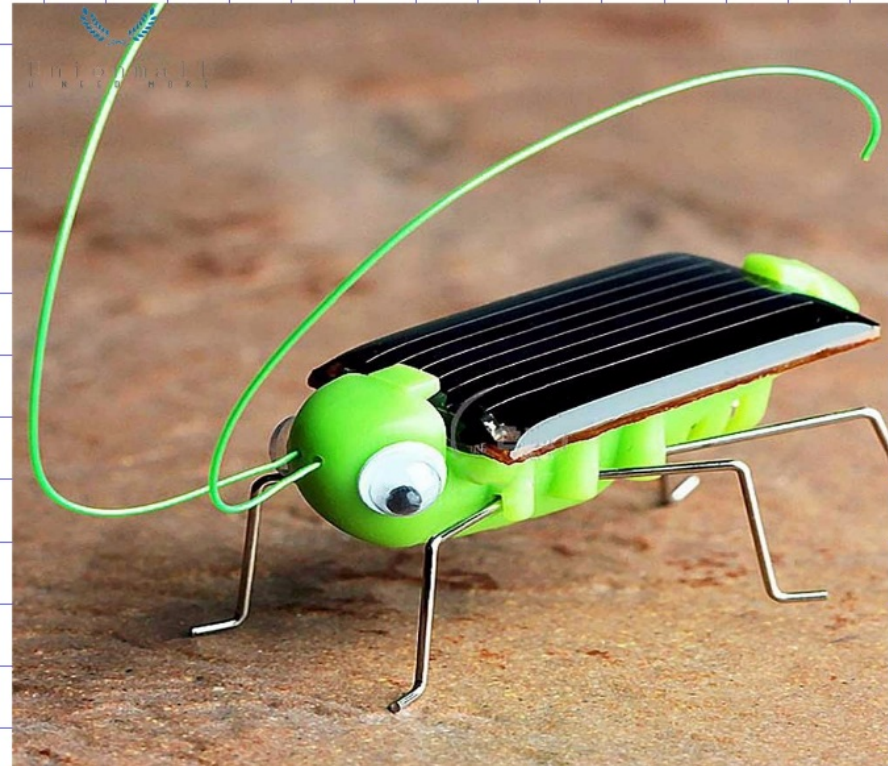


"Hoe werken zonnepanelen?"

Inside a photovoltaic cell



Source: U.S. Energy Information Administration



"Hoe kun je in het donker zien?"



night vision (lichtversterking)

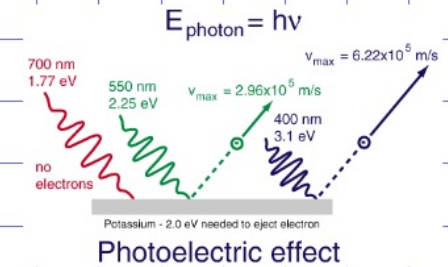
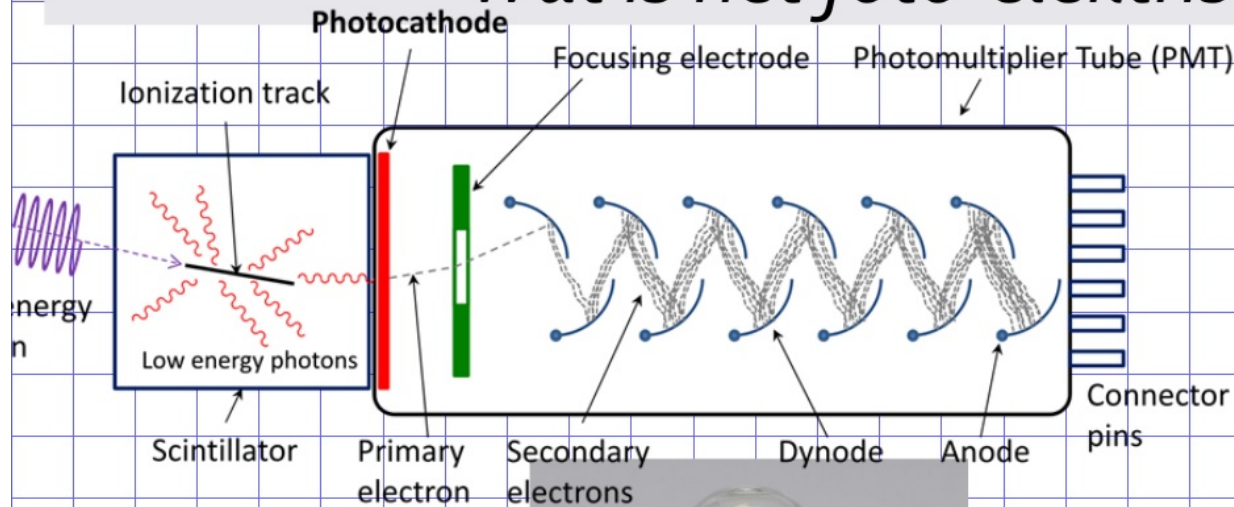


infraroodbeeld

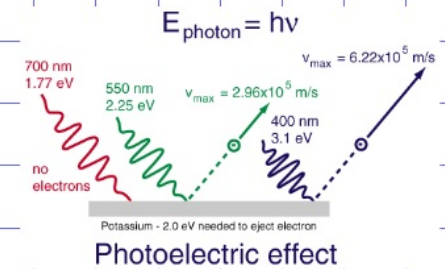
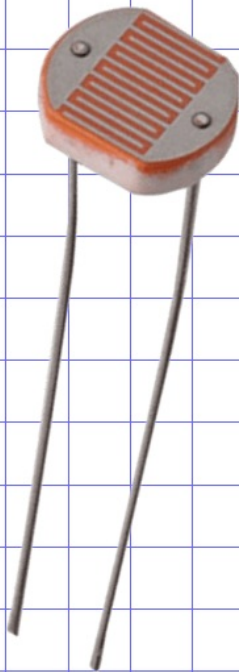


met een zaklamp!

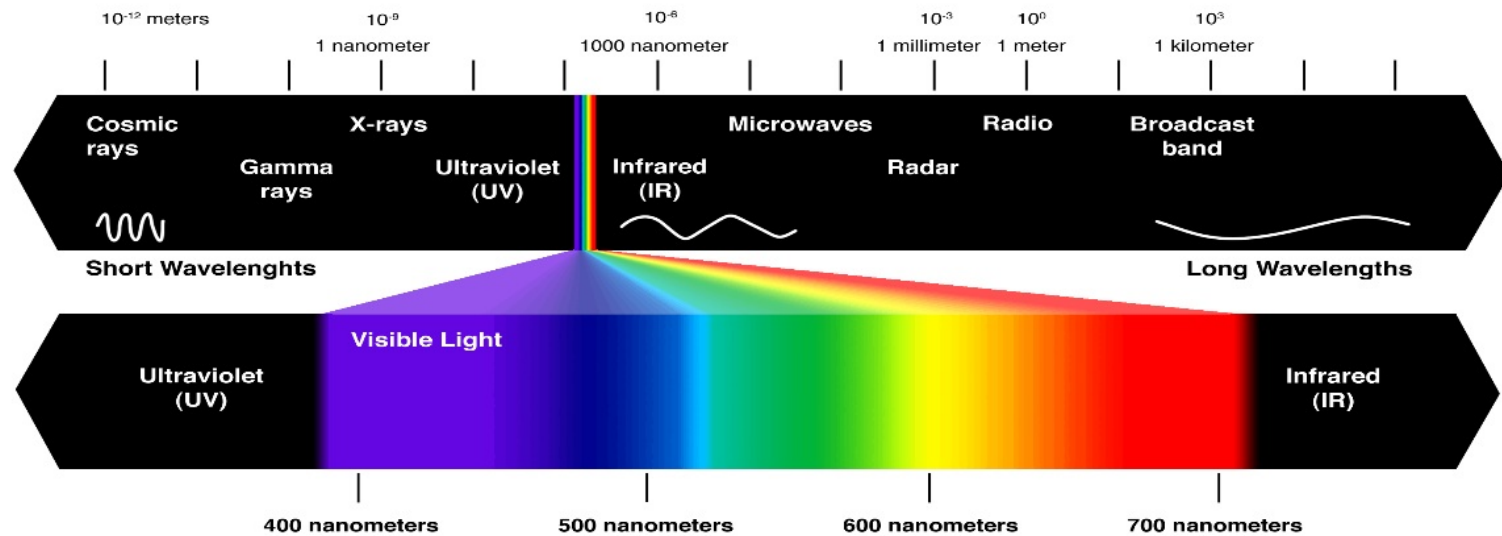
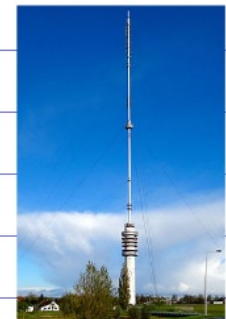
"Wat is het foto-elektrisch effect?"



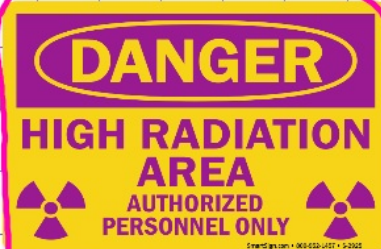
"Welke foto-elektrische componenten bestaan er?"



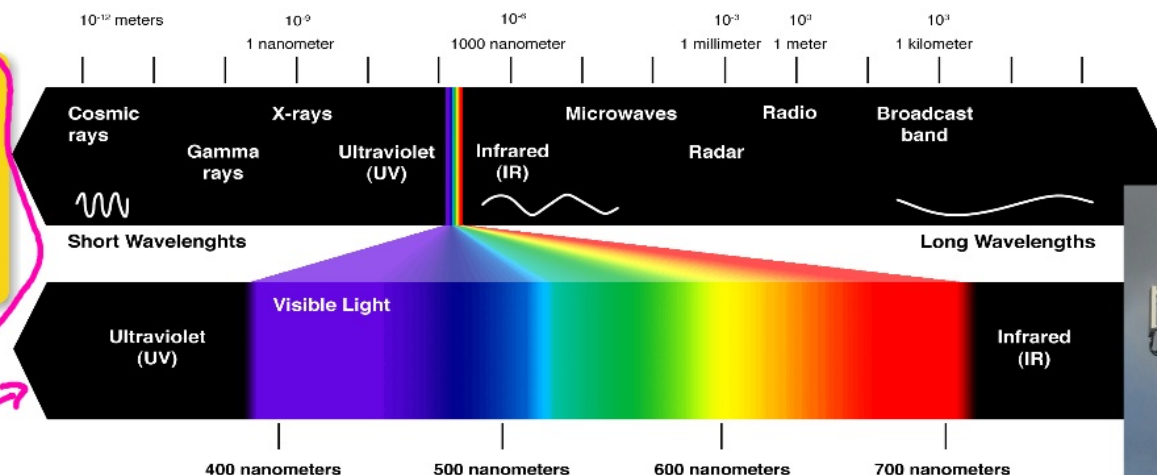
"Wat wordt bedoeld met het *elektromagnetisch spectrum*?"



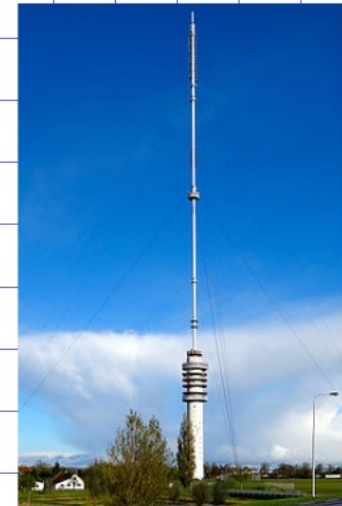
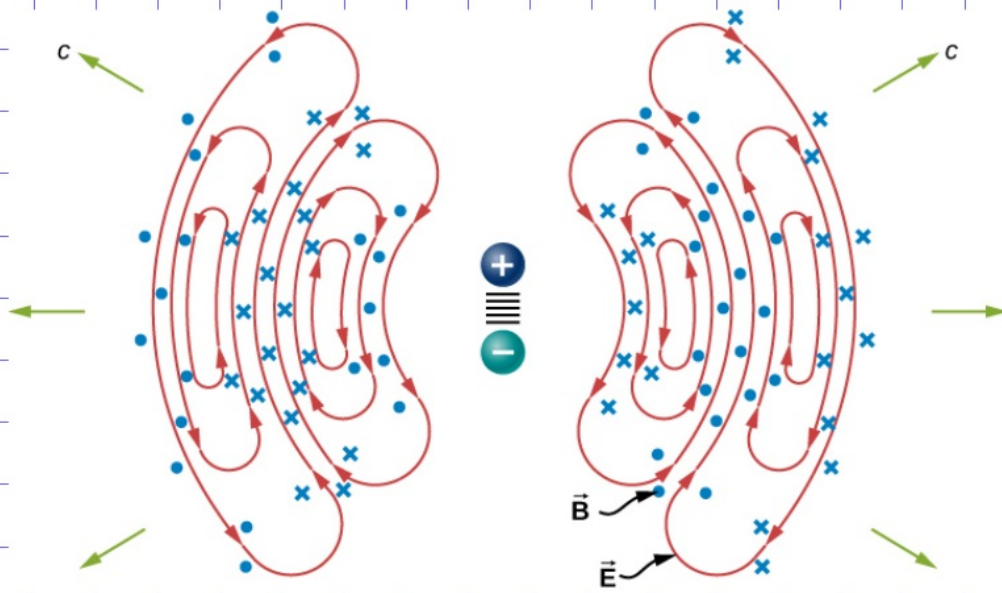
"Welke golflengten van EM-straling zijn gevaarlijk?"



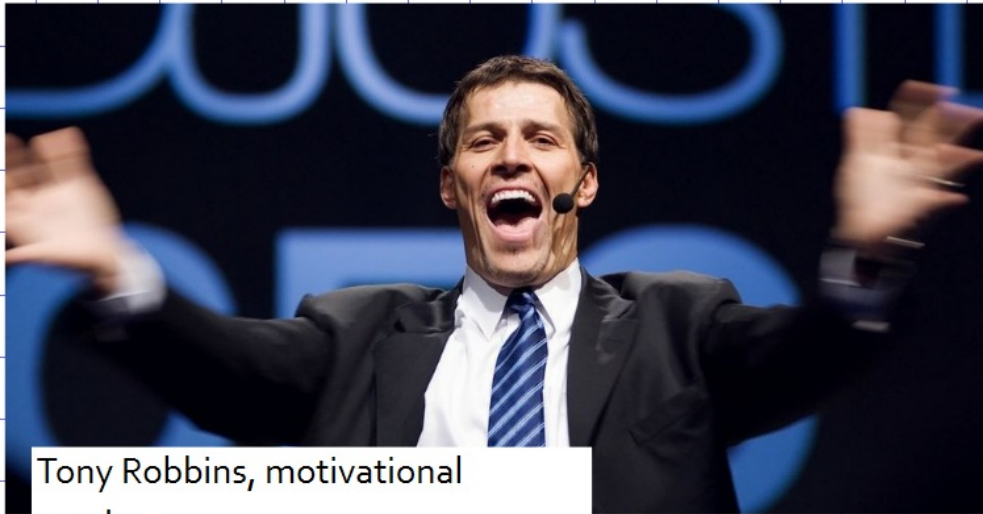
ionisatie



"Hoe ontstaan elektromagnetische golven?"



"Wat is het verschil tussen kracht, energie, vermogen en intensiteit?"



Tony Robbins, motivational speaker

"Tony is a **forceful** speaker."

$$F = ? \quad (N)$$

"Tony is an **energetic** speaker."

$$E = ? \quad (J)$$

"Tony is a **powerful** speaker."

$$P = ? \quad (W)$$

"Tony is a **intense** speaker."

$$I = ? \quad (W/m^2)$$

Hoofdstuk 12 Atoomfysica

- ***BONUSVRAGEN*** -

Hier staan de bonusvragen bij dit hoofdstuk. Deze vragen zijn bedoeld om je te laten nadenken over wat je geleerd hebt. Soms moet je kennis reproduceren of een geoefende techniek laten zien. Ook zitten hier inzichtvragen tussen waarvoor je geleerde kennis op een nieuwe en creatieve manier moet toepassen. Deze vragen zijn zeer nuttig om voor een proefwerk nog een keer langs te lopen!

"Beantwoord deze vraag uit je boek."

- BONUSVRAAG! -

12.1 Warmtestraling

◆ Een halogeenlamp (figuur 12.4) heeft een hogere lichtopbrengst dan een gloeilamp.

Dit komt doordat:

- A er een stof (een halogeen) in zit die ook straling uitzendt.
- B de temperatuur van een halogeenlamp hoger is.
- C een halogeenlamp kleiner is dan een gloeilamp.
- D voor een halogeenlamp dunner glas gebruikt wordt.
- E halogeenlampen op een hogere spanning werken dan gloeilampen.



▲ **Figuur 12.4** Halogeenlamp

"Beantwoord deze vraag uit je boek."

- BONUSVRAAG! -

12.2 Fotonen

❖ Een satelliet of een ruimteschip (zie figuur 12.14) kan in de ruimte behoorlijk statisch worden. Dit kan gevaarlijk zijn voor de aanwezige micro-elektronica.

Dit verschijnsel kent meerdere oorzaken. Eén van de oorzaken is:

- A door wrijving met de lucht worden elektronen losgemaakt van de satelliet.
- B als er te veel zonlicht op de zonnepanelen valt, slaan elektronen over op de behuizing van de satelliet.
- C het magneetveld van de aarde trekt geladen deeltjes los uit de satelliet.
- D door warmtestraling van sterren schieten elektronen weg uit de satelliet.



▲ Figuur 12.14

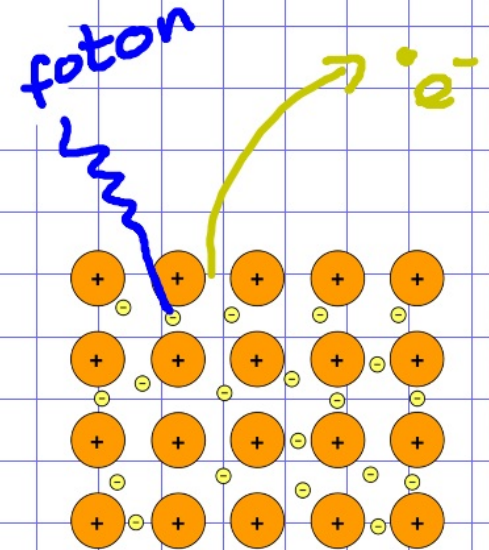
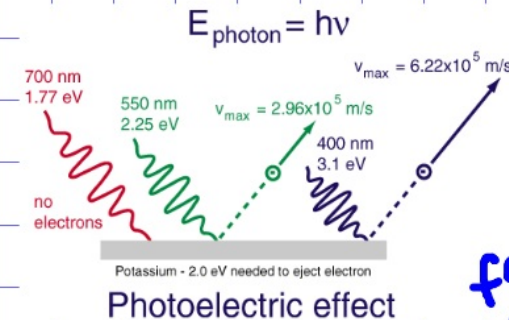
"Beantwoord deze vraag uit je boek."

- BONUSVRAAG! -

- 16 In welke situatie is de energie van de vrijgemaakte elektronen het grootst?
- A Licht met een grote golflengte laten vallen op een metaal met een grote grensfrequentie.
 - B Licht met een kleine golflengte laten vallen op een metaal met een grote grensfrequentie.
 - C Licht met een grote golflengte laten vallen op een metaal met een kleine grensfrequentie.
 - D Licht met een kleine golflengte laten vallen op een metaal met een kleine grensfrequentie.

→ meest energierijke fotonen

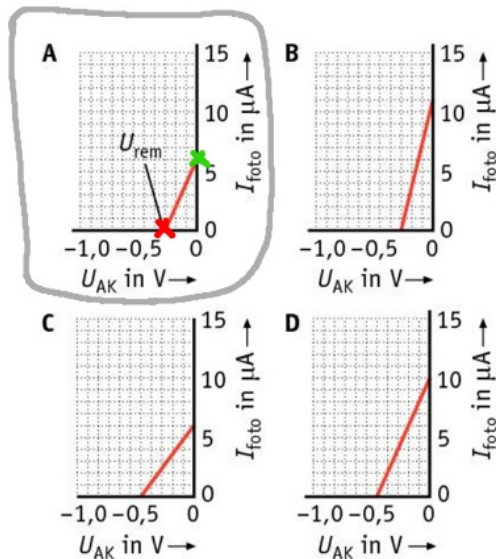
dus grote grensgolflengte, dus kleine uittree-energie



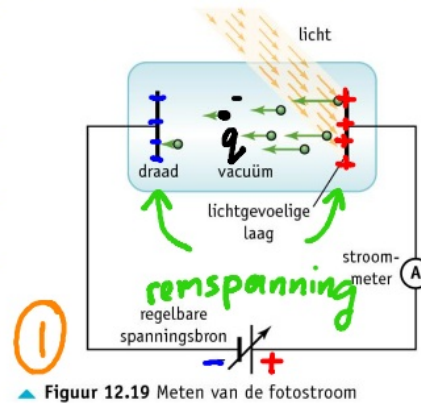
"Beantwoord deze vraag uit je boek."

- BONUSVRAAG! -

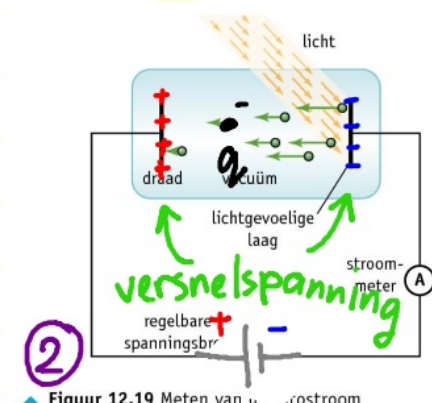
- 17 Grafiek A in figuur 12.21 geeft de remspanning weer bij een fotocel en een lage lichtintensiteit. De grafiek verandert als de intensiteit van het gebruikte licht groter wordt. Welke van de drie andere grafieken geeft die nieuwe situatie het beste weer? Leg uit.



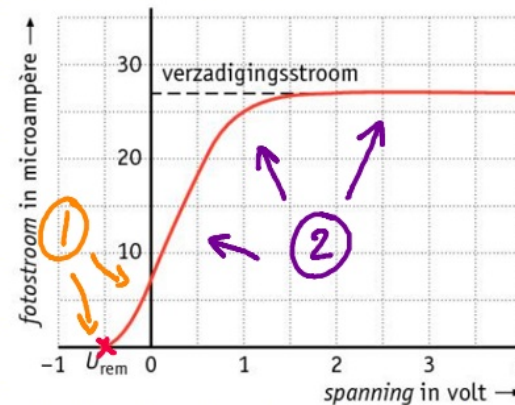
▲ Figuur 12.21



▲ Figuur 12.19 Meten van de fotostroom



▲ Figuur 12.19 Meten van de fotostroom



"Beantwoord deze vraag uit je boek."

- BONUSVRAAG! -



- 24 Van het maanlicht kan ook een kleurenspectrum worden gemaakt. In dit spectrum zie je:
- A dezelfde lijnen als in het spectrum van de zon.
 - B geen absorptielijnen.
 - C geen emissielijnen.

"Beantwoord deze vraag uit je boek."

- BONUSVRAAG! -

12.4 Rekenen aan spectraallijnen

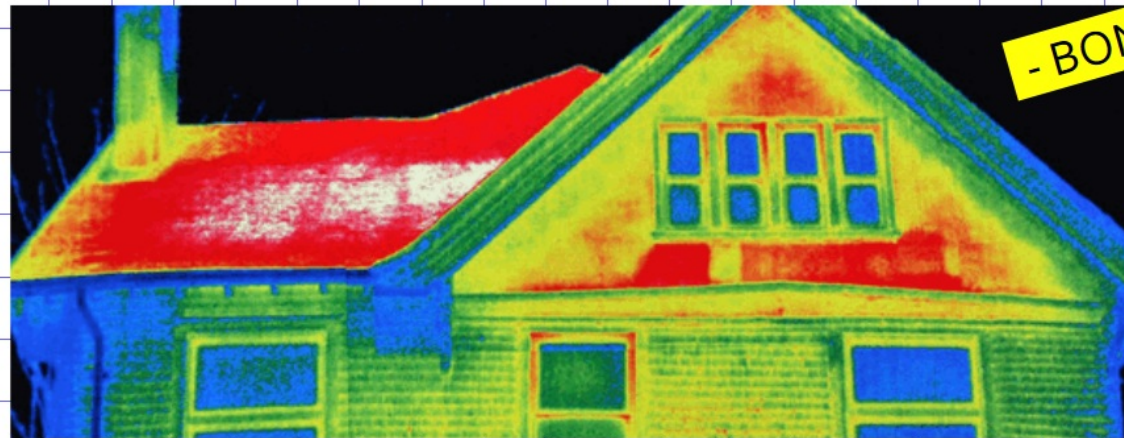
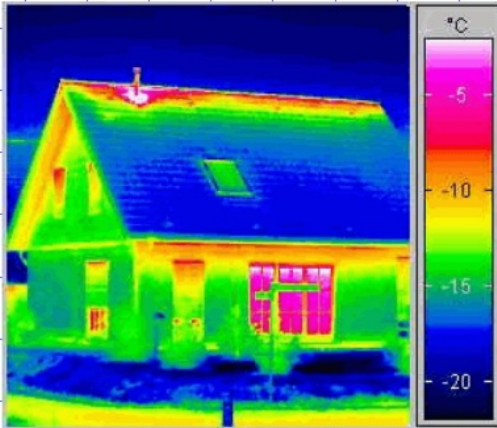
❖ In figuur 12.36 zie je een kaarsvlam tussen twee condensatorplaten. De kaarsvlam wordt naar de linker plaat getrokken, omdat:

- A de vlam voornamelijk positief geladen deeltjes bevat en de linker plaat negatief is.
- B de vlam veel losse elektronen bevat en de linker plaat positief is.
- C de elektronen door de warmte van de kaars in een hogere schil komen, waardoor ze een grotere elektrische kracht ondervinden.
- D de warmte van de kaars zorgt voor stroming van lucht.



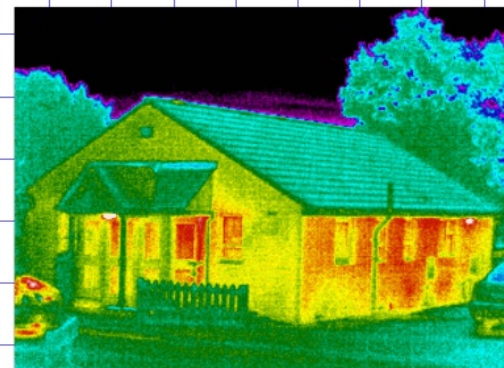
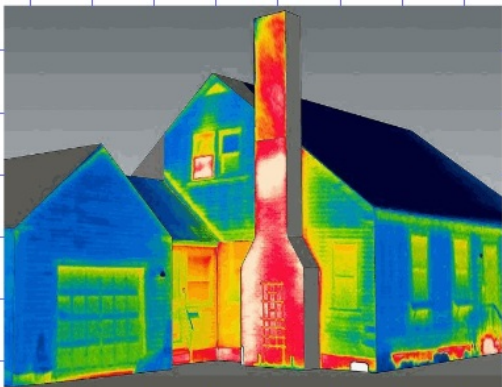
▲ Figuur 12.36

"Hoe kun je elk van deze huizen beter isoleren?"



- BONUSVRAAG! -

1



Hoofdstuk 12 Atoomfysica

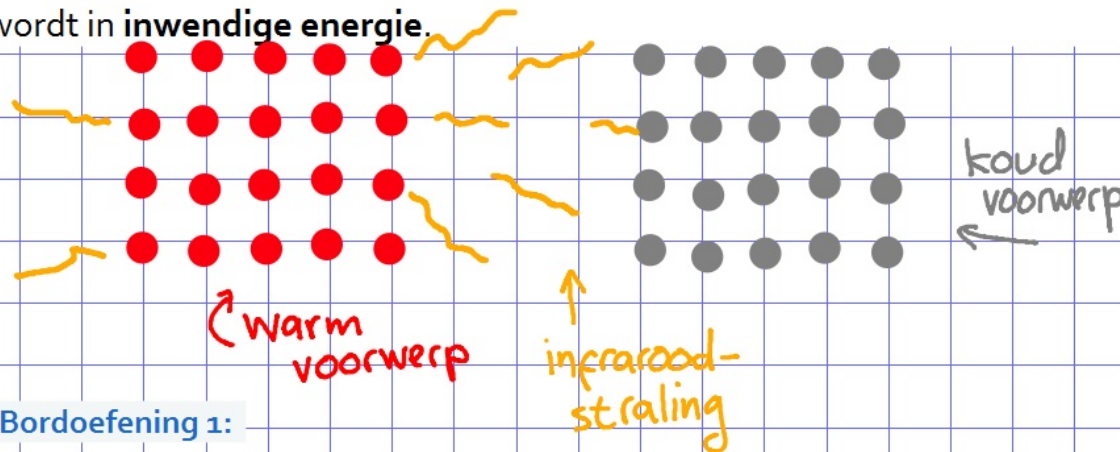
- UITLEG & AANTEKENINGEN -

De volgende dia's zijn de aantekeningen die je in de les overgenomen hebt. Alles wat hier tusn de rode lijnen staat zou ook in je schrift moeten staan. Dit is de essentiële stof voor het proefwerk en deze moet je proberen volledig te begrijpen. Je vindt hier ook de tekst bij de bordoefeningen waarvan je als het goed is alleen de uitwerkingen hebt opgeschreven.

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.1 Warmtestraling

1. Infraroodstraling wordt ook wel **warmtestraling** genoemd omdat deze soort straling door voorwerpen geabsorbeerd kan worden en dan omgezet wordt in **inwendige energie**.



Bordoeffening 1:

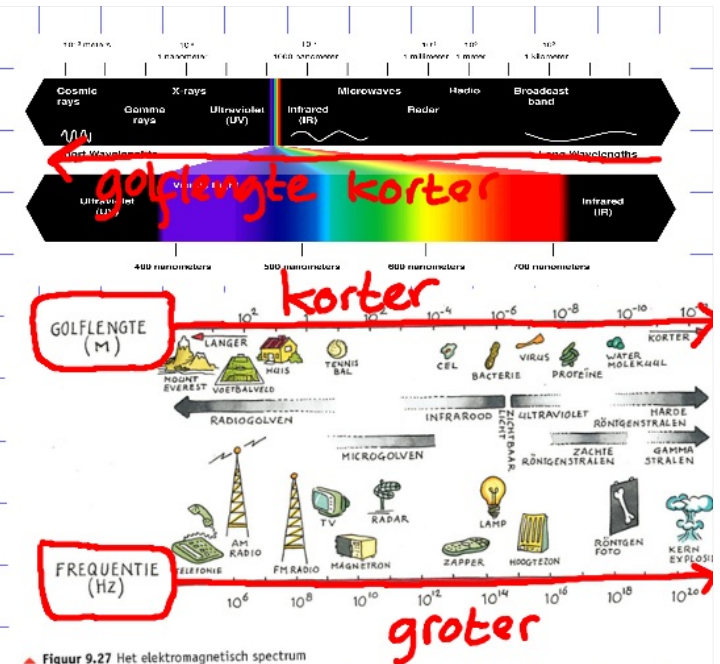
a. $\lambda = 580 \text{ nm}$

b. $\lambda = 400 \text{ nm}$

c. $750 \text{ nm} < \lambda < 10^{-4} \text{ m}$

d. $1 \text{ m} < \lambda < 10 \text{ m}$

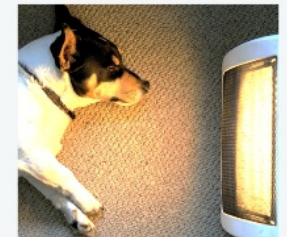
e. $10^{-11} \text{ m} < \lambda < 10^{-8} \text{ m}$



▲ Figuur 9.27 Het elektromagnetisch spectrum

Bordoeffening 1. Zoek op (binas tabel 19) wat de golflengte is van:

- geel licht
- grens zichtbaar en UV
- infrarode straling
- FM-radiogolven
- röntgenstraling



Alle voorwerpen zenden EM-straling uit. Hoe warmer het voorwerp, hoe:- groter het uitgestraalde

↳ kleiner de **dominante golflengte**

De dominante golflengte kun je uitrekenen met de (verschuivings)wet van Wien:



dominante golflengte (m) $\lambda_{\max}$ $\cdot$ $T = k_w$ ← constante v. Wien: $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$

↑ temperatuur (K)

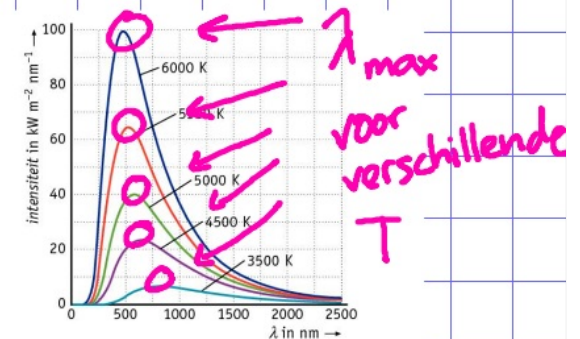
Bordoeffening 2a:

$$T = \frac{k_w}{\lambda_{\max}} = \frac{2,8978 \cdot 10^{-3}}{700 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 4,14 \cdot 10^3 \text{ K (!)}$$

LET OP: temperaturen in formules altijd in kelvin invullen.

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.1 Warmtestraling



▲ Figuur 12.8 Verschillende stralingsspectra

blackbody radiation (PhET)



Bordoeffening 2a: Reken uit wat de temperatuur van roodgloeiend lava ongeveer zal zijn. Bedenk zelf wat de dominante golflengte waarschijnlijk is (zie ook oop. 1 op



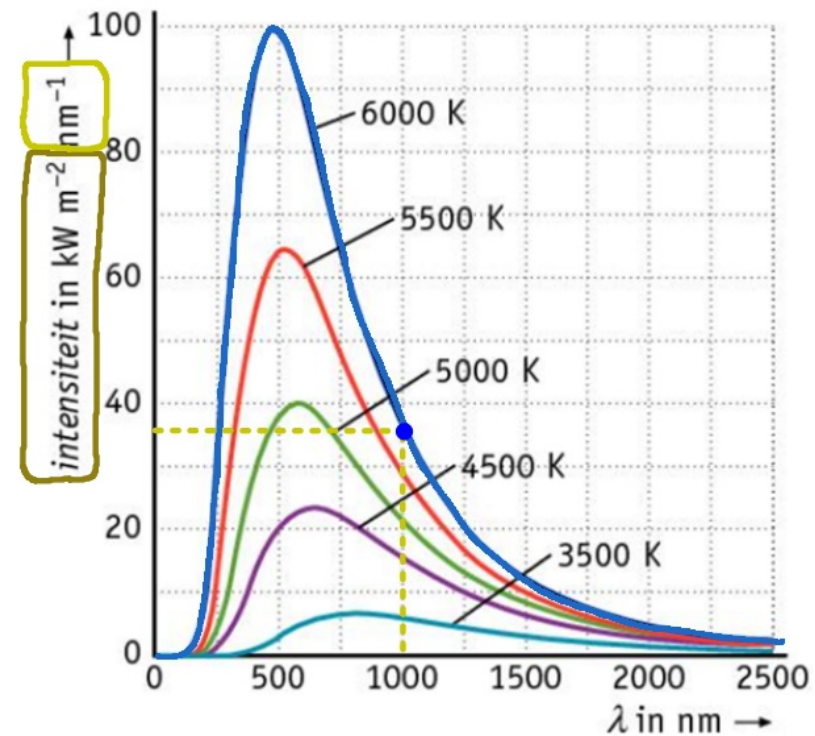
1 Bekijk figuur 12.7.

- a Hoe kan het warmtepak zo goed mogelijk de warmte tegenhouden? Noem in je antwoord de drie manieren waarop warmte doorgegeven wordt.
- b Het stralingsspectrum van de hete lava heeft een piek bij $2,0 \mu\text{m}$. Bereken de temperatuur van de lava.
- c De piek van $2,0 \mu\text{m}$ ligt buiten het zichtbare gebied. Verklaar dat de lava er toch oranje uit ziet.

→ b) $\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_w$

$$T = \frac{2,8978 \cdot 10^{-3}}{2,0 \cdot 10^{-6}} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ K}$$

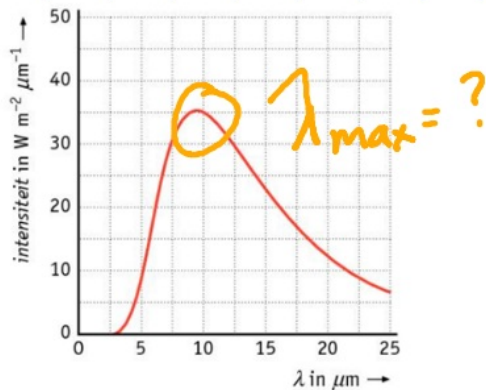
- 2 a Leg uit hoe een voorwerp witheet kan worden.
Gebruik figuur 12.8.
- b Bij de verticale as staat $\text{kW m}^{-2} \text{nm}^{-1}$. Wat is de betekenis van het oppervlak onder de stralingskromme?



▲ **Figuur 12.8** Verschillende stralingsspectra

- 3 In figuur 12.6 zie je een thermische camera.
- a Leg uit hoe het beeld van deze camera gebruikt kan worden om de isolatie van de woning te verbeteren.
 - b Noem nog twee andere voorbeelden van het gebruik van thermische camera's.
 - c Het leger maakt gebruik van nachtzichtkijkers. Zoek m.b.v. internet uit hoe deze werken.

- 4 In figuur 12.8 staan stralingsspectra voor voorwerpen bij verschillende temperaturen.
- a Maak een tabel met de kolommen T , $1/T$ en $\lambda_{\max}$ en vul deze tabel in voor de gegeven temperaturen in figuur 12.8.
 - b Maak een grafiek van de tabelwaarden. Zet verticaal de λ (nm) en horizontaal $1/T$ (K^{-1}).
 - c Trek een rechte lijn door de punten en bepaal hiermee de constante van Wien.
 - d De overgang van zichtbaar licht naar uv ligt bij ongeveer 380 nm. Bepaal uit jouw grafiek de temperatuur van een warmtestraler die maximaal straalt bij deze golflengte.

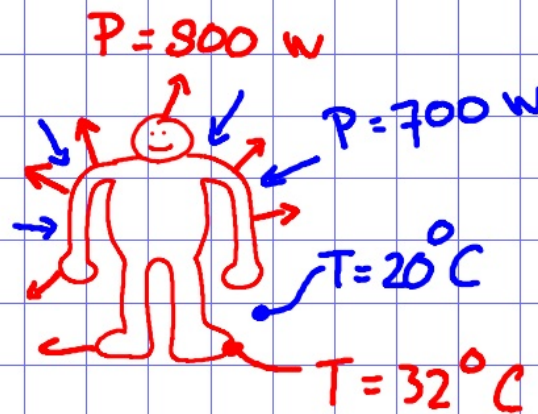


▲ Figuur 12.9

- 5 In figuur 12.9 zie je het stralingsspectrum van het menselijk lichaam.
- Bepaal van welke huidtemperatuur hier uit is gegaan.
 - Het menselijk lichaam straalt ongeveer $0,50 \text{ kW/m}^2$ uit. Schat het totale stralende vermogen van jouw lichaam. (Wat moet je schatten?)
 - Bij een buitentemperatuur van 20°C verlies je gemiddeld maar 100 W. Geef hiervoor twee verklaringen.
 - Warmtecamera's van politiehelikopters hebben een beperkt golflengtebereik. Tussen de kleinst en de grootst meetbare golflengte zit ongeveer $7 \mu\text{m}$. Wat zullen de grenzen van het bereik ongeveer zijn?

→ $P = I \cdot A$

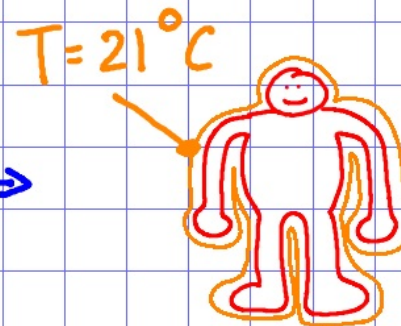
Hoofdstuk 12: Atoomfysica



dit kan uitgestraald of geabsorbeerd vermogen zijn:
 $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$

Opgaven bij § 12.1

§ 12.1 Warmtestraling

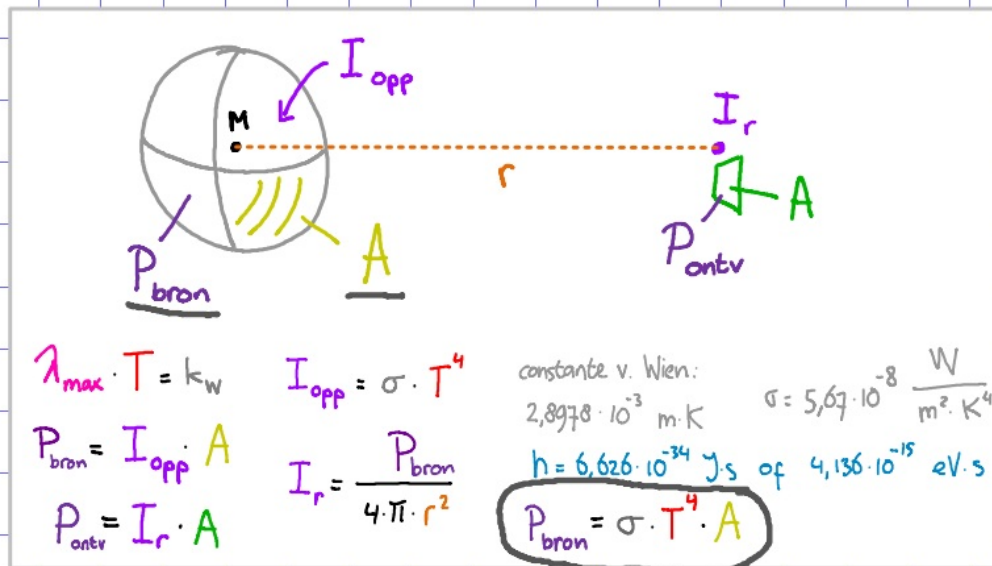


2. EM-straling is een vorm van **energie** en een bron van EM-straling heeft dus een bepaald **vermogen**. Dit vermogen kun je uitrekenen met:

$$\text{vermogen (W)} \quad P_{\text{bron}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A \quad \begin{array}{l} \text{oppervlakte (m}^2\text{)} \\ \text{temperatuur (K)} \end{array}$$

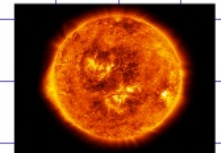
constante van Stefan-Boltzman: $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$

Voorbeeld: $P = \sigma \cdot A \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 4,0 \cdot (353 \text{ K})^4 = 3,5 \cdot 10^3 \text{ W}$



Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.1 Warmtestraling



Voorbeeld: Reken het uitgestraalde vermogen uit van een CV-radiator die een oppervlakte heeft van $4,00 \text{ m}^2$ en een temperatuur heeft van $52,0^\circ\text{C}$.

LET OP: temperaturen in formules altijd in kelvin invullen!

2. EM-straling is een vorm van **energie** en een bron van EM-straling heeft dus een bepaald **vermogen**. Dit vermogen kun je uitrekenen met:

$$\text{vermogen (W)} \quad P_{\text{bron}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A \quad \text{oppervlakte (m}^2\text{)}$$

constante van Stefan-Boltzman: $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$ temperatuur (K)

Voorbeeld:

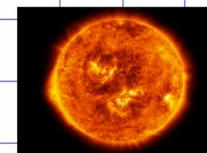
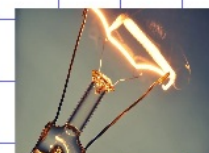
$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 4,0 \cdot (353 \text{ K})^4 = 3,5 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Bordoeffening 3a:

$$\begin{aligned} P &= \sigma \cdot A \cdot T^4 \\ &= 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot (3,10 \cdot 10^3)^4 \\ &= 78,5 \text{ W} \end{aligned}$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.1 Warmtestraling



Voorbeeld: Reken het uitgestraalde vermogen uit van een CV-radiator die een oppervlakte heeft van $4,00 \text{ m}^2$ en een temperatuur heeft van $52,0^\circ\text{C}$.

Bordoeffening 3a: Bereken het uitgestraalde vermogen van een lamp waarbij de temperatuur vd gloeidraad is $T = 3,10 \times 10^3 \text{ K}$. De gloeidraad heeft een oppervlakte van $1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$.

$\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_W$
 $P_{\text{bron}} = I_{\text{app}} \cdot A$
 $P_{\text{ontr}} = I_r \cdot A$

$I_{\text{app}} = \sigma \cdot T^4$
 $I_r = \frac{P_{\text{bron}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$

constante v. Wien: $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ of $4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
 $P_{\text{bron}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A$

2 (vervolg). De **intensiteit** is een grootte-onafhankelijke manier om te kijken hoe "hard" een bron straalt omdat je het uitgestraalde vermogen deelt door het totale oppervlak van de bron:

$$I_{\text{opp}} = \frac{P_{\text{bron}}}{A}$$

intensiteit (W/m^2) aan het oppervlak

uitgestraalde vermogen (W) door de bron

De intensiteit waarmee een bron straalt kun je rechtstreeks uitrekenen uit de temperatuur van de bron:

$$I_{\text{opp}} = \sigma \cdot T^4$$

Bordoefening 3b:

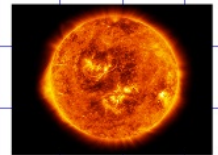
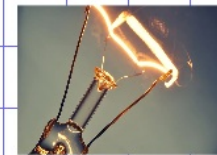
$$I_{\text{opp}} = \frac{P_{\text{bron}}}{A} = \frac{3,50 \cdot 10^3}{5,53} = 633 \text{ W}/\text{m}^2$$

Bordoefening 3c:

$$I_{\text{opp}} = \sigma \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (325 \text{ K})^4 = 633 \text{ W}/\text{m}^2$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.1 Warmtestraling



Bordoefening 3b: Reken de stralingsintensiteit van de radiator uit m.b.v. het vermogen (3,50 kW) en het oppervlak (5,53 m²).

Bordoefening 3c: Reken de stralingsintensiteit van de radiator uit m.b.v. de temperatuur ($T = 52,0^\circ\text{C}$) uit.

$\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_W$
 $P_{\text{bron}} = I_{\text{opp}} \cdot A$
 $P_{\text{ontr}} = I_r \cdot A$

$I_{\text{opp}} = \sigma \cdot T^4$
 $I_r = \frac{P_{\text{bron}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$
 $P_{\text{bron}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A$

constante v. Wien:
 $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ of $4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$

Omdat het vermogen dat de bron uitzendt a.h.w. over een boloppervlak wordt "uitgesmeerd" is wordt de intensiteit op een afstand r tot de bron gegeven met een omgekeerde kwadratenwet:

Bordoeffening 4:

$$a) P = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot (1073)^4 = 30 \text{ W}$$

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{30 \text{ W}}{4 \cdot 3,14 \cdot (0,50)^2} = 9,6 \text{ W/m}^2$$

$$b) I = \frac{P}{A} = \frac{30 \text{ W}}{0,40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 7,5 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$$

$$b) I = \sigma \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (1074)^4 = 7,5 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$$

(kan ook zo ↗)

$$I_r = \frac{P_{\text{bron}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.1 Warmtestraling

Bordoeffening 4: Een klein glazen bolletje ($A = 0,40 \times 10^{-3} \text{ m}^2$) heeft een temperatuur van 800°C . Reken uit welke intensiteit je meet:

- op $0,50 \text{ m}$ afstand van het bolletje.
- aan het oppervlak v/h bolletje (kan op 2 manieren).

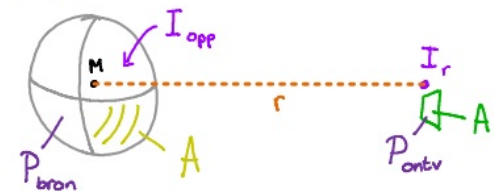


Diagram illustrating the geometry for calculating intensity I_r at a distance r from the sphere. The sphere has radius r and surface area A . A point M is marked on the surface. A dashed line of length r extends from the center to a point on the surface. A small area element A is shown on the surface. A point P is shown at a distance r from the center, with a small area element A .

Formulas and constants:

- $\lambda_{\text{max}} \cdot T = b_W$
- $I_{\text{opp}} = \sigma \cdot T^4$
- $P_{\text{bron}} = I_{\text{opp}} \cdot A$
- $I_r = \frac{P_{\text{bron}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$
- $P_{\text{ontv}} = I_r \cdot A$
- $P_{\text{bron}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A$

Constants:

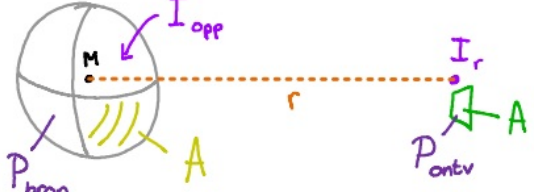
- constante v. Wien: $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$
- $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$
- $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ of $4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$

$$a) P = \sigma \cdot T^4 \cdot A \rightarrow \sigma = \frac{P}{T^4 \cdot A}$$

$$[\sigma] = \frac{[P]}{[T]^4 \cdot [A]} \rightarrow [\sigma] = \frac{W}{K^4 \cdot m^2}$$

$$b) \lambda_{\max} = \frac{k_w}{T} = \frac{2,978 \cdot 10^{-3}}{520 \cdot 10^6} = 5,57 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

- 6 a Leidt de eenheid van σ af met behulp van de wet van Stefan-Boltzmann.
- b Bij kernfusie worden stoffen zo heet dat een zogenaamd plasma ontstaat. De hoogste temperatuur die hierbij ooit is bereikt is 520 miljoen kelvin. Bepaal met *Binas* en een berekening welk type straling bij deze temperatuur het meest wordt uitgezonden.
- c Bereken de intensiteit van de straling die het plasma uitzendt bij $T = 150 \cdot 10^6 \text{ K}$.
- d Het plasma in een kernfusiereactor heeft de vorm van een torus (autoband). Het heeft een stralend oppervlak van 153 m^2 . Op welke afstand van het plasma is de intensiteit gelijk aan $1,0 \text{ kW/m}^2$?
- e Noem een oorzaak waarom deze afstand in werkelijkheid kleiner is.



$\lambda_{\max} \cdot T = k_w$
 $P_{\text{bron}} = I_{\text{opp}} \cdot A$
 $P_{\text{ontv}} = I_r \cdot A$

$I_{\text{opp}} = \sigma \cdot T^4$
 $I_r = \frac{P_{\text{bron}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$

constante v. Wien:
 $2,978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ of $4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$
 $P_{\text{bron}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A$

§ 12.1 Warmtestraling

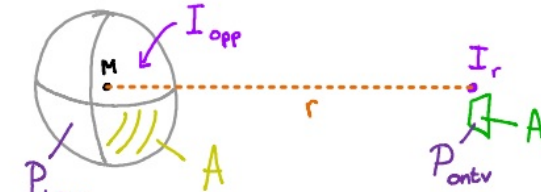
Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.1

b) $\lambda_{\max} = \frac{k_w}{T} = \frac{2,978 \cdot 10^{-3}}{520 \cdot 10^6} = 5,57 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

c) $I_{\text{opp}} = \sigma \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (150 \cdot 10^6)^4$
 $= 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 150^4 \cdot (10^6)^4$
 $= 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 5,06 \cdot 10^8 \cdot 10^{24}$
 $= 28,7 \cdot 10^{24} \text{ W/m}^2$

- 6 a Leidt de eenheid van σ af met behulp van de wet van Stefan-Boltzmann.
- b Bij kernfusie worden stoffen zo heet dat een zogenaamd plasma ontstaat. De hoogste temperatuur die hierbij ooit is bereikt is 520 miljoen kelvin. Bepaal met *Binas* en een berekening welk type straling bij deze temperatuur het meest wordt uitgezonden.
- c Bereken de intensiteit van de straling die het plasma uitzendt bij $T = 150 \cdot 10^6 \text{ K}$.
- d Het plasma in een kernfusiereactor heeft de vorm van een torus (autoband). Het heeft een stralend oppervlak van 153 m^2 . Op welke afstand van het plasma is de intensiteit gelijk aan $1,0 \text{ kW/m}^2$?
- e Noem een oorzaak waarom deze afstand in werkelijkheid kleiner is.



$\lambda_{\max} \cdot T = k_w$
 $P_{\text{bron}} = I_{\text{opp}} \cdot A$
 $P_{\text{ontv}} = I_r \cdot A$

$I_{\text{opp}} = \sigma \cdot T^4$
 $I_r = \frac{P_{\text{bron}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$

constante v. Wien:
 $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ of $4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
 $P_{\text{bron}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$

a. afgestaan door lichaam:

$$\begin{aligned}
 P &= \sigma \cdot T^4 \cdot A \\
 &= 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (306)^4 \cdot 1,8 \text{ m}^2 \\
 &= 895 \text{ W}
 \end{aligned}$$

b. opgenomen uit omgeving:

- 7 Een menselijk lichaam is geen perfecte straler, maar zendt 97% van de theoretische maximale straling uit. Een gemiddelde leerling straalt 870 W uit bij een huidtemperatuur van 33 °C. $\rightarrow = 306 \text{ K}$
- a Toon aan dat hier uitgegaan is van een lichaamsoppervlak van 1,8 m².
- b Het lichaamsoppervlak ontvangt ook warmtestraling van zijn omgeving. Bereken het netto verlies aan stralingsvermogen. Ga uit van een omgevingstemperatuur van 20 °C.

$\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_W$
 $P_{\text{bron}} = I_{\text{opp}} \cdot A$
 $P_{\text{ontv}} = I_r \cdot A$

$I_{\text{opp}} = \sigma \cdot T^4$
 $I_r = \frac{P_{\text{bron}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$

constante v. Wien:
 $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ of $4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$
 $P_{\text{bron}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A$

§ 12.1 Warmtestraling

- 8 De glasblazer in figuur 12.12 heeft 3,6 kg glas ($\rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) op een temperatuur van 917°C gebracht.

a Bereken het uitgestraalde vermogen van het glas. Ga ervan uit dat het glas een massieve, bolvormige straler is. Gebruik:

$$V_{\text{bol}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ en } A_{\text{bol}} = 4 \pi r^2$$

$$P = ?$$

a.

$$\text{glas, } \rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$T = 917^\circ\text{C} = 1190 \text{ K}$$

$$m = 3,6 \text{ kg}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho}$$

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

eerst A te weten
komen via $V \rightarrow r \rightarrow A$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{3,6 \text{ kg}}{2,5 \cdot 10^3} = 0,00144 \text{ m}^3$$

$$0,00144 = 1,33 \cdot 3,14 \cdot r^3$$

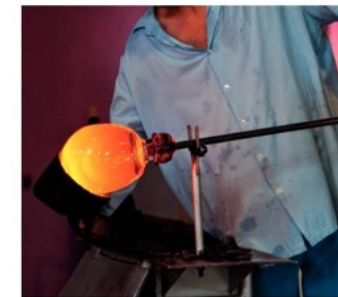
$$r = \left(\frac{0,00144}{1,33 \cdot 3,14} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,070 \text{ m}$$

$$A = 4 \cdot 3,14 \cdot (0,070)^2 = 0,062 \text{ m}^2$$

$$P = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,062 \cdot (1190)^4 = 7,1 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Opgaven bij § 12.1

- b Schat de afstand tot het hoofd van de glasblazer en bereken hiermee de stralingsintensiteit bij zijn gezicht.
c Bij het bewerken is de intensiteit ter hoogte van de hand van de glasblazer $370 \times$ groter dan bij toeschouwers die zich op 4,0 m afstand bevinden. Op welke afstand van het glas houdt de glasblazer zijn hand?

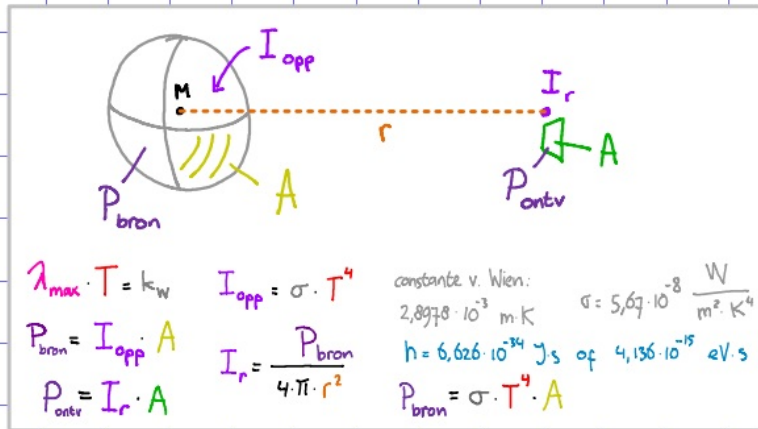


▲ Figuur 12.12 Glasblazer

§ 12.1 Warmtestraling

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.1



b.

$$P = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,062 \cdot (1190)^4 = 7,1 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$I_r = \frac{7,1 \cdot 10^3 \text{ W}}{4 \cdot \pi \cdot (0,5 \text{ m})^2} = 2,2 \text{ kW/m}^2$$

- 8 De glasblazer in figuur 12.12 heeft 3,6 kg glas ($\rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) op een temperatuur van 917°C gebracht.
- a Bereken het uitgestraalde vermogen van het glas. Ga ervan uit dat het glas een massieve, bolvormige straler is. Gebruik:

$$V_{\text{bol}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ en } A_{\text{bol}} = 4 \pi r^2$$

- b Schat de afstand tot het hoofd van de glasblazer en bereken hiermee de stralingsintensiteit bij zijn gezicht.
- c Bij het bewerken is de intensiteit ter hoogte van de hand van de glasblazer $370 \times$ groter dan bij toeschouwers die zich op $4,0 \text{ m}$ afstand bevinden. Op welke afstand van het glas houdt de glasblazer zijn hand?

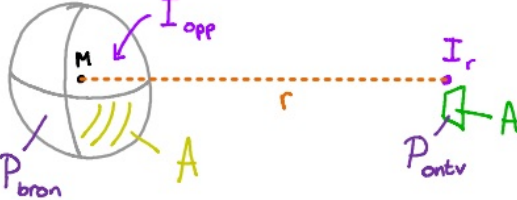


▲ Figuur 12.12 Glasblazer

§ 12.1 Warmtestraling

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.1



$\lambda_{\max} \cdot T = k_W$
 $P_{\text{bron}} = I_{\text{opp}} \cdot A$
 $P_{\text{ontv}} = I_r \cdot A$
 $I_{\text{opp}} = \sigma \cdot T^4$
 $I_r = \frac{P_{\text{bron}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$
 $P_{\text{bron}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A$

constante v. Wien:
 $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ of $4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$

c. $P_{\text{bron}} = I_r \cdot 4\pi r^2$

$I_{r, \text{hand}} \cdot \cancel{4\pi} \cdot (r_{\text{hand}})^2 = I_{r, \text{toes}} \cdot \cancel{4\pi} \cdot (r_{\text{toe}})^2$
 $370 \cdot \cancel{I_{r, \text{toes}}} \cdot (r_{\text{hand}})^2 = \cancel{I_{r, \text{toes}}} \cdot (4,0 \text{ m})^2$

- 8 De glasblazer in figuur 12.12 heeft 3,6 kg glas ($\rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) op een temperatuur van 917°C gebracht.
- a Bereken het uitgestraalde vermogen van het glas. Ga ervan uit dat het glas een massieve, bolvormige straler is. Gebruik:

$$V_{\text{bol}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ en } A_{\text{bol}} = 4\pi r^2$$

- b Schat de afstand tot het hoofd van de glasblazer en bereken hiermee de stralingsintensiteit bij zijn gezicht.
- c Bij het bewerken is de intensiteit ter hoogte van de hand van de glasblazer $370 \times$ groter dan bij toeschouwers die zich op 4,0 m afstand bevinden. Op welke afstand van het glas houdt de glasblazer zijn hand?



▲ Figuur 12.12 Glasblazer

- 9 Lees bron 4.
- a Leg uit waarom de draad heter is op plaatsen waar wolfram verdampt is.
 - b Leg uit dat het Van Arkel-De Boerproces leidt tot een langere levensduur van de lamp.
 - c Waardoor leidt het verdampen van wolfram bij een gewone gloeilamp tot een afnemende lichtopbrengst?
 - d De absolute temperatuur van een halogeenlamp is $1,3 \times$ zo groot als die van een gloeilamp. Harrie zegt: "Een hogere temperatuur kost meer energie: het rendement is dus lager." Leg uit dat dit niet waar is.
 - e Voor de halogeenlamp geldt: $\lambda_{\text{max}} = 707 \text{ nm}$. Bereken λ_{max} van de gloeilamp.
 - f Leg uit waarom een halogeenlamp witter is dan een gloeilamp.

§ 12.2 Fotonen

5. Sommige verschijnselen zijn het beste te verklaren door je licht voor te stellen als een **stroom van deeltjes, fotonen genaamd**. Deze deeltjes dragen energie met zich mee die afhangt van de golflengte van

het licht: $E = h \cdot f$ of: $E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$

energie van één foton (J) $\uparrow$ constante van Planck: $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ $\uparrow$ frequentie v.h. licht (Hz) $\uparrow$ golflengte (m) $\rightarrow \lambda$

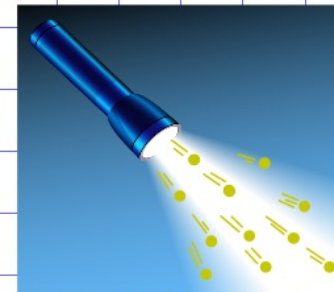
Bordoeffening 5:

$$a) E = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2,99 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} = 4,95 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,1 \text{ eV}$$

$$b) E = h \cdot f = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 98 \cdot 10^6 = 6,5 \cdot 10^{-26} \text{ J} = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ eV}$$

$$(c) E = 3,96 \cdot 10^{-14} \text{ J} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ eV}$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica



$$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



Figuur 9.27 Het elektromagnetisch spectrum

Bordoeffening 5: Reken de energie (in J en in eV) van een foton uit van straling met golflengte of frequentie:

a. 400 nm b. $0,80 \text{ MHz}$ c. $5,0 \text{ pm}$

Photoelectric effect (PhET) $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Het **foto-elektrisch effect**: licht kan elektronen losmaken uit metaal. Let op:

- de *lichtintensiteit* bepaalt alleen *hoeveel elektronen* per seconde vrij kunnen komen, niet *of* er elektronen vrij
- er komen alleen elektronen vrij als het licht van een **grensgolflengte** of kleiner is (dus een minimale energie per foton heeft, genaamd de **uittree-energie** van het metaal). *→ binas, tabel 24*

$$E = h \cdot f \quad E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{E}$$

energie van een foton

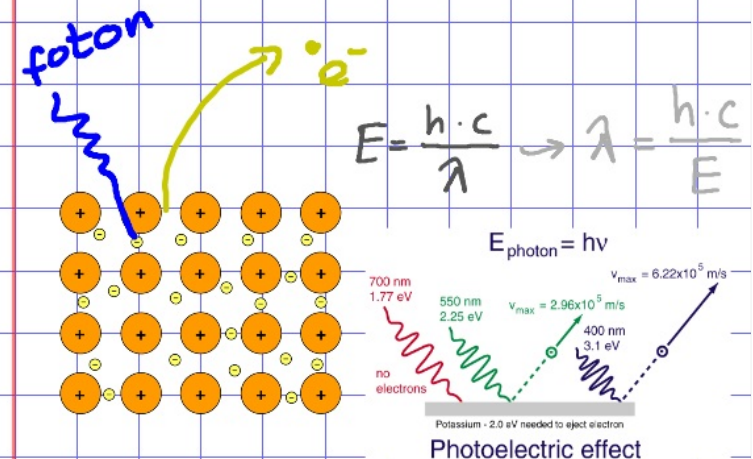
Bordoeffening 6:

a) ijzer, $E_{\text{uit}} = 4,63 \text{ eV}$ $\lambda_g = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{(4,63 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})} = 268 \text{ nm}$

b) kalium, $E_{\text{uit}} = 2,25 \text{ eV}$ $\lambda_g = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{(2,25 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})} = 551 \text{ nm}$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.2 Fotonen



Bordoeffening 6: Zoek de uittree-energie op van deze metalen en reken de grensgolflengte uit:

a. ijzer b. kalium

Bordoeffening 7: Op een plaatje zink valt licht met een golflengte van 172 nm. Reken uit met welke kinetische energie de elektronen dan maximaal vrijkomen.

Photoelectric effect (PhET)

Het **foto-elektrisch effect**: licht kan elektronen losmaken uit metaal. Let op:

- de *lichtintensiteit* bepaalt alleen *hoeveel elektronen* per seconde vrij kunnen komen, niet *of* er elektronen vrij
- er komen alleen elektronen vrij als het licht van een **grensgolflengte** of kleiner is (dus een minimale energie per foton heeft, genaamd de **uittree-energie** van het metaal). *→ binas, tabel 24*

Bordoeffening 6:

a) ijzer, $E_{\text{uittree}} = 4,63 \text{ eV}$ $\lambda_g = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{(4,63 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})} = 268 \text{ nm}$

b) kalium, $E_{\text{uittree}} = 2,25 \text{ eV}$ $\lambda_g = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{(2,25 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})} = 551 \text{ nm}$

- als het licht van een kleinere golflengte is dan nodig (dus meer energie per foton dan nodig) wordt de **resterende energie omgezet in E_K van het elektron**.

$$E_{K, \text{max}} = E_{\text{foton}} - E_{\text{uittree}}$$

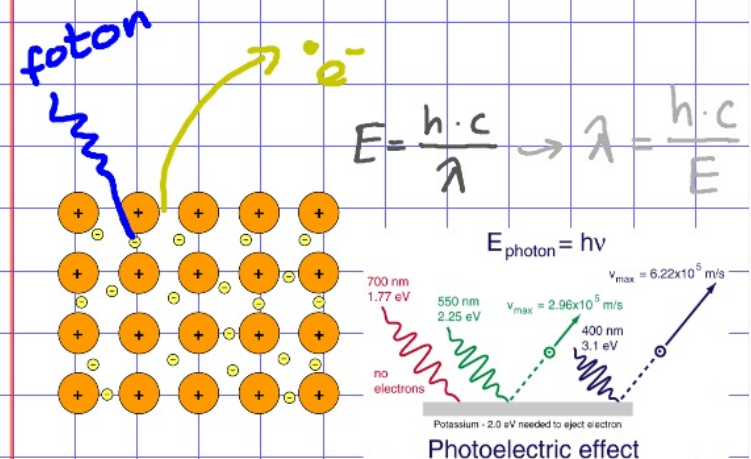
Bordoeffening 7:

$$E_{\text{fot}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot \left(\frac{2,99 \cdot 10^8}{172 \cdot 10^{-9}} \right) = 1,15 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 7,20 \text{ eV}$$

$$E_{K, \text{max}} = 7,20 \text{ eV} - 4,27 \text{ eV} = 2,93 \text{ eV} = 4,67 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.2 Fotonen



Bordoeffening 6: Zoek de uittree-energie op van deze metalen en reken de grensgolflengte uit:

a. ijzer b. kalium

Bordoeffening 7: Op een plaatje zink valt licht met een golflengte van 172 nm. Reken uit met welke kinetische energie de elektronen dan maximaal vrijkomen.

Photoelectric effect (PhET)

$$c = 3,00 \cdot 10^8$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$$

b. $2,28 \text{ eV}$

c. $2,28 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,648 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{E}$$

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{3,648 \cdot 10^{-19}} = 5,44 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$= 544 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 544 \text{ nm}$$

Niet, opg: 4,9, 12, 18c, 19, 20

- 10 a Wat betekent het begrip uittree-energie?
b Zoek in *Binas* de uittree-energie van natrium op.
c Welke golflengte mag een foton maximaal hebben om een elektron uit een plaatje natrium los te maken?
d Waarom staat er bij vraag c maximaal?
e Leg uit wat grensgolflengte betekent.
f Leg uit hoe je uit bron 5 kunt concluderen dat fotonen niet samen kunnen werken om een elektron los te maken.
- 11 Werkt de proef uit bron 5 ook met een positief geladen elektroscop? Leg uit.



▲ **Figuur 12.16** Natrium straatverlichting

12 Natriumlampen worden onder meer gebruikt in straatlantaarns (figuur 12.16). Ze zenden licht uit met een golflengte van 590 nm.

a Het menselijk oog is het meest gevoelig voor golflengtes van 500 nm tot 600 nm en ziet in dit golflengtegebied het meeste contrast. Leg uit dat de natriumlantaarns een veilige keuze zijn.

~~✓~~ Leg uit waarom skibrillen oranje zijn als je er doorheen kijkt.

a. $3,26 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 5,216 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
per foton

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{5,216 \cdot 10^{-19}} = 3,81 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$= 381 \text{ nm}$$

b. Calcium, $E_{\text{uitree}} = 3,20 \text{ eV} \rightarrow \lambda_g = 387 \text{ nm}$

c. Cesium, $\lambda_g = 639 \text{ nm}$

13 De maximale energie waarvoor het menselijk oog gevoelig is, is ongeveer 3,26 eV.

a Bereken de bijbehorende golflengte.

b Leg uit of je met zichtbaar licht elektronen uit calcium kunt vrijmaken.

c Welke stof uit de gebruikte Binas-tabel zal de meeste elektronen per seconde uitzenden bij daglicht? Leg uit.

400 - 780 nm

- 14 Een oogarts kan een losgeraakt netvlies met laserpulsen weer vastzetten. Hij gebruikt laserpulsen van 20 ms en een gemiddeld vermogen van 0,70 W per puls. De golflengte van de laser is 645 nm.

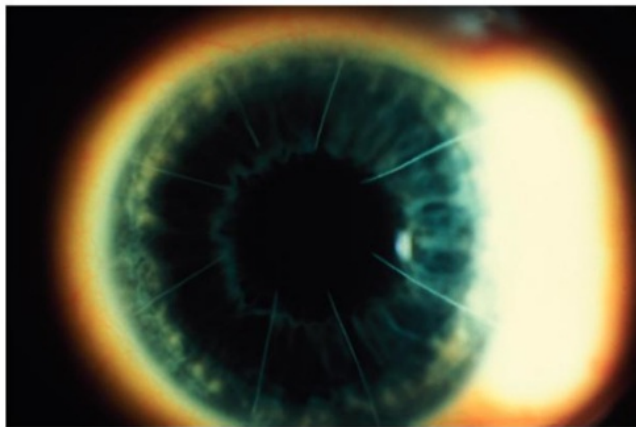
a Bereken hoeveel energie er per puls wordt geproduceerd.

b Bereken hoeveel fotonen er per puls worden verstuurd.

$$E = P \cdot t = 0,70 \text{ W} \cdot 0,020 \text{ s} = 0,014 \text{ J}$$

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2,99 \cdot 10^8}{645 \cdot 10^{-9}} = 3,08 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\frac{0,014 \text{ J}}{3,08 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 4,5 \cdot 10^{16} \text{ fotonen per puls}$$



▲ Figuur 12.17 Keratotomie

§ 12.2 Fotonen

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.2

c Oogartsen gebruiken ook lasers om kleine sneetjes in het hoornvlies te maken van mensen die bijziend zijn. Het sneetje ontstaat door absorptie van straling. De benodigde energie per cm^2 om tot een diepte van $1\text{ }\mu\text{m}$ te snijden is gelijk aan E^* . De sneetjes in figuur 12.17 hebben een diepte d . Als de laser is ingeschakeld, zendt hij pulsen uit met een frequentie f en met een pulsduur Δt . Het vermogen per cm^2 van de uitgezonden laserstraling tijdens zo'n puls noemen we I (intensiteit).

De tijd dat de laser aan moet staan (t_{laser}) hangt af van de grootheden f , Δt , I , d en E^* .

Geef aan of t_{laser} groter of kleiner moet zijn als f groter wordt gekozen.

d Geef achtereenvolgens ook aan of t_{laser} groter of kleiner moet zijn als Δt groter wordt gekozen, als I groter wordt gekozen, als d groter wordt gekozen of als E^* groter is (naar examen vwo 2000-I).



c. en d.

t_{laser} moet groter zijn voor grote:

d en E^*

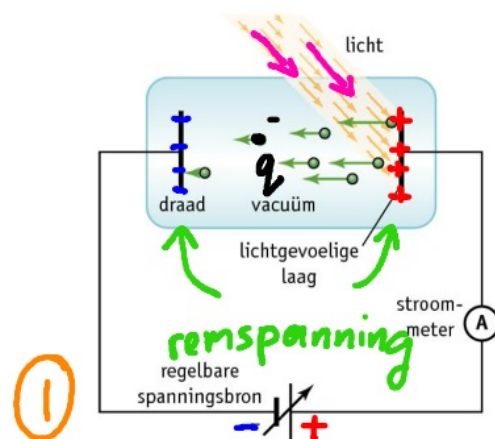
t_{laser} kan kleiner zijn voor grote:

Δt en I en f

$$\hookrightarrow E = h \cdot f$$

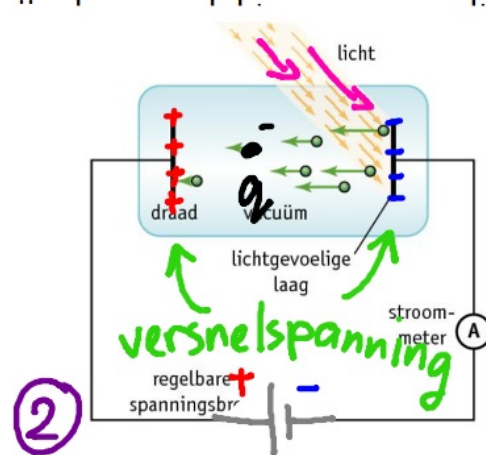
6. De **fotocel** kan op twee manieren geschakeld

- de regelbare spanningsbron heeft de **minpool links** en levert zo een remspanning die de vrijgekomen



▲ **Figuur 12.19** Meten van de fotostroom

- de regelbare spanningsbron heeft de **minpool rechts** en levert zo een versnelspanning die de



▲ **Figuur 12.19** Meten van de verzadigingsstroom

Bordoeffening 8:

$$\Delta E = U \cdot q \rightarrow U = \frac{\Delta E}{q}$$

$$U = \frac{2,93 \text{ eV}}{1 \text{ e}} = 2,93 \text{ V} \quad U = \frac{4,67 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 2,93 \text{ V}$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.2 Fotonen

LET OP, verschil tussen PhET-animatie en de werkelijkheid:
In het echt vliegen alle vrijgemaakte elektronen alle kanten op en dus niet per sé recht op de +-draad (de kathode) af. Daarom treedt pas "verzadiging" op als er voldoende versnelspanning is.

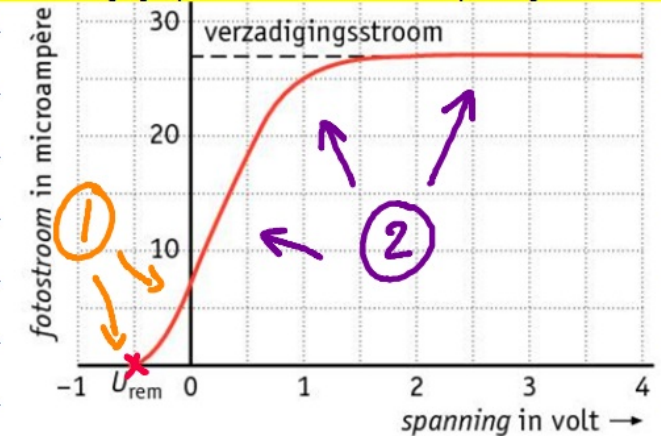


fig. 12.20 (blz. 168)

Bordoeffening 8: Reken uit welke remspanning nodig is om het elektron uit bordoeffening 7 zodanig af te remmen dat het de draad aan de overkant niet bereikt.

Photoelectric effect (PhET)

a. $E_{\text{uit, zink}} = 4,27 \text{ eV}$

$$E_{\text{foton}} = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{195 \cdot 10^{-9}} = 1,019 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 6,36 \text{ eV}$$

$$E_k = E_{\text{fot}} - E_{\text{uit}} = 6,36 \text{ eV} - 4,27 \text{ eV} = 2,09 \text{ eV}$$

b. $E_k = U_{\text{rem}} \cdot q \rightarrow U_{\text{rem}} = \frac{E_k}{q} = \frac{2,09 \text{ eV}}{1,0 \text{ e}} = 2,09 \text{ V}$

15 Op een plaatje zink valt straling met een golflengte van 195 nm.

- a Bereken met behulp van *Binas* de energie waarmee de elektronen het zink verlaten.
- b Welke remspanning is nodig om de vrijgemaakte elektronen te stoppen?
- c Leg uit waardoor de fotostroom stopt als de fotocel niet in een stroomkring is opgenomen.

- 16 In welke situatie is de energie van de vrijgemaakte elektronen het grootst?
- A Licht met een grote golflengte laten vallen op een metaal met een grote grensfrequentie.
 - B Licht met een kleine golflengte laten vallen op een metaal met een grote grensfrequentie.
 - C Licht met een grote golflengte laten vallen op een metaal met een kleine grensfrequentie.
 - D Licht met een kleine golflengte laten vallen op een metaal met een kleine grensfrequentie.

dus fotonen met
veel energie

→ dus grote grensgolflengte

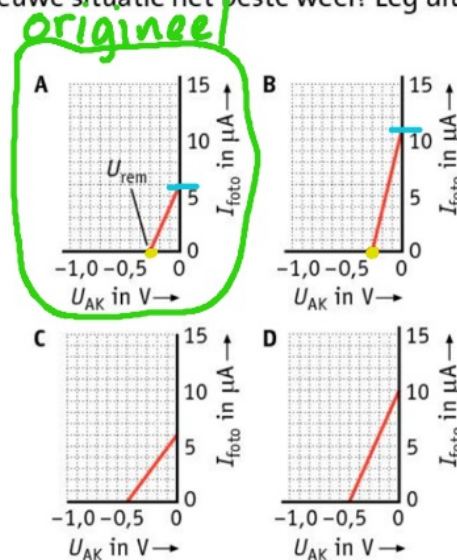
want: $f = \frac{c}{\lambda}$

§ 12.2 Fotonen

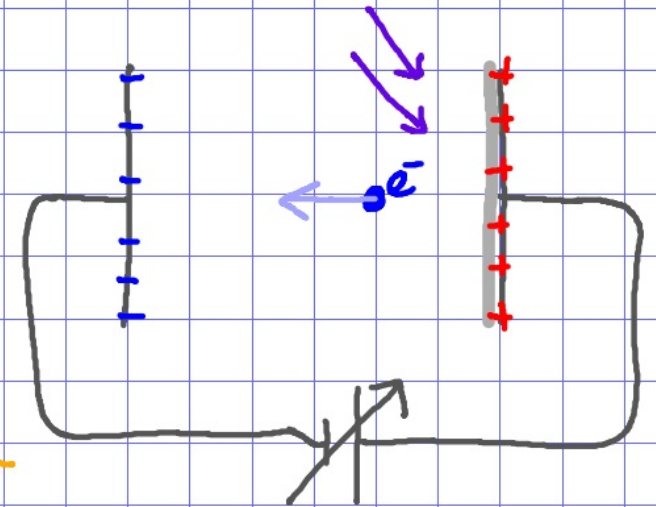
Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.2

- 17 Grafiek A in figuur 12.21 geeft de remspanning weer bij een fotocel en een lage lichtintensiteit. De grafiek verandert als de intensiteit van het gebruikte licht groter wordt. Welke van de drie andere grafieken geeft die nieuwe situatie het beste weer? Leg uit.



▲ Figuur 12.21



dus grafiek B

*dus wel zelfde
maximale
 U_{rem}*

*dus meer
fotonen*

*wel zelfde max.
energie
per foton*

- 18 Maurits doet onderzoek aan een fotocel waarvan de kathode bedekt is met een laagje cesium. Hij beschijnt de fotocel met een lichtbron die hij op 11 cm plaatst. De remspanning is 0,59 V.

$$(U = -0,59 \text{ V})$$

- a Bereken de golflengte van het gebruikte licht.
 b Maurits verhoogt nu de spanning tot hij geen toename van de fotostroom meer waarneemt. Dat is bij (+) 4,0 V. De fotostroom is dan $9,0 \mu\text{A}$. Bereken het aantal geabsorbeerde fotonen per seconde.
 x Bereken op welke afstand Maurits de lichtbron moet zetten om een fotostroom van $3,0 \mu\text{A}$ te meten. Gebruik de kwadratenwet.

a) cesium, $E_{\text{uit}} = 1,94 \text{ eV}$

dus $E_{\text{fot}} = 1,94 \text{ eV} + 0,59 \text{ eV} = 2,53 \text{ eV}$
 $= 4,053 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$\lambda = 490 \text{ nm}$ ← $E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$

b)
$$\left. \begin{array}{l} 9,0 \cdot 10^{-6} \text{ C per seconde} \\ 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C per elektron} \end{array} \right\} \frac{9,0 \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 5,6 \cdot 10^{13} \text{ elektronen}$$

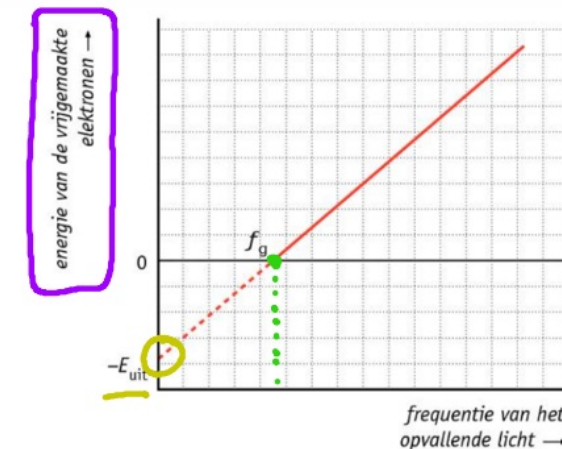
§ 12.2 Fotonen

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.2

7 Bepaling van de constante van Planck

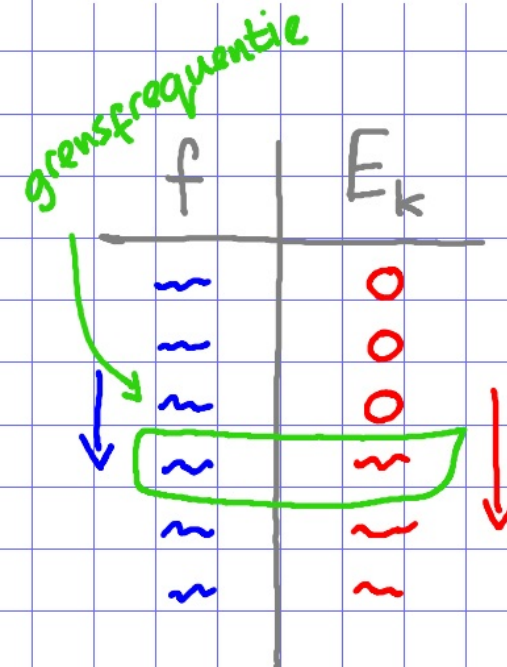
De constante van Planck kan met een fotocel op de volgende manier bepaald worden. Op een fotocel laat je licht vallen van verschillende frequenties. Bij elke frequentie bepaal je de remspanning. Uit de remspanning is de energie te berekenen van de vrijgemaakte elektronen. In figuur 12.23 staat een grafiek die op deze manier is gemaakt. De rode doorgetrokken lijn laat zien dat de energie van de vrijgemaakte elektronen toeneemt als de frequentie van het opvallende licht toeneemt. De minimale frequentie van het licht waarbij de fotonen nog elektronen kunnen vrijmaken, heet de grensfrequentie f_g . De relatie $E_k = h \cdot f - E_{uit}$ is de vergelijking voor de lijn in de grafiek. Het hellingsgetal is gelijk aan de constante van Planck en het snijpunt met de verticale as is de uittree-energie.



▲ Figuur 12.23

19 Lees bron 7.

- Neem de grafiek in figuur 12.23 over en teken hierin de lijn die hoort bij een stof met een grotere grensgolflengte.
- Laat zien dat voor beide lijnen geldt: $h \cdot f_g = E_{uit}$



$$E_{k, \max} = E_{\text{fot}} - E_{\text{uit}}$$

$$\rightarrow \Delta E = U \cdot q$$

$$E_k = h \cdot f - E_{\text{uit}}$$

§ 12.2 Fotonen

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.2

20 Een manier om de constante van Planck te bepalen is gebruik te maken van leds. Een led is een diode die in de doorlaatrichting niet alleen de stroom goed geleidt, maar ook licht uitzendt. Elke diode en dus ook een led, heeft een drempelspanning. De led gaat pas geleiden als de spanning over de diode groter is dan de drempelspanning. De kleur van het licht dat de diode uitzendt, hangt samen met de drempelspanning. Een led met een drempelspanning van 1,5 V zendt fotonen uit met een energie van 1,5 eV. De golflengtes van het uitgezonden licht kunnen bepaald worden. Bij het experiment met de drie diodes levert dat de meetwaarden uit tabel 12.22 op.

diode	U_{drempel} in V	golflengte in nm
rood	1,6	780
geel	2,2	570
blauw	2,6	470

▲ **Figuur 12.22**

- a Zet in een grafiek de energie van de fotonen (in eV) uit tegen de frequentie van het licht van de diode.
- b Bepaal uit je grafiek de constante van Planck. Vergelijk de uitkomst met *Binas*.

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

8. Een **gloeilamp** zendt een **continu spectrum** uit dat uit alle kleuren van de regenboog bestaat en een dominante golflengte heeft (§ 12.1).

Een **gasontladingslamp** zendt maar een paar kleuren uit: een

lijnenspectrum

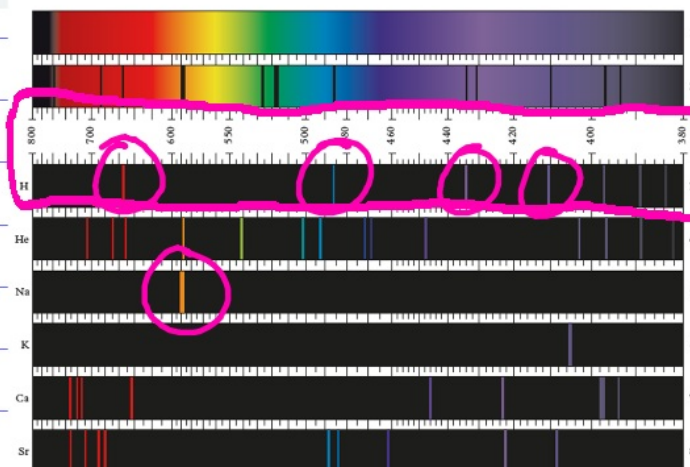
Bordoeffening 9a: Zoek het lijnenspectrum van waterstof op in tabel 20 van binas en noteer de vier golflengten in het zichtbare deel van het spectrum dat dit gas kan uitzenden.

Bordoeffening 9a:

655 nm, 486 nm,
434,2 nm en 410,5 nm



Natriumlamp

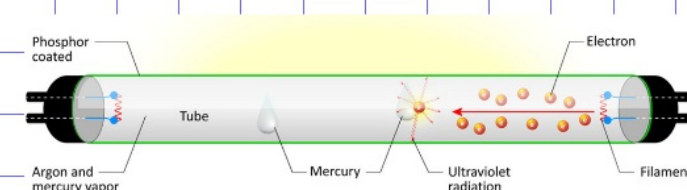


20 Spectraalplaat

Hoofdstuk 12: Atoomfysica



▲ **Figuur 12.25** Twee soorten spectra



Gas discharge lamps (Phet)

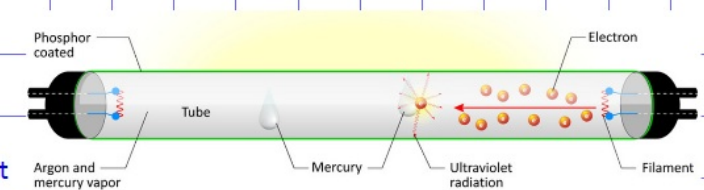


In een gasontladingslamp wordt een **stroom elektronen** door een gas gestuurd. De atomen van het gas **absorberen de kinetische energie van de elektronen** en worden hierdoor **aangeslagen**. Kort naarna keren deze atomen weer terug naar hun **grondtoestand**. Hierbij zenden ze een foton van een specifieke golflengte uit.



Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode



Om het atoom aan te slaan is een **specifieke hoeveelheid energie E** nodig. Deze hoeveelheid energie speelt een rol bij:

- het **aanslaan**: het inkomende elektron moet minstens een kinetische energie ter grootte van **E** hebben. Meer mag ook, het overschot houdt het elektron zelf.
- het **terugvallen** naar de grondtoestand: de uitgezonden fotonen hebben telkens dezelfde hoeveelheid energie **E**, en dus ook telkens dezelfde golflengte. Resultaat: het gas zendt alleen die kleuren (dus golflengten) uit die horen bij **transities tussen de toestanden** waarin het atoom kan verkeren.



Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

De formules uit paragraaf 12.2 zijn van toepassing:

$$E = h \cdot f \quad E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \quad c = 3,00 \cdot 10^8$$

Bordoeffening gb: Bereken

a. de energie die hoort bij de lijn uit het spectrum van waterstof van 434,2 nm.

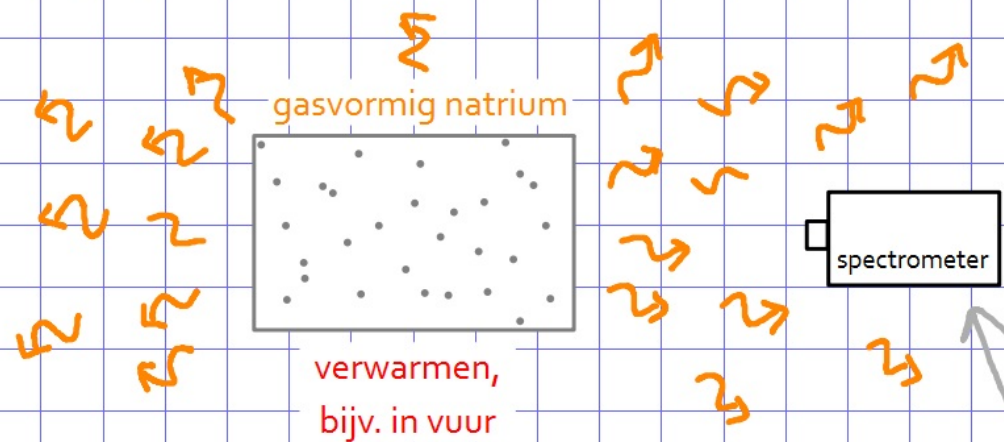
b. de snelheid die een elektron moet hebben om deze energie te kunnen leveren aan het atoom.

$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$

a. $E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 4,58 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

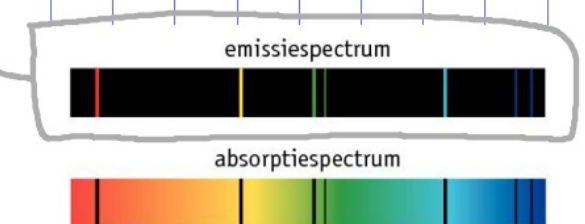
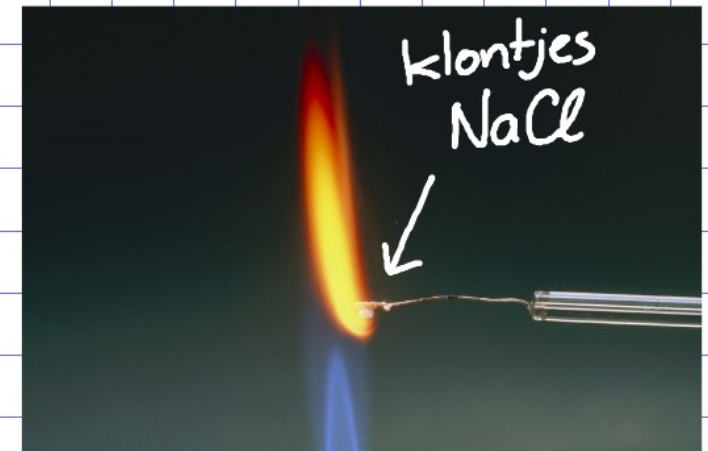
b. $v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_k}{m}} = 1,00 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

Een stof in de gasfase kan ook aangeslagen raken door **thermische beweging** (verwarmen dus). Door botsingen wordt kinetische energie overgedragen. Als deze overdracht groot genoeg is (E) zal één van de atomen aangeslagen kunnen worden.



Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

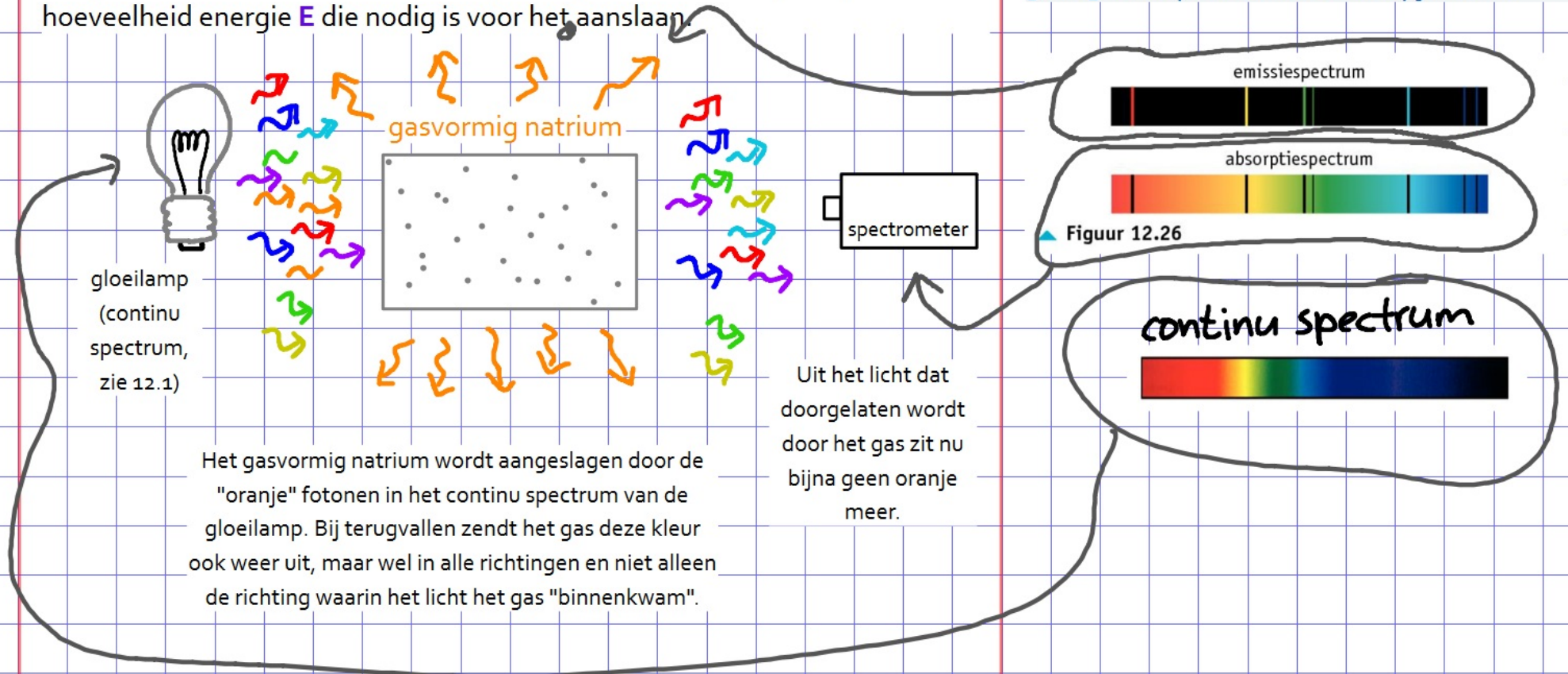


▲ Figuur 12.26

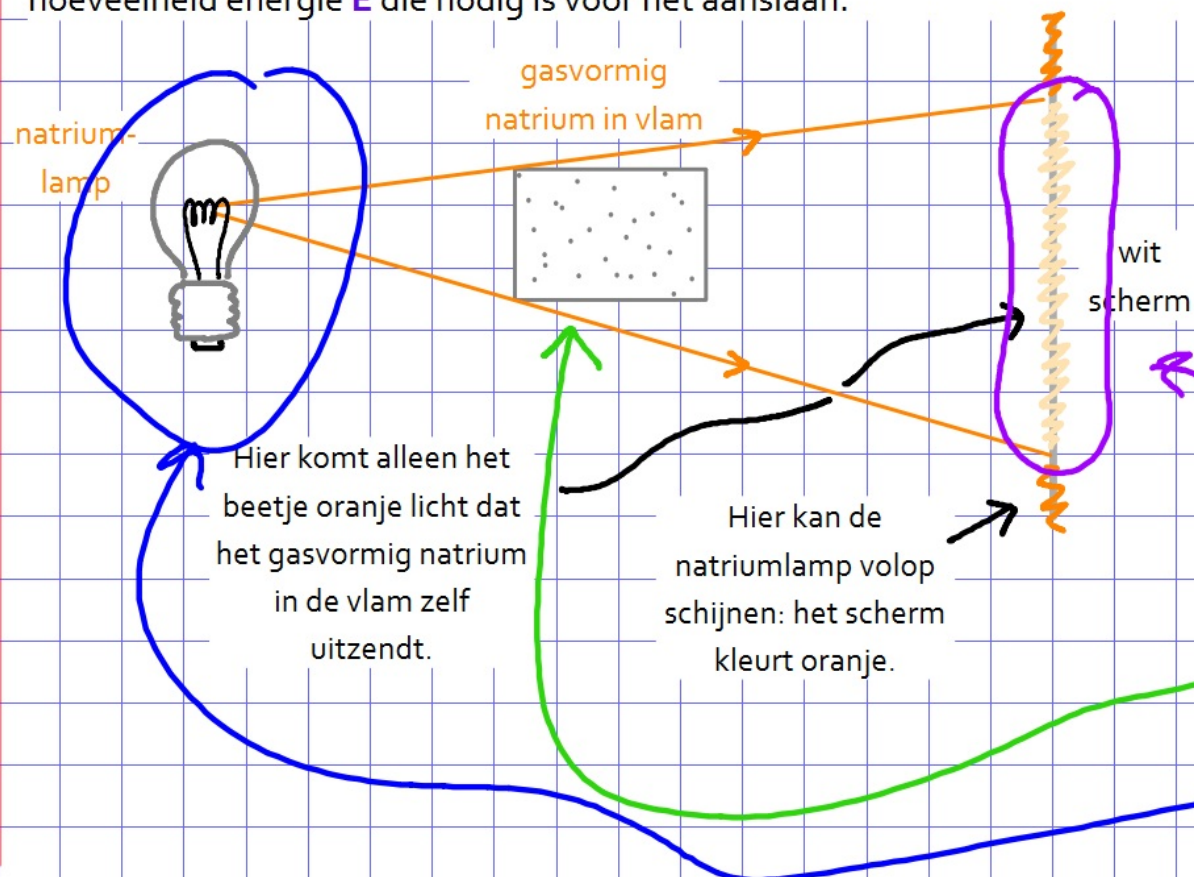
Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

Als een gas wordt blootgesteld aan een breed spectrum van golflengten zal het gas als een **filter** dienen voor de golflengten die horen bij de specifieke hoeveelheid energie E die nodig is voor het aanslaan.

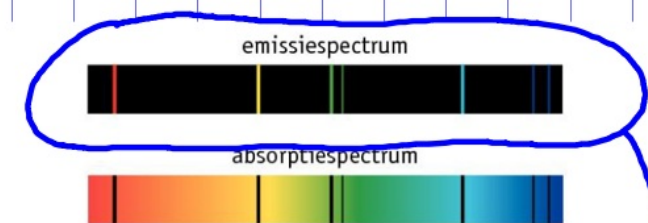


Als een gas wordt blootgesteld aan een breed spectrum van golflengten zal het gas als een **filter** dienen voor de golflengten die horen bij de specifieke hoeveelheid energie **E** die nodig is voor het aanslaan.

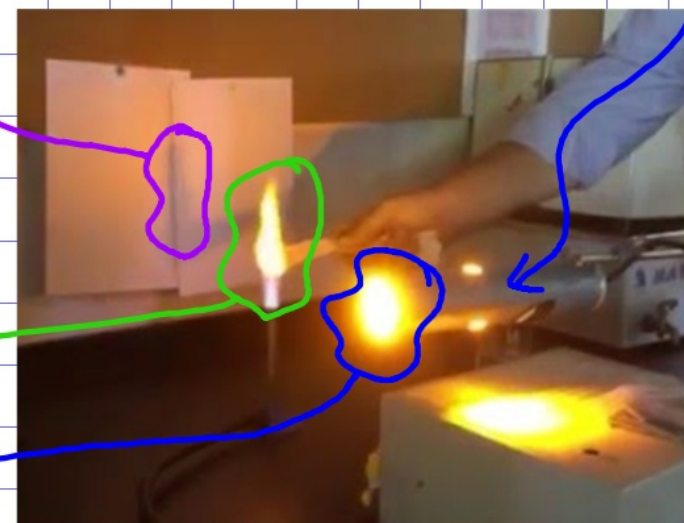


Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode



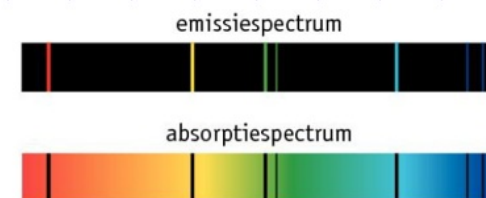
▲ Figuur 12.26





Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode



▲ Figuur 12.26

$$a) \quad E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{541 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 3,67 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$b) \quad = 2,29 \text{ eV}$$

Opdrachten

- 21 In *Binas* staat het lijnenspectrum van helium.
- a Zoek in *Binas* de golflengte op van de geel-groene emissielijn en bereken de energie van het foton dat bij deze lijn hoort in Joule.
 - b Met hoeveel elektronvolt komt dit overeen?

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

22 In bron 8 staan 3 manieren genoemd om atomen aan te slaan.

- a** Op welke twee manieren wordt het natrium uit het keukenzout aangeslagen?
b En het natrium in de lamp?



▲ **Figuur 12.27** De Philips SOX 180W 1SL

- Een natriumlamp (figuur 12.27) zendt voornamelijk twee gele golflengtes uit van 588,995 nm en 589,592 nm. Bereken het verschil in energie tussen de twee bijbehorende fotonen.
- De lumen (afgekort: lm) is een eenheid die iets zegt over de lichtsterkte van een lichtbron. Er geldt ongeveer dat: $1 \text{ lm} \triangleq 1/683 \text{ W}$. De natriumlamp in figuur 12.27 heeft een elektrisch vermogen van 180 W en een lichtopbrengst van 32000 lm. Bereken het rendement.
- Bereken hoeveel natriumatomen er gemiddeld per seconde worden aangeslagen.
- De kortste van de twee genoemde golflengtes wordt tweemaal zo vaak door de lamp uitgezonden als de langste golflengte. Bereken hoeveel fotonen met de kortste golflengte er per seconde worden uitgezonden.

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.3

c) $E_1 = 3,37260 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,10501 \text{ eV}$
 $E_2 = 3,36919 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,10288 \text{ eV}$ } verschil:
 $0,00213 \text{ eV}$

d)

180 W
elektrisch

lamp

$32000 \cdot \frac{1}{683} = 46,8 \text{ W}$

licht

wärme

$$\eta = \frac{46,8}{180} \times 100\% = 26\%$$

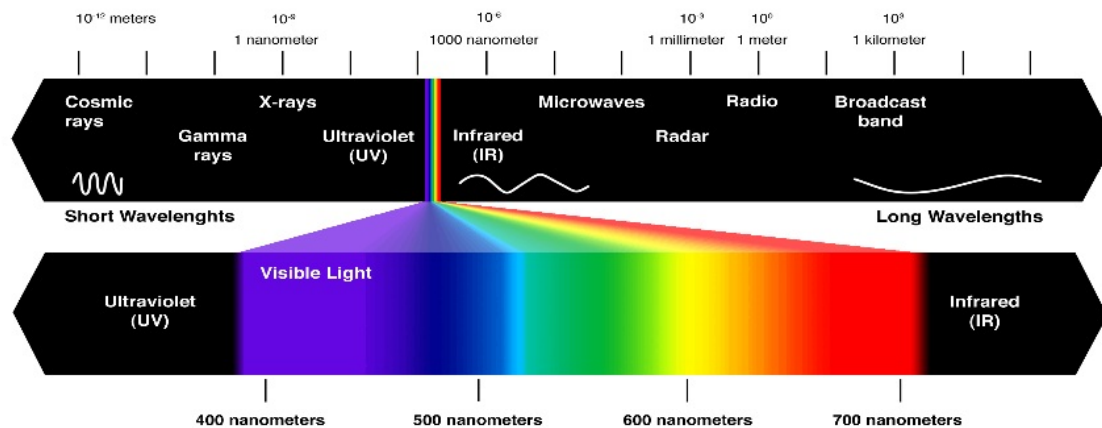
$$e) \frac{46,8 \text{ J/s}}{3,37 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 1,39 \cdot 10^{20} \text{ s}^{-1}$$

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

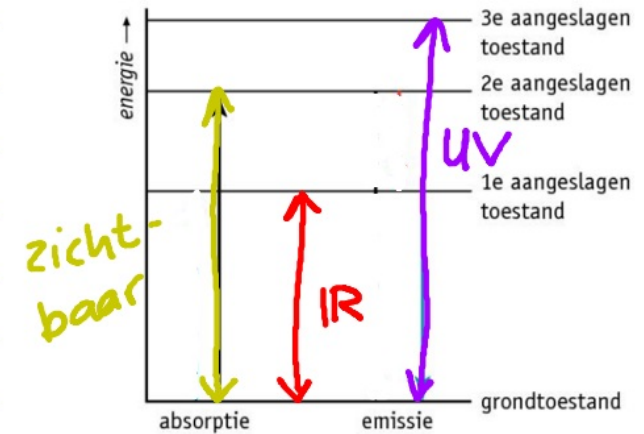
Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.3

- 23 a Denk je dat een stof infrarood licht kan omzetten naar zichtbaar licht?
b En ultraviolet licht naar zichtbaar licht? Leg uit.



← energie per foton
groter



▲ Figuur 12.29 Een energieniveauschema

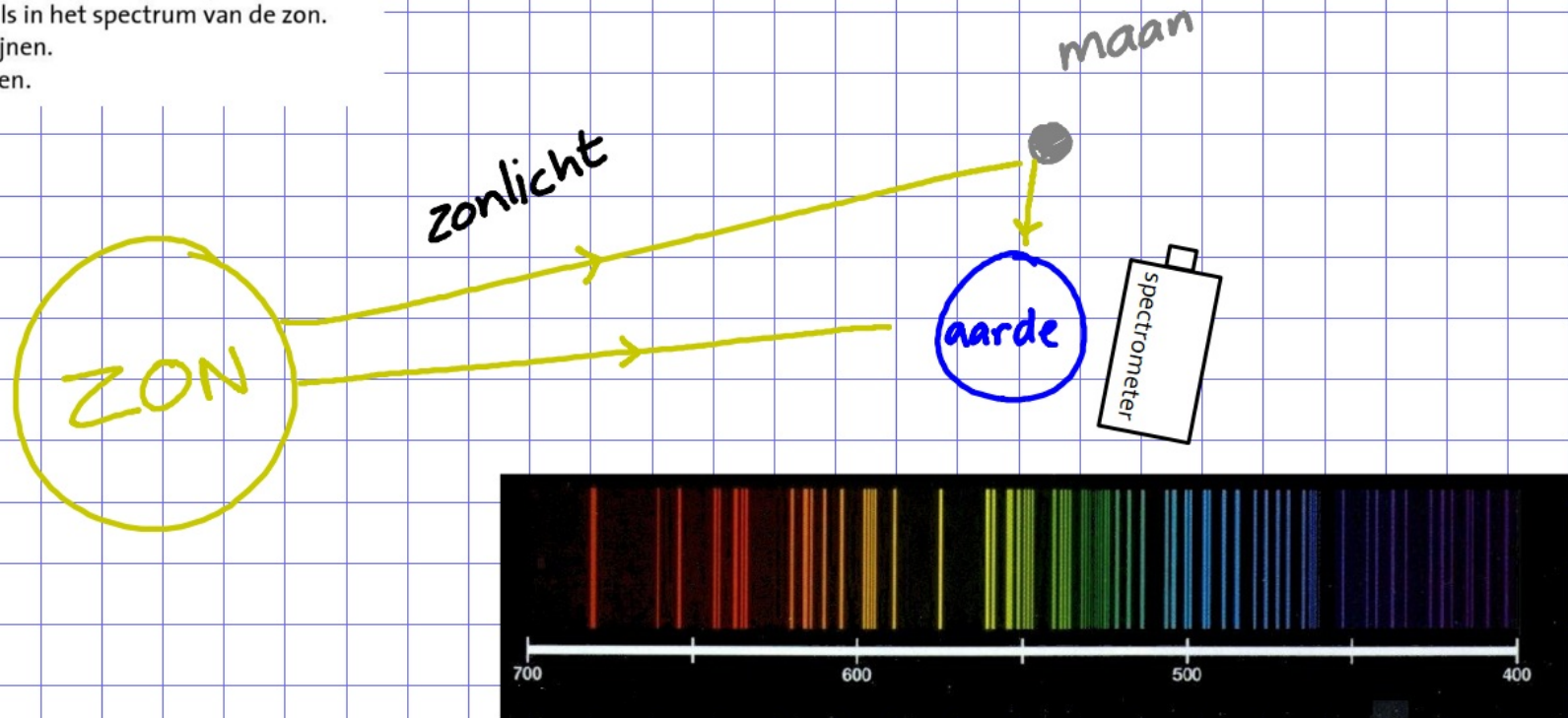


§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.3

- 24 Van het maanlicht kan ook een kleurspectrum worden gemaakt. In dit spectrum zie je:
A dezelfde lijnen als in het spectrum van de zon.
B geen absorptielijnen.
C geen emissielijnen.



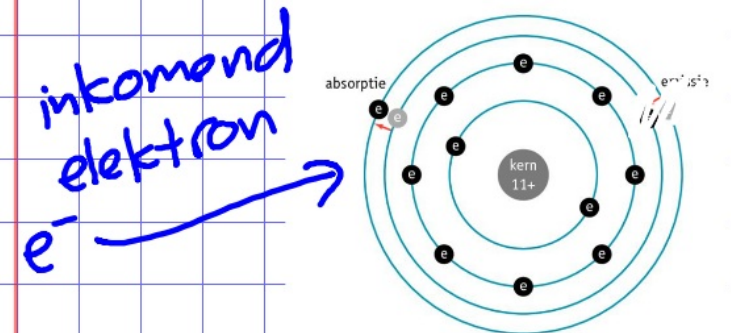
9. Het lijnenspectrum van een gasontladingslamp is te verklaren met het **atoommodel van Bohr**. Kenmerken van dit model:

- elektronen kunnen **alleen in bepaalde banen (of schillen)** om de kern voorkomen, niet daartussen.
- als een atoom aangeslagen wordt springt een elektron **naar een hogere schil** (bovenste figuur rechts). Hier is energie E voor nodig die door een inkomend foton of elektron geleverd moet
- na een korte tijd valt het elektron weer terug naar **een lagere schil**. Hierbij zendt het atoom een foton uit. Dit terugvallen kan in stapjes gebeuren.

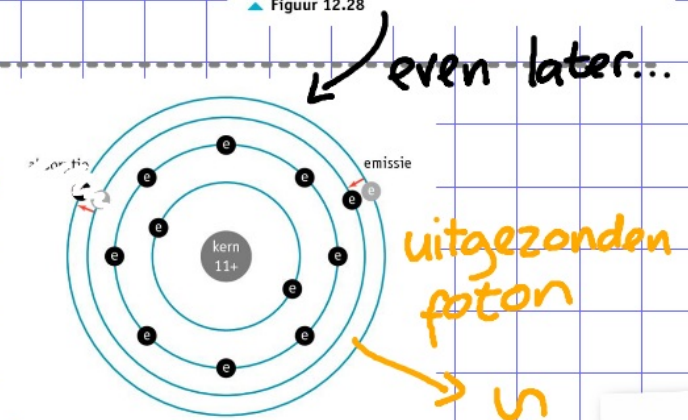


Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

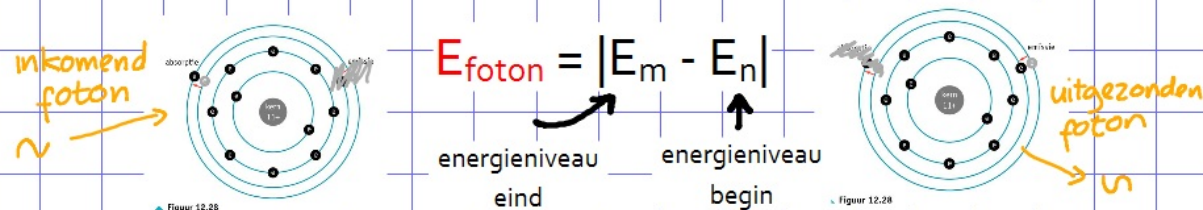


▲ Figuur 12.28



▲ Figuur 12.28

10. Bij de schillen voor elektronen horen **energieniveau's**. Als een elektron springt van een lagere schil naar een hogere schil kost dat energie. Deze energie kun je uitrekenen met:



Bordoeffening 10: Bekijk de aangepaste figuur 12.29. Bepaal de energie en de golflengte van het uitgezonden of geabsorbeerde foton als het atoom:

- van de eerste aangeslagen toestand vervalt naar de grondtoestand.
- van de tweede aangeslagen toestand vervalt naar de eerste aangeslagen toestand.

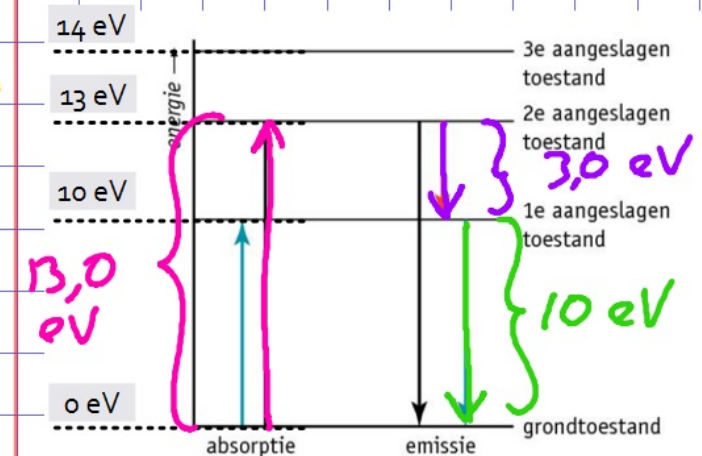
Bordoeffening 10: stand wordt aangeslagen naar de tweede aangeslagen toestand.

a)

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-18}} = 1,24 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 124 \text{ nm}$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode



▲ **Figuur 12.29** Een energieniveauschema

b) $E_{\text{fot}} = 4,8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

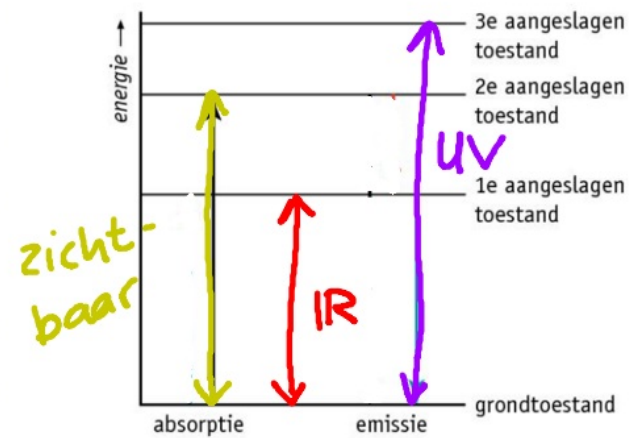
$$\lambda = 4,14 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 414 \text{ nm}$$

c) $E_{\text{fot}} = 2,08 \cdot 10^{-18} \text{ J}$
 $\lambda = 9,6 \cdot 10^{-8} \text{ m} = 96 \text{ nm}$

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

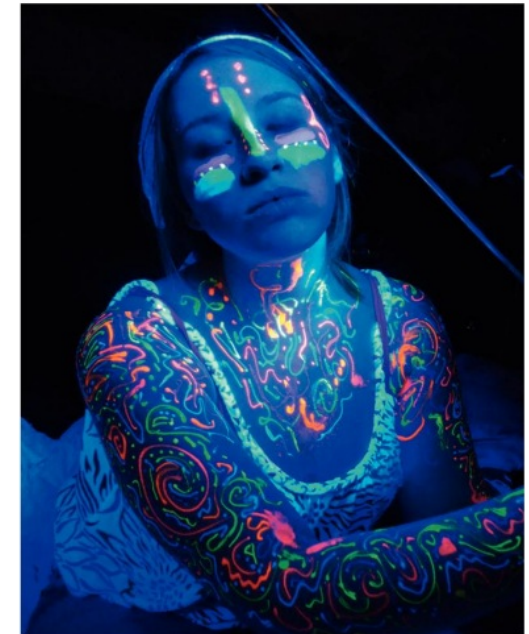
Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.3



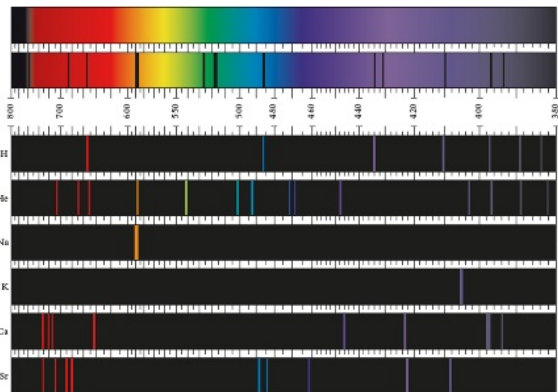
▲ **Figuur 12.29** Een energieniveauschema

- 25 Een blacklight is een tl die voornamelijk ultraviolet uitzendt. Deze lampen worden gebruikt in discotheken.
- a Verklaar de naam 'blacklight'.
 - b De vrouw in figuur 12.31 is beschilderd met speciale verf. Welke eigenschap heeft deze verf?



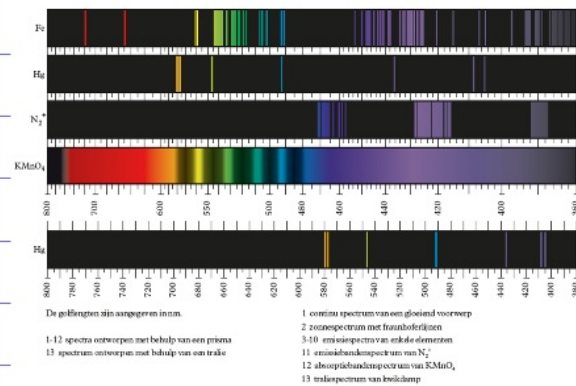
▲ **Figuur 12.31**

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode



20 Spectraalplaat

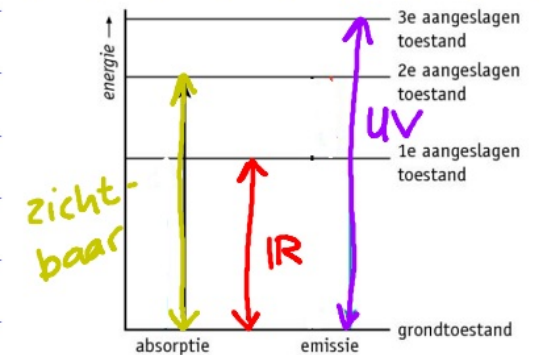
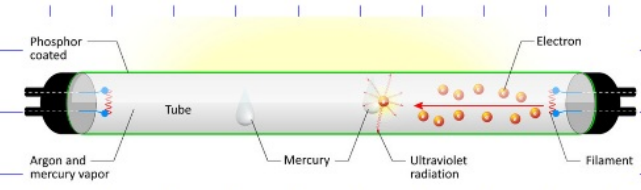
Hoofdstuk 12: Atoomfysica



Spect

Opgaven bij § 12.3

26 Je kunt een gasontladingslamp maken met natriumdamp in plaats van kwikdamp. De buis zendt dan fel geel licht uit met een golflengte van 589 nm. Waarom is het bij een kwiklamp wel mogelijk deze straling door fluorescerende poeders om te zetten in wit licht en bij een natriumlamp niet?



▲ **Figuur 12.29** Een energieniveauschema

§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.3

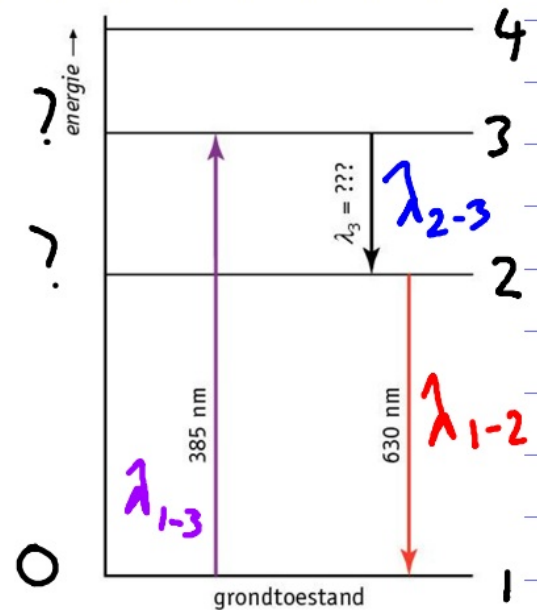
$$E_{1-3} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{1-3}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{385 \cdot 10^{-9}} = 5,160 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{1-2} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{1-2}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{630 \cdot 10^{-9}} = 3,153 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{2-3} = E_{1-3} - E_{1-2} = 5,160 \cdot 10^{-19} \text{ J} - 3,153 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,007 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

27 Een deel van het energieniveauschema van een atoom is getekend in figuur 12.32. Het atoom absorbeert een foton met een golflengte λ_1 van 385 nm en zendt daarna fotonen met twee verschillende golflengten uit. De ene soort heeft een golflengte λ_2 van 630 nm. De golflengte λ_3 is niet bekend.

- Is de onbekende golflengte λ_3 groter of kleiner dan 630 nm? Leg dit uit zonder te rekenen.
- Bereken de golflengte van λ_3 .
- Hoeveel emissielijnen zijn in principe mogelijk bij dit energieschema? Leg uit.

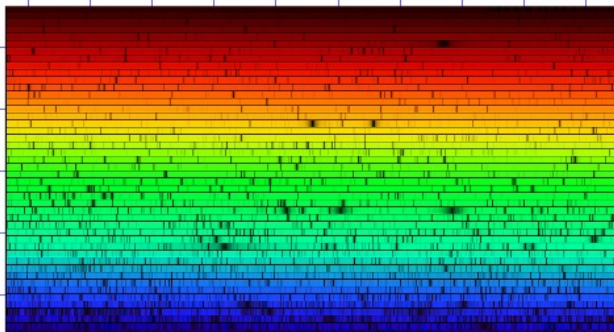


▲ Figuur 12.32

$$\lambda_{2-3} = \frac{h \cdot c}{E_{2-3}} = 990 \text{ nm}$$

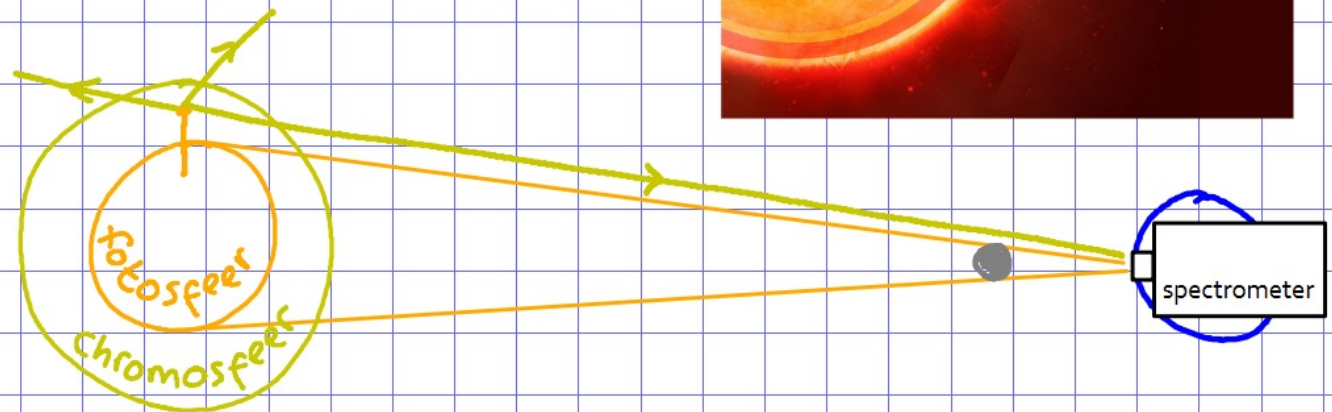
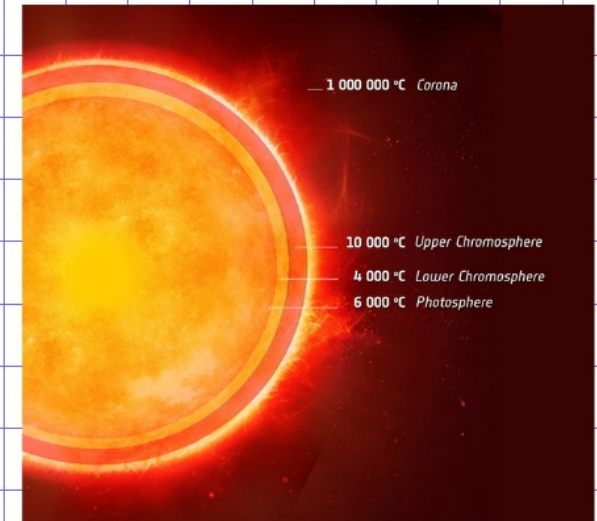
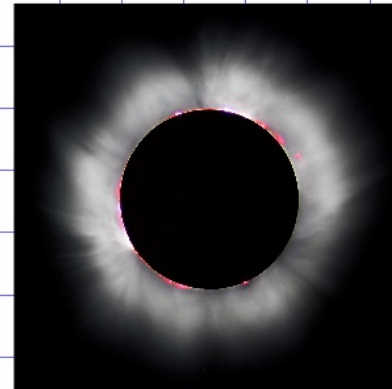
§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

- 28 De zon produceert zichtbaar licht in de fotosfeer, de buitenlaag van de zon. De donkere lijnen in het zonnespectrum ontstaan door absorptie van zonlicht in de gasvormige atmosfeer rond de zon (chromosfeer) en voor een klein deel in de atmosfeer van de aarde.
- a Een aantal absorptielijnen in het zonnespectrum zijn bij lage zonnestand aanzienlijk sterker dan wanneer de zon hoog aan de hemel staat. Geef daarvoor een verklaring.
 - b Dit effect geldt niet voor de absorptielijnen van helium. Waarom niet?
 - c De chromosfeer is alleen zichtbaar tijdens een volledige zonsverduistering. Het felle licht van de fotosfeer wordt dan tegengehouden door de maan. In welk opzicht is een zonnespectrum dat gemaakt is tijdens een zonsverduistering anders dan een normaal zonnespectrum?



Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.3



§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

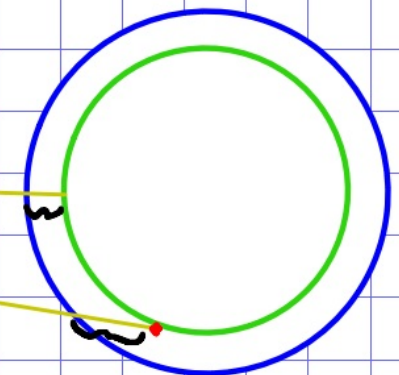
Opgaven bij § 12.3

28 De zon produceert zichtbaar licht in de fotosfeer, de buitenlaag van de zon. De donkere lijnen in het zonnenspectrum ontstaan door absorptie van zonlicht in de gasvormige atmosfeer rond de zon (chromosfeer) en voor een klein deel in de atmosfeer van de aarde.

a Een aantal absorptielijnen in het zonnenspectrum zijn bij lage zonnestand aanzienlijk sterker dan wanneer de zon hoog aan de hemel staat. Geef daarvoor een verklaring.

b Dit effect geldt niet voor de absorptielijnen van helium. Waarom niet?

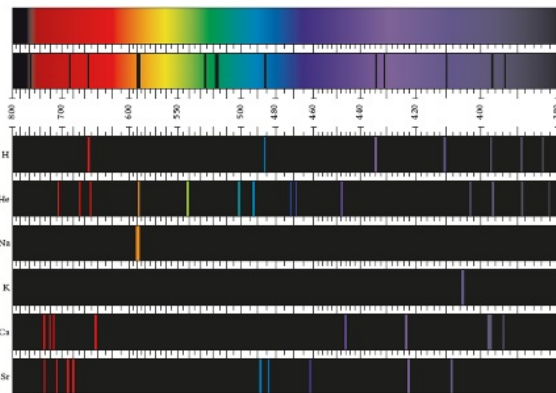
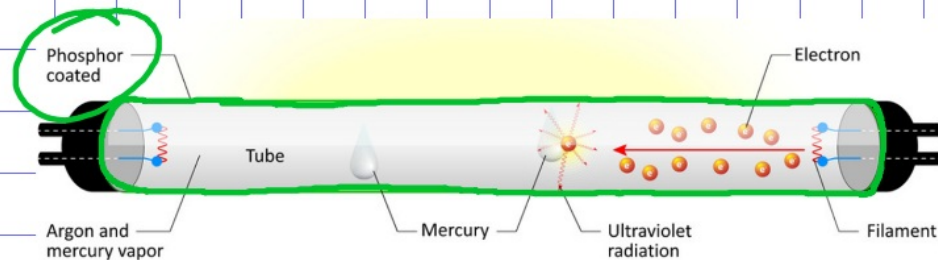
c De chromosfeer is alleen zichtbaar tijdens een volledige zonsverduistering. Het felle licht van de fotosfeer wordt dan tegengehouden door de maan. In welk opzicht is een zonnenspectrum dat gemaakt is tijdens een zonsverduistering anders dan een normaal zonnenspectrum?



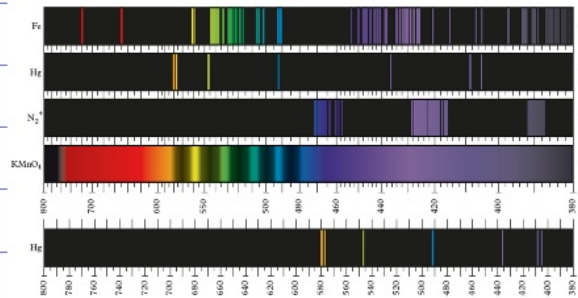
§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.3



20 Spectralplaat



De golflengten zijn aangegeven in nm.

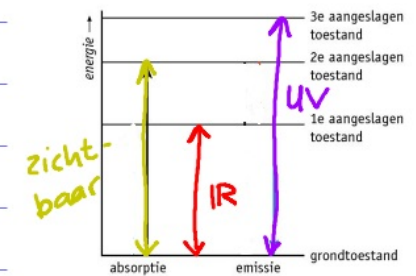
1-12 spectra ontworpen met behulp van een prianta
13 spectrum ontworpen met behulp van een tralie

1 continu spectrum van een gloeiend voorwerp
2 zonnespectrum met Fraunhoferlijnen
3-10 emissiespectra van enkele elementen
11 emissieabsorptiespectrum van N_2
12 absorptieabsorptiespectrum van $KMnO_4$
13 traliespectrum van lichtdamp

29 Voor het fabriceren van chips moeten grote plakken silicium worden gereinigd. De plakken worden daartoe onder een speciale uv-gasontladingsbuis gelegd. Door de uv-straling ontstaan losse zuurstofatomen die de verontreiniging verwijderen. Voor het splitsen van een zuurstofmolecuul in twee losse atomen is een energie vereist van minstens 5,17 eV.

- Bepaal de grootste golflengte van de door het gas uitgezonden straling die een zuurstofmolecuul in twee losse atomen kan splitsen.
- Een gewone tl is aan de binnenkant helemaal bedekt met een laag waarin fluorescentiepoeder is verwerkt. In de tl zit hetzelfde gasmengsel als in de buis die voor het reinigen van plakken silicium gebruikt wordt.

Wat doet het poeder met de uv-straling?

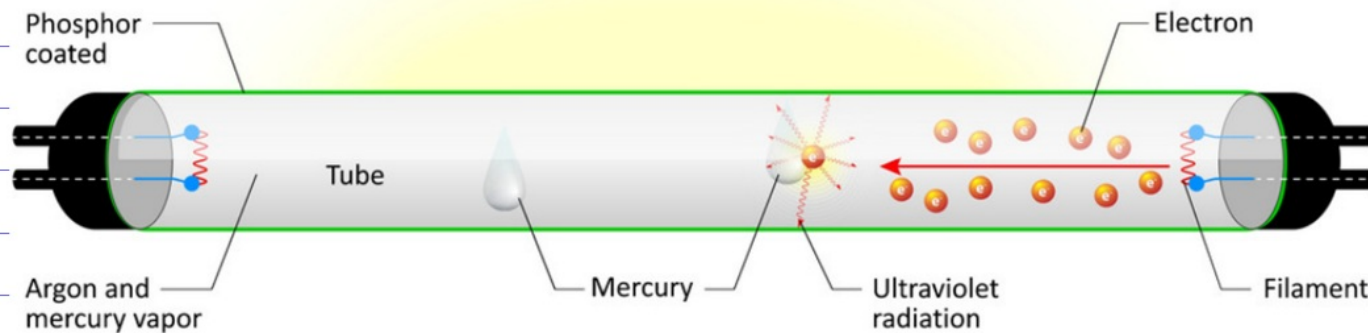


▲ Figuur 12.29 Een energieniveauschema

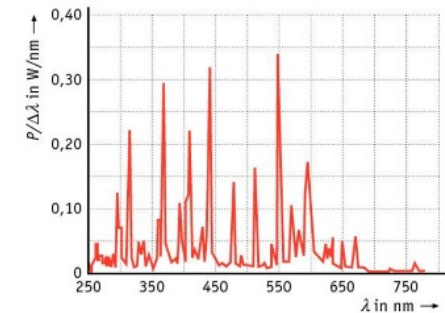
§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.3



30 Er bestaan autolampen die 'wit' licht uitzenden. De lampjes bevatten onder meer xenon en hebben een vermogen van 35 W. Behalve xenon bevatten de lampjes ook metaalzouten. Spoedig na het inschakelen verdampen en ontleden deze metaalzouten door de warmteontwikkeling. Deze damp neemt deel aan de gasontlading, waardoor wit licht uitgestraald wordt. In de grafiek van figuur 12.33 is het uitgestraalde vermogen per golflengtegebiedje van één nm uitgezet tegen de golflengte.



▲ Figuur 12.33

- Hoe kun je aan deze grafiek zien dat het licht van het lampje inderdaad 'witachtig' is?
- Beschrijf hoe met behulp van deze grafiek het rendement van zo'n lampje bepaald zou kunnen worden.
- In de figuur zijn bij 312 nm en 405 nm pieken te zien die even hoog zijn. Bij welke piek hoort het grootste aantal uitgezonden fotonen per seconde? Leg uit.

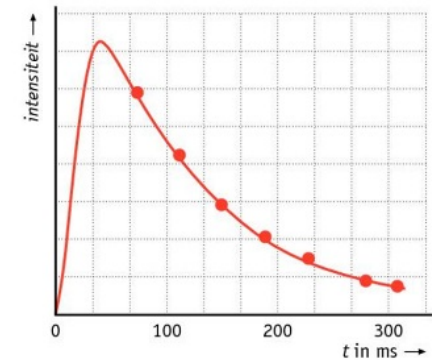
§ 12.3 Het spectrum als streepjescode

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.3

31 Lees bron 11.

- a Noem nog twee dieren die bioluminescentie vertonen.
- b De emissiepiek van de dinoflagellaten ligt bij 470 nm. Bereken de energie van de bijbehorende aangeslagen toestand.

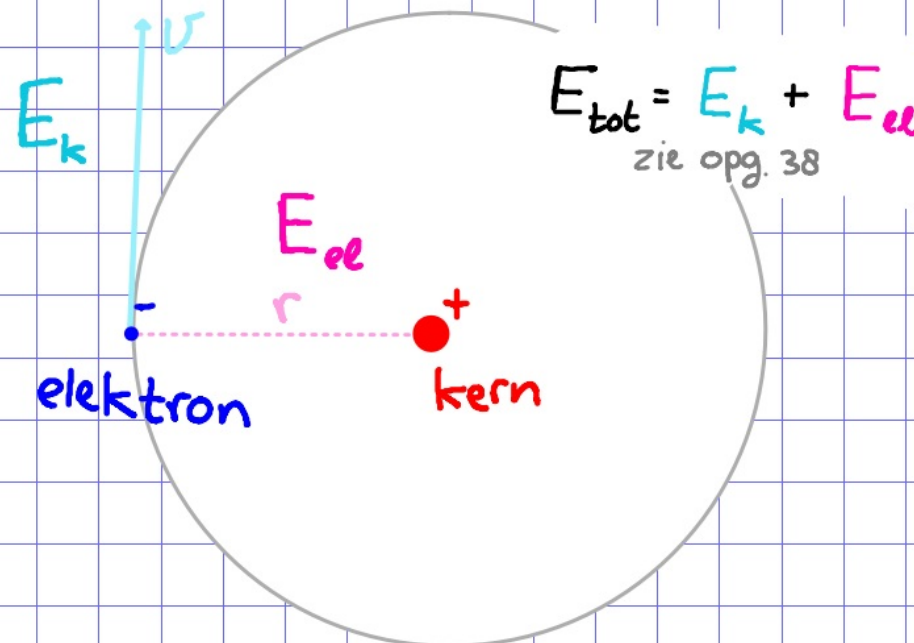


▲ Figuur 12.34

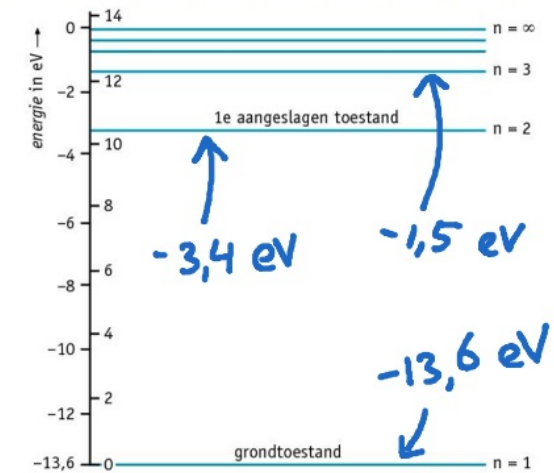
- c Het blauwe licht wordt in korte pulsen uitgezonden (figuur 12.34). Een puls bevat 10^{12} fotonen. Bepaal het gemiddelde vermogen van één puls in μW .
- d Bekijk op Youtube een filmpje over bioluminescentie. Gebruik bijvoorbeeld de trefwoorden *bioluminescence* en *Puerto Rico*.

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen

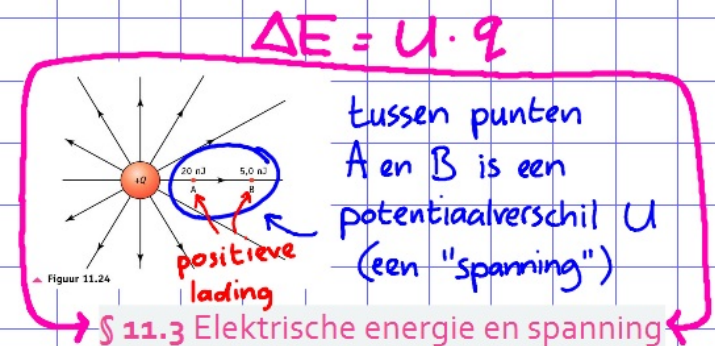
12. De energieniveaus van atomen zijn **gedefinieerd** zoals in figuur 12.37. Als een elektron "**oneindig**" ver weg is van de kern is de energie
- Hoe **dichter bij** de kern het elektron is hoe **sterker negatief** het energieniveau.



Hoofdstuk 12: Atoomfysica



▲ Figuur 12.37 Energieniveauschema van waterstof



§ 11.3 Elektrische energie en spanning

Je kunt in diagrammen zoals fig. 12.37 en *binas tabel 21A* aflezen welke waarden er bij de **energieniveaus** horen van een bepaalde atoomsoort. Je kunt deze waarden ook zelf **uitrekenen** (voor waterstofatomen)

met:

Voorbeeld: Reken het energieniveau uit van de tweede aangeslagen toestand ($n = 3$).

$$a) \quad E_2 = -\frac{13,6}{2^2} = -3,4 \text{ eV}$$

$$E_3 = -\frac{13,6}{3^2} = -1,51 \text{ eV}$$

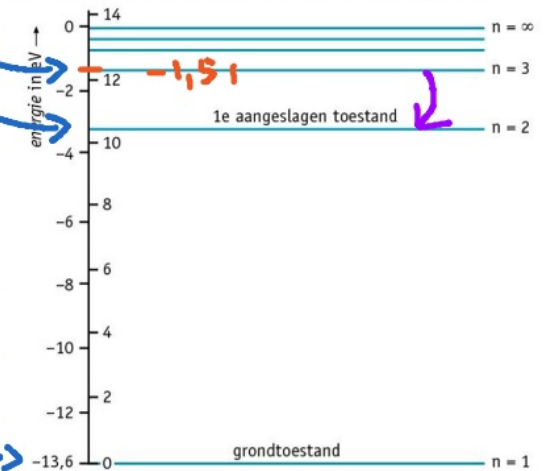
Bordoeffening 11: Bepaal de golflengte als een waterstof-atoom vervalt van $n = 3$ naar $n = 2$.

- Reken uit welke waarden er bij deze energieniveaus horen en controleer deze vervolgens met *tabel 21A* van *binas*.
- Bedenk hoeveel energie het atoom verliest bij deze transitie (van $n=3$ naar $n=2$).
- Reken vervolgens de uitgezonden golflengte uit. Neem daarna *tabel 20* en controleer of deze golflengte inderdaad in het spectrum van waterstof voorkomt.

$$b) \quad E_{\text{fot}} = |-3,4 \text{ eV} - -1,51 \text{ eV}| = |-1,89| = 1,89 \text{ eV}$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen



▲ **Figuur 12.37** Energieniveauschema van waterstof

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

zie §12.2

$$E_{\text{foton}} = |E_m - E_n|$$

energieniveau eind energieniveau begin

zie §12.3

Bordoeffening 11: Bepaal de golflengte als een waterstof-atoom vervalt van $n = 3$ naar $n = 2$. Reken uit welke waarden er bij deze energieniveaus horen en controleer deze vervolgens met *tabel 21A* van binas. Neem daarna *tabel 20* en controleer of deze golflengte inderdaad in het spectrum van waterstof voorkomt.

Bordoeffening 11:

$$n = 3 \rightarrow E = \frac{-13,6 \text{ eV}}{3^2} = -1,5 \text{ eV}$$

$$n = 2 \rightarrow E = \frac{-13,6 \text{ eV}}{2^2} = -3,4 \text{ eV}$$

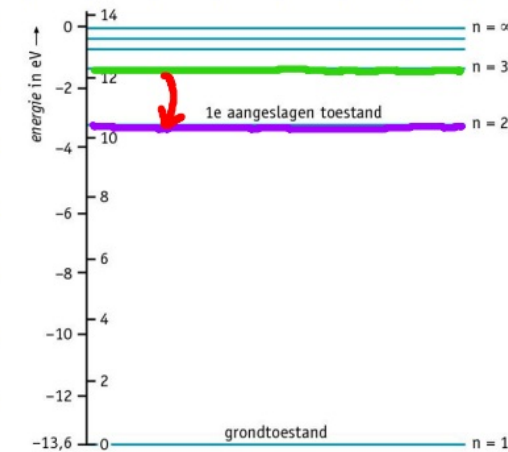
$$E_{\text{foton}} = |-3,4 \text{ eV} - -1,5 \text{ eV}|$$

$$= |-1,9 \text{ eV}| = 1,9 \text{ eV}$$

$$1,9 \text{ eV} = 3,04 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{3,0 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 6,53 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

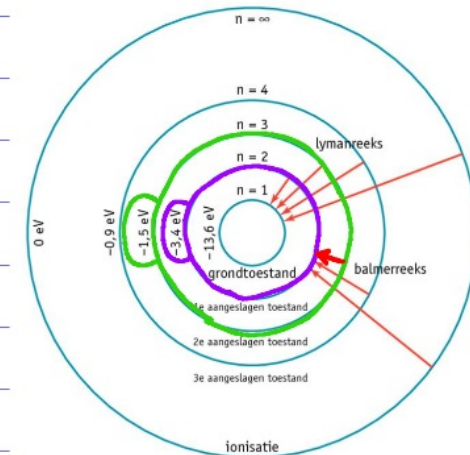
$$= 653 \text{ nm}$$



▲ **Figuur 12.37** Energieniveauschema van waterstof

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen



▲ **Figuur 12.38**

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

zie §12.2

$$E_{\text{foton}} = |E_m - E_n|$$

energieniveau eind energieniveau begin

zie §12.3

Bij alle transitie van de mogelijke aangeslagen toestanden ($n = 2, n = 3$, enz.) naar de grondtoestand ($n = 1$) verliest het atoom voldoende energie dat de fotonen die vrijkomen in het ultraviolette deel van het spectrum vallen. Deze transitie heten de **Lymanreeks**. De energieën van deze transitie zijn te

Rekenen met absolute waarde:

$$x = |-12 - -a|$$

$$x = 12 - a$$

Voorwaarde: je weet dat je voor **a** alleen maar positieve getallen gaat invullen.

$$E_f = \left| -13,6 - -\frac{13,6}{n^2} \right|$$

$$E_f = 13,6 - \frac{13,6}{n^2}$$

$$E_f = 13,6 \cdot \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$E_{\text{foton}} = |E_m - E_n|$$

energieniveau

eind

$$E = -\frac{13,6}{n^2}$$

met $n=1$

energieniveau

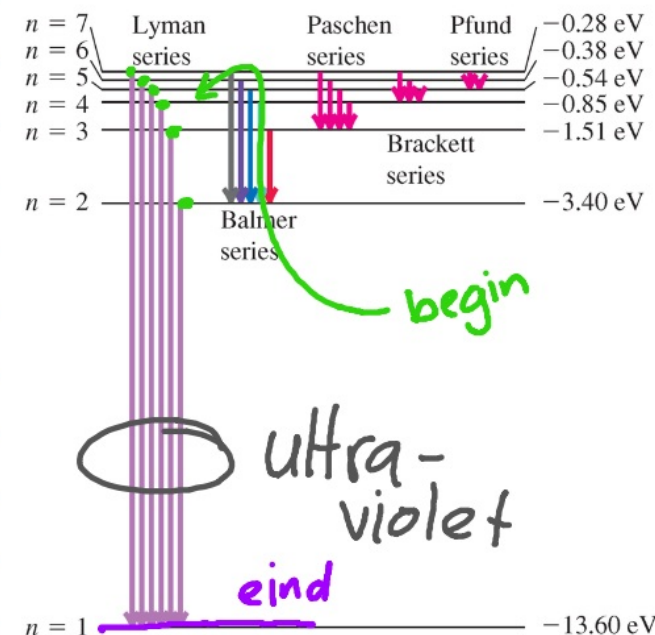
begin

$$E = -\frac{13,6}{n^2}$$

met $n=n$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen



Bordoeffening 12 (opg. 34c): Stel zelf een soortgelijke vergelijking op voor de **Balmerreeks**. Dit zijn alle transitie naar de eerste aangeslagen toestand vanuit hoger gelegen aangeslagen toestanden.

Bordoeffening 12 (opg. 34c): Stel zelf een soortgelijke vergelijking op voor de *Balmerreeks*. Dit zijn alle transities naar de eerste aangeslagen toestand vanuit hoger gelegen aangeslagen toestanden.

$$E_{\text{foton}} = |E_m - E_n|$$

energieniveau
eind
energieniveau
begin

$$E = -\frac{13,6}{n^2} \quad E = -\frac{13,6}{n^2}$$

met $n=2$
met $n=n$

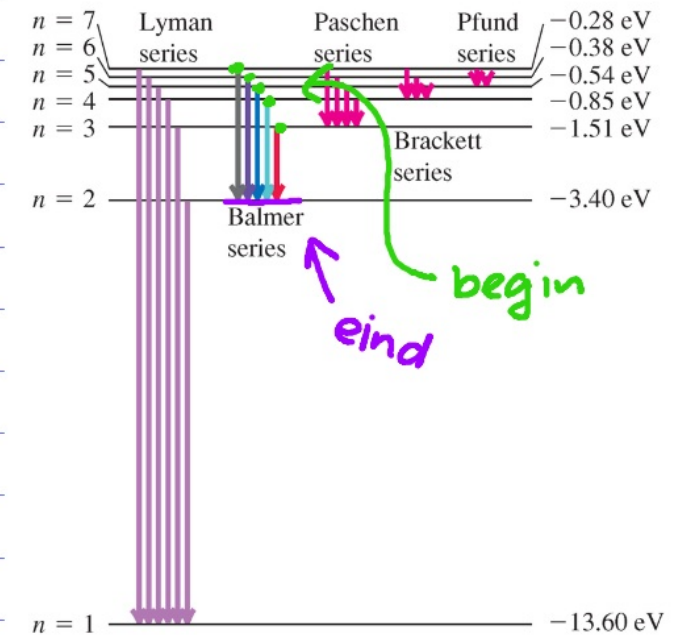
$$E_f = \left| -\frac{13,6}{2^2} - -\frac{13,6}{n^2} \right|$$

$$E_f = \frac{13,6}{4} - \frac{13,6}{n^2}$$

$$E_f = 13,6 \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen



Lyman series



▲ **Figuur 12.39** De balmerreeks van waterstof

→ zie bordoefening 11

Opdrachten

- 32 In *Binas* staat een gedetailleerd overzicht van de energieniveaus van het waterstofatoom.
- a Met welke golflengte komt de rode lijn uit figuur 12.39 overeen?
 - b Bij welke waarden van n hoort deze overgang?
 - c Gebruik deze waarden om met de formule uit bron 12 de energie van het foton in eV te berekenen.
 - d Laat, gebruikmakend van deze formule, zien dat de lymanreeks alleen uit ultraviolet licht bestaat.

Leuk om te maken:
opg. 32, 33, 35, 36, 37

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen

33 Bij het waterstof atoom ontstaat een foton met een golflengte λ_{32} bij de overgang van energieniveau 3 naar energieniveau 2. Er ontstaat een foton met een golflengte λ_{21} bij de overgang van energieniveau 2 naar energieniveau 1 en er ontstaat een foton met een golflengte λ_{31} bij de overgang van energieniveau 3 naar energieniveau 1.

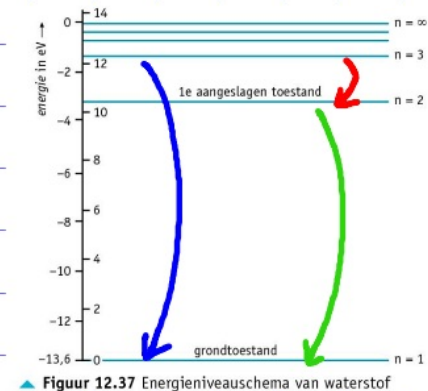
- a Bij welke reeks hoort het foton met een golflengte λ_{32} ?
- b Bereken de frequentie van het foton met golflengte λ_{21} .
- c Teken beide overgangen in een energieschema en laat zien dat er geldt:

$$\frac{1}{\lambda_{31}} = \frac{1}{\lambda_{32}} + \frac{1}{\lambda_{21}}$$

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.4



$$E_{31} = E_{32} + E_{21}$$

$$\frac{h \cdot c}{\lambda_{31}} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{32}} + \frac{h \cdot c}{\lambda_{21}}$$

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

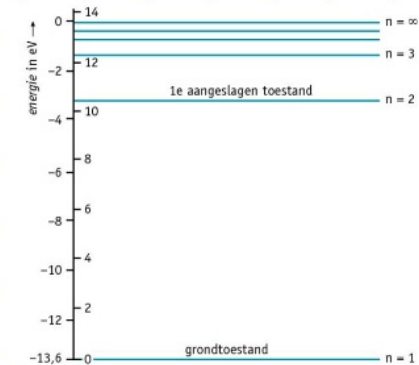
Opgaven bij § 12.4

34 In figuur 12.37 staat het energieniveauschema van waterstof.

- a Teken de overgangen die horen bij de balmerreeks.
- b In bron 12 staat een formule afgeleid om fotonenergieën van de lymanreeks te berekenen. Bereken hiermee de energie van een foton dat ontstaat bij een overgang vanuit de 4e aangeslagen toestand.
- c Leid een vergelijkbare formule af voor de balmerreeks.
- d Bereken gebruikmakend van de formule uit vraag c de grootste golflengte in de balmerreeks. Controleer je antwoord met behulp van *Binas*.
- e Bereken gebruikmakend van de formule uit vraag c hoeveel energie er nodig is om een elektron vanaf de eerste aangeslagen toestand los te maken van het atoom.

→ $n = 5$

→ bordoefening 12



▲ Figuur 12.37 Energieniveauschema van waterstof

- d De grootste golflengte is de kleinste 'stap' dus vanaf $n = 3$. In onze formule:

$$E_{\text{foton}} = 13,6 \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{3^2} \right) = 1,89 \text{ eV}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{1,89 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}} = 656 \text{ nm}$$

→ zie bord - oefening 11

Dat komt overeen met de *Binas*-waarde.

- e Dat is dezelfde energie als een elektron dat terugvalt van $n = \infty$ naar $n = 2$ en dan een foton uitzendt:

$$E_{\text{foton}} = 13,6 \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{\infty^2} \right) = 3,40 \text{ eV}$$

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

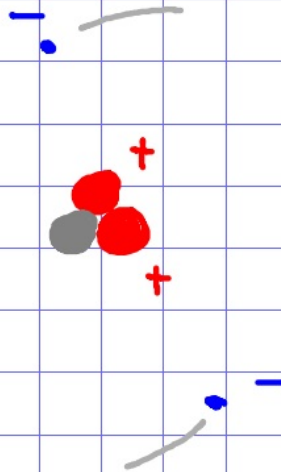
Opgaven bij § 12.4

35 In *Binas* staat een tabel met ionisatie-energieën van verschillende atomen op volgorde van hun atoomnummer Z . Dit nummer geeft het aantal positieve ladingen in de kern en dus ook het aantal elektronen rond de kern.

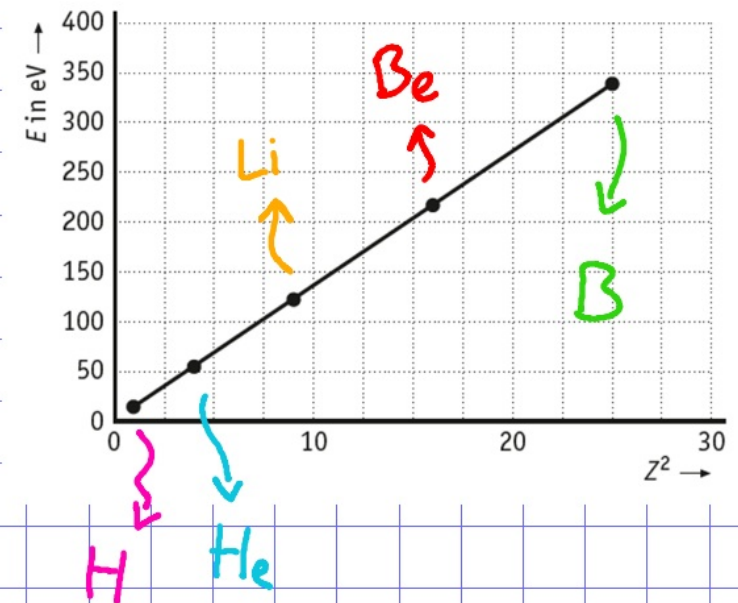
a Wat betekent ionisatie?

b Een heliumatoom ($Z = 2$) heeft twee elektronen. Als één elektron is losgemaakt, is er een He^+ -ion over. Deze heeft als overeenkomst met het waterstofatoom dat er nog één elektron om de kern beweegt. Verklaar dat het meer energie kost om dit tweede elektron los te maken van het He^+ -ion dan bij het eerste elektron.

c Ionen zoals het He^+ -ion met nog maar één elektron, hebben vergelijkbare eigenschappen. Zoek voor de eerste 5 atomen uit het periodiek systeem de ionisatie-energie van het laatste elektron op in tabel 21C van *Binas*. Maak een grafiek met op de horizontale as Z^2 en op de y-as de ionisatie-energie. Welke conclusie kun je trekken?



Ionisatie energie van het laatste elektron:



§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen

- 36 Voor de energieniveaus van het waterstofatoom (in Joule) geldt:

$$E_n = -2 \cdot m_0 \cdot \left(\frac{\pi f e^2}{h \cdot n} \right)^2 \quad E = -\frac{13,6}{n^2}$$

Hierin is m_0 de rustmassa van het elektron en f de constante in de wet van Coulomb.

- Waarom hebben de energieniveaus van een atoom een relatie met de massa van een elektron?
- Laat zien dat de rechter term in de formule inderdaad de eenheid joule heeft.
- Bereken de rustmassa van een elektron met behulp van de gegeven formule.

tabel 3A en 4
uit binas:

$$J = N \cdot m$$

en

$$N = kg \cdot \frac{m}{s^2}$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

$$J = kg \cdot \left(\frac{\frac{N \cdot m^2}{e^2} \cdot e^2}{J \cdot s} \right)^2$$

$$J = kg \cdot \left(\frac{N \cdot m^2}{J \cdot s} \right)^2$$

$$J = kg \cdot \left(\frac{N \cdot m^2}{N \cdot m \cdot s} \right)^2$$

$$J = kg \cdot \left(\frac{m}{s} \right)^2 = kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = N \cdot m = J$$

Opgaven bij § 12.4

- 36 a Het elektron beweegt en heeft dus kinetische energie. Die is evenredig met de massa van het bewegende object; in dit geval het elektron.

$$b \quad E_n = -2 \cdot [m_0] \cdot \left(\frac{\pi \cdot [f] \cdot [e]^2}{[h] \cdot n} \right)^2$$

(π en n hebben geen eenheid)

$$J = kg \cdot \left(\frac{\left(\frac{N \cdot m^2}{C^2} \right) \cdot C^2}{J \cdot s} \right)^2$$

1 Joule is 1 N·m en 1 N is 1 kg · m/s²:

$$J = kg \cdot \left(\frac{(N \cdot m^2)}{N \cdot m \cdot s} \right)^2 = kg \cdot \left(\frac{m}{s} \right)^2 = kg \cdot \frac{m^2}{s^2} \cdot m =$$

= N · m = J, dus het klopt.

$$c \quad E_n = -2 \cdot m_0 \cdot \left(\frac{\pi \cdot f \cdot e^2}{h \cdot n} \right)^2 \Leftrightarrow$$

$$m_0 = \frac{E_n}{-2} \cdot \left(\frac{h \cdot n}{\pi \cdot f \cdot e^2} \right)^2 =$$

$$= \frac{-13,6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}{2} \cdot \left(\frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 1}{\pi \cdot 8,99 \cdot 10^9 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19})^2} \right)^2$$

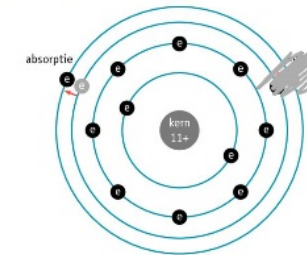
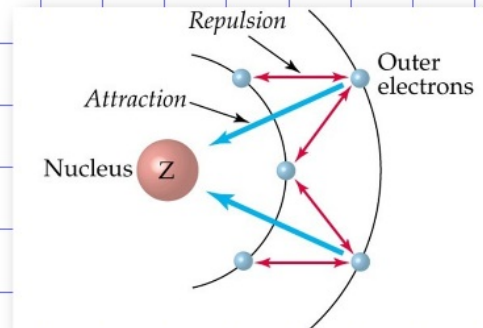
= 9,1 · 10⁻³¹ kg (dit komt overeen met de waarde in Binas tabel 7)

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen

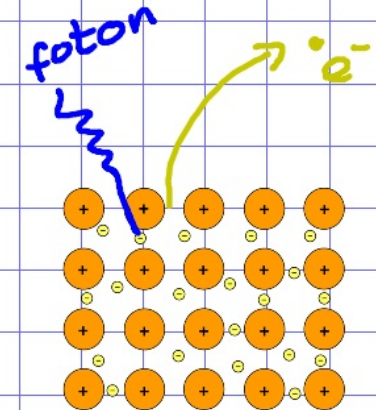
- 37 Bron 13 beschrijft dat de ionisatie-energie van alkalimetalen relatief laag is in vergelijking met andere atomen.
- a Zoek de ionisatie-energieën van waterstof en de alkalimetalen lithium, natrium en kalium op in *Binas* tabel 21C.
- b De 2e kolom van tabel 21C laat zien hoeveel energie het kost om een 2e elektron van een atoom los te maken. Vergelijk de 2e kolom met de 1e kolom: wat valt je op bij de alkalimetalen?

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.4



▲ Figuur 12.28



Periodic table of the elements

Alkali metals Alkaline-earth metals Transition metals Other metals Other nonmetals Actinoid elements Halogens Noble gases Rare-earth elements (21, 39, 57–71) and lanthanoid elements (57–71 only)																		
group 1'																	18	
1	H																	2
2	3	4															10	
	Li	Be																
3	11	12															18	
	Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
lanthanoid series actinoid series																		
	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71				
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103				
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

*Numbering system adopted by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).

© Encyclopædia Britannica, Inc.

Bordoeffening 6:

- a) ijzer, $E_{uit} = 4,63 \text{ eV}$
- b) zink, $E_{uit} = 4,27 \text{ eV}$
- c) kalium, $E_{uit} = 2,25 \text{ eV}$

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.4

- 38 Voor de elektrische energie van een elektron rond een kern geldt:

$$E_{el} = f \frac{qQ}{r} \quad \leadsto \quad r = \frac{fqQ}{E_{el}}$$

Hierin is q de lading van het elektron, Q de lading van de kern en r de afstand van het elektron tot de kern.

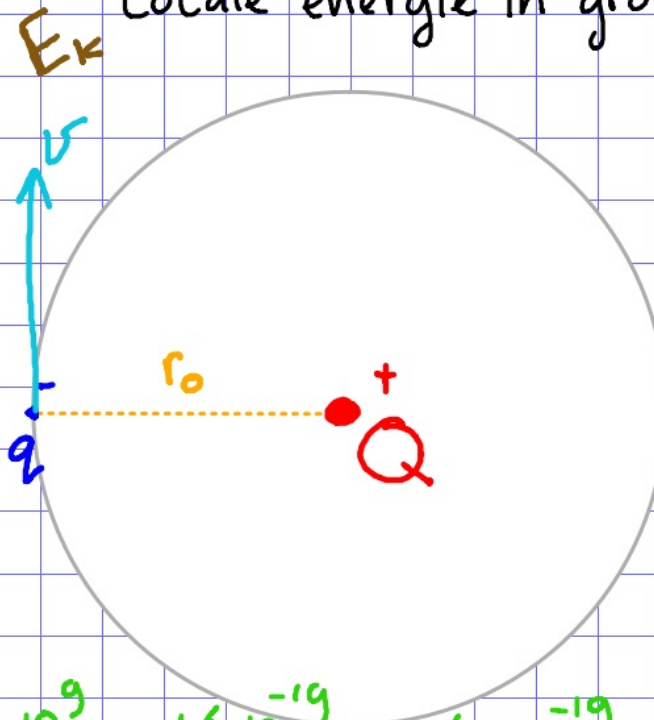
- a Laat zien dat de elektrische energie van het waterstofatoom negatief is.
b Voor de kinetische energie van het elektron geldt:

$$E_k = \frac{1}{2} E_{el} \quad \leadsto \quad E_k = -\frac{1}{2} E_{el}$$

De Bohrstraal r is de gemiddelde afstand tussen de kern en het elektron van een waterstofatoom in de grondtoestand. Toon aan dat de Bohrstraal gelijk is aan $r = 5,3 \cdot 10^{-11}$ m.

- c De buitenste elektronen van alkalimetalen onder- vinden een effectieve elektrische aantrekkingskracht die gelijk is aan een elementaire lading van $1+$ (zie bron 13). Leg uit dat alkalimetalen een lage ionisatie- energie hebben.

totale energie in grondtoestand: $-13,6$ eV



$$\begin{cases} E_{tot} = -13,6 \text{ eV} = -2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} \\ E_{tot} = E_k + E_{el} \\ E_k = -\frac{1}{2} E_{el} \end{cases}$$

$$E_{tot} = -\frac{1}{2} E_{el} + E_{el} = \frac{1}{2} E_{el}$$

$$-13,6 \text{ eV} = \frac{1}{2} E_{el}$$

$$E_{el} = 2 \cdot -13,6 \text{ eV}$$

$$= 2 \cdot -2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$r = \frac{8,99 \cdot 10^9 \cdot -1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot -2,18 \cdot 10^{-18}} = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

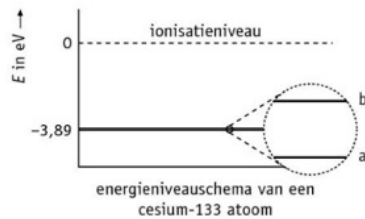
§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgaven bij § 12.4

39 Sinds 1967 definieert men de precieze duur van de seconde met behulp van atoomklokken. Hierbij gebruikt men straling die wordt geabsorbeerd bij een bepaalde energieverandering in een cesium-133 atoom. De seconde is per definitie de duur van 9192631770 periodes van deze straling.

a Zoek in *Binas* op tot welk deel van het elektromagnetische spectrum deze straling behoort.



▲ Figuur 12.40

b In figuur 12.40 is een vereenvoudigd energieniveauschema van het cesium-133 atoom getekend. De genoemde stralingsabsorptie vindt plaats tussen de twee zeer dicht bij elkaar liggende niveaus bij de grondtoestand: $-3,89$ eV. Men kan die twee niveaus alleen bij heel nauwkeurige meting onderscheiden. In de figuur zijn ze in een uitvergroot deel met de letters a en b aangegeven. Bereken de grootte van de energieverandering in eV die bij absorptie van de bovengenoemde straling optreedt.

c Leg uit of de bedoelde overgang van a naar b is of van b naar a.

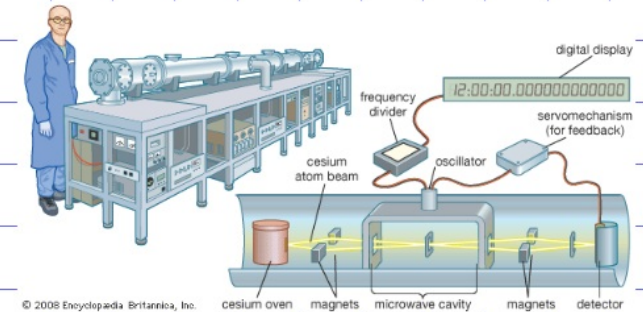
$$9192.631.770 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99 \cdot 10^8 \text{ s}}{9,19 \cdot 10^9} = 0,032 \text{ m}$$

$$E = h \cdot f = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 9,19 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$= 6,09 \cdot 10^{-24} \text{ J}$$

$$= 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ eV}$$



Hoofdstuk 12 Atoomfysica

- *toepassingen* -

$$\begin{aligned}
 \textcircled{1} \quad \sigma &= \frac{2 \cdot (3,14)^5 \cdot (1,38 \cdot 10^{-23})^4}{15 \cdot (3,00 \cdot 10^8)^2 \cdot (6,626 \cdot 10^{-34})^3} \\
 \sigma &= \frac{610 \cdot 1,38^4 \cdot (10^{-23})^4}{15 \cdot 3,00^2 \cdot (10^8)^2 \cdot 6,626^3 \cdot (10^{-34})^3} \\
 \sigma &= \frac{2212 \cdot (10^{-92})}{135 \cdot (10^{16}) \cdot 291 \cdot (10^{-102})} \\
 \sigma &= \frac{2212}{135 \cdot 291} \cdot \frac{10^{-92}}{10^{16} \cdot 10^{-102}} \\
 \sigma &= 0,0563 \cdot 10^{-6} = 5,63 \cdot 10^{-8}
 \end{aligned}$$

inzicht: tienmachten apart
verrekenen (zie rekenregels)
voordat je je rekenmachine
gebruikt

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

toepassingen

Opgave 1 Zonnestraling

Volgens de wet van Stefan-Boltzmann is de stralingsintensiteit I van sterren (zoals de zon) aan hun oppervlak evenredig met de 4e macht van de absolute temperatuur T :

$$I = \sigma \cdot T^4$$

Hierin is σ een evenredigheidsconstante die weer is afgeleid van een aantal andere constanten.

$$\sigma = \frac{2\pi^5 \cdot k^4}{15c^2 h^3} = 5,6705 \cdot 10^{-8}$$

Hierin is k de constante van Boltzmann (zie tabel 7 van Binas).

- 1 Toon aan dat de gegeven getalswaarde van σ inderdaad volgt uit de formule voor σ . (Hint: jouw rekenmachine geeft misschien 'o' als antwoord: hoe kun je dit oplossen?)
- 2 Laat met behulp van de formule voor σ en dimensieanalyse (d.w.z. gebruik maken van de afzonderlijke eenheden van de gebruikte constanten) zien dat uit de formule voor de intensiteit I inderdaad de eenheid van intensiteit volgt.

Je aanneemt dat de afstand van de zon tot de aarde constant is, kun je stellen dat een even groot deel van het zonlicht op het aardoppervlak valt. Als je daarnaast aanneemt dat de aarde bolvormig is, wordt dit oppervlak gegeven door de doorsnede van de aarde, ofwel:

$$\text{straal} = \pi r_{\text{aarde}}^2$$

Jens Wikipedia levert de zon 174 PW vermogen aan onze aarde (het voorvoegsel P staat voor peta, *linas*).

- 3 Toon met deze aannames aan dat het vermogen van de zon gelijk is aan $3,83 \cdot 10^{26}$ W. Hint: welk deel van alle straling van de zon belicht daadwerkelijk het oppervlak van de aarde?
- 4 Toon aan dat de intensiteit aan het oppervlak van de zon gelijk is aan $I = 6,3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$.
- 5 Bereken met de wet van Stefan-Boltzmann en de uitkomst van vraag 4 wat dan de oppervlaktetemperatuur van de zon is.

$$\frac{a^8}{a^2} = a^6$$

$$(a^2)^3 = a^6$$

$$a^2 \cdot a^3 = a^5$$

②

start →

$$[\sigma] = \frac{[k]^4}{[c]^2 \cdot [h]^3}$$

$$[\sigma] = \frac{(J \cdot K^{-1})^4}{(m \cdot s^{-1})^2 \cdot (J \cdot s)^3}$$

$$[\sigma] = \frac{J^4 \cdot K^{-4}}{m^2 \cdot s^{-2} \cdot J^3 \cdot s^3} = J^4 \cdot K^{-4} \cdot m^{-2} \cdot s^2 \cdot J^{-3} \cdot s^{-3}$$

$$[\sigma] = J \cdot K^{-4} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} = \frac{J}{K^4 \cdot m^2 \cdot s}$$

start →

$$\sigma = \frac{I}{T^4}$$

$$[\sigma] = \frac{J}{m^2 \cdot s \cdot K^4}$$

$$[\sigma] = \frac{J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}}{K^4}$$

$$[\sigma] = \frac{J}{K^4 \cdot m^2 \cdot s}$$

inzicht: het kan makkelijker zijn om de machten bij elk symbool zo te verrekenen dat alles op één regel komt te staan

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

toepassingen

Opgave 1 Zonnestraling

Volgens de wet van Stefan-Boltzmann is de stralingsintensiteit I van sterren (zoals de zon) aan hun oppervlak evenredig met de 4e macht van de absolute temperatuur T :

$$I = \sigma \cdot T^4$$

Hierin is σ een evenredigheidsconstante die weer is afgeleid van een aantal andere constanten:

$$\sigma = \frac{2\pi^5 \cdot k^4}{15c^2 h^3} = 5,6705 \cdot 10^{-8}$$

Hierin is k de constante van Boltzmann (zie tabel 7 van Binas).

- 1 Toon aan dat de gegeven getalswaarde van σ inderdaad volgt uit de formule voor σ . (Hint: jouw rekenmachine geeft misschien '0' als antwoord: hoe kun je dit oplossen?)
- 2 Laat met behulp van de formule voor σ en dimensieanalyse (d.w.z. gebruik maken van de afzonderlijke eenheden van de gebruikte constanten) zien dat uit de formule voor de intensiteit I inderdaad de eenheid van intensiteit volgt.

Als je aanneemt dat de afstand van de zon tot de aarde constant is, kun je stellen dat een even groot deel van het zonlicht op het aardoppervlak valt. Als je daarnaast aanneemt dat de aarde bolvormig is, dan wordt dit oppervlak gegeven door de doorsnede van de aarde, ofwel:

$$A_{\text{bestraald}} = \pi r_{\text{aarde}}^2$$

Volgens Wikipedia levert de zon 174 PW vermogen aan onze aarde (het voorvoegsel P staat voor peta, zie Binas).

- 3 Toon met de aanname aan dat het vermogen van de zon gelijk is aan $3,83 \cdot 10^{26}$ W. In alle straling van de zon belicht daadwerkelijk het oppervlak van de aarde?

Intensiteit aan het oppervlak van de zon gelijk is aan $I = 6,3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$.

et van Stefan-Boltzmann en de uitkomst van vraag 4 wat dan de oppervlaktetemperatuur is.

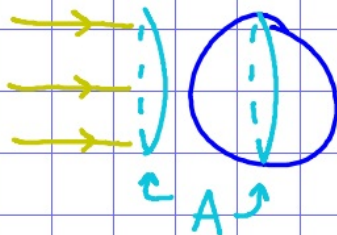
$$③ \quad I = \frac{P}{4\pi r^2} \rightarrow P = I \cdot 4\pi r^2$$

totale ontvangen vermogen

van het aardoppervlak: $P = 174 \cdot 10^{15} \text{ W}$

$$A = 3,14 \cdot (6,4 \cdot 10^6 \text{ m})^2$$

$$= 1,286 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$$



$$I = \sigma \cdot T^4$$

$$I = \frac{P}{A} = \frac{174 \cdot 10^{15}}{1,286 \cdot 10^{14}} = 1,35 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$$

$$P = I \cdot 4\pi r^2 = 1,35 \cdot 10^3 \cdot 4\pi \cdot (150 \cdot 10^9)^2 = 3,84 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

toepassingen

Opgave 1 Zonnestraling

Volgens de wet van Stefan-Boltzmann is de stralingsintensiteit I van sterren (zoals de zon) aan hun oppervlak evenredig met de 4e macht van de absolute temperatuur T :

$$I = \sigma \cdot T^4$$

Hierin is σ een evenredig:

$$\sigma = \frac{2\pi^5 \cdot k^4}{15c^2 h^3} = 5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$$

Hierin is k de constante van

- 1 Toon aan dat de gegeven waarde van σ inderdaad volgt uit de formule voor σ . (Hint: jouw rekenmachine geeft misschien '0' als antwoord: hoe kun je dit oplossen?)
- 2 Laat met behulp van de formule voor σ en dimensieanalyse (d.w.z. gebruik maken van de afzonderlijke eenheden van de gebruikte constanten) zien dat uit de formule voor de intensiteit I inderdaad de eenheid van intensiteit volgt.

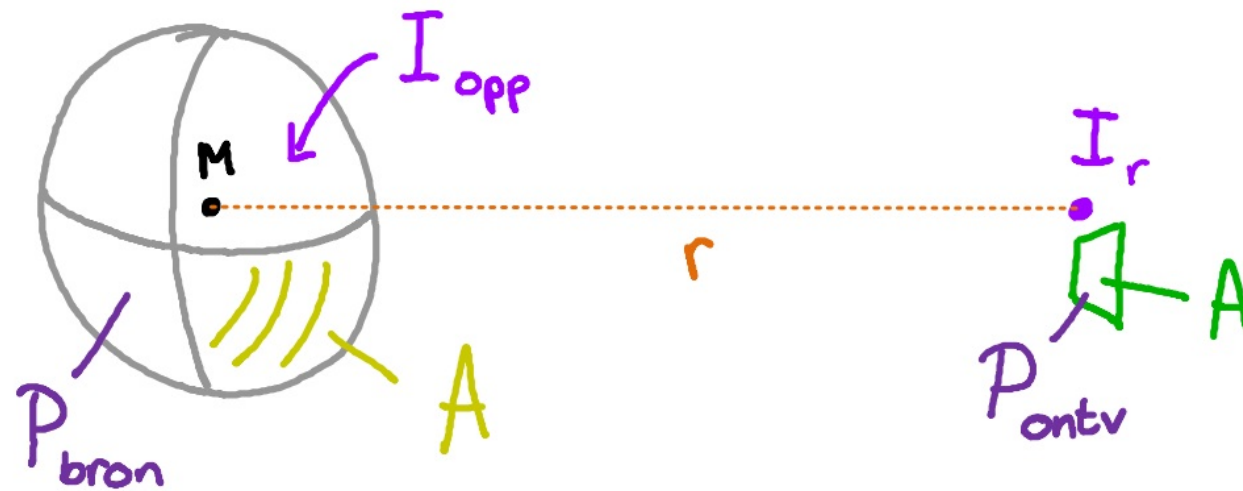
Als je aanneemt dat de afstand van de zon tot de aarde constant is, kun je stellen dat een even groot deel van het zonlicht op het aardoppervlak valt. Als je daarnaast aanneemt dat de aarde bolvormig is, dan wordt dit oppervlak gegeven door de doorsnede van de aarde, ofwel:

$$A_{\text{bestraald}} = \pi r_{\text{aarde}}^2$$

Volgens Wikipedia levert de zon 174 PW vermogen aan onze aarde (het voorvoegsel P staat voor peta, zie Binas).

- 3 Toon met deze aannames aan dat het vermogen van de zon gelijk is aan $3,83 \cdot 10^{26} \text{ W}$.
Hint: welk deel van alle straling van de zon belicht daadwerkelijk het oppervlak van de aarde?
- 4 Toon aan dat de intensiteit aan het oppervlak van de zon gelijk is aan $I = 6,3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$.
- 5 Bereken met de wet van Stefan-Boltzmann en de uitkomst van vraag 4 wat dan de oppervlaktetemperatuur van de zon is.

inzicht: let op dat de waarde $P = 174$ petawatt het vermogen is dat het aardoppervlak van de zon ontvangt. Dit is dus nog niet het uitgezonden vermogen van de zon in zijn geheel.



$$\lambda_{\max} \cdot T = k_w$$

$$P_{\text{bron}} = I_{\text{opp}} \cdot A$$

$$P_{\text{ontv}} = I_r \cdot A$$

$$I_{\text{opp}} = \sigma \cdot T^4$$

$$I_r = \frac{P_{\text{bron}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

constante v. Wien:

$$2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \text{ of } 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

$$P_{\text{bron}} = \sigma \cdot T^4 \cdot A$$

④ $I = \frac{P}{A}$

$I = \frac{3,84 \cdot 10^{26} \text{ W}}{4\pi \cdot (6,963 \cdot 10^8 \text{ m})^2} = 6,3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$

$I = ?$

⑤ $I = \sigma \cdot T^4 \rightarrow T = \left(\frac{I}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}}$

$T = \left(\frac{6,3 \cdot 10^7}{5,67 \cdot 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{4}} = 5,8 \cdot 10^3 \text{ K}$

inzicht: opgve 4 gaat er van uit dat je de oppervlaktetemperatuur T van de zon nog niet weet, dus deze formule kun je niet gebruiken.

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

toepassingen

Opgave 1 Zonnestraling

Volgens de wet van Stefan-Boltzmann is de stralingsintensiteit I van sterren (zoals de zon) aan hun oppervlak evenredig met de 4e macht van de absolute temperatuur T :

$$I = \sigma \cdot T^4$$

Hierin is σ een evenredigheidsconstante die weer is afgeleid van een aantal andere constanten:

$$\sigma = 2\pi^5 \cdot k^4 \cdot 15 = 5,6705 \cdot 10^{-8}$$

constante van Boltzmann (zie tabel 7 van Binas).

at de gegeven getalswaarde van σ inderdaad volgt uit de formule voor σ .
rekenmachine geeft misschien 'o' als antwoord: hoe kun je dit oplossen?)

- Laat met behulp van de formule voor σ en dimensieanalyse (d.w.z. gebruik maken van de afzonderlijke eenheden van de gebruikte constanten) zien dat uit de formule voor de intensiteit I inderdaad de eenheid van intensiteit volgt.

Als je aanneemt dat de afstand van de zon tot de aarde constant is, kun je stellen dat een even groot deel van het zonlicht op het aardoppervlak valt. Als je daarnaast aanneemt dat de aarde bolvormig is, dan wordt dit oppervlak gegeven door de doorsnede van de aarde, ofwel:

$$A_{\text{bestraald}} = \pi r_{\text{aarde}}^2$$

Volgens Wikipedia levert de zon 174 PW vermogen aan onze aarde (het voorvoegsel P staat voor peta, zie Binas).

- Toon met deze aannames aan dat het vermogen van de zon gelijk is aan $3,83 \cdot 10^{26} \text{ W}$.
Hint: welk deel van alle straling van de zon belicht daadwerkelijk het oppervlak van de aarde?
- Toon aan dat de intensiteit aan het oppervlak van de zon gelijk is aan $I = 6,3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$.
- Bereken met de wet van Stefan-Boltzmann en de uitkomst van vraag 4 wat dan de oppervlaktetemperatuur van de zon is.

⑥ maximaal uitgezonden golflengte berekenen met de verschuivingswet van Wien, T opzoeken in binas

$$\lambda_{\max} = \frac{k_w}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{5,78 \cdot 10^3} = 5,01 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

⑦ Voorbeeld: $\lambda = 486 \text{ nm}$ is ook een emissie/absorptielijn van waterstof

$$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda} =$$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

toepassingen

Opgave 2 Maanrobotjes (naar pilot examen vwo 2010-II)

Sinds astronaut Jack Schmidt in 1972 de maan verliet, zijn er geen mensen meer op de maan geweest. De Nederlandse Nobelprijswinnaar Gerard 't Hooft denkt dat dit op korte termijn ook niet meer zal gebeuren. In zijn boek 'Playing with planets' beschrijft hij een plan om de maan te koloniseren met behulp van minirobotjes zoals in figuur 12.42. Zo'n maanrobotje is voorzien van een camera en kan via internet bestuurd worden. Iedereen kan zo zelf via internet de maan verkennen.

De maanrobotjes maken voor hun energievoorziening gebruik van zonnepanelen. Bij de keuze van het materiaal van deze zonnepanelen moet rekening worden gehouden met de golflengtes van het opvallende zonlicht.

De opbrengst van de zonnepanelen zal het hoogst zijn wanneer deze geoptimaliseerd worden voor de golflengte waarbij de zon de meeste energie uitzendt.

6 Bereken die golflengte.

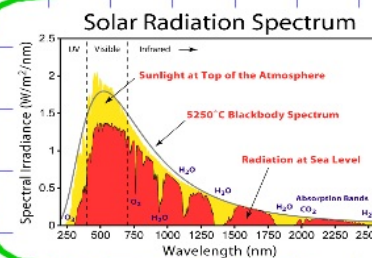
In de straling van de zon komen niet alle golflengten voor. In tabel 20 van Binas zijn donkere lijnen in het zonnenspectrum te zien. Een aantal van deze lijnen wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van waterstof in de buitenste laag van de zon.



▲ Figuur 12.42

7 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de golflengte van één van de donkere lijnen in het zonnenspectrum die worden veroorzaakt door de aanwezigheid van waterstof.
- Leg uit waarom je deze lijn gekozen hebt.
- Bereken de fotonenergie die hoort bij de gekozen lijn. Geef je antwoord in joule.



LET OP: De zon is geen zwarte straler (want niet vast of vloeibaar) maar mag qua uitgezonden straling toch zo benaderd worden.

Cs: $U_{\text{uit}} = 1,94 \text{ eV}$ $\lambda_{\text{grens}} = 639 \text{ nm}$

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

toepassingen

Opgave 3 Witte led (naar examen vwo 2008-I)

Marlies bekijkt het spectrum van een led die wit licht uitzendt. Marlies laat het witte licht dat de led uitzendt door een filter op een fotocel vallen. De kathode van deze fotocel is bedekt met een laagje cesium (Cs). Zij beschikt over drie kleurenfilters die licht doorlaten met golflengtes van 450 tot 500 nm, 550 tot 600 nm en 650 tot 700 nm.

8 Bereken bij welk(e) filter(s) er geen foto-elektrisch effect optreedt. Geef een duidelijke toelichting.

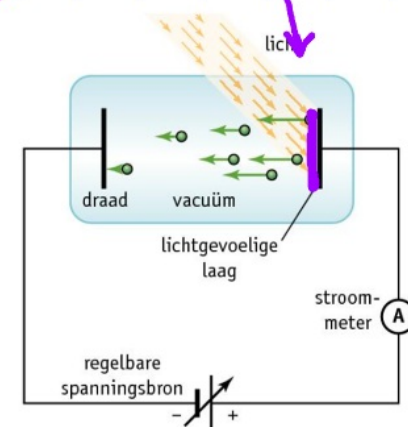
Marlies meet bij het filter van 550 tot 600 nm de remspanning. Dit is de spanning die nodig is om de elektronen die uit de kathode vrijkomen met de grootste kinetische energie nog net voor de anode tot stilstand te brengen.

9 Bereken deze remspanning

⑧ Geen foto-elektrisch effect bij dit filter

⑨ $E_f(550 \text{ nm}) = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 2,25 \text{ eV} \rightarrow 2,25 \text{ eV} - 1,94 \text{ eV} = 0,31 \text{ eV}$
 dus een remspanning van 0,31 V

hier dus



▲ Figuur 12.19 Meten van de fotostroom

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

toepassingen

⑩ $E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ of tabel 19 A: $\lambda = 436$, violet

⑪ Ionisatie-energie aflezen: 10,4 eV

verschil is
2,85 eV

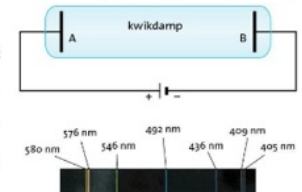
⑭ emissiefoton heeft $E = 3,96$ eV

wel eerst aanslaan van $-10,44$ eV naar $-1,60$ eV

⑮ AO + DNA ; abs: 502 nm; emissie: 525 nm
AO + RNA ; abs: 460 nm; emissie: 650 nm

Opgave 4 Fluorescentie-microscopie

Bij fluorescentie-microscopie wordt een fluorescerende stof aan een preparaat toegevoegd. Het preparaat wordt vervolgens onder de microscoop beschienen met een lamp. Hierbij worden onder meer kwiklampen gebruikt.



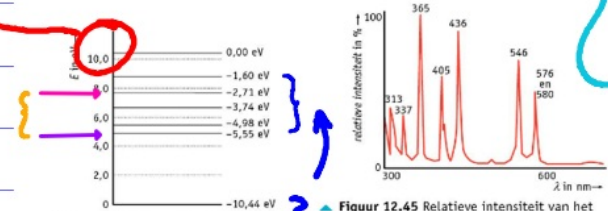
Figuur 12.43

In figuur 12.43 is schematisch een kwiklamp getekend. In de buis bevindt zich een kleine hoeveelheid kwikdamp. Wanneer over de platen A en B een elektrische spanning wordt gezet, gaat er een elektrische stroom lopen waardoor de kwikatomen worden aangeslagen. Figuur 12.44 toont het vereenvoudigde energieniveauschema van kwik.

10 Geef aan bij welke overgang een energie van 2,85 eV hoort. Wat is de kleur van de bijbehorende spectraallijn?

Sommige kwikatomen worden bij de botsingen met de elektronen geïoniseerd.

11 Bereken welke snelheid een elektron minstens moet hebben om een kwikatoom te ioniseren.



Figuur 12.44

Figuur 12.45

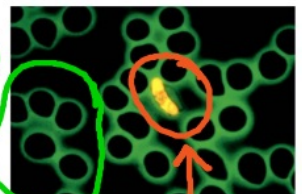
12 Leg uit of de geïoniseerde atomen net als de aangeslagen atomen licht kunnen uitzenden.

In figuur 12.45 staat de relatieve intensiteit van de kwiklijnen ten opzichte van de meest intense piek van 365 nm (100%). Kwiklampen worden gebruikt bij fluorescentie-microscopie.

13 Leg met behulp van het spectrum uit dat een lichtbron met kwik geschikt is voor fluorescentie-microscopie.

14 Bereken hoeveel eV energie een kwikatoom moet absorberen om bij te dragen aan de piek bij 313 nm.

Fluorescentie-microscopie kan gebruikt worden om bij mensen vast te stellen of ze malaria hebben (zie figuur 12.46). Hiervoor wordt de fluorescerende stof acridine-oranje toegevoegd aan een bloedpreparaat. Als deze stof bindt aan DNA dan heeft het een absorptiemaximum bij 502 nm en een emissiemaximum bij 525 nm. Bij een binding met RNA verandert dit naar 460 nm respectievelijk 650 nm.



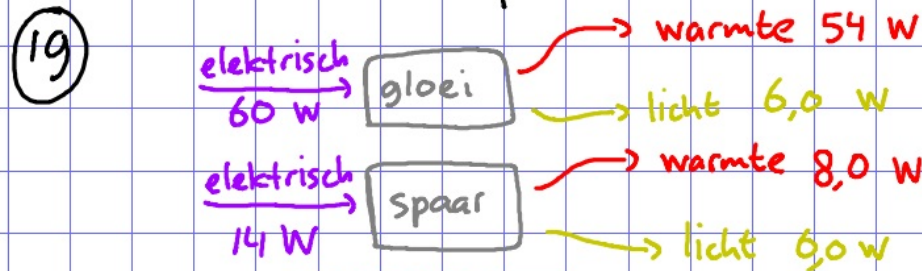
Figuur 12.46

15 Bereken het verschil in frequentie tussen de emissiepieken bij binding aan RNA en bij binding aan DNA.

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

toepassingen

18 $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{2700 \text{ K}} = 1073 \text{ nm}$



$14 \text{ W} = 9562 \text{ lum}$

$\eta = \frac{\text{nuttig}}{\text{totaal}} \times 100\% = \frac{6,0}{14} \times 100\% = 43\%$

20 $E_{\text{foton}} = \frac{h \cdot c}{555 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,570 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ lumen} = \frac{1}{683} \text{ W} = 0,001574 \text{ W}$

$\frac{0,01574}{3,570 \cdot 10^{-19}} = 4,39 \cdot 10^{15} \text{ fotonen}$

Opgave 5 Lampen

In figuur 12.47 zie je het spectrum van een gloeilamp, een led-lamp en een fluorescentie-spaarlamp.

16 Leg uit welk spectrum bij welke lamp hoort.

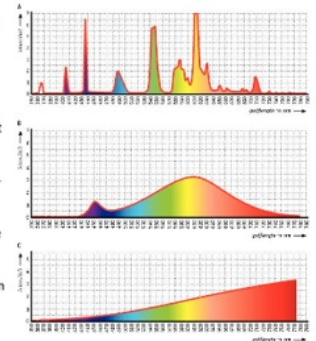
De drie lampen hebben volgens de fabrikant de overeenkomst dat ze alle drie dezelfde lichtopbrengst (800 lumen) en kleurtemperatuur (2700 K) hebben.

17 Wat wordt er bedoeld met het begrip kleurtemperatuur?

18 Bij welke golflengte zendt de gloeilamp de meeste straling uit?

Het vermogen van de spaarlamp is 14 W en dat van de gloeilamp 60 W.

19 Bereken het rendement van de spaarlamp als gegeven is dat de gloeilamp voor 10% zichtbaar licht uitzendt.



▲ Figuur 12.47

Omdat de gevoeligheid van het menselijk oog afhankelijk is van de golflengte van het licht, wordt niet alleen gekeken naar het elektrisch rendement maar ook naar het lichtrendement. Het menselijk oog is het meest gevoelig voor licht van 555 nm. De eenheid lumen is gedefinieerd als 1/683 watt lichtvermogen voor deze golflengte. Het lichtrendement is de verhouding tussen de werkelijke lichtopbrengst en de theoretische maximale lichtopbrengst.

20 Bereken hoeveel fotonen van 555 nm er in één lumen zitten.

21 Bereken het lichtrendement van de spaarlamp.

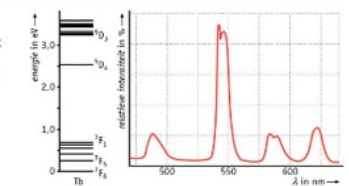
Een spaarlamp bevat een mix van stoffen. Een veelgebruikt atoom is terbium. In figuur 12.48 zie je het emissiespectrum van terbium en een overzicht van de energieniveaus.

22 Leg met behulp van figuur 12.45, figuur 12.47 en figuur 12.48 uit of er kwik en of er terbium in de spaarlamp zou kunnen zitten.

Het emissiespectrum is het gevolg van het terugvallen van elektronen van de toestand aangeduid met 1D_2 naar toestanden aangeduid met 1F_3 (met $N = 1, 2, \dots$).

23 Bepaal voor welke waarde van N de overgang het meest waarschijnlijk is.

De hoeveelheid licht die spaarlampen en led-lampen uitzenden hangt ook af van het aantal branduren. Dit wordt weergegeven met een halfwaardetijd: na één halfwaardetijd is de lichtopbrengst gehalveerd. Een fel schijnende witte led die dag en nacht aanstaat heeft een halfwaardetijd van 7300 uur.



▲ Figuur 12.48

24 Bereken na hoeveel jaar de lichtopbrengst met 87,5% is gedaald.

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

toepassingen

- 21 De theoretisch maximale lichtopbrengst = $14 \text{ W} / (1/683) = 9562 \text{ Lumen} \rightarrow \eta = 800/9562 = 8,4\%$.

- 22 Zie de tabellen hieronder. Er kan dus best terbium en kwik in de spaarlamp zitten, maar de lange golflengtes zijn nog niet vertegenwoordigd. Er zitten dus ook nog andere stoffen in.

spectraallijnen van de spaarlamp

405	436	488	545	588	600	613	631	708
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

spectraallijnen van terbium

		485	540	585				
--	--	-----	-----	-----	--	--	--	--

spectraallijnen van kwik

405	436	492	546	580				
-----	-----	-----	-----	-----	--	--	--	--

- 23 De piek bij ongeveer 545 nm is het hoogst. Dat betekent dat de hierbij behorende overgang het meest waarschijnlijk is. De energie van de bijbehorende fotonen is:

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2,998 \cdot 10^8}{545 \cdot 10^{-9} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}} = 2,28 \text{ eV}$$

Het niveau 5D_4 ligt op $2,55 \text{ eV}$. Het niveau waar het elektron naar terugvalt ligt dan op $2,55 - 2,28 = 0,27 \text{ eV}$. Dit correspondeert met 7F_5 of $N = 5$.

- 24 Als je iets $1\times$ halveert, is er 50% over. Als je daarvan weer de helft neemt is er nog 25% over (een daling van 75%). Halveer je nog een derde keer, dan heb je nog $12,5\%$ over. De lichtopbrengst is dan met $100,0 - 12,5 = 87,5\%$ gedaald. Drie keer een halvering is $3 \cdot 7300 = 21900 \text{ h} = 21900 / (24 \cdot 365) = 2,5$ jaar. *Dat lijkt niet zo heel lang, maar bedenk wel dat de lamp dan wel steeds dag en nacht aan staat!*

Opgave 5 Lampen

In figuur 12.47 zie je het spectrum van een gloeilamp, een led-lamp en een fluorescentie-spaarlamp.

- 16 Leg uit welk spectrum bij welke lamp hoort.

De drie lampen hebben volgens de fabrikant de overeenkomst dat ze alle drie dezelfde lichtopbrengst (800 lumen) en kleurtemperatuur (2700 K) hebben.

- 17 Wat wordt er bedoeld met het begrip kleurtemperatuur?

- 18 Bij welke golflengte zendt de gloeilamp de meeste straling uit?

Het vermogen van de spaarlamp is 14 W en dat van de gloeilamp 60 W .

- 19 Bereken het rendement van de spaarlamp als gegeven is dat de gloeilamp voor 10% zichtbaar licht uitzendt.

Omdat de gevoeligheid van het menselijk oog afhankelijk is van de golflengte van het licht, wordt niet alleen gekeken naar het elektrisch rendement maar ook naar het lichtrendement. Het menselijk oog is het meest gevoelig voor licht van 555 nm . De eenheid lumen is gedefinieerd als $1/683$ watt lichtvermogen voor deze golflengte. Het lichtrendement is de verhouding tussen de werkelijke lichtopbrengst en de theoretisch maximale lichtopbrengst.

- 20 Bereken hoeveel fotonen van 555 nm er in één lumen zitten.

- 21 Bereken het lichtrendement van de spaarlamp.

Een spaarlamp bevat een mix van stoffen. Een veelgebruikt atoom is terbium. In figuur 12.48 zie je het emissiespectrum van terbium en een overzicht van de energieniveaus.

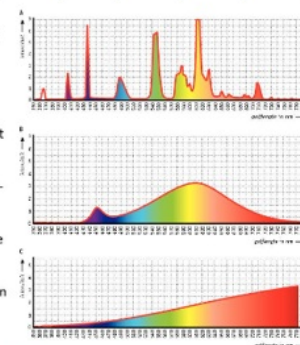
- 22 Leg met behulp van figuur 12.45, figuur 12.47 en figuur 12.48 uit of er kwik en/of terbium in de spaarlamp zou kunnen zitten.

Het emissiespectrum is het gevolg van het terugvallen van elektronen van de toestand aangeduid met 5D_4 naar toestanden aangeduid met 7F_N (met $N = 1, 2, \dots$).

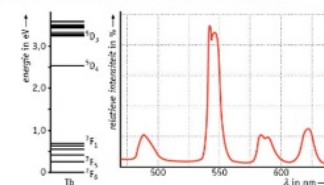
- 23 Bepaal voor welke waarde van N de overgang het meest waarschijnlijk is.

De hoeveelheid licht die spaarlampen en led-lampen uitzenden hangt ook af van het aantal branduren. Dit wordt weergegeven met een halfwaardetijd: na één halfwaardetijd is de lichtopbrengst gehalveerd. Een fel schijnende witte led die dag en nacht aanstaat heeft een halfwaardetijd van 7300 uur.

- 24 Bereken na hoeveel jaar de lichtopbrengst met $87,5\%$ is gedaald.



▲ Figuur 12.47



▲ Figuur 12.48

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

Opgave 6 Fotomultiplicatorbuis

- 25 De eerstvolgende *grotere* golflengte is 668 nm. De grensgolflengte van Cs is 639 nm (*Binas* tabel 24), dus er komen alleen elektronen vrij bij $\lambda < 639$ nm. De fotonen van 52 nm en 58 nm hebben natuurlijk wel veel energie, maar deze uv-straling wordt door het glas geabsorbeerd.

- 26 $\lambda = 396$ nm; $E_{\text{uittree}} = 1,94$ eV (*Binas* tabel 24)

$$E_f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2,998 \cdot 10^8}{396 \cdot 10^{-9} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}} = 3,13 \text{ eV}$$

$$E_{k,\text{max}} = 3,13 - 1,94 = 1,19 \text{ eV}$$

- 27 $3,5 \cdot 10^{-11} \text{ C/s} \rightarrow 3,5 \cdot 10^{-11} / 1,602 \cdot 10^{-19} = 2,18 \cdot 10^8$ elektronen/s. Dit is ook het aantal fotonen dat per seconde elektronen vrijmaakt. Omdat dit slechts 5% is van het totaal zijn er $100 / 5 = 20 \times$ zoveel: $4,37 \cdot 10^9$ fotonen per sec.

- 28 Er is $10 \times$ versterking; $\rightarrow 3,5 \cdot 10^{-11} \times 5^{10} = 0,34 \text{ mA}$

toepassingen

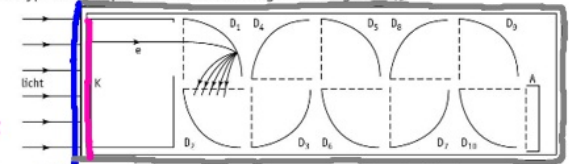
glas
(laat geen
UV door)

Cs, grensgolflengte:

$\lambda = 639 \text{ nm}$
of korter
dus

Opgave 6 Een fotomultiplicatorbuis (naar examen vwo 1988-I)

Fotomultiplicatorbuizen kunnen worden gebruikt om zeer kleine lichtintensiteiten te meten. Een bepaald type fotomultiplicator is schematisch afgebeeld in figuur 12.49.



Figuur 12.49

De figuur toont een glazen omhulsel met daarin een fotokathode K, een aantal elektroden D en een anode A. De buis is vacuüm gepompt. Aan de kant waar de straling invalt, is tegen de binnenzijde van de buis een dun laagje cesium (Cs) aangebracht dat als fotokathode fungeert.

Het glazen omhulsel is van een ondoorzichtige laag voorzien, behalve op de plaats waar de fotokathode zich bevindt. Het glas absorbeert ultraviolette straling. De straling is afkomstig van een bron waarin heliumatomen voortdurend in een bepaalde aangeslagen toestand worden gebracht. De golflengtes van de uitgezonden straling zijn aangegeven in het energieniveau-schema van figuur 12.50.



Figuur 12.50

Helium

- 25 Leg uit dat van de opvallende straling alleen die met een golflengte van 396 nm elektronen uit de fotokathode zal vrijmaken.

- 26 Bereken de maximale kinetische energie van de vrijgemaakte elektronen.

Van de straling met een golflengte van 396 nm die op het glas met de fotokathode valt, maakt slechts 5,0% van de fotonen een elektron uit het cesiumlaagje vrij. Tussen K en D₁ wordt een gelijkspanning van 100 V aangelegd. Hierdoor gaan alle vrijgemaakte elektronen naar D₁. De stroomsterkte tussen K en D₁ bedraagt $3,5 \times 10^{-11} \text{ A}$.

- 27 Bereken hoeveel fotonen van de straling met een golflengte van 396 nm er per seconde op het glas met de fotokathode vallen.

De uit de fotokathode afkomstige elektronen treffen elektrode D₁. Daardoor worden elektronen vrijgemaakt. Deze worden ten gevolge van een tussen D₁ en D₂ aangelegde gelijkspanning van 100 V weer versneld naar de volgende elektrode D₂. Gemiddeld gaan 5,0 maal zoveel elektronen van D₁ naar D₂ als er op D₁ vallen. Ook tussen de volgende elektroden D₂, D₃, ..., D₁₀ en A is steeds een gelijkspanning van 100 V aangelegd. Daardoor kunnen op dezelfde wijze de op elektrode D₁₀ vallende elektronen ervoor zorgen dat 5,0 maal zoveel elektronen de volgende elektrode bereiken.

- 28 Bereken de stroomsterkte tussen D₁₀ en de anode A.

Hoofdstuk 12: Atoomfysica

toepassingen

Opgave 7 Natuurconstanten

29 Met alle waarden uit *Binas* krijgen we:

$$\alpha = 2\pi \cdot \frac{fe^2}{hc} = 2\pi \cdot \frac{8,987551787 \cdot 10^9 \cdot (1,602176565 \cdot 10^{-19})^2}{6,62606957 \cdot 10^{-34} \cdot 2,99792458 \cdot 10^8} = 7,29735258 \cdot 10^{-3}$$

De getalwaarde komt overeen. De significantie is dan 6 cijfers.

30 $[\alpha] = \frac{N \cdot m^2 \cdot C^{-2} \cdot C^2}{J \cdot s \cdot m \cdot s^{-1}} = \frac{N \cdot m^2}{Nm \cdot m} = -$

α heeft dus geen eenheid.

31 $E_{32} = 12,0888 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{6}\right) = 12,0887 \text{ J}$

32 De grootste golflengte is te berekenen uit de kleinste energiesprong:

$$\Delta E = 12,0886 - 10,2002 = 1,8884 \text{ eV} = 3,02555 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

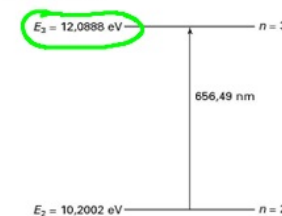
Voor de golflengte geldt dan:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{3,02555 \cdot 10^{-19}} = 656,56 \text{ nm}$$

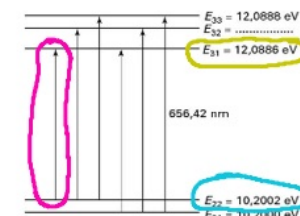
$$\text{Dus } \Delta\lambda = 656,56 - 656,42 = 0,14 \text{ nm}$$

Opgave 7 Natuurconstanten (examen vwo 2004-II)

In tabel 21A van *Binas* staat het energieniveauschema van het waterstofatoom volgens het atoommodel van Bohr. In figuur 12.51 is de situatie voor de energieniveaus voor de hoofdkwantumgetallen $n = 2$ en $n = 3$ weergegeven.



▲ Figuur 12.51



▲ Figuur 12.52

Volgens het model van Bohr zou de geabsorbeerde golflengte tussen deze niveaus 656,49 nm bedragen. In werkelijkheid zijn de twee getoonde niveaus opgesplitst in een aantal subniveaus. Men spreekt van de 'fijnstructuur'. Zie figuur 12.52. Deze figuur is niet op schaal. Hierbij speelt de zogeheten fijnstructuurconstante α een rol.

Voor α geldt:

$$\alpha = 2\pi \cdot \frac{fe^2}{hc} = 0,007297351$$

Hierin is f de constante in de wet van Coulomb, e het elementair ladingskwantum, h de constante van Planck en c de lichtsnelheid.

29 Laat met een berekening zien of de gegeven waarde van α zowel wat betreft getalwaarde als wat betreft significantie in overeenstemming is met de benodigde gegevens uit tabel 7 van *Binas*.

30 Ga met een eenhedenbeschouwing na of α een eenheid heeft.

In figuur 12.53 is aangegeven hoe de energiewaarden die bij de subniveaus van figuur 12.52 horen, afhangen van de fijnstructuurconstante α .

$$\begin{aligned} E_{21} &= E_2 \cdot \left(1 - \frac{5\alpha^2}{16}\right) & E_{31} &= E_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{4}\right) \\ E_{22} &= E_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{16}\right) & E_{32} &= E_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{6}\right) \\ & & E_{33} &= E_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{12}\right) \end{aligned}$$

▲ Figuur 12.53

31 Bereken de waarde van E_{31} .

De absorptielijn van 656,49 nm uit figuur 12.51 heeft een zekere lijnbreedte $\Delta\lambda$. Dit komt omdat de lijn feitelijk bestaat uit de 6 absorptielijnen die uit de energieniveaus van figuur 12.52 volgen. De lijnbreedte $\Delta\lambda$ is het verschil tussen de grootste golflengte en de kleinste golflengte van deze absorptielijnen. De golflengte die hoort bij de absorptielijn van de grootste energie-overgang is 656,42 nm.

32 Bereken de lijnbreedte $\Delta\lambda$.

Hoofdstuk 12 Atoomfysica

- ACTIVITEITEN -

Als we grotere activiteiten zoals practicum gedaan hebben tijdens dit hoofdstuk dan vind je hier de informatie die daar bij hoorde. Hoewel dit niet cruciaal is voor succes op het proefwerk is het wel nuttig om te bekijken. Probeer je daarbij te herinneren wat we precies gedaan hebben en waarom dat een nuttige leeractiviteit zou kunnen zijn met het oog op de proefwerkstof.

Hoofdstuk 12 Atoomfysica

- Archief -

