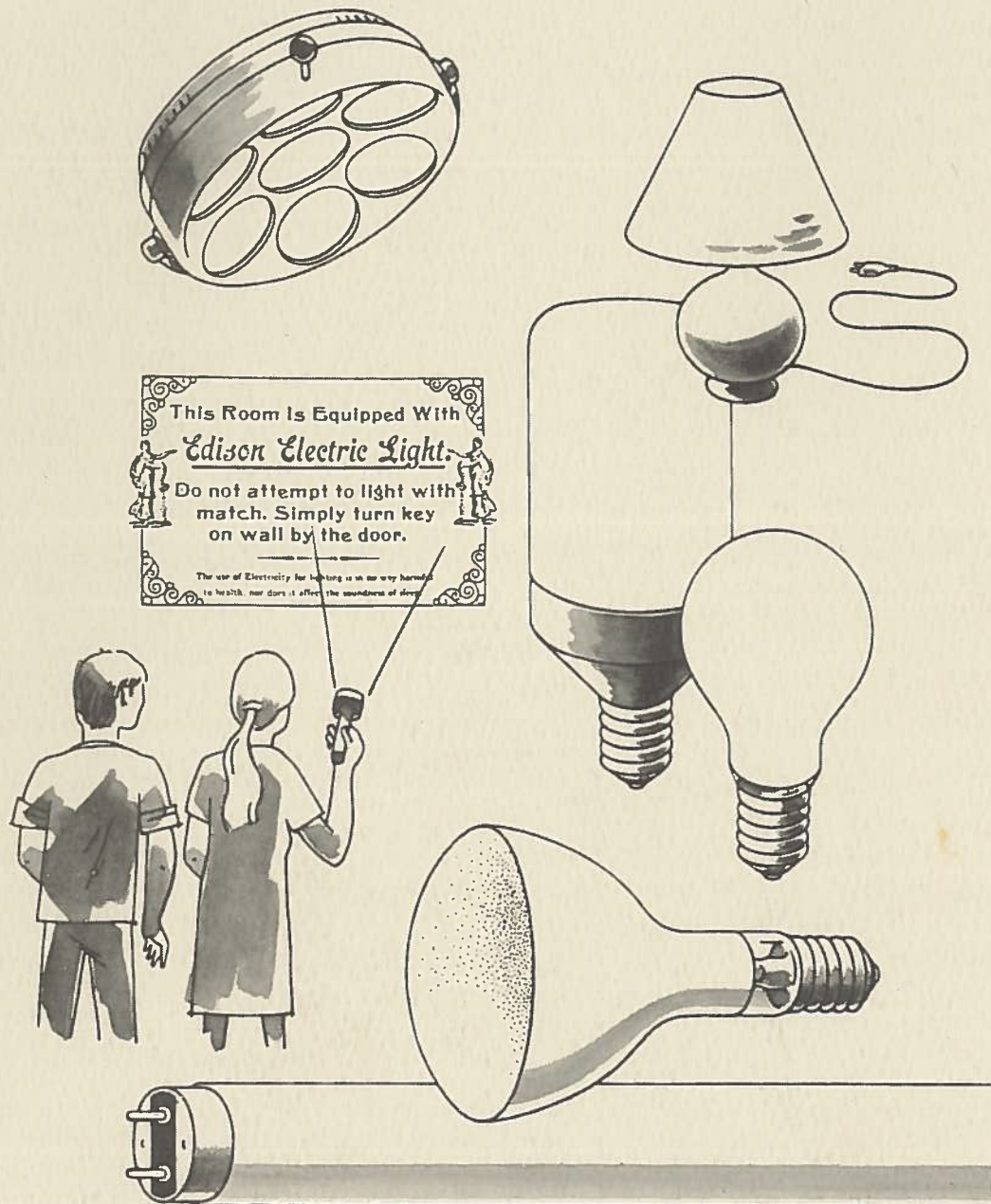


Verlichting



VERLICHTING

Een lespakket voor klas 5 en 6 vwo

Samenstelling: E. van Engelen

M. de Vries

Tekeningen : C. Quak

Project Natuurkunde en Techniek

Vakgroep Didaktiek Natuurkunde

Afdeling der Technische Natuurkunde

Technische Universiteit Eindhoven

N&T 86-14

VERLICHTING

INHOUD	Pag.
Inleiding	3
<u>Basisstof</u>	
1. Begrippen uit de natuurkunde: elektriciteit en atoommodellen	4
2. Het ontwerpen van de gloeilamp	17
3. De gasontladingslamp	23
4. Gebruik en kosten van lichtbronnen	36
5. Natuurkunde en techniek	41
<u>Extra stof</u>	
1. Edison	45
2. Fotometrie	48

Bij dit lespakket is een docentenhandleiding beschikbaar

INLEIDING

Als je een schatting maakt van hoe lang en hoe vaak je per dag, vooral in de winter, gebruik maakt van kunstlicht, zie je dat je de kunstmatige lichtbron niet meer kunt missen.

In dit lespakket worden de belangrijkste lichtbronnen en hun natuurkundige principes besproken. Je zult zien hoe je in de techniek lichtbronnen ontwerpt met behulp van de natuurkunde. Twee lichtbronnen bekijk je uitgebreider: de gloeilamp en de gasontladingslamp.

In **paragraaf 1** vind je enkele belangrijke begrippen. Niet alle natuurkunde die je nodig hebt, is al behandeld. Daarom worden nog een aantal nieuwe begrippen en wetten besproken.

In **paragraaf 2 en 3** zie je hoe in de techniek de gloeilamp en de gasontladingslamp worden ontworpen. Je gebruikt daarbij de natuurkunde uit paragraaf 1.

In **paragraaf 4** bekijken we het gebruik en de kosten van lichtbronnen.

In **paragraaf 5** zie je wat techniek is en wat techniek met natuurkunde te maken heeft.

In de **extra stof** vind je de geschiedenis van de gloeilamp en iets over fotometrie.

1. BEGRIPPEN UIT DE NATUURKUNDE: ELEKTRICITEIT EN ATOOMMODELLEN

Met verlichting heb je elke dag te maken. Je gebruikt allerlei soorten lampen voor allerlei doeleinden. In dit lespakket leer je hoe die lichtbronnen in de techniek zijn ontworpen en wat de natuurkundige principes ervan zijn. Om die natuurkundige begrippen te kunnen begrijpen, zetten we in deze paragraaf eerst een aantal begrippen bij elkaar, die je al kent. Dat gebeurt in het gedeelte over 'Elektriciteit'.

Maar om te kunnen begrijpen hoe lichtbronnen werken heb je ook nieuwe kennis nodig. Die nieuwe kennis gaat over atoommodellen. In het tweede deel van deze paragraaf lees je daar over.

A. Elektriciteit

Een elektrische stroom loopt tussen twee punten als er een potentiaalverschil staat tussen die twee punten en de punten geleidend verbonden zijn.

Geleiders zijn stoffen waarin zich ionen of elektronen onder invloed van elektrische krachten kunnen bewegen.

Zeer bekende geleiders zijn de vaste metalen geleiders. Hierin zijn de **elektronen** de elektrische ladingsdragers. Ook vloeistoffen en gassen kunnen geleidend zijn. In een vloeistof zijn de **ionen** de ladingsdragers. In een gas zijn dit zowel ionen als elektronen.

Belangrijk bij het werken met het begrip 'elektrische stroom' is dat je bedenkt dat:

- de elektronen van de punten met een lagere naar punten met een hogere potentiaal (spanning) bewegen.
- de elektrische stroom (volgens afspraak) van een hogere naar een lagere potentiaal (spanning) loopt.

Een belangrijk begrip in de elektriciteitsleer is de elektrische weerstand. Deze geeft aan hoe makkelijk of moeilijk de stroom door een onderdeel van een schakeling gaat.

Voor de elektrische weerstand geldt de **wet van Ohm**. Die luidt:

De verhouding tussen de spanning V over een geleidende draad en de stroom I in die draad is konstant. Deze konstante verhouding noemen we de **weerstand R** .

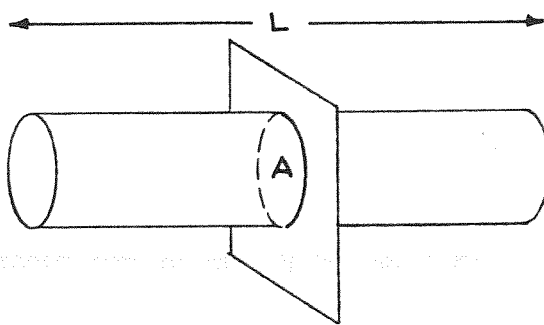
In formulevorm luidt de wet van Ohm: $\frac{V}{I} = R$ (wet van Ohm).

De eenheid van spanning is de volt (V), de eenheid van de stroomsterkte is de ampère (A) en de eenheid van de weerstand is de ohm (Ω).

De wet van Ohm is alleen geldig bij metalen draden en bij konstante temperatuur. Je spreekt dan ook wel van ohmse weerstand.

De weerstand R van een draad hangt af van de lengte l , de oppervlakte A van de doorsnede, de soort stof en van de temperatuur. Verder geldt dat de weerstand (bij konstante temperatuur):

- evenredig toeneemt bij toename van de lengte van de draad,
- evenredig afneemt bij afname van het oppervlak van de doorsnede,
- afhankelijk is van de soort stof.



Figuur 1. Een metaaldraad.

In formulevorm geldt: $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$

Hierin is: R de weerstand van de draad, l de lengte, A de oppervlakte van de doorsnede en ρ (spreek uit: roo) de soortelijke weerstand. De soortelijke weerstand ρ is afhankelijk van de soort stof.

Dit alles geldt, zoals gezegd, alleen bij constante temperatuur.

De soortelijke weerstand van een stof is de weerstand van een draad van die stof met een lengte van 1 m en een doorsnede met een oppervlakte van 1 mm^2 bij een temperatuur van 293 K. De eenheid is $\Omega \text{ m}$.

De weerstand van een zuiver metalen draad is, binnen bepaalde grenzen (ongeveer $3 \text{ K} < T < 1000 \text{ K}$) een lineaire functie van de temperatuur van de draad.

In formulevorm: $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$

De gebruikte konstante α heet de temperatuurcoëfficiënt van het metaal, R_0 is de weerstand bij 0° C , R_t is de weerstand bij $t^\circ \text{ C}$.

De temperatuurcoëfficiënt van een metaal is het getal, dat aangeeft welk deel van de weerstand bij 273 K de weerstand van een draad toeneemt bij elke graad temperatuurstijging.

Elektrische energie en elektrisch vermogen

Als laatste onderwerp van de elektriciteitsleer herhalen we de begrippen elektrische energie en elektrisch vermogen.

Het vermogen geeft aan hoeveel energie per seconde wordt omgezet. Voor het elektrisch vermogen P geldt, dat het gelijk is aan de spanning V over een apparaat maal de stroomsterkte I door dat apparaat.

In formulevorm: $P = V \cdot I$

De energie E , die in een bepaalde tijd t wordt omgezet, is het vermogen maal de tijd.

In formulevorm: $E = V \cdot I \cdot t$

Voor de eenheid van vermogen geldt: $1 \text{ watt} = 1 \text{ joule/seconde}$,
 $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ of, anders geschreven: Js^{-1} .

Je kunt daaruit afleiden, dat $1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$.

Vaak wordt elektrische energie uitgedrukt in kWh (kilowatt-uur):

$1 \text{ kWh} = 1000 \times 3600 \text{ Ws} = 3,6 \times 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$

De betrekking $E = V \cdot I \cdot t$ heet de **wet van Joule**.

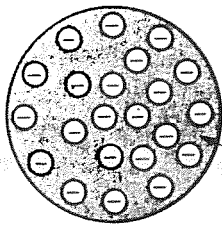
Je kunt deze wet ook schrijven schrijven als:

$$E = I^2 \cdot R \cdot t \quad \text{of} \quad E = \frac{V^2}{R} \cdot t.$$

B. Atoommodellen

Aan het einde van de 19e eeuw heeft het uitvoeren van een aantal experimenten door de Britse natuurkundige J.J. Thomson geleid tot de ontdekking van het **elektron**. Thomsom bepaalde ook de verhouding van de lading e van het elektron en zijn massa m . Door deze proeven kwam Thomson tot een **model voor het atoom**.

In zijn model bestaat het atoom uit een positief geladen massa, die gelijkmatig over het hele volume van het atoom is verdeeld. De elektronen zitten daarin als 'krenten in een brood'.

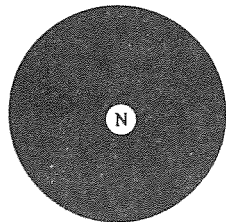


Figuur 2. Het atoommodel van Thomson.

Een beter model werd ontwikkeld door E. Rutherford. Evenals Thomson werkte hij in Cambridge. De proeven van Rutherford zijn erg bekend geworden. Bij die proeven werden heel dunne metaalblaadjes van enkele honderden atomen dik beschoten met α -deeltjes (${}^4_2\text{He}$) met een grote snelheid ($1,6 \cdot 10^7$ m/s). Bijna alle projektielen bleken zonder meetbare afwijking door de metaalblaadjes te gaan. Een enkel projectiel werd sterk van richting veranderd (soms werd het zelfs teruggekaatst).

Rutherford konkludeerde hieruit:

1. Een atoom is voor het grootste deel leeg. Alle massa zit in een klein volume, de kern van het atoom.
2. De diameter van de kern varieert van een tienduizendste deel van de atoomdiameter tot een honderduizendste deel.
3. De positieve lading van de kern is gelijk aan atoomnummer Z van het periodiek systeem.



Figuur 3. Het atoommodel van Rutherford.

Een atoom met atoomnummer Z bestaat uit een kern, die positief geladen is (de lading is: Z maal de elektronlading) en is omgeven door Z elektronen. De totale lading van het atoom is dus 0. De massa van het hele atoom is vrijwel gelijk aan de massa van de kern.

Er bestaan nog een aantal bezwaren tegen het atoommodel van Rutherford. De elektronen zullen zich om de kern moeten bewegen, omdat zij anders, als gevolg van de aantrekking tussen de positieve kern en de negatieve elektronen, op de kern zouden vallen. De vereiste middelpuntzoekende kracht voor die draaibeweging wordt geleverd door de coulombkrachten (aantrekkingskrachten tussen + en - ladingen).

Volgens de elektromagnetische theorieën rijzen tegen deze voorstelling onoverkomelijke bezwaren. Stel dat een elektron een cirkelbaan om de kern doorloopt. Een elektron, dat om de kern beweegt, zendt voortdurend elektromagnetische straling uit. Daardoor verliest het elektron kinetische energie. De straal van de baan van het elektron wordt daardoor steeds kleiner, met als gevolg dat het elektron op de kern zou vallen.

Waarom blijven de elektronen toch in hun banen om de kern draaien? Het atoommodel van Bohr geeft een antwoord op deze vraag.

Om te zien hoe Bohr tot zijn model kwam lees je hier eerst iets over spektra.

Met behulp van een spectroscop bekijk je het licht, dat door een stof wordt uitgezonden. Je kunt daardoor onderzoeken welke verschillende golflengten in dat licht voorkomen. Daardoor kun je die stof analyseren. Om te kunnen zien wat een spectrum eigenlijk inhoudt, doe je **proef 1**.

Proef 1. Het spectrum van neongas.

Eerst zetten we een gasontladingslampje met neongas (lage druk) voor de spleet van een spectroscop. Na aansluiten van de elektroden gaat het gas licht uitzenden. Door de kijker van een spectroscop zien we dan een aantal ragfijne rode, gele en groene lijntjes. Je noemt dat een **spektrum**

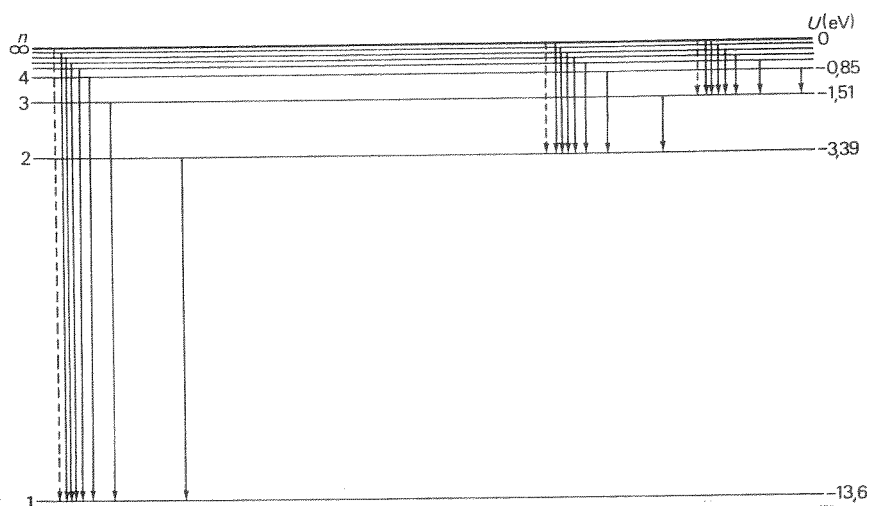
Als we een natriumlamp voor de spleet van een spectroscop zetten, blijkt dat het spectrum uit één gele lijn bestaat (eigenlijk zijn het er twee, die zeer dicht bij elkaar liggen).

We begrijpen nu al beter wat een spectrum is. We zouden kunnen zeggen: een spectrum is een rij gekleurde lijntjes. De golflengten van het uitgezonden licht, zijn voor elk element verschillend. Je kunt een element herkennen aan de golflengten die het uitzendt.

In de proef heb je gezien dat de frequenties of de golflengten van de elektromagnetische straling die een atoom uitzendt bij gassen, niet continu verlopen. Er ontstond een discontinu spectrum, een lijnenspectrum.

Met het atoommodel van Bohr kan men dit verklaren:

- a. Een atoom kan slechts bestaan in bepaalde toestanden. In deze zogenaamde **stationaire toestanden** heeft het atoom een bepaalde inwendige energie. De stationaire toestand met de laagste energie heet **de grondtoestand**.



Figuur 4. Energie-toestanden in een atoom.

Als het atoom een grotere energie heeft dan ~~in~~ de grondtoestand, zegt men dat het atoom in **aangeslagen toestand** verkeert. De toestand met de grootste energie is de geïoniseerde toestand; de energie van ion en het losgeslagen elektron is gelijk aan de **ionisatie-energie**.

b. Als een atoom van energie-toestand U_n overgaat naar U_m zijn er twee mogelijkheden: $U_m > U_n$, dan neemt het atoom een hoeveelheid energie met grootte $U_m - U_n$; als $U_m < U_n$, dan staat het een hoeveelheid energie $U_n - U_m$ af. Een atoom kan niet iets meer of iets minder energie opnemen. Het moet deze energie als één pakketje opnemen. Zo'n pakketje energie noem je een **quantum** (een stralingsquantum).

c. Als deze overgang naar een andere stationaire toestand gebeurt door absorptie of emissie van een stralingsquantum, dan geldt:

$$hf = U_m - U_n$$

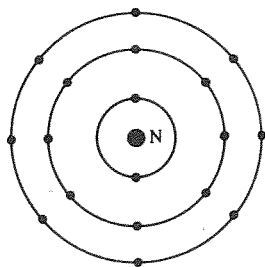
waarbij: h de constante van Planck, en f de frequentie van het uitgezonden licht voorstelt.

$$h = 6,626192 \times 10^{-34} \text{ Js}; \text{ gebruik echter } h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Tot slot nog een opmerking:

De toestand met de grootste energie is de geïoniseerde toestand. Het elektron is dan zeer ver van de kern verwijderd. De potentiële energie is dan maximaal. Deze stel je **per definitie** gelijk aan nul. De andere stationaire toestanden zullen dan een negatieve energie hebben.

Zo is bijvoorbeeld de ionisatie-energie van waterstof 13,6 eV. De potentiële energie van deze toestand is dan volgens afspraak 0 eV. Dat wil dan weer zeggen dat de energie van de grondtoestand gelijk is aan -13,6 eV.



Figuur 5. Het atoommodel van Bohr.

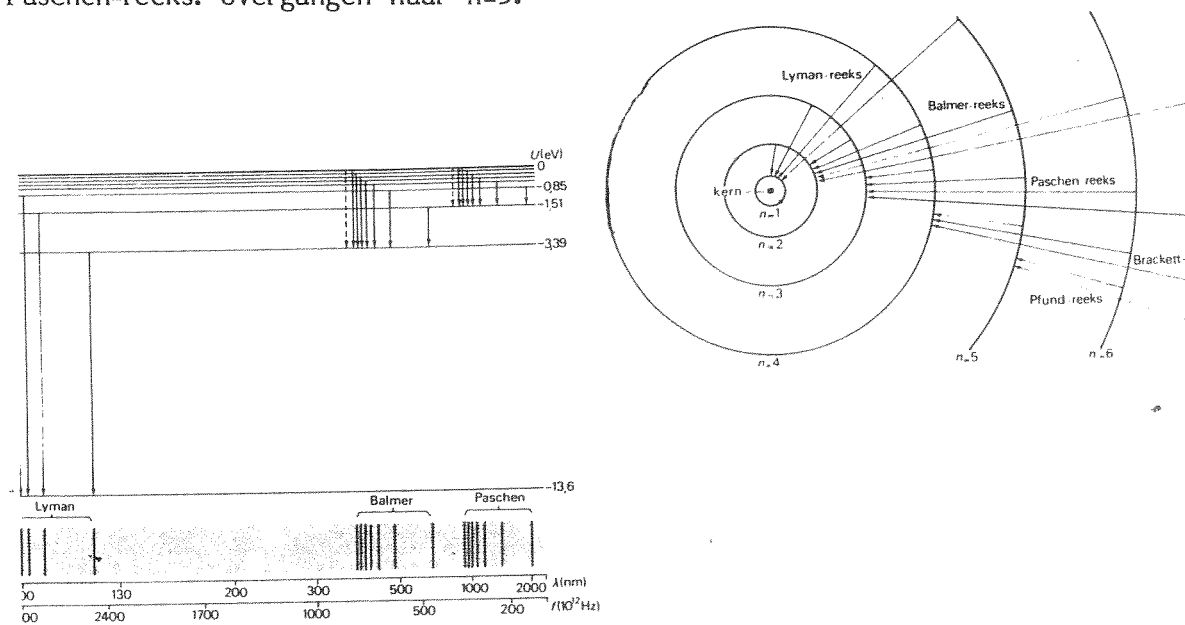
Ter herinnering: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

We bekijken het energie-niveau diagram van waterstof (figuur 5). Het getal n in de figuur geeft aan in welke energie-toestand (of baan) het elektron zich bevindt. Je ziet dat de verschillende soorten overgangen namen hebben gekregen. Ze zijn genoemd naar de ontdekkers ervan. We onderscheiden de:

Lyman-reeks: overgangen naar $n=1$,

Balmer-reeks: overgangen naar $n=2$,

Paschen-reeks: overgangen naar $n=3$.



Figuur 6. Energie-overgangen in het waterstof-atoom.

In het rechter gedeelte van figuur 6 zie je dezelfde reeksen anders getekend. Het atoom is schematisch getekend als een kern en de elektronen die in elektronenbanen om de kern heendraaien.

Je ziet dus:

De energie-toestanden van een atoom zijn gekwantiseerd. Dat betekent dat de kern dus **niet** geleidelijk in een hogere energie-toestand kan raken, maar in stappen.

Aanslag van een atoom:

Wordt aan een atoom voldoende energie (door straling) toegevoerd en door het atoom geabsorbeerd, dan zal een buitenste elektron naar een meer naar buiten gelegen baan gaan. Daar blijft het elektron zéér kort (ongeveer 10^{-6} s). Het valt weldra weer terug naar zijn oorspronkelijke baan en straalt dan de opgenomen energie weer uit in de vorm van een **foton** of **lichtquant**, waarvoor geldt, zoals je al eerder zag:

$$hf = U_m - U_n$$

De energietoevoer kan plaatsvinden door middel van fotonen (energiequanten) of door botsingen met materiële deeltjes.

Ionisatie van een atoom:

Bij absorptie van voldoende energie kan een atoom worden geïoniseerd. De energie van het opvallende foton moet dan tenminste gelijk zijn aan de ionisatie-energie. Van bijvoorbeeld waterstof is de ionisatie-energie 13,6 eV.

Een gloeilamp zendt stralingsenergie uit. Een bepaald gedeelte van die energie kunnen we zien; we zeggen dat die straling in het zichtbare gebied ligt. Het grootste gedeelte echter, zo'n 90%, ligt in het infrarode gebied. Deze energie voel je als warmte.

De gloeidraad van een gloeilamp is een voorbeeld van een vast lichaam dat, als gevolg van zijn hoge temperatuur, straling uitzendt. Je noemt dat **temperatuurstraling**.

Definitie: Temperatuurstraling is de energie-omzetting van warmte in elektromagnetische straling van een stof, waarin de molekulen dicht opeen liggen (een vaste stof).

Om dit alles wat beter te kunnen begrijpen doe je proef 2.

Proef 2. Temperatuurstraling

Kijk met de spectroscop naar een gloeilamp, en daarna naar een gasvlam. Je ziet in beide gevallen een spectrum, waarin geen lijnen voorkomen, maar dat continu doorloopt. Dit in tegenstelling met de resultaten van proef 1 met de spectroscop. Het soort spectra dat je nu ziet noem je **continue spectra**.

Tussen de beide spectra die je bij proef 2 hebt gezien is een opvallend verschil. Dat verschil is een gevolg van de temperatuur van een lichtbron. Zo ontbreken in de gasvlam de kleuren violet, blauw en groen bijna geheel. In het gloeilamplicht ontbreekt violet bijna geheel.

Uit onderzoeken naar het verband tussen de temperatuur en de eigenschappen van de uitgezonden straling blijkt:

1. Voor iedere golflengte neemt de uitgestraalde energie sterk toe als de temperatuur stijgt.

Daarbij geldt de wet van **Stefan-Boltzmann**:

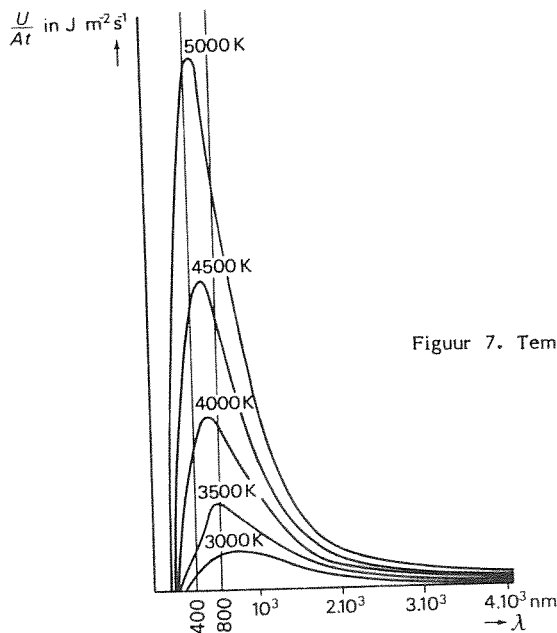
De totale hoeveelheid uitgestraalde energie is evenredig met de temperatuur tot de vierde macht.

In formulevorm: $E = \sigma \cdot T^4$ (de waarde van σ is: $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).

2. Bij temperatuurstijging neemt de uitgestraalde energie bij kleinere golflengten sterker toe dan bij grotere golflengten.
3. Iedere kromme heeft een maximum. Dit maximum verschuift bij temperatuurstijging naar een kleinere golflengte.

Daarbij geldt de **wet van Wien**, die zegt dat de golflengte, waarbij de uitgestraalde energie bij een bepaalde temperatuur maximaal is, omgekeerd evenredig is met de absolute temperatuur.

In formulevorm luidt deze wet: $\lambda_{\max} \cdot T = \text{konstant}$.



Figuur 7. Temperatuurstraling bij verschillende temperaturen.

In figuur 7 is de energie van temperatuurstraling per seconde per m^2 stralend oppervlak als functie van de golflengte bij verschillende temperaturen uitgezet. Bovenstaande drie conclusies zijn uit deze figuur terug te lezen.

De waarde van de konstante in de formule van Wien is $2,90 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$.

Opgaven

1. a. Hoeveel energie heeft een elektron in een waterstof-atoom nodig om van baan $n=1$ naar $n=2$ te komen (zie figuur 4) ?
b. Hoe groot is de frequentie f van de straling, die je nodig hebt om het elektron die energie te geven ?
2. Als de absolute temperatuur van een voorwerp twee keer zo groot wordt, hoeveel keer zoveel energie straalt het dan per seconde uit ?
3. Bereken de energie van een stralingsquantum met $f = 1 \cdot 10^6$ Hz.
4. Een bundel licht met een frequentie $f = 3 \cdot 10^{14}$ Hz valt op een waterstof-atoom. Heeft deze bundel voldoende energie om een elektron van baan $n=2$ naar $n=3$ te brengen ?
5. Wat is de weerstand van een 20 cm lange koperdraad met een diameter van 0,2 cm ?

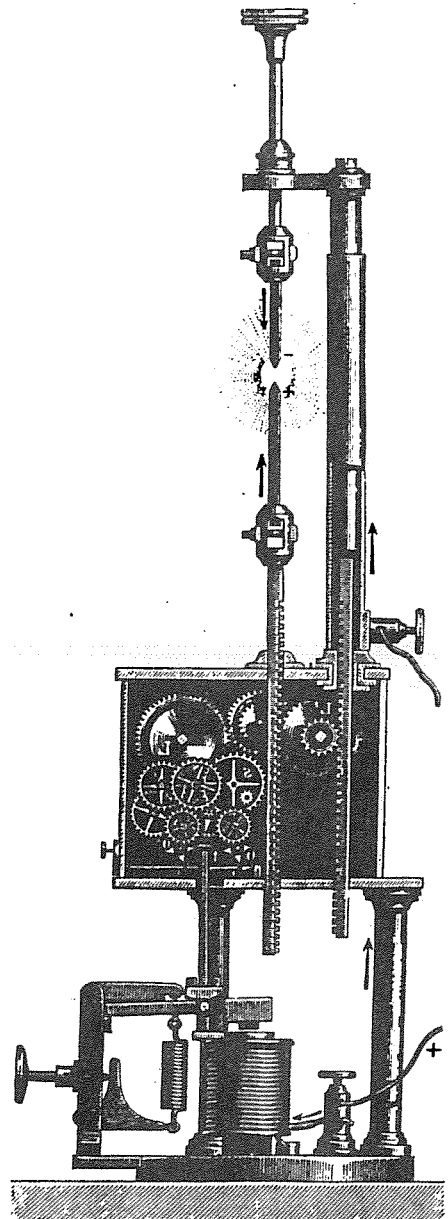
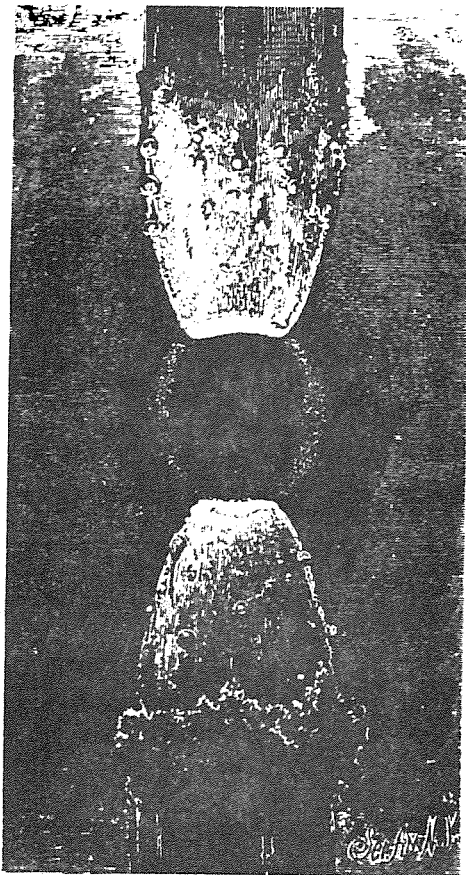
2. HET ONTWERPEN VAN DE GLOEILAMP

Het toepassen van elektrische verlichting begon met de koolboog.

In 1808 demonstreerde Humprey Davy de eerste booglamp met twee tegenover elkaar opgestelde koolboogjes.

De eerste op het principe van de gloeilamp lijkende lichtbron werd in 1820 gedemonstreerd door de Fransman De la Rue. Tussen deze eerste pogingen en het uiteindelijke succes van Joseph W. Swan (Engeland) en Thomas A. Edison (Amerika) ligt een hele reeks experimenten.

Over Edison lees je meer in extra stof blad 1.



Figuur 8. Een koolboog en automatische booglamp van Foucault en Dubosq.

Laten we nu eens kijken welke natuurkundige en technische kennis er nodig is geweest om tot dit resultaat te komen. Je zult zien dat wij nu een aantal van de ontwikkelingsstappen van de gloeilamp logisch vinden, terwijl er vroeger heel lang over is nagedacht.

Het ontwerpen van de gloeilamp

In deze paragraaf zie je hoe mensen de gloeilamp hebben ontworpen. Het ontwerpen in de techniek verloopt volgens een aantal min of meer vaste stappen. Die stappen zijn:

Stap 1 is: precies vast stellen wat je gaat ontwerpen.

In dit geval is dat: een lichtbron, die elektrische energie omzet in licht.

Stap 2 is het bedenken van een aantal mogelijke oplossingen.

In de loop van deze en de volgende paragraaf zie je welke mogelijke oplossingen hiervoor bestaan.

Stap 3 is het kiezen van de beste oplossing.

Wat de beste oplossing is hangt van de situatie af. Soms is de ene oplossing beter, soms de andere. Je zult zien, dat de mogelijke oplossingen allemaal wel een keer toegepast zijn in een lichtbron.

Stap 4 is het uitwerken van de gekozen oplossing. Daarbij los je een aantal detail-problemen op.

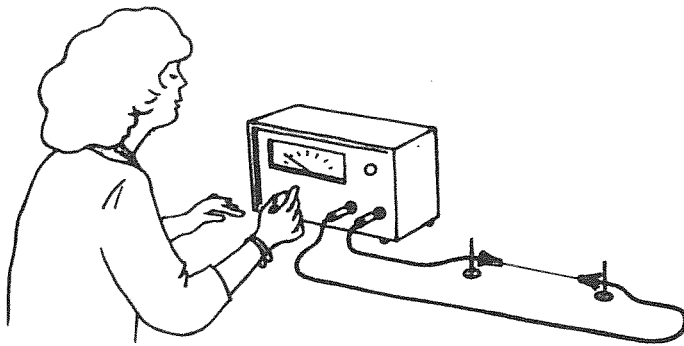
Stap 5 is het ingebruik nemen van de uitgewerkte en uitgevoerde oplossing. Soms merk je daarbij meteen, dat het ontwerp niet voldoet. Dan probeer je of een andere mogelijke oplossing beter is (je gaat terug naar stap 3) of je bedenkt nog nieuwe mogelijke oplossingen (je gaat terug naar stap 2).

Bij het ontwerpen maak je dikwijls gebruik van modellen. Als je wilt weten of een oplossing voldoet kun je, voordat je het echte apparaat maakt, de oplossing proberen met een model van het apparaat.

De eenvoudigste oplossing voor het ontwerpprobleem is: een flinke stroom door een gloeidraad sturen, zodat die gaat gloeien. Om te zien of deze oplossing werkt, doe je proef 3.

Proef 3. Een eenvoudige gloeidraad

Sluit een stukje gloeidraad aan op een spanning die hoog genoeg is om de draad te laten gloeien. Als je de spanning nu nog verder verhoogt zal op een gegeven moment de gloeidraad verbranden. De stroomkring wordt dan onderbroken.



Figuur 9. De opstelling van proef 3.

Je merkt, dat de draad snel verbrandt.

Wat kun je daaraan doen..

Voor verbranden zijn twee dingen nodig.

Welke twee dingen zijn dat ?

Je zou dus op twee manieren het verbranden kunnen tegengaan: een materiaal kiezen, dat moeilijk verbrandt of zorgen, dat er geen zuurstof bij de gloeidraad komt.

Je gaat de tweede oplossing proberen in proef 4.

Proef 4. Een gloeidraad in een kolf

Een kolf met daarin een gloeidraad wordt zo goed mogelijk vacuum gezogen. Als je nu de spanningsbron op de gloeidraad aansluit en de spanning hoog genoeg maakt, kan je de draad heel fel laten oplichten.

Dat de draad niet verbrandt kunnen we nu verklaren. Maar waarom wordt het licht steeds witter als we de spanning hoger maken ?

Als je de lamp op deze manier een tijdje laat branden zie ja dat er een neerslag ontstaat op de binnenkant van de kolf. De lichtopbrengst van de lamp wordt daardoor verminderd. Als ontwerpers hebben we nu een lamp gemaakt, die weliswaar brandt, maar lang niet de gewenste hoeveelheid licht geeft.

Wat is de oorzaak van het beslaan van de kolf ?

Probeer met een paar klasgenoten een oplossing te bedenken om dit tegen te gaan.

Als de amanuensis de verbetering heeft aangebracht, zul je zien, dat het nu zelfs mogelijk is de temperatuur van de gloeidraad te verhogen. Daarmee wordt het licht weer feller en stijgt het rendement van de lamp (meer straling in het zichtbare gebied en minder warmte-straling).

In de kolf heerst nu een lage druk. Dit heeft een belangrijk voordeel. Als er een hoge druk zou heersen is er een grotere warmte-afvoer mogelijk via het omhulsel en de fitting van de lamp.

Waarom is dat zo ?

Dat zou twee nadelen hebben:

1. het armatuur van de lamp zou erg warmte-bestendig moeten zijn,
2. de temperatuur van de gloeidraad zou kunnen dalen, omdat de warmte sneller afgevoerd wordt. En je wilde juist een hoge temperatuur.

Je hebt nu voor een aantal problemen een mogelijke oplossing bedacht. De oplossingen, die je hebt getest in de proeven 3 en 4 blijken te voldoen.

Nu kom je aan stap 4: het uitwerken van de details van het ontwerp.

Bij dat uitwerken vragen we ons eerst af of het mogelijk is om aan de gloeidraad nog verbeteringen aan te brengen.

Tot nu toe hebben we gewoon een rechte draad genomen. Maar als je goed kijkt naar een bestaande gloeilamp zie je dat de ontwerpers en ontwerpsters er iets mee hebben gedaan.

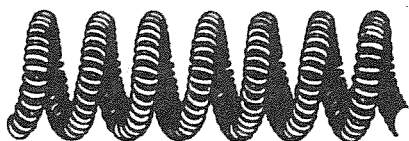
Wat hebben ze met de gloeidraad gedaan ?

Je ziet dat de gloeidraden gespiraliseerd zijn gewonden. Als je heel goed kijkt, zie je dat ze zelfs **dubbel** gespiraliseerd zijn.

Waarom is dat gedaan, denk je ?



Figuur 10. Enkel- en dubbelgespiraliseerde draden.



Een ander punt bij het uitwerken van je ontwerp is het volgende:

Voor sommige toepassingen heb je een fel brandende lamp nodig en voor andere toepassingen een lamp, die slechts weinig licht geeft. Je wilt dus lampen, die een groot vermogen, en lampen, die een klein vermogen hebben, hebben.

Hoe kun je dat realiseren (je wilt wel bij alle lampen dezelfde spanning gebruiken: de 220 volt van het stopkontakt) ?

Stap 5 was het ingebruiknemen van de gloeilamp.

Als je de gloeilamp een tijd gebruikt hebt, gaat hij stuk. Bij sommige lampen is dat al snel, andere lampen gaan langer mee. De ontwerpers en ontwerpsters van de gloeilamp hebben er natuurlijk naar gestreefd, dat elke lamp redelijk lang mee gaat.

Een gewoon 'peertje' gaat gemiddeld zo'n 1.000 branduren mee. De levensduur wordt korter naarmate je vaker de lamp aan- en uitschakeld, vooral als de lamp koud is.

Waarom zou dat zo zijn ?

Waarom is het voor een fabrikant nadelig om een gloeilamp op de markt te brengen, die heel erg lang meegaat (denk eens aan de prijs van zo'n lamp) ?

Opgaven

6. a. Je wilt een gloeidraad zo heet maken dat deze vooral geel licht gaat uitzenden. Hoe hoog moet je de absolute temperatuur T dan maken (gebruik je BINAS boek om op te zoeken hoe groot $\lambda_{\max}$ dan moet zijn) ?
b. Zoek in BINAS op welke metalen vanwege hun smeltpunt voor zo'n gloeidraad in aanmerking komen.
7. Bij het ontwerpen van gloeilampen let je ook op de vormgeving van de lamp.
 - a. Er zijn veel gloeilampen met verschillende vormen. Je kunt dat zien als je in een warenhuis het assortiment gloeilampen bekijkt. Waar zou men op gelet hebben bij het ontwerpen van de verschillende vormen ?
 - b. Sommige gloeilampen mogen beslist niet verblinden. Wat heeft men bij het ontwerpen van die gloeilampen gedaan om daarvoor te zorgen ?
8. Een gloeidraad maakt men bij voorkeur dun.
 - a. Hoeveel keer zo groot wordt de weerstand van een draad als je de diameter twee keer zo klein maakt ?
 - b. Hoeveel keer zo groot wordt dan het vermogen, dat in die draad wordt omgezet ?
9. Vlak voordat een gloeilamp kapot gaat brandt hij vaak feller dan voorheen.
Hoe verklaar je dat ?

3. DE GASONTLADINGSLAMP

Inleiding

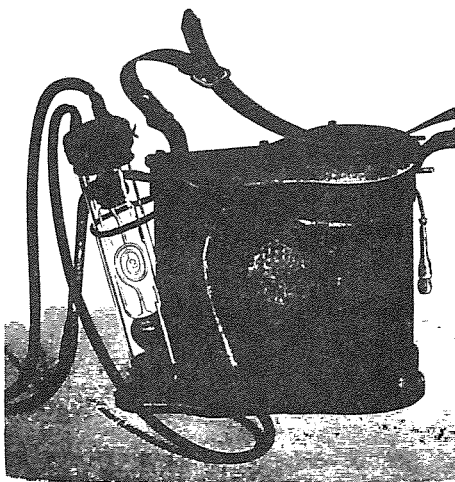
De gloeilamp is een lichtbron, die in de praktijk voor de meeste toepassingen prima voldoet. Maar er zit een groot nadeel aan. De hoeveelheid licht, die de gloeilamp geeft is zeer gering vergeleken bij de totale hoeveelheid elektrische energie, die de gloeilamp verbruikt. Van elke 100 joule omgezette energie wordt slechts 5 joule omgezet in licht-energie. Waar wordt de andere 95 joule in omgezet ?

Er wordt dus slechts 4 % van de verbruikte energie omgezet in licht. Je zegt, dat het **rendement** van de gloeilamp slechts 5 % is. Dit is niet veel. En tegenwoordig moeten we zuinig zijn op onze energie. Daarom zijn ontwerpers en ontwerpers gaan nadenken over een andere mogelijke oplossing voor het ontwerpen van een lichtbron.

Men wist dat er nog andere mogelijkheden zijn om met elektriciteit licht te verkrijgen uit de natuur: de bliksem.

Het licht van de bliksem ontstaat doordat elektrisch geladen deeltjes, op hun weg van de ene naar de ander wolk, of van de wolk naar de aarde, gassen in de luchtlagen lichtgevend maken (zie paragraaf 1).

Op dit principe zijn de TL-lampen, natrium- en kwikdamplampen gebaseerd. De bestudering van gasontladingslampen kwam pas goed op gang toen de glasblazer Geissler buizen, gevuld met sterk verdunde gassen begon te vervaardigen ($\pm$ 1858). Hoge wisselspanningen brachten in de "Geissler buizen" prachtige lichteffecten teweeg.



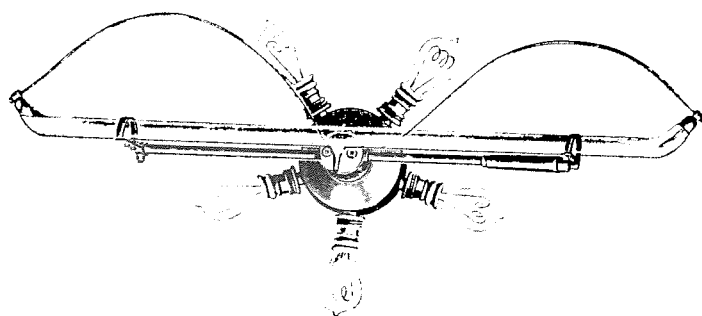
Figuur 11. Een lantaarn met Geisslerse buis.

Voortbouwend op het werk van Geissler en anderen, heeft Mc Farlan Moore sinds 1894 geëxperimenteerd met lagedruk-gasontladingen in zeer lange buizen van glas. Deze vulde hij met koolzuurgas.

Rond de eeuwwisseling maakten moderne architecten al graag gebruik van de decoratieve mogelijkheden van deze lichtbron.

Intussen dacht men ook aan het lichtgevend vermogen van de kwiklamp. Peter Cooper Hewitt kwam in 1905 met bruikbare resultaten: een 1 meter lange glazen buis met een kwikplas als elektrode aan het ene uiteinde en een grafiet of ijzeren elektrode aan de andere kant.

Hiermee stond Cooper Hewitt dicht bij de lamp, die na de gloeilamp de belangrijkste kunstlichtbron zou worden: de TL-buis.



Figuur 12. Cooper Hewitt kwiklamp met gloeilampen.

Het grootste probleem bestond uit het maken van een prettige en bruikbare kleur licht. Na vele jaren onderzoek vond men de juiste stoffen, die als poeder op de binnenkant van de TL-buis konden worden aangebracht. Elk poeder gaf een eigen kleur en een eigen efficiëntie (Lichtopbrengst per verbruikte watt vermogen). Momenteel zijn vele soorten TL-buizen in de handel, elk voor een ander doel. Nog steeds zoekt men naar stoffen die een lamp een voor een bepaald doel betere kleur geven, en die meer licht produceren (= meer energie in het zichtbare gebied).

Andere gasontladingslampen zijn bijv. de natriumlamp (de gele lamp langs de autosnelweg, geeft goed contrast, is zuinig en maakt scherp zien mogelijk) en de hoge druk kwiklamp met waterkoeling (één lampje, weinig groter dan een pingpongbal, geeft genoeg licht om er een voetbalveld mee te verlichten!).

Het ontwerpen van de gasontladingslamp

Ook het ontwerpen van de gasontladingsbuis begint het precies vast te stellen wat je wilt ontwerpen (stap 1). In dit geval is dat: een lichtbron met een hoger rendement dan de gleilamp.

Stap 2 is het bedenken van mogelijke oplossingen.

Je zou daarbij kunnen denken aan nieuwe materialen voor de gloeidraad of aan andere gassen in de bol. Maar dat bleek allemaal niet voldoende te helpen. Het produceren van lichtenergie door middel van een gloeidraad bleek niet veel beter te kunnen dan met 5 % rendement.

Daarom dacht men aan het principe, waarover je op de vorige bladzijden hebt gelezen: gasontlading.

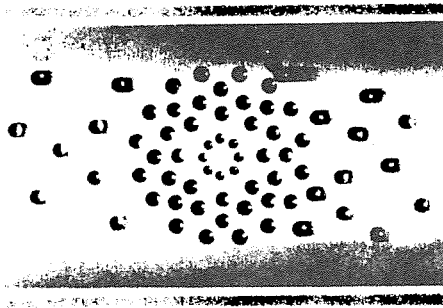
Hoe deze mogelijke oplossing is uitgewerkt, lees je in de rest van deze paragraaf.

Als een lamp licht geeft ten gevolge van gasontladingen, wil dat zeggen dat de energie die vrijkomt bij de ontleding door een gas, gebruikt wordt om licht op te wekken. Het belangrijkste deel van zo'n lamp is de ontladingsbuis. Dat is een buis met aan beide zijden ingesmolten elektroden, en die gevuld is met een metaallamp (in TL-buizen is dat kwikdamp).

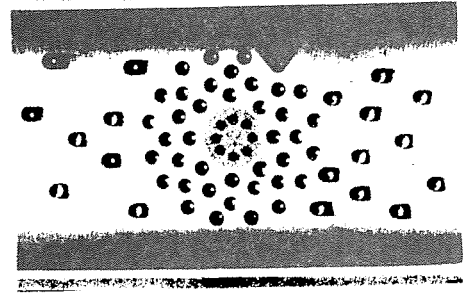
Wanneer nu een spanning wordt aangesloten op de lamp, en het proces op gang is gebracht (bijvoorbeeld het 'starten' van een TL buis), gaan de vrije elektronen in het gas bewegen in de richting van de positieve pool. Ze botsen daarbij tegen de atomen van het gas. Afhankelijk van hun snelheid heeft dit een aantal mogelijke gevolgen.

1. Warmte-ontwikkeling (zie figuur 13a).

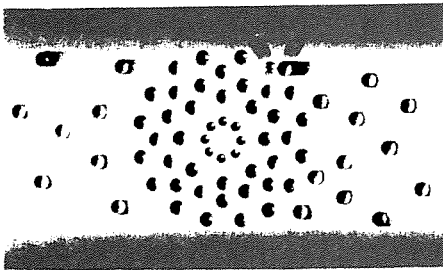
De snelheid van het elektron is vrij klein. Het elektron wordt bij de botsing alleen van richting veranderd. In dit geval wordt de botsingsenergie in warmte omgezet.



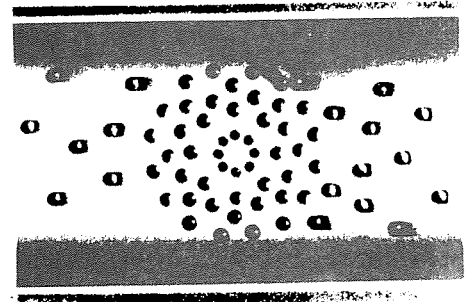
a



c



b



d

Figuur 13. Het principe van de gasontlading.

2. Elektromagnetische straling (zie figuur 13b en c).

De snelheid van het elektron is zo groot dat het ook een van de elektronen van het atoom uit zijn baan brengt. De aantrekkingskracht van de kern van het aangeslagen atoom is echter zo groot dat het elektron al na zeer korte tijd in zijn baan terugkeert.

Bij dit terugvallen geeft het atoom de bij de botsing opgenomen energie af in de vorm van elektromagnetische straling (zie ook paragraaf 1). Deze elektromagnetische straling bestaat bij de TL-lamp hoofdzakelijk uit onzichtbare ultraviolette straling. Door middel van fluorescentiepoeders wordt deze straling in zichtbaar licht omgezet.

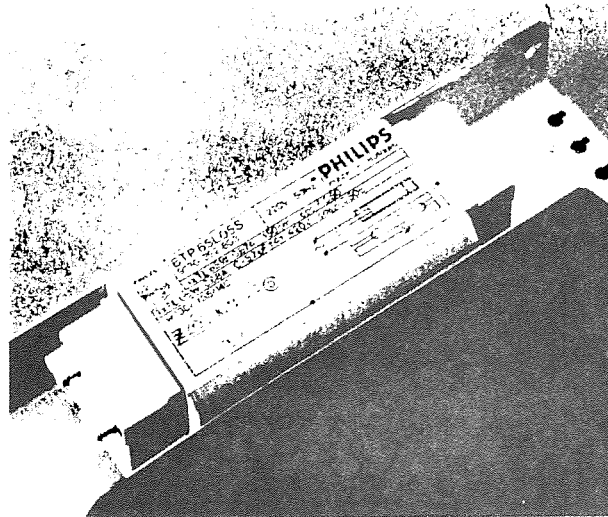
3. Ionisatie (zie figuur 13d).

Wanneer de snelheid van het elektron nog groter is, kan het een van de elektronen van het atoom zó ver uit zijn baan stoten dat het buiten de aantrekkingskracht van de kern komt. Het wordt dan een 'vrij elektron' en gaat zich bewegen in de richting van de positieve pool. Daarbij kan het onderweg weer tegen andere atomen botsen. Dit proces blijft zich zo herhalen. Het wordt ionisatie genoemd.

Wanneer geen maatregelen getroffen worden, zal door de ionisatietoestand het aantal vrije elektronen en ionen zo groot worden, dat het gas geheel geleidend wordt. De weerstand van gas zal dan zeer laag zijn. Dat zou betekenen dat door de grote stroom die gaat lopen, de lamp zou kunnen 'doorbranden' of zelfs schade zou kunnen aanrichten. Om dit te voorkomen, moet in de schakeling een onderdeel worden opgenomen, dat de stroom door de buis begrenst.

Het apparaat dat voor die begrenzing zorgt heet een **voorschakelapparaat**. Het bestaat uit een combinatie van een spoel en een condensator, of alleen uit een spoel. Omdat de TL-buizen gevoed worden uit het net - dus met **wisselspanning** - gedraagt de spoel zich als een soort weerstand (je noemt dat eigenlijk 'een impedantie') die minder energie verbruikt dan een echte weerstand.

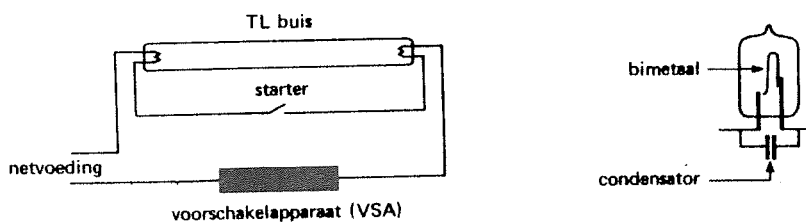
Een dergelijke keuze maakt het gebruik van de lamp dus zuiniger.



Figuur 14. Voorschakelapparaat.

Nu gaan we na, waarom het nodig is de lamp te starten. Om de ontsteking van de lamp te vergemakkelijken is het belangrijk dat er extra vrije elektronen in het gas komen. Die kunnen bijvoorbeeld via verwarming uit de elektroden worden vrijgemaakt. Daarom worden voor het ontsteken van de lamp de elektroden verwarmd, waarmee een hoge spanningspiek de eigenlijke ontlading op gang brengt.

Om zowel de verwarmingsstroom als de ontsteekspanning te maken, gebruikt men een tweede extra apparaatje: de **starter** of de **ontsteker**.



Figuur 15. TL-buis schakeling met voorschakelapparaat en starter.

Bij het inschakelen van de netspanning ontstaat er een glim-ontlading tussen de twee elektroden van de starter. Hierbij komt warmte vrij, waardoor de bimetalen kromtrekken en contact maken. Daardoor gaat door de lampelektroden de voorverwarmingsstroom lopen. De glimontlading houdt dan op en de bimetalen koelen weer af. Dit heeft tot gevolg dat de stroom onderbroken wordt en de lamp - door de optredende spanningspiek - ontsteekt.

Deze spanningspiek ontstaat omdat er een spoel in het circuit zit. Zoals je weet geldt in een spoel de wet van Lenz:

De opgewekte inductiestroom heeft een zodanige richting, dat hij zijn ontstaan tegenwerkt.

Bij het plotseling onderbreken van de stroom, kan in een speciaal voor dit doel ontworpen spoel de spanning tot vele malen de netspanning oplopen. Als gevolg van die spanning ontsteekt de lamp.

Direct daarna daalt de spanning over de starter tot de lampspanning. Die spanning is te laag om een glimontlading te kunnen veroorzaken. Zodoende blijft de starter buiten werking zolang de lamp brandt.

Een model van de gasontladingslamp

Net als bij de gloeilamp bestudeer je de eigenschappen van de gasontladingsbuis aan de hand van een model.

Ten eerste heb je daarvoor natuurlijk een buis nodig. Je sluit deze buis af met rubber stoppen. Door deze stoppen worden contacten gevoerd zoals in figuur 16 getekend is.

Aan het uiteinde van de doorvoer wordt een klein koperen plaatje gesoldeerd. Dit noemen we de elektrode. Aan het andere einde van de buis doen we hetzelfde.

Het is nu de bedoeling dat de buis zo goed mogelijk vacuum wordt gezogen. Dit kun je doen door een van de rubber stoppen te doorboren, en er een afzuigpijpje door te voeren.

Aan dit pijpje sluit je dan de slang aan van de vacuumpomp.

In principe kan de lamp nu al branden. Als je de hoogspanningsvoeding aansluit, en de spanning langzaam verhoogt, verschijnt op eens een blauw/paars licht.

We weten dat het licht ontstaat door het "terugvallen" van aangeslagen elektronen na een lagere schil van de atomen van het gas maar we hebben de buis vacuum gezogen.

Waarom brandt de lamp toch ?

In de vorige paragraaf hadden we gezien dat als het aanslagproces eenmaal op gang is, de weerstand van het gas nagenoeg nul is. De lamp zou doorbranden als de stroom niet beperkt werd. Toch blijft de lamp in onze opstelling keurig branden.

Verklaar dit.

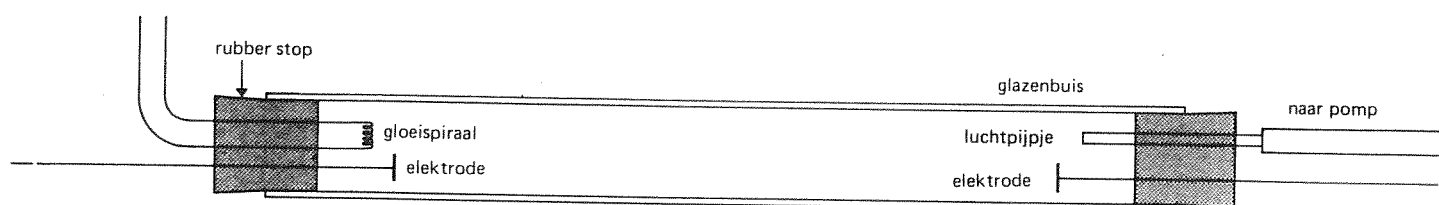
Waarom kan deze lamp branden zonder het gebruik van een starter?

De lamp voldoet nog niet goed genoeg aan onze eisen. We gaan weer terug naar de stap 'keuze van een oplossing' in het ontwerpproces.

De spanning over de buis moet vrij groot, zijn voordat de lamp gaat branden. Dit is natuurlijk niet wenselijk als je deze lamp in huizen met een netspanning van 220 V zou willen gebruiken.

We passen nu een methode uit de vorige paragraaf toe om deze startspanning te verlagen. Vlak achter de elektroden plaats je een gloeidraadje. (Ook deze aansluitingen voer je door de rubber stoppen. Zorg ervoor dat elektrode en gloeispiraal **GEEN** kontakt maken.)

Het gloeidraadje sluit je op een aparte laagspannings-voeding aan.



Figuur 16. Het model van de gasontladingslamp.

Je zult merken dat als je nu de (hoog-)spanning langzaam opvoert, de lamp al bij een lagere spanning begint te branden.

We willen nu graag een lamp die op de netspanning kan branden.

Ga met behulp van de vorige paragraaf na welke elementen aan de schakeling kunnen worden toegevoegd, om de hoge ontsteekspanning van de buis te verkrijgen.

Tijdens de voorgaande proeven heb je gemerkt dat de kleur van het licht, dat van de buis komt, nagenoeg onbruikbaar is.

Sommige mensen zeggen zelfs dat het 'pijn aan de ogen doet'.

De uitgestraalde energie zien wij maar voor een beperkt gedeelte als violet licht. Het grootste gedeelte van de energie zit in het ultra-violette gedeelte van het spectrum.

We kunnen nu met behulp van fluorescentiepoeders de uitgestraalde energie zichtbaar maken. De eigenschap van zo'n poeder is dat als de elektronen terugvallen in een lagere schil van het atoom, het licht dat daarbij vrijkomt, in het zichtbare gebied ligt.

Er bestaan verschillende soorten poeders met elk hun specifieke eigenschappen zoals kleur en intensiviteit.

Het poeder wordt bij fabricage van de TL-buis tegen de wand van de buis gespoten.

Proef 5. Fluorescentiepoeders

Neem enkele poeders en houd deze bij de buis. Op welke manier het beste resultaat verkregen wordt.

Als je de poeders zou kunnen toepassen had je een zeer goed werkend ontwerp kunnen maken.

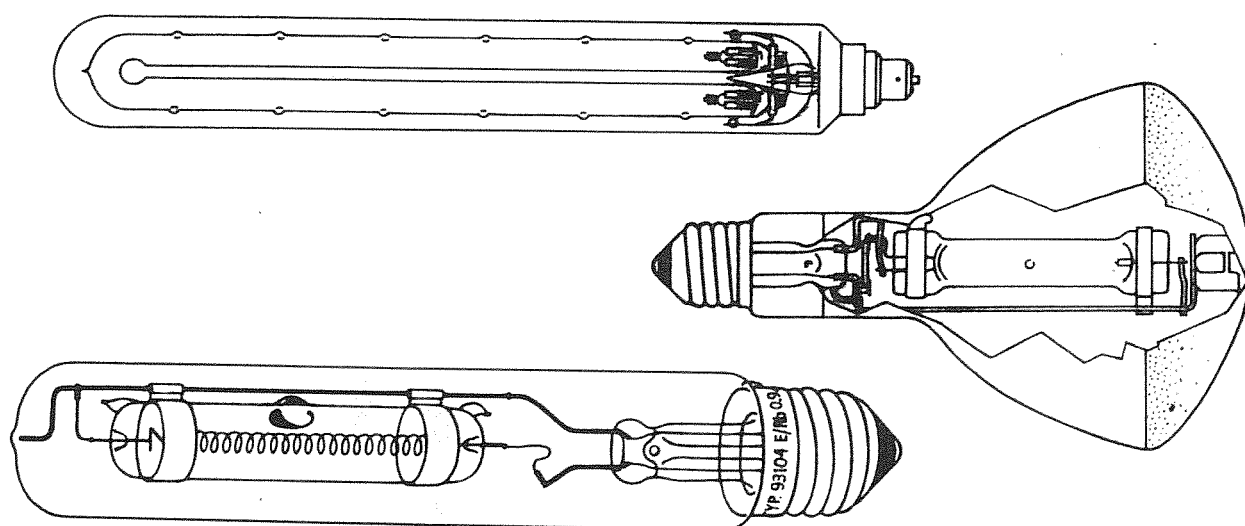
Soorten gasontladingslampen

In het voorgaande stuk hebben we de werking van de gasontladingslamp uitgelegd aan de hand van de TL-buis. Deze keuze ligt voor de hand, omdat we heel vaak met deze lampen werken. In vrijwel alle scholen, kantoren en huizen hangen TL-buizen. (Thuis alleen op plaatsen waar sterke verlichting gewenst is, bijv. garage, keuken.)

Er zijn echter nog vele andere soorten gasontladingslampen. Ruwweg onderscheidt men drie soorten:

- lagedruk-lampen met een gasdruk van 1-10 millibar,
- hogedruk-lampen met een gasdruk van 500-5000 millibar,
- superhogedruk-lampen met een gasdruk van 10-100 atmosfeer.

In de eerste categorie, de lagedruklamp, hoort de natriumlamp thuis waarmee b.v. autosnelwegen worden verlicht. Door het hoge lichtrendement zijn ze zeer zuinig. Het bekende gele licht van deze lampen is tevens veiliger bij mistig weer. Ook het onderscheidingsvermogen van het menselijk oog is bij deze kleur het grootst.



Figuur 17. Een lagedruk Na-lamp, een superhogedruk HG-lamp en een hogedruk Na-lamp.

Hogedruklampen, geven doorgaans een zeer goed resultaat als je zowel lichtrendement, als brandduur en lichtkleur in beschouwing neemt. Het licht van deze lampen is fel wit gekleurd, en is zodoende bruikbaar bij bijvoorbeeld verlichting van woonwijken, terreinen en het schoolplein.

De superhogedruklamp heeft een zeer grote intensiteit en wordt bijvoorbeeld gebruikt als stadionverlichting. Ook landingslichten bij vlieghavens zijn superhogedruk lampen. Meestal worden ook in vuurtorens dit soort lampen gebruikt.

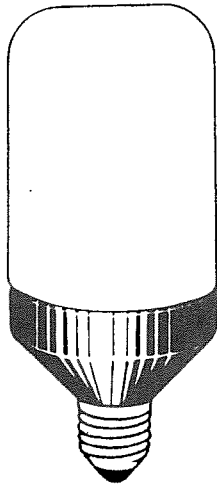
Op school hebben jullie waarschijnlijk wel enkele van deze lampen. De TL-buis die qua vorm afwijkt van de bovengenoemde lampen kan ingedeeld worden bij de lagedruk gasontladingslamp.

De SL-lamp

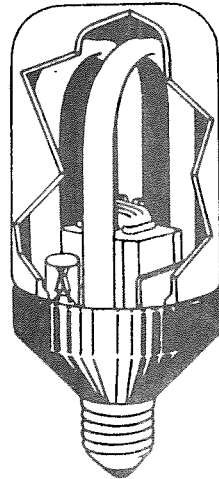
Uit de kranten ken je waarschijnlijk inmiddels de veel gebruikte SL-lamp. 'SL' staat voor 'spaar-lamp' (eigenlijk betekent SL-lamp dus 'spaarlamp-lamp').

De SL-lamp is een miniatuur TL-buis, gebouwd in een huis, dat de vorm van een gloeilamp heeft. Er zit ook een starter en een voorschakelapparaat in de voet van de lamp gebouwd.

De kap van de lamp bepaalt de kleur, samen met het fluorescentiepoeder in de buis.



Figuur 18. Een SL-lamp.



Figuur 19. Een opengewerkte tekening van een SL-lamp.

De SL-lamp, die evenveel licht geeft als een gloeilamp heeft een veel kleiner vermogen. Een SL-lamp is dus zuinig in het gebruik. Maar je betaalt bij aanschaf voor een SL-lamp veel meer dan voor een gewone gloeilamp.

Opgaven

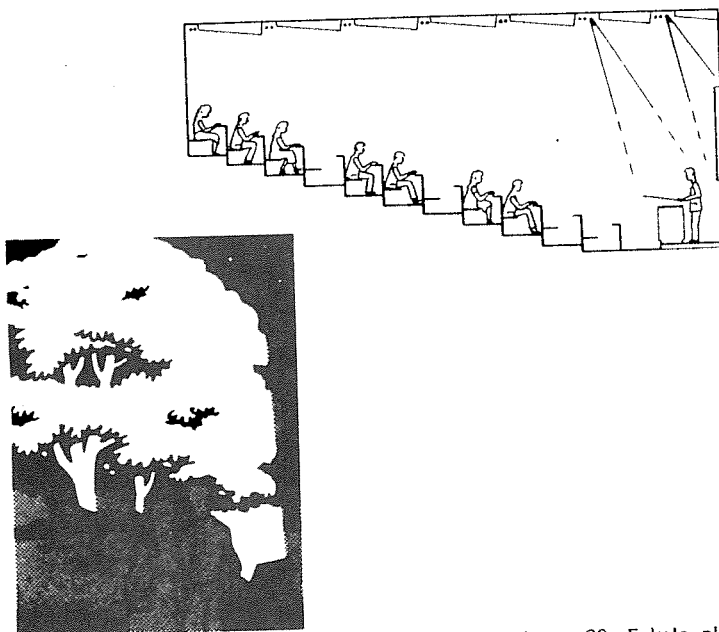
10. Bij het ontwerpen van een TL-buis kun je door de keuze van het mengsel van fluorescentie-poeders de gewenste kleur van het licht samenstellen. Je wilt in een kantoor een andere kleur licht dan in een woonkamer of in een keuken.
Welke kleur maak je bij voorkeur in een woonkamer, en welke kleur in een keuken, en welke kleur in een kantoor ?
11. In je model van een gasontladingslamp was het geïoniseerde gas stikstof. In de meeste TL-buizen zit kwikdamp.
Ga na, dat kwik geschikt is voor de TL-buis omdat de gewenste spektraallijnen in het kwikspektrum voorkomen (gebruik hiervoor BINAS).

4. GEBRUIK EN KOSTEN VAN LICHTBRONNEN

Kunstmatige verlichting kun je niet meer missen onze samenleving. Op nagenoeg alle plaatsen waar mensen zijn, zijn kunstmatige lichtbronnen aanwezig.

Belangrijke plaatsen, waar je lichtbronnen vindt, zijn bijvoorbeeld:

- in het klaslokaal,
- in kelders,
- als controlelampjes,
- als straatverlichting,
- als remlichten bij auto's,
- bij het fototoestel als flitslicht,
- bij film- en diavoorstellingen,
- langs de kust,
- boven de operatietafel,
- langs de landingsbaan.



Figuur 20. Enkele plaatsen, waar je lichtbronnen gebruikt.

Zo zou je nog veel meer plaatsen kunnen opnoemen waar je kunstlicht niet zou kunnen missen.

Het is eenvoudig voor te stellen dat je voor zeer veel verschillende toepassingen van lichtbronnen, verschillende soorten lampen nodig hebt. Voor elke taak moet je een lamp kiezen die aan de eisen voldoet. We denken dan aan bijvoorbeeld

- aantal branduren
dat is belangrijk bij bijv. straatverlichting

- lichtsterkte
belangrijk bij bijv. werklampen
- lichtkleur
van belang bij winkels, zoals kleding- en vleeswinkels
- bedrijfszekerheid
de betrouwbaarheid van de lamp bij bijv. trillingen. Denk aan
verlichte boeien op zee
- kosten van de lamp
niet altijd is het goed de duurste lichtinstallatie aan te schaffen.
De 'prijs-prestatieverhouding' moet worden overwogen.

Er is een onderdeel van de techniek, waarbij men bestudeert op welke manier licht het best gemaakt, gebruikt en toegepast kan worden. Dit vak heet **Verlichtingsanalyse**.

In de verlichtingsanalyse wordt veel gebruik gemaakt van de **fotometrie**. Dat is een onderdeel van de natuurkunde, waarover je meer leest in extra stof blad 2.

Na het ontwerpen van een lamp, wordt onderzocht op welke plaats de lichtbron het beste staat. Ook wordt zeer veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van armaturen!

Eisen, die je aan een lichtbron stelt, zijn:

- je zoekt naar lichtbronnen met een zo hoog mogelijk lichtrendement,
- die gemakkelijk verplaatsbaar en robuust zijn,
- met een lange levensduur,
- met een zo goed mogelijke kleurweergave.

Bij de plaatsing en de armaturen let je op de volgende punten:

- het licht moet, afhankelijk van de toepassing, zo goed mogelijk ruimtelijk verdeeld worden,
- licht mag niet verblinden,
- ontstane warmte moet voldoende kunnen worden afgevaard,
- het eventuele gevaar of de kwetsbaarheid van de verlichting moet minimaal zijn,
- zowel in winter als in zomer; op de dag of in de nacht moet de verlichting voldoen.

Kosten van verlichting

Tot slot van dit hoofdstuk een voorbeeld waaruit blijkt dat je een bepaalde soort lamp niet alleen kiest om zijn goede eigenschappen, maar dat ook de kostenfactor een belangrijke rol kan spelen.

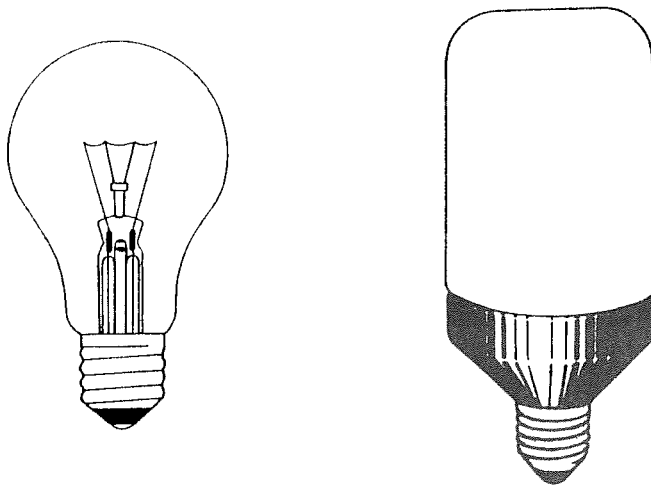
We nemen het volgende geval als voorbeeld:

Je wilt een lamp kiezen voor het armatuur dat bij de voordeur van ons huis hangt. Je vindt het een veilig gevoel als die lamp de hele nacht brandt. Je kunt kiezen uit verschillende lichtbronnen. Je gaat uitrekenen wat het verschil is in kosten tussen een 75 W gloeilamp en een 18 W SL-lamp. Deze twee lampen geven ongeveer evenveel licht.

Een 75 W gloeilamp zou voldoende licht geven
Ook bruikbaar zou zijn een 18 W SL-lamp

Kosten f 2,--

Kosten f 29,50



Figuur 21. Kosten van gloeilamp en SL-lamp vergelijken.

Nu is bekend dat SL-lampen ongeveer 5000 branduren meegaan; gewone gloeilampen maar 1000.

We hebben dus 5 gloeilampen nodig, om dezelfde tijd licht te hebben.

$5 \times (\text{kosten gloeilamp}) \text{ f } 2,-- = \text{f } 10,--$

De SL lamp is dus $\text{f } 29,50 - \text{f } 10,-- = \text{f } 19,50$ duurder.

De energiebesparing bij 5000 branduren bedraagt 285 kWh.

Reken dit na.

Een kWh kost ongeveer $\text{f } 0,30$.

Dat wil zeggen dat er voor $\text{f } 85,50$ energie bespaard is.

Reken dit na.

Dat betekent weer dat de SL-lamp keuze $\text{f } 66,-$ winst zou opleveren.

Overigens zitten er ook nadelen aan een SL-lamp

- De lichtopbrengst neemt ongeveer een kwart af tegen het einde van de levensduur van de lamp,
- De lamp heeft een kwartier nodig om op volle sterkte te komen,
- Bij lage temperaturen geeft de SL-lamp minder licht,
- De lamp is zwaar en fors

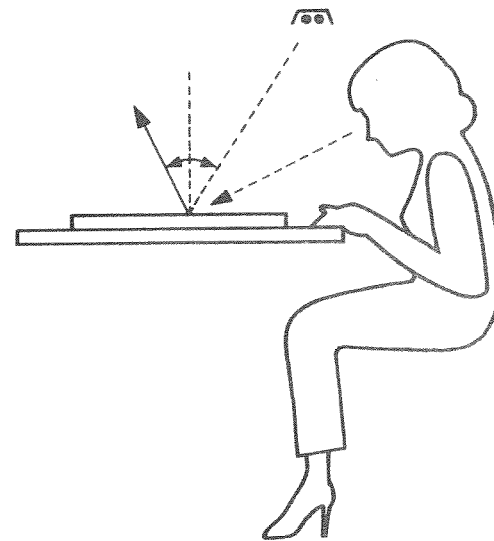
Opgaven

12. Voor verschillende taken gebruik je verschillende lichtbronnen. Hieronder staan een vijftal taken beschreven waarbij goede verlichting gewenst is. Ontwerp nu zelf de werkopstelling, maak een schets waaruit duidelijk blijkt waar de verlichting geplaatst dient te worden. Licht je ontwerp steeds duidelijk toe.

Als voorbeeld:

- * Een graveur graveert letters in een gladde glasplaat

Toelichting: het is van belang dat de graveur niet verblind wordt door de lamp, via de glazen plaat. Daarom plaatsen we de lichtbron aan de rechterkant van het midden.



Doe nu hetzelfde voor:

- * de verlichting van een klaslokaal,
- * de verlichting van een studieburo,
- * een draaier die een draaibank bedient.

Figuur 22. Letters in een glasplaat graveren.

13. Op welke plaatsen kun je beter niet tot vervanging van de gloeilamp door een SL-lamp overgaan ?

Leg uit waarom.

14. Pas de kennis, die je in deze paragraaf hebt opgedaan toe op de inrichting van je eigen slaapkamer.

Ga na waar je het best welk soort lamp kun plaatsen.

Betrek daarbij ook het kostenaspect.

5. NATUURKUNDE EN TECHNIEK

In dit lespakket gaat het over natuurkunde en techniek.

In deze paragraaf lees je eerst wat natuurkunde en techniek met elkaar te maken hebben. Je leest er wat techniek betekent.

Daarna lees je hoe je in de techniek iets ontwerpt. Het ontwerpen is erg belangrijk in de techniek. In paragraaf 2 heb je gezien hoe de gloeilamp ontworpen is.

Aan het eind van deze paragraaf vind je enkele opgaven en opdrachten. Daarmee kun je nagaan of je deze paragraaf hebt begrepen.

Natuurkunde en techniek

Het lespakket, dat je nu voor je hebt, is er één uit een serie, die heet: Natuurkunde en Techniek.

Deze serie is bedoeld om te gebruiken bij het vak natuurkunde. In het dagelijks leven kom je veel in aanraking met verschijnselen, die je in het vak natuurkunde probeert te begrijpen.

Je komt ook regelmatig met de techniek in aanraking, ook jij. De techniek heeft te maken met de manier waarop je je kleedt, de manier waarop je van huis naar school gaat, de manier waarop je je vrije tijd doorbrengt. De natuurkunde speelt een belangrijke rol in de techniek.

Op school bereid je je voor op je toekomstig beroep. Bij veel beroepen is de techniek erg belangrijk. Misschien werk jij later wel in de techniek.

In de lessen Natuurkunde en Techniek leer je dingen over techniek. Je krijgt een indruk van wat techniek is, en wat natuurkunde met techniek te maken heeft.

Wat is techniek?

Bij techniek moet je niet altijd denken aan grote en ingewikkelde dingen. Soms is techniek inderdaad groot en ingewikkeld. Denk aan grote, ingewikkelde machines in de industrie.

Maar vaak is techniek heel eenvoudig. Als je iets bedenkt, ontwerpt, maakt en gebruikt, spreek je van techniek. Dat kan bijvoorbeeld een simpele boekenplank voor je kamer zijn of een brievenstandaard. In dit lespakket was het een gloeilamp.

Mensen zijn altijd bezig geweest om dingen te bedenken, te ontwerpen en te maken. Techniek is dus heel oud.

Techniek is niet alleen voor jongens. Ook meisjes kunnen dingen bedenken, ontwerpen en maken. Ook als meisje kun je een technische opleiding volgen en in de techniek gaan werken.

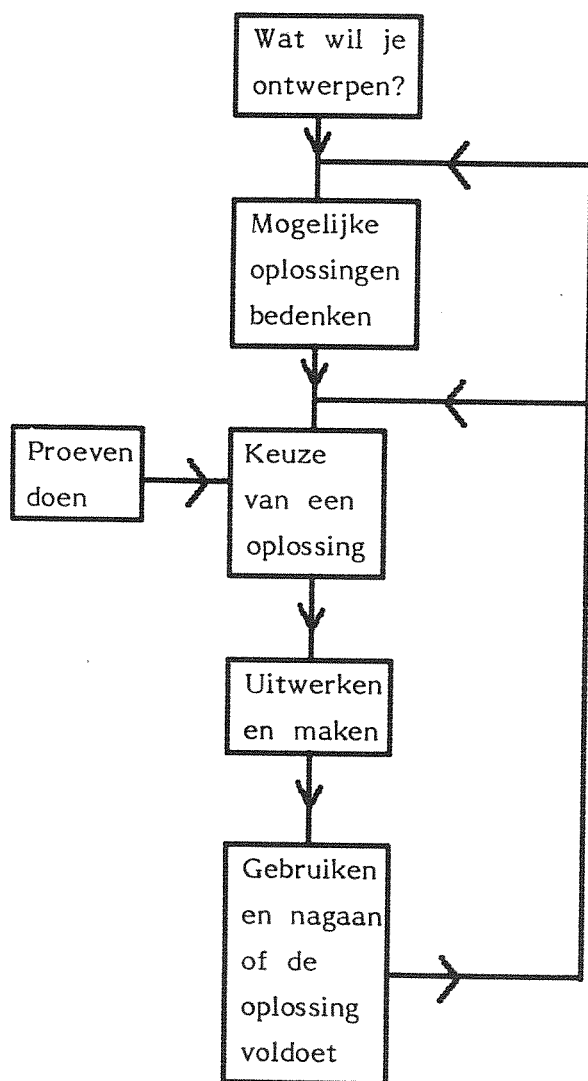
Bij techniek denk je al gauw aan machines en apparaten. Die horen zeker ook bij de techniek. Maar in de eerste plaats gaat het in de techniek om mensen, die dingen bedenken, ontwerpen, maken en gebruiken. Die dingen kunnen machines en apparaten zijn, maar ook een fiets, een pan of schoenen. Als je in de techniek werkt, ga je net zo goed met mensen om als met machines.

Bij het ontwerpen van technische dingen gebruik je dikwijls kennis uit de natuurkunde. Voorbeelden daarvan vind je steeds in de lessen over Natuurkunde en Techniek. Je bent ze in de vorige paragrafen steeds tegengekomen.

Omgekeerd gebruik je in de natuurkunde vaak technische voorwerpen: bijvoorbeeld een liniaal om lengtes te meten, of een batterij om spanning te krijgen.

Ontwerpen in de techniek

In paragraaf 2 heb je gezien hoe de gloeilamp is ontworpen. Dat verliep in een reeks stappen. In figuur 23 zie je een tekening, die aangeeft welke stappen dat zijn. Zo'n tekening heet een **stroomdiagram**. Als je de pijltjes in het diagram volgt, kom je alle stappen tegen, die je bij het ontwerpen in de techniek doorloopt.



Figuur 23. Ontwerpen in de techniek.

Het ontwerpen begint altijd met precies vast te stellen wat je wilt ontwerpen. Daarbij bedenk je aan welke eisen het moet voldoen: hoe duur mag het worden, hoe lang moet het meegaan, is het makkelijk te maken, ziet het er mooi uit ?

Vervolgens bedenk je enkele mogelijke oplossingen. Daarbij gebruik je je fantasie. Vaak helpt het om te denken aan voorwerpen, die je al kent of dingen, die je weet uit de natuurkunde.

Daarna kies je de beste oplossing. Om uit te vinden wat de beste oplossing is, doe je vaak proeven. Soms maak je een model van wat je wilt ontwerpen en je doet daarmee proeven.

Je werkt vervolgens de gekozen oplossing verder uit en maakt het voorwerp. Je brengt zonodig verfijningen en verbeteringen aan.

Dan neem je het voorwerp, dat je hebt gemaakt, in gebruik.

Soms blijkt meteen, dat het niet voldoet.

Dan ga je terug naar de derde stap: je kiest een andere mogelijke oplossing of je bedenkt nog andere mogelijke oplossingen (je gaat dan terug naar de tweede stap).

Het komt voor, dat je pas na een poosje ontdekt, dat het toch beter of mooier had gekund. Ook dan ga je enkele stappen terug in het diagram.

Opgaven

15. Noem voorbeelden waaruit, dat primitieve volken ook al techniek bedreven.
16. Wat zijn volgens jou verschillen tussen de techniek van vroeger en de moderne techniek ?
17. Ken jij meisjes of vrouwen, die een technische studie volgen of een technische beroep uitoefenen ?
18. Verzamel een week lang alle berichten in de krant, die met techniek te maken hebben.
19. Hoe zou het komen, dat veel jongens en meisjes bij techniek alleen aan apparaten en machines denken ?
20. Vind je dat een pollepel met techniek te maken heeft ?
En een plastic bekertje ?

EXTRA STOF

1. EDISON

Thomas Alva Edison werd op 11 februari 1847 te Milan in de Amerikaanse staat Ohio geboren. Hij was de zoon van een handelaar in hout, graan en levensmiddelen. "Al", zoals hij werd genoemd, heeft maar 3 maanden op school gezeten. De onderwijzeres vond hem zo dom dat ze hem wegstuurde. Zijn eigen moeder echter, was het daarmee niet eens. Zij bracht haar zoon in korte tijd zo veel bij dat hij op eigen kracht alles kan leren wat hij wilde weten.

Er brak een tijd aan die je zou kunnen noemen: 'de tijd van 12 ambachten en 13 ongelukken'. Toen hij na veel omzwervingen werkzaam was bij The Gold Indicator Company verbeterde en repareerde hij de koersaanwijzers in telegraaf toestellen zo goed, dat zijn baas hem daar 40.000 dollar voor bood (In bedragen van onze tijd omgerekend is dat ongeveer driekwart miljoen gulden). Vanaf dat moment kon hij zijn grootste ideaal verwezenlijken: een eigen zaak, een eigen fabriek en een eigen laboratorium.

Op zijn zesentwintigste jaar begon hij een bekend man te worden. Dag en nacht werkte hij; vaste werktijden waren er voor hem en zijn vaste medewerkers niet.

In 1877 had hij de eerste spreekmachine ontwikkeld, de zogenaamde fonograaf. De stem die men kon horen was de stem van Thomas Alva Edison.

Na een reis naar Californië, alwaar hij mensen ontmoette met wie hij sprak over het maken van elektrisch licht, besteedde hij zijn meeste tijd aan het ontwikkelen van de gloeilamp. Hij durfde andere belangrijke onderzoekers te vertellen dat zij niet op de goede weg waren.

Een van de geschilpunten was de vraag of 'elektrisch licht wel of niet onder te verdelen is'.

Ga na wat dit betekent, en wat de verschillende standpunten waren. Had Edison gelijk?

Is er tegenwoordig nog steeds sprake van 'onderverdeling van elektrisch licht'?

Edison wilde een lamp maken met een lange levensduur, die geen onderhoud vereiste, klein en veilig was en voor iedereen te betalen was. Zeg maar: 'Een lamp voor iedereen'.

Wat waren de grootste problemen bij de eerste gloeilampen; en waarom was het haast onbetaalbaar om met zulke lampen een heel gebouw te verlichten?

Als eerste verklaarde Edison dat er over een tijd sprake zou zijn van een elektriciteitsnet, analoog aan dat van de gasfabrieken. Eerst dikke buizen onder de straten, zich vertakkend in dunnere buizen naar de afzonderlijke huizen. Hij voorspelde dat er 'centrales' zouden komen die de elektriciteit net als gas en water tot in ieder huis zouden 'pompen'. In de ogen van de mensen van toen leek dat t  mooi om waar te zijn.

Het produceren van een geschikte gloeilamp liet nog enige tijd op zich wachten. De grootste moeilijkheden lagen in het vinden van een geschikte gloeimedium, de latere gloeidraad.

Welke soorten gloeimateriaal heeft Edison toegepast en wat waren de resultaten?

Welk materiaal gaf uiteindelijk het beste resultaat.

Toen Edison en zijn mensen vlak bij het einddoel waren, kregen zij nog vele tegenslagen te verwerken. Het geld raakte op, de financiers werden lastiger en de kranten spotten harder dan ooit.

Op het laatste moment leek het getij te keren. In oktober 1879 kwam Edison tot een gloeilamp die veelbelovend was. Dat betekende de kroon op een halve eeuw tevergeefs experimenteren door vele onderzoekers.

Toen het bestaan van de bruikbare gloeilamp eenmaal bekend was geworden, kon Edison zich verheugen in een gigantische belangstelling. Het geboortjaar van de moderne gloeilamp -1879- eindigde in een daverende overwinning van Edison. De wereldpers was vol lof.

Opgave

Dit kleine stukje extra stof is nog maar een fractie van alles wat er over Edison bekend is. Er zijn vele interessante boeken en artikelen over zijn werk en zijn leven. Je zult merken, als je eenmaal aan het lezen slaat, hoe interessant de figuur Edison eigenlijk is.

Als afsluitende opdracht zou het leuk kunnen zijn een werkstuk te maken over Edison.

Je kun je dan op een bepaald gedeelte van zijn werk of leven concentreren. De opdrachten tussen de tekst van deze paragraaf geven enkele ideeën weer. Maar zeker zo interessant is het, als je zelf een onderwerp zoekt.

Een heel boeiend boek over licht en de geschiedenis daarvan waarin Edison dus een zeer belangrijke plaats inneemt, is:

De Bliksem Getemd

door Leonard de Vries 1979

verschenen bij de Gooise Uitgeverij te Bussum.

Natuurlijk zijn er nog vele andere boeken waar je feiten over Edison en de zijnen kunt vinden. Succes!

EXTRA STOF

2. FOTOMETRIE

In dit lespakket gaat het over lichtbronnen. Je hebt gezien hoe een aantal lichtbronnen, zoals de gloeilamp en de TL-buis zijn ontworpen.

Je hebt echter in het geheel niet gekeken naar de hoeveelheid licht, die deze lichtbronnen geven. Daar ken je zelfs nog geen maat voor. Als je een lengte wilt gaan meten heb je een eenheid nodig: de meter. Zo heb je ook een eenheid nodig als je de hoeveelheid licht van een gloeilamp wil gaan meten.

In dit extra stof blad lees je over enkele grootheden en eenheden, die met de hoeveelheid licht van een lichtbron te maken hebben. Ze worden in de techniek, vooral in de bouwkunde, veel gebruikt. Als je in de bouw lichtbronnen gaat aanbrengen is het belangrijk, dat je van te voren kunt berekenen hoeveel licht er in een bepaalde ruimte beschikbaar zal zijn.

Het onderdeel van de natuurkunde, dat zich bezig houdt met het berekenen en meten van de hoeveelheid licht van lichtbronnen, heet de **fotometrie**.

Je maakt eerst kennis met de belangrijkste grootheden en eenheden in de fotometrie; daarna doe je een aantal metingen in je eigen omgeving.

Grootheden en eenheden in de fotometrie

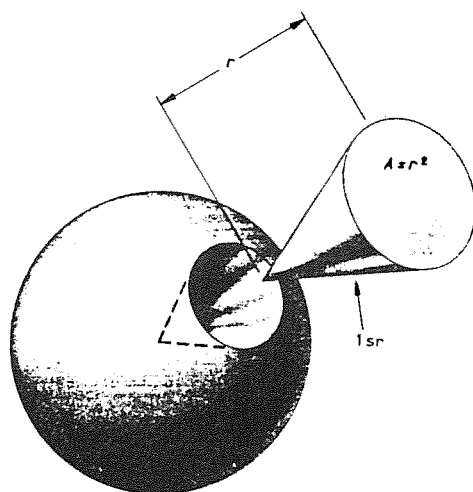
De lichtbronnen, die je in dit lespakket hebt gezien, zetten elektrische energie om in warmte en licht. Bij een lichtbron wil je weten hoeveel energie is omgezet in lichtenergie. Je wilt weten hoeveel lichtenergie de lichtbron in totaal per seconde uitzendt. Je noemt die totale hoeveelheid lichtenergie per seconde de **lichtstroom**.

De eenheid van lichtstroom is de **lumen**. Eigenlijk is de eenheid voor energie per seconde de watt, maar in de fotometrie is het gebruikelijk om de lumen te gebruiken. 1 lumen is $1/60$ watt.

Bij een lichtbron ben je niet alleen geïnteresseerd in de totale hoeveelheid uitgestraalde energie. Vaak is ook van belang of het licht in alle richtingen even sterk wordt uitgestraald of in een bepaalde richting sterker dan in een andere. Denk bijvoorbeeld aan een spotje. Je wilt niet alleen, dat het spotje een bepaalde hoeveelheid energie per seconde uitstraalt, maar je wilt het in een zeer bepaalde richting hebben.

Daarom is in de fotometrie de grootte **lichtsterkte** ingevoerd. De lichtsterkte is de lichtstroom, die per ruimtehoek wordt uitgestraald.

Het begrip 'ruimtehoek' ken je waarschijnlijk nog niet. In figuur zie je wat onder een 'ruimtehoek' wordt verstaan. Een eenheid voor de hoek in het platte vlak is de radiaal. Een eenheid voor de ruimtehoek is de 'steradiaal'.



Figuur 24. Een ruimte-hoek van 1 steradiaal.

De eenheid van lichtsterkte is nu de lichtstroom, die per steradiaal wordt uitgezonden. De eenheid van lichtsterkte is dus **lumen per steradiaal**. Meestal gebruik je een andere eenheid: de **candela**. 'Candela' betekent letterlijk 'kaars'. Vroeger werd een bepaalde waskaars gebruikt om de eenheid van lichtsterkte mee aan te geven. Nu is de candela gedefinieerd als: de lichtsterkte van $1/60 \text{ cm}^2$ van een zwart lichaam, als dit de temperatuur heeft van smeltend platina (1764°C). Dat lijkt een omslachtige definitie, maar die is zo gekozen, dat de nieuwe candela ongeveer even groot is als de oude candela ('kaars'). Het verband met de eenheid voor lichtstroom is: een lumen is het vierde deel van een lichtstroom, die uitgaat van een candela als deze naar alle kanten evenveel licht uitstraalt.

Bij een lamp, die in alle richtingen evenveel licht uitstraalt is de lichtsterkte in alle richtingen even groot. Bij een spotje is de lichtsterkte in de ene richting groter dan in de andere.

Een derde grootheid in de fotometrie is de **verlichtingssterkte** (niet verwarren met 'lichtsterkte!'). De verlichtingssterkte zegt je hoeveel licht er op een bepaald oppervlak valt. Dat is van belang als je wilt weten waar je een lamp moet plaatsen, die je bureaublad moet verlichten. Je wilt voldoende licht hebben om bij te werken, en toch niet te veel, zodat je verblindt wordt.

De verlichtingssterkte is de lichtstroom, die per m^2 (of per cm^2) op een oppervlak valt. De eenheid van verlichtingssterkte is dan ook de **lumen per m^2** , ook wel de **lux** genoemd.

Tussen de grootheden, die je nu hebt gezien bestaan verbanden. Deze kun je in de volgende formules uitdrukken:

$$E_{\text{gemiddeld}} = \frac{\Phi}{S} \quad (E \text{ is de lichtsterkte, } \Phi \text{ is de lichtstroom, } S \text{ is het oppervlak})$$

$$E_{\text{in een punt}} = \frac{I}{r^2} \quad (r \text{ is de afstand van het punt tot de lichtbron}).$$

Deze formules geven eigenlijk direkt de definitie van de lichtsterkte weer.

Nu enkele voorbeelden om een idee te krijgen van de betekenis van de eenheden.

De lichtstroom van een fietslampje is ongeveer 10 lumen,
de lichtstroom van een gloeilamp ongeveer 2.000 lumen,
een TL-buis straalt ongeveer 3.000 lumen uit,
en een kwiklamp ongeveer 20.000 lumen.

De lichtsterkte van een fietslampje is recht vooruit ongeveer 1 candela
zonder reflektor en 250 candela met reflektor.

De verlichtingssterkte in de zomer buiten is ongeveer 100.000 lux bij
onbewolkt weer.

In de huiskamer is gewoonlijk een verlichtingssterkte van ongeveer 500 lux.

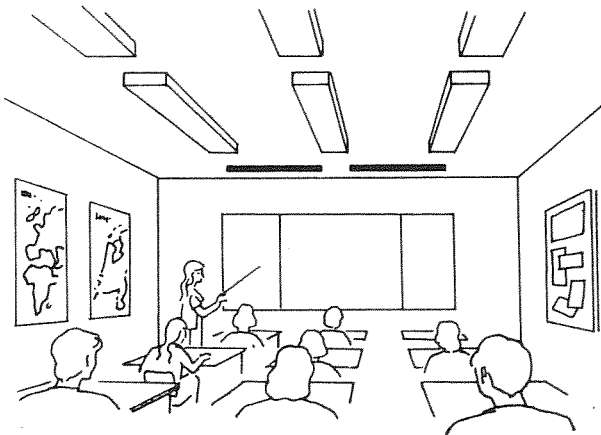
Metingen in de fotometrie worden meestal gedaan met een lux-meter. Een lux-meter is een fotocel met een ampèremeter erachter. De verlichtingssterkte (in lux) is het makkelijkst te meten en wordt daarom het meest gebruikt.

Opgave

Meet met een lux-meter de verlichtingssterkte op een aantal plaatsen (bijvoorbeeld in de klas, buiten, in de huiskamer, op je bureau).

Vergelijk de gevonden waarden met enkele aanbevolen waarden (250-500 lux voor een klaslokaal, 125 tot 250 lux voor de huiskamer, 1000 tot 2000 lux voor het werkblad van je bureau).

Kun je uit de gemeten verlichtingssterkte ook de andere grootheden schatten (de totale lichtstroom van de lichtbronnen en hun lichtsterkte) ?



Figuur 25. Verlichting in een klaslokaal.

