



EDUGO
School voor Wetenschap en Techniek
Campus Glorieux
Sint-Jozefstraat 7
9041 Oostakker
09 255 91 15
www.edugo.be

Elektromagnetische straling

Nathan Sennesael
6 IW
2014-2015
Begeleiders: dhr. Verstraete
dhr. Delaere
dhr. Van Eetvelde
dhr. Baaten
dhr. Neyt
dhr. Van de Vijver
dhr. D'Huyvudder

Voorwoord

In een zesde jaar industriële wetenschappen wordt er van ons verwacht een GIP te maken. In de 4 jaren IW dat ik gevuld heb op EDUGO Campus Glorieux, heb ik kennis gemaakt met de klassieke fysica. In mijn verdere leven zou ik graag natuurkunde van het hoogste niveau bestuderen en begrijpen. De moderne fysica zijn de theorieën die zijn ontwikkeld aan het eind van de 19de eeuw. Alle theorieën uit de moderne fysica blijken een gevolg te zijn uit het gedrag van licht. Kwantumfysica berust geheel op het feit dat licht deeltjes of 'pakketjes' energie zijn. Relativiteit berust geheel op het feit dat de snelheid van het licht een constante is onafhankelijk van hoe snel jij beweegt.

Vandaar leek het mij een goed idee om 'licht' als GIP-onderwerp te kiezen. Dit zou een zeer goede voorbereiding zijn op mijn latere studies. Licht is elektromagnetische straling. Het elektromagnetische spectrum is veel breder dan enkel het zichtbare gedeelte. Daarom heb ik besloten om elektromagnetische straling als GIP-onderwerp te nemen.

Ik wens hierbij uitdrukkelijk de volgende mensen te bedanken:

- het voltallige directieteam;
- dhr. Verstraete, hoofd IW, klasleraar, leerkracht wiskunde;
- dhr. Delaere, hoofdpromotor GIP, leerkracht Toegepaste chemie en fysica;
- dhr. dr. prof. Martijn van Den Broeck, professor fysica;
- dhr. Van Eetvelde, leerkracht elektriciteit en elektronica;
- dhr. Baaten, leerkracht mechanica en sterkeleer;
- dhr. Neyt, leerkracht technisch tekenen;
- dhr. Van de Vijver, leerkracht Nederlands en Engels;
- dhr. D'Huyvetter, leerkracht Frans;
- mijn hele familie.

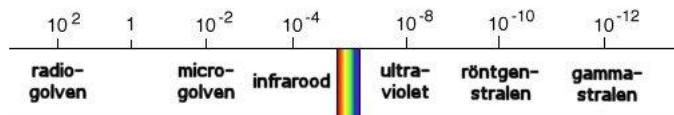
De verwerking van dit eindwerk gebeurde met het tekstverwerkingsprogramma Microsoft Word. Van alle professionele voorzieningen van het programma, zoals het gebruik van opmaakprofielen met automatische nummering in verschillende niveaus, automatische paginanummering, het genereren van de inhoudsopgave en het trefwoordenregister, bijschriften bij de tabellen, spellingcontrole ... werd in dit eindwerk gebruik gemaakt.

Inhoud

Voorwoord.....	3
Inhoud.....	5
Inleiding.....	7
Introduction.....	9
1 Elektriciteit	11
1.1 Wat is elektriciteit?.....	11
1.2 Stroom.....	13
1.3 Spanning	14
1.4 Weerstand	14
1.5 Weetjes.....	15
2 Wat is een veld?.....	16
2.1 Gedachtenexperiment.....	16
3 Elektrische velden	17
3.1 Elektrische aantrekkings- of afstotingskracht	18
3.2 Experiment	20
4 Magnetisme.....	21
4.1 De atomen	22
4.2 De kristalstructuur.....	23
4.2.1 Groep 1: Ferromagnetisme en anti-ferromagnetisme.....	23
4.2.2 groep 2: paramagnetisme en diamagnetisme	23
4.3 Domeinen	24
4.4 Hoe word ik een magneet?	24
5 Magnetische velden.....	25
5.1 Experimenten:.....	25
5.1.1 Exiriment 1.....	25
5.1.2 Exiriment 2.....	26
6 Speciale relativiteit	27
6.1 1 ^{ste} fenomeen.....	27
6.2 2 ^e Fenomeen	28
6.3 De tijd illusie	29
6.4 The twin-paradox	29
6.5 lengte(ruimte)samentrekking.....	30
6.6 Rust massa.....	31
7 Elektromagnetisme.....	32
7.1 Weetje	33
7.2 Elektromagnetische relativiteit	36
8 Elektromagnetische straling	38

8.1	Wat is licht?	38
8.1.1	De deeltjestheorie.....	38
8.1.2	De golftheorie	39
9	Licht.....	39
9.1	Breking	39
9.2	Totale reflectie	42
9.3	Dispersie.....	42
9.4	Regenbogen	44
9.5	Diffractie	47
9.6	Interferentie	49
9.7	Kleuren	50
9.8	Vlinder vleugels	52
9.9	Lichtverstrooiing.....	53
9.10	Ontstaan van fotonen.....	56
9.11	Black body radiation	58
9.12	Foto-elektrisch effect.....	60
9.13	Onstaan van elektromagnetische straling	64
10	De wetten van Maxwell	67
10.1	De wet van Gauss	67
10.2	De magnetische wet van Gauss	68
10.3	De wet van Faraday.....	69
10.4	De wet van Ampère	71
10.5	Rayleigh scattering	78
11	Conclusie	81
Besluit.....	83	
Internetlijst	85	
E-mailverkeer	87	
Figuurlijst	89	
Bijlagelijst.....	91	

Inleiding



Figuur 1 Elektromagnetisch spectrum inleiding

'Elektromagnetische straling' is misschien een beetje een angstaanjagende titel maar het is waar je dagelijks mee in contact komt. De reden dat u dit kan lezen is omdat elektromagnetische straling die blad raakt en weerkaatst in uw oog. De donkere letters absorberen meer straling en dat kan uw oog detecteren. In uw oog zitten lichtgevoelige cellen die dit signaal naar de hersenen versturen en uw hersenen maken hier dan een beeld van in uw bewustzijn.

Elektromagnetische straling is zichtbaar licht, maar het is nog veel meer dan dat. U ook kan sms'en en bellen dankzij elektromagnetische straling. U kan tv kijken, op het internet surfen en naar de radio luisteren dankzij elektromagnetische straling. U kan voedsel in een mum van tijd opwarmen in de microgolf oven dankzij elektromagnetische straling. Er kan door uw huid tot op uw botten gekeken worden dankzij elektromagnetische straling.

Het klinkt misschien heel raar dat al deze dingen eigenlijk gewoon hetzelfde fenomeen zijn. Maar als u lang in de zon loopt dan zal u het warm krijgen en kan u misschien zelfs verbranden (net zoals in een microgolfoven). Alles wat wij zien is eigenlijk informatie dat van objecten wordt verzonden naar onze ogen die dit signaal omzetten naar een beeld (net zoals hoe elektromagnetische straling gebruikt wordt om informatie te verzenden). Dit onderwerp is dus zeer uiteenlopend. In deze GIP zal ik niet specifiek kijken naar de toepassing van elektromagnetische straling.

Mijn doel in het leven is om te begrijpen hoe onze realiteit in elkaar zit. Al van jong af aan stelde ik mij filosofische vragen bij het leven. Naarmate ik ouder werd, begon ik te begrijpen dat de meeste antwoorden op deze vragen te vinden waren in de wetenschap. Nu ik op het punt sta om mijn laatste jaar in het secundair onderwijs af te maken en de overgang te maken naar het universitair onderwijs, wil ik ook de overgang van de klassieke natuurkunde naar de moderne natuurkunde maken. Veel theorieën van de moderne fysica zijn gebaseerd op het bijzondere gedrag van licht of elektromagnetische straling. Daarom wou ik van deze GIP gelegenheid gebruik maken om samen met u licht in detail te bestuderen en begrijpen.

Mijn doel was ook om deze GIP verstaanbaar te maken voor iedereen van elke achtergrond. Ik vind dat ik hier eigenlijk niet goed in geslaagd ben omdat sommige onderwerpen toch wel enige wiskundige achtergrond vereisen. Ik heb toch mijn best gedaan om alles zo simpel mogelijk te houden. Ik vrees wel dat je om sommige onderwerpen te begrijpen echt wel een grote verbeelding nodig hebt.

Ik heb ook op de harde manier bijgeleerd dat je zeer frequent je word documenten moet opslaan als je eraan werkt. Mijn word is namelijk 2 maal gescrecht. Hierdoor ben ik in totaal ongeveer 15 pagina's kwijt gespeeld waarvan ik er ongeveer 9 opnieuw heb geschreven. De andere 6 waren een bewijs van de standaard golfvergelijking. Ik heb achteraf dan maar besloten om dit niet opnieuw te schrijven en voor één keer in mijn GIP een formule te vermelden zonder deze te motiveren. In dit bewijs maakte ik gebruik van partieel afgeleiden en omdat dit geen leerstof is van het secundair onderwijs is het misschien ook beter dat ik dit er heb uitgelaten.

Ik hoop dat u rustig de tijd neemt om dit document grondig door te nemen en te bestuderen. Ik hoop dat u iets bijleert en dat u er van kan genieten.

Introduction

Le rayonnement électromagnétique peut paraître comme un titre terrifiant, mais c'est quelque chose avec lequel vous entrez en contact tous les jours. La lumière est un rayonnement électromagnétique, mais cela représente seulement une petite partie du spectre électromagnétique. À l'intérieur de l'œil, il y a des cellules sensibles à la lumière qui convertissent l'énergie de la lumière en signaux et qui sont ensuite transmis au cerveau.

Mais ce n'est pas la seule forme de rayonnement électromagnétique, votre téléphone mobile, la radio, la télécommande, internet, le micro-ondes, ... utilisent tous le rayonnement électromagnétique. La lumière se déplace à une vitesse extrême, il n'y a rien dans notre monde qui ne peut aller plus vite que la lumière, c'est aussi la raison pour laquelle la lumière est utilisée pour envoyer des informations. Mais au lieu dand cette idée, je vais expliquer plus en détail ce qu'est la lumière d'une manière fondamentale et théorique.

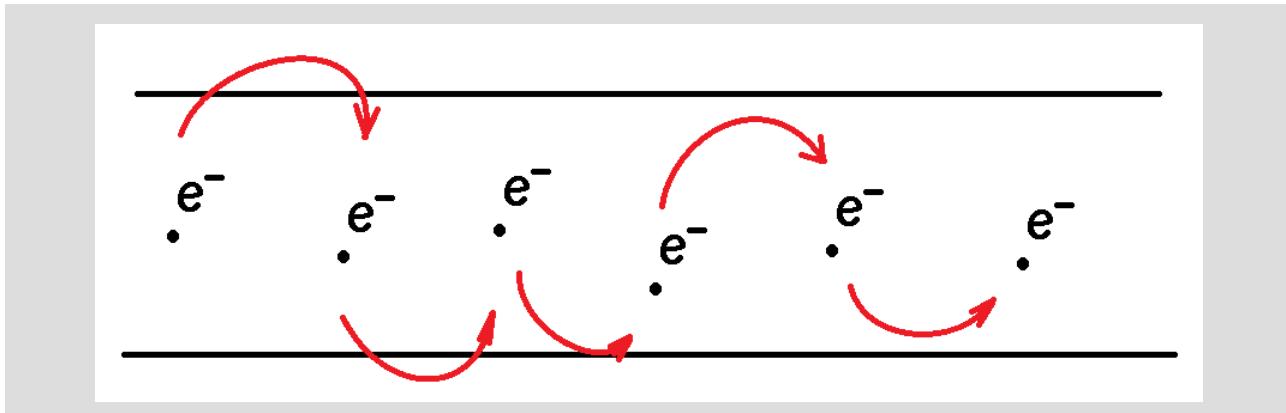
Mon but dans la vie est de comprendre notre réalité, depuis que je suis jeune, je me suis toujours posé plusieurs questions sur la vie. En grandissant, j'ai commencé à comprendre que la majorité des questions ont trouvé leurs réponses dans la science. Maintenant que je suis sur le point de terminer ma dernière année à l'école secondaire, et je suis sur le point de faire la transition à l'enseignement universitaire, je tiens également à faire la transition de la physique classique à la physique moderne. Beaucoup de théories de la physique moderne sont basées sur le comportement particulier d'un rayonnement lumineux ou électromagnétique. C'est est pourquoi je voulais profiter de cette occasion pour comprendre la lumière dans les moindres détails avec vous.

Dans cet article, je vais essayer de repartir de zéro et ainsi expliquer par étapes les différents concepts jusqu'aux plus difficiles en physique, afin que chacun puisse comprendre ce document. Mon pré-GIP et le GIP sont tous deux écrits sous forme d'un livre de texte parce que je souhaite à mes lecteurs d'apprendre quelque chose. Je vais donc essayer de tout expliquer aussi simple que possible, pour que ça soit à la portée de chacuns.

1 Elektriciteit

1.1 Wat is elektriciteit?

Een stroom die vloeit in een geleider is elektriciteit. Wat precies vloeit in die geleider is een verplaatsing van elektronen (vandaar ook de naam ELEKtriciteit). Elektronen zijn fundamentele bouwstenen van onze realiteit. Het zijn negatief geladen deeltjes met een kleine grootte en massa. Ze bevinden zich voornamelijk in atomen in een stabiele toestand. Wanneer elektronen zich van atoom naar atoom verplaatsen heet dit elektriciteit.



Figuur 2 Stroom

De elektronen verplaatsen zich door de geleider zoals weergegeven op de afbeelding hierboven, een elektron springt naar voor, en het elektron achter dat elektron neemt zijn plaats in enz...

Elektriciteit gaat snel (als je op je lichtknop thuis drukt, gaan de lichten meteen aan). Mensen denken vaak dat de elektronen zich zo snel verplaatsen, dit is een veelvoorkomende fout! In een geleider verplaatsen elektronen zich eigenlijk vrij traag.

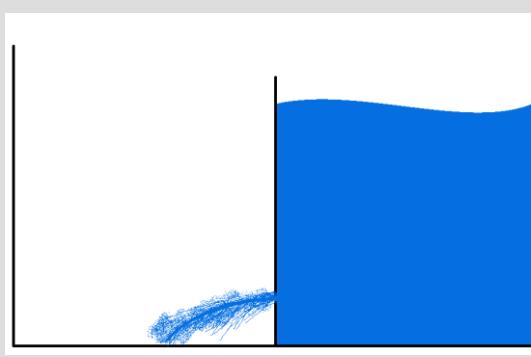
De tijd dat het duurt voor alle elektronen om één plaatsje op te schuiven is net wat zo snel gebeurt. Het is vergelijkbaar met een domino effect, als je een heel lange rij domino steentjes hebt en je duwt de eerste om dan duurt het een tijdje voor de hele rij is omgevallen. Maar als je nu de domino steentjes heel dicht bij elkaar plaatst (tegen elkaar) en je duwt de eerste om dan zal de hele rij zeer snel omgevallen zijn. Maar de domino steentjes zelf vallen veel trager dan de snelheid waarmee de domino rij doorlopen wordt.

We kunnen hier dus zeggen dat er 'informatie' verzonden wordt van het begin naar het eind van de domino rij met in dit geval ongeveer de snelheid van geluid (afhankelijk van het materiaal waaruit de dominosteentjes zijn opgebouwd).

Het is een fundamentele wet dat materie niet sneller kan gaan dan de kosmische limiet: 299 792 458 m/s (de snelheid van licht in een vacuüm of 'c'). Maar dit geldt zeker niet alleen voor materie! Het is eigenlijk beter om te zeggen dat informatie zich niet sneller kan verplaatsen dan 'c'. En de snelheid waarmee de informatie van het beginnend elektron in de geleider naar het laatste wordt verstuurd is net wat hier zo snel gaat. (De snelheid waarmee deze informatie wordt verstuurd in de geleider is zeer hoog maar is uiteraard niet even snel als 'c').

Maar waarom verplaatsen die elektronen zich?

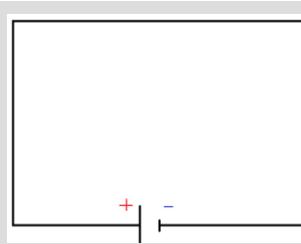
De natuur streeft naar stabiliteit, om dit te demonstreren stel ik een simpel voorbeeld op:



Figuur 3 Stabiliteit

Stel je hebt twee containers, één volledig gevuld met water en de andere helemaal leeg. Vanonder zit een klein gaatje, voor u en mij is het logisch dat wegens de potentiële energie van de waterdeeltjes (door gravitatie) het water van de gevulde naar de lege container zal vloeien en de twee containers uiteindelijk de meest stabiele stand aannemen waarbij ze beiden evenveel gevuld zijn (als het gat niet te hoog zit).

En dit is exact hoe stroom werkt (of toch gelijkstroom), in plaats van een stroom van waterdeeltjes is er dus een stroom van een teveel aan elektronen naar een tekort aan elektronen.

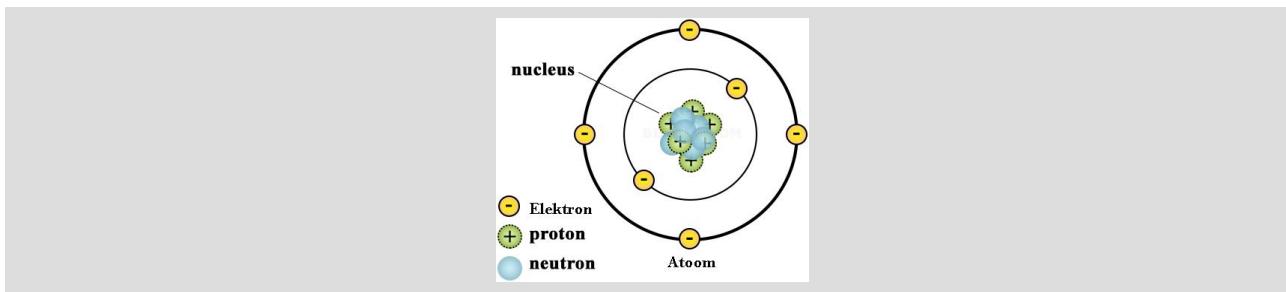


Figuur 4 Elektrische kring

Hier ziet u een batterij (of andere elektrische energie bron) voorgesteld. Met de positieve kant links en de negatieve kant rechts die altijd worden voorgesteld door een grote en een kleine streep. De positieve en negatieve kant zijn verbonden met elkaar door een geleider. Er wordt in de elektriciteit aangenomen dat de stroom vloeit van de positieve naar de negatieve kant maar dit stemt niet overeen met de realiteit!

Aan de negatieve kant zit een teveel aan elektronen en aan de positieve kant een tekort. Het is net omdat elektronen negatief geladen zijn dat een teveel aan elektronen een grote negatieve waarde geeft. Mensen denken vaak dat de plus staat voor een teveel aan elektronen en de min voor een tekort.

Een batterij zal dus net als de watercontainers na een tijdje neutraal worden en dit is wanneer wij ze moeten weggooien of heropladden.

**Figuur 5 Atoom**

Dit is vergelijkbaar met atomen. Een atoom heeft een positief geladen kern met errond allemaal elektronen die er omheen bewegen. Over het algemeen zijn de meeste atomen neutraal, dit betekent dat de positief geladen kern en de negatief geladen elektronen elkaar opheffen. Maar als je een elektron wegneemt wordt het atoom positief geladen (want er is meer positiviteit dan negativiteit), dit noemen we een positief ion. En als er een elektron teveel is, is het atoom negatief geladen (en is het een negatief ion).

1.2 Stroom

Zoals ik al zei, elektronen zijn negatief geladen deeltjes (q), (1.6×10^{-19} Coulomb om precies te zijn). Stroom is eigenlijk gewoon de hoeveelheid lading die per tijdseenheid door een geleider vloeit.

$$I = \frac{Q}{t}$$

- Stroom (I) is uitgedrukt in Ampére (A) (of (C/s), vernoemd naar André-Marie Ampère.
- Lading (Q) is uitgedrukt in Coulombs (C), vernoemd naar Charles-Augustin de Coulomb.
- Tijd (t) is uitgedrukt in seconden (s).

Stroom is ook

$$I = A v r q$$

- 'A' is de oppervlakte van de geleider waar de stroom door vloeit
- 'v' is de snelheid van de elektronen
- 'r' is het aantal elektronen per kubieke meter
- 'q' is de lading van één elektron

De grootte van de stroom is dus ook recht evenredig met het aantal elektronen die van plaats veranderen per tijdseenheid. Om te demonstreren hoe traag elektronen bewegen in een geleider zal ik alle grootheden in deze formule realistisch verzinnen.

$$I = 50\text{A}$$

$$A = 30 \text{ mm}^2 \text{ of } 3 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$r = 8.46 \times 10^{28} \text{ e}^-/\text{m}^3 \text{ (koper)}$$

$$q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$$

We vullen de omgevormde formule in:

$$v = \frac{I}{A r q}$$

We verkrijgen $v = 0.012313 \text{ m/s}$ of ongeveer 12 millimeter per seconde. Hou er rekening mee dat 50A een vrij grote stroom is, koper één van de beste geleiders is en dat dit een vrij dikke geleider is. Dit is dus eigenlijk nog een vrij hoge snelheid voor elektronen in een geleider.

1.3 Spanning

$$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{W}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3 \text{ A}}$$

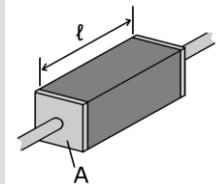
Spanning uitgedrukt in Volt (V) is het potentiële verschil tussen de positieve en negatieve kant van de bron. (of de druk binnen in de watercontainer, hoe groter deze druk hoe krachtiger het water door het gat sputt. Als we het gat verkleinen (of de weerstand vergroten) komt het water er minder snel uit). Aan de eenheden kunnen we duidelijk aflezen dat het eigenlijk de elektrische potentiële energie per lading is.

1.4 Weerstand

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Weerstand in ohm (Ω) is wat tegen de spanning inwerkt en zo de stroom bepaalt. Een weerstand is ook een elektrische component die in een elektrische kring geplaatst kan worden om de stroom te beperken, in het begin stelden we enkel een bron verbonden van plus naar min met een geleider. Als je dit echter in de realiteit zou doen zou je batterij zeer snel leeg zijn.

$$U = I R$$



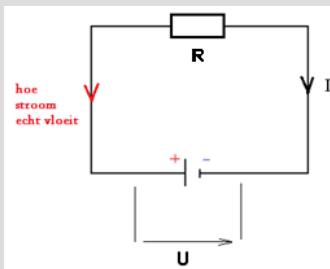
Figuur 6 Weerstand

l = de lengte van de weerstand

A = de oppervlakte van de weerstand

ρ = de geleidbaarheid van het materiaal

Hier zie je dus ook dat hoe groter de oppervlakte van de weerstand hoe kleiner de waarde van de weerstand en hoe meer stroom er vloeit (of hoe groter het gat hoe sneller water vloeit).



Figuur 7 Stroomzin

Niet alles geleidt elektrische stroom even goed, het is dus zeer sterk afhankelijk van het soort materiaal. Metalen geleiden stroom bijvoorbeeld heel goed omdat de atomen zeer dicht op elkaar vastzitten in een atoomrooster. De elektronen zitten ook vrij los, het kost weinig energie om ze los te krijgen en zo kunnen ze makkelijk 'stromen' (zie pre-GIP). Het meest geleidbare metaal is zilver, gevolgd door koper en goud. Koper wordt heel veel gebruikt vanwege zijn prijs/kwaliteit verhouding.

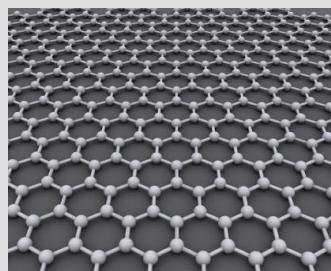
1.5 Weetjes



Figuur 8 Vrijheidsbeeld

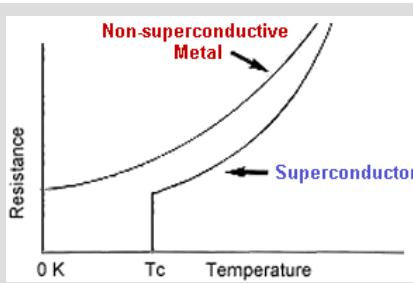
Goud wordt gebruikt in de elektronica omdat het niet oxideert (roest). In de heel preciese micro-elektronica kan men niet anders dan kostbare metalen te gebruiken in plaats van koper.

Het vrijheidsbeeld is van koper gemaakt en is helemaal bedekt met een oxidelaag.



Figuur 9 Grapheen

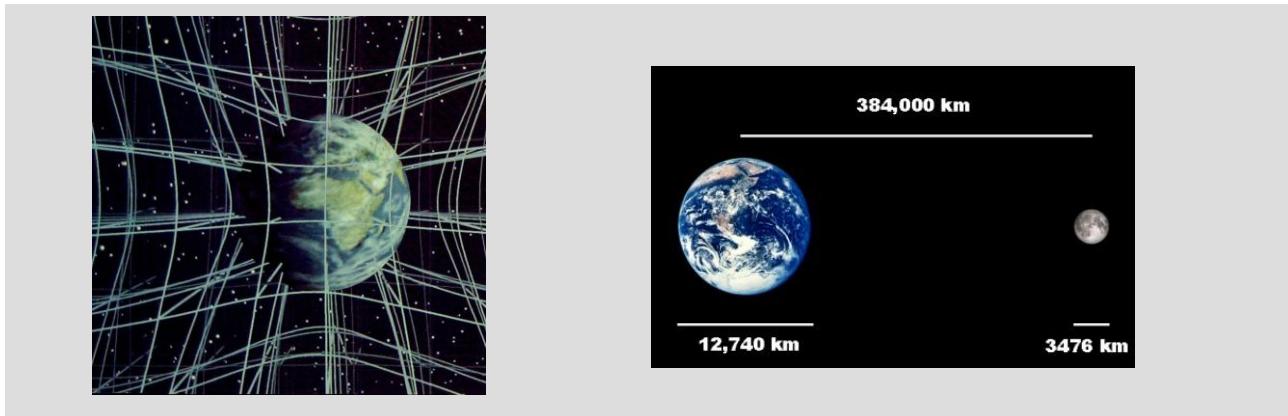
Grapheen is een nieuwe SUPER stof die slechts voor het eerst in een lab is gemaakt in 2004. Het is de best geleidende stof die er bestaat, de enige die beter is dan zilver, goud en de andere metalen. Het is zelf geen metaal, het bestaat geheel uit koolstof. Het is eigenlijk één enkele laag grafiet (pootlood) die dus maar één atoom dun is. Het is ook zo een 100 keer sterker dan staal. Het geleidt zo goed omdat de elektronen die normaal gezien het grafiet samen hielden nu vrij zijn om te geleiden. Omdat het perfect één atoom dik moet zijn is het zeer moeilijk te produceren, het is bijna volledig transparant en het is ook buigzaam (maar je kan het bijna niet stuk trekken).



Figuur 10 Geleidbaarheid

Sommige materialen hebben de eigenaardige eigenschap dat ze bij een bepaalde temperatuur (die dicht bij het absolute nulpunt ligt) een bijna onbestaande weerstand hebben. Dit is niet echt praktisch omdat het erg moeilijk is om deze materialen in zo een koude temperatuur te houden maar als het ons lukt om deze eigenschappen ook bij kamertemperatuur te realiseren zal elektriciteit spotgoedkoop worden over de hele wereld.

2 Wat is een veld?



Figuur 11 Gravitatieveld en afstand tot de maan

Mensen denken vaak dat ruimte leeg is, dat ons universum enkel uit materie (en energie) bestaat. Maar dit blijkt helemaal niet waar te zijn, ruimte zelf heeft bepaalde eigenschappen. Het kan gebogen worden, weerstand bieden, uitzetten en inkrimpen enz. Een veld is een manier waarop ruimte op één van deze manieren aangetast wordt. Alles wat massa heeft buigt het gravitatieve veld van de ruimte. Alles wat een elektrische lading heeft, heeft een invloed op het elektrische veld van de ruimte. En alles wat magnetisch is heeft een invloed op het magnetische veld van de ruimte. Dit is hoe deze grootheden met elkaar omgaan en dus zo 'informatie' uitwisselen. Deze informatie wordt verzonden met de snelheid van het licht (of met andere woorden de snelheid van informatie in onaangestaste ruimte). Dit verklaart ook waarom licht bijvoorbeeld trager gaat in glas (omdat door de vergroting in massadichtheid de ruimte samengedrukt wordt). Dit is dan ook de fundering voor breking van licht en het verklaart ook waarom licht buigt rond zware massa's (hier komen we later nog op terug).

2.1 Gedachtenexperiment

Ik begrijp dat het misschien verwarringd is als ik het heb over het 'versturen van informatie met de snelheid van het licht'. Om dit duidelijker te maken stel ik een klein gedachtenexperiment op.

Stel, we hebben een stalen balk, een balk die op de aarde begint en uitkomt bij de maan. Ik sta op de aarde naast de balk en jij op de maan. De balk gaat dus recht naar boven op aarde en raakt net de maan niet. Als ik de balk omhoog duw, zal het een tijdje duren tot jij de balk op de maan ziet verplaatsen, dit kan uiteraard niet oneindig snel gaan. De snelheid waarmee informatie verstuurd wordt door een materiaal is altijd de snelheid van geluid in dat materiaal. Dit is wat vele mensen vaak vergeten in het hedendaags leven omdat het zo snel gaat dat we er niks van merken, maar op grote schaal is dit zeer merkbaar en van uiterst belang.

- De afstand (s) tussen aarde en maan is ongeveer $3,75892 \cdot 10^8$ meter
- De snelheid (v) van geluid in staal is 5950 m/s

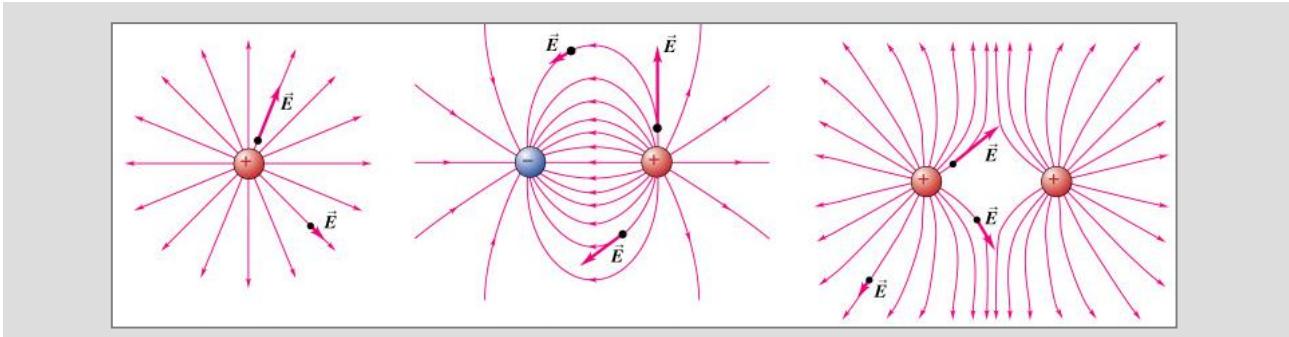
$$t = \frac{s}{v}$$

Als we dit uitrekenen, bekomen we dat het ongeveer 17 uur en een half duurt tot dat jij de stalen balk ziet verplaatsen.

Besluit: hier wordt de informatie dus verzonden met de snelheid van geluid door de atomen binnenin de balk die elkaar één voor één duwen, velden doen dat met de snelheid van licht.

3 Elektrische velden

Er zijn twee soorten ladingen, positieve en negatieve. Twee van dezelfde soort lading (positief en positief of negatief en negatief) stoten elkaar af, maar twee verschillende trekken elkaar aan (positief en negatief). Een lading heeft altijd in alle richtingen een even sterk elektrisch veld, de sterkte van dit veld neemt af naarmate je er verder van verwijderd bent. Bij een positieve lading wordt het veld naar buiten getekend en bij een negatieve lading naar binnen. Dit is gewoon een manier waarop we ze kunnen onderscheiden maar dit heeft niks te maken met de eigenschappen van deze ladingen in de realiteit.



Figuur 12 Ladingen

Een elektron heeft dus altijd een elektrisch veld rond zich en dit veld gaat theoretisch gezien oneindig ver maar neemt zo snel af dat het van op een afstandje al verwaarloosbaar klein is. Hoe dichter de veldlijnen bij elkaar zijn, hoe sterker het elektrische veld. In bovenstaande tekening zie je duidelijk dat naarmate je de lading nadert de veldlijnen dichter opeengedrukt zijn. Velden zijn voor vele mensen verwarrend omdat ze niet zichtbaar zijn. In het verleden werden elektrische en magnetische fenomenen dan ook als magie aangezien.

De sterkte van het elektrisch veld rond een lading op een bepaalde afstand (r) kan je als volgt berekenen:

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 4\pi r^2}$$

'E' is hier de elektrische veldsterkte (eenheden: [N/C]), gelieve dit niet te verwarren met 'E' energie!

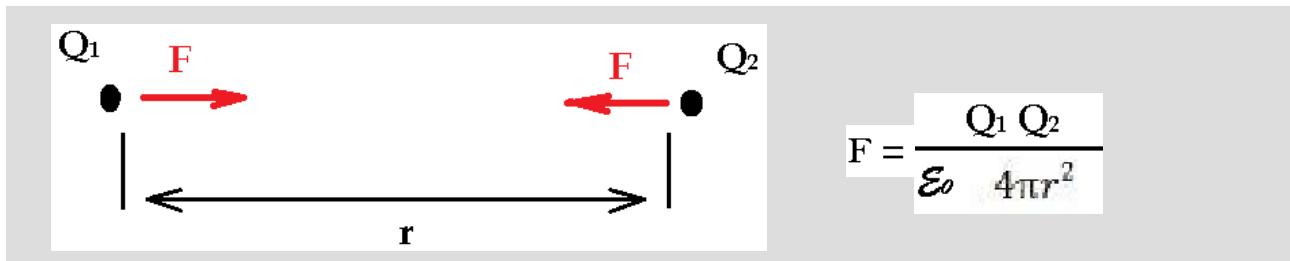
- Q = de waarde van de lading of het geladen deeltje. [Coulomb]

- ϵ_0 = permittiviteit van een vacuüm, of de elektrische veldconstante. Dit heeft te maken met hoe het medium invloed heeft op het elektrische veld. Met vorige theorie kunnen we besluiten dat het logisch is dat materialen de ruimte beïnvloeden en daardoor ook het elektrisch veld in deze ruimte. Met deze formule nemen we aan dat het elektrisch veld zich uitsluitend in een vacuüm bevindt. Dit is een klein constant getal met eenheden Farad/meter. $8.854\ 187\ 817\dots \times 10^{-12}$ [Farad/m]

- $4\pi r^2$ = de oppervlakte van de bol rond de lading op de afstand waar we de elektrische veldsterkte berekenen. We kunnen dus stellen dat de elektrische veldsterkte gelijk is op elk punt van het oppervlak van deze bol. Aan de ' r^2 ' in de noemer kunnen we dus duidelijk merken dat de sterkte van het elektrisch veld drastisch (kwadratisch) afneemt naarmate we er verder van verwijderd zijn.

3.1 Elektrische aantrekkings- of afstotingskracht

Zoals we eerder al zagen, als je nu twee ladingen bij elkaar brengt zullen ze zich in elkanders elektrische veld bevinden. Hierdoor zal er een kracht uitgeoefend worden op beide ladingen, de grootte van deze krachten zijn uiteraard gelijk voor beide ladingen.



Figuur 13 Aantrekking tussen ladingen

Laten we nu als voorbeeld berekenen hoe sterk twee elektronen elkaar maximaal kunnen afstoten:

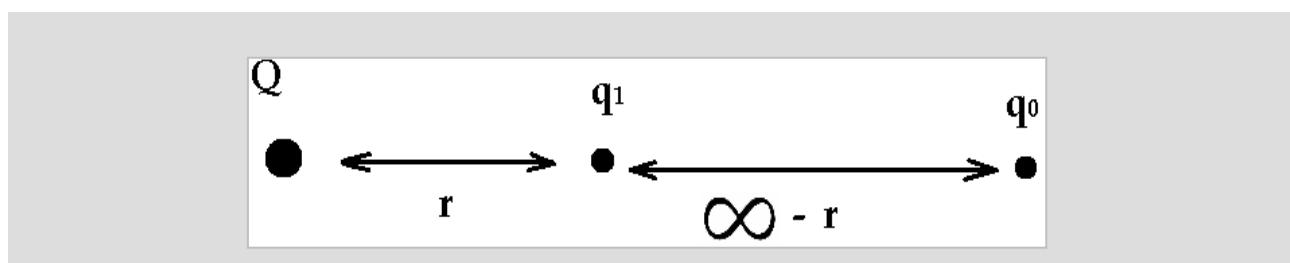
- $Q_1 = Q_2 = 1.6 \times 10^{-19}$ Coulomb

- $\epsilon_0 = 8.85418782 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2 \text{s}^2}{\text{m}^3 \text{kg}}$

- om ' r ' een waarde te geven nemen we aan dat de twee elektronen elkaar raken. We nemen aan dat de straal van een elektron $2.8179403267 \times 10^{-15}$ m.

We bekomen $F = 28.98$ Newton.

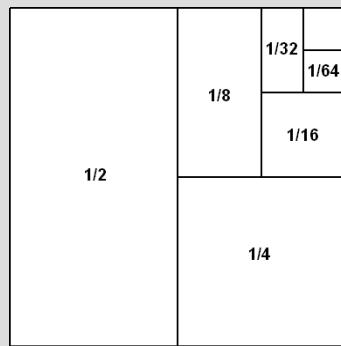
Dit is een GIGANTISCH resultaat !!! Twee onvoorstelbare kleine deeltjes die elkaar met deze kracht afstoten. Dit is ook de reden dat in de realiteit elektronen elkaar nooit zullen raken. Deze elektrische afstotingskracht is de reden dat wanneer u op een muur slaat, deze muur u terug lijkt te slaan (reactiekracht). De vele elektronen in uw hand worden afgestoten door de elektronen in de muur.



Figuur 14 Ladingsarbeid

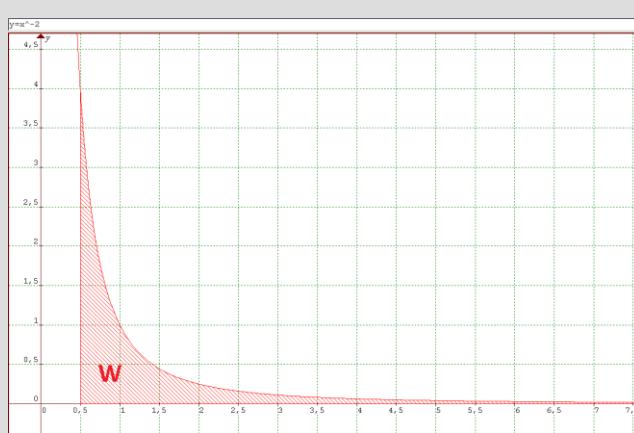
We kunnen berekenen hoeveel arbeid het kost om een lading van een oneindig verre afstand dicht bij een andere lading te brengen. Nu zou je kunnen denken dat het oneindig veel energie kost omdat je de lading oneindig ver moet verplaatsen en er op elk ogenblik van de verplaatsing een tegenwerkende kracht inwerkt op de lading. Maar onthoud dat de kracht die inwerkt op de lading met een macht van 2 afneemt (of toeneemt). Uit de leerstof 'wiskundige rijen en reeksen' kunnen we verklaren dat een oneindige som van breuken een eindige uitkomst kan hebben.

net zoals: $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{2}\right)^n = \frac{\frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2}} = 1.$

**Figuur 15 Oneindige som**

We weten dat als we iets proberen te verplaatsen (Δs) waar een constante tegenwerkende kracht (F) op wordt uitgeoefend, er arbeid nodig is en dit is makkelijk te berekenen: $W = F \Delta s$

In dit geval is onze tegenwerkende kracht niet constant. Op de vorige pagina's kwamen we tot het besluit dat die drastisch toeneemt naarmate je dichter bij de lading komt. De kracht in functie van de afstand is van de vorm: $y = \frac{1}{x^2}$

**Figuur 16 Grafiek Arbeid**

De arbeid die verricht is om twee ladingen van oneindig ver op een afstand 'r' van elkaar te brengen is dus:

$$W = \int_r^\infty \frac{Q q}{\epsilon_0 4\pi R^2} d(R) \rightarrow \int_r^\infty \frac{1}{R^2} d(R) \rightarrow \text{primitieve functie} = \frac{-1}{R} + c$$

$$W = \frac{Q q}{\epsilon_0 4\pi r}$$

3.2 Experiment

Nu zal ik met een experiment de interacties tussen elektrische velden laten zien.



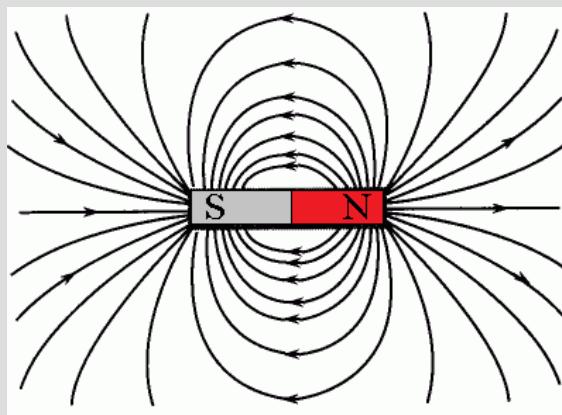
Figuur 17 Afbuigende waterstraal

Voor dit experiment neem ik een ballon en wrijf ik hem over de donsjas van mijn zus. De donsjas zal elektronen afstaan aan de ballon. De ballon wordt dus negatief geladen. Ik laat de kraan van de wasbak zachtjes openstaan zodat ik een mooie rechte waterstraal krijg.

Als ik de ballon ernaast houd, buigt de waterstraal af naar de ballon toe.

Dit is een combinatie van twee samenwerkende fenomenen. Eerst en vooral is H_2O een molecuul met een iets meer positieve en iets meer negatieve kant. De watermoleculen zullen zich met hun positieve kant naar de ballon draaien en aangetrokken worden. De tweede reden is het feit dat er negatieve en positieve ionen zijn opgelost in het water. De negatieve ionen zullen zich zo ver mogelijk van de ballon verwijderen waardoor het water positief geladen wordt.

4 Magnetisme

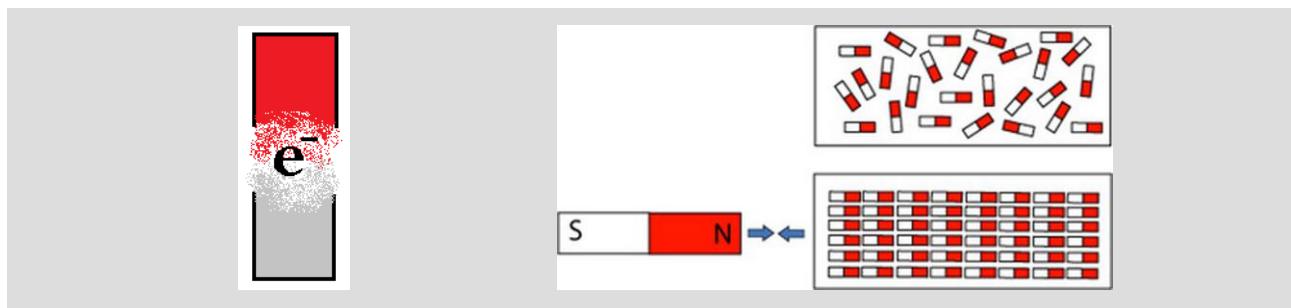


Figuur 18 Magneet

Iedereen heeft wel al eens een magneet vastgehouden, op school leerde je dat een magneet een noordpool en een zuidpool heeft en dat gelijke polen elkaar afstoten en verschillende polen elkaar aantrekken (dit is dus al zeer vergelijkbaar met elektriciteit). Net zoals bij elektrische ladingen tekenen we bij magneten ook veldlijnen die nu van de noordpolen (rood) naar zuidpolen (grijs) gaan om ze makkelijker van elkaar te onderscheiden. Hoe dichter op elkaar dat deze veldlijnen zijn getekend, hoe sterker het magnetische veld.

(Een magnetisch veld wordt weergegeven door een hoofdletter 'B', bij een elektrisch veld was dit een 'E')

Dit is echter een GIP en hier neem ik dus geen genoegen mee. We zullen op de volgende pagina's tot op de bodem uitpluizen wat magnetisme precies is. Omdat dit onderwerp helemaal gebaseerd is op de eigenschappen van elektronen, is het zeer moeilijk dit op een simpele manier uit te leggen. Elektronen volgen namelijk de wetten van een zeer verwarrend stukje fysica genaamd kwantummechanica.



Figuur 19 Magnetisch elektron en samenvoegen van magneten

Elke draaiende lading is eigenlijk magnetisch. Hier zullen we nog veel dieper op ingaan bij elektromagnetisme en de wetten van Maxwell. Of die lading nu rond een punt in cirkeltjes draait of rond zijn eigen as maakt niet echt uit. Alle elektronen draaien op elk moment om hun eigen as. En alle elektronen zijn daarom dus ook magnetisch.

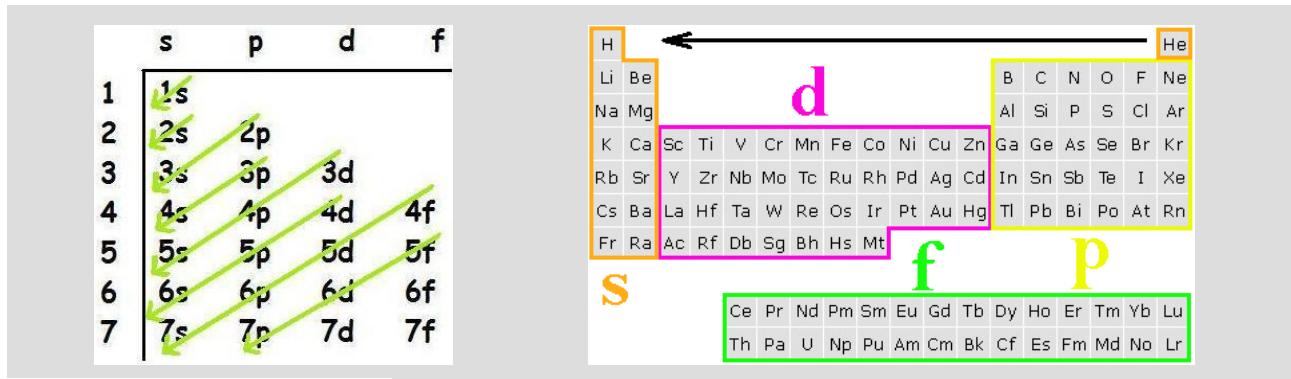
Maar in alles zitten elektronen, betekent dit dat alles magnetisch is?

Neen, waar het eigenlijk op neer komt is dat de elektronen in het materiaal dezelfde richting moeten hebben. Een heleboel kleine magneten in dezelfde richting kan je echter als één grote magneet beschouwen, als ze allemaal willekeurig gericht zijn, heffen ze elkaar op.

Maar om dit te realiseren moet het materiaal aan enkele eisen voldoen.

4.1

De atomen



Figuur 20 Subschillen en PSE

Eerst en vooral moeten de atomen waarvan het materiaal is opgebouwd magnetisch zijn. Een atoom is magnetisch wanneer binnen het atoom zelf er een groter aantal elektronen in één richting wijst dan in de andere. In slechts één atoom zijn er uiteraard slechts 2 verschillende richtingen naar waar het magnetische veld gericht kan zijn. Dit heeft alles te maken met het 4de kwantumgetal (m_s) dat wordt aangegeven door $(+1/2) \uparrow$ of $(-1/2) \downarrow$ en dus ook door de elektronenconfiguratie. Met leerstof van het 5de middelbaar kunnen we dus achterhalen welke atomen magnetisch zijn en welke niet.

We weten dat het PSE uit 4 verschillende elementenblokken bestaat waarover telkens één van de verschillende orbitalen gevuld wordt.

Het is dus logisch dat in het midden van één van deze blokken de atomen heel magnetisch zijn (want daar zijn ze halverwege gevuld) en het minst magnetisch aan de zijkanten van een blok.



Figuur 21 Elektronenverdeling

In het schema hierboven zie je dat de elektronen in een ijzer (iron) atoom een duidelijke voorkeurszin hebben.

Maar wat nog meer opvalt is dat alle valentie elektronen van Chroom (Chromium) dezelfde richting hebben!

Toch weet wij dat Chroom helemaal niet magnetisch is!

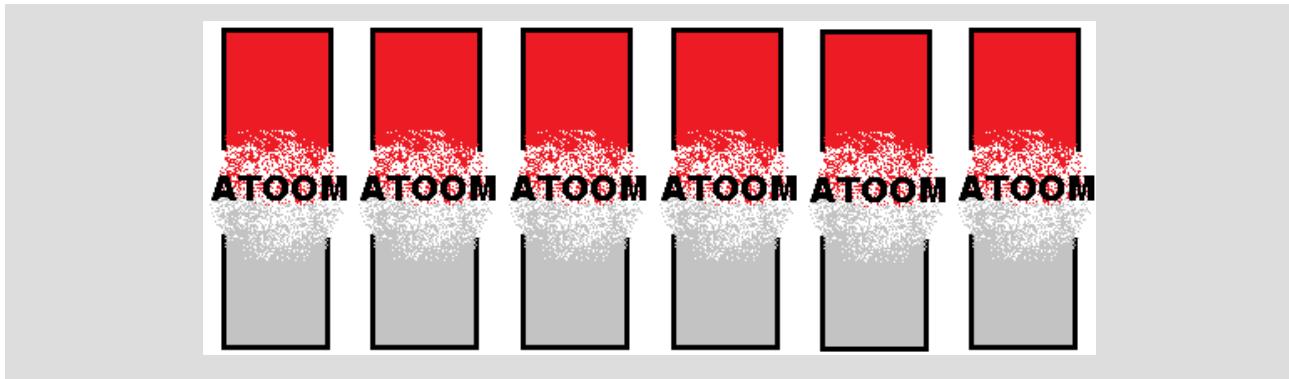
En dit brengt ons bij ons volgende onderwerp.

4.2 De kristalstructuur

Het kan misschien wel dat alle elektronen in een atoom dezelfde richting hebben en daardoor het atoom magnetisch is maar als je wil dat een materiaal magnetisch is moeten al die atomen dan ook nog eens gelijkgericht zijn t.o.v. elkaar. Dit hangt af van de kristalstructuur.

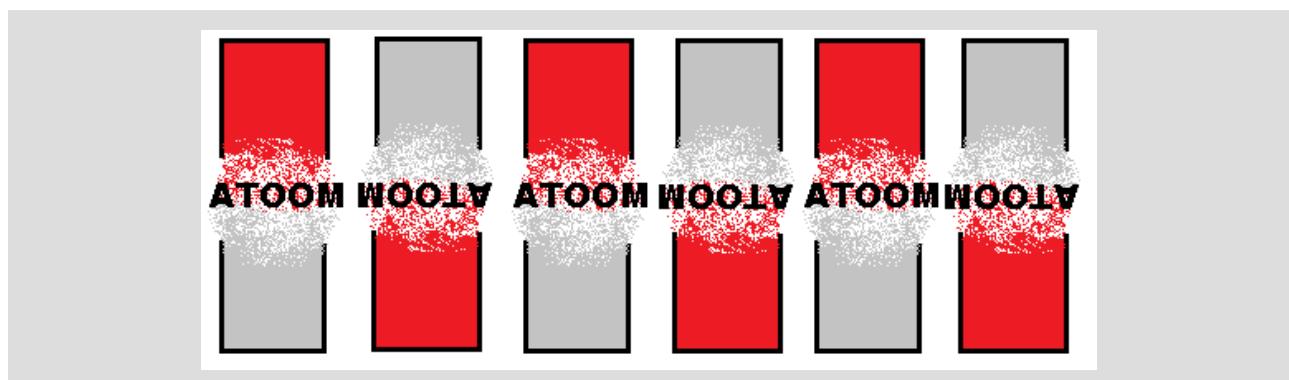
Er zijn 4 soorten kristalstructuren die hier invloed op hebben, ik zal ze verdelen in 2 groepen:

4.2.1 Groep 1: Ferromagnetisme en anti-ferromagnetisme



Figuur 22 Ferromagnetisme

Bij ferromagnetisme zitten de atomen in een kristalstructuur waardoor ze allemaal naar dezelfde richting wijzen. Dit is de enige soort kristalstructuur die een materiaal (merkbaar) magnetisch kan maken.



Figuur 23 Anti-ferromagnetisme

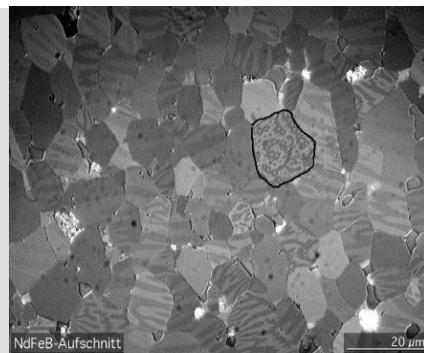
Bij anti-ferromagnetisme zitten de atomen in een kristalstructuur waardoor ze afwisselend een andere zin hebben. Chroom is één van de meest anti-ferromagnetische materialen maar één van de meest magnetische atomen.

4.2.2 groep 2: paramagnetisme en diamagnetisme

Bij paramagnetisme zitten de atomen op een niet gestructureerde manier. De atomen op zich zijn dus nog steeds magnetisch, hierdoor worden dit soort materialen zacht aangetrokken tot magnetische velden (meestal onmerkbaar en verwaarloosbaar).

Bij diamagnetisme zijn er geen ongepaarde elektronen meer. Met andere woorden, de atomen waarvan het materiaal is opgemaakt zijn niet eens magnetisch. Het maakt dus niet uit hoe deze atomen gestructureerd zijn. Dit soort materialen stoot magnatische velden af.

4.3 Domeinen



Figuur 24 Domeinen

(De donkere en lichtere lijnen binnen de aparte korrels zijn de domeinen)

Er is nog één klein probleempje. Niet alle ferromagnetische materialen zijn magnetisch. Binnen in het materiaal zit iets genaamd 'domeinen'. Het zijn stukken waar het materiaal zijn kristalstructuur een andere richting heeft. Het zou een beetje optimistisch zijn om te denken dat elk deeltje van elk stuk metaal in dezelfde richting gekristalliseerd is. Deze domeinen zijn alle van een gelijkaardige grootte en geen enkel van de domeinen is sterk genoeg om alle andere domeinen zodanig te beïnvloeden dat ze zich met elkaar oplijnen. Dit is zichtbaar met een elektronenmicroscoop.

Dit probleem is makkelijk op te lossen. Als je het stuk ferromagnetisch materiaal in een sterk genoeg magnetisch veld houdt, zullen de domeinen zich oplijnen met het magnetisch veld en zo zullen alle domeinen dezelfde richting krijgen. Elk stuk ijzer is dus aangetrokken tot een permanente magneet maar twee stukken ijzer trekken elkaar niet altijd aan. Maar je kan wel elk stuk ijzer in een permanente magneet veranderen

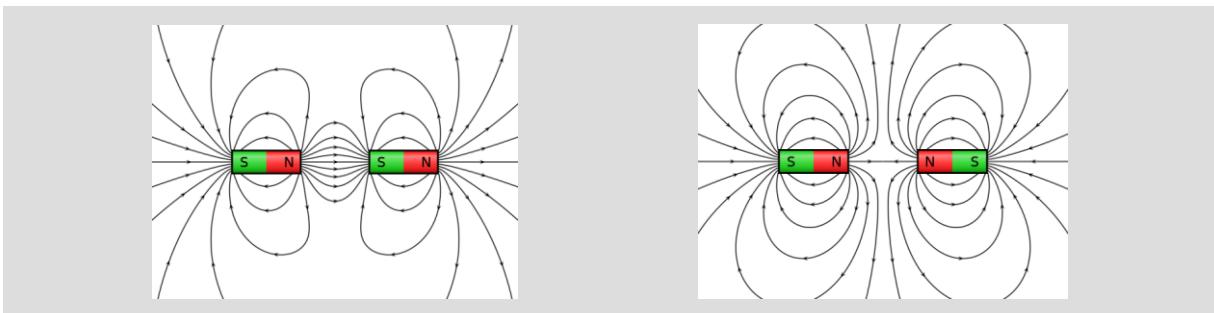
4.4 Hoe word ik een magneet?

- Je moet uit magnetische atomen bestaan die een halfgevulde elektronen mantel hebben.
- Al die atomen moeten dezelfde richting en zin hebben.
- Alle domeinen moeten met elkaar overeen komen.

Als je dit allemaal optelt is het misschien niet meer zo verrassend dat permanente magneten niet vaak voorkomen in de natuur.

5 Magnetische velden

Als je de kracht als gevolg van interactie tussen magnetische polen wilt berekenen, dan klinkt het misschien logisch dat dit eigenlijk zeer dicht bij het berekenen van elektrische ladingen ligt. Je hebt twee soorten polen en de krachten hiertussen worden bepaald door een magnetisch veld. Het enige grote verschil is dat je aparte elektrische ladingen kunt hebben maar je zult nooit een noord- of zuidpool apart vinden! Als je bijvoorbeeld een magneet in 2 snijdt zul je gewoon twee magneten overhouden met elk een noord en zuidpool. Dit is logisch want we hebben in vorige hoofdstukken gezien dat een elektron op zich een kleine magneet is met een noord- en zuidpool en een elektron splitsen en er een aparte noord en zuidpool uithalen is onmogelijk.



Figuur 25 Magnetische velden

$$F = \frac{\mu_0 q_{m1} q_{m2}}{4\pi r^2}$$

- q_{m1} en q_{m2} zijn de sterktes van de magnetische polen. Aan de m_1 en m_2 kan je duidelijk zien dat de massa van de magneet recht evenredig is met de sterkte van de magneet. En q heeft dus te maken met het materiaal, temperatuur van het materiaal en al deze uitwendige beïnvloedingsfactoren.

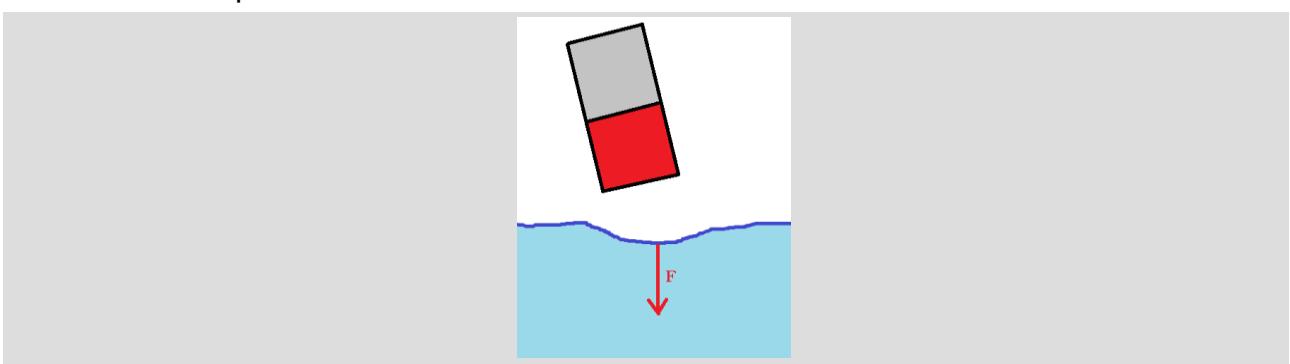
- $4\pi r^2$ heeft weer alles te maken met de afstand tussen de 2 magnetische polen en hoe dit de kracht ertussen verzwakt. Deze afname is exact hetzelfde als bij elektrische ladingen

- μ_0 is de magnetisch permeabiliteit in vrije ruimte, of de magnetisch veldconstante. Dit is zeer vergelijkbaar met de elektrische veldconstante. Merk wel op dat deze altijd in de teller staat en de elektrische veldconstante altijd in de noemer.

(deze formule is zeer gelijkaardig aan die van elektrische lading en de uitwerking is praktisch hetzelfde buiten het feit dat bij een magneet je nooit een noord(+) en zuid(-) pool apart kan hebben).

5.1 Experimenten:

5.1.1 Experiment 1



Figuur 26 Magnetische cornflakes

Als je een stukje cornflake in een wasbak gevuld met water legt, zal het drijven. Als je er nu een sterke magneet bovenhoudt zal het de magneet volgen.

Dit is te verklaren door een combinatie van twee fenomenen. Eerst, in cornflakes zit ijzer (ijzer is de naam dragen van 'Fe'rrromagnetisme), dit is een voedingstof die de mens nodig heeft, bloed is rood omdat het ijzer bevat (ijzer oxide = rood). Het ijzer is dus aangetrokken tot de magneet.

Dit werkt ook omdat water diamagnetisch is, en zoals we hiervoor al zagen, stoten diamagnetische materialen magnetische velden af. Hierdoor maakt het water een kuiltje op de plaats waar je de magneet bovenhoudt en het stukje flake valt erin, als je de magneet verplaatst, verplaatst het kuiltje. En dus ook de flake die er in ligt (het wil de laagste potentiële energie behouden).

5.1.2 Expiriment 2

Nu zal ik aantonen dat elektronen wel degelijk magnetische eigenschappen vertonen.

Hier voor moeten we eerst begrijpen hoe een RTC-scherm werkt. Het enige dat je eigenlijk moet weten voor dit experiment is dat een RTC-scherm achterin een elektronenkanon heeft die elektronen afvuurt op het scherm. Het scherm bestaat onder andere uit een fluorlaag die de (kinetische) energie van de elektronen omzet naar zichtbaar licht. Dit is hoe de eerste tv en computerschermen werkten. Tegenwoordig is dit allemaal vervangen door andere elektronische verlichtingscomponenten (zie pre-GIP).

Nu zal ik 5 aan elkaar plakkende neodymium(Nd) magneten (Nd₂Fe₁₄B legering -> het sterkste permanent magnetisch materiaal op de markt) tegen een RTC-scherm houden dat ik van mijn oma heb gekregen.



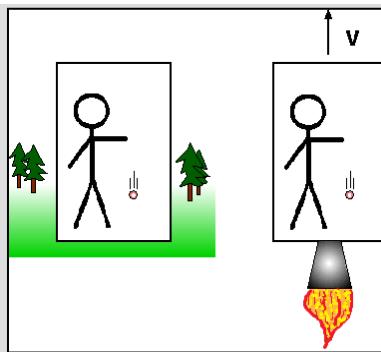
Figuur 27 Elektronen afbuigen

Hier kan je zien dat de elektronen de veldlijnen van de magneet volgen. Dicht bij de magneten zitten de veldlijnen zo dicht op elkaar (en is het magnetische veld zo sterk) dat de aparte lijnen bijna niet meer zichtbaar zijn.

De reden dat een elektron een magneet op zich is, komt doordat het eigenlijk een fundamentele wet is dat geladen deeltjes die in beweging zijn een magnetisch veld opwekken (een elektron is negatief geladen). Eigenlijk zijn elektriciteit en magnetisme dus rechtstreekse gevolgen van elkaar en hier zullen we alles over ontdekken in ons volgende avontuur genaamd 'Elektromagnetisme'.

6 Speciale relativiteit

Speciale relativiteit is een vrij recente theorie die onze realiteit op een heel leuke manier beschrijft, maar ook voor veel mensen op een heel onverwachte manier. Ook al is deze theorie wel degelijk experimenteel bewezen, toch geloven sommige mensen er niet in omdat het zo sterk afwijkt van onze hedendaagse realiteit. In dit kleine tussenhoofdstuk zal ik u proberen te overtuigen van deze theorie omdat het heel veel te maken heeft met licht en het ook van pas zal komen om mijn GIP verder te begrijpen. Het mooie eraan is dat je (net zoals bij veel fysische fenomenen) helemaal geen moeilijke formules nodig hebt om het te begrijpen, toch kunnen ze handig zijn om in bepaalde dingen net iets meer inzicht te krijgen.



Figuur 28 Zwaartekracht

Als een theorie in alle omstandigheden standhoudt dan is dit een fysische wet. Als ik in een raket zonder raam op aarde sta, dan voel ik me naar beneden (het zwaartepunt van de aarde) getrokken. Als ik nu met diezelfde raket in de ruimte versnel met een constante versnelling van $9,81 \text{ m/s}^2$ dan is er GEEN ENKELE manier waarop ik kan merken dat ik in de ruimte aan het versnellen ben. Het is dus een fysische wet dat ik het verschil niet kan merken. Hier geldt dus een zeer simpele relativiteit.

Speciale relativiteit berust op twee van dit soort relivistische fenomenen.

6.1 1^{ste} fenomeen

Als je twee objecten hebt die zich in de ruimte bevinden en je denkt alle sterren, planeten, materie, energie,... weg (dus enkel de twee objecten in vrije ruimte) en de twee objecten komen dichter bij elkaar, passeren elkaar en bewegen vervolgens weg van elkaar op een rechtlijnige manier met een constante snelheid, dan is het ONMOGELIJK te zeggen dat de ene stil staat en de andere beweegt, of dat ze beide bewegen. Het enige dat je weet is dat ze een snelheid hebben relatief t.o.v. elkaar!

Vroeger dacht men dat de zon rond de aarde draaide. Nicolaas Copernicus (naamdrager van het element Koper), was een astroloog die in de 14-15de eeuw mensen er op probeerde te wijzen dat de aarde eigenlijk rond de zon draaide. Hiervoor werd hij gestraft, hij mocht zijn huis niet meer uit omdat zijn theorie inging tegen het opgelegde geloof van de kerk. De mensheid was er in zijn geheel dus eigenlijk nog niet klaar voor om dit soort dingen te begrijpen of geloven. Dat soort relativiteit is dus eigenlijk vergelijkbaar met Einstein's speciale relativiteit vandaag.

Ook als u zich op één van deze objecten bevindt, zal u geen enkele manier kunnen vinden, geen enkel experiment bedenken, waarmee u kan bewijzen dat u stil staat en het andere beweegt. Want in uw perspectief staat u altijd stil, u voelt niet dat u beweegt. De aarde is hier alweer een mooi voorbeeld van. De aarde draait rond de zon en rond zijn eigen as, toch voelen wij daar geen enkel effect van.

Elke fysieke wet blijft dus perfect hetzelfde onafhankelijk van of u nu stilstaat of niet!

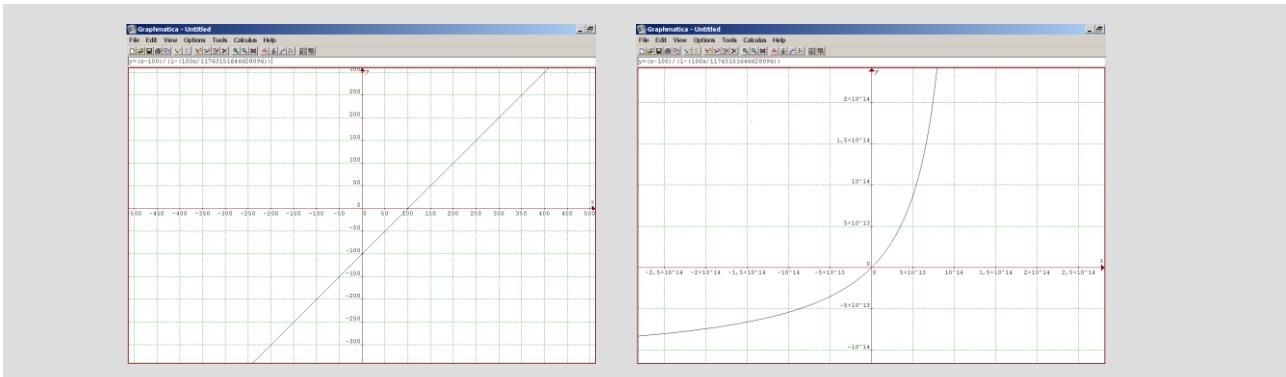
6.2 2^e Fenomeen

Het tweede fenomeen waar speciale relativiteit op gebaseerd is, is het feit dat de snelheid van het licht (in een vacuüm) constant is voor elke waarnemer ('c' van constante). De reden hiertoe is dat de snelheid van het licht de maximale snelheid in onze realiteit is. In onze realiteit blijkt alles eindig te zijn, zelfs de ruimte zelf is niet oneindig groot (zie integrated assignment).

Als u met uw auto aan het rijden bent aan 100 km/h en ik steek u voorbij aan 200 km/uur dan lijkt het voor u en mij op het eerste zicht logisch dat u ook relatief kan stellen dat u stil staat, en dat ik u aan slechts 100 km/h voorbij steek ($v_r = v_1 - v_2$). Maar dit blijkt niet helemaal juist te zijn!

$$v_r = \frac{v_1 - v_2}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

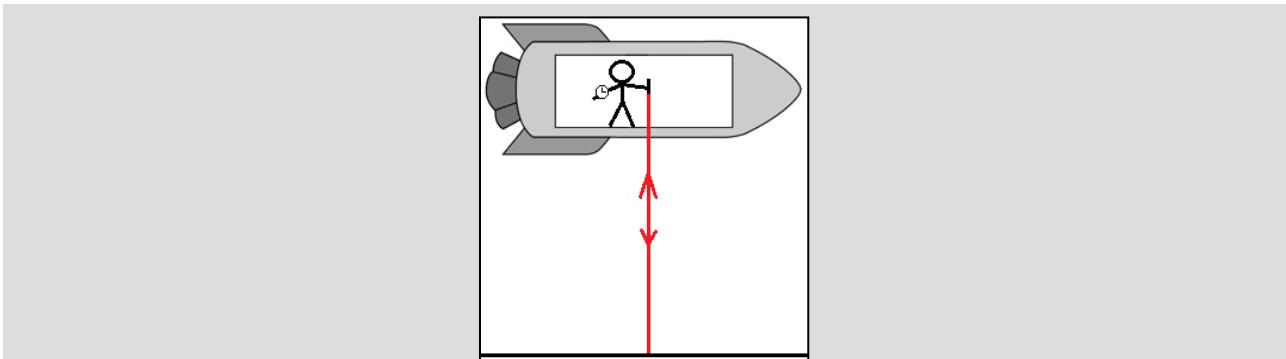
Dit is de formule met relavistische correctie. Als je hier de waarden van het vorige voorbeeld invult dan zal uw rekenmachine zelfs niet genoeg decimale plaatsen hebben om het verschil te merken. Deze formule is dus enkel merkbaar als je de snelheid van het licht benadert.



Figuur 29 Grafiek op grote en kleine schaal

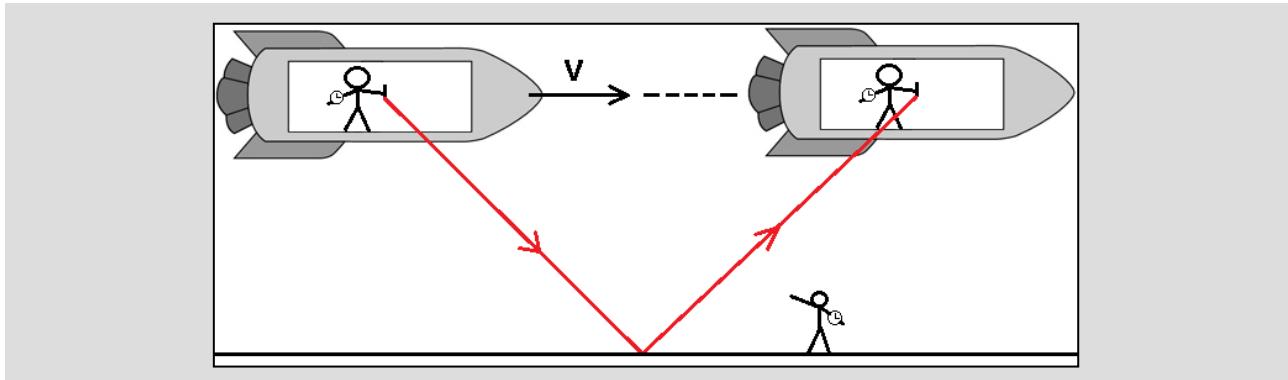
Ik zal bovenstaande formule in graphmatica plotten en kijken hoe deze functie eruitziet als ik één snelheid constant houd en de andere laat variëren. Dit lijkt op een rechtlijnig verband. Maar als je sterk uitzoomt merk je duidelijk dat dit niet zo is. De y-as is dus v_r , de x-as v_1 . En v_2 wordt constant gehouden.

Gedachtenexperiment



Figuur 30 RelativiTijd

U en ik gaan samen naar de winkel en kopen beiden hetzelfde dure horloge, onze twee horloges staan perfect gelijk en zullen dat voor altijd doen omdat ze van zo een goede kwaliteit zijn. Stel nu dat u in een raket kruipst en over een gigantische planeet vliegt waar ik op u sta te wachten. De planeet is als een grote bolvormige spiegel, het heeft een perfect reflecterend oppervlak. Als u nu aan een heel hoge snelheid rond die planeet vliegt dan lijkt het uit uw standpunt alsof uzelf stilstaat en die planeet rond zijn as draait. Stel nu dat u met een laser pointer een laserstraal loodrecht naar de planeet schijnt. Dan zal die laserstraal reflecteren op de planeet en na een tijdje terug tot bij u komen. In uw ogen zal de lichtstraal dus in een rechte lijn naar beneden en weer naar boven gaan met een constante snelheid.



Figuur 31 Relativiteit 2

Maar vanuit mijn perspectief sta ik stil en vliegt u heel snel over mijn hoofd. In mijn ogen zal de lichtstraal niet recht naar beneden en weer naar boven gaan, want dan zou de lichtstraal u niet eens bereiken. Ik zal dus de lichtstraal in een schuine lijn zien bewegen en weerkaatsen onder een hoek. In mijn ogen zal de lichtstraal dus een langere weg moeten afleggen. MAAR de snelheid van het licht is exact dezelfde voor u en mij.

6.3 De tijd illusie

De enige manier om dit te verklaren is als onze tijd t.o.v. elkaar relatief is. En hoe moeilijk dit ook te geloven is, het is echt zo. Ik zal uw klok trager zien tikken en u zal mijn klok sneller zien tikken. Eigenlijk kan ik dus stellen dat in de raket de tijd zelf trager gaat. Maar u merkt daar niets van, alles in de raket gaat trager dus ook uw denksnelheid en de snelheid waarmee u dingen waarneemt. En u kan ook relatief stellen dat tijd voor mij gewoon sneller gaat. Dit heeft een groter effect naarmate onze relatieve snelheid vergroot. Vandaag kunnen we helemaal nog niet zo snel t.o.v. elkaar bewegen dat dit effect merkbaar is.

Dit is even moeilijk te geloven voor u als voor mij, maar het blijkt nu eenmaal te zijn hoe onze realiteit werkt. Het is dus echt zo dat als u op vakantie gaat met het vliegtuig dat u misschien een duizendste van een pico seconde jonger bent dan als u niet op reis was geweest. Maar dit betekent niet dat u hierdoor langer kan leven, u zal nog steeds dezelfde hoeveelheid tijd 'mentaal' ondergaan.

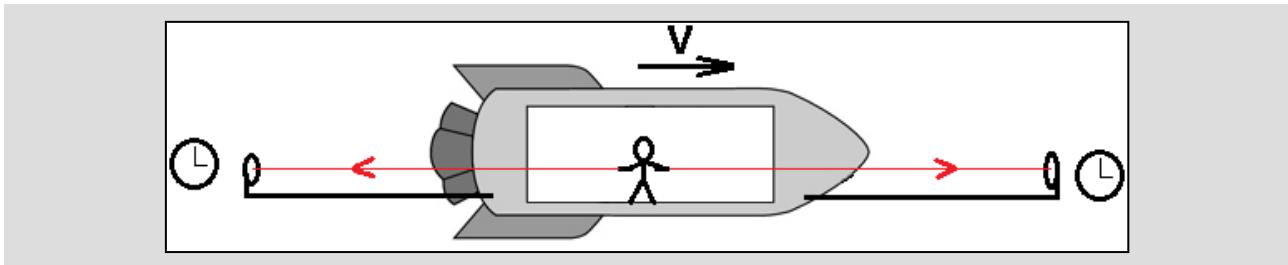
6.4 The twin-paradox

Stel je hebt een tweeling, ze zijn beide 20 jaar. De ene vertrekt in een raket weg van de aarde met een snelheid dicht bij die van het licht. De andere blijft gewoon op aarde bij ons leven. Bij ons op aarde zal er zo'n 50 jaar voorbijgaan en de ene tweeling is dus nu al 70! Maar als de andere tweeling op aarde komt, kan het dat hij misschien nog maar 21 jaar oud is (afhankelijk van hoe dicht hij precies tot de snelheid van het licht ging). Als je exact met de snelheid van het licht beweegt dan zal de tijd helemaal stil staan. En sneller dan dat zal je dus ook nooit kunnen gaan. Dit is dus een teleurstelling voor alle sciencefictionfans, want dit bewijst dat terug in de tijd reizen fysisch onmogelijk is.

6.5 lengte(ruimte)samentrekking

Gedachtenexperiment

Stel dat ik weer op een planeet sta en u zit weer in uw raket. Maar deze keer hangt er vooraan en achteraan uw raket een lange staaf met een ontvanger op. Zoals vorige keer wilt u opscheppen met uw vliegkunsten door heel snel laag bij de grond boven de planeet te vliegen waar ik op sta. In uw perspectief: of u die laserstraal nu naar voor of naar achter schijnt, de ontvangers zullen het licht even snel ontvangen (als u even ver verwijderd bent van beide ontvangers) want in uw ogen staat uw raket stil en draait de planeet.

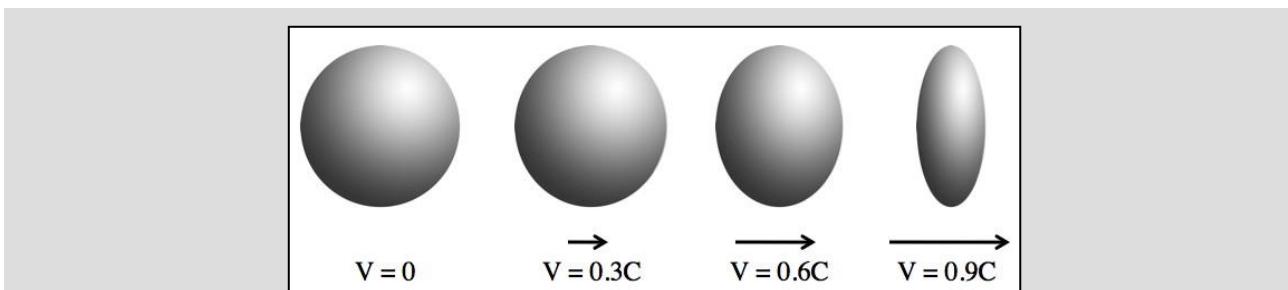


Figuur 32 Lengteverandering

Maar als ik u zo voorbij zie vliegen en u schijnt uw laserstraal naar de voorste ontvanger dan beweegt de ontvanger mee met u en dan zal het langer duren vooraleer de laserstraal de ontvanger bereikt. Want het licht moet ook nog de afstand afleggen dat uw ruimteschip heeft afgelegd vanaf de tijd dat u begonnen bent met de laserstraal te schijnen. Als u de laser naar achter schijnt gebeurt het omgekeerde. Ik zal het laserlicht de ontvanger sneller zien bereiken omdat de ontvanger naar de laserstraal toe beweegt.

Ik zou dus volgens deze logica eerst het licht de achterste ontvanger zien bereiken en daarna pas de voorste. Maar dit zou betekenen dat de tijd voor beide ontvangers anders is, ook al is hun snelheid gelijk t.o.v. mij. Dit zou onze vorige theorie tegenspreken, want de verandering in tijdssnelheid is enkel afhankelijk van de snelheid t.o.v. elkaar.

De enige manier om dit te verklaren is door te zeggen dat voor ons, de twee klokken niet gelijk staan. De voorste klok zal enkele seconden achterstaan op de achterste. Nu zal ik wel de twee lichtstralen op hetzelfde uur zien aankomen (maar de twee klokken staan gewoon verkeerd), ook al staan de twee klokken perfect gelijk vanuit uw waarneming.



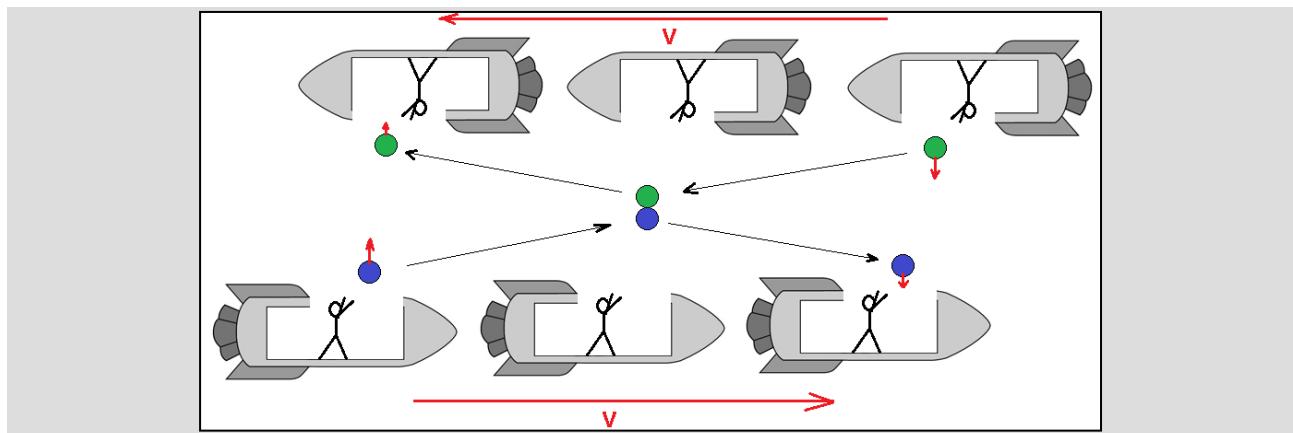
Figuur 33 Lengtecompressie

Stel nu dat je de motor van uw raket aanzet en u laat hem versnellen. Uit uw standpunt zal de rakket versnellen op hetzelfde moment als dat de ontvangers versnellen. Maar vanuit mijn standpunt zal eerst de achterste ontvanger versnellen, dan pas de raket zelf en als laatste de ontvanger vooraan. Op de klokken zal dit voor mij nog steeds op hetzelfde uur zijn, daar kunnen we niet over discussiëren. Maar zoals ik al zei, dit is niet op hetzelfde moment want de klokken staan niet perfect gelijk vanuit mijn waarneming. Uw raket zal dus gecomprimeerd worden in de richting waarin hij beweegt.

$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ U zelf die in de raket zit zal er nooit iets van merken dat de raket samengetrokken wordt. Alle atomen in uw lichaam, meetlatten in de raket, zullen ook samen getrokken zijn. Er is geen enkele manier waarop u kan merken dat u samengetrokken bent. Daarbij is alles buiten uw raket samengetrokken t.o.v uzelf! In uw ogen staat u stil en ben ik dus samengetrokken op de (in uw ogen) draaiende planeet.

6.6 Rust massa

Stel dat we nu beiden in een raket zitten en we vliegen net boven elkaar in dezelfde richting, maar in tegengestelde zin. We hebben beiden een identieke bal met het enige verschil dat mijn bal groen is en die van u blauw. Wanneer we elkaar voorbijvliegen zullen we de ballen tegen elkaar kaatsen en dan weer opvangen.



Figuur 34 Relatieve massa

Voor een derde waarnemer is er niks speciaals aan de hand. Hij ziet gewoon twee dezelfde ballen tegen elkaar botsen en met dezelfde snelheid terugkaatsen.

Maar vanuit uw standpunt staat uw raket stil en is de tijd in mijn raket vertraagd, dit betekent dat u mij de bal eerder zal zien gooien en later zal zien vangen (anders zouden we ze niet in het midden tegen elkaar kunnen later botsen). Mijn bal zal dus trager gaan en toch zal hij uw bal even sterk terugkaatsen. Maar na een elastische collisie moet de totale kinetische energie en impact behouden worden: $E_k = \frac{1}{2} m v^2$ en $p = m v$

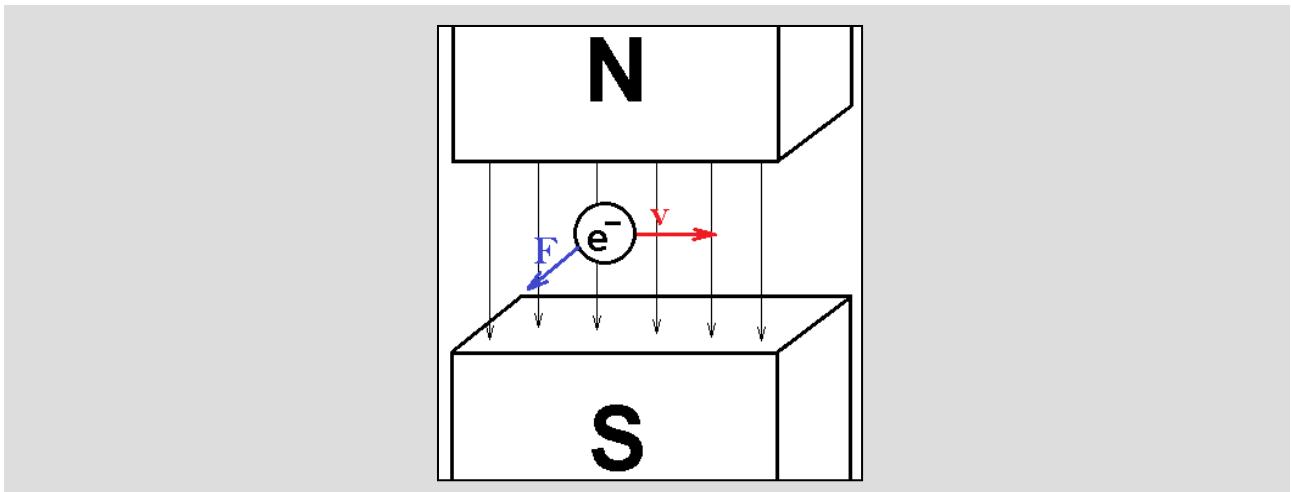
De enige verklaring is dus dat de massa van mijn bal vergroot is t.o.v. de uwe. Hierbij moeten we een verschil maken tussen rust massa (de massa van een object als het in rust is) en de totale massa van het object (of de bal). Wij zijn in ons hedendaags leven gewend aan rust massa. En we zouden het ons niet kunnen voorstellen dat een auto zwaarder wordt als hij rijdt. Maar toch is het zo, het is gewoon onmerkbaar omdat de snelheid van een auto niks is vergeleken met de snelheid van het licht.

Het klinkt waarschijnlijk heel raar als ik zeg dat die bal in uw perspectief echt massiever is geworden. De rust massa of de fundamentele massa van iets kan nooit veranderen. We hebben eerder gezien hoe ladingen een invloed hebben op het elektrische veld en magneten op het magnetisch veld. Massa heeft ook zijn eigen veld, een bepaalde rustmassa heeft een bepaalde invloed op dat veld. En wat dit eigenlijk zegt, is dat een massa in beweging gewoon een grotere invloed op dat veld zal hebben.

Dit is ook een reden waarom je nooit sneller kan dan het licht, uiteindelijk wordt u (of uw bal) zo zwaar dat je oneindig veel energie nodig hebt om nog meer te kunnen versnellen (er kinetische energie in te steken). Uit deze theoriën heeft Einstein ook $E=mc^2$ afgeleid.

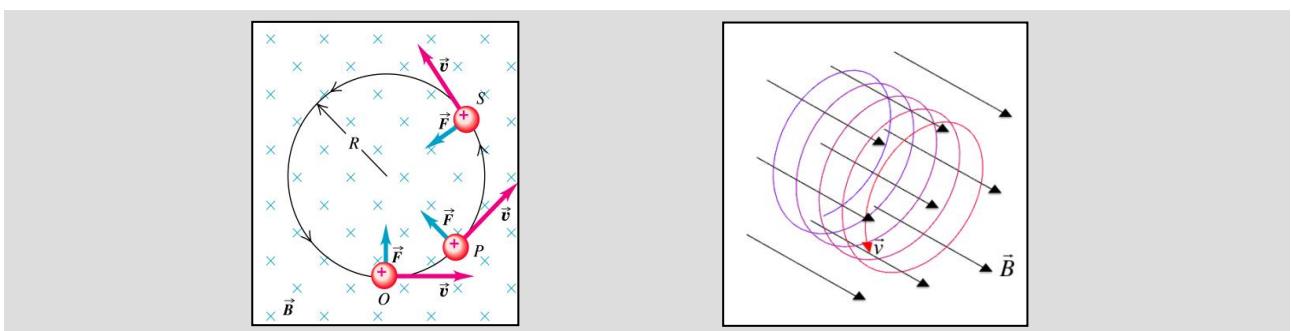
7 Elektromagnetisme

Laten we beginnen met de eenvoudigste voorstelling van dit onderwerp, een simpele combinatie van een elektrische lading en een magnetisch veld. Als ik een elektrisch geladen deeltje (als voorbeeld heb ik een elektron getekend) in een magnetisch veld houd, gebeurt er niks. Maar stel nu dat het elektron met een bepaalde snelheid de magnetische veldlijnen loodrecht snijdt, dan zal het elektron een kracht ondervinden loodrecht op zijn snelheidsrichting en loodrecht op de veldlijnen van het magnetisch veld. De zin van deze kracht ligt altijd vast en kan je bepalen met een regeltje zoals de linkerhandregel. Als de lading zijn beweging van zin verandert, verandert ook de zin van de kracht en het is ook tegengesteld voor tegengestelde ladingen.



Figuur 35 Lading in elektrische veld

Toen ik dit voor het eerst leerde kon ik dit niet geloven. Ik heb altijd leerkrachten gevraagd om een logische verklaring waarom het zo was, waarom deze regels voor de zin bijvoorbeeld niet omgekeerd zijn. Wie of wat heeft bepaald dat het nu net zo is?



Figuur 36 Cirkelbaan lading

Met de theorie die we gezien hebben in het hoofdstuk magnetisme kunnen we dit nu makkelijk verklaren. Het magnetische veld is een gevolg van elektronen in het materiaal van de magneet die allemaal in dezelfde zin draaien. een stationaire magnetische veld is dus eigenlijk een draaiend elektrisch veld (dit zullen we ook nog zien bij de wetten van Maxwell). De lading zal dus gewoon mee willen draaien met de elektronen in de magneet en hierdoor zal er een kracht op de lading komen.

Als je de lading dus gewoon los laat vliegen zal de loodrechte kracht continue inwerken op de lading. Dit is dus eigenlijk gewoon een middelpunt zoekende kracht en de lading zal in cikels draaien.

In de realiteit zal dit natuurlijk nooit een perfecte cirkel zijn. Het is onmogelijk de lading een beginsnelheid te geven die perfect loodrecht op de evenwijdige veldlijnen staat. De beweging zal dus eerder een spiraalvorm hebben, zoals weergegeven hierboven.

F = q v B Voor de kracht op deze lading (F) in het magnetisch veld bestaat een zeer eenvoudige formule.

- q = de waarde van de lading (coulomb)
- v = de snelheid van de lading (m/s) dit is uiteraard enkel de snelheidsvector loodrecht op de magnetische veldlijnen.
- B = de sterkte van het magnetisch veld

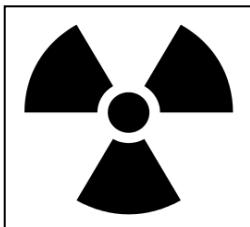
Merk op dat de massa van het geladen deeltje hier geen invloed op heeft. Dit is uiteraard wel logisch maar het heeft wel enkele belangrijke praktische gevolgen. De straal van de spiraalbaan dat het deeltje zal volgen vergroot naarmate de massa van het deeltje toeneemt.

$$F = \frac{m v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m v}{q B}$$

Uit simpele mechanica kunnen we de formule voor middelpuntzoekende kracht afleiden van een massa die een éénparige cirkelvormige beweging uitvoert. Hiermee kunnen we deze twee formules aan elkaar gelijkstellen en er een formule voor 'r' uithalen.

En zoals voorspeld merken we dat de straal van de cirkelvormigebaan linear toeneemt met de massa (van de lading).

7.1 Weetje



Uranium heeft 2 natuurlijke isotopen: U-238 (99.274%) en U-235 (0.72%) maar heeft ook nog een vervalproduct U-232 (0.006%) omdat deze isotopen beiden radioactief zijn. Tijdens WO II hadden de Amerikanen bij het Manhatten-project veel U-235 nodig om een atoombom te maken. Minder dan 1% van puur Uranium bestaat uit deze isotoop, het enige verschil tussen de isotopen is de massa die een heel klein beetje verschilt.

Figuur 37 Radioactiviteit

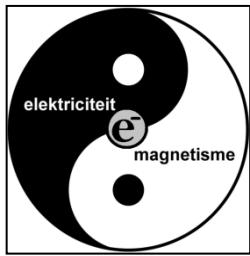
Oplossing: ze brachten Uranium met een hoge snelheid in een magnetisch veld, hierdoor was de straal van de cirkelvormige beweging vrij groot en verschillend voor de isotopen. Ze konden deze stralen perfect berekenen en dus collecteerden ze enkel Uranium op de plaats waar ze U-235 voorspelden te belanden. Hierdoor konden ze hoge concentraties U-235 collecteren.

We kunnen ook de formule afleiden voor een geleider in een magnetisch veld of met andere woorden een elektrische stroom in een magnetisch veld. Deze zal uiteraard geen cirkelvormige beweging volgen maar een reactiekracht moeten leveren.

$$F = q v B = q \frac{L}{t} B = I L$$

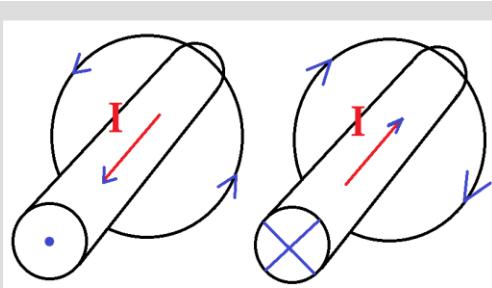
- I = de stroom in de geleider
- L = de lengte van de geleider die zich in het magnetisch veld bevindt.

De zin van de kracht bepalen kan makkelijk, wetende dat een stroom gewoon een verplaatsing van elektronen in één richting is. Houd er rekening mee dat dankzij onze onlogische voorouders de zin van de elektronen omgekeerd is aan de conventionele stroomzin.



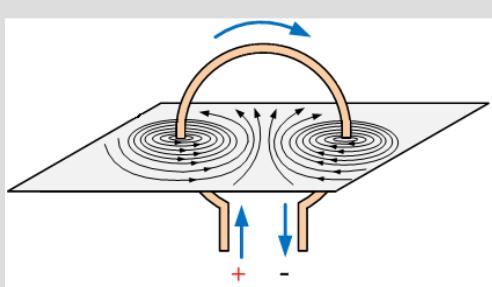
We kunnen dus besluiten dat elektriciteit en magnetisme eigenlijk gewoon twee zijden van hetzelfde muntje zijn. Een magnetisch veld is eigenlijk gewoon een draaiend elektrisch veld en een veranderend elektrisch veld wekt altijd ook een magnetisch veld op. Hier geldt dus eigenlijk een soort relativiteit, je kan een elektrisch fenomeen ook als een magnetisch fenomeen beschouwen en vice versa.

Figuur 38 Yingyan elektron



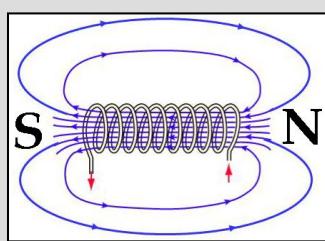
Figuur 39 Magnetische geleider

Als we een stroom door een geleider laten vloeien ontstaat er rond die geleider een cirkelvormig magnetisch veld. De pijlen wijzen aan naar welke kant de noord- en zuidpool wijzen als ik een magneet in dit veld houd, dit hangt uiteraard af van de zin van de stroom in de geleider.



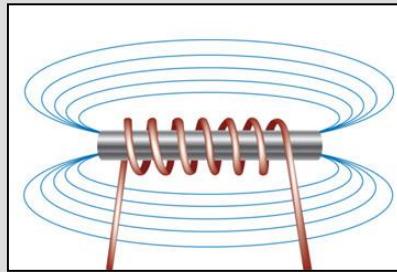
Figuur 40 Magnetische ring

Stel nu dat je een geleider tot een cirkel rolt, met de theorie die we hiervoor zagen kunnen we besluiten dat de veldlijn in het midden van de cirkel een rechte is die loodrecht op de richting van de stroom staat.

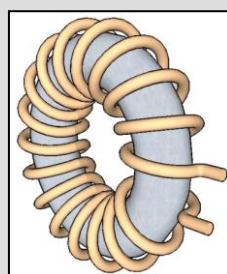


Figuur 41 Magnetische spoel

Als we nu een geleider blijven oprollen tot een spoel, merken we dat de magnetische veldlijnen zich net als een permanente magneet gedragen. Wat hier uiterst belangrijk aan is, is het feit dat we nu eigenlijk in de magneet zelf kunnen. Een permanente magneet heeft binnen in zich een heel sterk magnetisch veld, maar hier kan geen gebruik van gemaakt worden want het zit in het materiaal zelf. Bij het magnetisch veld van deze spoel is dat niet het geval.

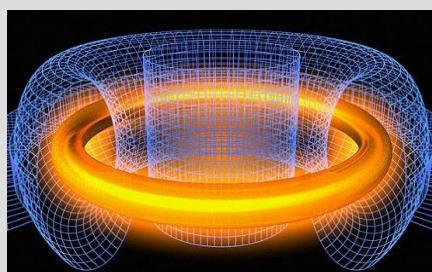
**Figuur 42 Elektromagneet**

Als we er nu nog een ferrometallische kern insteken, verkrijgen we de bekende elektromagneet. Dit wordt in de hedendaagse industrie zeer veel toegepast. Een elektromagneet kan veel sterkere magnetisch velden opwekken dan permanente magneten en heeft ook nog eens als voordeel dat we hem af en aan kunnen zetten en het magnetisch veld kunnen aanpassen door de stroom in de spoel te regelen.

**Figuur 43 Donut elektromagneet**

We kunnen nu nog een stap verder gaan en deze spoel oprollen tot een ring vorm. Dit heeft een heleboel praktische applicaties.

De Large Hydron Collider gebruikt dit soort magnetisch veld om positief geladen waterstofkernen een cirkelvormige baan te houden. Deze waterstofkernen halen snelheden tot net niet de snelheid van het licht. Deze elektromagneten moeten dus heel sterk zijn, er zullen dus gigantische stromen door moeten vloeien. En wat is een manier om gigantische stromen door heel veel elektromagneten te laten vloeien zonder veel warmteontwikkeling? Super geleidbaarheid! De elektromagneten van de LHC worden tot 1,9 K (-271.25°C) afgekoeld.

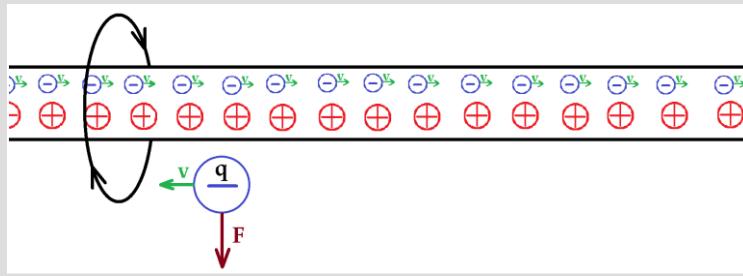
**Figuur 44 Fusie energie**

Fusie-energie is een nieuwe veelbelovende manier van energie opwekking waar eigenlijk dezelfde theorie wordt toegepast die de zon gebruikt om energie uit te stoten. Het is dus eigenlijk het nabootsen van de zon op aarde om er energie uit te winnen. Hoe dit precies werkt kan je uitgebreid lezen in mijn Integrated assignement. Vanbinnen zit er plasma, dit is een aggregatie toestand die een gas aanneemt als het heel heet is. Het wordt er zeer warm vanbinnen en er is geen enkel materiaal dat deze warmtes aan zou kunnen zonder te smelten.

Oplossing: donut vormige elektromagneten gebruiken om het plasma in een cirkelvormige beweging te houden zodat het nooit iets aanraakt.

7.2

Elektromagnetische relativiteit

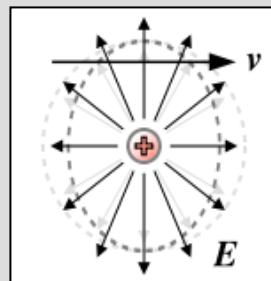
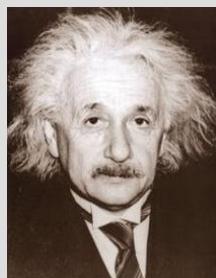


Figuur 45 Afstoten lading

Laten we nu even kijken wat er gebeurt als we een lading naast een stroomvoerende geleider houden. Als deze lading stationair is gebeurt er niks, als de lading zich parallel met de geleider voortbeweegt, zal de lading een kracht ondervinden. Afhankelijk van de soort lading (+/-), de zin van de beweging en de zin van de stroom in de geleider zal de lading ofwel aangetrokken worden of afgestoten worden. Dit kunnen we makkelijk verklaren door het feit dat de geleider een magnetisch veld opwekt. Omdat de lading zich parallel met de geleider beweegt, zal het de veldlijnen loodrecht snijden.

Ik heb er ook het bijhorend magnetisch veld bij getekend en de zin van de elektronen binnenin de geleider (deze is tegengesteld aan de zin van de conventionele stroom).

Dit klinkt dus allemaal wel logisch, een geleider die een magnetisch veld opwekt en de lading in beweging die daarop reageert. Maar eigenlijk is dit een omweg nemen om een makkelijk verklaarbaar antwoord te krijgen.

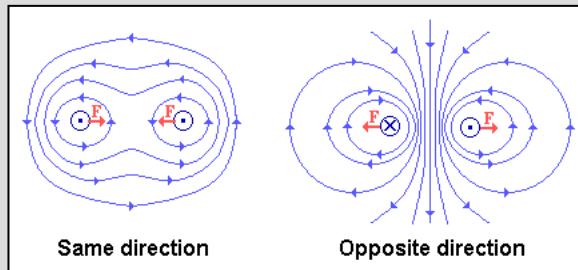


Figuur 46 Elektromagnetische relativiteit

Een stroom in een geleider is een elektrisch fenomeen. Een lading in beweging is een elektrisch fenomeen. Toch verklaren we dit met de magnetische theorie. Dit komt omdat, door dit verband met magnetisme te leggen we een veel makkelijker verklaarbaar antwoord krijgen. Maar eigenlijk is dit helemaal niet nodig. Zoals ik al zei geldt er een relativiteit tussen elektriciteit en magnetisme. De elektrische verklaring is gewoon een beetje complexer, daarom dat deze weinig gebruikt wordt.

Je kan dus ook zeggen dat het elektron niet wordt afgestoten door een magnetisch veld maar door een elektrisch veld. Om dit te begrijpen moet je relativiteit toepassen en je in het perspectief van het elektron naast de geleider plaatsen. In dat perspectief weet het elektron niet dat het beweegt, beweegt de geleider en de elektronen in de geleider nog sneller. Zoals we eerder al zagen comprimeert alles dat ten opzichte van u beweegt in de richting waarin het ten opzichte van u beweegt. Je kan dus ook zeggen dat de ladingsdichtheid in de geleider verhoogt. In het perspectief van het elektron is de geleider dus negatief geladen en wordt het daardoor afgestoten.

Als bijstaande waarnemer is dit mysterieus, want uit ons perspectief is de geleider neutraal. Wij verklaren dit dus door te stellen dat er een magnetisch veld rond de geleider is. Omdat we in het hedendaagse leven niet gewoon zijn ons in het perspectief van iets anders te stellen. In dit geval, het perspectief van een elektron.



Figuur 47 Magnetische geleiders

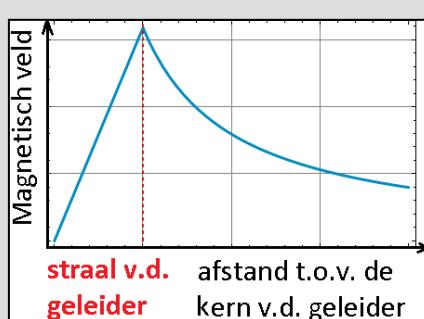
Deze verklaring is perfect hetzelfde voor twee stroomvoerende geleiders die krachten op elkaar uitvoeren. Als je naar het magnetisch veld kijkt is het zeer voor de hand liggend. Maar het zijn wel twee elektrische geleiders, wat op het eerste zicht niets met magneten te maken heeft. Toch helpen hun regels om elektrische fenomenen makkelijk te verklaren.

En als je dit ook elektrisch wilt verklaren met relativiteit zal je ook merken dat het echt helemaal niet uitmaakt of je het nu zodanig bekijkt dat ze beide negatief of beide positief zijn. Of de ene negatief is en de andere positief of omgekeerd. Zolang je het vanuit het juiste perspectief bekijkt en relativiteit juist toepast, zal je altijd de juiste uitkomst bekomen.

Het magnetisch veld van de geleider:
$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r}$$

- B is de waarde van het magnetisch veld.
- I is de waarde van de stroom door de geleider.
- μ_0 is de magnetische veldconstante.

Dit is dus een hyperbolische functie, dit betekent dat het magnetische veld binnen in de geleider oneindig is. Dit is uiteraard onmogelijk, binnen in de geleider neemt het magnetische veld lineair af. Deze formule geldt enkel voor het magnetisch veld buiten de geleider, het maximum wordt dus bereikt aan het oppervlak van de geleider.



Figuur 48 Magnetisch veld rond stroom

De kracht op één van de geleiders is $F = B I L$

Waarbij 'B' het magnetische veld is van de andere geleider. Deze kan je berekenen met voorgaande formule. 'I' is de stroom in de geleider waarop de kracht inwerkt. 'L' is hier de lengte waarover de twee geleiders parallel zijn.

De wetten van Newton zeggen ons dat deze twee krachten gelijk moeten zijn (actie-reactie).

We kunnen deze twee formules samenbrengen tot één formule:

$$F = \frac{I_1 I_2 \mu_0 L}{2 \pi d}$$

'd' is de afstand tussen de twee geleiders.

8 Elektromagnetische straling

Korte samenvatting tot nu toe dat essentieel is voor het volgende hoofdstuk:

In onze realiteit bestaat ruimte uit verschillende velden. Licht (elektromagnetisch straling) plant zich enkel voort in het elektromagnetische veld. Zelfs statische ladingen hebben een invloed op het elektrische veld. Als ze een kinetische energie hebben, hebben ze ook een invloed op het magnetische veld. Magnetisme is dus geheel een gevolg van bewegende ladingen en deze twee grootheden zijn met relativiteit verbonden aan elkaar.

8.1 Wat is licht?

Dit is de vraag die ik wil beantwoorden in deze GIP. Ik wil licht op zijn meest fundamentele manier samen met u begrijpen.

Licht is een vorm van energie, maar een heel speciale vorm van energie. Licht kan energie van één massa naar de andere overdragen (bijvoorbeeld van de zon naar de aarde) zonder dat er materie tussen zit. Licht is op zich pure energie. Stel dat je bijvoorbeeld een massa volledig omzet naar licht dan heb je eigenlijk heel die massa omgezet in energie. Dit maakt de bekende formule $E = m c^2$ toch wel een beetje logisch niet waar?

Veel fysici hebben in het verleden hun hoofd gebroken over het fenomeen licht omdat het zo simpel lijkt maar zich toch zo complex kan gedragen. Doorheen de jaren zijn er twee theorieën voor licht die beide zoveel aanhangers hebben dat je ze eigenlijk beide moet geloven om democratisch correct te zijn.

Want dit is hoe fysica werkt, als je een theorie hebt die altijd stand houdt dan betekent dat nog niet dat die theorie correct is. Bijvoorbeeld: als je zegt dat God bestaat en dat hij altijd bij u is maar dat je hem niet kan horen, zien, ruiken of voelen, dan kan jij niet bewijzen dat deze theorie incorrect is. Maar dat betekent daarom niet dat deze theorie juist is.

8.1.1 De deeltjestheorie

De deeltjestheorie zegt dat licht een elementair deeltje is (zoals elektronen en neutronen), deze deeltjes worden fotonen genoemd. Deeltjes zonder massa maar wel met kinetische energie.

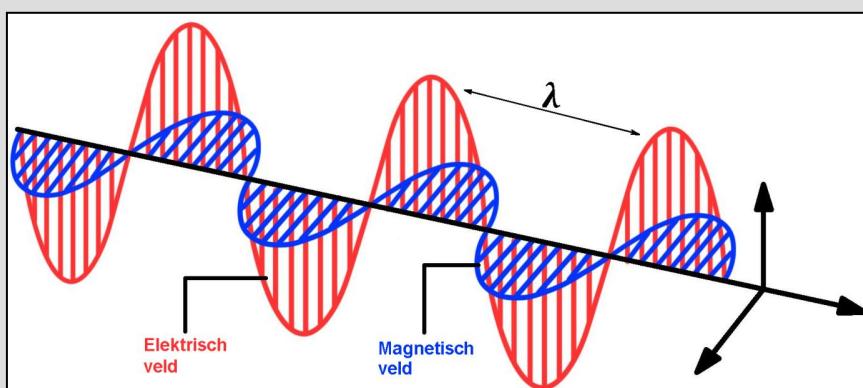
Deze theorie zegt ook dat dit deeltje momentum heeft. Het kan dus een impact op een massa hebben en zijn momentum overdragen aan die massa. Het deeltje kan interacties ondergaan met massa's en ladingen maar niet met andere fotonen. Hier zullen we later nog dieper op ingaan.

Dit was één van de eerste theorieën voor licht. En deze lijkt op het eerste zicht ook het meest logisch. In deze theorie stel je licht gewoon voor als heel kleine vliegende balletjes of knikkers. In ons hedendaags leven zien wij licht zich bijna nooit gedragen als iets anders dan een deeltje.

Een laser pointer kan je bijvoorbeeld het makkelijkst verklaren door aan te nemen dat er gewoon allemaal deeltjes uitkomen die zich rechtlijnig voortbewegen.

Een schaduw heeft ook altijd een gelijkaardige vorm aan het object dat de schaduw veroorzaakt doordat licht zich rechtlijnig voortbeweegt. Je kan dit dus verklaren door te stellen dat het object met deeltjes bekogeld wordt.

Of een spiegel is makkelijk te verklaren door deeltjes die er gewoon weg op weerkaatsen als een elastische botsing. Deze theorie wordt vandaag beschreven door de kwantumfysica. 'kwantum' kom van een bepaalde hoeveelheid, een deeltje.



Figuur 49 Elektromagnetische straling

8.1.2 De golftheorie

De golftheorie zegt dat licht een golf is in het elektromagnetische veld. Net zoals een watergolf in de zee, maar dan driedimensionaal. Zoals we eerder zagen kan een elektrisch veld een magnetisch veld opwekken en omgekeerd, en deze stonden altijd loodrecht op elkaar. De golftheorie zegt dat licht een elektrisch veld is dat een magnetisch veld opwekt, dat op zijn beurt weer een elektrisch veld opwekt,... en zich zo voortplant doorheen de ruimte.

Het feit dat licht een golf is klinkt niet geweldig logisch, op onze hedendaagse schaal gaat het altijd in een rechte lijn. Als je denkt aan reflectie lijkt het ook veel logischer dat het een soort deeltje is dat op de spiegel terugkaatst tot in uw oog. Dit komt omdat licht een golf is zoals je er nooit één in het hedendaags leven tegen zou komen.

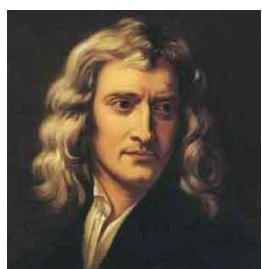
Doorheen mijn GIP zal ik beide theoriën op verschillende fenomenen toepassen. Soms zal ik praten over fotonen en soms over elektromagnetische straling, meestal zal ik gewoon de term 'licht' gebruiken.

9 Licht

Laat ons nu even naar enkele eigenschappen van licht bekijken zonder licht al op een fundamentele manier te verklaren. En zonder te oordelen of het nu een golf of een deeltje is en hoe we ons licht moeten voorstellen.

9.1 Breking

Als licht een transparant oppervlak raakt kan het er ofwel doorheen gaan (transmissie) of erop weerkaatsen (reflectie) als dit onder een hoek gebeurt dan vindt er breking plaats.



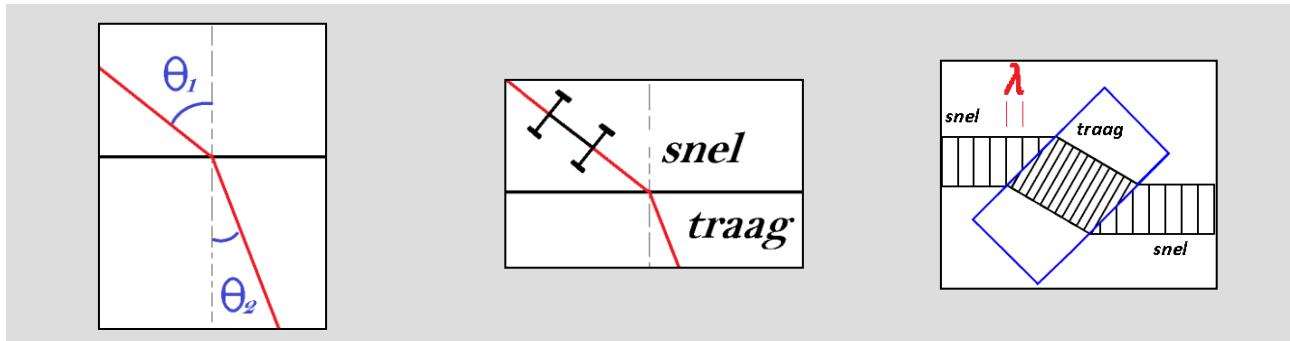
Isaac Newton, de man die hedendaags wordt gezien als de godfather van de fysica zei dat licht deeltjes zijn. Hij verklaarde deze verandering in richting van de rechtlijnige voortplanting van de fotonen door te zeggen dat er aan het oppervlak een mysterieuze aantrekkingskracht is die het foton deed versnellen. Zijn snelheidscorrectie parallel met de normaal vergroot dus. Het is niet echt verrassend dat hij dit met aantrekkingskracht verklaarde want hij heeft ook de basiswetten voor gravitatie opgesteld. Dit leek ook logisch want bijvoorbeeld geluid gaat ook sneller in materialen dan in lucht.

Figuur 50 Newton

$$v = \lambda \cdot f$$

De golftheorie zegt het tegendeel, het verklaart breking door te zeggen dat het licht vertraagt in een transparant materiaal. Zijn golflengte neemt dus af en zijn frequentie blijft constant.

Om een lang verhaal kort te maken, Newton was fout. Er werd bewezen dat licht trager ging in transparante materialen dan in lucht of vrije ruimte.



Figuur 51 Breking

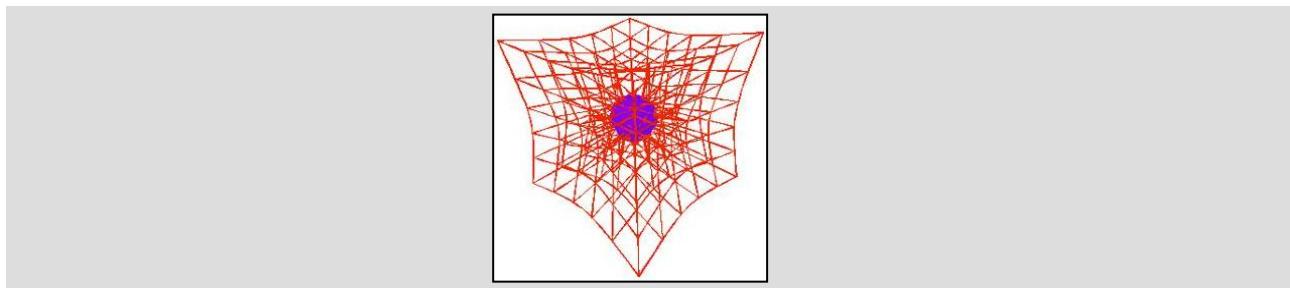
Bij breking, als licht in het transparant materiaal gaat (glas, water, ...) zal er afhankelijk van het verschil in materialen een verschil zijn tussen de invalshoek en de uitgangshoek t.o.v. de normaal.

$$\text{De wet van Snellius gaat als volgt: } \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Hij zegt dat de breuk tussen de sinus van de invallende hoek en de uitgaande hoek een constante is (de brekingsindex) die afhangt van de materialen. Zoals we eerder al zagen, materie beïnvloedt de velden in de ruimte. Of het nu water, glas of diamant is, het zal zowel het elektrisch veld als het magnetisch veld als het gravitatieveld beïnvloeden.

De beste manier om dit te begrijpen is door je voor te stellen dat de lichtstraal een auto met 4 wielen is die schuin van het ene materiaal naar het andere rijdt. Zodra een voorste wiel in het trage materiaal komt zal het met die vertraagde snelheid verder rijden, terwijl de anderen nog snel rijden. Hierdoor zal de auto zich draaien.

Zoals ik eerder al zei, breking is een gevolg van het feit dat licht (EMS) vertraagt in verschillende soorten materie. De reden dat het vertraagt in materie is omdat de atomen in die materie een invloed hebben op het elektromagnetisch veld. Atomen bestaan grotendeels uit geladen deeltjes (protonen en elektronen), een grote dichtheid van deze deeltjes zal een invloed hebben op het elektrische veld. Ook al zijn deze atomen in hun geheel neutraal.



Figuur 52 Gebogen veld

Met "beïnvloed" wordt vervormen bedoeld, dit is zeer vergelijkbaar met hoe in de generale relativiteit de ruimte zelf gebogen wordt door zware massa's. Het grote verschil is dat hier enkel het elektromagnetische veld gebogen wordt, wij merken dus niks van deze verbuiging. Maar licht bestaat enkel en alleen in het elektromagnetische veld!

Er geldt dus ook echt een relativiteit bij dit fenomeen. Om dit te begrijpen moet je je in het perspectief van het licht zelf kunnen plaatsen. Wij observeren het licht en we concluderen dat het licht vertraagt (omdat het minder afstand in onze ruimte aflegt over een bepaalde hoeveelheid tijd). Maar in het perspectief van het licht zelf is 'zijn' ruimte (het EM-veld) gecomprimeerd. In het perspectief van het licht zelf gaat hij gewoon met een constante snelheid maar moet het gewoon meer afstand afleggen. De snelheid van het licht is dus eigenlijk een echte constante, het veld waarin het zich voortplant kan wel vervormd worden maar in het perspectief van het licht zelf zal het altijd met een constante snelheid gaan.

Licht kan ook geen kinetische energie verliezen! Als licht door een stuk glas gaat zal het in onze ogen wel vertragen maar het komt er achteraan wel weer uit met exact dezelfde snelheid en energie. Het kan dus eigenlijk ook niet echt vernellen of vertragen in de zit dat er een traagheidskracht op zou inwerken. Daarom dat het veel logischer is aan te nemen dat het licht gewoon meer afstand moet afleggen omdat het elektromagnetische veld in dat materiaal compacter is.

Licht bestaat enkel in het elektromagnetische veld, dit betekent dat wij eigenlijk nooit een lichtgolf kunnen zien. Wij kunnen licht slechts 'zien' zodra het onze ogen binnengaat, lichtgevoelige cellen in onze ogen beïnvloedt en het signaal naar onze hersenen verstuurd wordt. We kunnen kleuren onderscheiden door de verschillende cellen die we in onze ogen hebben die de verschillende energiewaarden van het licht kunnen onderscheiden. Maar een lichtgolf (of foton) zelf kun je nooit observeren. Als je een laserpointer hebt, zal je enkel het lichtpuntje zien aan het eind, waar het materie raakt. Je zal dus nooit de lichtstraal zelf zien, enkel als het weerkaatst op de stofdeeltjes in de lucht.

In de formules van elektriciteit en magnetisme zag je dat er altijd een veldconstante bijhoorde die te maken had met het medium waarin de magneten en/of ladingen zich bevonden. Tot nu toe hebben we altijd gezegd dat ons medium vrije ruimte is, dus zonder materie. Als dit niet het geval is zal de waarde van de veldconstanten (de permeabiliteit en permitiviteit) verhogen. Deze waarden betekenen letterlijk hoe sterk het elektrisch en magnetisch veld elk gecomprimeerd zijn door het medium!

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Maxwell ontdekte in de 19de eeuw een prachtige symmetrie tussen deze twee constanten. Licht plant zich enkel voort in het elektromagnetische veld, en deze twee constanten beschrijven dus gewoon in welke maten het elektrische en magnetische veld zijn beïnvloed door materie. In vrije ruimte hebben deze dus de waarden van ϵ_0 en μ_0 en gaat licht aan het cosmische limiet 'c'. Het is dus ook logisch dat als deze twee waarden vergroten, de snelheid van het licht verkleint (in onze ogen).

Dit betekent ook dat hoe compacter de massa in een transparant materiaal is (hoe hoger de massadichtheid), hoe meer het licht vertraagt zal worden in dat materiaal en hoe groter ϵ_0 en μ_0 zullen zijn.

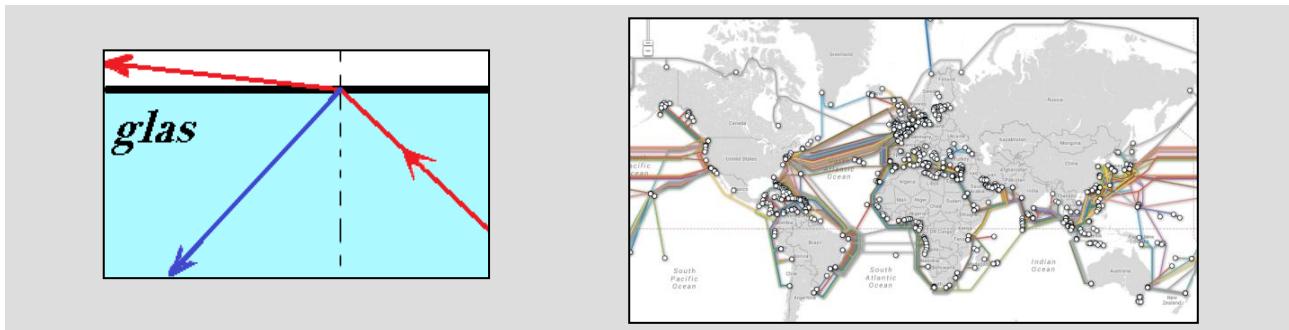
Hiermee kan je de formule $E = mc^2$ ook schrijven als $E = \frac{m}{\epsilon_0 \mu_0}$ en dit is een prachtig resultaat!

Eerder zei ik dat wanneer je massa omzet naar licht, de energiewaarde van dit licht berekend kan worden met $E = mc^2$ omdat licht een pure vorm van energie is. Deze omgevormde formule wijst duidelijk op het feit dat dit gewoon energie is in het elektromagnetische veld. Deze energie is dus gewoon gelijk aan deze massa gedeeld door de veldconstanten van het elektromagnetische veld.

Hier zullen we nog dieper op in gaan bij de wetten van Maxwell.

9.2 Totale reflectie

Breking gebeurt nooit apart, als je naar een raam kijkt merk je ook dat niet al het licht erdoor gaat en een hoeveelheid tot in uw oog weerkaatst wordt. Ook al is het transparant er zal altijd een bepaalde hoeveelheid reflectie optreden.



Figuur 53 Totale reflectie

Als je overgaat van bijvoorbeeld glas naar lucht houdt de wet van Snellius nog altijd stand, de uitgaande hoek zal strikt groter moeten zijn dan de invalshoek. Maar wat gebeurt als de uitgaande naar 90° nadert? Als dit het geval is, vindt er geen breking meer plaats. We bekomen een fenomeen genaamd 'totale reflectie'. Bij verschillende combinaties transparant materiaal is dit een andere hoek, dit wordt de kritische hoek genoemd.

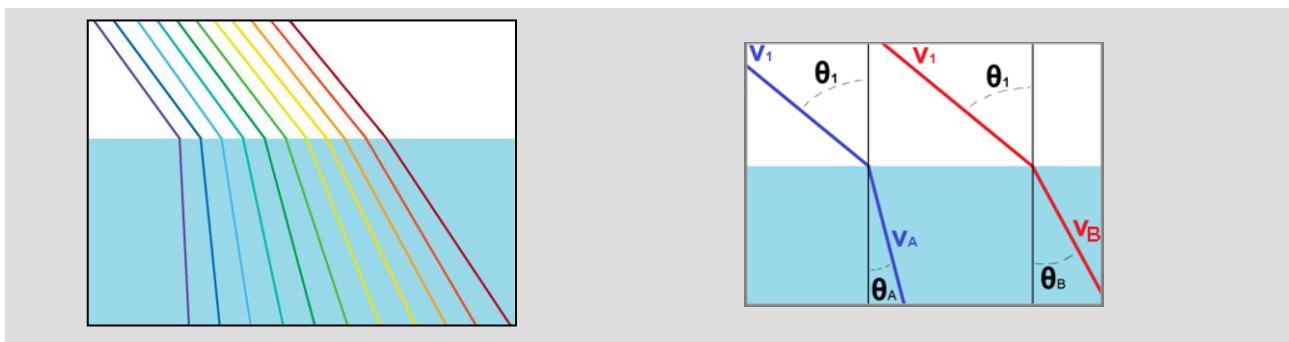
Zolang het licht dus onder een hoek invalt die groter is dan de kritische hoek zal het theoretisch gezien helemaal terugkaatsen zonder dat er energie verloren gaat.

Onder de zee ligt een netwerk van optische kabels om goedkoop informatie te verzenden over een grote afstand. Dit is een simpele toepassing van totale reflectie. Het licht zal op de binnenkant van de kabel blijven weerkaatsen onder een hoek die groter is dan de kritische hoek.

Hierdoor kan het dus lange afstanden afleggen met weinig energieverlies.

9.3 Dispersie

Zoals we eerder al zagen: wanneer je licht onder een hoek van lucht of vrije ruimte op een transparant medium schijnt vindt er breking plaats.



Figuur 54 Dispersie

Maar als dit wit licht is gebeurt er iets eigenaardig. Wit licht bestaat theoretisch gezien uit alle golflengten van het elektromagnetisch spectrum ook al zijn drie verschillende kleuren genoeg om het menselijk oog te bedriegen. (zie pre-GIP)

Wanneer wit licht breekt vindt er dispersie plaats, het wit licht zal opsplitsen in alle kleuren van de regenboog. Dit komt doordat de brekingsindex niet gelijk is voor alle golflengten.

Om dit fenomeen te verduidelijken:

ik begin met twee lichtstralen van verschillende golflengte en frequentie die éénzelfde medium betreden en dus onder een verschillende hoek breken. Met het omvormen van formules kan je bewijzen dat dit verschil in brekingshoek wel degelijk afhankelijk is van de golflengte van het licht (de kleur van het licht).

$$v_1 = v_2 = c = f_1 \lambda_1 = f_2 \lambda_2$$

De twee lichtstralen bevinden zich eerst in vrije ruimte en gaan dus aan de snelheid van licht.

$$v_A = f_1 \lambda_A \text{ en } v_B = f_2 \lambda_B$$

Bij verandering van medium verlaagt de snelheid en de golflengte maar de frequentie blijft gelijk.

$$\frac{v_1}{v_A} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_A} \text{ en } \frac{v_1}{v_B} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_B}$$

De wet van Snellius toegepast op beide lichtstralen.

$$\frac{v_1}{v_A} \sin \theta_A = \frac{v_1}{v_B} \sin \theta_B$$

Gelijkgesteld.

$$\frac{v_1}{v_A} = \frac{\lambda_1}{\lambda_A} \text{ en } \frac{v_1}{v_B} = \frac{\lambda_2}{\lambda_B}$$

De frequenties blijven gelijk, dus deze kunnen we schrappen.

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_A} \sin \theta_A = \frac{\lambda_2}{\lambda_B} \sin \theta_B$$

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_b} \sin \theta_b = \text{constant}$$

- λ_0 = de oorspronkelijke golflengte van het licht.
- λ_b = de golflengte na dat het licht gebroken is.
- $\sin \theta_b$ = de brekingshoek.

Aan deze formule merk je dat de mate waarmee de golflengte afneemt in het medium afhankelijk is van de golflengte dat het licht oorspronkelijk had voor de lichtstraal het medium betrad.



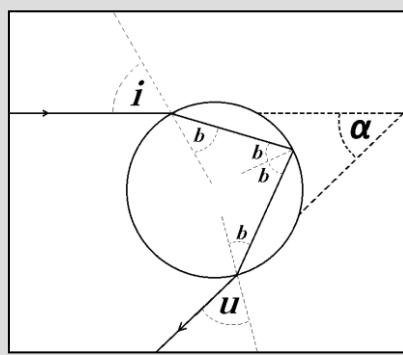
Figuur 55 Jens

Hierboven ziet u een foto van mijn goede vriend, collega en klasgenoot Jens Helskens die met zijn Iphone recht in de webcam van zijn computer schijnt. Rond dit fel licht zit u drie prachtige ringen. Met de kennis die we tot hiertoe hebben gezien kunnen we dit perfect verklaren! In Jens zijn Iphone zit een witte LED. Als u mijn pre-GIP heeft gelezen zal u weten dat een witte LED eigenlijk gewoon uit drie gekleurde LED's bestaat (een rode, groene en blauwe). In de webcam zit een bolle lens. De drie verschillende kleuren zullen dus onder een verschillende hoek breken op die bolle lens en dit veroorzaakt deze gekleurde ringen. Als je snachts op straat recht naar verlichtings paal kijkt zou je ditzelfde effect ook moeten kunnen zien omdat uw ogen ook bol zijn. Maar doe het wel niet te lang want dat is uiteraard zeer slecht voor uw ogen.

9.4 Regenbogen

Regenbogen zijn een prachtig alledaags voorbeeld van dispersie.

Ze onstaan doordat er dispersie plaats vindt in regendruppels. We houden nu even geen rekening met de verschillende golflengtes licht die een verschillende brekingshoek hebben.



Figuur 56 Regendruppel

Hier ziet u een principetekening van een lichtstraal die in een regendruppel breekt, op de binnenkant reflecteert en er vervolgens weer uit breekt.

We nemen aan dat de druppel een perfecte bol is.

In de realiteit zal er ook een hoeveelheid licht verderkaatsen binnen in de druppel en zal er ook een hoeveelheid licht uitbreken bij elke reflectie op de binnenkant, maar daar houden we nu ook even geen rekening mee.

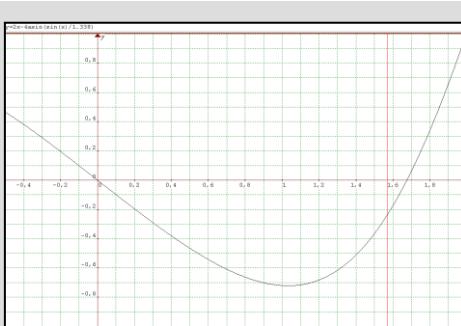
$\theta_i = \theta_u$ De invalshoek is gelijk aan de uitgangshoek.

$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_b} = n \rightarrow \sin \theta_b = \frac{\sin \theta_i}{n}$ De wet van Snellius toegepast, 'n' varieert hier van 1,331 (rood)

tot 1,345 (violet) voor de verschillende kleuren (golflengtes) licht.

$\alpha = 2\theta_i - 4\theta_b$ α is de hoek tussen de inkomende lichtstraal en de uitgaande lichtstraal. Deze kunnen we met simpele goniometrie in functie van de invallende- en brekingshoek bepalen.

$\alpha = 2\theta_i - 4Bgsin[\frac{\sin \theta_i}{n}]$ We kunnen α dus helemaal in functie schrijven van de hoek waaronder de lichtstraal de regendruppel betreedt. We weten ook dat θ_i maximaal 90° mag zijn.

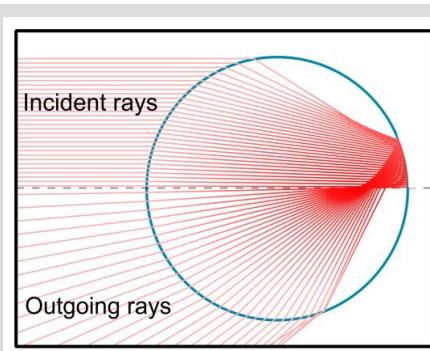


Figuur 57 Functie hoek

Ik heb α in functie van θ_i geplot in graphmatica met een gemiddelde index van 1,338.

De rodelijn is wanneer $\theta_i 90^\circ$ bereikt.

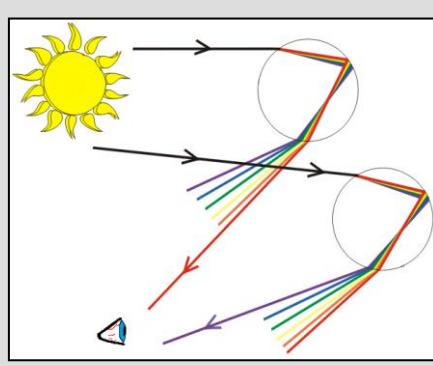
Hier bereikt α een minimum met een waarde van ongeveer 42° , θ_i heeft daar een waarde van ongeveer 60° . Dit is van uiterst belang voor het begrijpen van een regenboog.



Figuur 58 Reflectie hoek

Houd er rekening mee dat in de realiteit deze druppel water niet door één lichtstraal onder een hoek geraakt zal worden maar door heel veel lichtstralen. Hij wordt praktisch gezien dus onder elke mogelijke hoek geraakt. D

De uitgaande hoeken zijn alle mogelijke waarden voor α en zoals we eerder zagen zijn deze waarden strikt kleiner dan $42,4^\circ$ (voor $n=1,331$).



Figuur 59 Kleuren volgorde

Bij een regenboog is de buitenste kleur altijd rood en de binnenste violet.

Wanneer het licht breekt is dat ook zo, maar wanneer het reflecteert op de achterkant van de druppel zal dit niet meer het geval zijn. Violet zal dus bovenaan uit de druppel reflecteren en rood onderaan. Elke druppel kan slechts één kleur licht in de richting van uw oog reflecteren. De hoogste druppels zullen dus rood in uw oog reflecteren en de onderste violet.



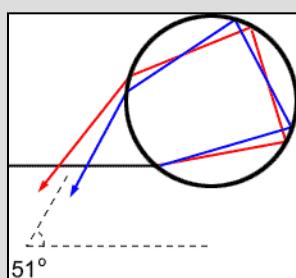
Figuur 60 Regenring

De intensiteit licht gereflecteerd door de regendruppels is dus overal ongeveer gelijk behalve bij ongeveer $42,4^\circ$ voor rood licht ($40,4^\circ$ voor blauw licht), hier zal het licht iets geconcentreerde zijn. Dit kan u ook zien onderaan figuur 58. Buiten deze limiet van $42,4^\circ$ zal er dus helemaal geen licht gereflecteerd worden door regendruppels tot in uw oog. Onthoud dat deze 40° tot 42° t.o.v. de richting van de zonnenstralen het enige is dat de positie van de regenboog bepaalt. Het maakt dus niet uit of de regendruppels boven u of links of rechts van u zijn, een regenboog is dus eigenlijk een cirkel waarvan een groot deel niet zichtbaar is door de aarde. Uw schaduw is altijd parallel met de lichtstralen van de zon, een regenboog is dus altijd 42° t.o.v. de richting van uw schaduw gesitueerd. Hier in België zijn regenbogen dus altijd in het noorden gesitueerd (tegenstelde richting van de zon).



Figuur 61 Regenboog

Lager dan 40° zullen alle kleuren evenveel gereflecteerd worden tot in uw oog, dit resulteert dus in wit licht. Hierdoor is het binnen in een regenboog altijd lichter dan buiten de regenboog (want buiten de regenboog wordt geen licht in uw oog gereflecteerd). De buitenste rode kleur van de regenboog zal altijd het meest duidelijk zijn want bij bijvoorbeeld het groene deel van de regenboog is er ook rood licht. De enige reden dat je blauw en violet licht ziet in een regenboog is omdat er op de kritische hoek van 40° een piek in lichtsterkte (intensiteit) is.

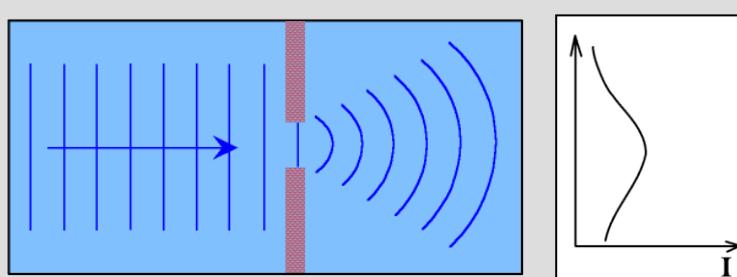


Figuur 62 Dubbele regenboog

Als er genoeg zonlicht is, zie je soms ook een tweede regenboog. Dit komt door een dubbele reflectie in de regendruppels, hierdoor is deze regenboog veel minder fel (er gaat meer licht verloren). Door het feit dat het zonlicht twee keer reflecteert in de regendruppel is de kleuren volgorde tegengesteld aan de primaire regenboog. Deze vind je ongeveer op 51° van de richting van de zonnestralen. Boven deze tweede regenboog is het dus ook een beetje lichter.

9.5 Diffractie

Stel ik heb een oneindig grote bak met water waar ik rechtlijnige golfjes in maak zoals golven in de zee en ik zet in het midden van de bak een muur waar dus geen golven meer doorheen kunnen. In het midden van deze muur zit een gat van ongeveer één centimeter. Ik denk dat u dan wel al weet wat er zal gebeuren, de watergolf zal divergeren. Dit is een fenomeen genaamd diffractie.



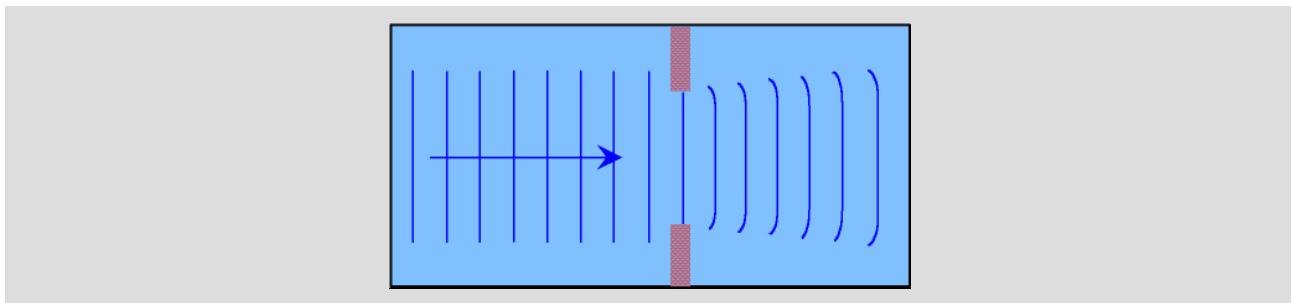
Figuur 63 Diffractie

Als ik nu deze golf achter de muur opvang op een scherm parallel met de muur en ik meet de intensiteit op elke positie dan ziet deze grafiek er ongeveer uit zoals ik geschat heb naast de tekening.

Stel dat ik dit nu doe met licht i.p.v. water. Ik denk dat u ook wel weet dat als u in het donker met een licht door een gat van één centimeter op een muur schijnt er gewoon een bol van dezelfde grote als het gat op de muur zal verschijnen. Het blijkt dus dat licht niet divergeert. Beteekt dit dat licht geen golf is? Dit was toch een argument van vele fysici die in het verleden achter de deeltjestheorie stonden.

De waarheid is dat licht wel divergeert maar het resultaat dat wij zien is afhankelijk van de golflengte van de golf waarmee geëxperimenteerd wordt.

De beste manier om je dit voor te stellen is door terug te keren naar ons experiment met water en je af te vragen wat er zou gebeuren als je dat gat nu tien meter breed maakt i.p.v. slechts één centimeter.

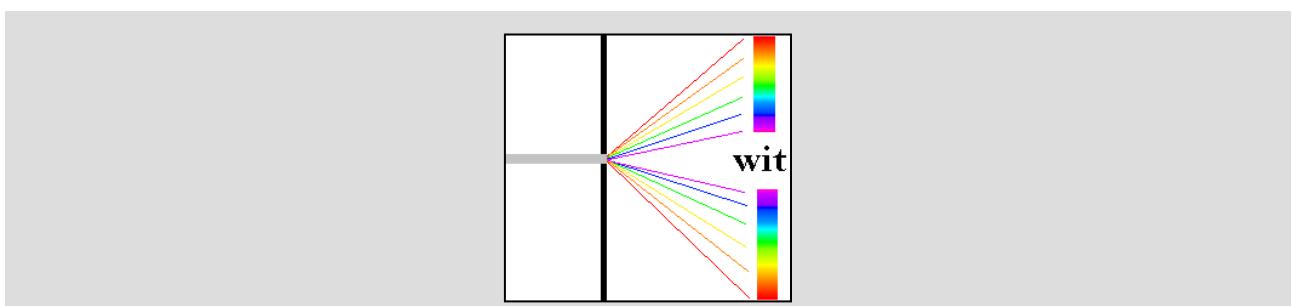


Figuur 64 Weinig diffractie

De golf zal nog steeds divergeren, maar enkel aan de buitenkant. Het water in het midden zal helemaal niet merken dat er een opening is, het zal gewoon ongestoord rechtlijnig verder golven. Terwijl de buitenkant wel zal divergeren maar naarmate je het gat groter en groter maakt is dit steeds minder van belang.

Laat ons zeggen dat dit water een golflengte van één centimeter heeft. Dan zal dispersie zich vrij goed voordoen bij een gat van één centimeter omdat deze waarde dicht bij de golflengte van de watergolven ligt. Maar licht heeft een gemiddelde golflengte van 550 nanometer! Dit gat van één centimeter is dus gigantisch in vergelijking tot de golflengte van licht.

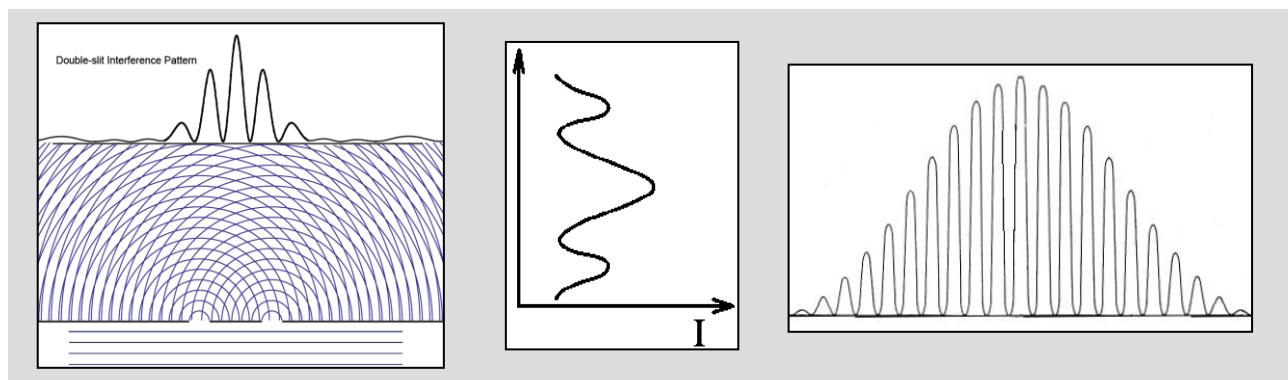
Dus we moeten gewoon ons gat heel klein zien te krijgen om licht te zien divergeren en te bewijzen dat het een golf is. Maar als je goed hebt opgelet zitten we nog met een klein probleempje: 'De gemiddelde golflengte van licht is 550 nm' (gewoon wit licht bestaat uit verschillende golflengtes) en 'het resultaat is afhankelijk van de golflengte'. Als dit klopt dan betekent dat dat als je gewoon wit licht door een kleine opening stuurt de verschillende golflengtes (kleuren) niet allemaal evenveel zullen divergeren.



Figuur 65 Diffractie van kleuren

Dit is ook echt zo, rood licht zal meer divergeren omdat het een grotere golflengte heeft. Ook al worden de verschillende kleuren licht door een totaal andere reden gesplitst dan bij de regenboog toch is de manier waarop dit gebeurt zeer gelijkaardig. Hier zal ook het rood licht het meest duidelijk zijn terwijl violet en blauw meer naar wit licht naderen en bijna niet meer zichtbaar zijn.

9.6 Interferentie



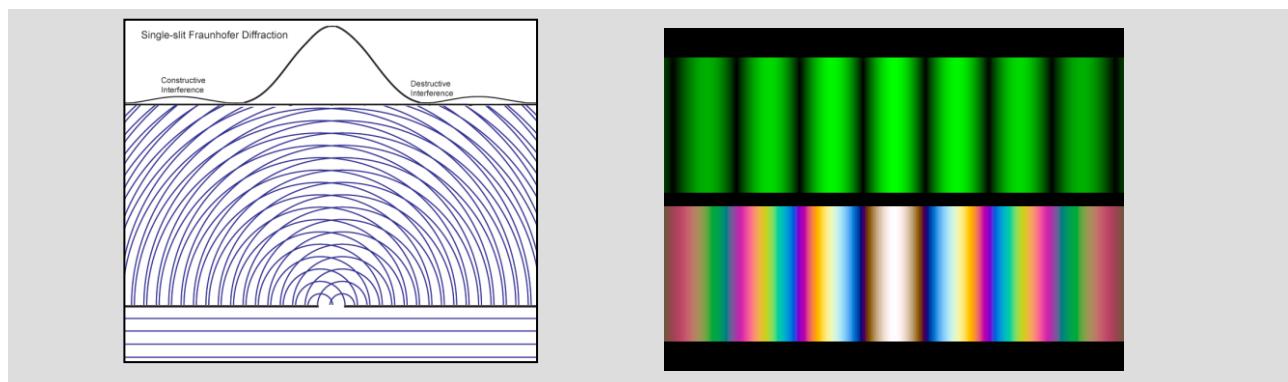
Figuur 66 Interferentie

Nu moet ik toegeven dat ik een beetje tegen u gelogen heb want in de realiteit zal de intensiteitsgrafiek er eerder uitzien zoals ik hierboven heb weergegeven. Dit is vanwege een fenomeen genaamd interferentie. Om dit te begrijpen zullen we een kijkje nemen naar het experiment dat veel voorstanders van de deeltjestheorie het zwijgen heeft opgelegd, het twee gaten experiment.

Stel dat ik twee gaten i.p.v. één in mijn muur maak dan zullen twee golven uit de twee verschillende gaten met elkaar interfereren en plaatsen maken waar er helemaal geen amplitude meer is maar ook plaatsen waar de amplitude tweemaal zo groot is.

Dit patroon krijg je niet alleen bij water maar ook bij licht. Hoe raar het ook klinkt, licht plus licht kan duisternis op leveren.

Dit experiment moet ook op schaal van de golflengte gemaakt worden, als de twee gaten te ver van elkaar zitten zal er ook interferentie optreden maar zal ons oog het niet meer merken omdat de plekken van felheid en duisterheid te dicht op elkaar zitten. Ons oog zal uiteindelijk het verschil niet meer merken.



Figuur 67 Interferentie van kleuren

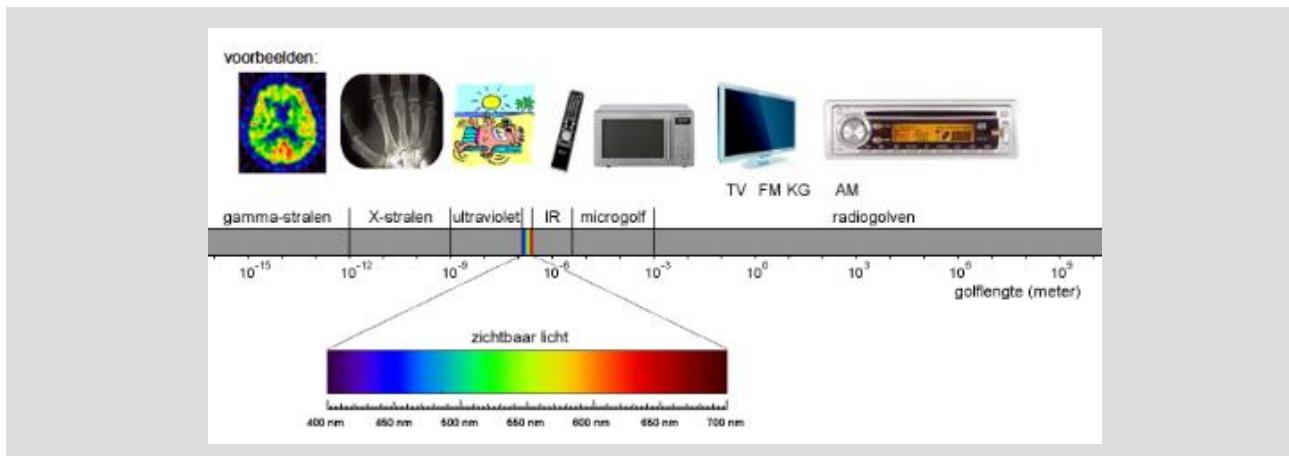
De reden dat je nu ook een interferentie patroon ziet bij slechts één gat is omdat je één gat ook kan beschouwen als twee gaten die oneindig dicht bij elkaar liggen. Dit klinkt raar maar de golf die uit het gat komt zal als het ware met zichzelf interfereren. Dit kan je pas helemaal vermijden als het gat oneindig klein is, maar als het gat oneindig klein is kan er natuurlijk ook geen golf meer door.

Dit is hoe de kleurendiffractie er in de werkelijkheid zou uitzien zowel bij één als bij twee gaten, afhankelijk van de grote van het gat en de afstand tussen de twee gaten zal dit effect variëren.

Weetje: de mooie kleuren die u ziet tijdens op de achterkant van een CD zijn ten gevolge van breking, diffractie en interferentie.

9.7

Kleuren



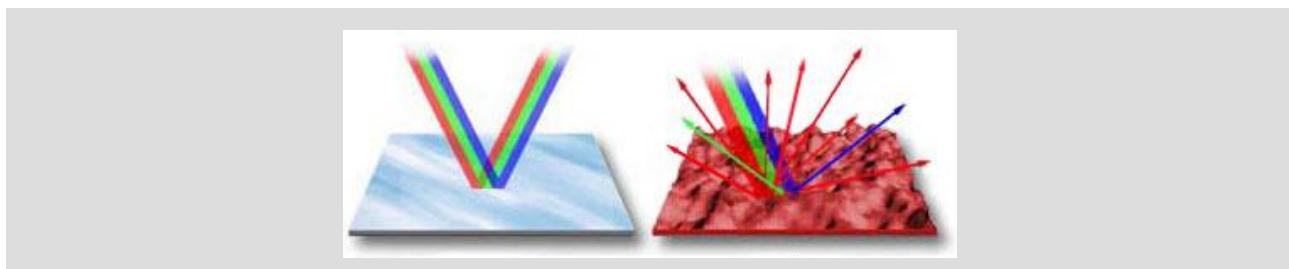
Figuur 68 Elektromagnetisch spectrum 2

Zichtbaar licht is slechts een klein deeltje van het elektromagnetische spectrum. Wat je moet onthouden is dat de energie van licht omgekeerd evenredig is met de golfleugte van licht. Radiogolven hebben een zeer lange golfleugte, ze gaan traag op en neer en hebber heel weinig energie. De golfleugte van radiogolven kan tot meters lang zijn. Zichtbaar licht heeft een golfleugte van 400 tot 700 nm. En dit is echt verschrikkelijk klein. Onthoud ook dat rood licht dus minder energie heeft dan blauw licht. Gamma-straling heeft het meest energie en is daarom ook vrij gevaarlijk. We kunnen de energie van één enkel foton berekenen met volgende formule:

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

'h' is hier een contante, dit wordt de constante van Planck genoemd en deze wordt experimenteel bepaald. We zullen hier later nog dieper op ingaan voor nu is het gewoon belangrijk dat je weet dat de energie van licht recht evenredig is met de frequentie van het licht en omgekeerd evenredig met de golfleugte.

Een object kan een bepaalde kleur hebben op verschillende manieren. De meeste objecten rondom u danken hun kleur aan het feit dat de elementen waaruit het object bestaat bepaalde kleuren absorberen en de rest opnieuw uitstoten.



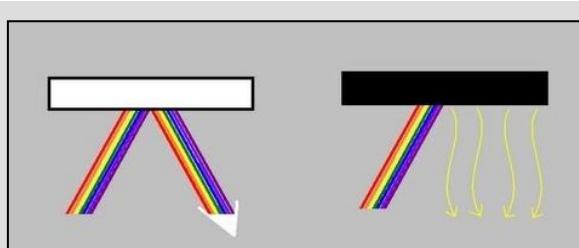
Figuur 69 Weerkaatsing van licht

Dit is heel anders dan reflectie want bij refelctie zal het licht onder slechts één enkele hoek terugkaatsen. Maar bij de objecten rond u wordt het licht in alle richtingen even sterk uitgestoten. Niet alleen omdat hun oppervlak waarschijnlijk niet echt mooi gepolijst is maar ook omdat die bepaalde kleur effectief door de atomen geabsorbeerd wordt en wordt uitgestoten in alle willekeurige richtingen.



Figuur 70 Appeltje

Deze appel is rood omdat de elementen waar de schil uit bestaat alle golflengten behalve rood absorberen. Het blaadje bestaat uit chlorofyl, beter bekend als bladgroen. Deze molecule absorbeert alle golflengtes behalve deze die de groene kleur opleveren. Bovenaan de appel zie je een witachtig roze vlek en dit is waar reflectie tot in uw oog plaatsvindt. Want uit dat gebied zijn alle kleuren gereflecteerd tot in uw oog en vormen ze opnieuw wit licht.

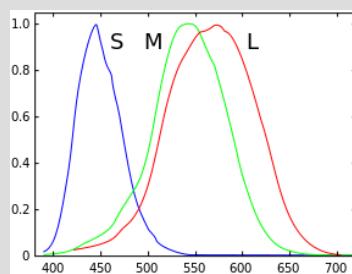


Figuur 71 Absorptie van EMS

Als je een zwarte auto hebt die je enkele uren geparkeerd in de zon laat staan dan kan deze heel warm worden in de zomer. Dit is omdat alle kleuren geabsorbeerd worden door een zwart object. Een witte auto zou veel minder makkelijk opwarmen.

Als je een auto hebt die alle kleuren perfect absorbeert behalve blauw licht dan zal deze auto in uw ogen blauw zijn. Als je een auto hebt die alle kleuren perfect absorbeert behalve geel dan zal deze auto er voor u geel uitzien. Maar wat contra-intuïtief is, is dat de blauwe auto minder snel zal opwarmen dan de gele auto. Want blauw licht heeft een kortere golflengte dan geel licht en bezit dus meer energie. En deze energie zal niet geabsorbeerd worden. Maar toch lijkt geel meer op wit en blauw meer op zwart.

$$E \sim \frac{1}{\lambda}$$

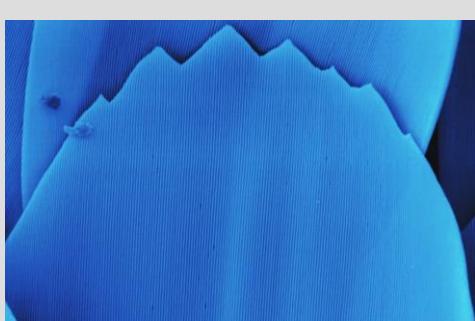


Figuur 72 Energie absorptie van de ogen

Dit is een gevolg van hoe onze ogen kleuren zien. Hierboven ziet u een grafiek van hoe intens onze ogen bepaalde golflengtes zien. De drie verschillende grafieken zijn de drie soorten lichtgevoelige cellen die we in onze ogen hebben. Houd er rekening mee dat dus de intensiteit van een bepaalde kleur de som van de grafieken bij die bepaalde kleur is. Geel licht ligt net tussen groen en rood en als je deze twee grafieken optelt bekom je een maximum. Dit is ook de reden dat de verlichting bij u thuis een beetje geelachtig is. Het levert de grootste hoeveelheid lichtintensiteit voor een zo laag mogelijk energie verbruik.

9.8**Vlinder vleugels****Figuur 73 Vlindertje**

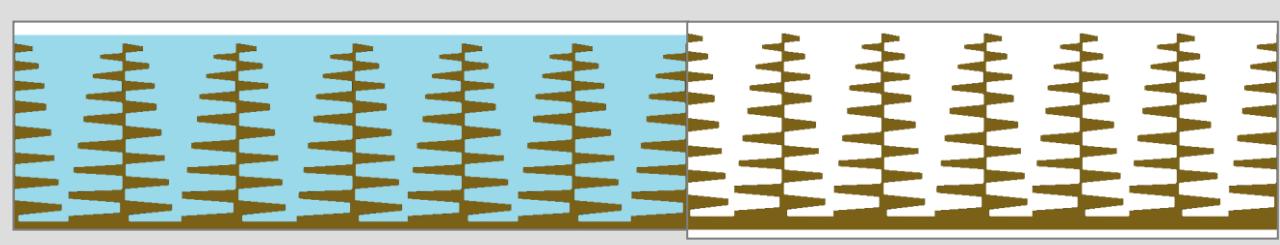
Vlinders hebben vaak prachtig gekleurde vleugels. Maar de manier waarop deze kleuren bereikt worden is heel speciaal. Het eigenaardige aan vlinders is dat hun vleugels helemaal niet uit elementen bestaan die de juiste kleuren licht absorberen om deze kleuren af te geven. Vlinders zijn zodanig geëvolueerd dat ze op hun vleugels organische nanostructuren hebben die van het feit dat licht een golf is gebruik maken om te laten blijken dat de vleugel een bepaalde kleur heeft.

**Figuur 74 Vlinder schaaltje**

Als je met je vinger over de vleugel van een vlinder wrijft, zal u merken dat er een soort van stof aan je vinger hangt. Dit zijn de nanostructuren op de vleugel die je er af aan het wrijven bent. Op het gekleurde deel van de vleugel liggen allemaal aparte schaaltjes die eruit zien zoals hierboven is afgebeeld. In dit blauw schaaltje blijkt een ribbelpatroon te zitten.

**Figuur 75 Vlinder ribbels**

Als je de afstand tussen twee van deze ribbels zou meten dan bekom je ongeveer 580nm en dit is de golflengte van geel licht! Maar de vlinder zijn vleugel is blauw. Wit licht bestaat uit alle kleuren licht tezamen. Maar als je alle kleuren met elkaar combineert behalve geel bekom je een blauwe kleur!



Figuur 76 Natte vlinder

Als je de ribbels zou doorsnijden en van het zijaanzicht bekijken dan zien de structuren er ongeveer uit zoals weergegeven hierboven. En deze organische nanostructuren zijn precies ontworpen door de natuur zelf om slecht één enkele golflengte te absorberen en daardoor een prachtige blauwe kleur af te geven.

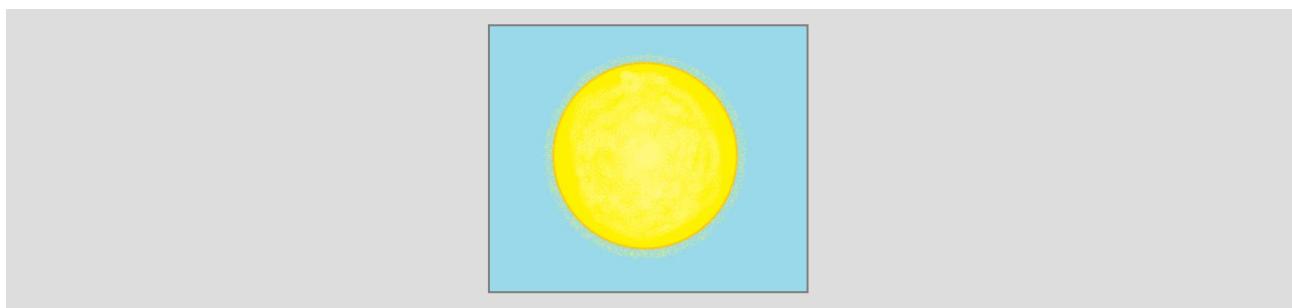
Als je water op de vleugel van een vlinder doet zal de prachtige kleur helemaal verdwijnen omdat de ribbels worden opgevuld met het water. Hierdoor zal de vleugel een bruine kleur krijgen net zoals een mot. Een mot of nachtvlinder is dus eigenlijk gewoon een vlinder zonder deze nanostructuren om deze kleuren te bekomen. En dit is ook vrij logisch want 's nachts is er helemaal geen licht om hun vleugels deze kleuren te geven.

9.9 Lichtverstrooiing

Lichtverstrooiing is nog zo een manier waarop dingen een kleur kunnen afgeven zonder dat de elementen waaruit het bestaat iets te maken hebben met die kleur.

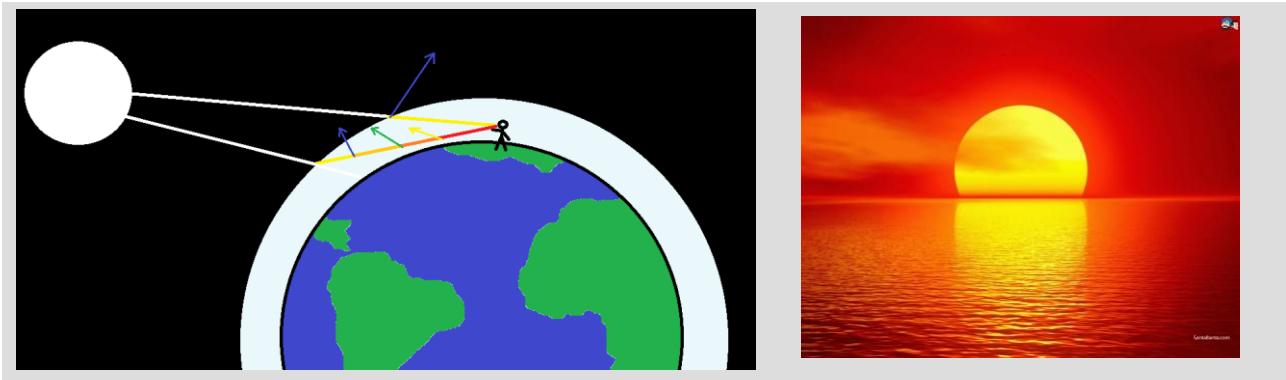
's Nachts kan je het licht van sterren zien die vele lichtjaren van de aarde verwijderd zijn omdat de lucht dat licht ongestoord doorlaat tot in uw oog. Maar toch is de lucht overdag blauw. En dit is niet omdat de elementen waaruit lucht bestaat (N_2 , O_2 , ...) blauw zijn, lucht is kleurloos!

Waar het eigenlijk op neer komt, is dat wanneer het wit licht van de zon onze atmosfeer raakt er lichtverstrooiing optreedt. De mate waarmee het licht verstrooid wordt is afhankelijk van zijn golflengte. Dit werd voor het eerst wiskundig beschreven door Lord Rayleigh John William Strutt en wordt daarom Rayleigh scattering genoemd.



Figuur 77 Gele zon

Het licht van de zon is wit. Door Rayleigh scattering zal het blauwe licht van de zon via de luchtmoleculen in uw oog terechtkomen. Rood licht zal er gewoon doorheen gaan en komt daarom bijna niet in uw oog terecht. Als je naar de zon kijkt of er net naast (wat ik u eigenlijk niet mag aanraden) dan is het daar eerder geel. Dit komt doordat het blauwe licht wordt verstrooid door de luchtdeeltjes en alle andere kleuren geraken er door zonder veel verstrooiing te ondergaan. Alle kleuren met minder blauw in levert een gele kleur.

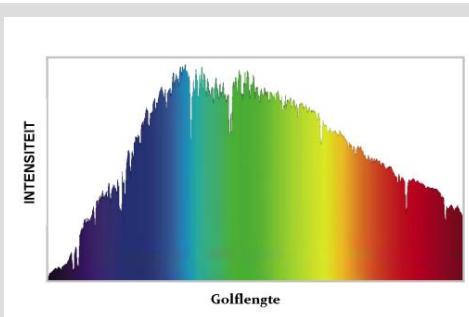


Figuur 78 Zonsondergang

Bij zonsondergang of zonsopgang moet het licht door zoveel atmosfeer dat zelfs groen en geel licht er niet meer door geraken. Alleen het licht dat echt de allerminste kans heeft om verstrooid te worden kan tot in uw oog komen. En dat is waar die prachtige rode lucht vandaan komt.

Rayleigh scattering werkt enkel voor deeltjes die kleiner zijn dan de golflengte van zichtbaar licht. De individuele moleculen O₂ en N₂ zijn veel kleiner dan deze golflengte. Dit is de reden dat wolken wit zijn. Wolken bestaan uit waterdeeltjes die een pak groter zijn dan de golflengte van licht. Alle kleuren zullen dus even sterk weerkaatst worden en zullen samen weer wit opleveren.

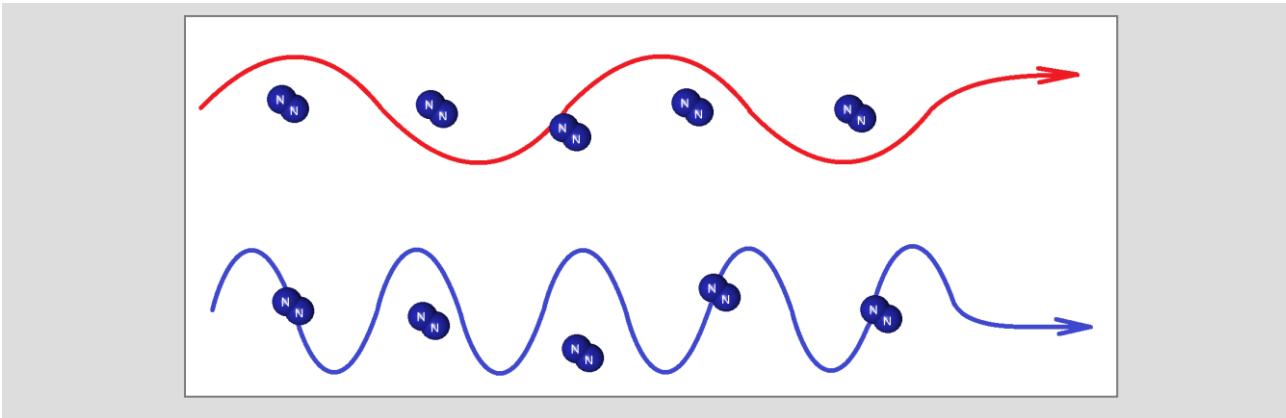
Nu kan je je nog afvragen waarom is de lucht niet violet i.p.v. blauw? Want violet heeft nog een kortere golflengte dan blauw licht. De reden hiervoor is een combinatie van twee factoren. De eerste is dat onze ogen blauw beter zien dan violet, dit kon u eerder al aflezen op de grafiek...



Figuur 79 Emissie spectrum van de zon

De tweede is dat de zon niet elke golflengte even sterk uitstoot. De intensiteit waarmee de zon elke golflengte uitstoot kan u hiernaast op de grafiek zien. Het is trouwens geen toeval dat deze grafiek lijkt op de grafiek die we eerder zagen in verband met licht dat werd uitgestoten door hete lichamen.

Toen ik probeerde te onderzoeken waarom licht meer verstrooit naarmate de golflengte kleiner is vond ik vaak hetzelfde antwoord terug.



Figuur 80 Foute theorie

Het antwoord hield in dat je licht als een deeltje kan beschouwen dat de baan van een golf volgt. Omdat blauw licht een korte golflengte heeft moet het een langere weg afleggen dan rood licht. Hierdoor heeft blauw licht een grotere kans om luchtdeeltjes te raken, erop te reflecteren en zo in uw oog terecht te komen.

En ook al is dit een leuke manier om te onthouden waarom blauw licht meer verstrooit dan rood licht, deze redenering is eigenlijk verkeerd.

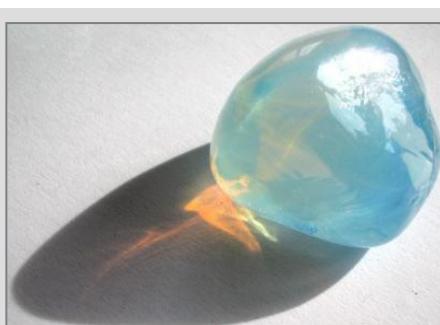
De golflengte van rood licht is iets minder dan het dubbele van blauw licht. Dit betekent dat als deze theorie wel juist zou zijn dat blauw licht bijna twee keer zo veel zou moeten vertrooien dan rood licht. In de realiteit is dit eerder 6 a 8 keer.

Rayleigh scattering zegt dat de mate waarmee een bepaalde golflengte vertrooit omgekeerd evenredig is met de golflengte van dat licht tot de 4de macht. $I \sim \frac{1}{\lambda^4}$

Dit zullen we wiskundig nog verder in detail bekijken eens we de wetten van Maxwell gezien hebben.

Maar Rayleigh scattering kan ook bij vloeibare en vaste stoffen voorkomen.

Stel je hebt een blauw gekleurde glas. Dan zal dit stuk glas er blauw uitzien omdat er wit licht opvalt dat uit alle verschillende kleuren bestaat, het rode licht wordt geabsorbeerd en er wordt dus een blauwe kleur weerkaatst. En als je wit licht door het glas heen laat gaan dan bekom je ook blauw licht door exact dezelfde reden, de elementen waar het glas uit bestaat absorberen rood licht. Dit heeft dus niets met Rayleigh scattering te maken.



Figuur 81 Rayleigh steen

Maar als je een kijkje neemt naar deze steen dan zie je dat die eruitziet als gewoon blauw gekleurde glas maar als je er licht doorheen schijnt dan merk je dat dit licht oranje is. Deze steen is dus eigenlijk helemaal niet blauw, hij bestaat gewoon uit heel kleine deeltjes die Rayleigh scattering veroorzaken. In de schaduw van de steen ontstaat er dus eigenlijk zonsondergang effect want alleen het licht met een lange golflengte geraakt doorheen de steen zonder verstrooid te worden.

9.10 Ontstaan van fotonen

De voorgaande experimenten bewijzen duidelijk dat licht een golf is. Het is dus niet echt een verrassing als ik u vertel dat in de 19^{de} eeuw algemeen aanvaard werd dat licht een golf is. Maar dit was slechts tot een hele eigenaardige man, genaamd Einstein langskwam die zei dat licht toch een deeltje is. Voor mensen van die tijd moet dit heel verbazend zijn geweest, er is duidelijk bewijs dat licht een golf is en toch zeggen Einstein en Newton (de twee meest hooggeprezen fysici ooit) dat licht een deeltje is. En dit is toch iets dat je niet zomaar kan negeren. Kwantummechanica is gebaseerd op het feit dat licht uit deeltjes bestaat (quantum is latijn voor een bepaalde hoeveelheid net zoals een deeltje een bepaalde hoeveelheid is).

De reden dat je licht (een elektromagnetische golf) als een deeltje kan beschouwen is omdat deze golf een begin en einde heeft. Om dit te begrijpen moeten we een kijkje nemen naar hoe licht eigenlijk ontstaat.

Er zijn verschillende manieren waarop licht kan ontstaan maar op atomische schaal zijn deze allemaal bijna helemaal gelijk aan elkaar. Je kan licht maken op een elektronische manier, dit kan u zeer gedetailleerd lezen in mijn pre-GIP. Maar nog een andere belangrijke manier waarop licht gemaakt kan worden is gewoon simpelweg door iets warm te maken. Een voorbeeld hiervan is een gloeilamp, door een stroom door een metalen draad te laten vloeien zal die draad hevig opwarmen en zal het beginnen gloeien. Een microgolfoven doet het omgekeerd, het gebruikt elektromagnetische straling met een golflengte van een bepaalde hoeveelheid 'micro'meters om water moleculen te doen trillen (opwarmen).

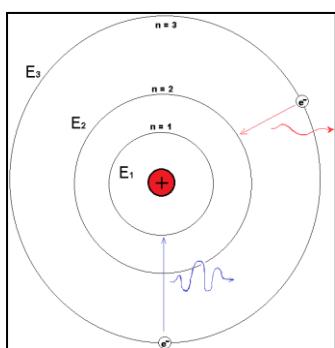
Sterren en de zon zijn hier ook mooie voorbeelden van.



Figuur 82 De zon

De reden dat licht ontstaat en bestaat in onze realiteit is zeer makkelijk abstract verklaarbaar. De natuur streeft naar chaos, verdeeldheid (entropie). Een systeem (massa) dat veel energie bezit (heel warm is) zal dus zo snel mogelijk energie willen uitstoten (zijn energie verdelen over een grotere ruimte). In een vacuüm kan het zijn energie niet als warmte afstaan aan andere materie, dus de enige manier waarop het systeem energie kan verliezen is door ruimte zelf (elektromagnetisch veld) kinetische energie te geven -> elektromagnetische straling = licht.

Licht ontstaat in atomen, als we over licht op atomische schaal spreken dan spreken we over fotonen. Als een massa veel energie bezit dan zullen de individuele atomen 'opgewonden' geraken. Alle atomen zullen veel energie bezitten en zullen deze willen uitstoten onder de vorm van fotonen. Dit is allemaal het werk van de elektronen, elektronen kunnen in een atoom verschillende energie niveaus aannemen.



Figuur 83 Atoom

Een atoom heeft verschillende orbitalen waar elektronen zich in kunnen bevinden. Hoe hoger het orbitaal hoe meer energie het elektron bezit. Deze orbitalen zullen altijd van laag naar hoog gevuld worden. Tussen deze orbitalen zit een energieverlies. Als een elektron dus van orbitaal wil veranderen zal het energie bij moeten krijgen of energie moeten afstaan. Wij zullen nu specifiek kijken naar het afstaan van energie onder de vorm van fotonen. Voor elk atoom zijn de energiewaarden van deze orbitalen anders. Het licht dat één enkel element kan uitstoten ligt dus vast. Het is zoals de vingerafdruk van een atoom, aan de kleuren licht (golfleugte) dat een materiaal uitstoot kunnen we herkennen uit welke elementen dit materiaal bestaat.



Figuur 84 Emissiespectrum

Hierboven ziet u het zichtbare emissiespectrum van Waterstof.

De elektronen kunnen dus van hun huidige orbitaal naar elk ander willekeurig orbitaal verspringen. Deze hebben allen een verschillende energie en stemmen dus ook allen overeen met een andere kleur.

Gelukkig bestaat er voor deze energieverliesen een eenvoudig formule: $\Delta E = R_H \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right)$

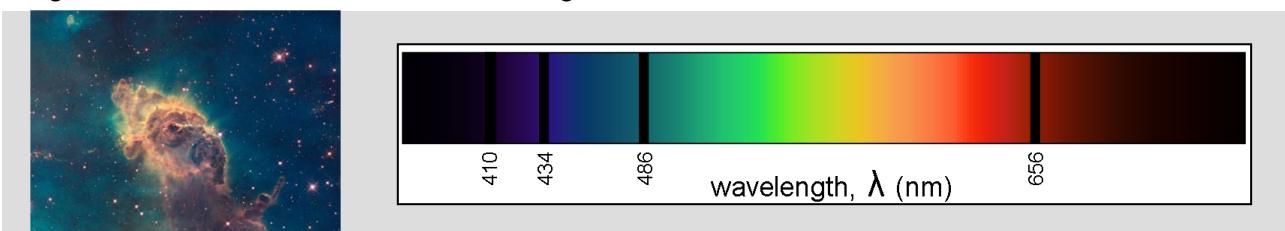
Om de specifieke golfleugte (kleur) het licht te bereken, moet je gewoon de voorgaande formules van de kwantummechanica toepassen: $\lambda = \frac{hc}{E}$

- R_H is de constante van Rydberg, deze is anders voor elk verschillend atoom.
- n_1 en n_2 zijn de oorspronkelijke schil waar het elektron zich op bevond en de schil naar waar het versprongen is. Wiskundig geldt dus: $n_1, n_2 \in \mathbb{N}$

Als n_1 dus een lager niveau is dan n_2 merk je dat de energie negatief zal worden dit wijst dus op het feit dat het atoom energie uitstoot (onder de vorm van een foton).

Maar het kan dus ook omgekeerd, een bepaald element kan slechts enkele bepaalde exacte hoeveelheden energie absorberen. Dit is de reden dat alles rondom u verschillende kleuren heeft. Alles bestaat uit verschillende elementen. Deze elementen zullen bepaalde kleuren absorberen en de rest reflecteren. Alle kleuren die gereflecteerd worden vormen samen de kleur die u dan uiteindelijk ziet.

Hieronder zag u het emissiespectrum van waterstof maar zoals ik net zei, dit is exact hetzelfde als het absorptiespectrum. Als ik dus wit licht door pure waterstofatomen schijn dan zal ik exact het omgekeerde bekomen omdat alles er doorgaat, behalve de kleuren die het element absorbeert.



Figuur 85 Kleurrijke hemel en absorptie spectrum

Dit heeft vele toepassingen. Dit wordt in de astronomie bijvoorbeeld gebruikt om te achterhalen uit welke elementen een gigantische gaswolk bestaat die vele lichtjaren van ons verwijderd is. Omdat waterstof het meest voorkomende element in ons universum is, is dit dus een veel voorkomend patroon.

9.11 Black body radiation

Ondanks deze zwarte lijnen blijkt er toch een verband te zijn tussen de temperatuur van materie en de golflengtes van het licht dat wordt uitgestoten door die materie.

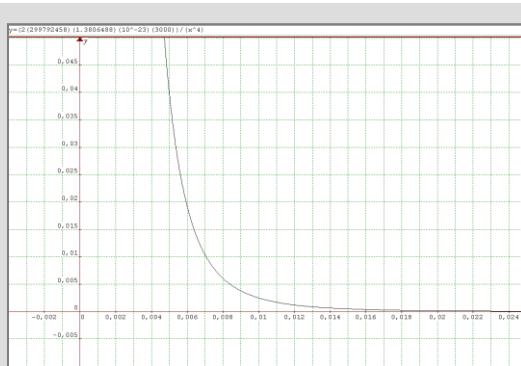
Bij het bestuderen van deze verbanden zullen we altijd theoretisch aannemen dat het over een perfect zwart object gaat (vandaar 'black body radiation'). Dit object absorbeert dus alle golflengtes licht perfect. Als er ook maar enig licht gedetecteerd wordt dat van het lichaam komt, kan dit onmogelijk door reflectie zijn. Dit licht moet dus door het lichaam zelf zijn uitgezonden. Hierbij werken we dus deze zwarte lijnen in het emissie- en absorptiespectrum weg dit maakt het een pak makkelijker om dit wiskundig te beschrijven. In de realiteit bestaat dit uiteraard niet, zelfs het licht van onze zon is geen perfect continu spectrum.

Lord Rayleigh en Sir James Jeans hielden zich voor het eerst bezig met het wiskundig proberen beschrijven van het licht dat wordt uitgestoten door hete objecten. Ze kwamen tot een conclusie en een formule en deze waren regelrecht verkeerd, fysisch onmogelijk.

$$I = \frac{2 c k T}{\lambda^4}$$

- I - is de intensiteit van het licht
- c - de snelheid van licht (constante)
- k - de constante van Boltzman = $1.3806488 \cdot 10^{-23}$
- T - de temperatuur van het object in Kelvin
- λ - de golflengte van het licht

Ik zal deze formule nu in functie van de golflengte plotten bij een constante temperatuur van 3000 Kelvin om je aan te tonen hoe fout deze formule is.



Figuur 86 Klassiek model

Wat deze functie zegt is dat naarmate de golflengte kleiner wordt, de intensiteit van het licht met die golflengte drastisch toeneemt.

Houd er ook rekening mee dat naarmate de golflengte afneemt, de energie van dit licht lineair toeneemt. $E = \frac{hc}{\lambda}$

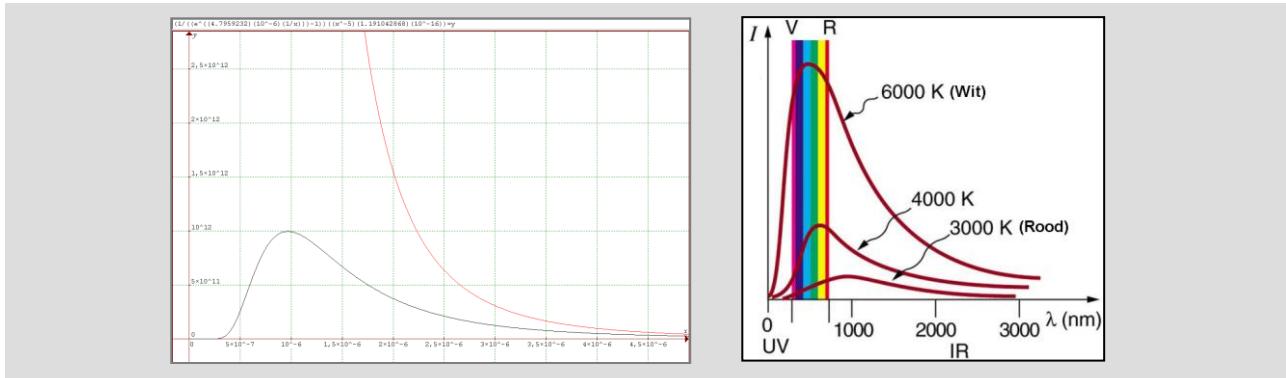
Dus wat deze functie eigenlijk zegt, is dat een object met een temperatuur van 3000 Kelvin licht zal uitstralen met een gigantische energiewaarde en een gigantische intensiteit. Deze functie heeft een horizontale asymptote. Het kost slechts een eindige hoeveelheid energie om een lichaam op te warmen tot 3000 Kelvin. Toch zou het lichaam volgens deze theorie oneindig veel lichtenergie moeten uitstoten. Deze functie is dus heel erg fout en is voor een lange tijd een onopgelost raadsel gebleven.

Tot Albert Einstein en Max Planck met de oplossing kwamen. En deze oplossing heeft uiteindelijk de deur geopend naar een onontdekte wereld, de quantummechanica. De wet van Planck ziet er dan wel iets complexer uit.

$$I = \frac{2 \frac{hc^2}{\lambda^5}}{e^{(\frac{hc}{\lambda kT})} - 1}$$

De grootheden en constanten blijven vrijwel onveranderd. Het enige dat er bij is gekomen is:
 h - De constante van Planck $6.62606957 \cdot 10^{-34}$

Nu zal ik deze functie ook plotten bij een contante temperatuur van 3000 Kelvin.

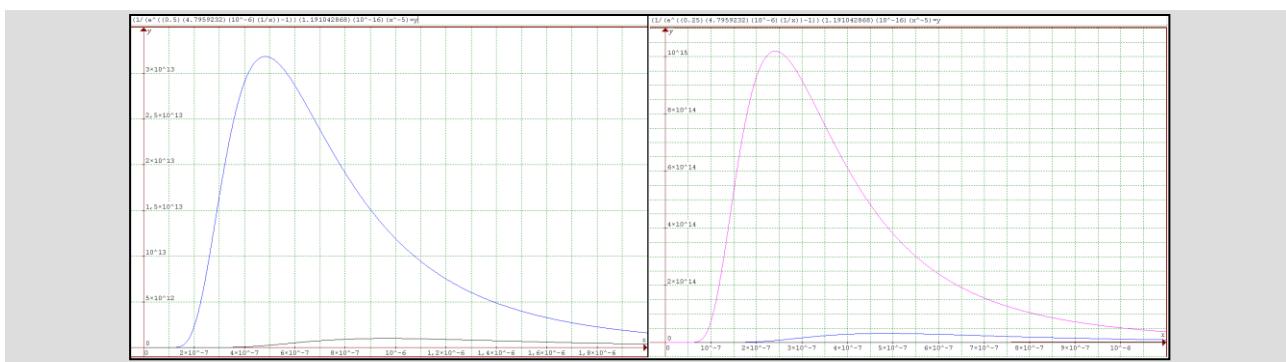


Figuur 87 Modern model

De rode functie is de voorgaande foute formule en je kan zien dat deze voor lange golflengtes wel een uitkomst kan geven dat niet zo ver van de waarheid zit. Maar voor langere golflengtes is deze dus zeker en vast onjuist.

Ik heb er naast ook een foto gezet die ik van het internet heb gehaald. Daarop zie je drie uitgewerkte curves staan voor 3 verschillende temperaturen. Op die figuur kan je zien dat de curve voor 3000 Kelvin zijn maximum bereikt bij ongeveer 1000 nm of 10^{-6} m. En dit komt perfect overeen met de waarbij mijn grafiek zijn maximum bereikt.

Dit maximum duidt dus op de golflengte die het meest intens wordt uitgestoten bij een bepaalde temperatuur. Nu zal ik proberen een wiskunde verband te leggen tussen deze golflengte en de temperatuur van het zwarte object.



Figuur 88 Uitwerkingen

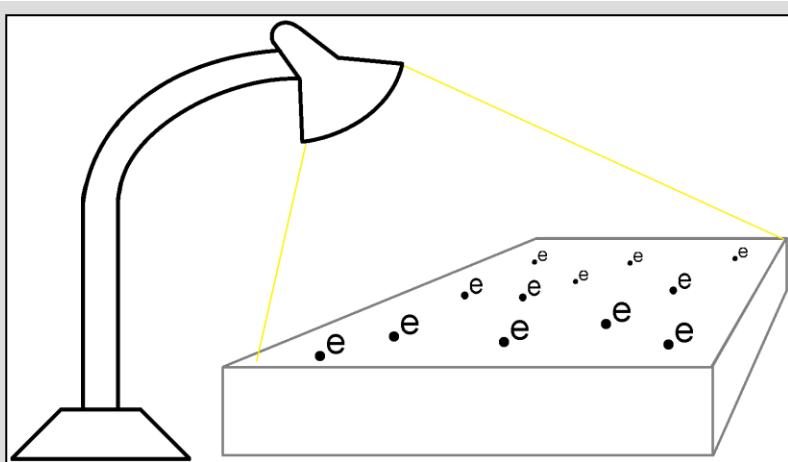
Dit zijn de grafieken voor 6000 Kelvin en 12000 Kelvin. Al deze grafieken zijn dus duidelijk gelijkvormig zolang de assen juist zijn aangepast. Maar wat eigenaardig is de functiewaarde waarbij de top bereikt wordt. Bij 3000 Kelvin was deze net niet 1000 nm. Bij 6000 Kelvin is dit net niet 500 nm. En bij 12000 Kelvin is dit net geen 250 nm. We kunnen dus in het algemeen het volgende verband leggen.

$$\lambda_{max} \sim \frac{1}{T} \text{ of } \lambda_{max} = \frac{1}{T} \text{ cst} \quad \text{Deze constante heeft dan een waarde van: } 2.9 \cdot 10^{-3} [\text{Km}]$$

9.12 Foto-elektrisch effect

Nu hebben we gezien dat licht ontstaat door elektronen die van elektronenschill veranderen. En deze elektronenschillen hebben vaste energiewaarden. Een gevolg daaruit was dat alle elementen vaste golflengtes licht uitstoten. We zijn erin geslaagd de intensiteit waarmee een heet lichaam deze golflengtes uitstoot wiskundig te beschrijven. Maar hiervoor moesten we aannemen dat dit lichaam alle golflengtes kan uitstoten en moesten we deze vaste golflengtes en zwarte lijnen dus negeren.

Dit zijn de feiten die de aanleiding gaven tot de kwantumfysica. Einstein geloofde dat licht deeltjes waren, hij noemde ze 'fotonen'. En dit wou hij proberen te bewijzen met het foto-elektrisch effect. Het experiment gaat als volgt:



Figuur 89 Lamp op metalen plaat

Stel we hebben een metalen plaat, deze plaat bestaat dan uiteraard uit metaal atomen. Bij metalen zijn niet alle elektronen sterk gebonden. Enkele elektronen zitten vrij los (dit fenomeen heb in groter detail in mijn pre-GIP beschreven). De elektronen zitten los maar het kost nog steeds energie om ze helemaal uit de metalen plaat los te rukken. Als dit geen energie zou kosten zouden ze er gewoon vanzelf uitkomen maar dit is dus niet het geval. Het is al voor een lange tijd geweten dat licht energie bezit, of je licht nu voorstelt als golf of als deeltje.

Zou het dus theoretisch mogelijk zijn om deze elektronen uit de plaat te krijgen door er simpelweg licht op te schijnen? Beide de golftheorie en de deeltjestheorie voorspelde van wel. Maar op verschillende manieren.

De golventheorie voorspelt dat elektronen sowieso zullen loskomen zolang de intensiteit van het licht sterk genoeg is. Volgens de golventheorie is dit dus onafhankelijk van de golflengte van het licht. De golven theorie voorspelt ook dat naarmate de golflengte vergroot dat het aantal elektronen dat wordt uitgestoten door de metalen plaat vergroot. En als de intensiteit vergroot boven de minimum intensiteit die nodig is zullen de elektronen met een grotere kinetische energie (snelheid) van de plaat wegvliegen.

Maar dit is niet wat er in de praktijk gebeurde. Als je bijvoorbeeld rood licht (licht met een lage energie) op de metalen plaat schijnt dan komen er helemaal geen elektronen vrij. Als je er groen licht (licht met een hogere energie) op schijnt wel. En als je er blauw licht (licht met nog een hogere energie) op schijnt dan komen er raar genoeg evenveel elektronen van de plaat maar ze worden er afgeschoten met een hogere kinetische energie. Deze kinetische energie zal nooit evenveel zijn als de energie die de fotonen bezitten omdat het ook een beetje energie kost om het elektron los te rukken.

$$E_K \text{ van het elektron} = E_{foton} - \varphi$$

- $E_{foton} = h f$
- φ is de energie dat het kost om een elektron los te rukken uit het metaal

En als je de intensiteit van het licht verhoogt komen er gewoon meer elektronen vrij.

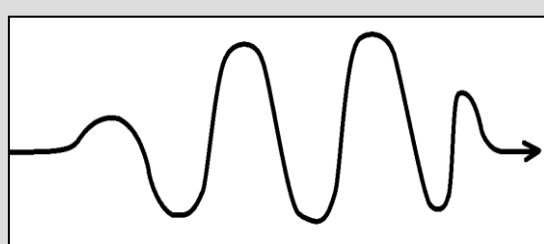
Dit duidt allemaal op het feit dat licht een deeltje is! Want die deeltjes moeten een minimale kinetische energie hebben om een groot genoeg impact op de elektronen te hebben om ze uit het metaalrooster te slaan.

Als je de intensiteit verhoogt zullen er meer fotonen op het metaal worden afgevuurd en kunnen er dus meer elektronen loskomen.

En als je de golflengte van het licht verkleint (energie verhoogt), dan hebben de individuele fotonen meer energie en kunnen ze de elektronen dus meer kinetische energie geven.

Als je licht voorstelt als een deeltje klinkt dit experiment dus zeer logisch. Maar toch hebben we hiervoor al gezien dat licht zich als een golf gedraagt. Hoe kan dit? Is licht nu een golf of niet?

Licht kan je zien als een golf en een deeltje en dit klinkt misschien raar maar eigenlijk is het veel minder complex dan het lijkt. Het verschil tussen een golf en een deeltje is ook veel kleiner dan je denkt. Sterker nog, er is geen enkele golf die niks met deeltjes te maken heeft. Een golf in de zee bijvoorbeeld bestaat uit water en water is een molecule H_2O . En dat is een deeltje!



Figuur 90 Foton

Licht is een golf in het elektromagnetische veld. Het bestaat misschien niet uit allemaal aparte kleine deeltjes maar het is een golf in de zin dat het een begin en een eind heeft. Als je een lamp laat branden dan is het licht van die lamp geen lopende golf. Het zijn allemaal aparte golven. één golf voor elk elektron dat van orbitaal verspringt. En geloof mij als ik u zeg dat dat er veel zijn. Hierboven heb ik simpelst proberen voorstellen hoe een fotoneruit ziet. Ik vind dit een prachtige manier om een foton voor te stellen omdat een foton echt letterlijk een golfpakketje is.

Als uw lichaam geraakt wordt door licht is dit dus niet door een golf die blijft lopen maar door allemaal aparte minuscule golven. De golflengte van zichtbaar licht is zo'n 300 tot 700 nanometer. Maar de lengte van een foton kan zo'n 4 meter lang zijn. Dit betekent dat als een foton van uw computerscherm net uw oog betreedt dat het ook nog op dat moment uitgezonden wordt door uw computerscherm. Het lijkt dus een beetje raar om deze fotonen als deeltjes te zien als ze zo lang kunnen zijn. Maar houd er rekening mee dat licht echt verschrikkelijk snel gaat! De tijd die er tussen het moment zit dat het begin van het foton uw oog raakt en de staart van het foton uw oog binnen treedt is verschrikkelijk klein.

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$
 Nu kan u zich ook afvragen, Hoe kan het dat licht alleen al een golflengte heeft? Hoe kan een foton een lengte hebben als het met de snelheid van het licht gaat? Bij relativiteit hebben we gezien dat dingen in onze realiteit comprimeren naar gelang ze de snelheid van het licht benaderen.

De reden dat licht toch een golflengte heeft is omdat deze wet enkel geldt voor materie en dingen die een versnelling kunnen ondergaan. Licht gaat altijd aan dezelfde snelheid, het versnelt niet.

De fotonen moeten dus een impact hebben op de elektronen. Ze moeten dus een hoog genoeg momentum hebben om ze los te krijgen. Maar hoe kunnen fotonen een momentum hebben als ze geen massa hebben? De formule voor het momentum van een massa die in beweging is gaat als volgt:

$$p = m v$$

'p' is hier het momentum 'm' de massa van het bewegende object en 'v' de snelheid van het object. En als je dit zou invullen voor een foton dan krijg je een massa van nul maar de snelheid van het licht. Een foton zou dus volgens deze formule geen impact kunnen hebben. Maar dit komt doordat deze formule eigenlijk verkeerd is. Het is zeker en vast niet verkeerd in het hedendaags leven, maar het is niet compleet.

Bij relativiteit hebben we gezien dat een object zijn massa verhoogt naarmate het object zijn snelheid naar de snelheid van het licht nadert. Maar een foton gaat aan de snelheid van het licht! Als we zeggen dat een foton geen massa heeft betekent dat dat zijn rustmassa gelijk is aan nul, maar een foton is nooit in rust! Sterker nog een foton kan helemaal niet in rust zijn, het gaat altijd aan de snelheid van het licht. Deze formule heeft dus een relativistische correctie nodig.

$$m = m_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- m - is de totale massa van het object
- m_0 - is de rust massa van het object
- v - is de snelheid van het object
- c - is de constante snelheid van het licht

En als je dit invult voor een foton dan merk je dat de breuk oneindig uitkomt! Maar de rust massa is wel nul. De massa van het foton is dus gelijk aan nul maal oneindig. En in de wiskunde betekent dit dat de massa van een foton eender welke waarde kan hebben. Want nul maal oneindig kan elk reëel getal opleveren. De massa van een foton is dus ongekend. En ergens is dit ook logisch want er zijn zoveel verschillende kleuren licht en ver daar buiten nog zoveel soorten elektromagnetische straling. Deze zijn allemaal onder de vorm van fotonen. En deze kunnen onmogelijk allemaal dezelfde impact en massa hebben. Om het momentum van een foton te vinden zullen we dus naar specifieke golflengtes moeten kijken. Maar we kunnen de formule voor momentum nu wel al opschrijven met een relativistische correctie.

$$p = m_0 \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Als een foton zijn momentum overdraagt aan een massa dan wordt dat foton ook geabsorbeerd door die massa. Dat foton zal niet meer bestaan, het zal helemaal zijn opgenomen door de massa. Niet alleen zijn hele momentum wordt dus opgenomen maar ook al zijn energie!

Maar we kunnen dit ook anders formuleren. We kunnen ook zeggen dat het foton zijn massa is omgezet naar energie en dat deze energie is geabsorbeerd door de massa. En om de energie te berekenen die je verkrijgt als we een massa omzetten naar energie bestaat er een zeer handige en bekende formule: $E = m c^2$. De massa maal de snelheid van het licht in het kwadraat. Maar deze formule moeten we ook eerst nog relativitsch corrigeren.

$$E = m_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2$$

Hier zijn we op het eerste zicht ook niet echt iets mee want dit levert ook nul maal oneindig op. Maar we kunnen nu wel tussen de twee voorgaande formules het volgende verband leggen:

$$E = p c \rightarrow p = \frac{E}{c}$$

Maar Planck kon wel de exacte energie van een foton berekenen, waar hij gebruik maakte van een experimenteel bepaalde constante (h). Deze formule hebben we eerder ook al gezien!

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

Met deze formule en het verband tussen energie en momentum kunnen we nu een formule opstellen voor fotonen van alle verschillende golflengten.

$$p = \frac{h f}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Dit is dus het momentum dat een foton zal hebben op een massa in functie van de golflengte of de frequentie van het foton. Door te kijken vanaf welke golflengte de plaat elektronen vrijgeeft kunnen we dus berekenen hoeveel energie en momentum nodig is om er elektronen uit te slaan.

Dit was een stukje quantummechanica en de manier waarop licht gezien wordt als een foton. Nu zullen we een dieper kijkje nemen naar de elektromagnetische golf theorie van licht. Daarna zullen we de verbanden tussen deze twee proberen leggen.

9.13 Onstaan van elektromagnetische straling

Bij de quantummechanica zagen we dat fotonen (licht) ontstonden door atomen die te veel energie bezaten waardoor de elektronen tussen orbitalen versprongen en zo fotonen uitstoten.

De elektromagnetische theorie zegt dat elektromagnetische straling (licht) ontstaat door ladingen (elektronen zijn ladingen) die versnellen. Als iets vernalt, verhoogt zijn kinetische energie.

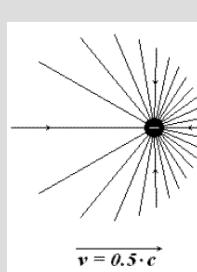
Uw arm zit vol met ladingen. Als u uw hand in een halve seconden op een neer zwaait heeft uw arm een versnelling ondergaan. Beteekt dit dat uw arm elektromagnetische straling heeft opgewekt?

Ja! We kunnen zelfs de golflengte van die elektromagnetische straling berekenen. U heeft één periode gedaan in 0.5 seconden. De golflengte van het licht is dus gewoon de afstand dat het heeft afgelegd in die tijd. Oké laten we een kijken hoeveel dat is:

$$\lambda = 0.5[\text{s}] \cdot c \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = 149\,896\,229 \text{ m}$$

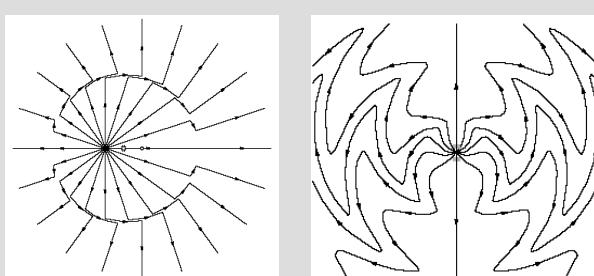
En dit is een belachelijk resultaat. De langste golflengte elektromagnetische straling dat de mens ooit gebruikt is maximaal 100 meter lang (radio). Dit is dus honderduizend keer langer! en heeft honderduizend keer minder energie dan de minst energie volle bruikbare elektromagnetische golf! Om echt detecteerbare elektromagnetische straling op te wekken moet je dus versnellingen hebben die tot miljoenen keren groter zijn dan wat u ooit met uw arm zou kunnen. Eigenlijk is dit niet echt correct want uw arm is niet geladen, in het algemeen is hij neutraal. Maar met een geladen ballon bijvoorbeeld zou dit wel echt elektromagnetische straling van deze golflengte opwekken.

Beteekt dit dat de elektronen in bijvoorbeeld een gloeilamp zo hard versnellen, want de lichtbron opzicht versnelt toch niet hij staat stil? De elektronen trillen! Warmte is trilling. En een trilling is een continue versnelling.



Figuur 91 Snelle lading

We zagen eerder al dat een lading veldlijnen heeft die recht van de lading weggaan. Wanneer een lading met een constante snelheid beweegt is dit eigenlijk bijna perfect hetzelfde als een lading die stilstaat. Tenzij dat deze lading dicht bij de snelheid van het licht beweegt. Dat zal het veld rond de lading vervormen.

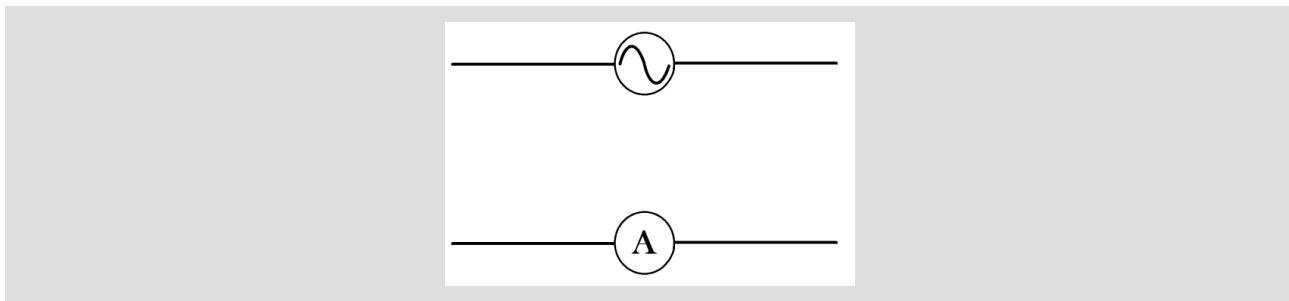


Figuur 92 Trillende lading

Wanneer een lading versnelt, zal het een soort knik na later in de veldlijnen. Als een lading trilt, zal het dus een constant sinusvormig veranderend elektrische veld uitstoten. En ook een bijkordend veranderend magnetisch veld want bewegende ladingen wekken ook een magnetisch veld op. Dit veld zal het sterkst zijn loodrecht op de richting waarin de lading trilt. En helemaal nul als je van boven kijkt op de lading die aan het trillen is.

Elektromagnetische straling dat van slechts één enkele lading komt is lineair gepolariseerd licht omdat het slecht één trillingsrichting heeft. In een gloeilamp trillen alle elektronen in willekeurige chaotische richtingen en dit is dus geen gepolariseerd licht.

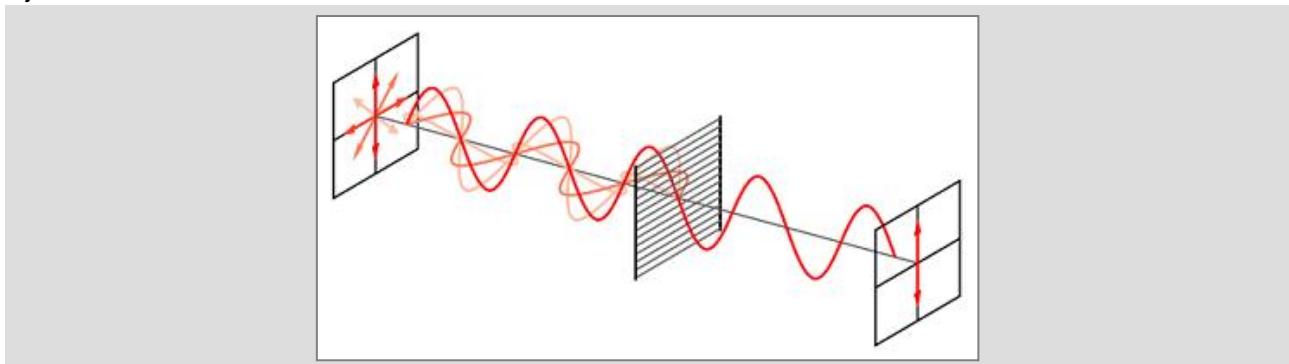
Stel ik heb een heel sterke wisselspanningsbron die een heel hoge frequentie heeft. En ik sluit deze aan tussen twee rechte eindige geleiders. Als je nu hetzelfde doet met een Ampèremeter en je houdt deze recht tegenover elkaar, dan zal de ampère meter een stroom meten. En dit is eigenlijk hoe antennes werken. De antenne met de bron er aan wekt een elektromagnetische golf op en zal de elektronen met dezelfde frequentie doen trillen in de andere antenne en zo ontstaat er een wisselstroom.



Figuur 93 Elektromagnetische communicatie

De straling die van de antenne komt is ook lineair gepolariseerd. Ik denk dat u zelf wel kan raden in welke richting. Als je de antenne met de ampère meter 90° zou draaien zodat het loodrecht op de andere antenne staat zal je geen stroom meer meten. Als je de twee antennes op één rechte lijn legt zonder dat ze elkaar aanraken zal je ook geen stroom meten. Dat is een gevolg van wat we hiervoor net hebben gezien.

Als je chaotisch ongepolariseerd licht door een polarisatiefilter schijnt zal er slechts een bepaalde hoeveelheid licht doorgaan. Het licht dat er doorheen gaat zal bijna perfect lineair gepolariseerd zijn.

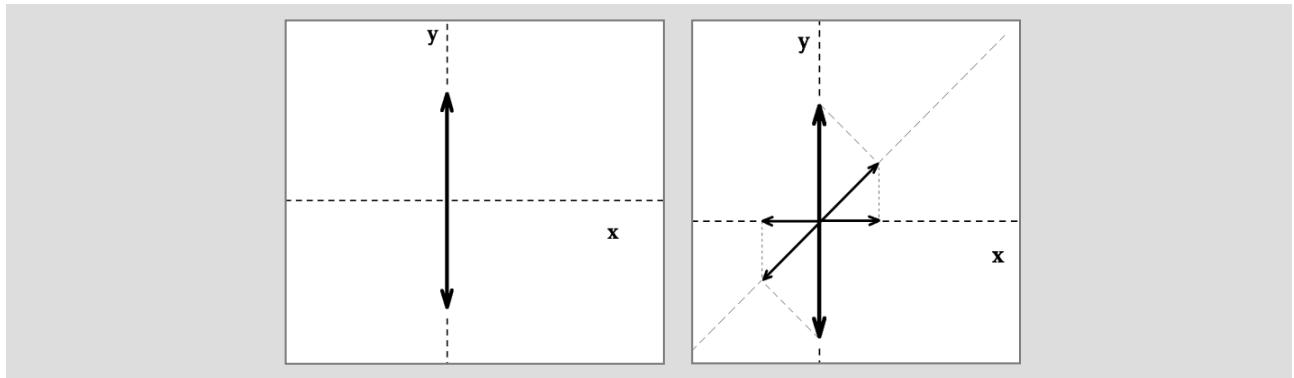


Figuur 94 Polarisatie

Polarisatiefilters zijn eigenlijk gewoon een stuk glas of plastiek met lange organische geleidende moleculen in. Chaotisch ongepolariseerd licht is elektromagnetische straling waarvan het elektrische veld in alle willekeurige richting (loodrecht op de voortplantingsrichting) trilt. Alle trillingen die parallel zijn met de geleidende lijnen in de polarisatiefilter zullen de elektronen in de geleidende moleculen doen trillen. Hierdoor zal er een kleine stroom ontstaan in die geleidende lijnen. Stroom is een vorm van energie, de energie van het licht zal dus omgezet worden in stroom. Het licht wordt dus met andere woorden geabsorbeerd.

als je een elektromagnetische golf hebt die niet parallel met de geleidende lijnen is maar ook niet loodrecht er op (schuin met andere woorden), dan zal slechts een deel van die golf geabsorbeerd worden en een deel er door gaan. Je kan deze golven dus eigenlijk opsplitsen in horizontale en verticale componenten (net zoals je met krachten kan doen). Een perfecte polarisatiefilter zou dus exact 50% van het licht doorlaten. En dit licht zal dan perfect volgens één trilrichting zijn.

Het is een veel voorkomende misconceptie dat de trilling richting parallel met de geleidende lijnen er door zou kunnen geraken en de andere richting niet. Omdat die tussen de geleidende lijnen zou moeten kunnen trillen maar dit is dus fout.



Figuur 95 3 Polarisators

Als je twee polarisatiefilters loodrecht op elkaar zet is het dus ook een vrij logisch gevolg dat er helemaal geen licht meer zal door gaan. In de tekening hierboven stellen de dubbele pijlen de trillingsrichting van de elektromagnetische golven voor. Als je een gepolariseerde golf hebt in de 'y' richting en je zet er loodrecht een tweede filter op dat moet je de trillingsvector projecteren op de x-as. Dit levert dus nul op en dus ook geen licht.

Wat heel eigenaardig is, is als je nog een derde polarisatiefilter tussen de twee loodrechte polarisatie filters plaatst 45° t.o.v. de twee andere filters. Want dan zal er opeens wel weer licht door komen. De eerste keer dat ik dit zag kon ik mijn ogen niet geloven. Maar als je dit achteraf theoretisch bekijkt is het eigenlijk nog vrij logisch.

We kunnen zelfs met simpele goniometrie berekenen hoe groot de intensiteit zal zijn van het licht dat door de polarisatiefilter gaat.

- Het gaat door de eerst polarisatiefilter en de intensiteit is sowieso al gehalveerd (1/2).

- Dan wordt het onder 45° geprojecteerd. Dit is dus de overgang van de lange zijde naar de korte zijde van een gelijkbenige rechthoekige driehoek. $\frac{1}{2} = \sqrt{x^2 + x^2} \rightarrow x = \frac{1}{\sqrt{2}}$

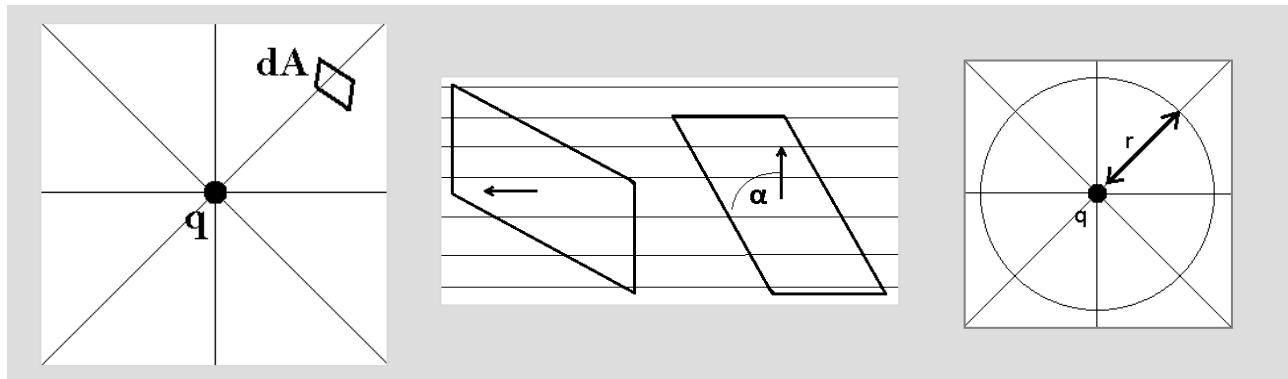
- En nu moeten we gewoon nog een hetzelfde doen en we bekomen dat één vierde van de intensiteit door de drie polarisatie filter zal gaan.

10 De wetten van Maxwell

James Clerk Maxwell was een Schotse fysicus uit de 19de eeuw. Naar hem zijn 4 wetten vernoemd die de fundering van de elektromagnetische theorie zijn. Hij heeft slechts één van deze wetten zelf bedacht maar dit is dan ook wel de meest revolutionaire wet van de 4. Deze 4 wetten samen kunnen alle elektromagnetische fenomenen verklaren. De grote doorbraak was ook dat de wet van Maxwell zelf voor het eerst wiskundig het bestaan van elektromagnetische golven voorspeld heeft zonder dat deze al ontdekt waren.

10.1 De wet van Gauss

Om de formules van Maxwell te begrijpen moeten we het eerst hebben over het begrip 'flux'. Flux is de sterkte van een elektrisch veld in een bepaalde oppervlakte.



Figuur 96 Gauss

De flux in een oneindig kleine vlakke oppervlakte 'dA' berekenen we zo: $d\phi = E \cdot dA \cos \alpha$
'E' is hier het elektrisch veld en we weten nog hoe we dit berekenen: $E = \frac{q}{4\pi r^2 \epsilon_0}$

De 'cos α ' heeft te maken hoe het vlak geïndiceerd is t.o.v. de lading. Het is de hoek tussen de veldlijnen van de lading en de normaalvectoren van het vlak.

Stel nu dat we een lading in een denkbeeldige bol hebben. Als je deze denkbeeldige bol opdeelt in oneindig veel oneindig kleine oppervlaktes 'dA' dan zal je merken dat al deze oppervlaktes loodrecht op de veldlijnen van de lading staan. Hierdoor valt de 'cos α ' term weg. We kunnen de flux in deze bolle oppervlakte als volgt berekenen: $\phi_E = E \cdot 4\pi r^2$

En dit kunnen we vereenvoudigen door 'E' in te vullen: $\phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$

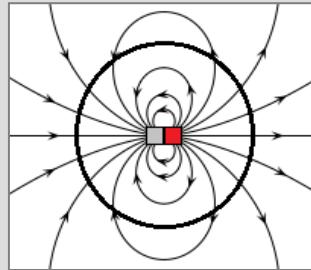
Hier zie je dus dat de flux in een gesloten oppervlak rond een lading onafhankelijk van de vorm of het volume van het gesloten oppervlak is! Het enige dat een invloed heeft is de totale lading in het gesloten oppervlak en de eigenschappen van het medium.

$$\phi_E = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{\Sigma q}{\epsilon_0} \quad \text{Dit is de } \underline{\text{wet van Gauss}} \text{ en de } \underline{1^{\text{ste}}} \text{ wet van Maxwell.}$$

10.2 De magnetische wet van Gauss

Magnetische flux is heel gelijkaardig aan elektrische flux. De manier waarop we er aan komen is ook hetzelfde als bij elektrische flux, dit zal ik dus overslaan. In plaats daarvan zal ik gewoon de 2^{de} wet geven en verklaren wat dit betekent.

$$\varphi_B = \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$



Figuur 97 Gauss magneet

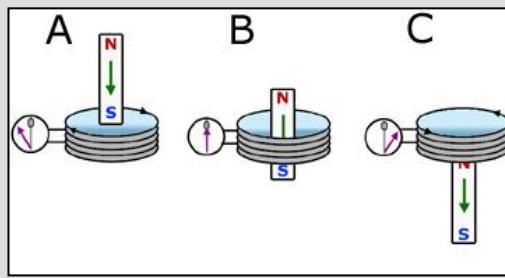
Wat deze formule zegt is dat de totale magnetische flux in een gesloten oppervlak rond een magneet altijd gelijk is aan nul. De enige voorwaarde is dat deze magneet zich volledig in dit gesloten oppervlak moet bevinden. Dit is trouwens ook een voorwaarde bij elektrische flux.

Stel dat je een negatieve en positieve lading in zo'n gesloten oppervlak hebt van dezelfde waarde, het enige verschil is dus dat de ene negatief is en de andere positief is, dan zal de totale flux in dat gesloten oppervlak ook gelijk zijn aan nul want de positieve en negatieve flux zullen elkaar opheffen.

Hiermee kan je een magneet dus vergelijken: de flux van de noord- en zuidpool zullen elkaar opheffen. Zoals we zagen in het hoofdstuk 'magnetisme' kan je nooit een noord- of zuidpool apart hebben, ze komen altijd in paren. Je kan dit ook met veldlijnen bekijken, het aantal veldlijnen dat uit het gesloten oppervlak komt, is altijd gelijk aan het aantal veldlijnen dat erin gaat onafhankelijk van de vorm van het gesloten oppervlak rond de magneet.

Dit is de 2^{de} wet van Maxwell en is afgeleid uit de wet van Gauss.

10.3 De wet van Faraday



Figuur 98 Faraday

Zoals we eerder al zagen in het hoofdstuk elektromagnetisme: als je een magneet heen en weer beweegt in een ringvormige geleider of spoel dan zal er een stroom in die geleider ontstaan. Elektriciteit is een vorm van energie, dit betekent dat een bepaalde hoeveelheid van de kinetische (bewegings) energie van de magneet omgezet zal worden in een stroom.

De magneet zal dus arbeid moeten leveren. $w = F \Delta s$

Dit betekent dat er bij het verplaatsen van de magneet (Δs) een extra kracht op de magneet zal inwerken (F). Het zal dus met andere woorden moeilijker zijn om deze magneet in deze ring te bewegen.

De stroomzin zal zodanig gericht zijn dat het een magnetisch veld opwekt dat tegengesteld is aan dat van de magneet. Zo zal de magneet dus worden afgestoten. Newton had gelijk! Actie en reactie! Wanneer u de actie ondergaat een magneet in een spoel te bewegen zal die spoel een reactie geven en een kracht op uw magneet leveren.

Zoals we ook eerder al zagen is de stroom afhankelijk van de spanning (het potentiaalverschil in de ring) en de weerstand (van de ring). Deze weerstand kennen we helemaal niet. Om dit in een formule te gieten moeten we dus werken met het potentiaalverschil in de ring.

Deze spanning wordt de EMK genoemd. Laat ons eerst nog een beetje dieper ingaan op wat 'spanning' precies is.

Zoals we eerder al zagen kunnen we berekenen hoeveel arbeid het kost om een lading (q) van oneindig ver tot een bepaalde afstand bij een andere lading (Q) te brengen. $W = \frac{Q q}{4\pi r \epsilon_0}$

Spanning is de elektrische potentiële energie van de lading (q). Het is dus de arbeid in functie van de waarde van die lading (q). Potentiële energie heeft dezelfde waarde als de arbeid maar is tegengesteld van teken. Als iets potentiële energie heeft kan je er energie uithalen maar om iets potentiële energie te geven moet je er energie insteken, dus een arbeid leveren.

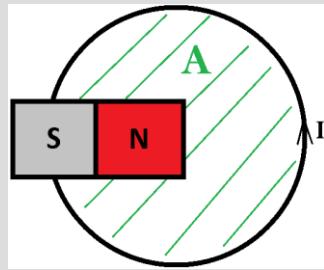
$$U = \frac{Q}{4\pi r \epsilon_0} \text{ In Volt [V] maar dus ook in energie per lading } [\frac{J}{C}]$$

We weten ook de formule voor het elektrisch veld rond een lading (Q): $E = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0}$

We kunnen dus het volgende verband leggen.

$$U = E r \quad \text{of} \quad E = \frac{U}{r}$$

Dit betekent dat we 'E' zijn eenheden niet alleen als [N/C] kunnen schrijven maar ook als [V/m]. Als je denkt aan spanning dan denk je waarschijnlijk aan een geleider die aan de ene kant verbonden is met een positieve lading en aan de andere kant met een negatieve lading waardoor er een elektrisch potentiaal is tussen die twee punten.



Figuur 99 Faraday 2

Maar stel nu dat je dit bij een echte ring doet dan zal er ook een stroom in die ring ontstaan. Maar tussen welke twee punten is dan het potentiaalverschil? Je kan deze ring ook als een geleider beschouwen waarvan de twee punten aan elkaar geplakt zijn. De enige voorwaarde voor de twee punten waartussen het potentiaalverschil heerst, is dus dat ze oneindig dicht bij elkaar liggen. Dit kunnen we wiskundig formuleren als:

$$U = E \cdot dl$$

Dit is dus het potentiaalverschil tussen twee willekeurige punten op de ring die oneindig dicht bij elkaar liggen op een afstand (dl). Deze spanning wordt ook de EMK genoemd.

Om de EMK te weten over de hele ring moeten we dit integreren over de gesloten ring.

$$EMK = \oint E \cdot dl$$

Dit is ook een scalair product omdat dit ook moet kloppen voor figuren waar de lus niet overal in dezelfde richting als het elektrisch veld is gericht. Hier moesten we bij een perfecte ring geen rekening mee houden.

Zoals ik eerder al zei zal dit elektrisch veld opgewekt worden door de magneet die beweegt. Bij de tweede wet van Maxwell zagen we dat de flux in een gesloten oppervlak constant (nul) was onder de voorwaarde dat de magneet binnen dit gesloten oppervlak bleef. Als we hier het oppervlak 'A' als een deel van dit gesloten oppervlak beschouwen dan zijn we eigenlijk de voorwaarden van de tweede wet van Maxwell aan het verbreken. Hier houdt die wet dus geen stand. Met andere woorden, hier krijgen we geen constante flux maar een fluxverandering.

$$\varphi_B = \oint B \cdot dA$$

De flux is hier dus rechtevenredig met de oppervlakte van 'A' (het oppervlak tussen de ring) en het magnetische veld in dat oppervlak. Maar hier zijn we niet veel mee want dit is enkel voor wanneer we de magneet stilstaan, en zo zal er geen EMK worden opgewekt in de ring.

$$\frac{d\varphi_B}{dt} = \frac{d}{dt} \oint B \cdot dA = -EMK$$

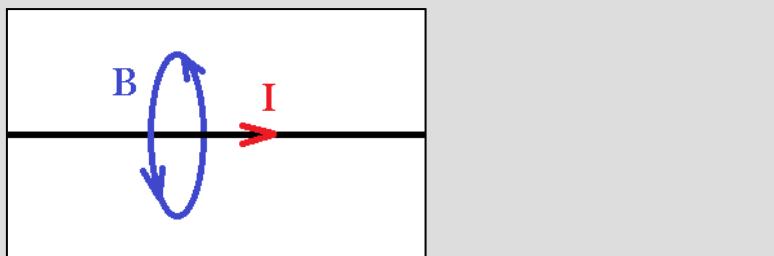
Als we de magnetische flux afleiden t.o.v. de tijdsverloop dan verkrijgen fluxverandering in functie van de tijd. We moeten dus de fluxverandering in functie van de tijd in het oppervlak 'A' berekenen. En dit is het enige dat een invloed kan hebben, dus dit is wat de EMK opwekt! Het minteken staat voor het feit dat de EMK een reactie op de fluxverandering is!

$$EMK = \frac{-d\varphi_B}{dt} = \frac{-d}{dt} \oint B \cdot dA = \oint E \cdot dl$$

Dit is de **3^{de}** wet van Maxwell in zijn meest volledige vorm. Meestal worden enkel het verband tussen het magnetische veld en het elektrische veld weergegeven zonder dat de EMK hierbij wordt betrokken omdat je helemaal geen geleidende ring nodig hebt om een elektrisch veld op te wekken.

10.4 De wet van Ampère

De vorige formules gaven duidelijk weer hoe een veranderend magnetisch veld een elektrisch veld kan opwekken. Het is dus vrij logisch dat een veranderend elektrisch veld ook een magnetisch veld kan opwekken. De formules om dit te beschrijven werden voor het eerst samengesteld door André-Marie Ampère en eigenlijk heb ik die al eerder gebruikt in mijn GIP, ook al heb ik dat niet echt vermeld.



Figuur 100 Ampère

Rond een stroomvoerende geleider (een veranderend elektrisch veld) ontstaat een cirkelvormig magnetisch veld. Als we aannemen dat de geleider geen diameter heeft kunnen we het

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

magnetisch veld rond de geleider met volgende formule beschrijven:

$$2\pi r B = \mu_0 I$$

Merk op dat de '2πr' gewoon de omtrek is van de denkbeeldige cirkel die je op een bepaalde afstand rond de geleider trekt. Op een meer fundamentele manier kunnen we deze formule dus als volgt opschrijven:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \Sigma(I)$$

Dit is de wet van Ampère.

Het sommeringsteken wordt er vaak niet bij geschreven, de enige functie van dit teken is om deze formule ook te laten kloppen als we dit toepassen op meerdere stroomvoerende geleiders in één keer.

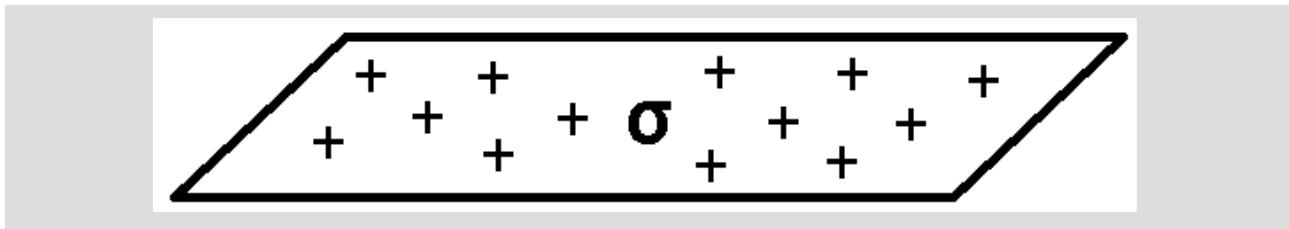
We hebben nu 4 wetten gezien, tot nu toe heeft geen enkele van deze vier wetten iets met Maxwell te maken. Ik heb ook gezegd dat deze laatste wet het bestaan van elektromagnetische golven zou voorspellen. Tot nu toe ziet dit er gewoon uit als een wet die het magnetisch veld rond bewegende ladingen beschrijft.

Dit komt doordat de wet van Ampère niet af is, hij is wel juist maar niet compleet. En dit is wat James Clerk Maxwell heeft opgelost. Hij heeft deze laatste formule voltooid. Dit lijkt op het eerste zicht niet zo indrukwekkend maar toch was zijn werk cruciaal voor de hele elektromagnetische theorie.

Om dit te begrijpen zullen we een kijkje nemen naar condensatoren. Een condensator is een veel gebruikte elektrische en elektronische component maar wij zullen ons beperken tot de fysica die er achter zit en we zullen zien waarom een condensator een voorbeeld is van waar de wet van Ampère niet echt meer werkt. Want dit is wat we willen bereiken, een reeks wetten die overall 'werken'.

Een condensator bestaat eigenlijk gewoon uit twee geleidende oppervlakken die met een isolator uit elkaar gehouden worden. Deze twee oppervlakken zullen geladen worden (de ene negatief de andere positief). Condensatoren als elektronische component worden gewoon opgerold en in een behuizing geplaatst, hierdoor merk je dat het gewoon twee grote geleidende oppervlakken zijn.

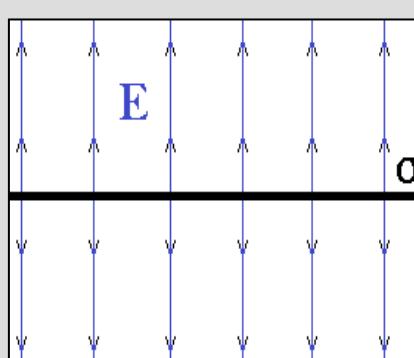
Maar wij zullen het ons dus een pak simpeler voorstellen om alles wiskundig te kunnen beschrijven.



Figuur 101 Grote positieve plaat

Stel we hebben één geleidende plaat, we houden geen rekening met de dikte van de plaat en we zeggen ook dat deze plaat theoretisch oneindig groot is.

We brengen een ladingsdichtheid $\sigma \left[\frac{C}{m^2} \right]$ op deze plaat en laat ons nu aannemen dat die positief is. Dan kan je deze plaat theoretisch ook beschouwen alsof het gewoon allemaal elektrische ladingen zijn die één oneindig grote oppervlakte vormen. En ook al is dit niet echt meteen voor de hand liggend en moeilijk te illustreren, het elektrische veld rond deze plaat zal perfect loodrecht op de plaat staan.



Figuur 102 Elektrische veld rond plaat

In tegenstelling tot een gewone lading waar het elektrisch veld in alle richtingen beïnvloed wordt, zal dit nu enkel in de richting loodrecht op de plaat zijn. Dit komt doordat alle veldlijnen die niet loodrecht op de plaat staan, zullen opgehoven worden door veldlijnen van andere ladingen die ook deels verticaal op de plaat staan maar in de andere richting.

En wat nog eigenaardiger is, is dat het elektrische veld niet zal afnemen naarmate je verder weg van de plaat verwijderd bent. Ergens is dit logisch want zoals ik al zei, de plaat is oneindig groot. De verhouding tussen de grootte van de plaat en de afstand dat jij er van verwijderd bent blijft dus constant.

Met andere woorden, het elektrische veld boven en onder deze plaat in elk punt in de ruimte is dus gelijk. Dit zal niet oneindig zijn want ook al hebben we hier theoretisch aangenomen dat er oneindig veel lading op deze plaat zit, de ladingsdichtheid is nog steeds een eindige hoeveelheid.

De waarde van dit elektrische veld rond deze condensator kunnen we (met een beetje verbeelding) berekenen met de wet van Gauss.

$$\varphi_E = \oint E \cdot dA = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$$

We hebben al gezegd dat de oppervlakte 'A' oneindig groot is. Als we dus een gesloten oppervlak willen maken rond deze plaat zal deze dus ook oneindig groot moeten zijn. En omdat de ladingsdichtheid ' σ ' een eindige waarde heeft zal de totale lading ' $\sum q$ ' van de plaat ook oneindig groot zijn.

We kunnen sowieso al stellen dat $\sum q = \sigma A$

Want de lading is de ladingsdichtheid (of de lading per oppervlak) maal de grootte van het oppervlak is uiteraard de totale lading.

Om de integraal te berekenen moeten we een gesloten oppervlak rond de plaat maken dat dus heel de plaat omvat. Eigenlijk vragen we ons dus af wat de totale oppervlakte van deze plaat is. Dit zal niet 'A' zijn maar '2A' omdat je rekening moet houden met het feit dat de plaat twee zijden heeft. Je zou denken dat de dikte van deze plaat ook een oppervlak heeft en dat die daarom ook een invloed zou hebben maar ik zei eerder al dat we hier geen rekening mee moeten houden en dit is omdat deze zij-oppervlaktes parallel zijn met de elektrische veldlijnen. De flux of elektrische veld dichtheid is hier dus nul, dit is een gevolg uit het scalair product (de $\cos\alpha$ waar we de wet van Gauss hebben uit afgeleid). We kunnen in dit geval het linkergedeelte van de wet van Gauss dus ook herschrijven:

$$\oint E \cdot dA = E \cdot 2A$$

Hier is 'A' dus de oppervlakte van één van de zijden van de plaat.

Als we de laatste uitwerking nu samenbrengen krijgen we:

$$E \cdot 2A = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

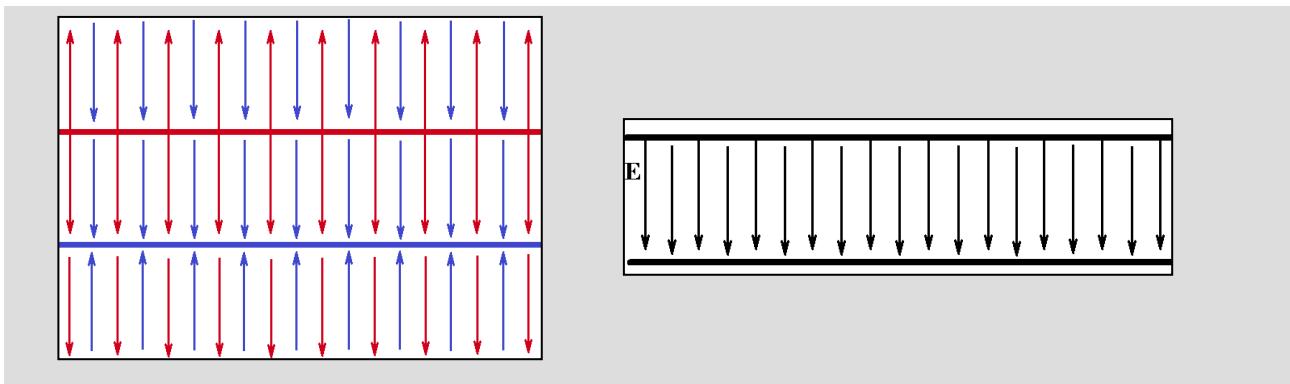
Om het elektrisch veld te bekomen moeten we dus enkel nog de '2A' factor van de linkerkant naar de rechterkant brengen, dan merk je dat we de oneindig grote oppervlakte kunnen schrappen.

We bekomen:

$$E = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0}$$

En deze formule beschrijft dus het elektrische veld rond de plaat op elke plaats in de ruimte en zoals u kan zien en ik eerder al zei, dit is helemaal onafhankelijk van de positie in die ruimte. Het is enkel en alleen afhankelijk van de ladingsdichtheid op die plaat.

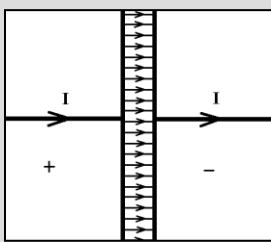
De reden dat we aannemen dat de plaat oneindig groot is, is dus om dit simpel resultaat te bekomen, anders zou deze formule een pak complexer worden.



Figuur 103 Twee platen

Stel nu dat we twee van deze oneindig grote platen tegenover elkaar plaatsen op een afstand (die dus niet van belang is). De ene is positief geladen en de andere negatief (met dezelfde absolute waarde), bij de ene gaan de veldlijnen dus weg van de plaat en bij de andere gaan ze er naartoe. Als we deze twee velden over elkaar plaatsen dan merken we dat de elektrisch velden tussen de twee platen in dezelfde richting zijn en het elektrische veld buiten de platen tegengesteld zijn (deze zullen elkaar dus opheffen).

We kunnen hier onze voorgaande formule op toe passen en we besluiten dus dat er geen elektrisch veld is buiten de platen en dat het elektrische veld binnen de platen gewoon dubbel zo groot zal zijn als bij een enkele plaat. $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$



Figuur 104 Opladende plaat

Stel we plaatsen nu zo een condensator tussen twee stroomvoerende geleiders parallel over een elektrische energiebron. In de geleiders loop een constante stroom 'I'. Tussen de platen kan onmogelijk een stroom vloeien want een stroom is een verplaatsing van elektronen en de elektronen zullen niet van de ene plaat naar de andere springen. Er is dus een constante stroom in de positieve geleider omdat die elektronen uit de plaat trekt en naar de bron verplaatst. En er is een stroom in de negatieve geleider omdat die elektronen van de bron in de plaat duwt. De conventionele stroom is wel in de omgekeerde zin. Het elektrische veld tussen de platen wordt dus steeds groter met de tijd en de plaat is met andere woorden aan het opladen.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r} \quad \text{Door de wet van Ampère weten we al dat er rond de geleiders een magnetisch veld zal zijn. En deze kunnen we dus ook berekenen.}$$

Als we de wet van Ampère proberen toepassen tussen de platen dan bekomen we dat het magnetisch veld daar nul is. Volgens de wet van Amère is er helemaal geen magnetisch veld tussen de platen. En dit klopt niet! Er zal wel degelijk een magnetisch veld tussen de platen zijn. Want tussen de platen in is er een veranderend (vergrotend) elektrisch veld.

We moeten dus een manier zien te vinden om de wet van Ampère aan te passen zodat we hem ook kunnen toepassen op gevallen als deze.

Stroom is per definitie ladingsverplaatsing. De eenheid Ampère is zelfs gelijk aan Coulomb per tijdseenheid. $[A = \frac{C}{t}]$

In het algemeen kunnen we dus het volgende stellen:

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Hiermee kunnen we een deel van de wet van Ampère al herschrijven

$$\mu_0 I = \mu_0 \frac{dQ}{dt}$$

We moeten ook nog enkele wiskundige magietrukjes toepassen om aan ons antwoord te komen:

$$\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0} \mu_0 \frac{dQ}{dt} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{d}{dt} \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

Ik heb er gewoon een breuk bij geplaatst die zichzelf opheft en dan heb ik deze herschreven. Maar bij de wet van Gauss voor elektrische flux zagen we het volgende:

$$\varphi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

En dit is hetzelfde als dat achter onze afgeleider staat. Een kleine 'q' staat eigenlijk voor een test lading of een denkbeeldige lading. Terwijl 'Q' gewoon ladingswaarde is, iets fundamenteel dus en daarom in dit geval beter. Maar het komt exact op hetzelfde neer en dus kunnen we nu de wet van Ampère in functie van de fluxverandering schrijven:

$$\mu_0 I = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{d}{dt} \varphi_E = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{d \varphi_E}{dt}$$

En dit is het eerste dat Maxwell gedaan heeft want dit is de oplossing voor ons probleem. We moeten deze term gewoon optellen bij de wet van Ampère en dan verkrijgen we een formule die voor beide gevallen werkt.

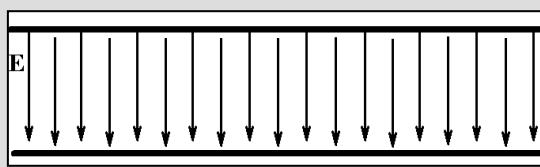
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{d \varphi_E}{dt}$$

Dit is de **4^{de}** wet van Maxwell.

Als we deze formule nu toepassen op ons experiment met de condensator. Als je met deze formule het magnetische veld rond één van de geleiders probeert te berekenen dan zal je merken dat de rechterkant van deze formule nul oplevert. En dat je dus eigenlijk gewoon de wet van ampère toepast. En als je het probeert toe te passen tussen de condensator dan wordt de linkerkant nul want tussen de condensator vloeit geen stroom.

Uit deze formule heeft Maxwell het bestaan van elektromagnetische golven afgeleid en hun snelheid berekend zonder dat ze al ontdekt waren. Uiteraard was licht al ontdekt maar de link tussen de elektromagnetische theorie en licht zelf was onbekend. Maar om te begrijpen hoe Maxwell hier is op gekomen moeten we eerst een kijkje nemen naar de wiskunde van golfvergelijkingen.

Eerst ga ik afleiden hoe je de energiedichtheid kan berekenen van een elektrisch veld. Hiervoor gaan we weer gebruik maken van onze condensator. Deze keer is hij niet aan het opladen. Het is gewoon een opgeladen condensator en we gebruiken het omdat het ons een simpel elektrisch veld geeft waar we makkelijk mee kunnen rekenen.



Figuur 105 Elektrisch veld tussen platen

We weten al wat het elektrische veld in onze condensator is.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Laat mij er u nog even aan herinneren dat de ladingsdichtheid ' σ ' per definitie de totale lading van de plaat gedeeld door de oppervlakte van de plaat is. Deze zijn beide oneindig maar de breuk van de twee levert dus een reële waarde op.

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad \text{of} \quad Q = \sigma A$$

Omdat de platen oneindig groot zijn zal er een constante kracht op beide deze platen inwerken onafhankelijk van de afstand tussen de twee platen. Deze kracht is het gevolg van het feit dat de ene negatief geladen is en de andere positief. We kunnen deze kracht ook berekenen met onze voorgaande kennis van elektrische ladingen. Het elektrische veld van één plaat is half zo groot als die tussen de platen.

$$F = E \cdot Q \rightarrow F = \frac{1}{2} \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sigma A \rightarrow F = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2 A}{\epsilon_0} \rightarrow F = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{\epsilon_0 A}$$

Als ik deze platen nu van elkaar weg verplaats over een afstand Δs dan heb ik arbeid geleverd.

$$W = F \Delta s = \frac{1}{2} \frac{Q^2 \Delta s}{\epsilon_0 A}$$

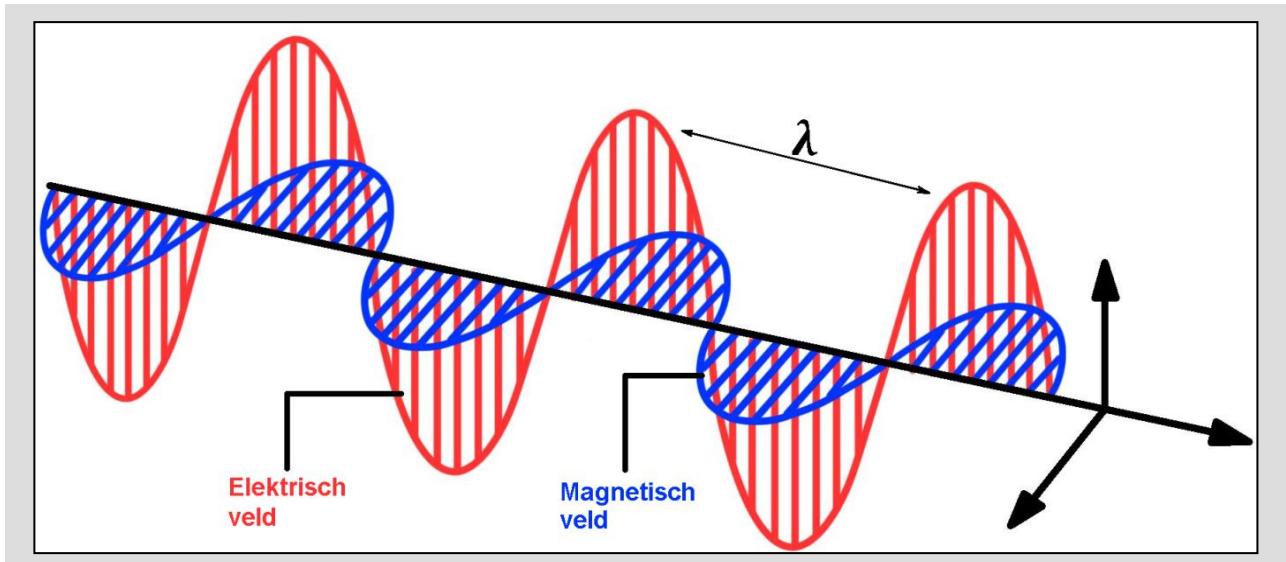
Maar we zoeken de (elektrische) energie dichtheid.

$$\mu_E = \frac{W}{V} \quad \text{met} \quad V = A \Delta s$$

$$\mu_E = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{\epsilon_0 A^2} = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{\epsilon_0} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

Er bestaat ook een formule voor de Energie dichtheid in een elektrisch veld. Dit bewijs zal ik niet overlopen want eigenlijk kunnen we deze ook uit de symmetrie van elektriciteit en magnetisme afleiden:

$$\mu_B = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$



Figuur 106 EM golf

Een veranderlijk elektrisch veld wekt een magnetisch veld op en omgekeerd. Licht is een elektromagnetische golf. Er bestaat niet zo iets als alleen een elektrische golf of alleen een magnetische golf. Bij een elektromagnetische golf is het elektrische veld in perfecte symmetrie met het magnetische veld. Ze wekken elkaar op en daarom kan de ene ook onmogelijk meer of minder energie dichtheid hebben dan de andere. We kunnen dus het volgende verband leggen bij een elektromagnetisch golf:

$$\mu_E = \mu_B$$

$$\frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$

$$B^2 = \varepsilon_0 \mu_0 E^2$$

De meest fundamentele manier om een golfvergelijking op te schrijven ziet er zo uit:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

Hier is 'v' de snelheid van de golf. Met dit verband heeft Maxwell de snelheid van het licht bepaald:

$$\frac{1}{v^2} = \varepsilon_0 \mu_0$$

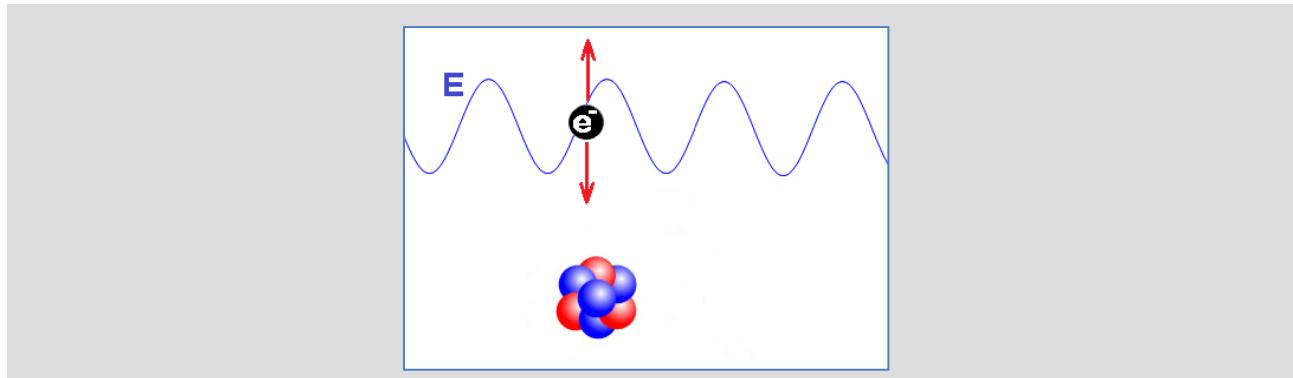
$$v = c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 299\,792\,458 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

10.5 Rayleigh scattering

Nu zal ik rayleigh scattering verklaren met de theorie die we hiervoor gezien hebben.

Stel een elektromagnetische golf gaat door enkele luchtagomen. Omdat deze lucht atomen niet echt magnetische eigenschappen hebben zal enkel het elektrische deel een invloed hebben op die atomen.

De ladingen in het atoom zullen door het elektrische veld krachten ondervinden. De kern is zwaar en heeft weinig lading in verhouding met zijn lading en zal dus zo goed als stil blijven staan. Maar de elektronen hebben een zeer grote lading in vergelijking met hun massa.



Figuur 107 Verende lading

Het elektron zal dus op en neer geslingerd worden door het veranderende elektrische veld rond het atoom. Omdat het elektron gebonden is in een atoom zal er een terugroepende kracht op het elektron zijn. Want het elektron is aangetrokken tot de kern van het atoom. En op deze manier werkt dit systeem een beetje als een massa aan een veer.

Het elektron zal dus op en neer bewegen volgen een sinus beweging.

$$x = A \sin(\omega t)$$

'x' is hier de afstand van het elektron ten opzichte van waar het elektron zich zou bevinden als het in rust zou zijn.

'A' is de maximale afstand die het elektron zal bereiken ten opzichte van zijn evenwichtstoestand. Deze zullen we trachten te berekenen.

' ω ' is hoeksnelheid en deze zal exact dezelfde zijn als de hoeksnelheid van het licht dat het atoom raakt. Want het is een gedwongen trilling! Het licht dwingt het elektron tot een bepaalde frequentie. Doordat het elektron in het atoom een versnelling ondergaat zal het zelf ook licht uitsluiten. Het licht dat het elektron uitsluit zal dus ook dezelfde frequentie (of kleur) hebben als het licht dat het doet trillen. Sommige frequenties worden gewoon sterker uitgestoten dan andere.

Dit elektron dat gebonden is aan het atoom heeft dus zelfs een resonantie frequentie (f_R) maar deze is veel hoger dan de frequentie van zichtbaar licht (f)

$$f \ll f_R \quad \text{of} \quad \omega \ll \omega_R$$

We kunnen dit dus vergelijken met een simpele gedwongen trilling van een veer met een bepaalde massa eraan, waarbij het licht dit elektron in een bepaalde frequentie dwingt die dus veel kleiner is dan de resonantie frequentie van het elektron.

De formule voor een simpele gedwongen trilling zonder demping ziet er als volgt uit:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx + F_{max} \sin(\omega t)$$

'm' is normaal gezien de massa dat aan de veer hangt maar in dit geval is dat dus de massa van het elektron.

$\frac{d^2x}{dt^2}$ is de tweede afgeide van 'x'. Dit is eigenlijk gewoon de versnelling (a) van het elektron in functie van de tijd. Deze kunnen we dus berekenen:

$$\frac{dx}{dt} = D[A \sin(\omega t)] = \omega A \cos(\omega t)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = D[\omega A \cos(\omega t)] = -\omega^2 A \sin(\omega t) = -\omega^2 x$$

'k' is de veer constante, ook al gaat het nu niet over een veer in dit geval. De terugroepende kracht op het elektron zal lineair toenemen naarmate het verder verwijderd is van zijn rustpositie. De exacte grootte van deze kracht kunnen we berekenen met deze constante en deze constante is afhankelijk van massa en de resonantiefrequentie van het elektron in het atoom.

$$k = m \omega_R^2$$

' F_{max} ' is de maximale kracht die op het elektron zal inwerken. Met andere woorden de kracht wanneer het elektrische veld van de elektromagnetische golf zijn maximum bereikt. Als we het elektrische veld weten kunnen we deze berekenen met onze kennis uit de elektriciteit.

$$F_{max} = q E_{max}$$

' ω ' is de hoeksnelheid van het licht.

Laten we nu deze formule oplossen voor 'x'.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = F_{max} \sin(\omega t)$$

Ik heb het negatieve deel naar de linkerkant gebracht.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{kx}{m} = \frac{F_{max}}{m} \sin(\omega t)$$

Ik heb alles gedeeld door 'm'.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_R^2 x = \frac{F_{max}}{m} \sin(\omega t)$$

Ik heb nu de k vervangen en hierdoor kan ik 'm' schrappen. zie de formule voor 'k' hierboven.

$$-\omega^2 x + \omega_R^2 x = \frac{q E_{max}}{m} \sin(\omega t)$$

Ik heb nu de tweede afgeleide ook vervangen en ik heb de kracht vervangen door de formule die we op de vorige pagina zagen.

$$x (\omega_R^2 - \omega^2) = \frac{q E_{max}}{m} \sin(\omega t)$$

Nu zet ik de 'x' voorop en breng ik de factor naar rechts.

$$x = \frac{q E_{max}}{m (\omega_R^2 - \omega^2)} \sin(\omega t)$$

En hiermee hebben we de amplitude ook berekend.

We hebben nu een formule voor de versnelling van het elektron.

$$a = \frac{-\omega^2 q E_{max}}{m (\omega_R^2 - \omega^2)} \sin(\omega t)$$

Het elektron zal zelf elektromagnetische straling uitstoten omdat het versneld wordt. Dat is hoe elektromagnetische straling ontstaat. Een stilstaande lading heeft een elektrisch veld rond zich. Een eenparig rechtlijnig bewegende lading heeft ook een magnetisch veld rond zich en een versnellende lading stoot elektromagnetische straling uit! De intensiteit van het licht dat uitgestoten wordt door de versnellende lading is rechtevenredig met het vermogen dat het elektron uitstoot.

$$I = \frac{P}{A} \quad \text{of} \quad I \sim P$$

En het vermogen dat een versnellende lading uitstoot is gegeven door de formule van Larmor:

$$P = \frac{q^2 \mathbf{a}^2}{6\pi\epsilon_0 c^3} \quad \text{of} \quad P \sim a^2 \quad \text{of} \quad I \sim a^2$$

Dit bewijs zal ik niet in mijn GIP plaatsen omdat het zeer moeilijk is dit voor te stellen met tekeningen. Het berust helemaal op versnellende ladingen en iets laten versnellen op een blad papier is nogal moeilijk. Hiermee kunnen we het volgende verband leggen:

$$I \sim \left[\frac{-\omega^2 q E_{max}}{m (\omega_R^2 - \omega^2)} \sin(\omega t) \right]^2$$

Als we nu alle constanten wegdenken en ook de sinus. Dit mag want het gaat toch enkel over evenredigheid.

$$I \sim \left[\frac{\omega^2}{\omega_R^2 - \omega^2} \right]^2$$

Eerder zeiden we dat $\omega \ll \omega_R$ en hierdoor kunnen we de ' ω^2 ' in de noemer laten wegvalLEN.

$$I \sim \frac{\omega^4}{\omega_R^4} \quad \text{of} \quad I \sim \omega^4$$

Dit kunnen we nu omzetten naar frequentie en golflengte.

$$I \sim f^4 \quad \text{en} \quad I \sim \frac{1}{\lambda^4}$$

En dit is het bekende resultaat waar ik het eerder over had. Het feit dat de lucht blauw is, heeft dus helemaal niets te maken met de 'kans' dat bepaalde kleuren deeltjes raken. Het is gewoon doordat de elektronen in de atomen waaruit de lucht bestaat meer intens licht zullen verstrooien afhankelijk van de golflengte.

En wat verstrooiing dan precies inhoudt is: elektronen die versnellen door elektromagnetische straling (dat normaal gezien niet in uw oog terecht zou komen). Door deze versnelling zal die lading op zich ook licht beginnen uitstoten, in alle richtingen (en dus ook richting uw oog).

11 Conclusie

We naderen het einde van mijn GIP. In het begin van deze GIP zei ik dat het doel van deze GIP is om licht op een zo fundamentele manier te verklaren. Met de kennis die we in alle hoofdstukken hebben opgedaan moeten we dit doel nu proberen te bereiken door alles samengevat op een rijtje te zetten.

Licht is een elektromagnetische golf, net zoals een golf op de zee, maar dan in plaats van enkel in één vlak (het oppervlak van het water), in alle richtingen van de ruimte.

Het is ook geen golf in materie maar een golf in het elektrische en magnetische veld. Deze velden zijn altijd onder 90° aan elkaar gerelateerd. Veranderingen in deze velden treden nooit alleen op, ze hangen aan elkaar vast en kunnen niet bestaan zonder elkaar. Daarom wordt dit ook gewoon het elektromagnetische veld genoemd.

Een groot verschil is ook dat licht een onvoorstelbare grote voortplantingsnelheid heeft, een nog grotere frequentie en een minuscule golflengte. $v = f \lambda$

Dit heeft als gevolg dat licht zich helemaal niet als een alledaagse golf gedraagt. De golf zal bijna niet divergeren (diffractie). Hierdoor blijkt licht zich bijna perfect in een rechte lijn voort te bewegen, dit is de reden dat uw schaduw dezelfde (uitgerokken of samengedrukte) vorm als u heeft. En hierdoor lijkt het ook alsof licht een deeltje is en dat u bekogeld wordt met deeltjes als u in dezon loopt.

Licht is ook geen golf die continue blijft lopen. Het komt in pakketjes genaamd fotonen omdat fotonen onstaan in atomen waar de elektronen tussen verschillende schillen verspringen en deze 'sprong' kan uiteraard niet oneindig lang duren. En deze golf gaat zo snel dat het als één korte puls energie geabsorbeerd wordt. Dit zorgt ervoor dat fotonen nog meer op een deeltjes gelijken, bolvormige deeltjes. Terwijl het eigenlijk golfpulsen zijn die zich heel snel voortbewegen.

Licht is dus een golf die zich op onze hedendaagse schaal als een deeltjes gedraagt. Het is fysisch gezien helemaal niet verkeerd om licht als een deeltje te beschouwen wegens simpelheid om bepaalde fenomenen te verklaren.

Een verschillende kleuren stemmen dus overeen met verschillende energiewaarden van deze fotonen.

Besluit

De bedoeling van mijn GIP was om een vloeiende overgang te maken van de klassieke fysica die aangeleerd wordt in het secundair onderwijs naar de moderne fysica. Uiteindelijk heb ik dit niet echt helemaal in een vloeiende beweging gedaan omdat ik theorieën van de moderne fysica heb moeten gebruiken om leerstof van het secundair onderwijs diepgaander te kunnen verklaren.

Ik heb geweldig veel bijgeleerd op vlak van wetenschap en wiskunde. Dit is zeker en vast de grootste reden dat ik geen spijt heb van de keuze van mijn GIP-onderwerp, omdat ik anders nooit zo een grote vooruitgang gemaakt zou hebben in deze vakgebieden.

Uiteraard heb ik ook veel op taalkundig vlak bijgeleerd. Vooral het feit dat ik meer op mijn dt-fouten moet letten. Ik heb, denk ik, ook een pak sneller leren typen bij het maken van deze GIP. Omdat deze GIP alleen bijna 26 000 woorden bevat.

Naarmate ik meer aan deze GIP werkte stelde ik mij ook meer en meer theoretische vragen bij dit onderwerp. Hiervoor heb ik ook de Universiteit Gent geraadpleegd. Zij hebben mij snel geholpen en mij het e-mail adres van professor De Zutter gegeven. Na enkele mail uitwisselingen ben ik hem gaan bezoeken om enkele vragen te stellen en theorieën te overlopen. Sommige vragen heb ik nog steeds niet beantwoord gekregen maar ik zal zeker en vast niet op geven om de antwoorden op deze vragen te vinden. Ik wil hierbij zeker nog eens de kans nemen om professor De Zutter te bedanken voor zijn tijd.

Ik ben zeker dat deze GIP een goede invloed zal hebben op mijn toekomst. Deze kennis heeft mij de wereld op een andere manier doen bekijken en heeft mijn kennis op een heel positieve manier verruimd. Ik zal deze kennis voor de rest van mijn leven nog kunnen gebruiken.

Ik zou ook graag nog de hoofdpromotoren van mijn GIP bedanken:

- Dhr. Jo Verstraete
- Dhr. Luc Van de Vijver
- Dhr. Jens Helskens
- Mevr. Rita Verstraeten
- Dhr. Thomas Selis

Internetlijst

http://en.wikipedia.org/wiki/Black-body_radiation

<https://www.youtube.com/user/DrPhysicsA>

https://www.youtube.com/channel/UCliSRiiRVQuDfgxI_QN_Fmw

<https://www.youtube.com/user/diggitydev>

<https://www.youtube.com/user/YaleUniversity>

<https://www.youtube.com/user/WeAreShowboat>

<https://www.youtube.com/channel/UCJ0yBou72Lz9fqeMXh9mkog>

E-mailverkeer

Leerkracht Nederlands: l.vandevijver@skynet.be

Leerkracht wiskunde: jo.verstraete@edugo.be

Professor en specialist in de elektromagnetische straling aan de UGent: dezutterddz@gmail.com

Figuurlijst

Figuur 1 Elektromagnetisch spectrum inleiding	7
Figuur 2 Stroom	11
Figuur 3 Stabiliteit	12
Figuur 4 Elektrische kring	12
Figuur 5 Atoom	13
Figuur 6 Weerstand	14
Figuur 7 Stroomzin	14
Figuur 8 Vrijheidsbeeld	15
Figuur 9 Grapheen	15
Figuur 10 Geleidbaarheid	15
Figuur 11 Gravitatieveld en afstand tot de maan	16
Figuur 12 Ladingen	17
Figuur 13 Aantrekking tussen ladingen	18
Figuur 14 Ladingsarbeid	18
Figuur 15 Oneindige som	19
Figuur 16 Grafiek Arbeid	19
Figuur 17 Afbuigende waterstraal	20
Figuur 18 Magneet	21
Figuur 19 Magnetisch elektron en samenvoegen van magneten	21
Figuur 20 Subschillen en PSE	22
Figuur 21 Elektronenverdeling	22
Figuur 22 Ferromagnetisme	23
Figuur 23 Anti-ferromagnetisme	23
Figuur 24 Domeinen	24
Figuur 25 Magnetische velden	25
Figuur 26 Magnetische cornflakes	25
Figuur 27 Elektronen afbuigen	26
Figuur 28 Zwaartekracht	27
Figuur 29 Grafiek op grote en kleine schaal	28
Figuur 30 RelativiTijd	28
Figuur 31 Relativiteit 2	29
Figuur 32 Lengteverandering	30
Figuur 33 Lengtecompressie	30
Figuur 34 Relatieve massa	31
Figuur 35 Lading in elektrische veld	32
Figuur 36 Cirkelbaan lading	32
Figuur 37 Radioactiviteit	33
Figuur 38 Yingyan elektron	34
Figuur 39 Magnetische geleider	34
Figuur 40 Magnetische ring	34
Figuur 41 Magnetische spoel	34
Figuur 42 Elektromagneet	35
Figuur 43 Donut elektromagneet	35
Figuur 44 Fusie energie	35
Figuur 45 Afstoten lading	36
Figuur 46 Elektromagnetische relativiteit	36
Figuur 47 Magnetische geleiders	37
Figuur 48 Magnetisch veld rond stroom	37
Figuur 49 Elektromagnetische straling	39
Figuur 50 Newton	39
Figuur 51 Breking	40
Figuur 52 Gebogen veld	40
Figuur 53 Totale reflectie	42
Figuur 54 Dispersie	42
Figuur 55 Jens	44

Figuur 56 Regendruppel	44
Figuur 57 Functie hoek	45
Figuur 58 Reflectie hoek	45
Figuur 59 Kleuren volgorde	46
Figuur 60 Regenring	46
Figuur 61 Regenboog	47
Figuur 62 Dubbele regenboog	47
Figuur 63 Diffractie	47
Figuur 64 Weinig diffractie	48
Figuur 65 Diffractie van kleuren	48
Figuur 66 Interferentie	49
Figuur 67 Interferentie van kleuren	49
Figuur 68 Elektromagnetisch spectrum 2	50
Figuur 69 Weerkaatsing van licht	50
Figuur 70 Appeltje	51
Figuur 71 Absorptie van EMS	51
Figuur 72 Energie absorptie van de ogen	51
Figuur 73 Vlindertje	52
Figuur 74 Vlinder schaatje	52
Figuur 75 Vlinder ribbels	52
Figuur 76 Natte vlinder	53
Figuur 77 Gele zon	53
Figuur 78 Zonsondergang	54
Figuur 79 Emissie spectrum van de zon	54
Figuur 80 Foute theorie	55
Figuur 81 Rayleigh steen	55
Figuur 82 De zon	56
Figuur 83 Atoom	57
Figuur 84 Emissiespectrum	57
Figuur 85 Kleurijke hemel en absorptie spectrum	57
Figuur 86 Klassiek model	58
Figuur 87 Modern model	59
Figuur 88 Uitwerkingen	59
Figuur 89 Lamp op metalen plaat	60
Figuur 90 Foton	61
Figuur 91 Snelle lading	64
Figuur 92 Trillende lading	64
Figuur 93 Elektromagnetische communicatie	65
Figuur 94 Polarisatie	65
Figuur 95 3 Polarisators	66
Figuur 96 Gauss	67
Figuur 97 Gauss magneet	68
Figuur 98 Faraday	69
Figuur 99 Faraday 2	70
Figuur 100 Ampère	71
Figuur 101 Grote positieve plaat	72
Figuur 102 Elektrische veld rond plaat	72
Figuur 103 Twee platen	74
Figuur 104 Opladende plaat	74
Figuur 105 Elektrisch veld tussen platen	76
Figuur 106 EM golf	77
Figuur 107 Verende lading	78

Bijlagelijst

Bijlage 1 Pre-GIP	93
Bijlage 2 Integrated assignment	119

Bijlage 1 Pre-GIP



EDUGO
School voor Wetenschap en Techniek
Campus Glorieux
Sint-Jozefstraat 7
9041 Oostakker
09 255 91 15
www.edugo.be

Elektronische verlichtingscomponenten Pre-GIP

Nathan Sennesael
6 IW
2014-2015
Begeleiders: dhr. Verstraete
dhr. Delaere
dhr. Van Eetvelde
dhr. Baaten
dhr. Neyt
dhr. Van de Vijver
dhr. D'Huyvetter

Voorwoord

De pre-GIP is een klein stuk uit de GIP dat vroegtijdig klaar moet zijn als voorbereiding op de GIP zelf. We moeten ook een PowerPointpresentatie van onze pre-GIP aan de leerlingen van 5IW presenteren.

Het onderwerp van mijn pre-GIP is: ‘Elektronische verlichtingscomponenten’, maar laat deze titel u niet afschrikken. In mijn pre-GIP zal ik enkele simpele elektronische componenten vanuit een wetenschappelijk standpunt beschrijven. Ik zal ook wat dieper ingaan op de elektronische componenten die licht (elektromagnetische straling) opwekken omdat dit mooi aansluit bij mijn GIP. De reden dat ik dit onderwerp gekozen heb voor mijn pre-GIP is omdat ik een presentatie voor 5IW zal moeten houden. Ik denk dat dit heel interessant voor hen kan zijn omdat zij met deze componenten leren werken zonder dat ze eigenlijk de fysica en de chemie erachter begrijpen.

Ik wens hierbij uitdrukkelijk de volgende mensen te bedanken:

- het voltallige directieteam;
- dhr. Verstraete, hoofd IW, klasleraar, leerkracht wiskunde;
- dhr. Delaere, hoofdpromotor GIP, leerkracht Toegepaste chemie en fysica;
- dhr. dr. prof. Martijn van Den Broeck, professor fysica;
- dhr. Van Eetvelde, leerkracht elektriciteit en elektronica;
- dhr. Baaten, leerkracht mechanica en sterkteleer;
- dhr. Neyt, leerkracht technisch tekenen;
- dhr. Van de Vijver, leerkracht Nederlands en Engels;
- dhr. D'Huyvetter, leerkracht Frans;
- mijn ouders.

De verwerking van de brochure gebeurde met het tekstverwerkingsprogramma Microsoft Word. Van alle professionele voorzieningen van het programma, zoals het gebruik van opmaakprofielen met automatische nummering in verschillende niveaus, automatische paginanummering, het genereren van de inhoudsopgave en het trefwoordenregister, bijschriften bij de tabellen, spellingcontrole... werd in deze brochure gebruik gemaakt.

Inhoud

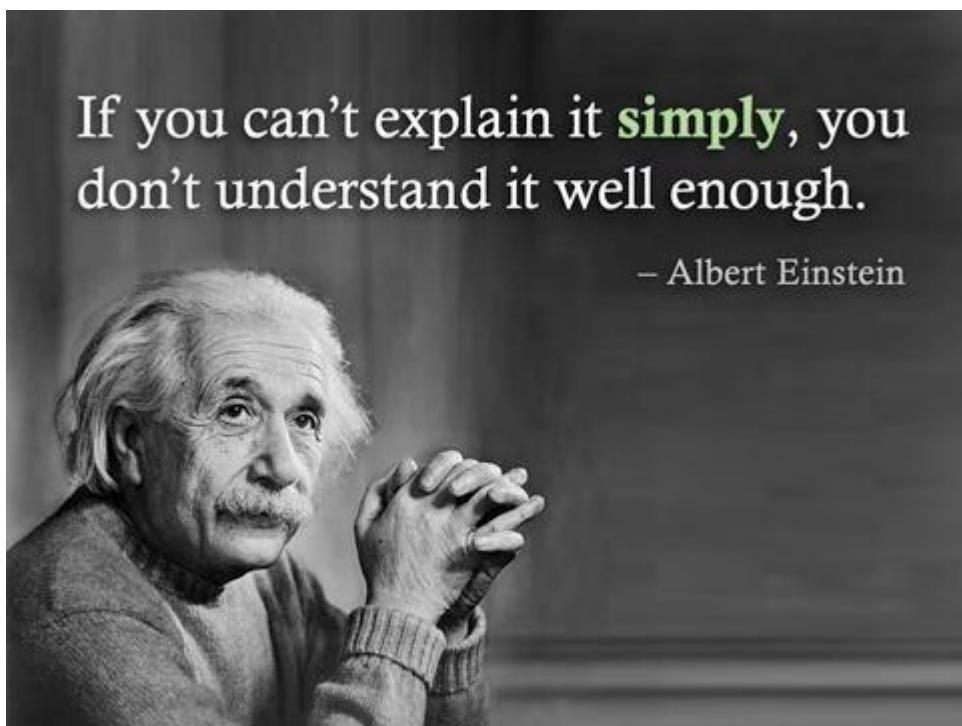
Voorwoord.....	97
Inhoud.....	99
Inleiding.....	101
1 Theoretische inleiding.....	103
2 De Diode.....	103
3 De transistor.....	105
3.1 De wet van Moore.....	105
4 LED	106
5 Laserdiode	110
Besluit.....	113
Index	115

Inleiding

In mijn pre-GIP zullen we eerst kennismaken met halfgeleiders en welke fysische wetten dit mogelijk maakt omdat alle componenten die ik zal beschrijven gebruik maken van halfgeleidermateriaal. De diode en de transistor zijn de eenvoudigste en belangrijkste componenten die gebruik maken van halfgeleidermateriaal. Dan zal ik de overgang maken naar componenten die licht uitstralen en zal ik op een makkelijke manier trachten te verklaren hoe dit op atomische schaal gebeurt. Ik heb nog getwijfeld om enkele toepassingen van deze verlichtingscomponenten zoals laserkoeling in mijn pre-GIP te plaatsen maar ik heb uiteindelijk besloten mijn pre-GIP kort en makkelijk te houden. Onderwerpen zoals laserkoeling en enkele anderen kan u in mijn GIP terugvinden. Ik verwacht dus vooral van mijn pre-GIP dat ik de leerlingen van 5IW een beter inzicht kan geven in de componenten waar ze in de lessen elektronica over leren omdat deze kennis mij ook geholpen heeft toen ik in hun schoenen stond.

Mijn pre-GIP en GIP zijn beide een beetje in de stijl van een cursus omdat ik wens mijn lezers iets bij te leren. Dit is ook de reden dat ik alles zo simpel mogelijk probeer uit te leggen. Ik probeer ook altijd van nul te beginnen zodat iedereen kan mee genieten zonder iets niet te begrijpen.

Over het algemeen ging het samenstellen van mijn pre-GIP vrij vlot. De enige problemen waar ik vooral mee geconfronteerd ben zijn het vinden van tekeningen die zo goed mogelijk de aangehaalde onderwerpen beschrijven. Hierdoor heb ik ook veel tekeningen zelf moeten maken. Ik schrok ook van hoe moeilijk het was om diepgaande informatie te vinden over deze onderwerpen, uiteindelijk ben ik toch tevreden met de mate waarmee ik deze onderwerpen diepgaand begrijp.



If you can't explain it **simply**, you
don't understand it well enough.

– Albert Einstein

Figuur 1 Einstein quote

1 Theoretische inleiding

Diodes, transistors en nog een heleboel andere elektronische componenten bestaan grotendeels uit silicium, vanwege zijn semiconductor (of halfgeleidende) eigenschap. En dit komt goed uit want silicium (Si) is één van de meest voorkomende elementen op aarde, maar liefst 15% van onze aarde bestaat uit silicium. Deze veel gebruikte elektronische componenten worden in massaproductie gemaakt en zijn dus op zich vrij goedkoop.

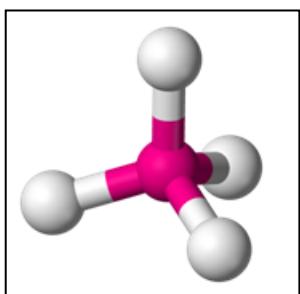
Ondanks al deze feiten is het nog steeds van uiterst belang dat bijvoorbeeld transistors zo klein mogelijk gemaakt worden. En met klein bedoel ik echt microscopische klein! Er worden miljoenen euro's geïnvesteerd in het onderzoek om transistors zo klein mogelijk te maken. Niet enkel voor het besparen van materiaal maar ook voor een compleet andere reden.

Uw smartphone heeft ongeveer 1 miljoen transistors in zich. Hoe meer transistors hoe sneller en hoe meer informatie geprocedeerd kan worden. Het is dus logisch dat het een kunst is zo veel mogelijk transistor in een bepaalde ruimte te krijgen zonder dat het makkelijk oververhit raakt. Zodat u een supersnelle computer in uw zak overal mee naartoe kan nemen (uw smartphone). Maar hoe deze transistor er nu net voor zorgt dat uw gsm zo snel informatie kan procederen is net wat we zullen ontdekken in deze pre-GIP.

Daarbij zullen we nog dieper ingaan op elektronische componenten en zullen we specifiek een kijkje nemen naar de componenten die elektromagnetische straling opwekken (of licht). Omdat dat mooi aansluit bij het hoofdonderwerp van mijn GIP zelf (elektromagnetische straling).

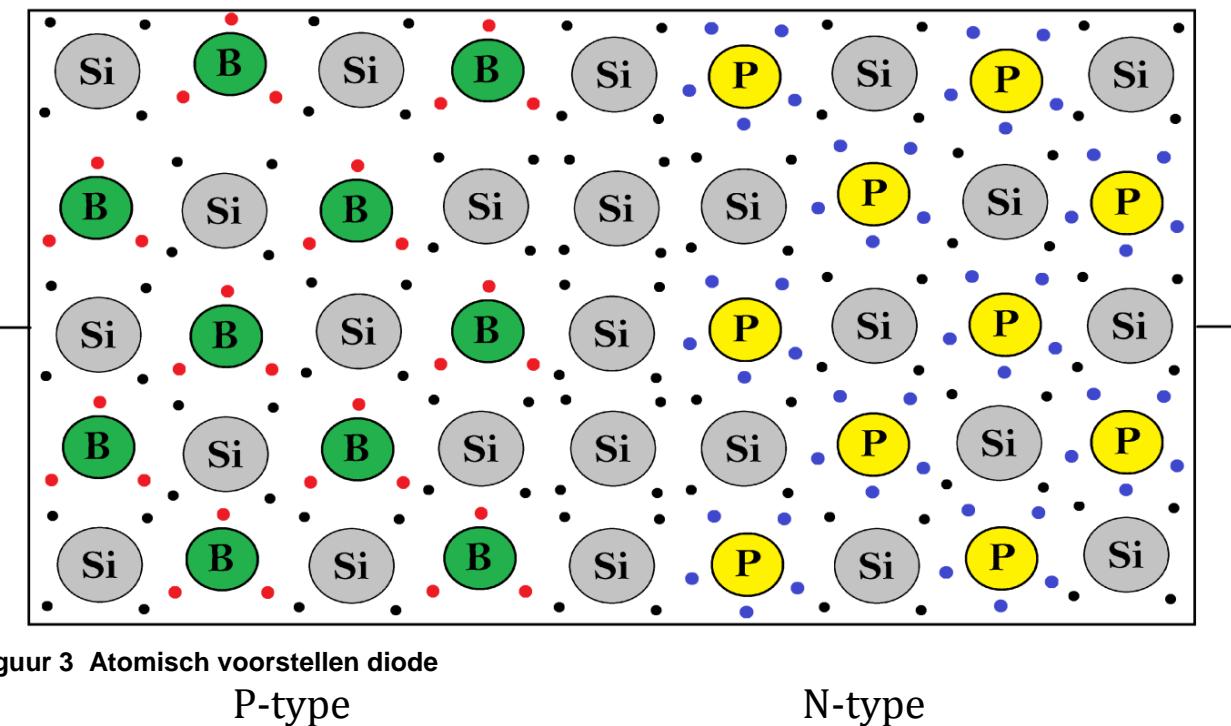
2 De Diode

De diode is één van de eenvoudigste elektronische componenten, vandaar is het ook een mooi onderwerp om mee te beginnen. Wat een gewone diode eigenlijk doet is gewoon de stroom in één richting sperren (teghouden) en doorlaten in de andere. Maar hoe zijn ingenieurs er in geslaagd dit op microscopische schaal te realiseren?



silicium heeft 4 valentie elektronen. Bij 100% silicium in vaste toestand zal elk atoom zich dus gaan binden met vier andere siliciumatomen, en ze zullen dus een mooie piramide (tetraëder) structuur vormen zoals weergegeven in de foto hiernaast. Alle valentie elektronen zijn dus in gebruik en hierdoor zal het een vrij grote hoeveelheid energie kosten om er een elektron uit los te maken (het is dus eigenlijk geen geleider maar het zal wel geleiden als de spanning er over genoeg energie heeft om er elektronen uit los te rukken).

Figuur 2 Tetraëder



Figuur 3 Atomisch voorstellen diode

P-type

N-type

De volgende stap is heel pienter, men zal in plaats van puur silicium te gebruiken de diode opdelen in twee verschillende materialen. De ene kant zal bestaan uit silicium gemengd met een element dat één valentie-elektron minder heeft dan silicium bijvoorbeeld boor (B). En de andere kant zal men silicium mengen met een element dat één valentie-elektron meer heeft dan silicium, bijvoorbeeld fosfor (P). Deze elementen gelijken genoeg op silicium om dezelfde atoomstructuur aan te nemen (piramides). Maar nu heb je wel aan de ene kant te weinig elektronen en zijn er 'gaten' die kunnen ingenomen worden door elektronen, dit noemt met de P-type (P van positief). En aan de andere kant te veel elektronen, dit noemt men de N-type (N van negatief).

Opmerking: Deze benamingen zouden je kunnen doen denken dat de ene kant positief geladen is en de andere negatief maar dit klopt NIET! Deze elektronische component is 'in rust' nog steeds op iedere plaats neutraal (daar zorgen de fosfor en boor kernen voor).

Houd er ook rekening mee dat ik met deze tekening overdreven heb, de hoeveelheid boor en fosfor t.o.v. silicium is veel kleiner.

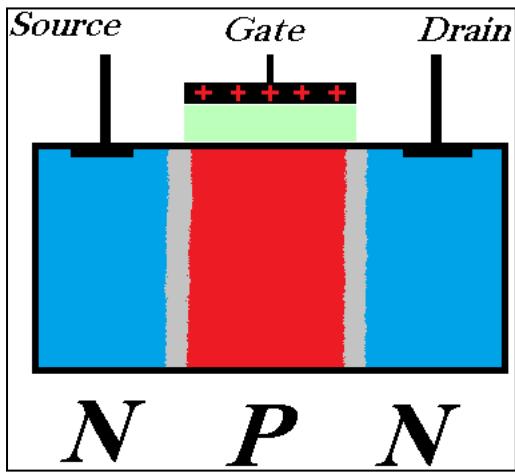
Als je nu een stroom wilt laten vloeien door de diode van de 'N'-kant naar de 'P'-kant dan lijkt dit op het eerste zicht geen probleem. Als je de twee juncties apart neemt zal je merken dat ze allebei de stroom vrij goed geleiden. Maar samen hebben ze een speciale eigenschap.

Er zal geen stroom vloeien van de P naar de N kant. Dit komt doordat er enkele elektronen van de N-type de gaten van de P-type vullen (dit gebeurt enkel waar de twee juncties elkaar grenzen). Theoretisch gezien is dus het N-type zelfs positief geladen en het P-type negatief want er ontstaan ionen aan hun begrenzing, dit wordt de depletiezone genoemd.

Als je een conventionele stroom wilt laten vloeien van N- naar P-type dan zullen de elektronen eerst door de P-type moeten vloeien. Maar zodra ze aan de depletiezone komen zullen ze worden afgestoten, want in het P-type was is deze negatief geladen. Er zal dus geen conventionele stroom vloeien van het N-type naar de P-type. Als je de diode omgekeerd aansluit zal ook het omgekeerde gebeuren, de depletiezone trekt de elektronen aan en er zal dus wel een stroom vloeien.

3 De transistor

De transistor is zeer gelijkaardig aan de diode maar heeft nog een veel belangrijkere rol de elektronica. Een transistor is eigenlijk een schakelaar. Een schakelaar staat ofwel open of gesloten, in de elektronica 1 of 0. Het grote voordeel aan deze schakelaar is dat hij niet door een mens bestuurd moet worden, sneller aan en af kan schakelen dan een mens ooit zou kunnen en ze kunnen verschrikkelijk klein gemaakt worden.



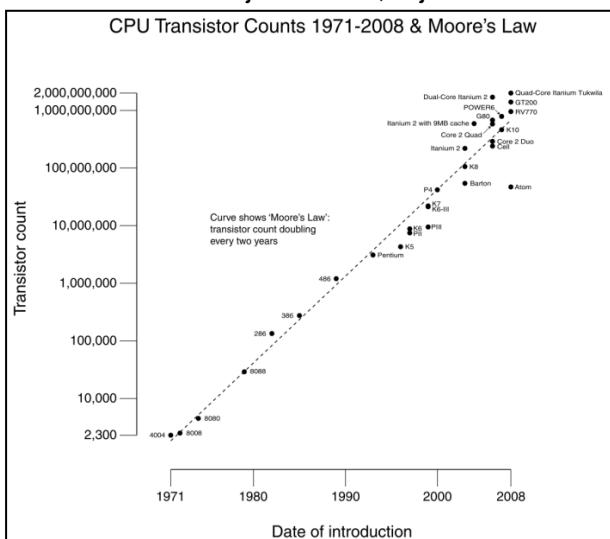
Figuur 4 Transistor

Zoals ik eerder al stelde: tegenwoordig kan men een transistor klein maken, tot wel 20 nanometer. Dit staat gelijk aan ongeveer 50 atomen.

3.1 De wet van Moore

Gorden Earle Moore is co-founder van Intel, het grootste Semi-conductor bedrijf in de wereld. In 1965 maakte hij een theoretische voorspelling dat de lengte van een transistor exponentieel moet dalen. Hij voorspelde dat de lengte van de transistor elk half jaar halveert. Zijn voorspelling houdt al meer dan 40 jaar stand, hij is er dus een beetje bekent door geworden. Hij leeft vandaag nog

steeds en is 86 jaar oud. Als je nu even logisch redeneert betekend dit dat binnen enkele jaren een transistor slechts één atoom lang mag zijn. Dit is natuurlijk onmogelijk, zelfs als het 5-10 atomen dik zou zijn dan zijn er wetten in de kwantummechanica die isolatie verbieden. Moore's Wet zal dus binnenkort geen stand meer houden en elektronica compactheid zal dus weinig vooruitgang zien in de toekomst. De limiet van de elektronica compactheid blijkt zeer dicht te liggen bij die van het menselijk brein, zelfs hoger. Dit betekent dat wij in de toekomst de mogelijkheid zullen hebben om robots te maken die een hogere intelligentie bezitten dan ons, robots met een zelfbewustzijn, gevoelens en emoties. Dit wordt de singulariteit genoemd, het moment in tijd dat de mensheid en technologie één worden.

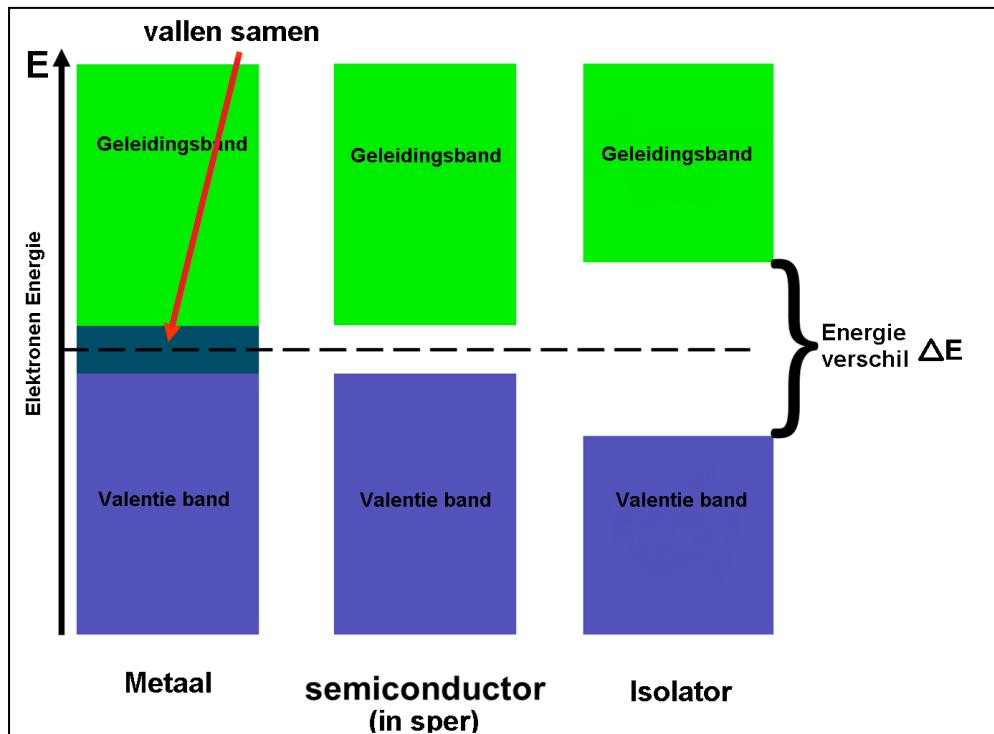


4

De LED

De naam Light Emitting Diode spreekt voor zich, het is een semi-conductor die elektrische energie kan omzetten naar lichtenergie (elektromagnetische straling). Precies hoe dit gebeurt en waarom dit werkt is exact waar we dieper op in zullen gaan.

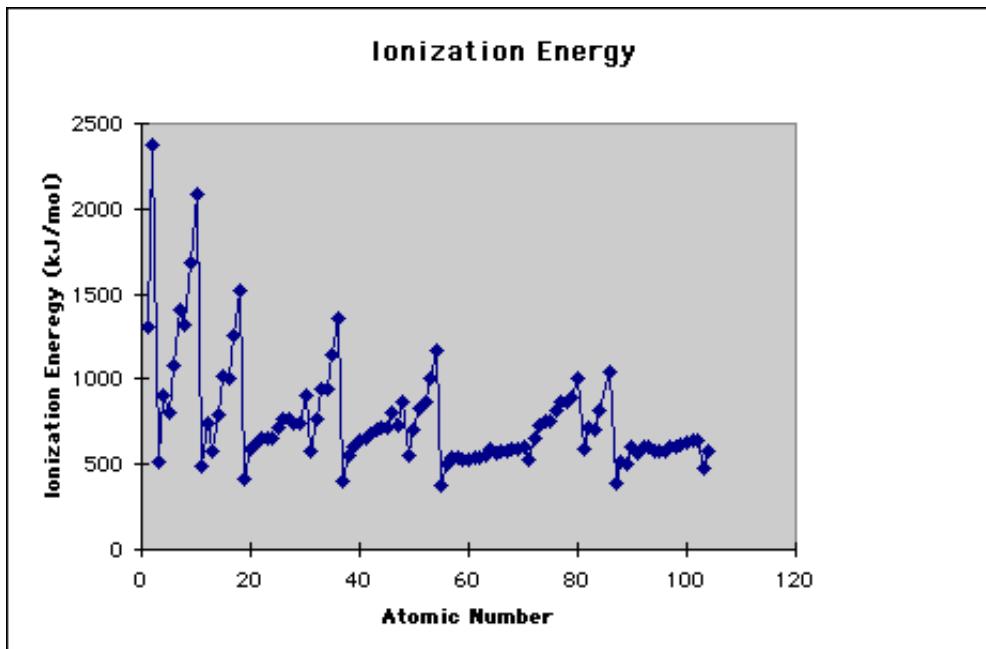
Een LED werkt door het feit dat in de depletiezone, elektronen de plaats van gaten innemen. Het licht wordt dus opgewekt in de depletiezone.



Figuur 6 Band gap energie

Een atoom bestaat uit een kern met daar rond enkele orbitalen. Elektronen op de buitenste schil worden de valentie elektronen genoemd. Boven de valentie band is nog een band, de geleidingsband (deze behoort niet echt tot het atoom zelfs). Bij metalen valt een deel van deze band samen met de valentie-band, hierdoor is er helemaal geen energie nodig om een bepaalde hoeveelheid elektronen op de geleidingsband te krijgen. Bij metalen zijn er dus altijd een aantal elektronen die gewoon door het metaalrooster vloeien zonder dat er enige energie toegevoegd moet worden. In een metaal zijn er dus altijd elektronen vrij om de stroom te geleiden, vandaar dat metalen zulke goede geleiders zijn.

Wanneer elektronen de gaten vullen in de depletiezone gaan ze over van de geleidingsband naar de valentieband. Bij het halfgeleidermateriaal van een LED zit er een bepaald energie verschil tussen deze geleidingsband en valentieband. Dit energieverlies hangt af van het materiaal. Wanneer een elektron dus wil overgaan van de P- naar N-zone dan zal het een hoeveelheid energie moeten verliezen. Dit doet hij onder de vorm van een foton, het elektron zal dus een deel van zijn energie omzetten in licht.



Figuur 7 Ionisatie energie

Het energieverlies tussen de geleidingsband en de valentieband is dezelfde als de eerste ionisatie energie, dit is de energie die nodig is om één elektron uit een atoom te verwijderen (het atoom te ioniseren). Er blijkt geen formule te bestaan om deze eerste ionisatie energie exact te berekenen maar als u kijkt naar het diagram hierboven dan ziet u dat er toch enige logica in zit. Elk relatief maxima is een edelgas, deze hebben 8 valentie-elektronen (de meest stabiele staat) en willen dus helemaal geen elektron afstaan. De minima zijn metalen, deze zijn zoals we al weten goede geleiders en staan dus makkelijk een elektron af.

De energie die het elektron zal verliezen zal dus volledig worden omgezet in lichtenergie! Dit betekent dat theoretisch gezien LED's perfecte energie bronnen zijn en dat er helemaal geen energie verloren gaat, want er is nog niks over warmte gezegd. Maar dit is enkel theoretisch want in de realiteit worden een heleboel fotonen geabsorbeerd door het materiaal zelf en omgezet in warmte.



Toch zult u merken dat een LED lamp gigantische warmtegeleiders heeft. Dit komt doordat alle warmte die een LED opwekt aan de achterkant geconcentreerd is. Eigenlijk is deze warmte helemaal niet hoger dan die van een gloeilamp of CFL maar LED's zijn vrij warmte gevoelige componenten. Het is van uiterst belang een goede warmte geleider bij de LED's te plaatsen om hun levensduur optimaal te maken.

Figuur 8 LED-lamp

Er zullen dus elektronen op de valentie laag van de atomen in het halfgeleidermateriaal komen, energie verliezen onder de vorm van licht en zoals ik al zei is dit het omgekeerde van ioniseren. Betykt dit dan ook dat we het omgekeerde kunnen doen, materialen ioniseren door er licht op te schijnen? Ja! Dit heet het foto-elektrisch effect (zie GIP).

Het belangrijkste voordeel is dat de waarde van het energieverlies tussen de geleidingsband en de valentieband (= de eerste ionisatie energie) vast ligt! Het is dus één exacte waarde. Het licht dat zal worden uitgestraald is dus ook van één exacte energiewaarde. En er is een rechtlijnig verband tussen de energie van een foton en zijn frequentie. Houd er ook rekening mee dat de frequentie van het licht het enige is dat de kleur van dat licht bepaalt!

$E = h f$ (h is de constante van Max Planck.)

Dit betekent dus dat door verschillende materialen (elementen) te gebruiken en dus het energie verschil tussen de geleidingsband en valentieband te laten variëren, je verschillende kleuren licht zal verkrijgen. Dit is de reden dat we zo veel verschillende kleuren LED's kunnen maken. En deze verschillende materialen die ze gebruiken zijn eigenlijk gewoon verschillende manier van dopen.

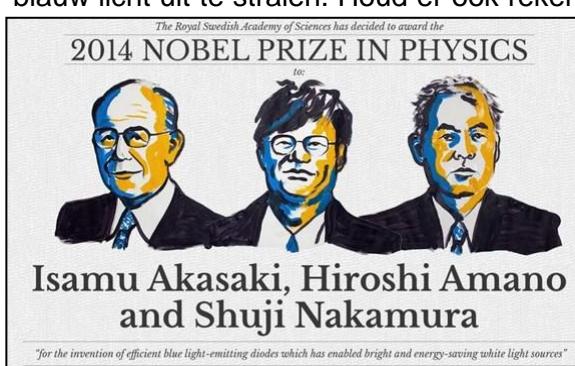
materiaal	kleur
Galliumaluminumarsenide (AlGaAs)	rood, infrarood
Aluminiumindiumgalliumfosfide (AlInGaP2)	diep rood, rood, rood oranje en amber
Galliumarseenfosfide (GaAsP)	rood, oranje, geel (amber)
Galliumfosfide (GaP)	groen
Galliumnitride (GaN)	blauw
Zinkselenide (ZnSe)	blauw
Siliciumcarbide (SiC)	blauw
Indiumgalliumnitride (InGaN)	groen, blauw of ultraviolet
Diamant (C)	ultraviolet

Figuur 9 Dopingsmateriaal

Hier ziet u een lijst met chemische samenstelling van de dopingen die gebruikt worden voor bepaalde kleuren licht. Gerangschikt van lage naar hoge energiewaarde. Hun energie verschil tussen geleidings en valentieband stemmen dus perfect overeen met die energie (en kleur) van het licht dat ze uitstralen.

De laatste Nobelprijs in de Fysica ging naar 3 Japanse wetenschappers die eind jaren 60 de blauwe LED hebben ontwikkeld. Dit was een grote uitdaging want blauw licht is het meest energierijk van alle kleuren (na violet). Ze hebben dus een manier van dopen ontwikkeld waarbij het materiaal (GaN) net het juiste energieverhouding heeft tussen geleidings- en valentieband om blauw licht uit te stralen. Houd er ook rekening mee dat je dan ook nog een manier moet vinden om

het materiaal in het rooster van silicium (of germanium) te krijgen. Samen met de eerder ontdekte rode en groen LED gaf dit de mogelijkheid voor een samengestelde witte LED. Wit licht is eigenlijk een combinatie van alle kleuren. In onze ogen zitten slecht 3 verschillende soorten kleurgevoelige cellen. (één voor rood, groen en blauw). Dit betekent dat als ik deze drie kleuren tezamen naar uw oog schijn u niet zal merken dat alle andere golflengtes ontbreken, je zal het dus als wit licht zien.



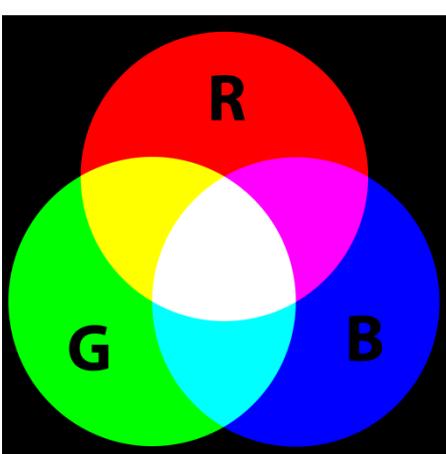
Figuur 10 Nobelprijs

	Gloeilamp	CFL	LED lamp
			
levensduur	1000 uur	10 000 uur	50 000 uur
kostprijs	0.5 euro	1 euro	9 euro
energieverbruik	60 Watt	15 Watt	9 Watt

Figuur 11 Prijs en verbruik vergelijking

LED's zijn de nieuwste, meest belovende verlichting voor de toekomst. Na het ontdekken van de blauwe LED werd LED verlichting voor het eerst mogelijk door het RGB-systeem. LED's zijn verschrikkelijk zuinig op energie vergeleken met bijvoorbeeld een gloeilamp, en dit is niet enkel omdat ze minder warmte opwekken. En gloeilamp produceert licht op een heel andere manier dan LED's. Zij werken op een principe genaamd 'black body radiation' (zie GIP). Het grote verschil is dat gloeilampen alle frequenties licht uitstralen tot aan ongeveer blauw licht. Dit is de reden dat het licht uit gloeilampen een beetje geelachtig is (zoals u kunt zien op de tekening hierboven is wit licht met een beetje minder blauw geel). Dit is er opzettelijk gedaan omdat de producenten van de gloeilamp zeker en vast niet voorbij de blauwe frequenties zouden willen gaan.

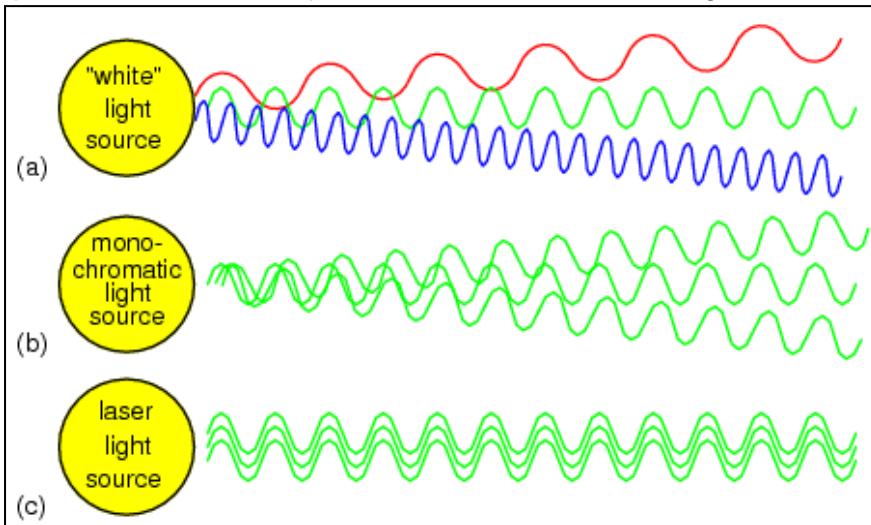
Ander zou de gloeilamp licht van een grote energie opwekken, dit zou zijn energie gebruiken nog hoger maken en zijn levensduur nog korter. Een gloeilamp wekt ook infrarood licht op en zelfs nog frequenties daaronder. Dit is licht dat we niet eens kunnen zien, dit is dus allemaal ongebruikte energie die verloren gaat. Gelukkig is dit licht met een lage energie en valt het energieverlies nog mee. Bij een CFL gaat er ook energie verloren omdat er in de buis zelf oorspronkelijk ultraviolet licht geproduceerd wordt, deze wordt door een fluorlaag omgezet in zichtbaar licht. Het verschil in energie tussen het ultraviolet licht en het zichtbaar licht wordt dus sowieso naar warmte omgezet. Het licht dat LED's opwekken ligt helemaal in het zichtbare spectrum.



Figuur 12 RGB Systeem

5 De laserdiode

De laserdiode heeft veel gemeen met de LED en past daarom ook mooi in dit rijtje, toch is hij een pak anders en wordt hij voor veel andere doeleinden gebruikt.

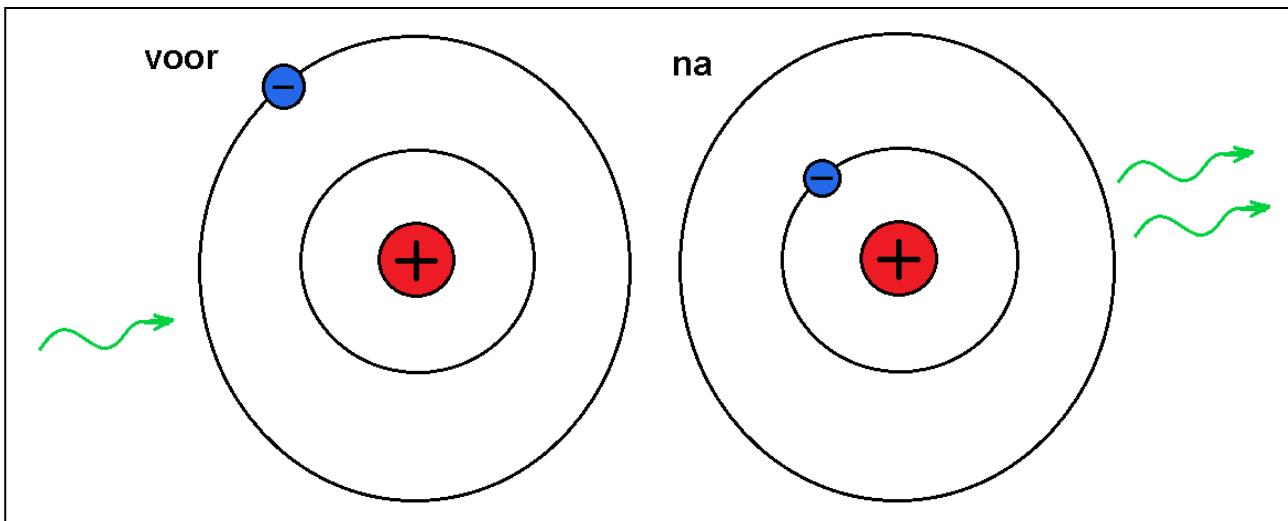


Figuur 13 Soorten licht

- a) een gewone witte lichtbron zoals een gloeilamp straalt licht uit van vele verschillende golflengtes (kleuren) op een zeer chaotische manier in alle richtingen.
- b) LED's stralen licht uit van slecht één soort golflengte, maar doen dit nog steeds op een vrij chaotische manier. Dit proberen de producenten op te lossen door toch het licht in een bepaalde richting te sturen met een reflecterende binnenkant en lens die het licht focust.
- c) Laser diode zijn zodanig gemaakt dat ze dit licht van slechts één golflengte perfect parallel kunnen uitschijnen. Ze zijn dus alles behalve bruikbaar als verlichting omdat ze gigantisch veel fotonen in één plaats concentreren. Dit is ook de reden dat ze zo gevaarlijk zijn voor bijvoorbeeld het menselijk oog. Lasers worden toegepast in bijvoorbeeld optische kabels (zie GIP), laserkoeling (zie GIP) of het scannen van 2D- en 3D-beelden en het lezen van Cd's, Dvd's, ... (zie GIP)

De manier waarop dit bereikt wordt is door een fenomeen genaamd 'gestimuleerde emissie'. De naam 'laser' staat ook voor **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation.

Als een atoom 'opgewonden' is (niet al zijn elektronen in hun laagst mogelijke energie level zijn), dan zal hij terug naar het laagste energieniveau keren. Dit gebeurt niet meteen, er zit een bepaalde hoeveelheid tijd tussen het moment waarop het atoom opgewonden geraakt en het moment waarop hij terug naar zijn meest stabiele toestand keert. Dit heet 'spontane emissie'. Fosforentie is hier een toepassing van, materiaal (soms ook verf) dat in het donker licht geeft. Dit is natuurlijk slechts van een bepaalde duur omdat na een tijdje alle atomen weer naar de meest stabiele toestand terug zijn gekeerd.



Figuur 14 Opgewonden absorptie en spontane emissie

In 1915 publiceerde Albert Einstein een theorie waarin hij gestimuleerde emissie voorspelde. Als een atoom geraakt wordt door een foton en het absorbeert dan is het atoom opgewonden. Als het dan nogmaals geraakt wordt door een foton en het die ook absorbeert dan is het atoom zodanig opgewonden dat het bijna meteen energie zal uitstoten onder de vorm van licht. Maar de manier waarop dit gebeurt is net waar gestimuleerde emissie vandaan komt. Het atoom zal 2 fotonen uitstralen met exact dezelfde golflengte, richting en zin op exact hetzelfde moment.

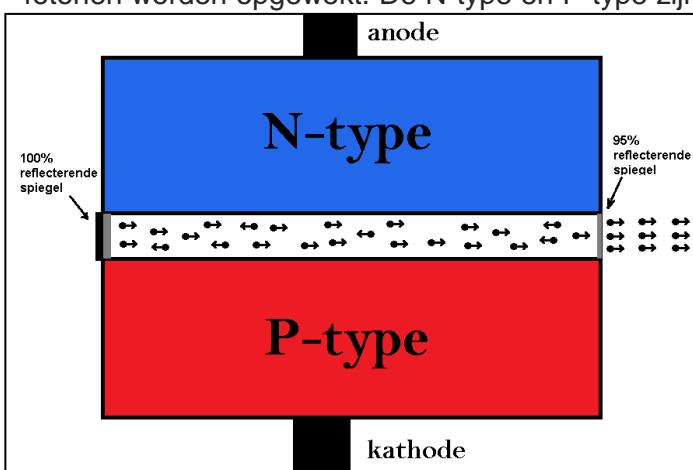
Stel nu dat je een foton hebt dat door een rooster atomen vliegt waarvan enkele atomen opgewonden zijn en het raakt één van die opgewonden atomen. Dan zullen er nu 2 fotonen zijn die op hun beurt ook nog opgewonden atomen kunnen stimuleren om fotonen uit te stralen met exact dezelfde golflengte, zin en richting. Tot dat alle opgewonden atomen terugkeren naar hun laagste energie niveau, en wat je dus overhoudt is een bundel fotonen met exact dezelfde golflengte, zin en richting.

In principe is dit gewoon wat een laser doet, het enige wat nog ontbreekt, is dat door de continue stroom door de laserdiode je steeds nieuwe atomen opwindt en daardoor kan je zo veel en zo lang je maar wil parallel licht opwekken.

Bij een laserdiode bestaan de N-type en P-type dus ook uit materialen waarvan het geleidings- en valentie orbitaal een verschillende energie waarde hebben. Hierdoor zullen dus in de depletiezone fotonen worden opgewekt. De N-type en P-type zijn beiden bedekt met een reflecterende laag, als

een foton wordt opgewekt zal het blijven rondkaatsen in de diode en andere atomen stimuleren om ook fotonen op te wekken (met zelfde golflengte, zin en richting). Achteraan zit een zeer goede spiegel die bijna 100% van de fotonen reflecteert en vooraan zit de enige opening waarlangs de fotonen kunnen ontsnappen met een 95% reflecterende spiegel.

Aan het eind zit ook nog eens een lens die er voor zorgt dat de lichtstraal parallel en geconcentreerd is.



Figuur 15 Laserdiode

Besluit

Ik ben over het algemeen blij met wat ik van mijn pre-GIP heb gemaakt, ik kijk vooral uit naar de presentatie die ik mag geven aan 5IW.

Ik ben ook blij dat ik tijdens het maken van deze pre-GIP toch wel enkele dingen heb bijgeleerd. En dat ik het verband heb leren leggen tussen ladingsfysica, het gedrag van elektronen op atomische schaal en hoe dit de elektronische component beïnvloedt.

Taalkundig heb ik veel bijgeleerd over de BIN-normen waar u zich aan moet houden tijdens het maken van een officieel document als een GIP. Ik heb ook bijgeleerd dat ik verschrikkelijk veel dt-fouten maak en dat ik hier dus meer op moet letten.

Voor het maken van deze pre-GIP heb ik weinig externe bronnen geraadpleegd. Het meeste van deze theorie was herhaling voor mij. Mijn informatie bronnen bevinden zich grotendeels op het internet.

Ik wens u te bedanken voor het lezen van dit document en ik hoop dat u iets heeft bij geleerd.

Index

- depletiezone 104, 105, 106, 111
diode 101, 103, 104, 105, 110, 111
elektronen 103, 104, 106, 107, 110, 113
energie 103, 106, 107, 108, 109, 110, 111
laserdiode 110, 115
LED 106, 107, 108, 109, 110
licht 97, 101, 103, 106, 107, 108, 109, 110, 111
transistor 101, 103, 105

Figuurlijst

Figuur 1 Einstein quote	101
Figuur 2 Tetraëder	103
Figuur 3 Atomisch voorstellen diode	104
Figuur 4 Transistor.....	105
Figuur 5 Moore curve.....	105
Figuur 6 Band gap energie.....	106
Figuur 7 Ionisatie energie.....	107
Figuur 8 LED-lamp.....	107
Figuur 9 Dopingsmateriaal	108
Figuur 10 Nobelprijs.....	108
Figuur 11 Prijs en verbruik vergelijking.....	109
Figuur 12 RGB Systeem	109
Figuur 13 Soorten licht.....	110
Figuur 14 Opgewonden absorptie en spontane emissie.....	111
Figuur 15 Laserdiode	111

Bijlage 2 Integrated assignment



EDUGO
School voor Wetenschap en Techniek
Campus Glorieux
Sint-Jozefstraat 7
9041 Oostakker
09 255 91 15
www.edugo.be

Our universe from beginning to end

Integrated assignment

Nathan Sennesael
6 IW
2014-2015
tutors:
dhr. Verstraete
dhr. Delaere
dhr. Van Eetvelde
dhr. Baaten
dhr. Neyt
dhr. Van de Vijver
dhr. D'Huyvetter

Preface

The integrated assignment is an assignment in which we have to either translate a chapter of our GIP or pre-GIP or we have to write a paper about a different subject. The quality of our integrated assignment will later be translated into grades for the subject English.

I have chosen to do my integrated assignment on the life of our universe because as little kid I have always wondered about these kinds of things. It is also closely related to my GIP subject because everything we observe from outer space is electromagnetic radiation. But instead of focusing on the optics and physics of what we observe today I would much rather take you with me into outer space and into your imagination to picture what the big bang must have been like and what our universe will look like in the future. Instead of describing everything with formulas and graphs I will write this paper much more like a philosophical story to keep things as simple as possible so everyone can enjoy reading this document no matter what background you have.

The processing of this brochure was done with the word processing program Microsoft Word. Of all the professional features of the program, such as the use of styles with automatic numbering in different levels, automatic page numbering, generate the table of contents and the index, captions for tables, spell checker ... was used in this brochure.

Content

Preface.....	123
Content	125
1 Introduction.....	127
2 Chaos	127
3 Chaos and Energy	129
4 The life story of our universe.....	130
4.1 Before the big bang	130
4.2 The support of this theory	131
4.3 The birth of stars.....	133
4.4 The birth of the earth.....	134
5 The future of our universe.....	135
5.1 The big freeze.....	135
5.2 The big crunch.....	136
Conclusion	137

1 Introduction

Ever since the beginning of human intelligence, people have been wondering about our reality; wondering where everything came from and why it even is here in the first place.

"Has our reality or universe always existed?" and "will it ever... stop existing?"

These philosophical questions are one of the main reasons for the existence of religion. If people didn't wonder about life and ask themselves these questions they wouldn't go on looking for answers to them.

Some people are satisfied with the answers religion teaches them, but others keep searching. To this day scientists are still looking for answers, constantly observing the skies and theorizing their findings.

In this document we are going to try to answer some of these questions using the simple laws of nature. We're going to look at what physicists have to say about these questions and try to follow their reasoning behind this. Furthermore, this document will be a mixture of science and philosophy rather than physics because a lot of these theories cannot be experimentally proven.

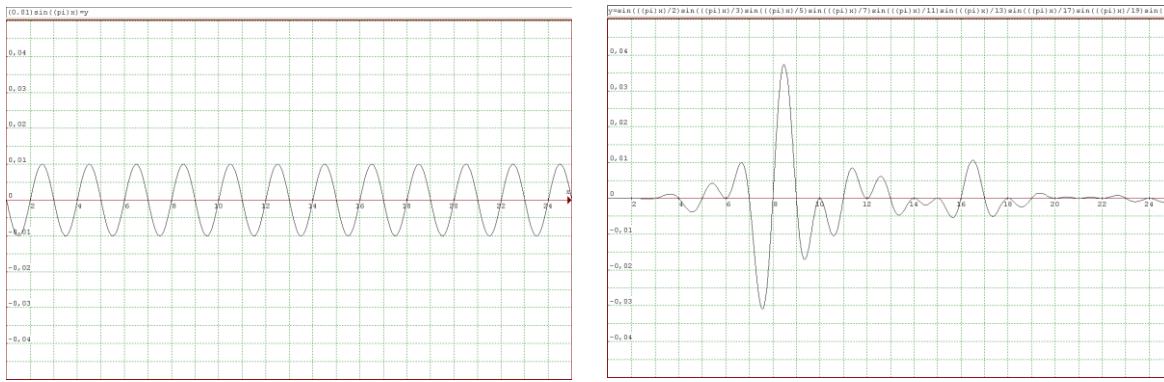
2 Chaos

When something is considered "chaotic" it is, in other words, "out of order". But what is "order" anyway? When can we define something to be "ordered"?

In simple terms, we can say that order is inversely proportional to information, only because it is more complex to describe something that is chaotic than it is to describe something that is in order.

If order is inversely proportional to information, then chaos is directly proportional to information. Therefore if I increase the information of a system then this system should become more chaotic.

Now let's put this idea into a mathematical test. Compare a simple sine wave (low amount of information) to a product of different sine waves (higher amount of information) below:



And this is a beautiful result, because it makes perfect sense with what I have been suggesting so far.

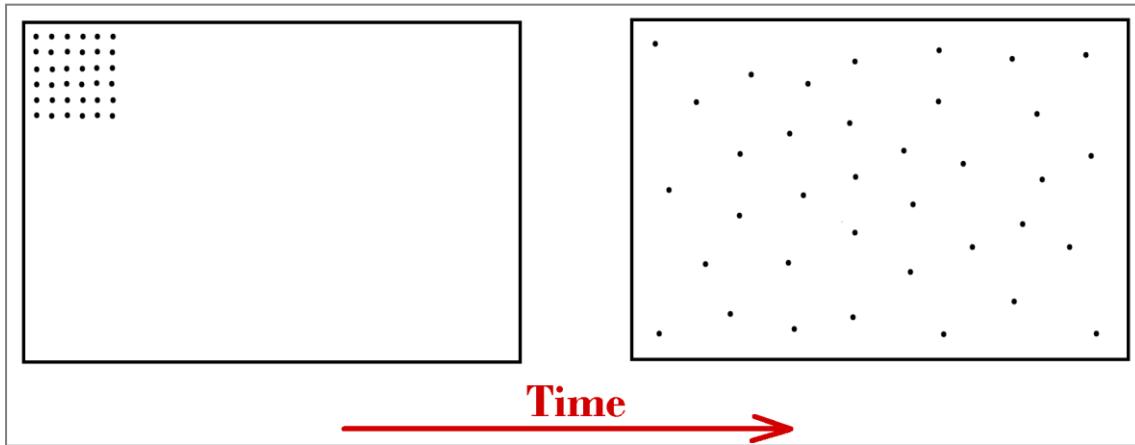
The first function prescription of 'x' in function of 'y' is short and the graph is regular and periodic.

Now compare this to the second function. What a difference! The function prescription is longer and the graph is irregular. The amount of information I put into the program modified the result which led to the graph to look rather random and "chaotic".

Chaos is inevitably everywhere in our everyday life.

Just taking a quick glance outside of your window would be enough to notice an example of this, clouds are incredibly chaotic. I have never seen a geometrically shaped cloud before and I am pretty sure that you haven't either. Clouds always seem to be shaped random and chaotic.

This phenomenon is closely related to entropy, which is a term used in chemistry and thermodynamics.



Take a look at this picture above. When you have a well-structured and tightly packed volume of gas in one area, it will eventually expand as the gas molecules naturally and instantaneously arrange themselves in a more chaotic way.

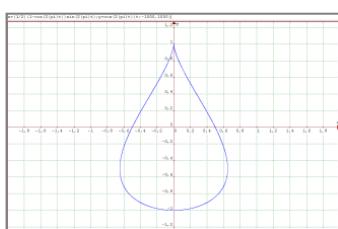
This chaotic behavior is called entropy.

- When something expands or heats up, it becomes more chaotic. Thus, entropy increases.
- When something breaks up into additional little parts, there are more ways for those particles to be arranged relative to one another. Therefore it is more chaos and entropy increases.

In chemistry we say that when the total amount of moles increases within a reaction, the total amount of entropy of the products is higher than the total amount of entropy of the reactants.

- A change in phase can also drastically change the entropy of a system.

When a solid turns into a liquid or gas (or maybe even a plasma), entropy inevitably increases. This is because within a solid structure, the molecules are in a fixed arrangement. There is no way that the molecules can arrange themselves differently relative to each other. However, in a liquid the molecules are able to randomly move around (Brownian motion), but are confined to the space it occupies. Therefore a liquid is considered more chaotic than a solid. But when a liquid turns into a gas, things get even more chaotic because the particles themselves are free to move randomly. However, if gas is not contained, then there is no specific shape formed, thus allowing it to be shaped completely randomly (similar to the



observation of clouds mentioned previously). Consider water drops, they will always aim towards a spherical shape because of surface tension while the shape of a gas is completely random because the individual particles don't consider sticking together. We can still mathematically describe teardrops and other behavior of liquids but it would be crazy to try and do this for a cloud of gas because it would take a ridiculous amount of information.

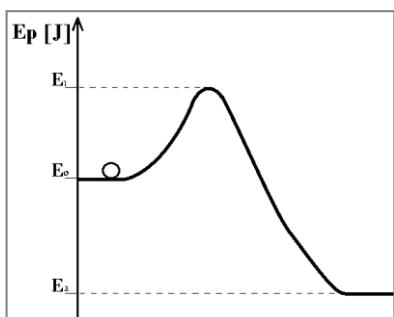
3 Chaos and Energy

Now the reason I'm telling you about chaos is because nature seems to enjoy being chaotic at times. The second law of thermodynamics states:

In a closed system, any spontaneous process within that system will increase the disorder (or entropy) of that system.

A spontaneous process is simply a course that does not require energy and occurs all on its own, most of the time it even releases energy.

Think about dropping a rock. It will fall to the earth all by itself and when it hits the ground it will release energy in a form of sound, heat and maybe some damage to the floor.

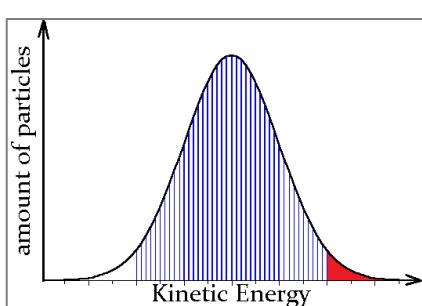


Many spontaneous processes may need a little push to proceed. For instance, setting a piece of paper on fire. The paper won't set itself on fire but once you triggered this event, it will keep burning all by itself and may even burn down a whole forest as a result.

The trigger to this event increases the entropy significantly because by burning paper, CO_2 is released, which is a gas. On top of that, this is also quite an exothermic reaction.

This is comparable to the potential energy of a rock mentioned earlier. Consider the illustration above: the rock wants the lowest amount potential energy possible which is why it's staying on the ground in the first place. However the rock can't climb the hill by itself and go over the hill to then roll down the hill and achieve the lower potential energy possible. But if you carry the rock to the top of the hill and let it go, it will roll down all by itself and stop at the level of lowest potential energy.

A closed system means that the total energy of the system has to stay constant throughout the entire process. In general, we can state that a closed system can only get more and more chaotic over time. A closed system will never get more organized by itself. Everyone knows that a messy and chaotic desk (unfortunately) doesn't organize itself, it can only get organized when you put your time and effort (or energy) into tidying it up. The more energy a system has, the faster and more chaotic it can get.



Let's say we have a liquid of a certain temperature in a closed system. This liquid consists of many separate particles. The temperature of the liquid will be completely dependent on the average kinetic energy of these particles. The particles are clearly not equal. Theoretically speaking, they should vary like a Gaussian function. This function is correct for the kinetic energy of the total system but not for the liquid. The reason is because some particles will have more kinetic energy than the average kinetic energy when

the gas is at its boiling point. In other words, some particles will have enough energy to escape the liquid and form as a gas. This is also what makes your water disappear when you leave a glass of water on your desk for a few days. The higher the temperature of the gas, the higher the average kinetic energy of the particles, the faster it will vaporize, and the more chaotic the system can get in a shorter period of time.

4 The life story of our universe

4.1 Before the big bang

Now before we try to apply these theories to predict what our universe might look like in the future, I have to tell you a short story. The story of our universe isn't really a short story because scientists theorize our universe to be almost 14 billion years old but I'm going to try to keep it short and straightforward.

Once upon a time, there was no time at all; no space, no matter, no light. But all of a sudden there was a single dot; an incredibly small dot containing an almost infinite amount of energy. Don't worry, this part doesn't really make sense to me either. But since it is the theory that is widely accepted by most physicists, let's try to make the best out of it.

A single dot full of energy, but matter doesn't exist yet. There is only one form of energy that I know of that can exist without matter and that is light. Other forms of energy can't exist on their own. For instance, electricity needs charged particles to make a potential difference and give those charged particles kinetic energy. Heat is actually vibrations and kinetic energy of individual particles and can't exist in a vacuum. So this means that light is essentially a pure form of energy. But what light does need is a field. Light is an electromagnetic wave so it needs the electromagnetic field in order to exist.

So when we say that the universe started as a small dot full of energy, it is assumed that it is essentially a speck of light. And because of this idea, we must also assume that the electromagnetic field must have come into existence first.

But where did this point come from? This is the question that puzzles scientists because no one really knows. There are numerous theories that try to justify this phenomenon, but since it happened so long ago in an environment that we cannot recreate on earth, it is essentially impossible to try to experimentally prove any of these theories. You can try and theorize as much as you would like, but if your theory cannot be proven then you might as well consider it being more philosophy than physics. Therefore we will not go into great detail about one or more of these theories.

Earlier I have stated that when you have a closed system, it can only get more and more chaotic over time and will never organize itself. And from this perspective, the big bang theory makes a lot of sense. When you have a closed system with absolutely nothing in it, you essentially have no system at all, which means that there is no information in that system. This actually means that this system would be infinitely ordered. I think we can all agree that your desk is the most ordered when there is nothing on it at all.

So did the non-existing universe got more chaotic by creating itself?

Believing that at some point there was nothing, then later conclude that there was all this energy contained in the universe also breaks the law of conservation of energy. If we turn back time and look at the very moment our universe was created, every physical law seems to break down. As troubling as it sounds, this all makes a lot of sense with what we have theorizing about so far. Because if there was no universe at all, then you wouldn't be able to have any laws of physics in that universe. And physical laws are essentially just information, like writing a code in a computer program.

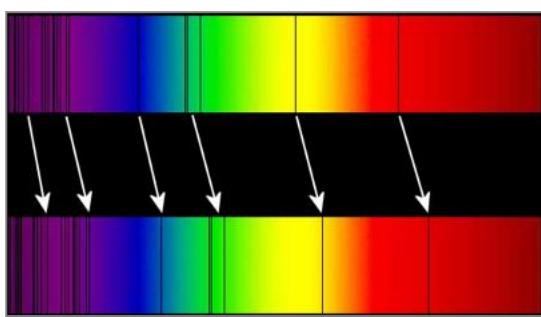
But then what determined our laws of physics? Coincidence? These are the kind of questions that lead to theories of the multiverse. But again, since it is impossible to prove these kinds of theories I will not go into detail about them.

4.2 The support of this theory

But how do scientists know that the universe started in a single dot? Well, that's a whole different story.

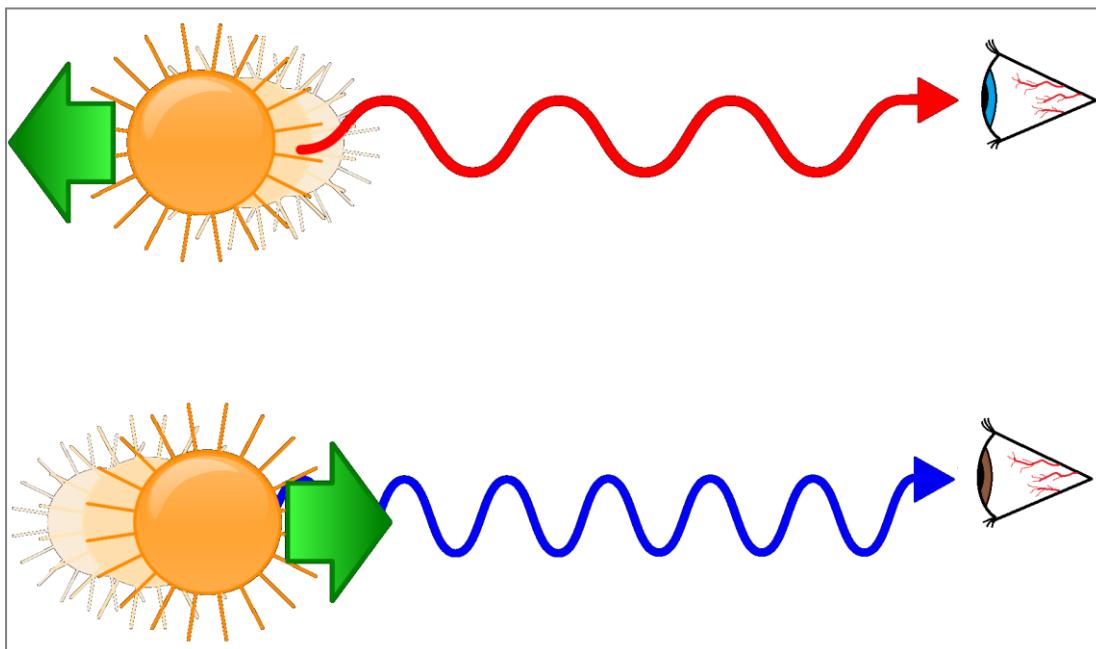
Theoretically, white light is a combination of all wavelengths of light within the visible spectrum, though in reality three different wavelengths is enough to deceive the human eye.

When you pass white light through a gas, you will notice that not all white light gets through. Instead only certain wavelengths of light will get absorbed by the gas. These defined wavelengths depend on the elements of the gas. What you will end up with is the visible spectrum with gaps missing wavelengths.



This is already known for quite some time and when astronomers looked at the sky, they came across these lines as well. Every pattern of lines observed was a signature of a certain element. This way astronomers can determine what element there was in space.

But when astronomers took a closer look at these lines and compared them with measurements on earth they noticed that everything was slightly shifted towards the red side of the spectrum.

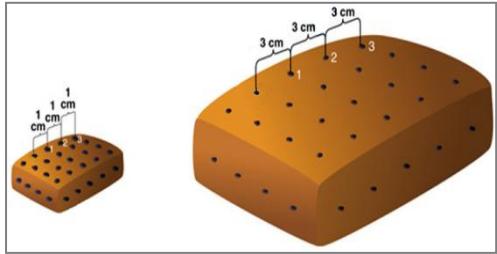


This redshift is comparable to the Doppler Effect. For example, when you hear a police car driving by you can notice that when the car is approaching you, the tone of siren is higher than when it's driving away from you. It is also takes longer for the sound to fade away.

Similar to sound, light is a wave. What scientists concluded was that the stars that are shining light through the gasses must be moving away from us, therefore the wavelengths are getting stretched out and everything is shifted to the red side (longer wavelengths) of the spectrum. The opposite is also possible when the star is moving towards us. However, in general, when astronomers looked at the sky, everything seemed to move away from us.

Note: you can read a lot more in depth about how to deceive eyes and make money with it in my pre-GIP and the logic behind these dark lines in the spectrum in my GIP.

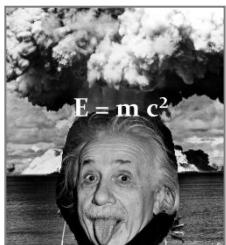
Today, people have learned from their mistakes. Humanity has thought for centuries that the earth was in the center of our solar system and that the sun and moon were orbiting about earth.



It couldn't be possible that we were the center of the universe if everything else that we were observing was moving away from us. Instead, scientists concluded that the universe itself must be expanding, similar to when you're baking a cake with raisins in it. As time progresses, each raisin is moving further away from another raisin as it bakes. It would be quite egocentric if one of these raisins would say that it is standing still and that all the other raisins are moving away from him.

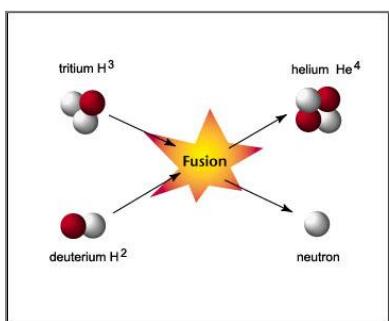
If you accept the fact that our entire universe is expanding, then it's pretty obvious where the big bang theory came from. All you have to do is turn back time, that way the universe will be compressing into one small dot. That's how scientists know that the universe must have started as one microscopic dot full of energy.

So this dot full of energy (full of light) exploded, which makes a lot of sense because light doesn't stand still. But now we're left with the question: "where did all this 'stuff' come from? All of this matter?" "We're not made out of light, right?" Well, as weird as it may sound, yes, we are made out of light, however, it's not that simple.



The most powerful bomb known to mankind is the atomic hydrogen bomb. What happens inside of a hydrogen bomb is that two different isotopes of hydrogen are smashed together and turned into helium and one neutron. This sets up a chain reaction. In this process, a small amount of mass is lost. This mass is turned into a high amount of energy. $E = m c^2$

In fact, about 50% of the electricity generated in Belgium comes from nuclear reactors.



Both of these things rely on the fact that mass can be turned into energy. You can actually view mass like another form of energy, similar to how electricity and heat mass is a different form of energy. It's like a way of storing energy extremely effectively. Because as I said before, a small amount of mass can translate into an enormous amount of energy.

On the flip side, to create mass you would need an enormous amount of energy. And this is what happened at the birth of our universe.

Our little dot full of energy is extremely energy-dense, it is something we can never recreate on earth. And as the explosion (expansion) started, a lot of this energy (light) turned into mass.

An inconceivably high amount of particles was created (quarks, neutrons, protons, electrons, etc.). These particles then started to stick together, thus forming the first atoms. They were mostly hydrogen atoms because they are the easiest to be made.

Today, hydrogen is still the most abundant element in the universe.

4.3 The birth of stars

Now we have our baby universe, which is essentially a lot of hot hydrogen in the form of a plasma. Plasma is a gas that is so hot that it gets ionized. The plasma also emits light, therefore it loses energy and cools down. This was the very first gasses formed.

But how did all this hydrogen turn into the elements that make up you and me? Where did all the stars and planets come from?

There is one big problem though. Because on a large scale and over a long period of time, the second law of thermodynamics doesn't seem to work. The problem is gravity.

Remember: "***In a closed system, any spontaneous process within that system will increase the disorder (or entropy) of that system.***"

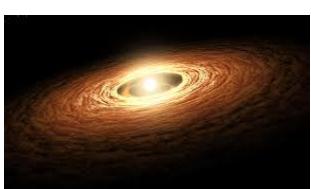
Well, if you have a very large gas in a closed system, gravity will pull all the gas particles together. The gas particles will be attracted to each other and the total volume of the gas decreases. Now actually the total volume of the entire system will increase by a lot if you take into account that the gas will emit light (because light propagates so fast through space), but we're ignoring that for now.

In other words, the system will spontaneously get more ordered!

Gravity is kind of the force that seems to ruin and counteract our theory about chaos and entropy. And this is the reason why our universe still exists! These two laws of nature are like the yin and yang of our universe. One of them making sure everything doesn't expand into one big boring gas. And the other making sure our universe does crush together into one massive ball.

But are they equally strong? Or is one of them going to dominate our universe? These are exactly the kind of questions I want to further explore with you in this paper.

But let's get back to our story: so our universe is still expanding but gravity is starting to play a role too. And the soup-like plasma is splitting up into separate clouds due to gravity. These clouds keep cooling down due to the emission of light and their volume keeps getting smaller and smaller.



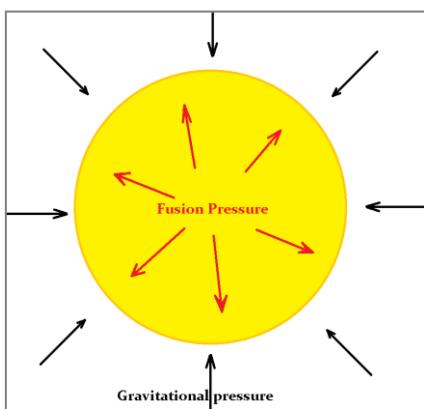
The gravity of the plasma started pushing itself into a beautiful sphere and so, the first stars are born. Surrounding this hot ball of plasma is a big cloud of hydrogen gas in the shape of a pancake. Inside these giant balls of plasma is where the magic happens. At some point the young star gets hot and dense enough to sustain a thermonuclear reaction.

Now the star is just like one gigantic atomic bomb, constantly turning hydrogen into helium and releasing tons of energy. This is the stage in which most stars spend most of their lifetime, even our own sun is in this stage today. But this is not where it ends, when the star slowly starts running out of hydrogen to fuse, it can also start fusing heavier element like carbon and oxygen. This is how these elements inside of your body came to exist.

4.4 The birth of the earth

But how did these elements get from the star into our body?

Well, it is because some stars explode at the end of their lifetime. The way a star dies highly depends on how massive they are. Some smaller stars simply don't have enough energy to explode and slowly fade away. That is also why the light that they emit is more of a reddish color (red light has the lowest energy of all visible light). But some stars are so big and massive that they emit more light in the bluer side of the spectrum. When you look at the night sky, you're most likely seeing these kinds of star simply because they emit so much light even though they are a lot rarer than red dwarfs.



A star is a beautiful harmony of gravity (trying to crush the star together) and fusion (fighting against the force of gravity to try to make the star blow up like an atomic bomb).

When a big enough star keeps fusing elements until it turns into iron, something catastrophic happens. When you try to fuse iron into other elements instead of giving off energy, it will absorb energy. This will stop the fusion pressure and the star will collapse under its own gravity. This sets up an incredible shockwave that blows away all the lighter elements surrounding the core of the star.

Most of the elements heavier than iron owe their lives to supernova explosions (death of a large star).

What we're left with are large clouds of elements that are shooting away from the dead star to go on to form planets. And in the center, stays a relatively small core that is incredibly dense. If you were to hold a ball the size of a marble of the same material as this core inside of your hand on earth, it would fall right through your hand, through the ground, and into the core of the earth because it's so heavy.

That is my concise version of how our universe was born and how it got to where it is today. In conclusion, we are actually made from light that turned into hydrogen that fused into heavier elements inside giants stars that then exploded to form earth and life.

note: You can read more in depth about how life formed on earth in my good friend Jens Helskens's paper on 'the origin of life'. And in my GIP you can also read more in depth about how hot bodies emit certain wavelengths of light.

From an abstract point of view, life is simply a consequence of entropy. Our earth is constantly provided with energy from our star (the sun), by giving off not too much and not too little. This energy makes it possible for events to take place that absorb energy instead of going to the lowest, most stable, energy state.

Trees grow by taking CO₂ out of the air, using the carbon to build its structures (wood) and releasing O₂. This reaction requires energy, which is where photosynthesis (energy from the sun) kicks in. When you chop down that tree and use its wood to make a fire, what you're actually doing is releasing the energy that the tree stored from the sun throughout its lifetime. So building a campfire at night is essentially like having a little piece of our sun down on earth, burning up right in front of you.

Animals and plants are incredibly complex and chaotic things that are a result of the conditions on earth, chaos and evolution.

5 The future of our universe

Now we are going to try and figure out what our universe will look like in the future and if our universe will come to an end one day.

There are several theories for this, but let's start with the easiest one.

5.1 The big freeze

Our first possibility is that chaos will simply win.



The reason that you see a beautiful sky full of light emitting stars at night is actually a consequence of chaos theory. In fact, the reason that light even exists is a consequence of chaos theory. As we've seen, suns are like atomic bombs that are pumped with energy. But our reality doesn't like that much energy concentrated in one place. It wants to be chaotic and distribute that energy over a larger volume.

However, the star is in free space. It can't distribute its energy through heat or anything else because it's completely isolated from all other matter. So it gives off its energy in a whole different way. It will put its energy into the electromagnetic field, which is simply light! This way the star can cool down.

Our first theory says that our universe will just keep expanding forever. Stars will keep burning and cooling down until they run out of fuel and one day our universe will be a dark, cold and boring place. Just like all other stars, our sun will have been dead for a long time.

Will humanity be able to keep surviving in the big cold environment of free space? What's our way out of this?

We would have to constantly get energy out of matter and since there's only a finite amount of matter and energy in the universe, this means that one day we will run out and humanity will go extinct forever.

Another solution could be that we become so good at physics that we can manipulate our reality. If we can figure out how the big bang came about, we may be able to break the law of conservation of energy in hopes that we'll find a way to create energy out of nothing.

These things might seem frightening, but you shouldn't worry about them at all because the odds that we'll make it that far are a lot lower than you think. Let me remind you that the biggest threat to humanity is humanity itself. We should consider ourselves lucky if we don't kill each other within the coming thousand years.

5.2 The big crunch

Another possibility is that gravity wins. And that the universe will stop expanding one day and start shrinking.

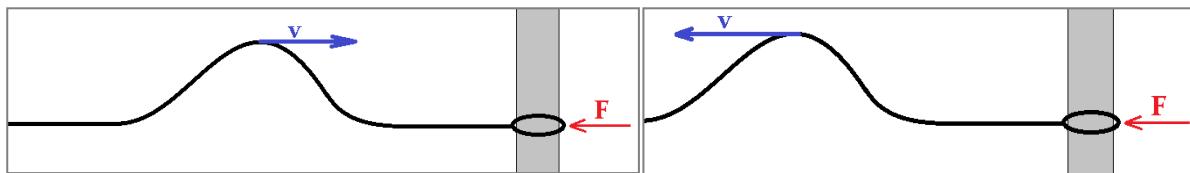
The universe will compress back into one super-hot dense dot. And if humanity has managed to stick around till that time, well then we're quite screwed because the gravitational force from that dot would be incredibly strong.

Recently, I watched a lecture on the fate of our universe from Walter Lewin who is a retired professor at MIT. He proposed that if The Big Crunch theory really happened one day then this may have already happened before in the past. Maybe our universe is constantly exploding and crunching back together, constantly being reborn out of itself. Maybe our universe keeps repeating this process which is why there will not ever be a species that is able to completely rule and colonize the entire universe.

But the problem is, at the moment of the big bang, and even till this day, light (energy) is being shot out into empty space, and this light won't come back by itself. That means that this energy is essentially lost, forever.

So it is impossible that our universe would crunch back together and explode all over again repeatedly because it's not a closed system. The fact that our universe wants to be chaotic is causing our universe to lose energy over time.

The only way our universe could collapse back in on itself without losing energy is if space itself would also collapse into that one dot. If the electromagnetic field would also start shrinking to that one point than the light emitted at the moment of the big bang would eventually reflect on the end of space itself.



When you have a rope in your hand that is connected to a bar, and its end can freely move, then the bar can only give a reaction force in the horizontal direction. If you give a wave pulse to the rope the pulse will be perfectly reflected back to you (if we neglect friction).

Light is like that pulse and the electromagnetic field is the rope. Light is an electromagnetic wave, so if the electromagnetic field itself starts shrinking, then eventually the light will come to the edge of the field itself and simply reflect back to where it came from. To the center of our universe where everything will compress back into and everything has expanded out of.

But now which one of these theories is correct? Which one will happen? Well we don't know. It all depends on one thing. At the moment of the big bang, everything was shot outward and given a certain kinetic energy. As everything moves away from each other, the force of gravity will become less strong but there will still always be a force on every piece of matter in the universe. It all depends on whether that kinetic energy is able to forever overcome that everlasting force of gravity. Either way the future is not looking great.

But perhaps none of these theories are true. Maybe something completely different will happen due to some physical law we don't understand yet.

Conclusion

All my sources of information can be found on the web most of the information comes from Wikipedia pages, documentaries, YouTube videos, online lectures and logical reasoning.

In general I am happy with what I made of my integrated assignment.

I think I succeeded very well on keeping everything simple and understandable for everyone.

I'm surprised that I managed to shrink everything down to ten pages.

It took a lot longer to finish than I thought it would but I still enjoyed every second of working on it.

I'm also happy to further improve my English skills as I did have trouble spelling certain words.

I really hope you enjoyed reading this document and I would be even happier if you learned something.

And above all I would like to thank you for reading this paper!