
Natuurkunde voor het mbo deel 3

A.G.A. van der Meer

J.A. Tijmensen

B. Taken

© 2021, Syntax Media, Utrecht

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van reprografische veeleevoudingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van Artikel 16h Auteurswet 1912 dient men de daarvoor verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Reprorecht (www.reprorecht.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting UvO (www.stichting-uvo.nl).

ISBN 978-94-91764-46-2

Ontwerp omslag: Lapis Vivus grafisch ontwerp, Oosterbeek
Ontwerp en opmaak binnenwerk: AlphaZet prepress, Bodegraven
Tekstredactie: Redactie & zo, ir. Caroline van der Meulen

Illustratieverantwoording:

Foto omslag © Epicstock, Dreamstime.com; blz. 1 © Dmytro Balkhovitin, Dreamstime.com; blz. 3 (elektroscoop) © Yuri Korchmar, Dreamstime.com; blz. 8 (spanningsbron) © Olga Popova, Dreamstime.com; blz. 11 © Sergpet, Dreamstime.com; blz. 28 © Arturo Limon, Dreamstime.com; blz. 44 (potmeter) © Popa Sorin, Dreamstime.com; blz. 46 (multimeter) © Ian Poole, Dreamstime.com; blz. 46 (oscilloscoop) en blz. 80 (trafo) © Alexlmx, Dreamstime.com; blz. 69 © Worradorek Muksab, Dreamstime.com; blz. 103 © Dean Hoch, Dreamstime.com; blz. 107 © Sergey Ilin, Dreamstime.com; blz. 124 (oscilloscoop) © Leon Viti, Dreamstime.com; blz. 128 © Hospitalera, Dreamstime.com; blz. 162 © Gorkos, Dreamstime.com; blz. 167 (foto interferentie) © Kim Christensen, Dreamstime.com; blz. 183 CERN; blz. 205 © Edward Olive, Dreamstime.com; blz. 231 (foto detector) © Joseph White, Dreamstime.com; blz. 242 (gammacamera) © Petr Smagin, Dreamstime.com; blz. 243 (gammacamera: beeld) © Igokapil, Dreamstime.com; blz. 249 en blz. 286 Olympus Nederland; blz. 256 (oculair) © Ali Rıza Yıldız, Dreamstime.com; blz. 256 (objectief) en blz. 270 (objectiefrevolver) © Springdt313, Dreamstime.com; blz. 270 (objectieven) © Purpuricenus, Dreamstime.com; blz. 271 Zeiss; blz. 276 © Richard Thomas, Dreamstime.com; blz. 279 (zoetwateralg) © Buccaneer, Dreamstime.com; blz. 281 © Jan Bruder, Dreamstime.com; blz. 282 © Damian322, Dreamstime.com; blz. 284 (ureumkristallen) © Christian Weiß, Dreamstime.com; blz. 285 © Anyaivanova, Dreamstime.com; blz. 290 (TEM SARS en SEM SARS) NIAID/Flickr; blz. 290 (siliciumoppervlak) © Roberto Lo Savio, Dreamstime.com; blz. 296 © Anatoly Morozov, Dreamstime.com; blz. 297 Insight analytical labs; blz. 309 (diodes) © Noneam, Dreamstime.com; blz. 315 (LDR) © Timawe, Dreamstime.com; blz. 316 (transistor en elektrodenbuis) © Vlabos, Dreamstime.com

Overige afbeeldingen: Fons van der Meer

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Zij die desondanks rechten menen te kunnen doen gelden, kunnen zich tot de uitgever wenden.

Woord vooraf

Voor u ligt deel 3 van *Natuurkunde voor het mbo*. Dit boek is een herziening van de delen 5, 6 en 7 uit de vorige reeks *Natuurkunde voor het MLO*.

In dit deel worden voor het mbo gangbare natuurkundethema's besproken, zoals elektriciteit, magnetisme, trillingen en golven. Daarna volgen hoofdstukken met meer specifieke thema's: elektromagnetische straling, atoombouw, radioactiviteit, microscopie en halfgeleiders. Ook belangrijk in de laboratoriumpraktijk, al is dat wellicht afhankelijk van de studierichting.

Veel uitgewerkte voorbeelden en veel oefeningen maken *Natuurkunde voor het mbo* tot een echte mbo-reeks. We hebben er uitgebreide *uitwerkingen* aan toegevoegd. Deze zijn online beschikbaar en vormen ook qua uitleg een serieuze aanvulling op het boek (zie www.syntaxmedia.nl bij *Natuurkunde voor het mbo deel 3*). Ook de *zelftests* zijn daar online te vinden.

Vanzelfsprekend zijn wij geïnteresseerd in op- en aanmerkingen die het boek kunnen verbeteren.

U kunt ons bereiken via e-mail: info@syntaxmedia.nl

maart 2021

Fons van der Meer

Jan Tijmens

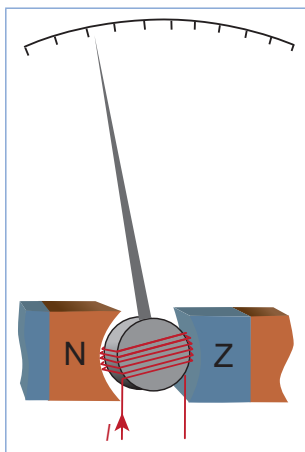
Bert Taken

Inhoud

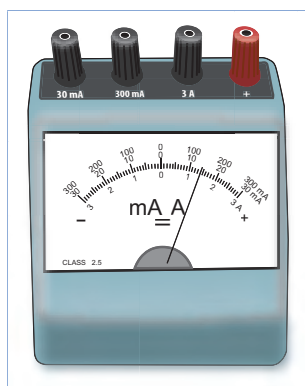
Woord vooraf	V
1 Elektrische stroom	1
1.1 Elektrische verschijnselen	2
1.2 Spanning en stroomsterkte	7
1.3 Elektrische energie	13
1.4 Wet van Coulomb	16
1.5 Elektrische veldsterkte	19
1.6 Soortelijke weerstand	22
1.7 Weerstand en temperatuur	24
1.8 Condensator	27
Samenvatting	32
2 Elektrische schakelingen	36
2.1 Schakeling van weerstanden	37
2.2 Spanningsdeler	44
2.3 Regels voor het bouwen van een schakeling	45
2.4 Veilig werken met elektrische schakelingen	48
2.5 Gemengde schakelingen	50
2.6 Nauwkeurigheid van spannings-, stroom- en weerstandsmeters	53
2.7 Inwendige weerstand	55
2.8 Condensatoren	57
2.9 Elektrochemie	59
Samenvatting	67
3 Magnetisme	69
3.1 Magnetisme	70
3.2 Magnetische veldlijnen	72
3.3 Lorentzkracht	74
3.4 Inductiestroom	76
3.5 Transformator	79
3.6 Verdiepingsvragen	83
3.7 Richting van de lorentzkracht	84
3.8 Grootte van de lorentzkracht	86
3.9 Magnetische flux	87
3.10 Zelfinductie	91
3.11 Wisselspanning	92
3.12 Sterkte van het magneetveld	94
3.13 Toepassingen	98
Samenvatting	104

4	Trillingen	107
4.1	Periodieke bewegingen	108
4.2	Trillende voorwerpen	112
4.3	Eenparige cirkelbeweging	114
4.4	Harmonische trilling	121
	Samenvatting	126
5	Golven	128
5.1	Lopende golven	129
5.2	Interferentie	132
5.3	Resonantie	134
5.4	Uitwijking van lopende golven	135
5.5	Staande golven	138
5.6	Golfprincipe van Huygens	142
5.7	Buiging na twee spleten	145
5.8	Geluid	146
5.9	Geluidssnelheid	148
5.10	Geluidssterkte	150
	Samenvatting	154
6	Elektromagnetische golven	157
6.1	Licht als golfbeweging	158
6.2	Elektromagnetisch spectrum	160
6.3	Zichtbaar licht	164
6.4	Interferentie met een tralie	165
6.5	Polarisatie	170
6.6	Optische activiteit	171
6.7	Monochromator	175
6.8	Transmissie en extinctie	178
	Samenvatting	180
7	Het atoom	183
7.1	Foto-elektrisch effect	184
7.2	Atoommodel	188
7.3	Kwantummechanisch atoommodel	192
7.4	Atoomspectroscopie	198
7.5	Röntgenstraling	201
	Samenvatting	207
8	Radioactiviteit	210
8.1	Atoomkern	211
8.2	Ioniserende straling	217
8.3	Kernreacties (radioactief verval)	220
8.4	Detectie van ioniserende straling	229
8.5	Dosimetrie	231
8.6	Stralingsbronnen	236
8.7	Toepassingen	239
	Samenvatting	245

9	Microscopie	249
9.1	Hoekvergroting	250
9.2	Microscop	254
9.3	Afbeeldingsfouten	257
9.4	Scheidend vermogen	259
9.5	Objectief en oculair	265
9.6	Verlichting	273
9.7	Instellen van de microscoop	275
9.8	Donkerveldmicroscopie	278
9.9	Fasecontrastmicroscopie	279
9.10	Fluorescentiemicroscopie	282
9.11	Polarisatiemicroscopie	284
9.12	Vastleggen van microscopische beelden	285
9.13	Elektronenmicroscopie (EM)	286
	Samenvatting	291
10	Halfgeleiders	296
10.1	Stroomgeleiding	297
10.2	Dotering	303
10.3	pn-overgang	306
10.4	Halfgeleiderdiode	308
10.5	Gelijkrichten en afvlakken	310
10.6	Diverse halfgeleidercomponenten	314
	Samenvatting	320
	Antwoorden	322
	Register	339



Draaispoelmeter.



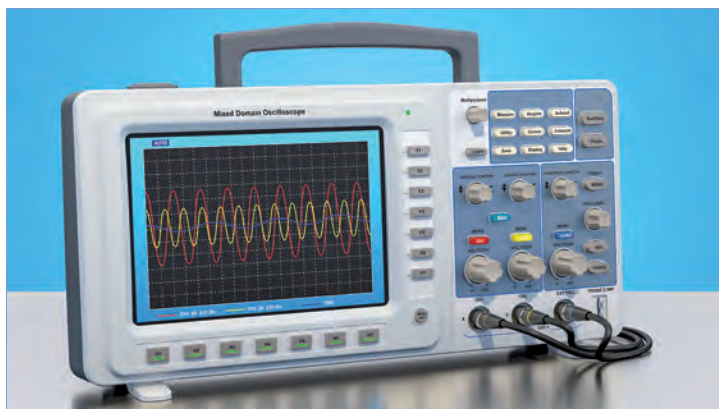
Eenvoudige ampèremeter.



Elektronische, digitale multimeter met meetpennen.

Deze (eenvoudige) voltmeter heeft geen elektronica in de behuizing voor versterking van het signaal. Het te meten signaal wordt rechtstreeks door een kleine spoel in een magnetisch veld geleid. De spoel is verbonden aan een wijzer. Hoe groter de stroom door de spoel, hoe groter de wijzeruitslag. We spreken bij dit principe over een *draaispoelmeter*.

Een heel speciale voltmeter is de oscilloscoop. Deze meet de spanning én de tijd. Hij geeft de verandering van spanning in de tijd weer.



Oscilloscoop.

Ampèremeter

Een ampèremeter meet de stroom in de kring. De ampèremeter moet dus in de stroomkring zijn opgenomen. De weerstand van een goede ampèremeter is heel laag. Hij mag de stroom niet tegenhouden. Een eenvoudige ampèremeter is weer een draaispoelmeter.

Multimeter

Met een multimeter kun je verschillende grootheden meten, zoals spanning, stroom, weerstand en vaak ook een frequentie en temperatuur (met behulp van een bijbehorende sensor). De multimeter heeft elektronica in de behuizing om het signaal te versterken en meerdere functies mogelijk te maken. Je spreekt daarom ook wel over een *elektronische* multimeter. Hij kan zowel analoog (wijzer) als digitaal afleesbaar zijn. Je kiest met een keuzeschakelaar gelijkstroom-, wisselstroom- of weerstandsmeting. Je zet een multimeter pas aan, als je de schakeling gecontroleerd hebt. Een goede (maar dure) elektronische multimeter corrigeert overigens een verkeerde verbinding automatisch en kiest zelf het meest geschikte schaalbereik.

- Opgave 13** Waarom sluit je een spanningsmeter pas aan, als je het stroomcircuit gebouwd hebt?
- Opgave 14** Een oscilloscoop is een schrijvende spanningsmeter. Wanneer moet je een oscilloscoop aansluiten: direct bij het bouwen van het stroomcircuit of pas achteraf?
- Opgave 15** Wanneer maak je gebruik van *meetpennen* bij het meten van een spanning?
- Opgave 16** Welk risico loop je als je een draaispoelmeter aansluit op een te klein meetbereik?
- Opgave 17** Waarom moet de spanningsbron altijd uitstaan als je een schakeling bouwt?
- Opgave 18** Waarom moet je altijd in het begin meten op het hoogste meetbereik?
- Opgave 19** Beantwoord de volgende vragen.
- Waarom moet je zo veel mogelijk een schaalbereik kiezen, waarbij de wijzeruitslag zo groot mogelijk is?
 - Een analoge spanningsmeter heeft meetbereiken van 300 V, 30 V, 15 V en 6 V. Op een schaalbereik van 300 V meet je 6,8 V. Op welk schaalbereik moet je dan meten?
- Opgave 20** Kies uit de cursieve woorden het juiste woord.
- Een stroommeter is in *serie / parallel* geschakeld *aan / met / door / over* de weerstand *waarover / waardoor / waarmee / waarvan* hij de stroom meet.
 - Een spanningsmeter is in *serie / parallel* geschakeld *aan / met / door / over* de weerstand *waarover / waardoor / waarmee / waarvan* hij de spanning meet.
 - Een weerstandsmeter is in *serie / parallel* geschakeld *aan / met / door / over* de weerstand *waarover / waardoor / waarmee / waarvan* hij de weerstand meet.
- Opgave 21** Kies uit de cursieve woorden het juiste woord.
- De weerstand van een spanningsmeter moet *heel groot / heel klein* zijn ten opzichte van de weerstand *waarover* hij de spanning meet.
 - De weerstand van een stroommeter moet *heel groot / heel klein* zijn ten opzichte van de weerstand *waardoor* hij de stroom meet.

Opgave 2

De Curietemperatuur van zuiver ijzer bedraagt 1040 K.

- Wat zou er met een ijzeren magneet gebeuren als je deze verhit tot 600 °C?
- Wat gebeurt er als je de magneet verhit tot 800 °C?

Opgave 3

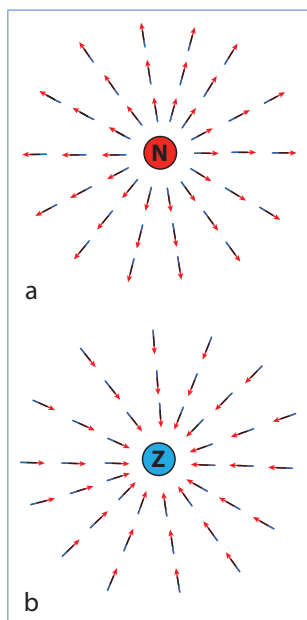
Welke stoffen kunnen gemakkelijk gemagnetiseerd worden?

Opgave 4

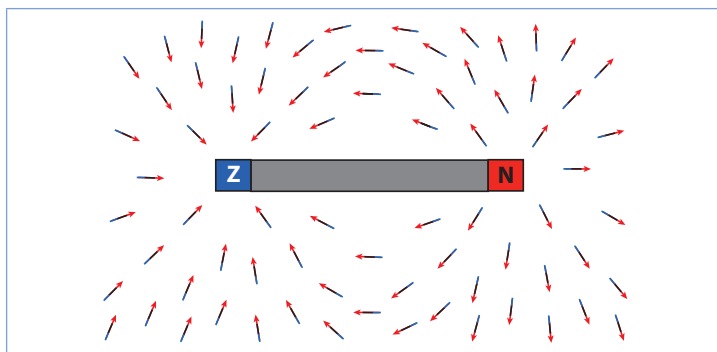
Kun je een losse noordpool krijgen door een staafmagneet in tweeën te breken?

3.2 Magnetische veldlijnen (niveau 3, 4)

Net als bij een elektrisch veld kun je een magneetveld ook beschrijven met behulp van veldlijnen. De magnetische veldlijnen kun je zichtbaar maken met kompasjes. In de afbeelding zie je hoe de kompasjes zich richten bij een *staafmagneet*. De kompasjes wijzen allemaal in de richting van de magnetische zuidpool. Buiten de magneet lopen de veldlijnen van de noordpool naar de zuidpool. In de buurt van de polen is de veldlijnendichtheid het grootst en dus het magneetveld het sterkst.



Magnetische noord- en zuidpool.



Magnetische dipool omringt door magneetjes.

In de afbeelding *Magnetische veldlijnen rond verschillende magneten* zie je voor de *hoefmagneet* (b) tussen de polen een *homogeen veld*, dat wil zeggen: de veldlijnen zijn evenwijdig aan elkaar en het veld is overal even sterk.

In de afbeelding *Magnetische noord- en zuidpool* zie je:

- het radiale veld van een *noordpool*, de kompasjes zijn allemaal van de noordpool af gericht en liggen op denkbeeldige lijnen die alle uit één punt komen;
- het radiale veld van een *zuidpool*, de kompasjes zijn naar de pool gericht.

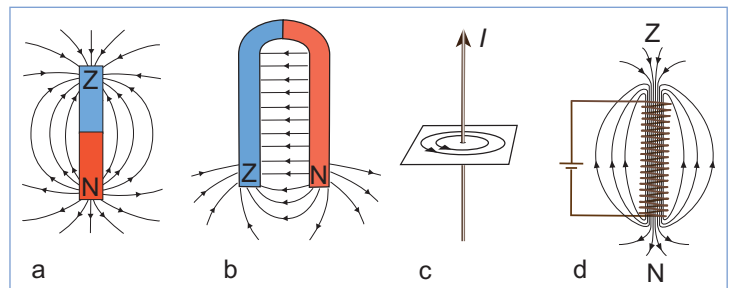
Magnetische veldlijnen kun je ook tekenen. Hierbij maken we dezelfde afspraken als bij elektrische veldlijnen.

Een *magnetische veldlijn* is een zodanige lijn, waarbij de raaklijn in elk punt aan die lijn de richting aangeeft van de veldkracht op een magnetische noordpool.

Voor de magnetische veldlijnen geldt:

- het zijn *gesloten* veldlijnen: er is geen begin- en geen eindpunt;
- ze snijden elkaar nooit;
- ze hoeven niet loodrecht op de magneet te staan;
- de *veldlijndichtheid* is een maat voor de sterkte van het magneetveld.

In de navolgende afbeelding zijn de magnetische veldlijnen voor verschillende situaties getekend.

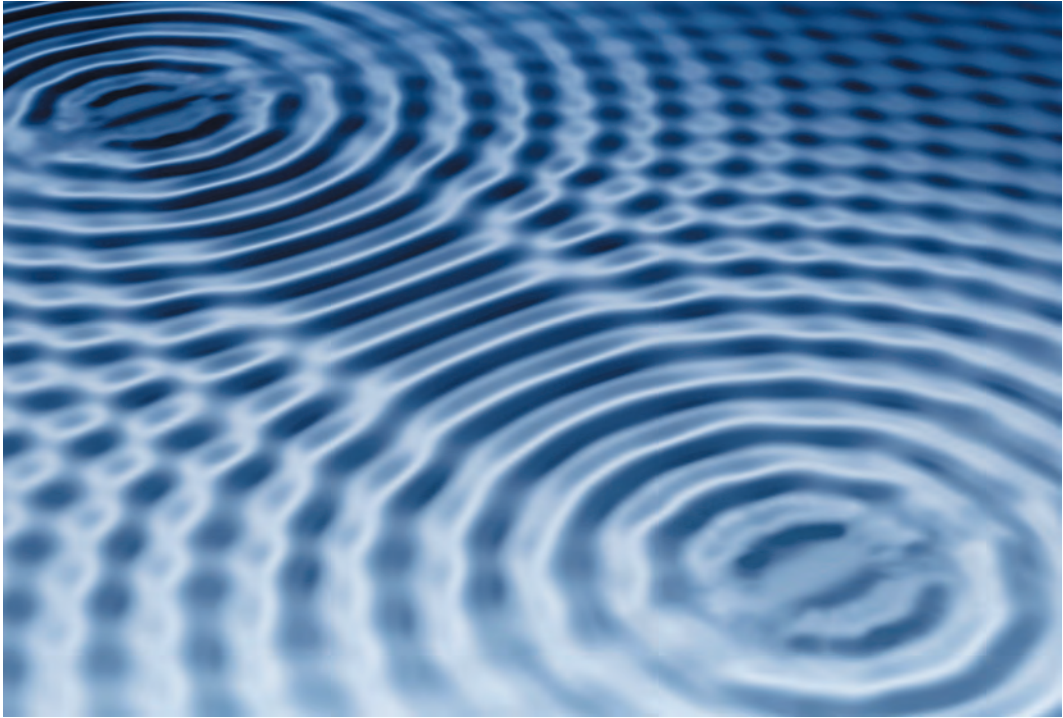


Magnetische veldlijnen rond verschillende magneten: (a) staafmagneet; (b) hoefmagneet; (c) stroomvoerende draad en (d) elektromagneet (spoel).

Een magneet kun je ook maken met elektrische stroom. Een bewegende lading veroorzaakt namelijk een magneetveld. Het magneetveld van een *rechte* stroomdraad bestaat uit concentrische cirkels. Het vlak van de cirkels staat loodrecht op de stroom. De richting van het magneetveld kun je vinden met de *kurkentrekkerregel*: wanneer je een kurkentrekker zó ronddraait dat deze in de richting van de stroom beweegt, dan geeft de draairichting ook de richting van het magneetveld aan. In afbeelding (c) laat je de lengtes van de kurkentrekker samenvallen met de stroomdraad. Je moet nu de kurkentrekker (van bovenaf gezien) linksom (tegen de wijzers van de klok in) ronddraaien om hem naar boven te laten bewegen.

Afbeelding (d) toont het magneetveld van een *elektromagneet*. Dit is een spoel waar je een stroom doorheen stuurt. Het magneetveld van zo'n *spoel* komt overeen met het veld

Golven



We zien hier twee bronnen die elk een cirkelvormige golf maken. De twee golven kunnen *samenvallen* maar kunnen elkaar ook verstoren of *opheffen*.

- Wat kun je zeggen over de golfband tussen de bronnen in?
- Wat gebeurt er in de patronen rechts en links van de bronnen?

Voorkennis (niveau 3, 4)

- Je kunt de grootheden trillingstijd, frequentie, hoeksnelheid en fase voor een harmonische trilling toepassen.
- Je kunt rekenen met snelheid en afgelegde weg.

Basisstof (niveau 3, 4)

- Hoe planten golven zich in een koord voort?
- Wat zijn longitudinale en transversale lopende golven?
- Hoe gebruik je de grootheden trillingstijd, frequentie, golflengte en fase voor een lopende golf?
- Wat zijn interferentie en resonantie?

Verdieping (niveau 4)

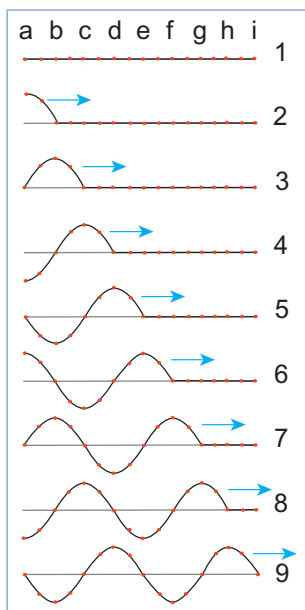
- Hoe kaatst een lopende golf terug bij een vast uiteinde en een los uiteinde?
- Hoe ontstaat een staande golf?
- Hoe bereken je de trillingstijd, frequentie, (gereduceerde) fase, faseverschil, golflengte, amplitude, uitwijking op een willekeurig tijdstip van een punt op een lopende of staande golf?
- Hoe kun je met het golfprincipe van Huygens buigings- en interferentieverschijnselen verklaren?

- Waardoor kun je met een lichtmicroscopio geen moleculen waarnemen?
- Wat betekent: het geluidsniveau is 30 dB?
- Hoe komt het dat de klank van een piano anders is dan van een blokfluit?
- Wat is de gehoordrempel?
- Hoe kun je geluidssnelheid in lucht bepalen?

Bij de afbeelding

In de ruimte tussen de bronnen is een duidelijke rimpel te zien. Hier vallen de toppen van de ene golf samen met de toppen van de andere golf. Ook de dalen van beide golven vallen samen.

In de ruimte rechts en links van de bronnen zie je dat de twee golven elkaar hinderen. Op sommige plekken vallen ze samen, op andere plekken doven ze elkaar uit.



Opeenvolgende momenten van een golf in een touw.

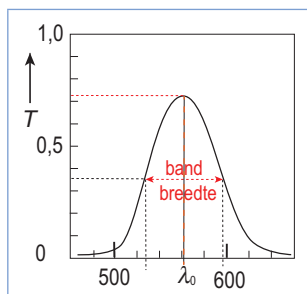
- 1 Het koord is in rust.
- 2 a is naar het hoogste punt gegaan. b, c, d, enzovoort zijn nog in rust.
- 3 a is weer terug in de evenwichtsstand, b bevindt zich nu in het hoogste punt, b voert dezelfde beweging uit als a, alleen iets later.
- 4 a is in het laagste punt, het front van de golf is bij d.
- 5 Er is één hele golf gepasseerd. De fase van e is 0, de fase van a is 1,0.

5.1 Lopende golven (niveau 3, 4)

Voortplanting van een trilling

Als een voorwerp trilt, kan de omgeving meetrillen. Laat je een steen in water vallen, gaat het water op de plek waar de steen erin valt op en neer bewegen. Maar ook het water eromheen gaat meedoen. Er ontstaat een cirkelvormige, uitdijende golf. Zo zijn er vele trillingen die zich in de ruimte uitbreiden. Een luidspreker brengt luchtmoleculen in trilling, een gitaarsnaar die je aantokkelt, brengt luchtmoleculen in trilling. Steeds wanneer de trilling zich uitbreidt in de omgeving ontstaat een *lopende golf*. In de afbeelding is een lopende golf in een elastisch koord getekend. De negen tekeningen geven de stand van het koord op verschillende tijdstippen.

Alle punten voeren dezelfde trilling uit als punt a. Maar hoe verder ze van a af liggen, hoe later ze aan de beurt komen. Op deze wijze loopt er een golf door het koord. Alle punten van het koord trillen alleen in verticale richting. Het is alleen de golfbeweging die zich verplaatst. De punten verplaatsen zich niet naar links of rechts. Maar de trillingen worden wel doorgegeven. In het koord plant zich een golfbeweging voort in horizontale richting. Dit heet de *voortplantingsrichting* of *bewegingsrichting* van de golf. Een golfbeweging waarbij de trillingsrichting loodrecht staat op de bewegingsrichting van de golven heet een *transversale golf*.

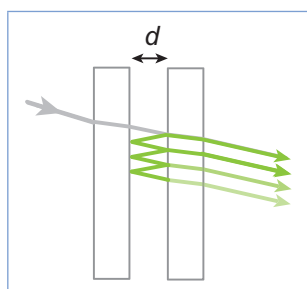


Kleurfilter.

De eigenschappen van een filter leggen we als volgt vast (afbeelding *Kleurfilter*):

- De *analytische lijn* λ_0 . Dit is de golflengte, waarbij de transmissie maximaal is. Het is de symmetrieas in de afbeelding. We lezen daar af: $\lambda_0 = 562 \text{ nm}$.
- De *transmissie* T_0 bij λ_0 . Hier lezen we af: $T_0 = 73\%$.
- De *spectrale (band)breedte* van het filter. Dit is de breedte op halve hoogte.
- In de afbeelding lezen we af (orde van grootte): bandbreedte is $599 \text{ nm} - 527 \text{ nm} = 72 \text{ nm}$.
- Glasfilters hebben het voordeel dat ze eenvoudig te maken zijn en dus goedkoop zijn. Het nadeel is matige doorlaatbaarheid (geringe transmissie) en de vrij grote bandbreedte.

Interferentiefilter

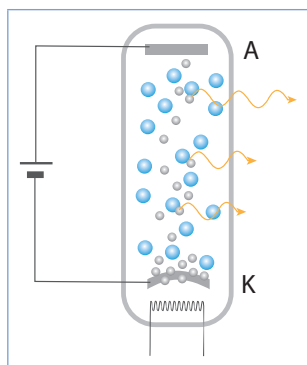


Principe interferentiefilter.

Een interferentiefilter bestaat uit ten minste twee halfdoorlatende en halfspiegelende folies, met daartussen een doorzichtige stof. Elke keer als licht bij de voorzijde of de achterzijde van het filter aankomt, wordt een deel van het licht doorgelaten en een deel teruggekaatst. In de tekening valt de lichtstraal schuin in, maar in werkelijkheid valt het licht loodrecht in het filter.

De bundel die aan de rechterzijde uit het filter komt, bestaat uit lichtstralen die nul, één, twee of meer keren zijn teruggekaatst in het filter. De uittreedende bundels zullen elkaar versterken, wanneer ze met dezelfde fase uittreden. Dat geldt slechts voor zeer bepaalde golflengten. Welke golflengten worden doorgelaten hangt af van de dikte, het materiaal en het aantal laagjes van het filter. Interferentiefilters vereisen een nauwkeurige constructie en zijn daarom erg duur. Maar het grote voordeel is de hoge transmissie en de kleine bandbreedte (5 tot 20 nm).

Monochromatische lichtbronnen

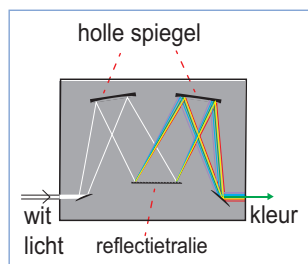


Spectraallamp (He).

Een lichtbron kan zelf ook een smal spectrum van lichtgolven geven. Een *spectraallamp* bestaat uit een gesloten buis gevuld met gas, bijvoorbeeld helium. In de buis bevinden zich een anode en een kathode die zijn aangesloten op een gelijkspanningsbron. De gloeidraad verwarmt de kathode, zodat elektronen hieruit kunnen ontsnappen. De elektronen bewegen door het aangelegde elektrische veld met grote snelheid in de richting van de anode. Als ze tegen de heliumatomen botsen, dragen ze een gedeelte van hun energie over. De heliumatomen komen dan in een hogere energietoestanden. De heliumatomen zenden deze energie even later weer uit in de vorm van licht met specifieke golflengten.

Ook een *natriumlamp* werkt op deze wijze. Alleen is natrium bij kamertemperatuur niet gasvormig. Een natriumlamp bevat daarom ook een edelgas. Als de lamp wordt aangezet, zie je eerst alleen de paars-roze kleur van het edelgas. Geleidelijk wordt de lamp warmer, het natrium begint te verdampen en het oranje-gele licht gaat overheersen.

Een ander bekend voorbeeld is de *kwiklamp*. De sterkste golflengten die een kwiklamp uitzendt, zijn 254, 297, 313, 365, 436, 546 en 579 nm. Om het ultraviolette licht te kunnen gebruiken moet het omhullende glas een vensteropening hebben, terwijl de gasontladingslamp zelf van kwarts gemaakt moet zijn.



Monochromator met reflectietralie.

Prismamonochromator

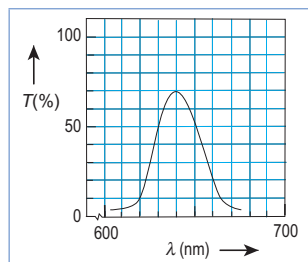
Een prisma kan goed wit licht splitsen in verschillende golflengten. Toch wordt het prisma daar niet zo veel voor gebruikt. Een reflectietralie doet het beter. Maar het kan natuurlijk wel en een prisma wordt dan vaak gecombineerd met een reflectietralie.

Traliemonochromator

Een tralie kan voor een grotere kleurschifting zorgen dan een prisma. Meestal gebruik je hiervoor een reflectietralie.

Opgave 35

Waarom moeten het voor- en het achtervlak van een interferentiefilter precies evenwijdig lopen?



Opgave 36

Bepaal van het filter in de afbeelding:

- de analytische lijn
- de transmissie T_0
- de (spectrale) bandbreedte

Opgave 37

Een interferentiefilter dat gemaakt is om een golflengte van 600 nm door te laten, laat ook golflengten van 300 nm, 200 nm, 150 nm, 120 nm, 100 nm, enzovoort door. Hoe kun je dit probleem eenvoudig verhelpen?

Opgave 38

Als een natriumlamp wordt ontstoken, verandert zijn kleur geleidelijk van paars-roze naar fel oranje-geel. Hoe zou dat komen?

Opgave 39

Beantwoord de volgende vragen.

- Noem een voordeel van een interferentiefilter ten opzichte van een glasfilter.
- Noem een nadeel van een interferentiefilter ten opzichte van een glasfilter.

Activiteit

- De *activiteit* A van een radioactieve bron is gelijk aan het aantal desintegraties per seconde.
- De *halveringstijd* of *halfwaardetijd* t_h is de tijdsduur waarin het oorspronkelijke aantal instabiele kernen met de helft is afgenomen.

$$N_t = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_h}} \quad (8.1)$$

$$A_t = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_h}} \quad (8.2)$$

$$A = \lambda \cdot N \quad (8.3)$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_h} \quad (8.4)$$

$$A_t = \frac{\ln 2}{t_h} \cdot N_t \quad (8.5)$$

waarin:

A_t = activiteit op tijdstip t (Bq)

A_0 = activiteit op tijdstip $t = 0$ s (Bq)

N_t = aantal radioactieve kernen op tijdstip t

N_0 = aantal radioactieve kernen op tijdstip $t = 0$ s

λ = vervalconstante (s^{-1})

t_h = halveringstijd (s)

t = verstreken tijd sinds tijdstip $t = 0$ (s)

VOORBEELD 2

Gegeven het isotoop ^{131}I :

a Hoe groot is de halveringstijd van het isotoop ^{131}I (Binas)?

b Hoeveel procent van het oorspronkelijk aantal isotopen is na 20 dagen nog niet gedesintegreerd?

Gegeven

^{131}I

Gevraagd

a t_h

b $(N_t / N_0) \times 100\%$

Oplissing

a In Binas vind je: $t_h = 8,0$ dagen

b $N_t = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_h}} \rightarrow N_t / N_0 = (1/2)^{20/8} = (1/2)^{2,5} = 0,177 \approx 0,18$

Dus 18% is nog niet gedesintegreerd.

VOORBEELD 3

Een hoeveelheid ^{131}I heeft een gemeten activiteit van $3,5 \cdot 10^{12}$ Bq. Hoe groot is de massa van dit jood?

Gegeven

isotoop ^{131}I , $A_t = 3,5 \cdot 10^{12}$ Bq, $t_h = 8$ dagen (Binas)

Gevraagd

m

Oplossing

Als je de hoeveelheid n (mol) van I weet, kun je m berekenen:
 $m = n \cdot M$.

Met het aantal atomen N , kun je de hoeveelheid n vinden met het getal van Avogadro ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$):

$$N = n \cdot N_A \rightarrow n = N / N_A$$

Het aantal atomen N bereken je met formule (8.5).

Hierbij moet t_h in seconden omdat A_t het aantal desintegraties *per seconde* is, dus: $t_h = 8 \times 24 \times 3600 = 6,91 \cdot 10^5$ s.

$$A_t = \frac{\ln 2}{t_h} \cdot N_t \rightarrow 3,5 \cdot 10^{12} = (0,693 / 6,91 \cdot 10^5) \times N_t$$

$$\rightarrow N_t = 3,49 \cdot 10^{18} \text{ atomen}$$

$$n = N / N_A \rightarrow n = 3,49 \cdot 10^{18} / 6,02 \cdot 10^{23} = 5,798 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$$

$$m = n \cdot M \rightarrow m = 5,798 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \times 131 \text{ g/mol} = 7,6 \cdot 10^{-4} \text{ g} \text{ (0,76 mg)}$$

Opgave 14

Zoek de wijze van verval op (bijv. Binas-tabel 25) en schrijf de kernreactievergelijking op voor de volgende isotopen:

- a ^{32}P
- b ^{37}Ar
- c ^{225}Ac

Opgave 15

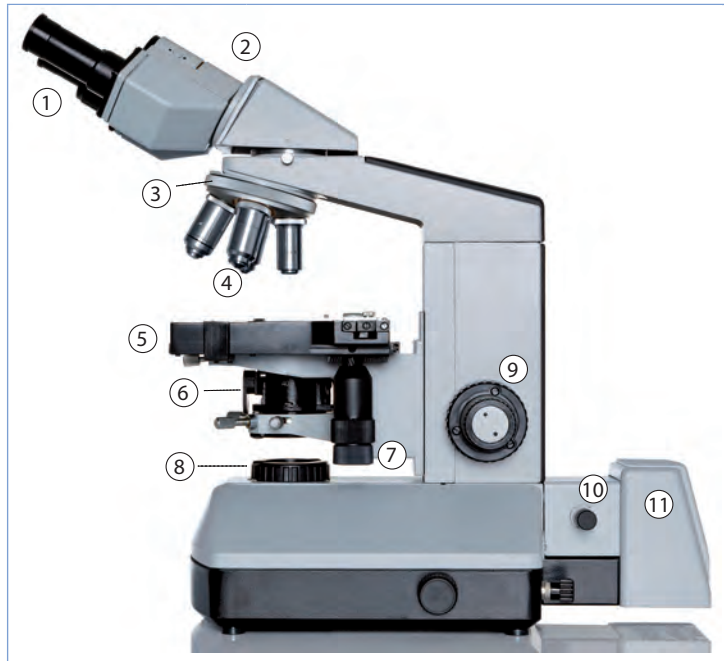
Het isotoop ^{24}Na kan op een aantal manieren worden gevormd. Vul steeds de lege plek in (energie en neutrino's zijn weggelaten):

- a + n \rightarrow ^{24}Na
- b + ^2H \rightarrow ^{24}Na + p
- c + n \rightarrow ^{24}Na + α

Opgave 16

Wat moet op de lege plaats staan om de volgende vergelijkingen kloppend te maken (E en v weggelaten)?

- a $^{29}\text{Si} + \alpha \rightarrow$ + p
- b + p \rightarrow ^{58}Co + n
- c $^6\text{Li} + ^2\text{H} \rightarrow$ ^4He +



Microscop (instellingen):

- | | | |
|-------------------------|------------------------------|----------------------|
| (1) oculair; | (5) preparaat­tafel; | (9) scherp­stelling; |
| (2) tubus; | (6) condensor; | (10) licht­sterkte; |
| (3) objectief­revolver; | (7) centreer­knoppen object; | (11) lamp. |
| (4) objectief; | (8) veld­dia­fragma; | |

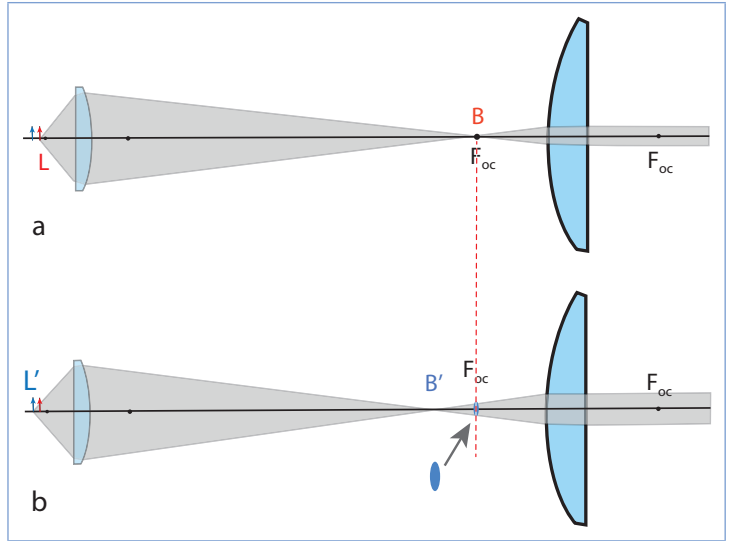
Daarna breng je een kleine druppel olie op het dekglasje en draai je het objectief ‘100 ×’ voor (in de druppel olie) en stel je het beeld weer scherp. Hierbij moet je de beweging van opzij bekijken, omdat anders het gevaar bestaat dat het objectief door het objectglas heen gaat. Om beschadiging te voorkomen, worden deze objectieven vaak in een verende vassing uitgevoerd. Ook is meestal op de microscoop een lock-stand aanwezig, die voorkomt dat je met de macroschroef de tafel in een te hoge stand brengt.

Als je het preparaat nog met andere objectieven wilt bekijken, zul je eerst de olie van het preparaat moeten verwijderen. Dit kun je het beste doen met alcohol ether, een mengsel van 70% ether en 30% alcohol. Een klein beetje alcohol ether op het lenspapier is al voldoende.

Insteldiepte of scherptediepte

Als je scherpstelt op een lichtpunt L, dan ontstaat een beeldpunt in het brandvlak van het oculair. Een lichtpunt dat iets voor of na L licht, wordt onscherp afgebeeld. Dat wil zeggen: het beeldpunt ligt niet in het brandvlak. Je ziet in het brandvlak een cirkelvormig lichtvlekje.

Je ziet dit lichtvlekje als één punt als de gezichtshoek β kleiner is dan $0,0003$ rad. Op deze manier ontstaat toch iets scherptediepte. Deze scherptediepte is ook nog afhankelijk van de golflengte van het gebruikte licht en de numerieke apertuur. De totale insteldiepte van een microscoop wordt de *instrumentele insteldiepte* genoemd. De instrumentele insteldiepte wordt kleiner naarmate de vergroting toeneemt.



Scherptediepte:

- (a) het rode pijtje (L) is scherp afgebeeld in B;
 (b) het blauwe pijtje (L') is scherp afgebeeld in B'.

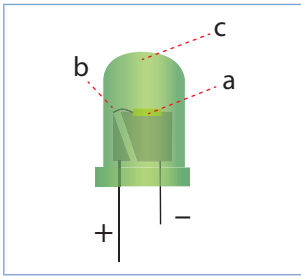
Met het oculair ingesteld op B zien we voor B' een vlekje in plaats van een beeldpunt.

Ook door meer of minder te accommoderen, verkrijg je enige scherptediepte. Maar deze accommodatiediepte is nauwelijks van invloed op de totale scherptediepte.

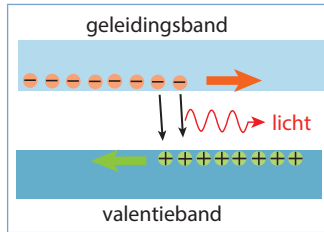
Scherptediepte en apertuur

numerieke apertuur instrumentele insteldiepte (μm)

	50 ×	250 ×	1000 ×
0,05	370		
0,10	140		
0,20	60	20	
0,45		8	
0,85		3,0	1,2
1,00		2,5	0,9
1,25			0,6



Led: (a) halfgeleiders; (b) verbindingsdraad en (c) kunststoflens.



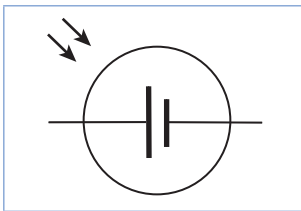
Energieverlies in led.



Ledjes.

Toepassing

Indicatielampje: de led zendt licht uit wanneer de doorlaatspanning groter is dan de drempelspanning. Door de kleine afmeting kunnen leds gecombineerd worden tot cijfers of letters.



Symbool fotodiode.

Fotodiode

Wanneer er licht valt op de pn-overgang van een fotodiode zal er meer generatie optreden. Er ontstaat daardoor een grotere contactpotentiaal. Met een voltmeter kun je een resulterende spanning over de gehele fotodiode meten.

Toepassing

Zonnecel: een hele reeks fotodiodes kunnen het zonlicht omzetten in een spanning en een redelijke stroom opwekken.



Transistor naast een elektronenbuis.

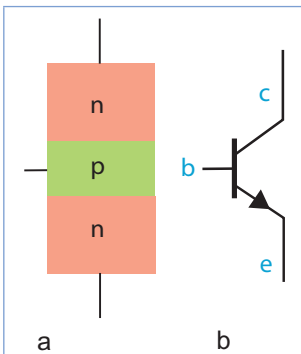
Transistor

De transistor is een halfgeleidercomponent die kan schakelen of versterken. In het verleden werden hiervoor elektronenbuizen gebruikt. In de afbeelding is te zien dat er op de afmetingen flinke winst is geboekt. Toch worden ook 'buisenversterkers' nog gemaakt.

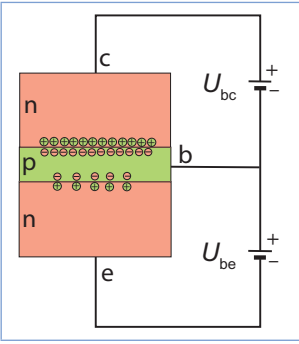
Een transistor is opgebouwd uit twee diodes. In de afbeelding een npn-transistor met een np- en een pn-diode. Deze heeft dan twee pn-overgangen en drie aansluitpunten. (Een pnp-transistor is ook mogelijk, aansluitingen voor + en - zijn dan andersom.)

De n- en p-gebieden krijgen in de technische toepassing de volgende aanduidingen:

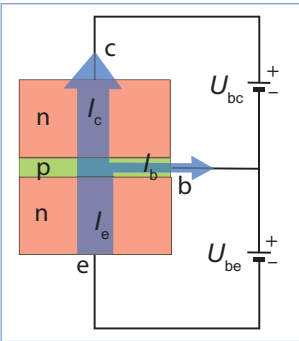
- emitter (e): onderste halfgeleider, n-gebied;
- basis (b): halfgeleider in het midden, p-gebied;
- collector (c): bovenste halfgeleider, n-gebied.



(a) Opbouw npn-transistor en (b) schema npn-transistor.



Transistor heeft twee pn-overgangen.



Elektronenstroom in een transistor-schakeling.

We sluiten de transistor zó aan dat de onderste pn-overgang in de doorlaatrichting staat. De minpool van de spanningsbron is dan verbonden met het n-gebied. Als de spanning van de bron U_{be} groter is dan de drempelspanning van de onderste diode, gaat er een stroom lopen.

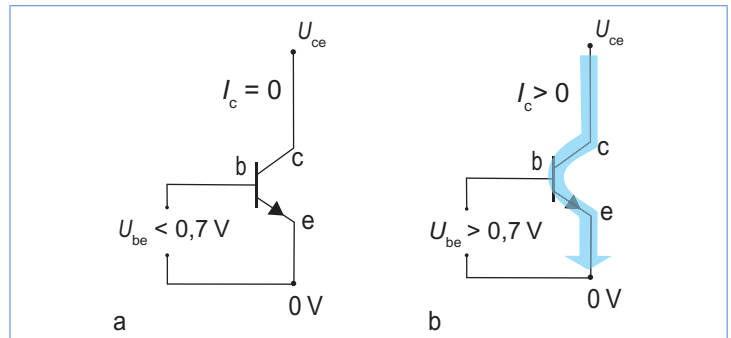
De bovenste np-overgang staat in de keerrichting geschakeld. Je zou nu verwachten dat er slechts een kleine keerstroom door de bovenste np-overgang loopt, ongeacht de grootte van de spanning U_{bc} . Maar het *middelste p-gebied is heel smal en heeft weinig gaten*. Er is voor elektronen weinig mogelijkheid tot recombinatie. De elektronen, die vanuit het onderste n-gebied binnenkomen met voldoende kinetische energie, schieten door het p-gebied heen. Ze bereiken het bovenste n-gebied. Een klein deel van de elektronenstroom gaat via het p-gebied naar de pluspool van de bron U_{bc} .

Vanuit het onderste n-gebied (emitter) gaan de elektronen dus grotendeels door naar het bovenste n-gebied: de *collector* (c). Een klein deel van de elektronen vloeit via de *basis* (b) terug naar de emitter. De emitterstroom is dus gelijk aan de basisstroom plus de collectorstroom: $I_e = I_c + I_b$.

Er zijn voor de transistor dan twee belangrijke toestanden (in dit voorbeeld is de drempelspanning 0,7 V):

- $U_{be} = 0 - 0,7 \text{ V}$ er loopt geen stroom, $I_c = 0$, $I_e = 0$;
- $U_{be} > 0,7 \text{ V}$ er loopt wél een stroom, $I_c > 0$, $I_b > 0$ en: $I_c \gg I_b$.

Als er wel een stroom loopt, is de hoofdstroom (I_c) afhankelijk van U_{be} : de spanning over de diode in doorlaatrichting. Kleine veranderingen in U_{be} hebben grote gevolgen voor I_c .



Transistor als schakelaar:

- (a) $U_{be} < 0,7 \text{ V}$ transistor is 'dicht', $I_c = 0 \text{ A}$;
 (b) $U_{be} > 0,7 \text{ V}$ transistor is 'open', $I_c > 0 \text{ A}$.