



natuurkunde in het kort

De complete bovenbouwstof

**VWO
2012**



Disclaimer:

Bij het maken van *natuurkunde in het kort* is veel zorg besteed aan de juistheid en volledigheid maar helaas zijn vergissingen niet altijd te voorkomen. Raadpleeg daarom je eigen docent of de website van het centraal examen voor de juiste en actuele informatie. Auteur en uitgever kunnen niet verantwoordelijk worden gehouden voor enige onjuist verstrekte informatie in deze samenvatting.



Je mag dit document gratis weggeven of doormailen aan vrienden en klasgenoten.

Commercieel gebruik is niet toegestaan. Het is niet toegestaan delen van dit document te kopiëren of om de inhoud en/of opmaak te wijzigen; Alleen het complete document mag doorgestuurd worden.

Inhoud

Inleiding	4
A ALGEMEEN	5
B ELEKTRICITEIT & MAGNETISME.....	9
1 Elektrische schakelingen	9
2 Digitale Signaalverwerking*	12
3 Elektromagnetisme	15
4 Inductie & wisselstromen*	19
C MECHANICA.....	22
1 Rechthoekige beweging	22
2 Kracht en Moment	24
3 Arbeid & Energie	27
4 Kromlijnige beweging.....	29
D WARMTELEER*	32
1 Gassen en vloeistoffen*	32
2 Warmte*	34
E GOLVEN EN STRALING	36
1 Trilling en golven	36
2 Licht en lenzen.....	41
3 Elektromagnetische straling en atoomfysica*	46
4 Radioactiviteit en kernfysica	49
Je eigen natuurkundeboek?	58
Index.....	59

**Deze onderdelen horen niet bij het Centraal Examen in 2012.*

Inleiding

Natuurkunde in het kort

Natuurkunde in het kort is een samenvatting van alle examenstof voor het vak natuurkunde. Kort, duidelijk, overzichtelijk en... gratis.

Heb je de goede versie?

Bij de keuze van de stof en de indeling is uitgegaan van de officiële examenstof. Dit kan van jaar tot jaar verschillen. Zorg er dus voor dat je de goede versie heb! Er bestaat een HAVO- en een VWO-versie. De meest recente versie kun je gratis downloaden op natuurkundeuitgelegd.nl.

De examenstof

De examenstof bestaat uit 2 delen:

- Onderdelen die op het Centraal Examen (CE) gevraagd worden
- Onderwerpen die hier niet gevraagd worden en alleen in het schoolexamen (SE) gevraagd worden. Deze worden op de meeste scholen getoetst als onderdeel van het Programma van Toetsing en Afsluiting (PTA).

Als een onderdeel niet bij de centraal examenstof hoort heb ik dit aangegeven in de inhoudsopgave en in de tekst zelf.

Oefenenexamens

Het schoolexamen en het centraal examen bestaan voor het overgrote deel uit opgaven waarin natuurkundige problemen opgelost moeten worden. De beste manier om je hierop voor te bereiden is dan ook het maken van opgaven. Hierdoor leer je welke problemen je tegen kunt komen en bouw je routine op. De beste oefenopgaven voor het centraal examen zijn examenopgaven van afgelopen jaren. Op natuurkundeuitgelegd.nl staat een handig overzicht van de examenopgaven van de afgelopen 10 jaar, gesorteerd op onderwerp. Zo kun je per onderwerp altijd makkelijk de geschikte opgaven vinden.

Videolessen

Dit boek is een samenvatting en geen uitgebreide uitleg. Mocht je toch iets niet snappen dan kun je eens kijken of de videolessen op natuurkundeuitgelegd.nl iets voor je zijn. In korte filmpjes leg ik je alles rustig en duidelijk uit. Je kunt alles bekijken waar en wanneer je maar wilt.

Veel succes met je toets of examen!



Erik van Munster



Videolessen op natuurkundeuitgelegd.nl

A ALGEMEEN

Natuurkunde heet ook wel **fysica** en maakt onderdeel uit van de **natuurwetenschappen** net zoals biologie en scheikunde. Natuurkunde is onderverdeeld in onderdelen zoals mechanica, optica, elektriciteitsleer, atoomfysica, kernfysica. Er zijn twee stromingen:

- **Wetenschappelijk:** vergroting van natuurkundige kennis
- **Technisch:** toepassing van natuurkundige kennis

Experimentele natuurkunde probeert door het doen van waarnemingen kennis te vermeerderen.

Theoretische natuurkunde probeert dit door berekeningen, wiskundige modellen en theorieën.

Iets wat gemeten kan worden en met een getal weergegeven kan worden heet een **grootheid**. Een grootheid wordt uitgedrukt in een **eenheid**. Dit is een afgesproken hoeveelheid. Zowel grootheden als eenheden worden afgekort met een **symbool**: meestal een hoofdletter, kleine letter of griekse letter. In het **Système International (SI)** bestaan 7 **basiseenheden** (BINAS tabel 3A):

- meter (m)
- kilogram (kg)
- seconde (s)
- ampère (A)
- kelvin (K)
- candela (cd)
- mol (mol)

Daarnaast bestaan er **afgeleide eenheden** (BINAS tabel 4) die zijn samengesteld uit de basiseenheden. M.b.v. formules kan herleid worden welke eenheid bij welke grootheid hoort. Sommige afgeleide eenheden hebben een apart naam gekregen. $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ wordt bijvoorbeeld Newton (N) genoemd. Ook in eenheden kunnen positieve of negatieve exponenten voorkomen bv $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ (=meter per seconde kwadraat).

In de natuurwetenschap worden getallen genoteerd in **wetenschappelijke notatie**: Een getal gevolgd door een macht van 10. Bijvoorbeeld: 230 s wordt geschreven als $2,30 \cdot 10^2$ s.

Er worden zowel positieve ($10^3 = 1000$) als negatieve machten ($10^{-3} = 1/1000 = 0,001$) gebruikt.

Invoeren in de rekenmachine kan met de [EXP] toets of de [2nd][EE] toets. Andere manieren kunnen leiden tot fouten. In de **standaardnotatie** heeft het getal voor de macht van 10 één cijfer voor de komma ongelijk aan 0.

Met de **orde van grootte** wordt de macht van 10 bedoeld zonder de factor die hiervoor staat. Twee getallen heten van dezelfde orde van grootte als ze niet meer dan een factor 10 schelen.

Om praktische redenen worden eenheden soms vooraf gegaan door **voorvoegsels** (milli, micro, mega), elk met een eigen afkorting (BINAS tabel 2).

Elk resultaat van een meting bevat een **meetonzekerheid** of **meetfout**. Deze zijn te verdelen in 2 soorten:

Toevallige fouten zijn fouten ten gevolge van het schatten of een beperkte nauwkeurigheid van het meetinstrument. Bij ALLE meetinstrumenten, zelfs de meest nauwkeurige, worden toevallige fouten gemaakt.

Systematische fouten zijn fouten door bijvoorbeeld een foute ijking van een meetinstrument of het verkeerd gebruik ervan.

Bij natuurkundeopgaven wordt (tenzij dit wordt vermeld) ervan uitgegaan dat er alleen toevallige fouten zijn.

Er bestaan 3 manieren om meetonzekerheid in een getal aan te geven:

- Absoluut: 27 ± 2
- Procentueel: $340 \pm 2\%$
- Zonder expliciete notatie: $345,6$
(hiermee wordt bedoeld dat de waarde tussen 345,55 en 345,65 ligt)

Het aantal **significante cijfers** in een getal is het aantal cijfers in een getal waarbij de nullen links niet meetellen. Na een berekening moet het antwoord worden **afgerond** op het juiste aantal significante cijfers. Hierbij gelden verschillende regels:

- voor vermenigvuldigen/delen: Het resultaat wordt afgerond op kleinste aantal significante cijfers van de gebruikte gegevens.
- Voor optellen/afrekken: Het resultaat wordt afgerond op het kleinste aantal cijfers achter de komma van de gebruikte gegevens. De gegevens moeten vooraf in dezelfde eenheid en macht van 10 gezet zijn.

Let op: Omdat optellen en aftrekken niet veel voorkomen in natuurkundige formules wordt in de praktijk voornamelijk de 1^e regel toegepast.

Waarnemingen kunnen **kwalitatief** (vergelijkend) of **kwantitatief** (metend) zijn. Kwantitatieve waarnemingen resulteren in een getal.

Bij metingen is een **onafhankelijke variabele** een grootheid die je zelf verandert. Een **afhankelijke variabele** is een grootheid die verandert ten gevolge van een verandering in de onafhankelijke variabele.

In een **tabel** staan meetwaarden in een verticale kolom. In de eerste kolom staan de onafhankelijke variabelen. De volgorde is logisch (bijvoorbeeld regelmatig oplopend). De grootheid en de eenheid staan in de **kop** boven elke kolom.

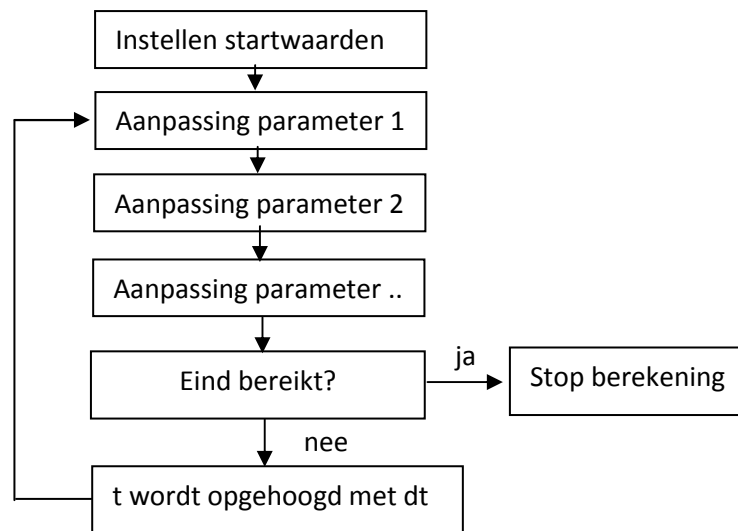
Een **diagram** is een grafische weergave van meetwaarden in een assenstelsel. In de standaardvorm geldt:

- Assen staan loodrecht op elkaar
- Er is een roosterachtergrond
- De onafhankelijke variabele staat horizontaal
- Bij de assen staat de grootheid met de eenheid tussen haakjes erachter.
- Er staat een pijltje bij de grootheid in de richting waarin de waarde toeneemt.
- Langs elke as staat een logische, makkelijk af te lezen, schaalverdeling.
- De nul staat op links op de X-as en onderaan op de y-as. Als dit anders is moet dit duidelijk worden aangegeven.
- Elk meetpunt is als een duidelijk punt weergegeven in het diagram
- Er is een vloeiende lijn getrokken. De punten hoeven NIET allemaal op deze lijn te liggen.
- De naam van de vloeiende lijn in een diagram is **grafiek**. Een diagram kan meerdere grafieken bevatten.

Interpoleren is bepalen van een waarde tussen twee meetpunten in. Dit kan door het aflezen van een grafiek of door een berekening. **Extrapoleren** is het bepalen van een waarde die buiten de reeks meetpunten ligt.

Twee grootheden zijn **rechtevenredig** als geldt: als A n keer zo groot wordt, wordt ook B n keer zo groot. Een rechtevenredig verband is te herkennen aan de grafiek: een rechte lijn door de oorsprong. Met behulp van een **coördinatentransformatie** kunnen ook andere soorten verbanden geïdentificeerd worden. Als bijvoorbeeld een omgekeerd kwadratisch verband vermoed wordt, wordt een grafiek gemaakt met horizontaal A^{-2} en vertikaal B. Als de grafiek in deze situatie een rechte lijn door nul is is het verband inderdaad omgekeerd kwadratisch evenredig.

Soms kunnen grootheden niet uitgerekend worden door het invullen van een formule omdat parameters niet constant zijn. In dit geval kan gebruik gemaakt worden van de **numerieke rekenmethode***: Berekeningen worden opgedeeld in kleine stapjes. Bij elk stapje worden de parameters die veranderen aan gepast waarna de rekencyclus opnieuw begint. Dit wordt een **numeriek model** of **rekenmodel** genoemd. Vaak wordt de tijd (t) opgedeeld in kleine stapjes, aangeduid met dt.



Hoe kleiner dt is hoe nauwkeuriger de berekeningen de werkelijkheid benaderen maar ook hoe langer de berekening duurt; er zijn immers dan ook meer rekencycli nodig. Normaal worden enkele duizenden rekenstappen gemaakt voor een berekening. Dergelijke berekeningen zijn praktisch onmogelijk met de hand uit te voeren maar lenen zich perfect voor berekening met een computer. Een op scholen veel gebruikt programma hiervoor is **Coach**, maar ook met bv **Excel** en een grafische rekenmachine zijn dergelijke berekeningen te doen.

**Let op: Ook al doe je je eindexamen gewoon op papier, toch kunnen er vragen gesteld worden over een rekenmodellen. Je moet de manier van werken dus wel snappen.*

Bij het doen van een meting wordt deze opgeschreven. Doel hiervan is het later kunnen nakijken en het communiceren met anderen. Op school wordt dit gedaan in de vorm van een **verslag**, onder wetenschappers in de vorm van een **wetenschappelijk artikel**. Een verslag of wetenschappelijk artikel bevat altijd de volgende onderdelen:

Een duidelijke **titel** die beschrijft waar het onderzoek over gaat.

Een **inleiding** met daarin:

- Uitleg van de belangrijkste onderwerpen in het artikel.
- De reden waarom het onderzoek gedaan is

- Een **hypothese** (verwachting over de uitkomst)

Een beschrijving van de gebruikte **materialen en methoden**

De **resultaten** van het onderzoek, vaak in de vorm van een tabel of grafiek.

De **conclusie** die uit de resultaten getrokken wordt, vaak gevolgd door een **discussie**.

Aan het eind staat een lijst met gebruikte externe **bronnen** (boeken, andere artikelen etc...)

Bij examens mag gebruik worden gemaakt van het **BINAS informatieboek HAVO/VWO 5^e editie**.

Voor natuurkunde zijn de roze (algemeen) en blauwe gedeelten (natuurkunde) van belang. De gegevens staan op onderwerp gegroepeerd. Ook alle tot de examenstof behorende formules zijn terug te vinden. Om het opzoeken te vergemakkelijken staat voorin een inhoudsopgave en achterin een index.

Ook mag op het examen een **grafische rekenmachine** gebruikt worden maar ook met een normale wetenschappelijke calculator kan het examen gemaakt worden.

B ELEKTRICITEIT & MAGNETISME

Het onderdeel elektriciteit is een veelomvattend onderwerp. Het gaat over analoge en digitale schakelingen maar ook over statische elektriciteit en wat elektriciteit eigenlijk is. In de 19^e eeuw is ontdekt dat elektriciteit en magnetisme sterk aan elkaar verwant zijn. Dit heeft belangrijke toepassingen geleid zoals de elektromotor, dynamo en de transformator.

1 Elektrische schakelingen

Atomen bestaan uit een positief geladen kern met hieromheen een negatief geladen wolk met elektronen. Als een voorwerp een overschot of een tekort aan elektronen heeft is dit voorwerp **negatief** of **positief** elektrisch geladen, respectievelijk. Voorwerpen met een tegengestelde elektrische lading trekken elkaar aan. Voorwerpen met dezelfde lading stoten elkaar af.

Stoffen waarin lading vrij heen en weer kan stromen heten **geleiders** (metalen, zout water). Stoffen waarin lading zich niet kan bewegen heten **isolatoren** (gassen, plastic, rubber).

De deeltjes die voor het transport van de lading zorgen heten **ladingsdragers**. In een metaal zijn dit elektronen, in een geleidende vloeistof ionen, in een geïoniseerd gas elektronen en ionen samen.

Elektrische **spanning** is de “kracht” waarmee ladingsdragers een bepaalde kant op geduwd worden in een stof. Symbool: U, Eenheid: Volt (V).

Een **spanningsbron** is een apparaat wat tussen twee punten een bepaalde spanning zet (bv batterij of het stopcontact, U=230V).

Een spanning leidt tot het zich verplaatsen van ladingdragers. De hoeveelheid ladingsdragers die per seconde een bepaald punt passeren wordt de **stroom** of **stroomsterkte** genoemd. Symbool: I, Eenheid: Ampère (A). Stroom kan alleen blijven stromen in een gesloten **stroomkring** en stroomt van de pluspool (+) naar de minpool (-) van de batterij. De totale stroom die uit een stroombron loopt heet **hoofdstroom**. Door vertakkingen kan er deze stroom zich splitsen in 2 of meer deelstromen. De som van de deelstromen is gelijk aan de hoofdstroom.

Weerstand is de eigenschap van een voorwerp die aangeeft hoe goed het voorwerp spanning ‘weerstand’. Een grote weerstand betekent dat zelf bij een grote spanning weinig stroom gaat lopen.

De **wet van Ohm** geeft het verband tussen stroom, spanning en weerstand. De wet van Ohm geldt alleen voor ‘**Ohmse weerstanden**’. Dit zijn weerstanden waarbij R constant is. In het algemeen zijn weerstanden altijd Ohms maar bv lampjes meestal niet omdat de weerstand toeneemt bij hogere temperatuur.

$$U = I \cdot R$$

U = spanning (V)

I = stroomsterkte (A)

R = weerstand(Ω)

Meerdere elektrische componenten met elkaar verbonden wordt een **schakeling** genoemd. Een schematische tekening van de schakeling heet een **schema**. Voor elk component bestaat een symbool (BINAS tabel 16F).

Componenten kunnen op verschillende manieren met elkaar gecombineerd worden:

In serie betekent dat de stroom achtereenvolgens door alle componenten gaat.

Parallel betekent dat de stroom gesplitst wordt en nadat het door de componenten gelopen is weer bij elkaar komt.

Meerdere weerstanden kunnen vervangen worden door één weerstand, de **vervangingsweerstand**. De rekenregels voor het uitrekenen van een vervangingsweerstand verschillen voor weerstanden in serie en weerstanden die parallel staan:

$$\begin{array}{ll} \text{In serie: } R_v = R_1 + R_2 + R_3 + \dots & R_v = \text{vervangingsweerstand}(\Omega) \\ \text{Parallel: } R_v = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots} & R_{1,2,3} = \text{weerstand}(\Omega) \end{array}$$

Door gebruik te maken van vervangingsweerstand en de wet van Ohm kunnen stroom en spanning op verschillende plaatsen in een schakeling berekend worden door gebruik te maken van onderstaand eigenschappen:

$$\begin{array}{ll} \text{In serie: } I_1 = I_2 = I_3 = \dots & I_{1,2,3} = \text{stroomsterktes door de} \\ & \text{verschillende componenten(A)} \\ & U_{\text{totaal}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots & U_{1,2,3} = \text{spanningen over de} \\ & & \text{verschillende componenten(V)} \\ \text{Parallel: } I_{\text{hoofd}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots & \\ & U_1 = U_2 = U_3 = \dots \end{array}$$

In woorden:

- Bij componenten in serie is de stroom door elk van de componenten gelijk en verdeelt de spanning zich over de componenten.
- Bij componenten parallel is de spanning over elk van de componenten gelijk en verdeelt de stroom zich over de componenten.

De weerstand van een draad kan berekend worden met:

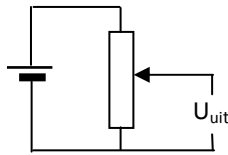
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

R = weerstand(Ω)
 ρ = soortelijke weerstand (Ωm)
 l = lengte (m)
 A = oppervlakte (m^2)

Soortelijke weerstand is een stoffeigenschap die aangeeft hoe goed de stof geleidt (BINAS 8 tot 10). Soortelijke weerstand is afhankelijk van de temperatuur. Voor de meeste stoffen geldt: Hoe hoger de temperatuur hoe hoger de soortelijke weerstand en dus ook hoe hoger de weerstand.

Een **variabele weerstand** is een weerstand waarvan de waarde veranderd kan worden door een schuif of een draaiknop. Een **spanningsdeler** (zie onder) is een weerstand die 'afgetapt' wordt, waardoor het in wezen twee weerstanden worden. De waarde van deze weerstanden kan veranderd

worden door het veranderen van de plaats waar de aftapping zit. Een belangrijke toepassing van een spanningsdeler is het verkrijgen van een lagere en regelbare spanning uit een spanningsbron met een vaste spanning, bv in lichtdimmers.



Elektrisch vermogen is de hoeveelheid energie die per seconde door een schakeling wordt verbruikt en omgezet in een andere energievorm, bv licht, warmte of beweging. Symbool: P , eenheid Joule per seconde (J/s) of Watt (W). Elektrisch vermogen is te berekenen met

$$P = U \cdot I$$

P = vermogen (W)
 U = spanning (V)
 I = stroomsterkte (A)

Vermogen kan per onderdeel berekend worden of voor een hele schakeling.

Rendement is het percentage energie wat nuttig wordt omgezet.

Een negatieve temperatuurcoëfficiënt-weerstand (**NTC**) is een weerstand waarvan de weerstand juist **KLEINER** wordt als het warmer wordt. Belangrijkste toepassing: temperatuursensoren.

Een Light Dependent Resistor (**LDR**) is een weerstand waarvan de weerstand kleiner wordt naarmate er meer licht op valt. Belangrijkste toepassing: Lichtsensoren.

Een **diode** is een voorwerp wat maar in één richting stroom doorlaat. De weerstand is de ene kant op (de doorlaatrichting) vrijwel 0Ω en de andere kant op (de sperrichting) vrijwel oneindig. Een **LED** (Light Emitting Diode) is een diode die licht geeft als er stroom doorloopt (alleen in de doorlaatrichting).

De symbolen van deze componenten staan in BINAS tabel 16F

De elektrische schakeling van de meeste huizen en kantoren werkt op 230 V **wisselspanning**. Bij een wisselspanning wisselen de + en de – pool 50 keer per seconde om. Ook de stroom die er kan gaan lopen wisselt dus 50 keer per seconde van richting.

Alle stopcontacten in een huis staan **parallel** aan elkaar. Per kamer of verdieping zitten ze meestal samen in een **groep** in de **meterkast**. Elke groep is beveiligd met een **smeltzekering** of een **automatische zekering**. Een zekering schakelt de spanning uit als er teveel stroom loopt. Een **aardlekschakelaar** vergelijkt constant de wegstromende en de terugstromende stroom vanuit de meterkast en schakelt deze automatisch uit als er een verschil is (als extra beveiliging). Leidingen en stopcontacten kunnen 2-aderig of 3-aderig zijn (met **aardleiding**).

De totale verbruikte elektrische energie wordt gemeten met een kWh-meter in **Kilowattuur**. 1 kWh is de hoeveelheid energie die correspondeert met het gedurende één uur gebruiken van een vermogen van 1 kW. Dit correspondeert met $3600 \text{ s} \times 1000 \text{ J/s} = 3.600.000 \text{ J}$.

2 Digitale Signaalverwerking*

(*deze paragraaf is geen onderdeel van het Centraal Examen in 2011)

Een **automaat** is een systeem wat op basis van een bepaald input reageert met een bepaalde output.

Automaten zijn onder te verdelen in verschillende types:

Een **meetsysteem** voert een meting uit en laat als uitgang het resultaat van deze meting zien.

Voorbeeld: Een elektronische thermometer

Een **stuursysteem** voert een meting uit en voert als reactie hierop een actie uit (bv het laten afgaan van een alarm als hetingangssignaal boven een bepaald niveau komt) Voorbeeld: Een rookmelder of een inbraakalarm. In een stuursysteem heeft het uitgangssignaal geen invloed op hetingangssignaal.

Een **regelsysteem** voert een meting uit en voert als reactie hierop een actie uit die invloed heeft op datgene wat gemeten wordt. In een regelsysteem is sprake van terugkoppeling. Voorbeeld: Thermostaat.

Elke automaat valt op te delen in drie blokken:



Datgene wat steeds doorgegeven wordt, wordt een **signaal** genoemd. Het invoer kan verschillende vormen hebben. Bijvoorbeeld een temperatuur bij een thermometer, of een geluid bij een microfoon. Binnen een automaat is het signaal meestal een voltage.

Er bestaan twee soorten signalen:

Analoog worden signalen genoemd waarbij de waarde vrij kan variëren tussen bepaalde grenzen. Het aantal verschillende waarden dat het signaal kan aannemen is oneindig.

Digitaal zijn signalen die maar een enkele bepaalde waarden in kunnen nemen. Een bijzonder soort digitaal signaal heet **binair**: Hier kan het signaal maar twee waardes aannemen: 1 of 0 ook wel aan of uit, of hoog of laag genoemd. De bijbehorende spanningen zijn respectievelijk 0V en 5V.

Bij het ontwerpen van automaten wordt gebruik gemaakt van een **systeembord**. Veel van de processen die in een automaat plaatsvinden kunnen op een systeembord worden gesimuleerd en getest. Ook een systeembord is opgedeeld in een invoergedeelte, een verwerkingsgedeelte en een uitvoergedeelte.

Een automaat krijgt zijn informatie via één of meer **sensoren**. Een sensor zet een temperatuur, geluidsniveau, lichtsterkte, of wat er dan ook gemeten moet worden om in een elektrische spanning. Een belangrijk gegeven bij elke sensor is de **ijkgrafiek** of **karakteristiek** van een sensor. Hierin staat horizontaal de grootte die gemeten wordt en verticaal de uitgangsspanning. Hierin is af te lezen wat de spanning is die de sensor afgeeft bij elke situatie. Sensoren kunnen van elkaar verschillen wat betreft de volgende eigenschappen:

Gevoeligheid: Dit getal drukt uit hoe de spanning verandert bij een verandering van de gemeten grootte: Een temperatuursensor met een gevoeligheid van $4 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$ wil zeggen dat de spanning 4V stijgt als de temperatuur 1 graad stijgt.

Lineariteit: Dit is het gebied waar de ijkgrafiek recht loopt. Een sensor met een grote lineariteit is makkelijker voor een automaat om een ingangssignaal om te rekenen.

Bereik: Dit is het gebied waarin de sensor gebruikt kan (en mag: soms gaat een sensor kapot) worden.

Nauwkeurigheid: Geeft aan hoe nauwkeurig de sensor is en dus hoe betrouwbaar de uitgangsspanning. Dit is te vergelijken met de meetonzekerheid die je eigenlijk bij alle meetapparaten hebt.

Op het systeembord zitten de volgende invoerelementen:

Geluidssensor: Deze geeft een voltage afhankelijk van het geluidsniveau. Hoe harder het geluid hoe groter het voltage. De uitgang is analoog.

Drukschakelaar: Schakelaar die een 0 geeft als hij uit is en een 1 als hij is ingedrukt: Uitgang is digitaal (binair).

Pulsgenerator: Geeft afwisselend een hoog (1) en een laag (0) signaal. Dit heet een **puls**. De frequentie waarmee dit gebeurt is instelbaar. Uitgang is digitaal (binair).

Variabele spanning: Geeft een instelbare spanning tussen 0 en 5 V. Wordt meestal gebruikt om een sensor mee te simuleren. Uitgang is analoog.

Op het systeembord zitten de volgende uitvoerelementen:

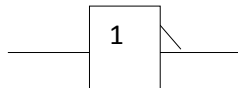
LED: Lampje is aan als op de ingang 1 staat en uit als er 0 staat. Input is digitaal (binair).

Zoemer: Zoemt aan als op de ingang 1 staat en uit als er 0 staat. Input is digitaal (binair).

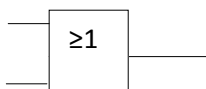
Relais: Is een digitaalgestuurde schakelaar. Met het relais is een stroomkring te onderbreken als er een 0 op de ingang staat en te sluiten als er een 1 op de ingang staat. Wordt gebruikt om apparaten op het systeembord aan te sluiten. Input is digitaal (binair).

Op het systeembord zitten de volgende verwerkingselementen:

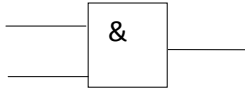
Invertor: Maakt van een 1 een 0 en omgekeerd. Symbool:



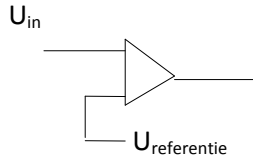
OF-poort: Heeft twee ingangen. Als minstens één van de ingangen 1 is is de uitgang ook 1, anders is de uitgang 0. Symbool:



EN-poort: Heeft twee ingangen. Alleen als beide ingangen 1 zijn is de uitgang ook 1, anders is de uitgang 0. Symbool:

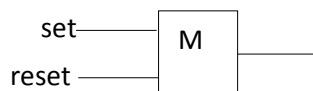


Comparator: Vergelijkt deingangsspanning met een vooraf ingestelde waarde. Is de ingangsspanning hoger dan is de uitgang een 1, is hij lager dan is de uitgang een 0. Ingang is analoog, uitgang is digitaal. Symbool:

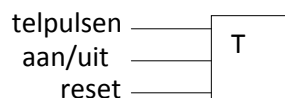


Invertor, Of-poort en EN-poort zijn zogenaamde **logische poorten**. Dit zijn verwerkers waarvan je de werking kan samenvatten in een **waarheidstabel**. In een waarheidstabel is te zien wat de uitgang is bij een bepaalde ingang. (zie BINAS tabel 17B).

Een **geheugencel** onthoudt 1-bit (een 1 of een 0). Door het combineren van meerdere geheugencellen kunnen getallen onthouden worden. Een geheugencel kan op 1 gezet worden door de SET ingang eventjes 1 te laten zijn. Een geheugencel kan op 0 gezet worden door de RESET-ingang eventjes 1 te laten zijn. Symbool:



Een **pulsteller** is een verwerker die het aantal pulsen (zie pulsgenerator) telt en onthoudt. Het aantal getelde pulsen wordt weergegeven als een binair getal. In de pulsteller op het systeembord is dit een 4-bits getal. De pulsteller telt alleen als 'aan/uit' op 1 staat. Door reset eventjes 1 te maken wordt de teller op 0 gezet. Symbool:



Het getallenstelsel wat wij in het dagelijks leven gebruiken heet het **decimaal stelsel** omdat het gebaseerd is op het grondgetal 10. Een digitaal signaal kan maar twee waarden aannemen (0 of 1). Om een getal door te geven wordt gebruik gemaakt van meerdere signalen. Bijvoorbeeld: door het combineren van 3 binaire signalen kunnen zo 8 verschillende waardes worden doorgegeven. Het **binair stelsel** is een set afspraken over het weergeven van getallen in nullen en enen. Afspraak is dat het meeste rechtse cijfer 2^0 voorstelt, het cijfer links hiervan 2^1 , vervolgens 2^2 enz... Het binaire getal 10111010 is dus decimaal 186 (zie onder)

Voor het omzetten van een decimaal getal naar een binair getal moet steeds gekeken worden wat de grootste macht van 2 is die in het getal past. Als deze past wordt een 1 genoteerd op de goede plaats en deze macht van 2 van het getal afgetrokken. Hierna wordt gekeken wat vervolgens de grootste macht is totdat het overblijvende getal 0 is. Op de plaats van de niet gebruikte machten komt een nul te staan.

Macht van 2	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	Som:
	128		32	16	8		2		186
Binair getal	1	0	1	1	1	0	1	0	

Een cijfer in een binair getal wordt een **bit** genoemd. Het bovenstaande binaire getal is een 8-bits getal omdat het uit 8 enen en nullen bestaat. Vroeger werkte de meeste computers met 8-bits getallen, tegenwoordig meestal met 16-bits en 32-bits getallen.

Een **AD-omzetter** of **AD-converter** maakt van een analoog signaal (een spanning) een binair getal. AD-omzetter kunnen van elkaar verschillen in **bereik**; Meestal worden spanning tussen 0V en 5V omgezet. Ook kunnen AD-omzetters verschillen in het **aantal bits** van het uitgangssignaal. De **stapgrootte** of de resolutie van een AD-omzetter is het spanningsverschil tussen twee stapjes.

3 Elektromagnetisme

Materie is opgebouwd uit elementaire deeltjes (protonen, neutronen en elektronen). Een aantal van deze deeltjes trekken elkaar aan of stoten elkaar af. Dit komt door een eigenschap die **elektrische lading** genoemd wordt: De lading van een proton wordt **positief** genoemd (+). De lading van een elektron wordt **negatief** (-) genoemd.

- Deeltjes met tegengestelde lading trekken elkaar aan
- Deeltjes met dezelfde lading stoten elkaar af

Normaal gesproken zijn in een atoom de positieve en negatieve ladingen met elkaar in evenwicht. Als de ladingen niet met elkaar in evenwicht zijn wordt een atoom een **ion** genoemd. Ionen kunnen positief of negatief zijn afhankelijk of er een tekort of een overschot aan elektronen is.

Ook voorwerpen kunnen positief of negatief geladen zijn. Omdat protonen in vaste stoffen op een vast plaats zitten wordt ladingsveranderingen vrijwel altijd veroorzaakt door zich verplaatsende elektronen. Stoffen waarin elektronen zich makkelijk kunnen verplaatsen worden **geleiders** genoemd. Stoffen waarin alle elektronen gebonden blijven aan een atoom heten **isolatoren**. De elektrische lading (symbool Q of q) van een deeltje of een voorwerp wordt gemeten in de eenheid **Coulomb** (C). De kleinst mogelijke lading is de lading van één enkele proton of elektron: $q = +$ of $-1,602 \cdot 10^{-19}$ C. Dit wordt het **elementaire ladingsquantum** genoemd (BINAS tabel 7).

Lading kan gemeten worden met een **elektroscoop**. Een elektroscoop slaat uit als het geladen is (positief of negatief). Een elektrische lading kan in een ander voorwerp op afstand elektronen naar zich toe trekken of afstoten waardoor de ladingsverdeling in dat voorwerp veranderd. Dit wordt **influentie** of **elektrische influentie** genoemd.

De kracht waarmee twee geladen voorwerpen A en B elkaar afstoten of aantrekken kan berekend worden met de **wet van Coulomb**:

$$F = f \frac{Qq}{r^2}$$

F=kracht(N)
 $f=8,98755 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
 q=lading voorwerp A(C)
 Q=lading voorwerp B (C)

(de constante f staat in BINAS tabel 7)

Het gebied rondom een elektrische lading waar de lading invloed heeft wordt het **elektrisch veld** genoemd. Met een denkbeeldige massaloze **proeflading** van +1 Coulomb kunnen de eigenschappen van een veld onderzocht worden. Op elke plaats ondervindt de proeflading een bepaalde kracht (grootte en richting) die door een vector beschreven kan worden. De verdeling van deze vectoren over de ruimte is het veld.

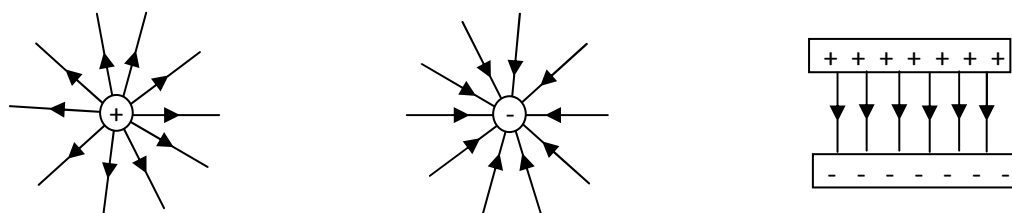
Omdat het veld lastig te tekenen is in de praktijk wordt gebruik gemaakt van **veldlijnen**: Denkbeeldig lijnen in de ruimte waarlangs de proeflading zou gaan bewegen als hij losgelaten zou worden.

Veldlijnen hebben de volgende eigenschappen:

- Veldlijnen lopen van positief geladen voorwerpen naar negatief geladen voorwerpen.
- De raaklijn langs een veldlijn is de bewegingsrichting van de proeflading
- Veldlijnen staan loodrecht op een geleider
- Hoe dichter veldlijnen op elkaar liggen hoe groter de kracht
- Veldlijnen snijden elkaar nooit.

Het veld van één bolvormig geladen voorwerp wordt een **radiaal veld** genoemd.

Twee parallelle platen evenwijdig aan elkaar wordt een **condensator** genoemd. Het veld tussen de twee platen als ze tegengesteld geladen worden heeft overal dezelfde richting en dichtheid van veldlijnen. Dit wordt een **homogeen veld** genoemd.



De **elektrische veldsterkte** (symbool \vec{E}) is gelijk aan de kracht die op een lading van 1 Coulomb zou werken op een bepaalde plaats. In formule vorm:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

\vec{E} =elektrische veldsterkte (N/C)
 \vec{F} =kracht (N)
 q=lading (C)

Omdat elektrische lading met hetzelfde teken elkaar afstoot zal lading zich verzamelen aan het buitenoppervlak van een geleider. Als gevolg hiervan is de elektrische veldsterkte binnen een geleider altijd nul omdat de verschillende krachten van verschillende kanten elkaar opheffen.

Een geladen deeltje in een homogeen elektrisch veld ondervindt een kracht waardoor het deeltje versneld wordt. Er wordt dus arbeid ($W=F \cdot s$) verricht waardoor de kinetische energie van het deeltje toeneemt. Deze energie gaat ten koste van het verschil in **elektrische energie** wat het deeltje op de twee plaatsen heeft. De elektrische energie per Coulomb lading wordt de **elektrische spanning** genoemd (Symbool U, eenheid: Volt (V)).

$$\Delta U = \frac{\Delta E_{\text{elektrisch}}}{q}$$

ΔU =verschil in elektrische spanning (V)
 ΔE =verschil in elektrische energie (J)
 q=lading (C)

Spanning is een eigenschap van het elektrisch veld en is op elke plaats verschillend. Om de toe- of afname van elektrische energie te berekenen moet altijd gekeken worden naar het verschil in spanning tussen twee plaatsen.

In apparaten zoals een TV (met beeldbuis), oscilloscoop en röntgenbuis wordt gebruik gemaakt van elektronen die in een elektrisch veld versneld worden. Elektronen worden gegenereerd door het verhitten van een negatief geladen **kathode** waarna de elektronen versneld worden in de richting van de positief geladen **anode**. Omdat de straal elektronen geladen is kan hij door middel van lading

afgebogen worden in de gewenste richting. Dergelijke apparaten worden **elektronenstraalbuizen** of **kathodestraalbuizen** genoemd.

Magneten zijn metalen voorwerpen die op afstand een aantrekkende of afstotende kracht uitoefenen op andere magneten. Magneten hebben een **noordpool** en een **zuidpool**. De kant die de neiging heeft naar het noorden te wijzen wordt Noordpool genoemd*. 'Losse' noord- en zuidpolen bestaan niet.

- Een noordpool en een zuidpool trekken elkaar aan.
- Gelijksnamige polen stoten elkaar af.

**De aarde is dus ook een magneet. De zuidpool van deze magneet ligt in het geografische noorden.*

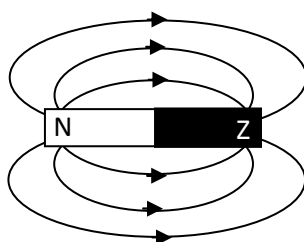
Een magneet kan een metalen voorwerp in de buurt (tijdelijk) in een magneet veranderen. Dit wordt **magnetische influentie** genoemd. Magnetische influentie treedt op bij zg. **ferromagnetische** metalen (o.a. ijzer en nikkel maar niet bij koper: zie BINAS tabel 16B)).

Het gebied rondom een magneet waar de magneet invloed heeft wordt het **magnetisch veld** genoemd. Met een denkbeeldige massaloos en wrijvingloos **minikompasje** kunnen de eigenschappen van een veld onderzocht worden. Op elke plaats wordt het kompasje in een bepaalde richting geduwd. De verdeling van deze richtingen over de ruimte is het eigenlijk veld.

Omdat het veld lastig te tekenen is in de praktijk wordt gebruik gemaakt van **magnetische veldlijnen**: Denkbeeldig lijnen in de ruimte waarlangs het kompasje zich zou richten als het hier geplaatst zou worden. Magnetische veldlijnen hebben de volgende eigenschappen:

- Veldlijnen lopen buiten een magneet van noordpool naar zuidpool.
- Veldlijnen lopen binnen een magneet van zuidpool naar noordpool.
- Veldlijnen lopen in cirkels en hebben geen begin en einde.
- Hoe dichter veldlijnen op elkaar liggen hoe groter de kracht waarmee de kompasnaald in een richting geduwd wordt.
- Veldlijnen snijden elkaar nooit.

LET OP: Magnetische veldlijnen hebben dus andere eigenschappen dan elektrische veldlijnen.



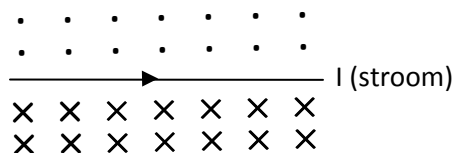
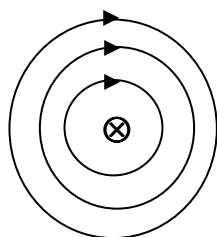
Veldsterkte van een magneetveld wordt ook wel de **magnetische inductie** genoemd. Symbool: \vec{B} , eenheid: Tesla (T). Hoe dichter veldlijnen op elkaar staan, hoe groter de veldsterkte.

Om een draad waar stroom doorheenloopt heerst een magnetisch veld. De veldlijnen vormen cirkels rondom de stroomdraad. De richting van het magnetische veld kan bepaald worden met de **rechterhandregel**: Krom je vingers en steek je duim recht omhoog. Als je duim in de richting van de stroom wijst wijzen je vinger de richting van de magnetische veldlijnen aan.

Tekenafspraken:

Magnetische veldlijnen die het papier ingaan worden genoteerd als X

Magnetische veldlijnen die uit het papier omhoog komen worden genoteerd als \cdot
 Stroom die het papier in gaat wordt genoteerd als \otimes
 Stroom die uit het papier omhoog komt wordt genoteerd als \odot



Binnen een **stroomspoel** heerst een homogeen magnetisch veld. Met de **rechterhandregel voor een spoel** kan de richting van het magnetisch veld bepaald worden: Krom je vingers en steek je duim recht omhoog. Als je vingers de richting van de stroom aanwijzen wijst je duim in de richting van de magnetische veldlijnen.

De veldsterkte van het magneetveld binnen een spoel kan berekend worden met

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{N \cdot I}{l}$$

\vec{B} =magnetische veldsterkte (T)
 μ_0 =constante
 N =aantal windingen
 I =stroomsterkte (A)
 l =lengte spoel (m)

μ_0 is een constante (magnetische permeabiliteit van het vacuüm: BINAS tabel 7)

Een stroomspoel wordt ook wel een **elektromagneet** genoemd.

Een geladen deeltje dat zich binnen een magneetveld beweegt ondervindt een kracht loodrecht op de bewegingsrichting en loodrecht op de richting van het magneetveld. Deze kracht wordt **Lorentzkracht** genoemd. Als het magneetveld en de snelheid loodrecht op elkaar staan kan de grootte van de Lorentzkracht berekend worden met:

$$F_{\text{lorentz}} = Bqv$$

\vec{F} =Lorentzkracht (N)
 \vec{B} =magnetische veldsterkte (T)
 q =lading deeltje (C)
 \vec{v} =snelheid (m/s)

De richting van de lorentzkracht kan gevonden worden met de **linkerhandregel**: Streck de vingers van je linkerhand en laat je duim opzij wijzen. Laat de magnetische veldlijnen loodrecht je handpalm inlopen en je vingers in de stroomrichting wijzen. Je duim wijst dan de richting van de Lorentzkracht aan.

Let op: Bij bewegende elektronen is de stroomrichting tegengesteld aan de bewegingsrichting van de elektronen vanwege de negatieve lading van het elektron.

Ook op een draad binnen een magneetveld waarin een stroom loopt wordt een lorentzkracht uitgeoefend loodrecht op \vec{I} en \vec{B} . Dit komt omdat een stroomdraad eigenlijk is op te vatten als een lange rij achter elkaar bewegende geladen deeltjes die elk een lorentzkracht ondervinden. De grootte van de lorentzkracht op een (deel van een) draad kan berekend worden met:

$$\vec{F}_{\text{lorenz}} = \vec{B} \times \vec{I} \cdot l$$

\vec{F} =Lorentzkracht (N)
 B =magnetische veldsterkte (T)
 \vec{I} =stroomsterkte (A)
 l =lengte van de draad (m)

Toepassingen van de Lorentzkracht zijn o.a. het afbuigen van elektronen in een TV toestel en andere elektronenstraalbuizen en de **hallsensor**. Dit is een sensor waarin magneetvelden gemeten kunnen worden bestaande uit een metalen strip waar een stroom doorloopt. Als er een magneetveld is worden de elektronen opzij gedrukt als ze langs stromen. Hierdoor ontstaan er een tekort aan de ene kant en een overschot aan de andere kant wat een spanningverschil geeft. Door de spanning te meten kan zo de sterkte van het magneetveld bepaald worden.

Ook op een stroom in een **spoel** die zich in een magneetveld bevindt wordt een Lorentzkracht uitgeoefend. De totale kracht is de optelsom van alle individuele krachtjes op alle draadsegmentjes van de spoel. Deze krachten resulteren erin dat een elektromagneet een dussdanige kracht ondervindt dat hij zich zodanig probeert te richten dat het in de spoel opgewekte magneetveld samenvalt met het externe magneetveld.

Toepassingen hiervan zijn o.a. de **elektromotor**, de **draaispoelmeter** (een stroommeter met een wijzer die uitslaat naarmate er meer stroom loopt)

4 Inductie & wisselstromen*

(*deze paragraaf is geen onderdeel van het Centraal Examen in 2011)

Magnetische flux kan worden gezien als het totaal aan veldlijnen door een bepaald (begrensd) vlak. Als het vlak groter wordt, wordt de magnetische flux dus ook groter. Het symbool van magnetische flux is Φ , de eenheid Tm^2 of Weber (Wb). In een homogeen magneetveld kan de magnetische flux door een oppervlak loodrecht op het magneetveld berekend worden met:

$$\Phi = B \cdot A$$

Φ =magnetische flux(Wb)
 B =magnetische inductie (T)
 A =oppervlak (m^2)

Als het vlak draait lijkt, gezien vanuit de richting van het magneetveld, het oppervlak kleiner en is dus ook de flux kleiner met een factor $\cos \alpha$ (α is de hoek waaronder het vlak t.o.v. het magneetveld gedraaid is).

Als de magnetische flux door een stroomspoel (waardoor geen stroom loopt) verandert, ontstaat er een spanningsverschil tussen de aansluitdraden van de spoel. Dit verschijnsel heet **elektromagnetisch inductie** (kortweg **inductie**). De opgewekte spanning wordt **inductiespanning** genoemd. Hoe sneller de verandering van de flux hoe groter de opgewekte spanning. De grootte van de opgewekte spanning is:

$$U_{\text{inductie}} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

U_{inductie} =inductiespanning (V)
 N =aantal windingen spoel
 $\Delta \Phi$ =verandering in flux (Wb)
 Δt =tijd nodig voor verandering (s)

Als de in een spoel opgewekte inductiespanning gebruikt wordt om een stroom te laten lopen, wordt deze stroom **inductiestroom** genoemd. De inductiestroom wekt in de spoel ook weer een magneetveld op. De richting van de magneetveld is zodanig dat hij de fluxverandering die de inductiestroom opwekte tegenwerkt. Dit wordt de **wet van Lenz** genoemd: Als de flux toeneemt zal de inductiestroom een zg. **tegenflux** opwekken. Als de externe flux afneemt zal de inductiestroom een zg. **meeflux** opwekken.

Omdat de verandering van de flux wordt tegengewerkt kost het dus **kracht** om een magneet in een gesloten spoel te bewegen. Er moet dus **arbeid** verricht worden voor het opwekken van een inductiestroom.

Een belangrijke toepassing van elektromagnetische inductie is de **dynamo**. Hier wordt de magnetische flux door een stroomspoel afwisselend groter en kleiner gemaakt doordat de spoel en een of meer magneten ten opzichte van elkaar bewegen. Hierdoor wordt een inductiespanning opgewekt die als spanningsbron gebruikt kan worden.

Een elektromotor zet elektrische energie om in bewegingsenergie. Een dynamo doet precies het omgekeerde. Wat bouw betreft lijken dynamo's en elektromotoren erg op elkaar. Een dynamo die gelijkstroom opwekt wordt een **gelijkstroomdynamo** genoemd, een dynamo die wisselstroom levert een **wisselstroomdynamo**. Een grote dynamo die in o.a. elektriciteitscentrales wordt gebruikt heet een **generator**.

Voor de door een wisselstroomdynamo opgewekte spanning geldt:

$$U(t) = U_{\max} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

$U(t)$ =opgewekte spanning (V)
 U_{\max} =maximale spanning (V)
 f =frequentie (Hz)
 t =tijd (s)

Deze spanning die in de tijd continu verandert wordt **wisselspanning** genoemd. Als de wisselspanning op een weerstand wordt aangesloten gaat er een **wisselstroom** lopen.

Effectieve spanning is de spanning die dezelfde energie levert als een gelijkspanning met hetzelfde voltage. Een wisselspanning mag net zo behandeld worden als een gelijkspanning met dezelfde effectieve spanning mits er geen spoelen of condensatoren in het circuit voorkomen. Voor een sinusvormige wisselspanning kan de effectieve spanning berekend worden met:

$$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_{\max}$$

U_{eff} =effectieve spanning (V)
 U_{\max} =maximale spanning (V)

De wisselspanning die op de aansluitpunten van een **stopcontact** staat wordt **netspanning** genoemd. De frequentie en de effectieve spanning van de netspanning zijn (in Europa) 50 Hz en 230 V, respectievelijk.

Als door een spoel een wisselstroom loopt wordt binnen de spoel een wisselend magneetveld opgewekt. Dit wisselend magneetveld wekt op zijn beurt weer een inductiespanning op die de oorspronkelijke stroom tegenwerkt (wet van Lenz). Een wisselstroom wordt dus door een spoel tegengewerkt. Dit verschijnsel wordt **zelfinductie** genoemd. De hierbij in de spoel gegenereerde inductiespanning heet **zelfinductiespanning**.

Bij een gelijkstroom is geen sprake van zelfinductie in spoelen, behalve het **in- en uitschakelen** omdat er alleen dan sprake is van een wisselend magneetveld.

Een **transformator** bestaat uit twee spoelen; Een **primaire spoel** waar een wisselstroombron op aangesloten worden, en een **secundaire spoel** waar een stroom in opgewekt wordt. De spoelen zijn zo gemonteerd dat het magneetveld wat in de primaire spoel wordt opgewekt door de secundaire spoel loopt. Meestal wordt hiervoor gebruik gemaakt van ijzeren kernen die het magneetveld concentreren. In een **ideale transformator** is het vermogen aan de primaire kant gelijk aan het vermogen aan de secundaire kant. Er is dus geen energieverlies.

Door de windingen in de primaire en de secundaire spoel te variëren kan de secundaire spanning hoger of lager zijn dan de primaire spanning. Er geldt:

$$\frac{U_{p,eff}}{U_{s,eff}} = \frac{I_{s,eff}}{I_{p,eff}} = \frac{N_p}{N_s}$$

U_p =Spanning primaire spoel (V)
 U_s =Spanning secundaire spoel (V)
 I_p =Stroomsterkte primaire spoel (A)
 I_s =Stroomsterkte secundaire spoel (A)
 N_p =Aantal windingen primaire spoel
 N_s =Aantal windingen secundaire spoel

Een **scheidingstransformator** wordt gebruikt om, uit veiligheidsoverwegingen, een deel van het elektriciteitsnet af te scheiden van de rest. Er bestaat zo geen directe verbinding.

Veel apparaten werken niet op 230 V wisselspanning maar op een veel lager voltage gelijkspanning (bv opladers voor je mobieltje). Voor het omlaagbrengen van de spanning wordt een **adapter** gebruikt. Dit is een kleine transformator, meestal in de vorm van een stekker of een klein doosje.

Bij elektrisch lassen wordt met stroom een klein stukje metaal zo heet gemaakt dat het smelt. De extreem hoge stroomsterktes die hiervoor nodig zijn worden gemaakt met een **lastransformator**. De secundaire spoel van een lastransformator heeft maar enkele windingen die van extra dik draad zijn gemaakt. Hierdoor wordt de secundaire spanning laag maar kan de secundaire stroom juist heel hoog worden.

Bij het transport van elektrische energie van de producent (centrale) naar de gebruiker (woonhuizen) moeten verliezen zoveel mogelijk worden tegengegaan. Het verlies in de extreem lange draden is het kleinst als een zeer hoge spanning gebruikt wordt. Hiervoor wordt de spanning bij de centrale omhoog getransformeerd in een **transformatorstation**. In woonwijken staan **transformatorhuisjes** waar de spanning omlaag wordt getransformeerd tot de 230 V.

C MECHANICA

Mechanica is het onderdeel van de natuurkunde wat zich bezighoudt met kracht en beweging.

Mechanica is onder te verdelen in 3 deelgebieden:

- **Kinematica** gaat over bewegingen
- **Statica** gaat over krachten op voorwerpen die in evenwicht zijn en niet bewegen
- **Dynamica** gaat over de wisselwerking tussen kracht en beweging

1 Rechthoekige beweging

Onderzoek naar beweging en snelheden kan gedaan worden met:

Stroboscoop: Een apparaat dat met een vaste frequentie lichtflitsen geeft. Wanneer een foto gemaakt wordt met een lange belichtingstijd ontstaan meerdere beeldjes van een bewegend voorwerp. Als op de foto ook een liniaal staat kunnen afstanden gemeten worden

Videometen: Een video-opname bestaat uit meerdere beeldjes die achter elkaar afgespeeld worden. Door de beeldjes apart te bekijken kunnen afstanden en snelheden bepaald worden

Ultrasone plaatssensor: Een apparaat dat met ultrasoon (heel hoog) geluid de afstand meet door het tijdsverschil tussen uitgezonden en ontvangen geluid (de echo) te meten.

Lasergun: Meet aan de hand van de weerkaatsings tijd van infrarood laserlicht twee keer snel achter elkaar de afstand. Uit het verschil in afstand berekent het apparaat de snelheid.

Radar: Meet snelheden met radiostraling.

Gemiddelde snelheid over een bepaalde periode wordt berekend met

$$v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

v_{gem} = gemiddelde snelheid (m/s)

Δx = verschil in plaats (m)

Δt = tijdverschil (s)

Δx is het verschil in plaats ($x_{\text{eind}} - x_{\text{begin}}$), Δt is het verschil in tijd ($t_{\text{eind}} - t_{\text{begin}}$),

Als in een bepaalde periode de snelheid niet veranderd dan heet de beweging in deze periode **eenparig**.

In een **(x,t)-diagram** staat horizontaal de tijd (t) en verticaal de plaats (x). De steilheid van een grafiek is gelijk aan de snelheid.

In een **(v,t)-diagram** staat horizontaal de tijd (t) en verticaal de snelheid (v). De hoogte van een grafiek is gelijk aan de snelheid. De oppervlakte onder de grafiek is gelijk aan de verplaatsing.

Verplaatsing tussen twee tijdstippen is de kortst mogelijke afstand tussen begin en eindpunt.

Afgelegde weg is de werkelijk afgelegde afstand.

Snelheden worden altijd gegeven ten opzichte van het aardoppervlak tenzij uit de context anders blijkt. Van twee objecten met verschillende snelheden en beginposities kunnen ontmoetingstijd, inhaalafstand etc. bepaald worden met een (x,t)-diagram of door gebruik te maken van de **relatieve snelheid** die objecten ten opzichte van elkaar hebben.

Met de **raaklijnmethode** kan de snelheid op één bepaald tijdstip uit een (x,t)-diagram gehaald worden:

- Teken door het punt van de grafiek waar de snelheid bepaald moet worden een lijn met dezelfde helling als de grafiek (raaklijn).
- Maak een zo groot mogelijke driehoek met de getekende raaklijn als schuine zijde.
- Bepaal de hoogte (Δx) en de breedte (Δt) van de driehoek

Bereken de snelheid met

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Om een (x,t) diagram om te zetten naar een (v,t)-diagram moet voor stukken waarbij de beweging niet eenparig is de raaklijnmethode op zoveel mogelijk plaatsen gebruikt worden.

De raaklijnmethode wordt niet alleen gebruikt bij het bepalen van snelheid maar in alle situaties waarbij de helling van een grafiek bepaald moet worden als de grafiek geen rechte lijn is. Bijvoorbeeld het bepalen van versnelling op een bepaald tijdstip uit een (v,t)-diagram.

Met de **oppervlaktemethode** kan de verplaatsing op een bepaald tijdstip uit een (v,t)-diagram gehaald worden. Verplaatsing is gelijk aan de oppervlakte tussen de grafiek en de x-as in een (snelheid,tijd)-diagram waarbij de oppervlakken onder de x-as afgetrokken moeten worden van de oppervlakken oven de x-as.

Afgelegde weg is gelijk aan de oppervlakte tussen de grafiek en de x-as in een (snelheid,tijd)-diagram waarbij zowel oppervlakken boven als onder de x-as positief meegerekend moeten worden.

Een **eenparig versnelde beweging** is een beweging waarbij de snelheid met een vaste hoeveelheid per tijdseenheid toe- of afneemt.

Versnelling in een bepaalde periode kan berekend worden met:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

a=versnelling (m/s^2)

Δv =verschil in snelheid (m/s)

Δt =tijdverschil (s)

Als a negatief is spreken we ook wel van een eenparig **vertraagde** beweging.

Versnelling is te bepalen uit de steilheid van een (v,t)-diagram met de raaklijnmethode.

Voor een eenparig versnelde beweging vanuit stilstand geldt:

$$x(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$v(t) = a \cdot t$$

a=versnelling (m/s^2)

x=positie (m)

v=snelheid (m/s)

t=tijd(s)

- De (x,t)-grafiek is een parabolische kromme
- De (v,t)-grafiek is een schuine rechte lijn door 0.

Vrije val is een valbeweging waarbij de invloed van luchtwrijving verwaarloosd mag worden. Alle voorwerpen ondergaan bij een val dezelfde versnelling (ongeacht massa).

Een vrije val is een eenparig versnelde beweging. De **valversnelling** wordt aangeduid met 'g'. In Nederland geldt: $g=9,81 \text{ m/s}^2$.

2 Kracht en Moment

Een **kracht** is een **vectorgrootte** en wordt genoteerd als een pijl.

Elke kracht heeft een

- Grootte (lengte van de pijl)
- Aangrijpingspunt (begin van de pijl)
- Richting (richting van de pijl)

Met de notatie \vec{F} wordt de krachtvector bedoeld, met F alleen de grootte van een kracht.

Kracht wordt gemeten met een **krachtmeter** of **veerunster**. De eenheid van de grootte van kracht is Newton (N).

Voor het effect van een kracht op een voorwerp is het totaal van de krachten van belang. Dit heet de **somkracht**, ook wel **resultante**, of **nettokracht** genoemd. Notatie: \vec{F}_{res} of $\Sigma \vec{F}$

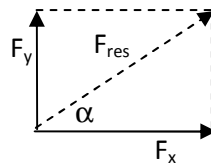
Krachten kunnen bij elkaar opgeteld door:

Constructie (Kop-staartmethode of de parallelogrammethode) of **berekening**:

Loodrecht op elkaar staande krachten F_x en F_y kunnen opgeteld worden met

$$F_{res} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right)$$



Niet loodrecht op elkaar staande krachten moeten eerste ontbonden worden in verschillende **componenten** zodanig dat alle componenten van de krachten onderling loodrecht op elkaar staan. Afhankelijk van de situatie moeten hier de rekenregels voor sinus, cosinus en tangens gebruikt worden.

Als de som van alle krachten op een voorwerp 0 N is is er sprake van **evenwicht**.

Voor evenwicht moet dit gelden voor alle richtingen:

$$\Sigma \vec{F}_x = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma \vec{F}_y = 0 \text{ N}$$

Om te beoordelen of er in een bepaalde situatie evenwicht is moeten de krachten meestal eerst in onderling loodrechte richtingen ontbonden worden.

NB: Het hoeft niet perse horizontaal of verticaal te zijn. Vaak is het handig om twee andere onderling loodrechte richtingen te kiezen.

Massa is een maat voor de hoeveelheid van een bepaalde stof of materie. Het is het resultaat van de optelsom van alle atomen en moleculen. Massa van een voorwerp is onafhankelijk van de plaats waar het voorwerp zich bevindt. Eenheid van massa is de kilogram (kg)

Zwaartekracht is de kracht waarmee voorwerpen door andere voorwerpen aangetrokken worden. Deze kracht is afhankelijk van de massa's van de twee voorwerpen. In het dagelijks leven is één van de twee voorwerpen meestal de aarde.

De grootte van de zwaartekracht is te berekenen met

$$F_z = m \cdot g$$

F_z = zwaartekracht (N)
 m = massa (kg)
 g = zwaartekrachtsversnelling (m/s^2)

(De zwaartekrachtsversnelling op aarde is $9,81 \text{ m/s}^2$) Het aangrijpingspunt van de zwaartekracht is het zwaartepunt van een voorwerp. Voor een massief voorwerp van één materiaal is dit het midden. Richting van de zwaartekracht is in de richting van het zwaartepunt van de aarde. In de praktijk dus meestal recht naar beneden.

Gewicht is de kracht die door een massa op een ander voorwerp wordt uitgeoefend ten gevolge van de zwaartekracht. Bij een boek wat op tafel ligt is het de kracht die het boek op de tafel uitoefent doordat het door de zwaartekracht naar beneden wordt getrokken.

Normaalkracht is de kracht die door een oppervlak wordt uitgeoefend om te voorkomen dat een voorwerp hier doorheen zakt. Grootte is even groot als de door het voorwerp uitgeoefende kracht. Richting is loodrecht op het opvlak.

Een **moment** is een ander woord voor draaikracht. Een moment heeft een

- Grootte (eenheid Newtonmeter Nm)
- Draaipunt
- Draairichting

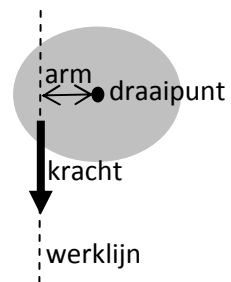
Grootte van een moment kan uitgerekend worden met

$$M = F \cdot r$$

M = moment (Nm)
 F = kracht (N)
 R = arm (m)

De **arm** is de kortste afstand tussen het draaipunt en de werklijn van de kracht.

Afspraak is: Momenten met een richting naar rechts (met de klok mee) zijn **negatief**. Momenten met een draairichting naar links (tegen de klok in) zijn **positief**



Momenten kunnen bij elkaar opgeteld worden mits ze hetzelfde draaipunt hebben.

Momentenwet: Als de som van alle momenten op een voorwerp 0 Nm is, zal het voorwerp niet draaien.

Een voorwerp zal alleen in rust blijven als aan alle **evenwichtsvoorwaarden** is voldaan:

$$\Sigma M = 0 \text{ Nm}$$

$$\Sigma F = 0 \text{ N}$$

De **eerste wet van Newton** luidt in woorden:

“Als de resulterende kracht op een voorwerp 0N is, blijft het in rust of beweegt het in een eenparige rechtlijnige beweging”

In formulevorm:

$$\Sigma F = 0 \text{ N} \Leftrightarrow v = \text{constant (kan dus ook 0 zijn)}$$

Het omgekeerde is ook waar: Beweegt een voorwerp met een constante snelheid of staat het stil dan is de resulterende kracht 0N.

Traagheid is de neiging van een voorwerp om zich tegen een verandering in snelheid te verzetten.

Tenzij een beweging **wrijvingsloos** (bijvoorbeeld in de ruimte) is, treden bij beweging altijd wrijvings- en weerstandskrachten op tegengesteld aan de bewegingsrichting.

Schuifwrijving treedt op bij het schuiven van een voorwerp over een oppervlak.

- Als het voorwerp niet beweegt is de schuifwrijving even groot als de op het voorwerp uitgeoefende kracht maar tegengesteld gericht zodanig dat $\Sigma F = 0$.
- Als een voorwerp beweegt heeft de schuifwrijving een constante grootte. Grootte van de schuifwrijving hangt af van de ruwheid van het oppervlak, de massa van het voorwerp en de grootte van het contactoppervlak.

Rolweerstand treedt op bij wielen e.d. Grootte is constant. Richting is tegengesteld aan de bewegingsrichting.

Luchtweerstand wordt veroorzaakt door het botsen tegen luchtmoleculen tijdens het bewegen.

Grootte van de luchtweerstand is afhankelijk van de snelheid om twee redenen:

Hoe groter de snelheid hoe groter het aantal moleculen waartegen elke seconde gebotst wordt.

Hoe groter de snelheid hoe groter de snelheid waarmee tegen ieder molecuul wordt opgebotst.

De **tweede wet van Newton** luidt in formulevorm:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

\vec{F} = resulterende kracht op een voorwerp (N)
 m = massa voorwerp (kg)
 \vec{a} = versnelling voorwerp (m/s²)

De eerste wet van Newton is af te leiden uit de tweede wet van Newton, constante snelheid betekent immers $a = 0 \text{ m/s}^2$.

Let op: De tweede wet van Newton geeft niet alleen het verband tussen de grootte van de resulterende kracht en de grootte van de versnelling maar ook de richting.

De **derde wet van Newton** luidt in formulevorm:

$$F_{A \rightarrow B} = -F_{B \rightarrow A}$$

In woorden: Als voorwerp A op voorwerp B een kracht uitoefend zal voorwerp B op voorwerp A een kracht uitoefenen die even groot is maar tegengesteld gericht. De wet staat ook wel bekend als “actie is – reactie”.

Let op: De twee krachten in de formule werken dus NIET op hetzelfde voorwerp en kunnen elkaar dus nooit opheffen.

3 Arbeid & Energie

Arbeid is het product van kracht en verplaatsing:

$$W = F \cdot s$$

W = arbeid (Nm)

F = kracht (N)

s = verplaatsing(m)

Deze formule kan alleen toegepast worden als:

- F constant is
- De verplaatsing dezelfde richting heeft als de kracht

Als F niet constant is moet de gemiddelde kracht gebruikt worden.

Als de richtingen tegengesteld zijn: W wordt $-W$ (**negatieve arbeid**)

Als F en loodrecht op elkaar staan: $W=0$ Nm

In andere gevallen moet de kracht **ontbonden** worden in een component in de bewegingsrichting en een component loodrecht daarop. Voor F wordt dan de component in de bewegingsrichting gekozen.

Arbeid wordt verricht door een kracht. De arbeid verricht door de wrijvingskracht is bijna altijd negatief omdat wrijvingskracht vrijwel altijd tegengesteld aan de bewegingsrichting is.

Bij een niet constante kracht is de verrichte arbeid het **oppervlak onder een grafiek** met horizontaal verplaatsing en verticaal kracht.

Energie is de capaciteit die iets bezit om arbeid te verrichten. (van het griekse $\epsilon\nu\epsilon\rho\gamma\omicron\varsigma$, letterlijk: “werk in zich”) De eenheid van energie is de Joule (J). Eén Joule is één Nm (de twee kunnen uitgewisseld worden).

Energie kan verschillende vormen hebben:

Chemische energie is de energie die opgesloten ligt in voedsel of brandstoffen (benzine, olie etc).

Bewegingsenergie of **kinetische** energie is energie die zit in bewegende voorwerpen:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

E_{kin} = kinetische energie (J)

m = massa (kg)

v = snelheid (m/s)

Zwaarte-energie of **potentiële** energie is energie die vrijkomt bij het laten zakken van een massa en geleverd moet worden bij het ophijzen van een massa.

$$E_{\text{zw}} \text{ of } E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

E_{pot} = potentiële energie (J)

m = massa (kg)

g = zwaartekrachtversnelling (m/s²)

h = hoogteverschil (m)

Op aarde geldt $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Veerenergie is de energie die zit in een ingedrukte of uitgerekte veer:

$$E_{\text{veer}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2$$

E_{veer} = veenergie (J)

C = veerconstante (N/m)

u = uitrekking of indrukking(m)

De **veerconstante** (C) is een getal wat aangeeft hoe stug of hoe slap een veer is: De veerconstante is de kracht die nodig is om de veer één meter in te drukken of uit te rekken.

Warmte

Ook warmte is een vorm van energie. Meestal is warmte een ongewenst bijproduct ten gevolge van **wrijvingskracht**. De hoeveelheid ontstane warmte (in Joule) is gelijk aan de verrichtte (negatieve) arbeid van de wrijvingskracht ($W=F_{wr} \cdot s$).

De **wet van behoud van energie** zegt dat de totale hoeveelheid energie altijd gelijk blijft. Verschillende soorten energie kunnen wel in elkaar worden omgezet maar het totaal blijft gelijk.

Voorbeelden:

- Bij een vallend voorwerp wordt potentiële energie omgezet in kinetische energie.
- Bij remmen wordt kinetische energie omgezet in warmte.

De wet van behoud van energie kan gebruikt worden voor het berekenen van hoogtes, snelheden en krachten e.d. door het maken van een overzicht de groottes van de verschillende energiesoorten en hoe ze veranderen (**energiebalans**). In het algemeen geldt dat bij het verrichten van arbeid de ene energiesoort omgezet wordt in een andere.

De energie die omgezet wordt in **warmte** door wrijving kan niet weer teruggevormd worden tot een andere energiesoort. Deze energie is eigenlijk “verloren gegaan”.

Vermogen is de hoeveelheid arbeid die per seconde verricht wordt of de hoeveelheid energie die per seconde verbruikt wordt:

$$P = \frac{W}{t} \text{ of } \frac{E}{t}$$

P = vermogen (W of J/s)

W = arbeid (Nm of J)

E = energie (J)

t = tijd (s)

De eenheid van vermogen (J/s) wordt ook wel de **Watt** (W) genoemd.

PAS OP: De letter W is zowel de afkorting van de grootheid arbeid als van de eenheid van vermogen.

Voor bewegende voorwerpen kan uit de formules voor vermogen, arbeid, en snelheid de volgende formule worden afgeleid:

$$P = F \cdot v$$

P = vermogen (W of J/s)

F = kracht (N)

v = snelheid (m/s)

Bij het omzetten van de ene energiesoort in de andere wordt meestal niet alle energie ‘nuttig’ omgezet. Vaak gaat energie in de vorm van warmte verloren.

Rendement is het percentage energie wat nuttig wordt omgezet.

$$\eta = 100\% \cdot E_{\text{nuttig}} / E_{\text{in}}$$

η = rendement (%)

E_{in} = totale omgezette energie (J)

$$E_{\text{nuttig}} = \text{nuttige omgezette energie (J)}$$

Omdat rendement meestal niet veranderd voor een apparaat of machine kan het rendement ook berekend worden uit het vermogen (P_{in} , P_{nuttig}).

De chemische energie in brandstoffen kan berekend worden met de **stookwaarde** van een brandstof (BINAS tabel 28A)

4 Kromlijnjige beweging

Ballistiek is de wetenschap die zich bezighoudt met geworpen voorwerpen en de baan die ze beschrijven. Denk bijvoorbeeld aan kogelbanen e.d. Een **horizontale worp** is de naam van een beweging waarbij een voorwerp een constante snelheid in de x-richting heeft en valbeweging uitvoert in de y-richting. Voor de positie (s_x, s_y) op elk moment t geldt:

$$\begin{aligned} s_x(t) &= v_x \cdot t & s_x &= \text{verplaatsing in x-richting (m)} \\ s_y(t) &= \frac{1}{2} g \cdot t^2 & s_y &= \text{verplaatsing in y-richting (m)} \\ & & v_x &= \text{snelheid in x-richting (m/s)} \\ & & g &= \text{zwaartekrachtsversnelling (m/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

Omdat er in de x-richting geen kracht wordt uitgeoefend blijft v_x constant. De vorm van de beschreven baan is een (deel van een) **parabool**.

Bij worpen in een andere richting dan horizontaal moet de snelheid altijd eerst ontbonden worden in een horizontale en verticale component ($v_{x,0}$ en $v_{y,0}$)

Hoeken kunnen op twee manieren worden weergegeven:

- Bij **graden** wordt een cirkelboog onderverdeeld in 360°
- Bij **radialen** wordt een cirkelboog onderverdeeld in 2π radialen (symbool: rad)

Hoeken in graden en radialen kunnen in elkaar worden omgerekend:

$$\begin{aligned} 1 \text{ rad} &= 360/2\pi \approx 57,3^\circ \\ 1^\circ &= 2\pi/360 \approx 0,0175 \text{ rad} \end{aligned}$$

Een **eenparige cirkelbeweging** is een beweging waarbij een cirkel doorlopen wordt waarbij v (de grootte van de snelheid) constant blijft. De **omloopstijd** (symbool T , eenheid s) is de tijd die nodig is om precies 1 rondje te maken. De **omloopsfrequentie** (symbool f , eenheid Hz) is het aantal rondjes per seconde. Met toerental (RPM) wordt het aantal rondjes in een minuut bedoeld.

Omloopstijd en omloopsfrequentie kunnen in elkaar omgerekend worden:

$$f = \frac{1}{T} \quad \begin{aligned} f &= \text{omloopsfrequentie (Hz)} \\ T &= \text{omloopstijd (s)} \end{aligned}$$

De **baansnelheid** (symbool v , eenheid m/s) is de grootte van de snelheid van het voorwerp en wordt berekend door de afgelegde afstand tijdens een rondje ($2\pi r$) te delen door de daarvoor benodigde tijd (T).

De **hoeksnelheid** (symbool ω , eenheid rad/s) is het aantal radialen wat per seconde wordt doorlopen. Voor een héél rondje is deze te berekenen door het aantal radialen in een heel rondje (2π) te delen door de benodigde tijd (T).

Hoeksnelheid en baansnelheid kunnen in elkaar omgerekend worden als de straal bekend is.

$$v = \omega \cdot r$$

v =baansnelheid (m/s)
 ω =hoeksnelheid (rad/s)
 r =straal (m)

Bij een eenparige cirkelbeweging verandert de snelheid steeds (weliswaar niet de grootte van de snelheid maar wel de richting). Een verandering in snelheid heet een versnelling. Bij een eenparige cirkelbeweging heet deze versnelling de **middelpuntzoekende versnelling**. Volgens de tweede wet van Newton is voor een versnelling een kracht nodig; de **middelpuntzoekende kracht**.

$$F_{mpz} = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

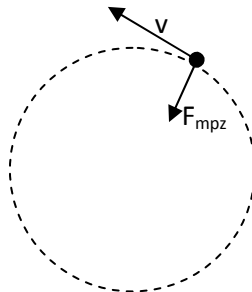
F_{mpz} =middelpuntzoekende kracht (N)
 v =baansnelheid (m/s)
 r =straal (m)

Als alleen de hoeksnelheid bekend is kan F_{mpz} ook berekend worden met:

$$F_{mpz} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

F_{mpz} =middelpuntzoekende kracht (N)
 ω =hoeksnelheid (rad/s)
 r =straal (m)

Bij een eenparige cirkelbeweging moet er altijd een middelpuntzoekende kracht zijn. Bij een gewichtje wat aan een touwtje wordt rondgeslingerd is dit de spankracht in een touwtje, bij een auto die een bocht maakt is dit de wrijvingskracht op de weg, en bij een planeet die om de zon draait is dit de zwaartekracht van de zon.



Newton heeft naast zijn 3 bewegingswetten nog een wet op zijn naam staan: de **gravitatiewet**:

In woorden: Twee voorwerpen trekken elkaar aan met een kracht die evenredig is met de grootte van hun massa's en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen hun zwaartepunten. Deze kracht heet **gravitatiekracht** of **zwaartekracht**.

$$F_{grav} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

F_{grav} = gravitatiekracht (N)
 G = gravitatieconstante ($N/(m^2 \cdot kg^2)$)
 $m_{1,2}$ = massa's van de voorwerpen (kg)
 r = afstand tussen de zwaartepunten (m)

De gravitatieconstante (G) is $6,6726 \cdot 10^{-11} N/(m^2 \cdot kg^2)$ en staat in BINAS (tabel 7). G is meer dan 100 jaar ná Newton door Cavendish bepaald en is in het hele heelal constant.

Voor de cirkelvormige beweging van planeten om de zon en manen en satellieten om een planeet geldt dat de middelpuntzoekende kracht gelijk is aan de zwaartekracht die ze ondervinden:

$$F_{mpz} = F_{grav}$$

Door voor beide krachten de formules uit te schrijven kan het verband worden gevonden tussen omlooptijd, massa en afstand tot de zon (of planeet). Hierbij kan o.a. de **derde wet van Kepler** worden afgeleid die Johannes Kepler in de 16^e eeuw vond door nauwkeurig bestudering van de banen van planeten aan de hemel:

$$\frac{r^3}{T^2} = const.$$

T=omlooptijd(s)

r=straal van de omloopsbaan (m)

D WARMTELEER*

(*dit hoofdstuk is geen onderdeel van het Centraal Examen in 2011)

Warmteleer of thermodynamica gaat over de manier waarop voor ons alledaagse grootheden zoals temperatuur, druk, volume en energie samenhangen met de opbouw van stoffen uit voor ons onzichtbare atomen en moleculen.

1 Gassen en vloeistoffen*

(*deze paragraaf is geen onderdeel van het Centraal Examen in 2011)

Stoffen zijn opgebouwd uit **moleculen** (die op hun beurt weer zijn opgebouwd uit atomen). Tussen de moleculen in een stof zit ruimte: de **intermoleculaire** ruimte. Door de elektrische ladingsverdeling binnen moleculen trekken moleculen (ook neutrale moleculen!) elkaar aan. Deze aantrekkingskracht heet de **vanderwaalskracht**. Bij geladen moleculen (ionen) zijn de elektrische krachten veel sterker dan de vanderwaalskracht.

Moleculen in een stof bewegen ten opzichte van elkaar. Deze beweging ervaren wij als warmte. **Temperatuur** is een directe maat voor de **gemiddelde kinetische energie** van de moleculen in een stof. De temperatuur waarbij alle moleculen stilstaan en de gemiddelde kinetische energie dus 0 J is, wordt het **absolute nulpunt** genoemd (-273,15 °C).

De **Celsius** temperatuurschaal is gekijkt op water: het smelpunt van ijs is gedefinieerd als 0 °C, het kookpunt van water is gedefinieerd als 100 °C. Daarnaast bestaat de **Kelvin** temperatuurschaal. Hierbij is het absolute nulpunt gebruikt als nulpunt (0 K). Een temperatuurstijging van 1 K is gelijk aan een temperatuurstijging van 1 °C. Temperaturen kunnen omgerekend worden met:

$$T_C = T_K + 273,15$$

T_C =temperatuur in °C
 T_K =temperatuur in K

Omdat moleculen elkaar aantrekken bezitten ze behalve kinetische energie ook **potentiële energie**. Hoe verder moleculen uit elkaar zitten hoe groter de totale potentiële energie.

De meeste stoffen kunnen in 3 **fasen** of **aggregatietoestanden** voorkomen.

Vaste fase

Moleculen zitten op een vast plaats ten opzichte van elkaar, vaak in een regelmatig rooster. Moleculen kunnen alleen rond hun plaats heen en weer bewegen. Bij stijging van de temperatuur is er meer ruimte voor deze trilling nodig en zet de stof iets uit.

Vloeistoffase

Moleculen kunnen kriskras door elkaar bewegen maar 'kleven' nog wel aan elkaar vast door de vanderwaalskracht. Ook een vloeistof zet uit bij temperatuurstijging.

Gasfase

Moleculen bevinden zich op grote afstand van elkaar en bewegen kriskras door elkaar. Door de grote afstand voelen ze elkaar niet (behalve bij incidentele botsingen). Moleculen gedragen zich als

onafhankelijke deeltjes en verspreiden zich spontaan over de beschikbare ruimte. Het volume wordt dus bepaald door de ruimte.

Stoffen gaan bij verandering van temperatuur over van de ene fase in de andere fase.

De grenstemperatuur tussen vaste en vloeibare fase heet **smeltpunt**. De grenstemperatuur tussen vloeistoffase en gasfase heet **kookpunt**. Smeltpunt en kookpunt zijn stoffeigenschappen (zie BINAS tabellen 8 t/m 12).

De overgang van de vaste naar de vloeistoffase heet **smelten**

De overgang van de vloeistof naar vaste fase heet **stollen**

De overgang van de vloeistof naar de gasfase heet **verdampen**

De overgang van de gas naar de vloeistoffase heet **condenseren**

De overgang van de vaste naar de gasfase heet **sublimeren**

De overgang van de gasfase naar de vaste fase heet **rijpen**

Kracht per eenheid oppervlak wordt **druk** genoemd. De eenheid van druk is de **Pascal** (Pa) Voor druk op een oppervlak geldt:

$$p = \frac{F}{A}$$

p=druk (Pa)

F=kracht (N)

A=oppervlak(m²)

Gasdruk wordt veroorzaakt door een constante stroom botsinkjes van moleculen met het oppervlak. De grootte van de druk hangt af van de kinetische energie van de individuele moleculen (=de temperatuur) en de hoeveelheid botsingen per second (de concentratie moleculen). Ook in de lucht om ons heen heerst een druk. De gemiddelde luchtdruk op zeeniveau bedraagt 1,01325·10⁵ Pa. Dit wordt de **standaarddruk** genoemd. In plaats van de **Pascal** wordt ook de **bar** gebruikt als eenheid van druk (1 bar=10⁵Pa). Luchtdruk wordt gemeten met een barometer.

De luchtdruk op een bepaalde plaats op een bepaald moment kan enkele procenten hoger of lager zijn. Een gebied met een hoge of een lage druk wordt een **hoge-** respectievelijk **lagedrukgebied** genoemd. De precieze ligging van deze gebieden verandert doorlopend. Deze drukvariaties zijn verantwoordelijk voor het ontstaan van wind en bepalen het weer. Op weerkaarten wordt de druk vaak aangegeven met **isobaren**: lijnen die plaatsen met dezelfde luchtdruk verbinden.

Daarnaast is de luchtdruk afhankelijk van de hoogte. Hoe hoger boven het aardoppervlak hoe lager de druk.

Ook in vloeistoffen heerst een druk. Vloeistofdruk neemt toe met de diepte van de vloeistof door het gewicht van de vloeistof die op de onderste lagen drukt:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

p=druk (Pa)

ρ=dichtheid (kg/m³)

h=diepte onder het oppervlak(m²)

g=9,81 m/s² (op aarde)

Bij vloeistoffen vaak wordt als eenheid van druk **mm Hg** ('millimeter kwik') gebruikt. Dit is de druk 1 mm onder het oppervlak van een kwikkolom (1 mm Hg=133,322 Pa).

De druk in slagaderen en aderen wordt **bloeddruk** genoemd. Door de werking van het hart varieert de bloeddruk tussen een maximale (**systolische-**) en minimale (**diastolische-**) druk.

Een gas waarvan het volume van de moleculen verwaarloosbaar is t.o.v. het volume van het gas en waarin de invloed van vanderwaalskrachten verwaarloosd kan worden wordt een **ideaal gas**

genoemd. Onder normale omstandigheden gedragen de meeste gassen zich in de praktijk als ideaal gas.

Druk (P), Volume (V), Temperatuur (T) en aantal mol n van een gas worden bij elkaar de **toestand** van een gas genoemd. Een verandering van een of meer van deze parameters wordt een **toestandsverandering** genoemd. Binnen een afgesloten vat gelden voor een ideaal gas de volgende wetten:

De druk in een afgesloten vat met constant volume en temperatuur is afhankelijk van de hoeveelheid gas:

$$\frac{p}{n} = c$$

p=druk (Pa)
n=aantal mol
c=constante

Bij constante temperatuur en hoeveelheid gas geldt de **wet van Boyle** :

$$p \cdot V = c$$

p=druk (Pa)
V=volume(m³)
c=constante

Bij constant volume en hoeveelheid gas geldt de **wet van Gay-Lussac** :

$$\frac{p}{T} = c$$

p=druk (Pa)
T=temperatuur(K)
c=constante

Bovenstaande 3 gaswetten kunnen gecombineerd worden en vormen samen de **algemene gaswet**:

$$\frac{p \cdot V}{n \cdot T} = R$$

p=druk (Pa)
V=volume(m³)
T=temperatuur(K)
n=aantal mol
R=gasconstante=8,3145 J mol⁻¹ K⁻¹

Ook als niet alle variabelen bekend zijn kunnen met de algemene gaswet veranderingen in p, V, T en n berekend worden tussen twee toestanden (1 en 2):

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$$

Een serie toestandsveranderingen waarvan de eindtoestand dezelfde is als de begintoestand heet een **kringproces**.

2 Warmte*

(*deze paragraaf is geen onderdeel van het Centraal Examen in 2011)

Warmte is de hoeveelheid energie die verplaatst wordt resulterend in een temperatuurverandering. Warmte is een vorm van energie (symbool: Q, eenheid: J). **Temperatuur** is de gemiddelde kinetische energie van de moleculen in een stof. Een verandering in temperatuur is altijd het gevolg van toe- of afvoer van warmte.

Warmte kan zich op drie manieren verplaatsen:

Warmtegeleiding: Hierbij wordt de beweging van moleculen aan een kant van een voorwerp van molecuul tot molecuul doorgegeven naar de andere kant van een voorwerp. De moleculen zelf blijven hierbij op een hun plaats. Metalen zijn over het algemeen een goede **warmtegeleiders**, piepschuim is een slechte warmtegeleider.

Warmtestroming: Hierbij verplaatsen de moleculen zelf zich van de ene plaats naar de andere plaats. In vloeistoffen en gassen is, vanwege de bewegelijkheid van moleculen, stroming vaak de belangrijkste manier van warmtetransport.

Warmtestraling: Voorwerpen warmer dan het absolute nulpunt stralen straling uit. Hoe hoger de temperatuur hoe groter de hoeveelheid straling. Bij voorwerpen met normale alledaagse temperaturen heeft de straling de vorm van infraroodstraling. Door het absorberen van straling kunnen voorwerpen in temperatuur stijgen. Donkere voorwerpen absorberen straling beter dan licht gekleurde voorwerpen. Omdat bij warmtetransport door straling geen moleculen te pas komen is warmtestraling de enige manier om warmte te transporten door vacuüm (bv in de ruimte).

Warmte-isolatie is het tegengaan van warmtetransport om een voorwerp zijn temperatuur te laten behouden. Voor isolatie is het nodig alle drie de vormen van warmtetransport zoveel mogelijk tegen te gaan.

De energie die nodig is om een hoeveelheid stof in temperatuur te laten stijgen kan berekend worden met:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Q =warmte(J)
 c =soortelijke warmte(J kg⁻¹ K⁻¹)
 m =massa (kg)
 ΔT =temperatuurverandering (K)

Soortelijke warmte van een stof is een materiaaleigenschap die aangeeft hoeveel warmte nodig is om 1 kg van de stof 1 K in temperatuur te laten stijgen (BINAS 8 t/m 12).

Voor voorwerpen gemaakt van meerdere stoffen kan Q berekend worden met:

$$Q = C \cdot \Delta T$$

Q =warmte(J)
 C =warmtecapaciteit(J K⁻¹)
 ΔT =temperatuurverandering (K)

Warmtecapaciteit is de hoeveelheid warmte die nodig is om een voorwerp 1 K in temperatuur te laten stijgen.

De warmtehuishouding van een voorwerp wordt bepaald door de balans tussen warmteaanvoer en warmteafvoer. Alleen als deze twee even groot zijn is er sprake van **warmte-evenwicht** en blijft de temperatuur constant.

E GOLVEN EN STRALING

Niet alleen geluid maar ook licht en andere soorten straling zijn als golven te beschouwen. Om meer over licht te snappen is het dus nodig om te weten wat trillingen en golven zijn en hoe de eigenschappen van deze golven samenhangen met de eigenschappen van licht.

1 Trilling en golven

Een **periodieke** beweging rond een **evenwichtsstand** wordt een **trilling** genoemd.

De **uitwijking** is de positie ten opzichte van de evenwichtsstand. Tijdens een trilling verandert de uitwijking doorlopend: De uitwijking is afwisselend positief en negatief.

De maximale uitwijking tijdens een trilling wordt de **amplitude** genoemd. Amplitude heeft altijd een positieve waarde.

De tijdsduur waarin de de gehele beweging éénmaal doorlopen wordt heet de **trillingstijd** of **periode**. In plaats van trillingstijd wordt ook vaak de frequentie gebruikt. **Frequentie** is het aantal trilling in één seconde. De eenheid van frequentie is de **Hertz (Hz)**

$$f = \frac{1}{T}$$

f=frequentie (Hz)

T=trillingstijd (s)

In een (uitwijkings,tijd)-diagram of (u,t)diagram de beweging af te lezen.

Een trilling waarbij de amplitude afneemt in de loop van de tijd wordt een **gedempte trilling** genoemd.

Voorbeelden van manieren om een (u,t)diagram te bekijken:

In een **elektro-cardiogram** (ECG) worden de elektrische spanninkjes die in het hart worden opgewekt tijdens het kloppen gemeten en continue op een scherm of op papier bijgehouden.

Onregelmatigheden en ritmestoornissen kunnen zo hartafwijkingen opsporen

In een **seismogram** worden kleine bewegingen van het aardoppervlak zichtbaar gemaakt en geregistreerd.

Een **oscilloscoop** is een apparaat dat op een schermje de elektrische spanning als functie van de tijd laat zien. Ook extreem snelle trillingen kunnen zichtbaar gemaakt worden. Door bv een **microfoon** aan te sluiten op een oscilloscoop kunnen geluidstrillingen zichtbaar gemaakt worden. Met twee knoppen kunnen de **tijdbasis** (horizontaal) en de **gevoeligheid** (verticaal) ingesteld worden. Ook een computer kan als oscilloscoop gebruikt worden.

Bij een periodieke beweging kun je aangeven hoeveel hele periodes er al doorlopen zijn en ook op welk punt in de periode de beweging zich bevindt. Dit heet de **fase** van de beweging (symbool: φ). Elke geheel doorlopen periode telt als 1. De fase neemt dus continu toe. Fase heeft geen eenheid. Fase kan berekend worden met:

$$\varphi = \frac{t}{T}$$

φ =fase

t=tijd (s)

T=trillingstijd (s)

Bij **gereduceerde fase** (symbool: ϕ_r) is alleen het deel van de laatst begonnen periode. Gereduceerde fase kan uit de fase bepaald worden door alle héle periodes ervan af te trekken. De gereduceerde fase ligt altijd tussen 0 en 1.

Het **faseverschil** (symbool: $\Delta\phi$) is het verschil in fase tussen twee momenten. Faseverschil is te berekenen met:

$$\Delta\phi = \frac{\Delta t}{T}$$

$\Delta\phi$ =faseverschil
 Δt =tijdverschil (s)
 T =trillingstijd (s)

Een **harmonische trilling** heeft de volgende eigenschappen:

- 1) Het (u,t)diagram is sinusvormig.
- 2) De kracht waarmee iets teruggeduwd wordt naar de evenwichtsstand is recht evenredig met de uitwijking. In formulevorm:

$$F(t) = -C \cdot u(t)$$

$F(t)$ =kracht(N)
 C =(veer)constante (N/m)
 $u(t)$ =uitwijking (m)

Twee voorbeelden van harmonische trillingen zijn een **massa-veersysteem** (een massa hangend aan een veer die op en neer kan trillen) en een **slinger** (touwje met een massa eraan die heen en weer kan slingeren). Trillingstijden kunnen berekend worden met:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$$

T =trillingstijd(s)
 m =massa (kg)
 C =veerconstante(N/m)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

T =trillingstijd(s)
 l =lengte (m)
 g =zwaartekrachtsversnelling
 (9,81 m/s² op aarde)

Let op: Een slinger is slechts bij benadering harmonisch! Hoe groter de amplitude hoe groter de afwijking.

De uitwijking als functie van de tijd bij een **harmonische** trilling kan beschreven worden als:

$$u(t) = A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

u =uitwijking(m)
 A =amplitude (m)
 f =frequentie (Hz)
 t =tijd(s)

Tijdens een trilling worden verschillende energievormen continu in elkaar omgezet. Bij een massa-veersysteem wordt veerenergie (E_{veer}) omgezet kinetische energie (E_{kin}) en daarna weer in veerenergie etc. De totale energie in een trilling blijft altijd constant.

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{veer}} + E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}Cu^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

u =uitwijking(m)
 m =massa (kg)
 C =veerconstante(N/m)

v =snelheid (m/s)

De totale energie in een trilling is:

$$E_{\text{tril}} = \frac{1}{2} CA^2$$

E_{tril} =trillingsenergie (J)
 C =veerconstante (N/m)
 A =amplitude (m)

Hieruit kan worden afgeleid dat:

$$v_{\text{max}} = \frac{2\pi A}{T}$$

A =amplitude (m)
 T =trillingstijd (s)
 v_{max} =maximale snelheid (m/s)

De trilling die een systeem uitvoert als er geen invloed meer van buitenaf is (behalve een 'zetje') heet de **eigen trilling**. De frequentie waarmee dit gebeurt heeft de **eigenfrequentie** (f_{eigen}).

Een beweging waarbij een systeem continu in een periodieke beweging gehouden wordt door een kracht van buitenaf wordt een **gedwongen trilling** genoemd.

De mate waarin een systeem mee gaat trillen hangt af van het verschil tussen de aandrijffrequentie en de eigenfrequentie:

$f_{\text{aandrijf}} \ll f_{\text{eigen}}$	Het systeem beweegt met f_{aandrijf}
$f_{\text{aandrijf}} = f_{\text{eigen}}$	Het systeem gaat meebewegen met een steeds groter wordende amplitude. Dit kan uiteindelijk zelf uit de hand lopen. Dit wordt resonantie genoemd.
$f_{\text{aandrijf}} \gg f_{\text{eigen}}$	Het systeem beweegt helemaal niet mee.

Een trilling kan aan de omgeving worden doorgegeven. Het zich verplaatsen van een trilling leidt tot **golfverschijnselen** of **golven**.

Een **lopende golf** is een trilling die zich continu voortplant. Als elk individueel punt een trilling uitvoert loodrecht op de voortplantingsrichting heet de golf **transversaal**. Een voorbeeld hiervan is een golf die zich door een koord of snaar voortplant. Als elk individueel punt een trilling uitvoert in de voortplantingsrichting heet de golf **longitudinaal**. Een voorbeeld zijn geluidstrillingen.

Golflengte is de afstand van een punt tot het eerstvolgende punt in dezelfde fase van een trilling. Golfsnelheid is de snelheid waarmee een bepaalde fase van een golf zich voortplant heet de **voortplantingsnelheid** of **golfsnelheid**:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

λ =golflengte (m)
 v =golfsnelheid (m/s)
 T =trillingstijd (s)

Het faseverschil tussen twee punten in een golf kan berekend worden met:

$$\Delta\phi = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

$\Delta\phi$ =faseverschil
 Δx =golfsnelheid (m/s)
 λ =golflengte (m)

Geluid plant zich voort vanaf een **geluidsbron**. Als de beweging van de geluidsbron een harmonische trilling uitvoert heet de resulterende toon een **zuiver toon**. Een zuiver toon heeft één bepaalde frequentie en een sinusvormige golfvorm.

Geluid heeft een **medium** nodig om zich in voort te planten. Dit kan een gas, vloeistof of vaste stof zijn. De voortplantingsnelheid is voor alle frequenties en amplitudes gelijk.

Alleen geluid met een frequentie tussen de 20 Hz (**onderste gehoorgrens**) en de 20 kHz (**bovenste gehoorgrens**) is voor mensen hoorbaar.

Geluidsdrukkniveau is de grootte die weergeeft hoe hard een geluid is (eenheid: decibel dB). Dit heeft een logaritmische schaal: Bij verdubbeling van de sterkte van het geluid neemt het geluidsdrukkniveau met 3 dB toe. Bij verdubbeling van de afstand tot de bron neemt de geluidsdrukkniveau met 6 dB af.

Het zwakste geluidsdrukkniveau wat nog hoorbaar is heet de **gehoordrempel**. De gehoordrempel hangt van de frequentie af.

Het verschijnsel dat verschillende golven elkaar beïnvloeden als er sprake is van meer dan één trillingsbron in hetzelfde medium heet **interferentie**.

Als de golven afkomstig van verschillende bronnen op een bepaald punt altijd met elkaar in fase zijn, versterken de golven elkaar. Dit verschijnsel heet **constructieve interferentie**. Een punt waar dit gebeurt heet een **buikpunt** of **buik**. Verschillende buiken op een lijn heten een **buiklijn**. In dit geval geldt voor het fase verschil: $\Delta\phi = 0, 1, 2, 3, \dots$

Als de golven afkomstig van verschillende bronnen op een bepaald punt altijd met elkaar in tegenfase zijn, verzwakken de golven elkaar of ze doven elkaar zelfs helemaal uit. Dit verschijnsel heet **destructieve interferentie**. Een punt waar dit gebeurt heet een **knooppunt** of **knoop**. Verschillende knopen op een lijn heten een **knooplijn**. In dit geval geldt voor het faseverschil: $\Delta\phi = \frac{1}{2}, 1\frac{1}{2}, 2\frac{1}{2}, \dots$

Storend geluid van een geluidsbron kan bestreden worden met **antigeluid**. Geluid met dezelfde frequentie maar een zodanige fase dat op de gewenste plaatsen knopen ontstaan.

Ook **licht** gedraagt zich als een golf. De voortplantingssnelheid en frequentie van licht zijn extreem groot en de golflengte extreem klein. De golflengte van licht correspondeert met de kleur. Rood is ongeveer 600 nm, blauw ongeveer 450 nm. Ook licht kan interferentie vertonen. Een voorbeeld hiervan is een zg. **tralie**. Dit is een patroon van smalle spleten. De afstand tussen de spleten wordt de **tralieconstante** genoemd. Als licht op een tralie valt wordt het door buiging afgebogen in een aantal richtingen. Slechts in bepaalde richtingen versterken de golven uit de verschillende spleten elkaar zodat constructieve interferentie optreedt. Voor de richtingen geldt de tralieformule:

$$\sin \alpha = \frac{n\lambda}{d}$$

α =afbuighoek
 n =orde (1,2,3..)
 λ =golflengte (m)
 d =tralieconstante(m)

Bij licht van één golflengte (en dus één kleur) wordt het over een aantal verschillende ordes ($n=1,2,3..$) afgebogen en verschijnt er op een afstand achter het tralie een patroon van losse stipjes. Bij licht bestaande uit meerdere golflengtes (bv wit licht) wordt het licht uiteengehaald in de verschillende kleuren. Op een afstand achter het tralie verschijnen **spectra**.

Net als een **prisma** (waarbij de splitsing van kleuren komt door verschillen in brekingsindex voor verschillende kleuren) kan ook een tralie gebruikt worden als **spectroscoop**.

Snaarinstrumenten zijn muziekinstrumenten waarbij de trillingsbron een snaar is (bv piano, gitaar, viool).

Een gespannen snaar kan in trilling gebracht worden. De voortplantingssnelheid van de golf in een snaar is afhankelijk van de massa en de spanning in de snaar. Als gevolg van interferentie tussen de zich voortplantende lopende golf en de aan de uiteinde gereflecteerde lopende golf ontstaan **staande golven**. In een staande golf blijven knopen en buiken op dezelfde plaats in de snaar.

Omdat de uiteinden niet bewegen en dus altijd knopen zijn past er altijd een geheel aantal halve golflengtes op de lengte van een snaar.

Er geldt dus:

$$l = n \cdot \frac{1}{2} \cdot \lambda$$

l =snaarlengte (m)

$n=1,2,3\dots$

λ =golflengte (m)

voor de frequenties geldt:

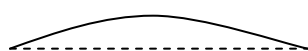
$$f = n \cdot \frac{v}{2l}$$

f =frequentie (Hz)

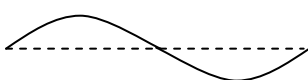
$n=1,2,3\dots$

v =golfsnelheid (m/s)

l =snaarlengte (m)



$n=1$



$n=2$



$n=3$

De frequentie met $n=1$ is de laagste toon die de snaar kan voortbrengen. Dit heet de **grondtoon**. De frequenties met $n=2,3,4$ worden **boventonen** of **harmonischen** genoemd. In de praktijk is de toon die een snaar voortbrengt een combinatie van de grondtoon met meerdere boventonen.

Een **blaasinstrument** bestaat uit een buis met een kolom lucht. Welke toon ontstaat wordt niet bepaald door de trillingsbron (meestal een riet of je lippen) maar door het meetrillen van de luchtkolom.

Als gevolg van interferentie tussen de zich voortplantende lopende golf en de aan de uiteinde gereflecteerde lopende golf ontstaan **staande golven**. Door de interferentie ontstaan in de luchtkolom knopen en buiken. Aan de open zijden van een buis ontstaat altijd een **buik** aan een gesloten zijde altijd een **knoop**.

Er zijn meerdere mogelijkheden:

Een buis met twee open uiteinden:

Net als bij een snaar pas er een geheel aantal halve golflengtes in de buis:

$$l = n \cdot \frac{1}{2} \cdot \lambda$$

l =lengte van de luchtkolom (m)

$n=1,2,3\dots$

λ =golflengte (m)

Voor de frequentie van de grondtoon en de boventonen geldt:

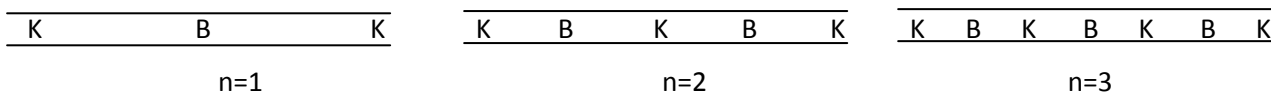
f =frequentie (Hz)

$n=1,2,3\dots$

v =golfsnelheid (m/s)

l =lengte van de luchtkolom (m)

$$f = n \cdot \frac{v}{2l}$$



Een buis met één open en één gesloten uiteinde:

Omdat altijd één kant een knoop is en één kant een buik geldt:

$$l = (2n - 1) \cdot \frac{1}{4} \cdot \lambda$$

l=lengte van de luchtkolom (m)

n=1,2,3...

λ =golflengte (m)

Voor de frequentie van de grondtoon en de boventonen geldt:

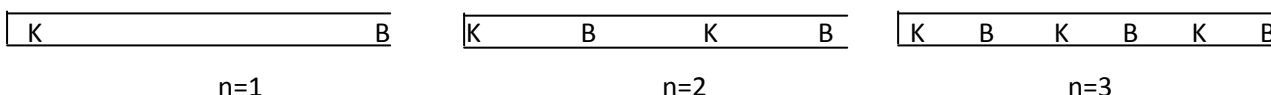
$$f = (2n - 1) \cdot \frac{v}{4l}$$

f=frequentie (Hz)

n=1,2,3...

v=golfsnelheid (m/s)

l=lengte van de luchtkolom (m)



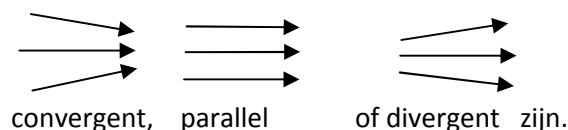
Bij blaasinstrumenten kan de toonhoogte veranderd worden door de lengte van de buis te veranderen. Dit kan door de buis met een schuif langer of korter te maken (trombone), door kleppen of gaten in de buis (blokfluit, klarinet, saxofoon, dwarsfluit), of door een systeem met ventielen waarbij de luchtkolom steeds een omweggetje maakt (trompet, hoorn). Ook kan het instrument uit meerdere buizen bestaan met allemaal een andere lengte (kerkorgel, panfluit).

2 Licht en lenzen

Licht beweegt zich langs rechte lijnen: **lichtstralen**

Een verzameling lichtstralen heet een **lichtbundel**

Een lichtbundel kan



Als een lichtstraal een voorwerp raakt kan het worden:

Geabsorbeerd: Lichtstraal gaat niet meer verder

Doorgelaten (eventueel na breking)

Spiegelend gereflecteerd: Lichtstraal gaat in één richting verder.

Diffuus gereflecteerd: Lichtstraal gaat in allerlei willekeurige richtingen verder.

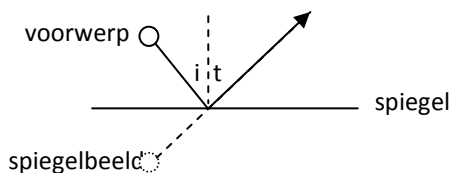
Een **normaal** is een lijn loodrecht op een oppervlak. Als een lichtstraal op een spiegelend oppervlak valt is de hoek die de lichtstraal met de normaal maakt voor de weerspiegelde straal hetzelfde als de opvallende straal (de **spiegelwet**):

$$i = t$$

i=hoek met de normaal van de invallende straal

t=hoek met de normaal van de teruggekaatste straal

Voor het construeren van de loop van een lichtstraal bij spiegels is het soms nodig om gebruik te maken van een **spiegelbeeld**. Dit is een virtueel (niet echt) beeld wat een hulp is bij het tekenen van lichtstralen. Spiegelbeeld van een voorwerp licht op dezelfde afstand van de spiegel aan de andere kant (loodrecht gemeten).



Als licht op een doorzichtig voorwerp valt kan de lichtstraal onder een andere richting verder gaan. Dit heet **lichtbreking**. De hoek waaronder licht gebroken wordt kan worden bepaald met de **wet van snellius**:

$$n_{A \rightarrow B} = \sin i / \sin r$$

i = de hoek met de normal van de opvallende straal

r = de hoek met de normaal van de gebroken straal

$n_{A \rightarrow B}$ = de **brekingsindex** van de overgang materiaal A naar materiaal B.

De brekingsindex van de overgang kan berekend worden uit de brekingsindex van de materialen A en B (zie BINAS tabel 18)

$$n_{A \rightarrow B} = n_B / n_A$$

Brekingsindex is afhankelijk van de soort stof en van de **kleur** van het licht. Tenzij er een bepaalde kleur wordt genoemd in een opgave wordt standaard uitgegaan van geel licht (589 nm). Omdat brekingsindex verschilt voor verschillende kleuren licht worden verschillende kleuren verschillend afgebogen. Dit heet **kleurschifting** of **dispersie**.

Een voorbeeld is een **prisma** (een driehoekig stuk glas): Als hier wit licht opvalt (wat bestaat uit alle kleuren) worden de kleuren verschillende afgebogen waardoor de kleuren uiteengerafeld worden. Hetzelfde treedt op in een regendruppel wat resulteert in een regenboog.

Bij een overgang van een hoge brekingsindex naar een lage brekingsindex (bijvoorbeeld glas → lucht) kan er een effect optreden wat **totale terugkaatsing** heet. Licht wordt hierbij gereflecteerd op het grensvlak (zie spiegelwet). Totale terugkaatsing treedt alléén op als de hoek met de normaal van de invallende straal groter is dan de **grenshoek**. De grenshoek voor de overgang van een materiaal naar lucht kan berekend worden met:

$$\sin g = \frac{1}{n}$$

g = grenshoek

n = brekingsindex materiaal

Grenshoeken bij overgangen van materialen naar lucht staan ook genoemd in BINAS in tabel 18

Een **lens** is een doorzichtig voorwerp met één of meer ronde oppervlakken. Deze oppervlakken kunnen hol of bol zijn.

De mate waarin ze hol of bol zijn wordt aangegeven met de **kromtestraal**. Dit is de straal van een denkbeeldige bol passend op het lensoppervlak. Hoe kleiner de kromtestraal hoe bollier (of holler) de lens.

Lenzen met een bol oppervlak heten **positieve** lenzen en hebben een **convergerende** werking: Opvallende lichtstralen worden naar elkaar toegebogen.

Lenzen met een hol oppervlak heten **negatieve** lenzen en hebben een **divergerende** werking: Opvallende lichtstralen worden van elkaar weggebogen.

Elke lens heeft een **optisch midden**. Voor een niet al te dikke lens is het optisch midden ook het echte midden van de lens. Bijzondere eigenschap van het optisch midden is dat lichtstralen die op het optische midden vallen recht door gaan.

De **hoofdas** is een denkbeeldige lijn loodrecht op de lens door het optische midden.

Lichtstralen die parallel aan de hoofdas op een lens vallen komen aan de andere kant van de lens samen in het **brandpunt**. De afstand tussen het optisch midden en het brandpunt heet de **brandpuntsafstand** (symbool: f) en is een eigenschap van de lens: Elke lens heeft een vast brandpuntsafstand die meestal op de rand van de lens staat.

Aan beide kanten van een lens ligt een brandpunt.

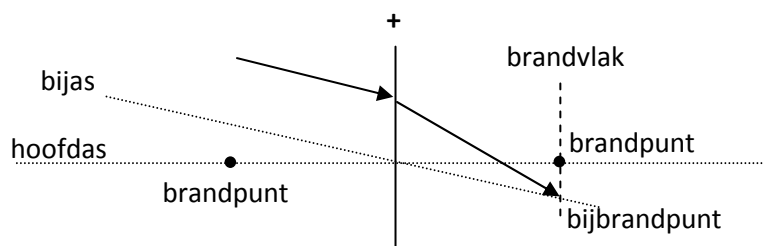
In constructietekeningen wordt een lens weergegeven als een verticale streep met een plus of een min erboven (positieve of negatieve lens)

Het vlak loodrecht op de hoofdas door een brandpunt heet het **brandvlak**. Elk punt op het brandvlak heet een **bijbrandpunt**.

Elke lijn door het optisch midden heet een **bijas**. Een bijas loopt altijd recht (wordt niet door de lens gebroken).

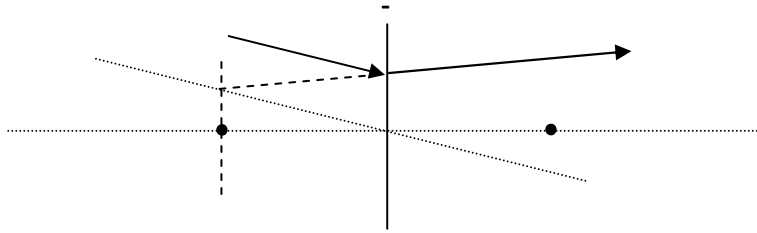
Om van een willekeurige op een positieve lens vallende lichtstraal te bepalen hoe deze verder loopt:

- 1) Teken de bijas die parallel aan de lichtstraal loopt
- 2) Bepaal het bijbrandpunt waar deze bijas het brandvlak aan de andere kant van de lens raakt.
- 3) Teken vanaf het punt waar de lichtstraal de lens raakt, de lichtstraal verder naar het bij 2 bepaalde bijbrandpunt.



Om van een willekeurige op een negatieve lens vallende lichtstraal te bepalen hoe deze verder loopt:

- 1) Teken de bijas die parallel aan de lichtstraal loopt
- 2) Bepaal het bijbrandpunt waar deze bijas het brandvlak aan dezelfde kant van de lens raakt.
- 3) Teken vanaf het punt waar de lichtstraal de lens raakt, de lichtstraal verder naar alsof deze komt uit het bij 2 bepaalde bijbrandpunt.



Alle divergente lichtstralen die vanuit een één punt komen worden door een lens zodanig afgebogen dat ze weer bijeen komen in één punt. Dit punt heet het **beeld** van het voorwerp.

Het uitzoeken waar het beeld precies gevormd wordt kan door het uitzoeken van het verloop van minstens 2 verschillende lichtstralen die vanuit het voorwerp op de lens vallen. Dit heet **constructie**.

De afstand tussen het voorwerp en de lens heet de **voorwerpsafstand** (symbool: v). De afstand tussen het beeld en de lens heet de **beeldafstand** (symbool: b).

Bij een positieve lens geldt bij $v > f$ dat het beeld een echt beeld is wat geprojecteerd kan worden op een blaadje papier.

Bij een positieve lens met $v < f$ en bij negatieve lenzen geldt dat de lichtstralen eigenlijk niet samenkomen. Een echt beeld bestaat niet. Het punt waar de lichtstralen denkbeeldig samenkomen aan dezelfde kant van de lens als het voorwerp heet het **virtuele beeld**.

Een virtueel beeld kan niet geprojecteerd maar wel bekeken worden. Door de lens heen kijkend lijken de lichtstralen vanuit één punt te komen.

Voor een echt beeld of virtueel beeld geldt de **lensformule**:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v}$$

f = brandpuntsafstand (m)
 b = beeldafstand (m)
 v = voorwerpsafstand (m)

De lensformule geldt alleen als er sprake is van een scherp beeld

Ook bij negatieve lenzen en virtuele beelden geldt de lensformule. Bij negatieve lenzen wordt een negatieve waarde voor f gebruikt. Bij virtuele beelden is b negatief.

De **lenssterkte** van bijvoorbeeld brillenglazen wordt gemeten in de eenheid dioptrie (dpt). Er geldt:

$$S = \frac{1}{f}$$

S = lenssterkte (dpt)
 f = brandpuntsafstand (m)

Lineaire vergroting is hoeveel keer groter de lengte, breedte of hoogte van een beeld is in verhouding tot het voorwerp. Als b en v bekend zijn kan dit berekend worden met:

$$N = \left| \frac{b}{v} \right|$$

N = lineaire vergroting
 b = beeldafstand (m)
 v = voorwerpsafstand (m)

Een waarde van N kleiner dan 1 betekent dat een beeld verkleind wordt. Dit gebeurt meestal in een fototoestel.

In het oog wordt een beeld van de buitenwereld op het **netvlies** achterin de oogbol geprojecteerd. Op het netvlies zitten miljoenen lichtgevoelige cellen. De concentratie cellen is het grootste in de **gele vlek**. De **blinde vlek** is de plaats waar de zenuwbundel de oogbol verlaat, hier zitten juist helemaal geen lichtgevoelige cellen. De bolvormige oppervlakken van het **hoornvlies** en de **ooglens** samen werken als lens die zorgt voor de afbeelding. De opening waardoor het licht binnen valt heet de **pupil**. Met de iris kan de pupil groter en kleiner gemaakt worden (2 tot 8mm) afhankelijk van de hoeveelheid licht.

De ooglens is flexibel en kan door **kringsspieren** bolle of platter gemaakt worden. Het veranderen van de brandpuntsafstand van de ooglens zodanig dat er een scherp beeld ontstaat, heet **accommoderen**.

De grootte van het gebied wat in een keer scherp gezien wordt heet **scherptediepte**. Hoe groter de pupilopening hoe kleiner de scherptediepte.

Een plaatje van het oog staat in het biologiegedeelte van BINAS (tabel 87C)

Het **vertepunt** (V_{oog}) is het verste punt wat met een oog nog scherp gezien kan worden.

Het **nabijheidspunt** (N_{oog}) is de minimumafstand waarbij nog scherp gezien kan worden.

Voor een normaal oog geldt: $V_{\text{oog}} = \infty$, $N_{\text{oog}} < 25$ cm.

Bij ouder worden gaat N_{oog} omhoog vanwege het slapper worden van de kringsspieren. Als N_{oog} zo groot is geworden dat er niet meer normaal gelezen kan worden heet dit **oudziendheid**.

Oudziendheid kan verholpen worden met een positieve lens (bril). Met de lenswet kan de sterkte van de bril berekend worden.

Verziendheid treedt op als de ooglens ook voor in de verte kijken al moet accommoderen. Dit kan erg vermoeiend zijn omdat het oog eigenlijk nooit met ontspannen kringspier kijkt. V_{oog} ligt 'verder dan oneindig', en het punt waar de lichtstralen samenkomen ligt eigenlijk achter het oog. Ook ligt bij verziendheid, net als bij oudziendheid het nabijheidspunt verder van het oog dan bij een normaal oog.

Verziendheid kan verholpen worden met een positieve lens (bril). Met de lenswet kan de sterkte van de bril berekend worden.

Bijziendheid treedt op als de lens ook bij een ongeaccommodeerd oog (ontspannen kringspier) nog te sterk is. Ver weg kan dus niet scherp gezien worden: $V_{\text{oog}} =$ eindig bv enkele meters. Dichtbij kan wel goed gezien worden: N_{oog} is vaak zelfs kleiner dan bij een normaal oog.

Bijziendheid kan verholpen worden met een negatieve bril. Met de lenswet kan de sterkte van de bril berekend worden.

Een **loep** (of loupe) is een positieve lens waarbij het voorwerp in het brandpunt geplaatst wordt. Het (virtuele) beeld ontstaat in het oneindige. Bij het gebruik ontstaat een vergroot beeld op het netvlies. Dankzij de loep kan het voorwerp van veel dichterbij bekeken worden dan N_{oog} waardoor het beeld groter op het netvlies komt en duidelijker te zien is. Omdat het virtuele beeld in het oneindige staat kan er met ongeaccommodeerd (=ontspannen) oog naar gekeken worden.

Gezichtshoek is de hoek waaronder de lichtstralen van een voorwerp het oog binnenkomen. Gezichtshoek bepaalt hoe groot iets gezien wordt.

Beamer

Bevat een positieve lens. Het voorwerp (een klein schermje met daarop duizenden pixels waar door de computer beelden op worden gezet) wordt van achter beschenen met een sterke lamp, het beeld wordt geprojecteerd op een grote afstand ($b \gg v$). Hierdoor is het beeld ook sterk vergroot.

Fotocamera

In wezen een gesloten doos met een positieve lens die een beeld van de buitenwereld op de achterkant projecteert (positieve lens met niet-virtueel beeld). Op de achterkant zit een lichtgevoelige **CCD-chip**. De chip is opgedeeld in miljoenen **pixels** (1 megapixel is 1 miljoen pixels) waar het beeld op gevormd wordt. Hoe meer pixels hoe scherper het beeld kan worden. Het **diafragma** werkt net als de iris bij een oog: Het regelt de hoeveelheid licht die door de lens op de film valt. De **sluiter** is een klepje wat heel kort even opengaat als de foto gemaakt wordt.

Spiegelreflexcamera

Bevat dezelfde onderdelen als een gewone camera. Extra is een **spiegel** waarmee het beeld bekeken kan worden voordat de foto gemaakt wordt. Dit beeld wordt via een **vijfhoekig prisma** naar een **matglazen plaatje** gekaatsd waarop het beeld door de **zoeker** bekeken kan worden. Op het moment dat de foto gemaakt wordt klappt de spiegel eventjes omhoog zodat het licht op de CCD-chip valt.

3 Elektromagnetische straling en atoomfysica*

(*deze paragraaf is geen onderdeel van het Centraal Examen in 2011)

In de 17^e eeuw ontstonden 2 modellen voor wat licht eigenlijk was: het **deeltjesmodel** van Newton en het **golfmodel** van Huygens. Breking van licht kon alleen met het golfmodel goed verklaard worden. Net zoals andere golven vertoont licht **interferentie** en **buiging**. De kleur van licht is direct gerelateerd aan de **golflengte** en de **frequentie** van de golf. Licht van één golflengte heet **monochromatisch**. Er geldt:

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

λ =golflengte (m)
 c =lichtsnelheid (m/s)
 f =frequentie (Hz)

De snelheid van het licht c is afhankelijk van het medium. In vacuüm is de snelheid het grootst ($c = 2,9979 \cdot 10^8$ m/s, BINAS tabel 7). In andere doorzichtige stoffen is het afhankelijk van de **brekingsindex**: Hoe groter de brekingsindex hoe kleiner de lichtsnelheid.

Licht is een vorm van **elektromagnetische straling**. Ook radiostraling, IR, UV, magnetronstraling, röntgenstraling en gammastraling zijn vormen van elektromagnetische straling (zie BINAS 19B). Deze straling heeft altijd dezelfde voortplantingssnelheid (in vacuüm). De frequentie bepaalt om wat voor soort straling het gaat. Als er van de golflengte van een bepaalde soort straling wordt gesproken gaat het normaal gesproken om de golflengte in vacuüm. Elektromagnetische straling is een **transversale golf** waarbij de magnetische veldsterkte en de elektrische veldsterkte steeds loodrecht op elkaar staan.

Radiostraling wordt opgewekt door met een vaste hoge frequentie spanning op een antenne te zetten. Deze frequentie wordt de **draaggolf** genoemd. Elke zender heeft zijn eigen draaggolf. Een ontvanger wordt afgestemd op de frequentie van een draaggolf. Door kleine variaties in de draaggolf kan informatie (bv geluid) worden verzonden.

Magnetronstraling wordt opgewekt met een zeer hoge frequentie die precies is afgestemd op de eigenfrequentie van watermoleculen. Als de straling wordt omgevangen door een watermolecuul wordt dit in trilling gebracht waardoor de temperatuur (=kinetische energie!) stijgt.

Infraroodstraling wordt uitgezonden door warme voorwerpen. De frequentie van infraroodstraling is te groot om elektronisch op te kunnen wekken.

Zichtbaar licht wordt uitgestraald bij temperaturen van duizenden graden Kelvin. Dit gebeurt bv in een gloeilamp. Het spectrum van de uitgezonden straling wordt bepaald door de temperatuur uit het spectrum kan ook de temperatuur gemeten worden (BINAS tabel 23). Een **laser** is een lichtbron die monochromatisch licht in een nauwe bundel uitzendt. Laserlicht is **coherent**: De uitgezonden golven vormen een lange regelmatige golf. Dit in tegenstelling tot bv gloeilamplicht wat bestaat uit oneindig veel korte 'pakketjes golf' die geen onderling verband hebben.

Ultraviolet wordt o.a. door de zon uitgezonden en zorgt voor het bruin worden van de huid. Ultraviolet is gevaarlijk (huidkanker).

Röntgenstraling wordt opgewekt in een röntgenbuis. De straling dringt die in voorwerpen door die voor zichtbaar licht niet doorzichtig zijn. Het wordt o.a. gebruikt in ziekenhuizen en in de beveiliging op vliegvelden.

Gammastraling komt vrij bij verval van radioactieve instabiele atoomkernen en is extreem gevaarlijk als het direct op het lichaam valt. De straling wordt gebruikt voor het steriliseren van voedsel.

Het analyseren van het spectrum van uitgezonden elektromagnetische straling om meer te weten te komen over een object heet **spectraalanalyse**. Een spectrum van een object wat zelf licht uitzendt heet een **emissiespectrum**. Een spectrum van licht wat door een object heen is gevallen waarbij juist bepaalde golflengtes zijn geabsorbeerd heet een **absorptiespectrum**.

Het licht van een gloeilamp bevat alle golflengtes. Het spectrum is ononderbroken. Dit heet een **continu spectrum**. De relatieve sterkte van de golflengtes die door een heet voorwerp (zoals een gloeidraad) worden uitgezonden wordt bepaald door de temperatuur. Hoe lager de temperatuur hoe sterker de golflengtes aan de rode kant van een spectrum en hoe hoger hoe sterker de blauwe kant. Een grafiek met de golflengte horizontaal en de relatieve intensiteit verticaal bij een bepaalde temperatuur wordt een **Planckkromme** genoemd (BINAS tabel 23). In een **halogeenlamp** wordt verdamping van de gloeidraad tegengegaan waardoor de temperatuur veel hoger is en het licht relatief blauw-wit is vergeleken met een normale gloeilamp.

In een **gasontladingsbuis** loopt stroom door een gas onder een lage druk. Omdat gas normaliter niet geleidend is is er een hoge spanning nodig om de stroom op gang te brengen. Door botsingen van elektronen met de atomen worden de atomen aangeslagen. Als de atomen terugkeren naar hun normale toestand zenden ze licht uit van een bepaalde golflengte. Deze golflengtes zijn specifiek voor ieder gas. **Natriumgas** zendt bv oranje-geel licht uit. In het spectrum zitten dan ook maar enkele kleuren. Een dergelijk spectrum heet een **lijnspectrum**. Ook een **tl-buis** is een gasontladingsbuis. Het gas hierin is kwik wat UV-straling uitzendt. Aan de binnenkant van de buis zit een witte coating. Deze licht wit op als er UV-straling op valt.

In het algemeen komen continue spectra van stoffen waarbij moleculen dicht op elkaar zitten (vast,vloeistof) en lijnenspectra van stoffen waarbij moleculen onafhankelijk van elkaar zijn (gassen)

Als wit licht (met een continu spectrum) door een koud gas valt worden er juist bepaalde golflengtes geabsorbeerd. In het spectrum ontbreken er dan bepaalde golflengtes. Dit is te zien als zwarte lijnen

in het spectrum. Dit zijn dezelfde golflengte waarbij hetzelfde gas in een gasontladingsbuis juist zou uitzenden

Omdat de precieze ligging van de spectraallijnen karakteristiek zijn voor een stof wordt spectraalanalyse veel gebruikt voor onderzoek naar de samenstelling van zon, sterren en planeten (zie BINAS tabel 20).

In het **atoommodel van Rutherford** draait een elektron om een positief geladen kern die het elektron aantrekt en voor de benodigde middelpuntzoekende kracht zorgt om het elektron in zijn baan te houden. De potentiële energie is hoger naarmate de baan verder van de kern ligt. Door het absorberen van straling (licht) krijgt het elektron de benodigde energie om naar een hogere baan te gaan. Bij het teruggaan naar een lagere baan zendt het elektron juist straling uit.

Probleem van dit model is dat het niet verklaard waarom deze geabsorbeerde en uitgezonden straling maar bepaalde specifieke golflengtes heeft.

Max Planck kwam op het idee dat licht gezien moet worden als een stroom energiepakketjes: **fotonen**. Elk foton heeft een energie die bepaald wordt door de frequentie van het licht:

$$E_{\text{foton}} = h \cdot f$$

E_{foton} = energie per foton (J)
 h = constante van Planck (BINAS tabel 7)
 f = frequentie (Hz)

Om praktisch redenen wordt de energie per foton meestal niet weergegeven in Joules maar in elektronvolt (eV). $1 \text{ eV} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

In het **atoommodel van Bohr** kan een elektron maar op bepaalde specifieke afstanden zitten. Het elektron kan alleen sprongsgewijs van de ene naar een andere afstanden springen. Omdat de toegestane afstanden vastliggen en specifiek zijn voor een bepaald atoom is de energie van de straling die geabsorbeerd en uitgezonden wordt ook specifiek.

De ideeën van Planck en Bohr samen vormden een goede verklaring voor het optreden van lijnenspectra: De uitgezonden en geabsorbeerde fotonen hebben een energie die precies overeenkomt met het verschil in energie tussen de twee banen waartussen het elektron zich sprongsgewijs verplaatst. De ligging van deze energieniveaus en banen zijn specifiek voor elke soort atoom. Het laagste niveau wordt het de **grondtoestand** ($n=1$), het eerste niveau hierboven heet de **eerste aangeslagen toestand** ($n=2$) etc.

In het hoogste niveau is het elektron zover van de kern dat het hiervan losraakt: de **geïoniseerde toestand**. Energie niveaus worden meestal in een schema met horizontale lijnen weergegeven. Bij elk niveau hoort een bepaalde energie. Door het verschil in energie kan de golflengte van de uitgezonden of geabsorbeerde straling berekend worden.

De energie nodig om een atoom van de grondtoestand in een keer naar de geïoniseerde toestand te brengen heet de **ionisatie-energie** (zie BINAS tabel 22)

Het **foto-elektrisch effect** is het verschijnsel dat licht elektronen uit een metaal kan vrijmaken. Dit verschijnsel treedt alleen op als de frequentie van het licht groter is dan een bepaalde grenswaarde. De verklaring hiervoor is dat de energie per foton groter moet zijn dan de zg **uittree-energie** die voor iedere stof verschillend is (BINAS 24). Als de energie per foton groter is dan de uittree-energie wordt de resterende energie omgezet in kinetische energie van het elektron. Met behulp van een **remspanning** kan gemeten worden hoe groot deze energie is met onderstaande formule:

$$E_{kin} = E_{foton} - E_{uittree}$$

$$q \cdot U = E_{foton} - E_{uittree}$$

E_{kin} =kinetische energie elektron (J)
 E_{foton} =energie per foton (J)
 $E_{uittree}$ =uittree energie van het metaal (J)
 U =remspanning (V)
 q =lading elektron (C)

Het foto-elektrisch effect was een sterke bewijs dat het idee van licht als golfverschijnsel niet afdoende was: Licht bestond uit losse deeltjes die zich als energiepakketjes gedroegen (fotonen).

Voor het verklaren van sommige lichtverschijnselen (lichtbreking, interferentie, buiging) moet licht als een **golfverschijnsel** beschouwd worden. Andere verschijnselen kunnen alleen verklaard worden door aan te nemen dat licht een **deeltjesverschijnsel** is. Licht heeft dus zowel een golfkarakter als een deeltjeskarakter. Licht heeft een **dualistisch karakter**.

Louis de Broglie kwam in 1924 met het idee dat ook elektronen, die tot dan toe altijd als geladen deeltjes waren beschouwd, **golfverschijnselen** vertonen. Net zoals licht vertonen elektronen buigings- en interferentie verschijnselen. Elektronengolven kunnen elkaar uitdoven of versterken. De frequentie en golflengte van een elektronengolf is afhankelijk van de kinetische energie van een elektron.

Een toepassing is de **elektronenmicroscop**. In een normale lichtmicroscop is de resolutie (het kleinste wat gezien kan worden) beperkt door de golflengte van het licht (enkele honderden nm). Door elektronen te versnellen is de zijn golflengtes van elektronengolven tot 0,05 nm te bereiken. Hierdoor kan met een extreem grote resolutie gekeken worden.

Ook andere deeltjes bleken golfgedrag te vertonen. Om dit te kunnen verklaren is een model ontwikkeld waarbij objecten voorgesteld worden als materiegolven. Het bleek onmogelijk om met klassieke natuurkunde sommige verschijnselen te verklaren. Een echte voorstelling van deze materiegolven is moeilijk te maken en het heeft lang geduurd voordat deze **golfmechanica** of **quantummechanica** algemeen geaccepteerd was onder fysici. Lang is erover getwist wat de precieze betekenis was van deze golven. Tegenwoordig wordt aangenomen dat de uitwijking van de golf op een bepaalde positie en plaats de kans geeft om een deeltje op deze tijd en plaats aan te treffen: een waarschijnlijkheidsgolf dus. Dit was voor veel fysici onacceptabel. Een fundamentele onzekerheid hoort niet thuis in een natuurkundige theorie; "God dobbelt niet" zei Albert Einstein.

4 Radioactiviteit en kernfysica

Ioniserende straling is straling die in staat is om atomen die door de straling getroffen worden te ioniseren. Eind 19^e eeuw zijn er 4 soorten ioniserende straling ontdekt:

Röntgenstraling (engels: X-rays) Een stralingsoort die vrijkomt in een kathodestraalbuis waarin elektronen met grote snelheid tegen de anode aanbotsen. De maximale energie per stralingsdeeltje is gelijk aan de kinetische energie van de elektronen op het moment dat ze tegen de anode botsen. Een vorm van elektromagnetische straling net zoals licht, infrarood, UV etc. alleen dan met een zeer korte golflengte.

α-straling: straling bestaat uit deeltjes: heliumkernen (massa 4u lading 2+)

β-straling: Straling bestaat uit deeltjes: elektronen (lading 1-)

γ-straling: Een vorm van elektromagnetische straling net zoals licht, infrarood, UV etc. alleen dan met een extreem korte golflengte.

α , β en γ straling komen vrij uit sommige stoffen die ook in de natuur voorkomen: **radioactieve** stoffen. Deze stralingsoorten zijn dus natuurlijk. Röntgenstraling wordt kunstmatig opgewekt

Een atoom bestaat uit een extreem kleine positief geladen **atoomkern** met hieromheen een schil van negatief geladen elektronen.

De kern is opgebouwd uit één of meerdere **nucleonen** of kerndeeltjes. Er bestaan 2 soorten:

- **Protonen** zijn positief geladen deeltjes met massa 1u
- **Neutronen** ongeladen deeltjes met massa 1u

De massa van de elektronen is verwaarloosbaar. Feitelijk zit alle massa van een atoom dus samengebald in een extreem kleine kern.

Het aantal protonen en daarmee de lading van de kern bepaald de eigenschappen van een atoom. Het atoomnummer in het **periodiek systeem der elementen** is het aantal protonen in de kern. Waterstof (H) heeft nummer 1, Helium (He) heeft nummer 2 etc..

Het aantal neutronen in een kern heeft invloed op de massa van een kern maar niet op de eigenschappen van het atoom. Een koolstofatoom blijft een koolstofatoom ook als er meer of minder neutronen in de kern zitten.

Atomen van dezelfde soort maar met verschillend aantal neutronen in de kern worden **isotopen** van elkaar genoemd. Van de meeste atoomsoorten bestaan meerdere isotopen (BINAS tabel 25).

Een atoomkern wordt met de volgende notatie beschreven:

massagetel
ladingsgetel **symbool**

Het **massagetel** (symbool: N) is het totaal aantal nucleonen, dus protonen+neutronen.

Het **ladingsgetel** (symbool: Z) is het aantal protonen, dus de lading. Ladingsgetel is hetzelfde als het atoomnummer.

Bijvoorbeeld: $^{110}_{48}\text{Cd}$ betekent een Cadmiumkern met 110 nucleonen waarvan 48 protonen. De rest (62) zijn dus neutronen.

Uit het feit dat het cadmium is weet je eigenlijk al dat er 48 protonen in de kern zitten. Dit getal hoeft er dus niet perse bij de staan. Vaak wordt het dan ook geschreven als "cadmium-110"

Protonen, neutronen en elektronen worden samen ook wel **elementaire deeltjes** genoemd.

Elementaire deeltjes zijn op hun beurt weer opgebouwd uit nog kleinere deeltje. Deze deeltjes worden **quarks** genoemd. Het model wat de opbouw van deeltjes uit quarks beschrijft wordt het **standaardmodel** genoemd. In dit model worden niet alleen de deeltjes maar ook de krachten beschreven die de deeltjes bij elkaar houden:

- Elektromagnetische kracht
- Zwakke wisselwerking
- Sterke wisselwerking

Dankzij de sterke wisselwerking blijven de elkaar elektrisch afstotende protonen toch bij elkaar in de kern.

De notatie met massagetal en ladingsgetal wordt ook gebruikt voor elementaire deeltjes:

proton: 1_1p

neutron: 1_0n

elektron: ${}^0_{-1}e$

α -deeltje: ${}^4_2\alpha$ of 4_2He

β -deeltje: ${}^0_{-1}\beta$ of ${}^0_{-1}e$

γ -deeltje: ${}^0_0\gamma$

Veel isotopen zijn instabiel. Na verloop van tijd **vervallen** ze. Dit betekent dat ze veranderen in een andere stof en hierbij (meestal) een stralingsdeeltje uitzenden. Dit kan op een aantal verschillende manieren gebeuren. In BINAS (tabel 25) staat op welke manier ze vervallen:

α -verval: Hierbij wordt een α -deeltje (=2 neutronen en 2 protonen) de kern uitgestoten.

Voorbeeld: ${}^{214}_{84}Po \rightarrow {}^{210}_{82}Pb + {}^4_2\alpha$

β -verval: Hierbij verandert in de kern een neutron in een proton en wordt een elektron uitgestoten.

Voorbeeld: ${}^{40}_{19}K \rightarrow {}^{40}_{20}Ca + {}^0_{-1}\beta$

β^+ -verval: Hierbij verandert in de kern een proton in een neutron. Het uitgezonden deeltje is een positron (het omgekeerde van een elektron). Meestal verdwijnt het positron snel na het uitzenden als het op een elektron botst en verdwijnt.

Voorbeeld: ${}^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{22}_{10}Ne + {}^0_1\beta^+$

γ -verval: Hierbij verandert een instabiele kern of in een stabiele kern en wordt het energieverval gecompenseerd door het uitzenden van een γ -foton (=een gammadeeltje). Een instabiele kern heet een **metastabiele kern** (notatie: 'm' bij het massagetal). Dit wordt ook wel een **isomeer** genoemd

Voorbeeld: ${}^{99m}_{43}Tc \rightarrow {}^{99}_{43}Tc + {}^0_0\gamma$

(γ -straling treedt ook vaak op in combinatie met een andere soort verval)

K-vangst: Hierbij een elektron uit de schil die het dichtst bij de kern ligt (de K-schil) ingevangen en verandert in de kern een proton in een neutron.

Voorbeeld: ${}^{109}_{48}Cd + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^{109}_{47}Ag$

Bij veel isotopen kan verval via meerdere manieren plaatsvinden. Welk type verval in dit geval plaatsvindt is van te voren niet te voorspellen. Een uitzondering is gammaverval. Dit vindt meestal plaats in combinatie met een andere soort verval.

Wanneer een instabiele kern vervalt is onmogelijk te voorspellen. Wel is het mogelijk van een grote groep kernen te voorspellen hoe lang het duurt voordat de helft van alle kernen vervallen is. Deze tijd wordt de **halveringstijd** of **halfwaardetijd** genoemd. Symbool $t_{1/2}$ eenheid: s, min, dagen, of zelfs jaren. Halveringstijden staan in BINAS (tabel 25).

De hoeveelheid instabiele kernen is te berekenen met

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$N(t)$ =hoeveelheid instabiele kernen
 N_0 =beginhoeveelheid instabiele kernen
 t =tijd(s)
 $t_{1/2}$ =halveringstijd (s)

In bovenstaande formule mag ook een andere eenheid van tijd gebruikt worden mits dezelfde eenheid voor zowel t als $t_{1/2}$ gebruikt wordt.

Activiteit is het aantal deeltjes wat door een hoeveelheid stof per seconde wordt uitgezonden. Symbool: A , eenheid Becquerel (Bq). Omdat de activiteit direct afhankelijk is van de hoeveelheid instabiele kernen neemt de activiteit in de loop van de tijd op dezelfde manier af als de hoeveelheid instabiele kernen:

$$A(t) = A_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$A(t)$ =activiteit (Bq)
 A_0 =activiteit op $t=0$
 t =tijd(s)
 $t_{1/2}$ =halveringstijd (s)

De activiteit van een voorwerp kan berekend worden als het aantal instabiele kernen en de halveringstijd bekend zijn:

$$A_0 = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} N_0$$

A_0 =activiteit op $t=0$ (Bq)
 N_0 =aantal instabiele kernen op $t=0$
 $t_{1/2}$ =halveringstijd (s)

De energie die nodig is voor het ioniseren van de moleculen die een deeltje onderweg passeert gaat ten koste van de kinetische energie en dus de snelheid van een deeltje. De afstand die een deeltje in een materiaal kan afleggen voordat het al zijn kinetische energie kwijt is heet **dracht***. Dracht hangt af van de soort straling en het materiaal: In lucht is de dracht van deeltjes groter dan in lood. De mate waarin een deeltje in staat is om moleculen te ioniseren wordt het **ioniserend vermogen** genoemd. Als een deeltje een groot ioniserend vermogen heeft betekent dit dat het snel zijn kinetische energie kwijt is en dus een relatief kleine dracht heeft.

In onderstaande tabel staan ioniserend vermogen en dracht van de verschillende soorten straling samengevat.

Soort straling	Dracht	Ioniserend vermogen
α -straling	-	++
β -straling	+/-	+
Röntgenstraling	+	+/-
γ -straling	++	-

**Dit geldt niet voor röntgen- en gammastraling: dit zijn vormen van elektromagnetische straling net zoals licht. Ze bewegen dus altijd met de lichtsnelheid. Hun dracht is de gemiddelde weglengte voordat het geabsorbeerd wordt.*

Voor de detectie van ioniserende straling bestaan verschillende methoden:

Badge

Mensen die veel met straling werken (in ziekenhuizen en kerncentrales etc.) dragen een plastic badge met hierin, lichtdicht afgesloten, een stukje film. Om de zoveel tijd wordt het stukje film ontwikkeld en bekeken of en hoeveel straling de persoon heeft ontvangen.

Bellenvat of nevelkamer

In een vat bevindt zich een verzadigd gas. Dit is een gas dat zo koud is dat het eigenlijk vloeibaar zou moeten worden (condenseren). Als een ioniserend deeltje door het vat gaat laat dit een spoor van geïoniseerde moleculen achter. Hier vormen zich minuscule druppeltjes die zichtbaar worden als een spoor.

Geiger-Müllerteller (of GM-teller)

Een GM-teller bestaat uit een metalen cylinder waarbinnen een metalen draad loopt. Tussen deze draad en de cylinderwand wordt een hoge spanning gezet. Deze spanning wordt zo gekozen dat er n et geen vonk kan overspringen. Op het moment dat een deeltje de cylinder binnendringt worden een aantal gasmoleculen ge ioniseerd waardoor het gas ineens plaatselijk geleidend wordt en er heel eventjes een stroom loopt. Deze stroompuls wordt gemeten en meestal geeft het apparaat een tikje of een piepje per gemeten stroompuls. Het aantal stroompulsjes per seconde is een directe maat voor het aantal ioniserende deeltjes wat per seconde op de teller valt.

Dradenkamer

In een dradenkamer lopen honderden tot duizenden draden die onder een hoge spanning staan. Een computer houdt bij bij welke draad de stroompulsje loopt door een passerend deeltje, en weet zo de plaats van het deeltje. Ook het spoor van ionisatie wat het deeltje achterlaat kan zo precies gelokaliseerd worden.

De schadelijkheid van straling hangt af van de totale geabsorbeerde energie en de massa van het orgaan of de persoon die de straling ontvangt. De energie per kg massa wordt de **dosis** genoemd (eenheid: Gray, Gy)

$$D = \frac{E_{abs}}{m}$$

D=dosis (Gy)

E_{abs}=geabsorbeerde stralingsenergie (J)

m=massa(kg)

Omdat straling met een groot ioniserend vermogen veel schadelijk is dan straling met een laag ioniserend vermogen moet ioniserend vermogen meegenomen worden in het bepalen van de schadelijk. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een **weegfactor** waarmee het **dosisequivalent** kan worden berekend. Eenheid Sievert (Sv).

$$H = Q \cdot D = Q \cdot \frac{E_{abs}}{m}$$

H=dosisequivalent (Sv)

Q=weegfactor

D=dosis (Gy)

E_{abs}=geabsorbeerde stralingsenergie (J)

m=massa(kg)

Soort straling	Weegfactor Q
�-straling	20
�-straling	1
Röntgenstraling	1
�-straling	1

De normale dosisequivalent die een persoon in een jaar ontvangt is hooguit enkele milliSievert en komt o.a. van kosmische straling, natuurlijke radioactiviteit in de omgeving, het maken van vliegvlagen en het laten maken van Röntgenfoto's.

In BINAS tabel 27 G en H staat het verband tussen dosisequivalent en gezondheid.

Let op: Bovenstaande twee formules staan NIET in BINAS!

Belangrijke toepassingen van ioniserende straling zijn:

Röntgenfoto

Röntgenstraling wordt nauwelijks tegengehouden door zacht weefsel en meer door bot. Een CT-scan is een apparaat waarin meerdere röntgenfoto's van verschillende richtingen gecombineerd worden en met een computer tot een 3D beeld verwerkt worden.

Tracers

Voor onderzoek worden radioactieve stoffen (tracers) binnen het lichaam gebracht. Door vervolgens te kijken van welke plaatsen in het lichaam de straling komt is te zien waar de stoffen zich in het lichaam hebben opgehoopt.

Radiotherapie

Ioniserende straling is schadelijk voor cellen. Door te zorgen dat de straling juist komt op cellen die schadelijk wordt ioniserende straling als therapie gebruikt, bijvoorbeeld bij veel vormen van kanker. Dit kan door het lichaam van buiten te bestralen (uitwendig) of door radioactieve stoffen in het lichaam te brengen (inwendig)

Diktemeting

De dikte van een voorwerp kan gemeten worden door er gamma- of röntgenstraling doorheen te sturen. Het verschil tussen de intensiteit van de straling die erop valt en de straling die erdoorheen valt wordt o.a. bepaald door de dikte van het voorwerp.

$$I(x) = I_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{x}{d_{1/2}}}$$

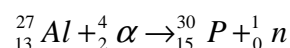
$I(x)$ = Intensiteit op diepte x

I_0 = Intensiteit van de opvallende straling

x = diepte in materiaal (m)

$d_{1/2}$ = halveringsdikte (m)

Bij spontaan radioactief verval van instabiele kernen komt α , β , en/of γ straling vrij. Bij het beschieten van kernen kunnen ook andere, kunstmatige, kernreacties worden opgewekt waarin ook protonen of neutronen vrijkomen bijvoorbeeld:



Omdat hiervoor altijd een deeltje nodig is waarmee een kern bestraald wordt staat er bij dit soort reacties aan de linkerkant van de pijl altijd meer dan deeltje.

Als we de massa's aan de linkerkant en de rechterkant van de pijl bij een vervalreactie bekijken dan verdwijnt er massa. Albert Einstein vond in zijn relativiteitstheorie in 1905 dat massa en energie in elkaar omgezet kunnen worden volgens:

$$E = m \cdot c^2$$

E = energie (J)

m = massa (kg)

c = lichtsnelheid ($= 2,9979 \cdot 10^8$ m/s)

Dit betekent dat er met het verdwijnen van massa energie vrijkomt. De massa wordt omgezet in kinetische energie van het uitgezonden deeltje en de vervallen kern en/of de energie van één of

meer γ -fotonen. De energie van een γ -foton is direct gerelateerd aan de golflengte en de frequentie van de straling:

$$E_{\text{foton}} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

E_{foton} =energie per foton (J)
 h =constante van Planck (BINAS tabel 7)
 f =frequentie (Hz)
 c =lichtsnelheid (BINAS tabel 7)
 λ =golflengte (m)

De massa's van atomen staan in BINAS (tabel 25) uitgedrukt in atomaire massa-eenheden (u-tjes).

Let op!: Voor de massa's van de atoomkernen moet de massa van de elektronen hier nog van afgetrokken worden!

Ook is het bij kunstmatige kernreacties mogelijk om juist massa te laten ontstaan uit energie.

Bij het vergelijken van de massa van een helium-4 kern met de massa van 2 losse protonen en 2 losse neutronen blijkt dat de massa van de kern lager is dan de massa van de bestanddelen (!). Voor het splitsen moet er dus massa gecreëerd worden en dus energie toegevoerd. Deze energie wordt de **bindingsenergie** genoemd. Door de bindingsenergie te delen door het aantal nucleonen in de kern komen we op de bindingsenergie per deeltje. De stof ijzer-56 heeft de grootste bindingsenergie per deeltje

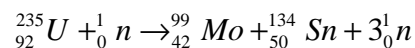
Voor atomen met een massa < de massa van ijzer-56 (massa=56u) geldt:

Het bij elkaar brengen van kernen is energetisch voordelig en levert dus energie op.

Voor atomen met een massa > de massa van ijzer-56 (massa=56u) geldt:

Het opsplitsen van kernen is energetisch voordelig en levert dus energie op.

De stof uranium-235 kan gebruikt worden als brandstof voor de productie van warmte (energie) of als grondstof voor kernwapens. De isotoop uranium-235 valt uiteen in kleinere kernen als de kern getroffen wordt door een neutron. Dit uiteenvallen kan via een aantal verschillende manieren bijvoorbeeld:



Bij deze reactie komt, behalve een aantal neutronen, ook een grote hoeveelheid energie vrij in de vorm van warmte en gammastraling. Bij de vervalreactie ontstaan ook meerdere neutronen. Deze neutronen op hun beurt zorgen weer voor een reactie bij een andere uranium-235-kern wanneer deze getroffen wordt. Bij elke stap is het aantal neutronen groter. De mate waarin het aantal neutronen toeneemt na elke stap wordt de **vermenigvuldigingsfactor** genoemd (k).

K is niet automatisch 3 om de volgende redenen:

- Bij sommige reacties ontstaan niet 3 maar 2 neutronen
- De neutronen zijn te snel om tot een volgende reactie te kunnen leiden.
- Een deel van de neutronen ontsnapt aan het materiaal
- Een deel van de neutronen botst op iets anders dan een uranium-235-kern.

Er zijn 3 mogelijkheden:

- Als $k > 1$ is sprake van een **kettingreactie**. Het aantal reacties en neutronen neemt exponentieel toe en de geproduceerde energie komt in een extreem korte tijd vrij (kernexplosie)
- Als $k = 1$ is sprake van een evenwicht. De hoeveelheid geproduceerde energie blijft constant.
- Als $k < 1$ doven de reacties uit en verminderen tot er geen neutronen meer zijn.

In een **kerncentrale** wordt een kettingreactie met uranium-235 gebruikt om energie op te wekken voor elektriciteitsproductie. De reactie wordt streng gecontroleerd en d.m.v. **regelstaven** wordt ervoor gezorgd dat $k = 1$ tijdens het bedrijf van de centrale. Regelstaven zijn staven met o.a. cadmium die neutronen absorberen en zo zorgen dat ze geabsorbeerd worden voordat ze tot een volgende reactie kunnen leiden. Meestal hebben deze de vorm van staven die tussen het materiaal met uranium-235 bewogen kunnen worden.

Behalve regelstaven zijn in een kernreactor ook **moderatoren** nodig. Dit zijn materialen die de neutronen die bij het verval van uranium-235 ontstaan afremmen zodat ze een volgende reactie kunnen opwekken als ze tegen een volgende uranium-235 kern opbotsen.

In **kernwapens** wordt van dezelfde kettingreactie gebruik gemaakt alleen dan ongecontroleerd zodat $k > 1$ en dat de kettingreactie exponentieel toeneemt en explosief wordt.

Uranium zoals dit in mijnen gevonden wordt bestaat voornamelijk uit uranium-238. Slechts 0,7% is uranium-235. Deze concentratie is veel te laag om een kettingreactie op gang te brengen. Door het **verrijken** wordt het gehalte aan uranium-235 omhoog gebracht. Dit gebeurt door het uranium chemisch om te zetten in het gasvormige uraniumhexafluoride wat in een **ultra-centrifuge** verrijkt kan worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het verschil in massa tussen U-238 en U-235. Omdat verrijkt uranium zeer gevaarlijk kan zijn en gebruikt kan worden voor de productie van kernwapens is het ingewikkelde ultra-centrifuge proces zeer goed beschermd en beveiligd.

In kerncentrales zit het uranium-235 in **brandstofstaven**. Als een brandstofstaaf op is bevat deze nog bruikbaar uranium-235. De concentratie is echter te laag om het nog te gebruiken. Na terugwinning in een **opwerkingsfabriek** kan het gebruikt worden voor nieuwe staven.

Daarnaast bevatten opgebruikte staven de stof plutonium-239. Deze stof ontstaat als verval product als uranium-238 getroffen wordt door een neutron. Dit laatste gebeurt uiteraard doorlopend in een kernreactor. De stof plutonium-239 kan op zijn beurt ook weer gebruikt worden als splijtstof. Deze stof wordt ook teruggewonnen uit gebruikte brandstofstaven in een opwerkingsfabriek.

Het gehele schema van de winning van uranium in de mijn via de verrijking, het gebruik in kernreactoren en het daarna terugwinnen van bruikbare materialen in een opwerkingsfabriek wordt de **splijtstofcyclus** genoemd.

Voordelen van kernenergie zijn:

- Weinig uranium nodig voor veel energie (relatief goedkoop)
- Weinig CO₂ productie (alleen bij de winning van uranium)
- Uraniummijnen bevinden zich op veel verschillende plaatsen in de wereld ook in niet politiek gevoelige gebieden zoals olie en gas.

Nadelen van kernenergie zijn:

- Afval wat niet hergebruikt kan worden is nog duizenden tot zelfs miljoenen jaren radioactief en gevaarlijk
- Een ongeluk met een centrale kan zeer ingrijpende gevolgen hebben

- Splijtstoffen kunnen ook in verkeerde handen vallen en misbruikt worden voor kernwapens (terrorisme!)
 - Ook de werelduraniumvoorraad is eindig, net als olie en gas.
-

Een andere toepassing van kernreactoren is de fabricage van radioactieve isotopen voor **medische toepassingen**. In een kernreactor kunnen niet-radioactieve stoffen bestraald worden met neutronen en kunnen radioactieve stoffen gemaakt worden die niet op een andere manier te verkrijgen zijn. Deze radioactieve stoffen kunnen dan weer gebruikt worden voor bestraling van patiënten of als tracer. Vaak moeten deze stoffen binnen een paar uur na productie gebruikt worden omdat ze anders vervallen. De kernreactor van **ECN** in het Noord-Hollandse **Petten** is de belangrijkste kernreactor in Europa waar medische isotopen geproduceerd worden.

Je eigen natuurkundeboek?

In het overzicht hieronder kun je vinden in welk hoofdstuk van de meest gebruikte schoolboeken je alles kunt vinden.

		Systematische Natuurkunde	Stevin	Newton	Natuurkunde Overal	Pulsar
A	Algemeen	Boek 4A: 1	Deel 1:10	1	1	12
B	1 Elektrische schakelingen	Boek 4B: 8	Deel 1:6	2	2	3
	2 Digitale elektronica	Boek 5: 1	Deel 1:9	8	3	4
	3 Elektriciteit en magnetisme	Boek 5: 6	Deel 2: 7,9	9,18	8	16
	4 Inductie en wisselstromen	Boek 5: 7	Deel 2: 8	10	9,20	17
C	1 Rechthoekige beweging	Boek 4A: 2	Deel 1: 1,2	6,12	12	1,2
	2 Kracht en moment	Boek 4A: 3,4	Deel 1: 2,3,4	4,6,12	4,13,18	6,7
	3 Arbeid en energie	Boek 4A: 5	Deel 1: 7	5,12,16	4,6	8
	4 Kromlijnige beweging	Boek 5: 2	Deel 2: 4	17	20	11
D	1 Gassen en vloeistoffen	Boek 6: 1	Deel 2: 1	15	1,10	13
	2 Warmte	Boek 6: 2	Deel 2: 2	7	10	14
E	1 Trillingen en golven	Boek 5: 3,4	Deel 2: 3,6	13	15	9,10
	2 Licht en lenzen	Boek 4B: 6,7	Deel 1: 5 Deel 2:5	3	14,17	5
	3 EM straling en atoomfysica	Boek 6: 3	Deel 2: 10	14,15,18	7	12,18
	4 Radioactiviteit en kernfysica	Boek 6: 4,5	Deel 1:8 Deel 2:10	11,15,20	7,19	15,19

Index

- aangeslagen toestand, 48
- aangrijpingspunt, 24
- aardlekschakelaar, 11
- absolute nulpunt, 32
- absorptie, 41
- absorptiespectrum, 47
- accommoderen, 45
- activiteit, 52
- adapter, 21
- AD-omzetter, 15
- afgelegde weg, 22
- afgeleide eenheid, 5
- afhankelijke variabele, 6
- afronden, 6
- aggregatietoestand, 32
- algemene gaswet, 34
- amplitude, 36
- analoog, 12
- anode, 16
- antigeluid, 39
- arbeid, 27
- arm, 25
- atoomkern, 50
- automaat, 12
- baansnelheid, 29
- badge, 52
- ballistiek, 29
- bar, 33
- basiseenheid, 5
- becquerel, 52
- beeld, 44
- beeldafstand, 44
- bereik, 13
- bijas, 43
- bijbrandpunt, 43
- bijziendheid, 45
- binair, 12
- binair stelsel, 14
- Binas, 8
- bindingsenergie, 55
- bit, 15
- blaasinstrument, 40
- blinde vlek, 45
- bloeddruk, 33
- Bohr, 48
- boventonen, 40
- brandpunt, 43
- brandpuntsafstand, 43
- brandstofstaaf, 56
- brandvlak, 43
- breking, 42
- brekingsindex, 42
- buik, 39
- buiklijn, 39
- buis, 40
- calculator, 8
- camera, 46
- CCD-chip, 46
- Celsius, 32
- chemische energie, 27
- Coach, 7
- coherent, 47
- comparator, 14
- componenten, 24
- conclusie, 8
- condensator, 16
- condenseren, 33
- constructie, 44
- constructieve interferentie, 39
- continu spectrum, 47
- convergent, 41
- coördinatentransformatie, 7
- Coulomb, 15
- decimaal stelsel, 14
- deeltjesmodel, 46
- destructieve interferentie, 39
- diafragma, 46
- diagram, 6
- diaprojector, 45
- diastolisch, 33
- diffuse reflectie, 41
- digitaal, 12
- diktemeting, 54
- diode, 11
- discussie, 8
- dispersie, 42
- divergent, 41
- dosis, 53
- dosisequivalent, 53
- draaggolf, 46
- draaipunt, 25
- draaispoelmeter, 19
- dracht, 52
- dradenkamer, 53
- druk, 33
- drukschakelaar, 13
- dynamica, 22
- dynamo, 20
- ECN, 57
- eenheid, 5
- eenparig, 22
- eenparig versneld, 23
- eenparige cirkelbeweging, 29
- effectieve spanning, 20
- eigenfrequentie, 38
- eigentrilling, 38
- Einstein, 54
- elektrisch veld, 15
- elektrisch vermogen, 11
- elektrische energie, 16
- elektrische lading, 15
- elektrische spanning, 16
- elektrische veldsterkte, 16
- elektro-cardiogram, 36
- elektromagneet, 18
- elektromagnetisch inductie, 19
- elektromagnetische kracht, 50
- elektromagnetische straling, 46

elektromotor, 19
 elektron, 15
 elektronenmicroscop, 49
 elektronenstraalbuis, 17
 elektroscop, 15
 elementaire deeltjes, 50
 elementaire ladingsquantum, 15
 emissiespectrum, 47
 energie, 27
 energiebalans, 28
 EN-poort, 13
 evenwicht, 24
 Excel, 7
 experimentele natuurkunde, 5
 extrapoleren, 7
 fase, 32, 36
 faseverschil, 37
 ferromagnetisme, 17
 flux, 19
 foto-elektrisch effect, 48
 frequentie, 36
 gammastraling, 47
 gasdruk, 33
 gasfase, 32
 gasontladingsbuis, 47
 gedempte trilling, 36
 gedwongen trilling, 38
 geheugencel, 14
 gehoordrempel, 39
 gehoorgrens, 39
 Geiger-Müllerteller, 53
 geïoniseerde toestand, 48
 gele vlek, 45
 geleider, 15
 geleiders, 9
 gelijkstroomdynamo, 20
 geluidsbron, 39
 geluidsdruk niveau, 39
 geluidssensor, 13
 generator, 20
 gereduceerde fase, 37
 gevoeligheid, 13
 gewicht, 25
 gezichtshoek, 45
 GM-teller, 53
 golflengte, 38
 golfmechanica, 49
 golfmodel, 46
 golfsnelheid, 38
 golven, 38
 grafiek, 6
 gravitatiekracht, 30
 gravitatiewet, 30
 grenshoek, 42
 groep, 11
 grondtoestand, 48
 grondtoon, 40
 grootheid, 5
 halfwaardetijd, 51
 hallsensor, 19
 halogeenlamp, 47
 halveringstijd, 51
 harmonisch, 37
 harmonischen, 40
 Hertz, 36
 hoeksnelheid, 30
 homogeen veld, 16
 hoofdas, 43
 hoofdstroom, 9
 hoornvlies, 45
 horizontale worp, 29
 hypothese, 8
 ideaal gas, 33
 ideale gas, 33
 ijkgrafiek, 12
 inductie, 19
 inductiespanning, 19
 inductiestroom, 20
 influentie, 15
 infraroodstraling, 47
 interferentie, 39
 intermoleculaire ruimte, 32
 interpoleren, 7
 invertor, 13
 ion, 15
 ionisatie-energie, 48
 ioniserend vermogen, 52
 ioniserende straling, 49
 isobaren, 33
 isolator, 15
 isolatoren, 9
 isotoop, 50
 kathode, 16
 kathodestraalbuis, 17
 Kelvin, 32
 Kepler, 31
 kerncentrale, 56
 kerndeeltjes, 50
 kernwapens, 56
 kettingreactie, 56
 Kilowattuur, 11
 kinematica, 22
 kinetische energie, 27
 kleurschifting, 42
 knoop, 39
 knoopplijn, 39
 kookpunt, 33
 kop-staartmethode, 24
 kracht, 24
 krachtmeter, 24
 kringproces, 34
 kringsspieren, 45
 kromtestraal, 43
 K-vangst, 51
 kwalitatief, 6
 kwantitatief, 6
 kWh, 11
 ladingsdragers, 9
 ladingsgetal, 50
 laser, 47
 lasergun, 22
 lastransformator, 21
 LDR, 11
 LED, 11
 lens, 42
 lensformule, 44

lenssterkte, 44
 lichtbreking, 42
 lichtbundel, 41
 lichtstraal, 41
 lijnenspectrum, 47
 lineaire vergroting, 44
 lineariteit, 13
 linkerhandregel, 18
 loep, 45
 logische poort, 14
 longitudinaal, 38
 lopende golf, 38
 Lorentzkracht, 18
 luchtweerstand, 26
 magneet, 17
 magnetisch veld, 17
 magnetische flux, 19
 magnetische inductie, 17
 magnetische influentie, 17
 magnetische veldlijnen, 17
 magnetische veldsterkte, 17
 magnetronstraling, 47
 massa, 24
 massagetal, 50
 massa-veersysteem, 37
 materialen en methoden, 8
 mechanica, 22
 medium, 39
 meeflux, 20
 meetonzekerheid, 5
 meetsysteem, 12
 meterkast, 11
 microfoon, 36
 middelpuntzoekende kracht, 30
 middelpuntzoekende versnelling, 30
 millimeter-kwik, 33
 model, 7
 moderator, 56
 molecuul, 32
 moment, 25
 momentenwet, 25
 monochromatisch, 46
 nabijheidspunt, 45
 Natrium, 47
 natuurkundeuitgelegd.nl, 4
 natuurwetenschappen, 5
 nauwkeurigheid, 13
 netspanning, 20
 nettokracht, 24
 netvlies, 45
 neutron, 50
 noordpool, 17
 normaal, 41
 normaalkracht, 25
 NTC, 11
 nucleonen, 50
 numeriek, 7
 OF-poort, 13
 Ohmse weerstand, 9
 omloopsfrequentie, 29
 omloopstijd, 29
 onafhankelijke variabele, 6
 ooglens, 45
 oppervlaktemethode, 23
 optisch midden, 43
 opwerkingsfabriek, 56
 orde van grootte, 5
 oscilloscoop, 36
 oudziendheid, 45
 parabool, 29
 parallel, 41
 parallelogrammethode, 24
 Pascal, 33
 periode, 36
 pixels, 46
 Planck, 48
 Planckkromme, 47
 plutonium, 56
 potentiële energie, 27
 primaire spoel, 21
 prisma, 42
 proton, 15, 50
 puls, 13
 pulsgenerator, 13
 pulsteller, 14
 pupil, 45
 quantummechanica, 49
 quark, 50
 raaklijnmethode, 23
 radar, 22
 radiaal veld, 16
 radialen, 29
 radioactiviteit, 50
 radiostraling, 46
 radiotherapie, 54
 rechterhandregel, 17
 rechtevenredig, 7
 regelstaven, 56
 regelsysteem, 12
 regenboog, 42
 rekenmachine, 8
 relais, 13
 relatieve snelheid, 22
 relativiteitstheorie, 54
 remspanning, 48
 rendement, 11, 28
 resolutie, 15
 resultante, 24
 resultaten, 8
 rijpen, 33
 rolweerstand, 26
 röntgenfoto, 54
 röntgenstraling, 47, 49
 Rutherford, 48
 schakeling, 10
 scheidingstransformator, 21
 schema, 10
 scherptediepte, 45
 schuifwrijving, 26
 secundaire spoel, 21
 seismogram, 36
 sensor, 12
 SI (Système International), 5
 signaal, 12
 significante cijfers, 6
 slinger, 37

sluit, 46
 smelten, 33
 smeltpunt, 33
 smeltzekering, 11
 snaar, 40
 snaarinstrumenten, 40
 somkracht, 24
 soortelijke warmte, 35
 soortelijke weerstand, 10
 spanning, 9
 spanningsbron, 9
 spanningsdeler, 10
 spectraalanalyse, 47
 spectroscopie, 40
 spectrum, 39
 spiegelbeeld, 42
 spiegelreflexcamera, 46
 spiegelwet, 41
 splijtstofcyclus, 56
 staande golf, 40
 standaarddruk, 33
 standaardmodel, 50
 standaardnotatie, 5
 stapgrootte, 15
 statica, 22
 sterke wisselwerking, 50
 stollen, 33
 stopcontact, 20
 stroboscoop, 22
 stroom, 9
 stroomkring, 9
 stroomspoel, 18
 stroomsterkte, 9
 stuursysteem, 12
 sublimeren, 33
 symbool, 5
 systeembord, 12
 systematische fouten, 6
 systolisch, 33
 tabel, 6
 tegenflux, 20
 Temperatuur, 32
 theoretische natuurkunde, 5
 tijdbasis, 36
 toestand, 34
 toestandsverandering, 34
 toevallige fouten, 5
 totale terugkaatsing, 42
 traagheid, 26
 tracer, 54
 tralie, 39
 tralieconstante, 39
 transformator, 21
 transversaal, 38
 trilling, 36
 trillingsenergie, 38
 trillingstijd, 36
 uittree-energie, 48
 uitwijking, 36
 ultra-centrifuge, 56
 ultrasone plaatssensor, 22
 ultraviolet, 47
 uranium, 55
 valversnelling, 23
 vanderwaalskracht, 32
 vaste fase, 32
 vectorgrootte, 24
 veerconstante, 28
 veerenergie, 27
 veerunster, 24
 veldlijnen, 16
 verdampen, 33
 vergroting, 44
 vermenigvuldigingsfactor, 55
 vermogen, 28
 verplaatsing, 22
 verrijken, 56
 verslag, 7
 vertepunt, 45
 vervallen, 51
 vervangingsweerstand, 10
 verziendheid, 45
 videomaten, 22
 virtuele beeld, 44
 vloeistof, 32
 voortplantingsnelheid, 38
 voorvoegsels, 5
 voorwerpsafstand, 44
 vrije val, 23
 waarheidstabel, 14
 warmte, 34
 warmtecapaciteit, 35
 warmte-evenwicht, 35
 warmtegeleiding, 35
 warmte-isolatie, 35
 warmtestraling, 35
 warmtestroming, 35
 weegfactor, 53
 weerstand, 9
 wet van behoud van energie, 28
 wet van Boyle, 34
 wet van Coulomb, 15
 wet van Gay-Lussac, 34
 wet van Lenz, 20
 wet van Ohm, 9
 wet van Snellius, 42
 wetenschappelijk artikel, 7
 wetenschappelijke notatie, 5
 wetten van Newton, 25, 26
 wisselspanning, 11, 20
 wisselstroom, 20
 wrijving, 26
 X-rays, 49
 zekering, 11
 zelfinductie, 20
 zelfinductiespanning, 20
 zuidpool, 17
 zuiver toon, 39
 zwaarte-energie, 27
 zwaartekracht, 25, 30
 zwaartepunt, 25
 zwakke wisselwerking, 50
 α -straling, 49
 α -verval, 51
 β^+ -verval, 51
 β -straling, 49

β -verval, 51
 γ -foton, 51, 55

γ -straling, 49
 γ -verval, 51

