Natuurkunde in het kort

Natuurkundeuitgelegd.nl | Erik van Munster

VWO 2026

Overzicht Centraal Examen VWO 2026

Algemeen (domein A)

- ☐ 1 Grootheden & eenheden
- ☐ 2 Werken met formules
- ☐ 3 Binas & rekenmachine
- ☐ 4 Significantie & meetonzekerheid
- ☐ 5 Schatting en orde van grootte
- ☐ 6 Grafieken & tabellen
- ☐ 7 Verbanden
- ☐ 8 Modelleren

Kracht & Beweging (domein C1)

- ☐ 9 Bewegingsdiagrammen
- ☐ 10 Eenparig & versneld
- ☐ 11 Raaklijn & oppervlak
- ☐ 12 Krachtsoorten
- ☐ 13 Krachtvectoren & evenwicht
- ☐ 14 Ontbinden
- ☐ 15 Wrijving
- ☐ 16 Wetten van Newton

Energie & Arbeid (domein C2)

- ☐ 17 Energiesoorten
- ☐ 18 Wet van behoud van energie
- ☐ 19 Arbeid
- ☐ 20 Vermogen
- ☐ 21 Rendement
- ☐ 22 Stookwaarde

Gravitatie & Cirkelbeweging (domein C3)

- ☐ 23 Cirkelbeweging
- ☐ 24 Middelpuntzoekende kracht
- ☐ 25 Gravitatiekracht
- ☐ 26 Planeet- en satellietbanen
- ☐ 27 Gravitatie-energie

Trillingen & Golven (domein B1)

- ☐ 28 Trillingen
- ☐ 29 Fase & gereduceerde fase
- ☐ 30 Harmonische trilling
- ☐ 31 Trillingsenergie
- ☐ 32 Resonantie & eigentrilling
- ☐ 33 Golven
- ☐ 34 Geluid
- ☐ 35 Interferentie
- ☐ 36 Staande golven

Ioniserende straling & Beeldvorming (domein B2)

- ☐ 37 Ioniserende straling
- ☐ 38 Halveringsdikte, röntgen & CAT
- ☐ 39 Atoomkernen
- ☐ 40 Radioactief verval
- ☐ 41 Activiteit & halvering
- ☐ 42 Schadelijkheid
- ☐ 43 Echografie & MRI
- ☐ 44 PET & radiotherapie

Elektrische Schakelingen (domein D1)

- ☐ 45 Stroom & elektrische lading
- ☐ 46 Spanningsbronnen en spanning
- ☐ 47 Wet van Ohm & weerstand
- ☐ 48 Serie- en parallelschakelingen
- ☐ 49 Soortelijke weerstand
- ☐ 50 Elektrisch vermogen
- ☐ 51 Bijzondere weerstanden
- ☐ 52 Huisinstallatie

Elektromagnetisme (domein D2)

- ☐ 53 Lading & wet van Coulomb
- ☐ 54 Elektrische velden
- ☐ 55 Spanning & energie
- ☐ 56 Magnetische velden
- ☐ 57 Rechterhandregel
- ☐ 58 Lorentzkracht
- ☐ 59 Flux & inductie

Spectra & Sterren (domein E2)

- ☐ 60 Elektromagnetisch spectrum
- ☐ 61 Planckkrommen & wet van Wien
- ☐ 62 Kwadratenwet & Stefan-Boltzmann
- ☐ 63 Spectraallijnen
- ☐ 64 Dopplereffect
- ☐ 65 Kernfusie & massadefect
- ☐ 66 Hertzsprung-Russeldiagram

Quantumfysica (domein F1)

- ☐ 67 Buigingsverschijnselen
- ☐ 68 Brogliegolven
- ☐ 69 Energieniveaus
- ☐ 70 Energieput
- ☐ 71 Uitsluitingsprincipe van Pauli
- ☐ 72 Bandenstructuur
- ☐ 73 Waterstofatoom
- ☐ 74 Tunneleffect
- ☐ 75 Onzekerheidsrelatie

SCAN ME

Datum PDF May 08 2026 16:38:16.

De meest recente versie is gratis te downloaden op natuurkundeuitgelegd.nl/SamenvattingVWO.pdf

Uitwerkingen voorbeeldopgaven
Alfabetische index

1 Grootheden & eenheden

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 (een hoofdletter, kleine letter of griekse letter). In het Système International (SI) bestaan 7 basiseenheden of grondeenheden (BINAS tabel 3A):

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

Afgeleide eenheden (BINAS tabel 4) zijn samengesteld uit de basiseenheden. Met een formule kan herleid worden welke eenheid bij welke grootheid hoort. Sommige afgeleide eenheden hebben een aparte naam gekregen. $kg \cdot m \cdot s^{-2}$ wordt bijvoorbeeld Newton (N) genoemd. Ook in eenheden kunnen positieve of negatieve exponenten voorkomen bv $m \cdot s^{-2}$ (=meter per seconde kwadraat).

Eenheden worden soms vooraf gegaan door een voorvoegsel (milli, kilo, giga etc..).

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
GroothedenEenheden

Voorbeeld
uit: vwo 2011-2 opg. 1
Wrijvingsweerstand onder water is evenredig met het kwadraat van de snelheid. Hiervoor geldt onderstaande formule. Leid af wat de eenheid is van de constante k.

$F_w = k \cdot v^2$.

> Uitwerkingen

2 Werken met formules

Een formule is een wiskundige uitdrukking die aangeeft hoe grootheden van elkaar afhangen. In BINAS tabel 35 staan alle formules voor het CE. Daarnaast worden er vaak in examenopgaven nieuwe formules geïntroduceerd die je bij die opgave nodig hebt.

Door het omschrijven kan een formule in zo'n vorm gezet worden dat elke grootheid die in de formule voorkomt kan worden uitgerekend. Bijvoorbeeld:

$E_z = m \cdot g \cdot h$

E_z = zwaarte-energie (J)
m = massa (kg)
g = 9,81 m/s^2 (op aarde)
h = hoogte (m)

Door de formule om te schrijven volgen de formules m = ..., E_z = ..., en g = ...

Formules kun je ook afleiden uit andere bestaande formules. Dit kan bv door

- Gelijkstellen van twee formules. Bijvoorbeeld: Voor een geladen deeltje in een magneetveld geldt dat de middelpuntzoekende kracht gelijk is aan de lorentzkracht:

  $F_{mpz} = F_L$

  $m \cdot v^2 / r = B \cdot q \cdot v$

- Vervangen van een symbool in een formule door een uitdrukking uit een andere formule. Bijvoorbeeld: Voor de golflengte bij een bepaalde frequentie en golfsnelheid geldt λ=v/f. Als we dit invullen in de formule voor een staande golf in een snaar vinden we een nieuwe formule

  $L = ½n \cdot \lambda$

  $L = ½n \cdot (v/f)$

Voorbeeld
Hieronder staan de formule voor elektrisch vermogen (P) en de wet van Ohm. Leid hiermee een formule af om het elektrisch vermogen te kunnen berekenen met U en R.

$P = U \cdot I$

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

$U = I \cdot R$

U = spanning (V)
I = stroomsterkte (A)
R = weerstand (Ω)

> Uitwerkingen

3 Binas & rekenmachine

Om het VWO-examen natuurkunde te kunnen maken heb je (naast pen, potlood en geodriehoek) een rekenmachine en een Binas (of ScienceData) nodig.

De rekenmachine moet beschikking hebben over wetenschappelijke notatie, goniometische functies (sin, cos, tan) en logaritmen (log en ln). Een grafische rekenmachine is niet toegestaan bij natuurkunde.

Alleen de 6e editie van Binas is toegestaan. Om iets te kunnen opzoeken staat voorin een inhoudsopgave en achterin een alfabetische index. Voor natuurkunde zijn het roze (algemeen) en het blauwe (natuurkunde) gedeelte het belangrijkst. Ook alle formules die je moet kennen staan in Binas.

Voorbeeld

Reken uit met je rekenmachine:

$\sin 37° / 8{,}7 \cdot 10^{-3} = \ldots$

> Uitwerkingen

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:

Binas

4 Significantie & meetonzekerheid

Elke gegeven grootheid bevat afwijkingen of meetfouten:

- Meetonzekerheid zijn afwijkingen door beperkte nauwkeurigheid. Bij ALLE metingen en alle getallen uit een berekening hiermee is er meetonzekerheid (toevallige fouten)
- Systematische fouten zijn fouten door foute ijking of verkeerd gebruik.

Bij opgaven wordt (tenzij anders vermeld) ervan uitgegaan dat er alleen meetonzekerheid is. Er zijn 3 manieren om de onzekerheid in een getal weer te geven:

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

Het aantal significante cijfers is het aantal cijfers in een getal waarbij de nullen links niet meetellen. Een eindantwoord wordt altijd afgerond op kleinste aantal significante cijfers van de gebruikte gegevens. Bij optellen en aftrekken geldt: Het resultaat wordt afgerond op het kleinste aantal cijfers achter de komma van de gebruikte gegevens (gegevens moeten in dezelfde eenheid en macht van 10 staan).

Wetenschappelijke notatie is een getal gevolgd door een macht van 10. Bijvoorbeeld: $2{,}34 \cdot 10^2$ 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. In de standaardnotatie heeft het getal voor de macht van 10 één cijfer voor de komma ongelijk aan 0.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:

- MeetonzekerheidSignificantie
- Afronden
- AfrondenOptellenAftrekken

Voorbeeld

Op een kabel met een beginlengte van 12,0 m wordt een kracht wordt uitgeoefend waardoor de kabel 17 mm uitrekt. Bereken de lengte van de uitgerekte kabel.

> Uitwerkingen

5 Schatting en orde van grootte

Soms wordt in examenopgaven geen getal gegeven maar moet je dit schatten. Bv de grootte van een voorwerp op een foto of de gemiddelde waarde van een grootheid uit een grafiek. Eindantwoord is dan ook niet exact maar een schatting waarbij meestal alleen orde van grootte moet kloppen.

Twee getallen heten van dezelfde orde van grootte als ze niet meer dan een factor 10 schelen. Twee getallen die in standaardnotatie met dezelfde macht van tien worden geschreven zijn van dezelfde orde van grootte. $7{,}0 \cdot 10^{-5}$ en $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ zijn bv van dezelfde orde van grootte.

IJken is het juist instellen van een meetinstrument aan de hand van een meting van een vooraf nauwkeurig bekende grootheid. Bv het ijken van een weegschaal met een standaardkilogram.

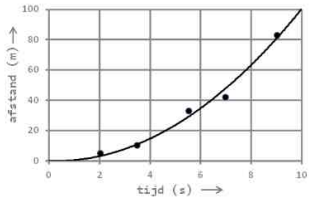
Voorbeeld

Hoeveel weegt een giraf? Maak een schatting waarbij je op een massa van de juiste orde van grootte uitkomt.

> Uitwerkingen

6 Grafieken & tabellen

t(s)	x(m)
2,0	5
3,5	10
5,5	33
7,0	42
9,0	83



Een tabel is een manier om getallen te ordenen om te zien hoe grootheden met elkaar samenhangen. Grootheid en de eenheid staan in de kop boven elke kolom. Bij meetresultaten staat in de linkerkolom de onafhankelijke variabele (de variabele die zelf gekozen wordt).

Een diagram is een grafische weergave met:

- Astitels met de grootheid en eenheid
- Een schaalverdeling. Meestal met 0 linksonder en regelmatig oplopende de getallen maar de as kan ook een scheurlijn hebben of logaritmisch zijn.
- Een roosterachtergrond (ruitjes) voor makkelijk aflezen.

In een diagram staan meetpunten en/of een grafiek. Een grafiek is een getrokken lijn die bij de meetpunten past. De grafiek hoeft niet precies door de meetpunten te lopen. Een diagram kan meerdere grafieken bevatten.

Interpoleren is bepalen van een waarde tussen twee meetpunten. Extrapoleren is het bepalen van een waarde die buiten de reeks meetpunten ligt.

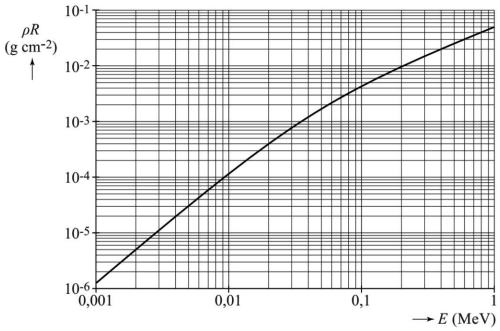
Het hellingsgetal of de helling van een grafiek is de verhouding tussen de verandering van de grootheid op de y-as en de x-as op een punt (Δy/Δx). Hoe steiler de grafiek loopt hoe groter het hellingsgetal. Het hellingspercentage is het hellingsgetal uitgedrukt in een percentage (bv 40% i.p.v. 0,40).

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ GrafiekenTabellen

Voorbeeld

uit: vwo 2018-2 opg. 3

In de grafiek staat horizontaal de energie van een deeltje (E) en verticaal het product van de dichtheid en de dracht (ρR). Lees uit de grafiek af wat de waarde van ρR is bij een energie van 0,018 MeV.



> Uitwerkingen

7 Verbanden

Een verband geeft aan hoe de ene grootheid van de andere grootheid afhangt. Twee grootheden, A en B, zijn recht evenredig als geldt: als A n keer zo groot wordt, wordt ook B n keer zo groot. De meest voorkomende verbanden:

Recht evenredig: $B = c \cdot A$
Omgekeerd evenredig: $B = c \cdot A^{-1}$
Kwadratisch: $B = c \cdot A^2$
Omgekeerd kwadratisch: $B = c \cdot A^{-2}$
Wortelverband: $B = c \cdot \sqrt{A}$

B = grootheid op de y-as
A = grootheid op de x-as
c = constante

De constante wordt de evenredigheidsconstante genoemd. Verbanden kunnen herkend worden aan de hand van

- Vorm van de formule
- Vorm van de grafiek

Een grafiek van een recht evenredig verband is een rechte lijn door (0,0). De evenredigheidsconstante is gelijk aan het hellingsgetal van de grafiek. Met behulp van een coördinatentransformatie kunnen andere soorten verbanden omgezet worden in een recht evenredig verband. Als bijvoorbeeld een omgekeerd kwadratisch verband vermoed wordt, wordt een grafiek gemaakt met horizontaal $(1/A^2)$ en verticaal B.

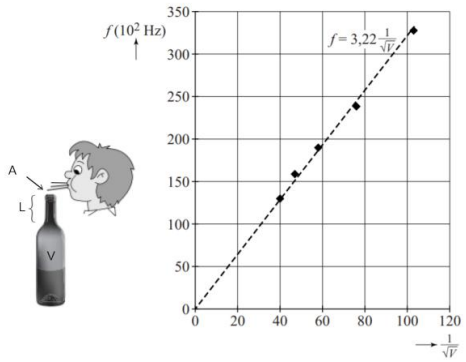
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Verbanden
ToepassenVerbanden

Voorbeeld
uit: vwo 2016-2 opg. 1

Wanneer je over de opening van een flessenhals blaast klinkt een toon van een bepaalde frequentie (f). Deze frequentie hangt af van de geluidsselheid (v), de lengte van de flessenhals (L), het oppervlak van de opening (A) en het volume in de fles (V) volgens onderstaande formule. Bij een fles met een flessenhals van 0,070 m en een opening van $2{,}54 \cdot 10^{-4}$ m^2 is bij verschillende volumes de frequentie gemeten. Op resultaten is een coordinatentransformatie toegepast: In de grafiek staat horizontaal niet V maar $1/\sqrt{V}$. De formule in de grafiek is de vergelijking van een rechte lijn die bij de meetpunten past. Bepaal uit de meetresultaten de geluidssnelheid v.

$f = v/2\pi \cdot \sqrt{(A / (V \cdot L))}$

f = frequentie (Hz)
v = geluidssnelheid (ms^{-1})
A = oppervlak opening (m^2)
V = volume fles (m^3)
L = lengte flessenhals (m)



> Uitwerkingen

8 Modelleren

1	F=....	startwaarden
2	a=F/m	x = 0
3	dv=a*dt	v = 0
4	v=v+dv	dt = 0,1
5	ds=v*dt	m = 5,0
6	s=s+ds	
7	t=t+dt	

Bij een rekenmodel worden berekeningen opgedeeld in kleine rekenstapjes. Bij elk stapje worden de grootheden die veranderen aangepast waarna de rekencyclus opnieuw begint. Dit wordt ook wel modelleren 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. De waarden van de grootheden waar het model mee moet beginnen heten startwaarden en moeten apart gegeven worden.

In het CE worden over modelleren alleen theoretische vragen gesteld en hoef je niet te programmeren. Toch leer je modelleren het best door het te doen: Op natuurkundeuitgelegd.nl/modelleren vind je een modelleeromgeving met oefeningen en voorbeelden waar je gratis online kunt werken met modellen.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:

- Modelleren
- Bewegingsmodel

Voorbeeld

Hieronder staan de modelregels voor vallend voorwerp met luchtwrijving. Wat moet er komen te staan op...

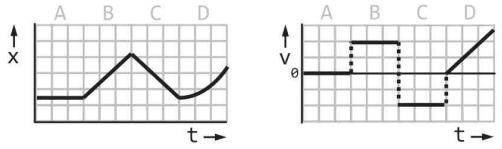
a) Het stippellijntje in de 5e regel?
b) De stopconditie in de laatste regel?

Modelregels:
1: Fw = k*v^2
2: Fres = m*9,81-Fw
3: a = Fres/m
4: v = v + a*dt
5: y = ...
6: ALS (...) dan STOP
7: t = t + dt

Startwaarden:
m = 5,0
k = 0,1
y = 100
v = 0
t = 0
dt = 0,1

> Uitwerkingen

9 Bewegingsdiagrammen



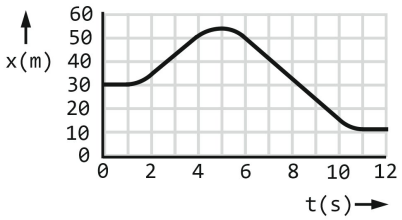
Beweging kan o.a. gemeten worden met (ultrasone) afstandssensor of een stroboscoop (lichtflitsen met vaste frequentie). In een x,t-diagram of plaatsdiagram staat verticaal positie (x) en horizontaal tijd (t). De verplaatsing (Δx) is het verschil in positie tussen twee tijdstippen. Afgelegde weg is de afstand die afgelegd is tussen deze twee posities (symbool s). De snelheid (v) kan afgeleid worden uit een x,t-diagram (zie fig. hierboven):

Horizontale lijn: v=0 (A)
Stijgende lijn: v = constant (B)
Dalende lijn: v = -constant (C)
Kromme lijn: v niet constant (D)

De steilheid (hellingsgetal) van de lijn is een maat voor de grootte van v. In een v,t-diagram of snelheidsdiagram staat verticaal snelheid (v) en horizontaal tijd (t). Een constante v is een horizontale lijn. Een schuine lijn duidt op een verandering van snelheid. (Omhoog = versnelling, omlaag = vertraging). De steilheid van de lijn (hellingsgetal) is een maat voor de grootte van van de versnelling (a).

Voorbeeld

Hieronder staat de x,t-grafiek van een auto. In de grafiek zijn een aantal periodes te zien waarop de beweging eenparig is. Bepaal op welk van deze periodes de snelheid het grootst is en bepaal de grootte van de snelheid.



> Uitwerkingen

10 Eenparig & versneld

Voor de gemiddelde snelheid tussen twee tijdstippen geldt:

$v_{gem} = \Delta x/\Delta t$

v_{gem} = gemiddelde snelheid (m/s)
Δx = verplaatsing (m)
Δt = tijdsduur (s)

Een eenparige beweging is een beweging waarbij v constant is. De berekende v_{gem} geldt dan voor elk tijdstip. Eenparige beweging is herkenbaar als een rechte (schuine) lijn in een x,t-diagram en een horizontale lijn in een v,t-diagram.

Bij een eenparige versnelde beweging neemt v met een constante hoeveelheid toe- of af. Hoeveel v per seconde veranderd heet de versnelling (a). Eenparige versnelde beweging is herkenbaar als een rechte (schuine) lijn in een v,t-diagram. Versnelling kan bepaald worden uit de steilheid (hellingsgetal) van een v,t-grafiek of met de formule:

$a = \Delta v / \Delta t$

a = versnelling (m/s^2)
Δv = snelheidsverandering (m/s)
Δt = tijdsduur (s)

Afgelegde weg kan bepaald worden door eerst $v_{gemiddelde}$ te berekenen uit de v_{begin} en v_{eind}. Vallen is (bij verwaarlozing van wrijving) een eenparig versnelde beweging met een valversnelling van g = -9,81 ms^{-2} (vrije val).

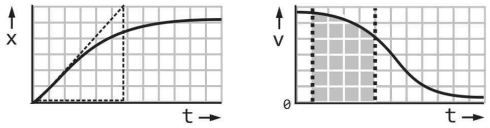
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- EenparigeBeweging
- VersneldeBeweging

Voorbeeld

Een auto versnelt vanuit stilstand eenparig met een versnelling van 1,9 ms^{-2}. Bereken de afstand die de auto na 5,0 s heeft afgelegd.

> Uitwerkingen

11 Raaklijn & oppervlak



Met een raaklijn kan het hellingsgetal bepaald worden van een krom lopende grafiek. Toepassingen zijn o.a het bepalen van v op een bepaalde t uit een x,t-diagram of het bepalen van a op een bepaalde t uit een v,t-diagram:

- Trek een rechte lijn met dezelfde helling als de grafiek. Trek deze door tot de rand van het diagram
- Maak een rechthoekige driehoek met de raaklijn als schuine zijde.
- Lees de lengtes van de horizontale en de vertikale zijden van de driehoek af (Δx, Δy)
- Bereken het hellingsgetal (Δy/Δx)

Met de oppervlaktemethode of hokjesmethode kan o.a. de afgelegde weg of de verplaatsing uit een v,t-diagram bepaald worden.

- Bepaal met x=v·t de afstand van één hokje van de roosterachtergrond van het diagram.
- Trek met een geodriehoek een verticale lijn tussen de tijdstippen waartussen je de verplaatsing wil weten
- Tel of schat het aantal hokjes in het oppervlak begrenst door de twee lijnen, de x-as en de grafiek.
- Vermenigvuldig het aantal met de afstand per hokje.

(Oppervlak ónder de x-as betekent een verplaatsing achteruit)

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:

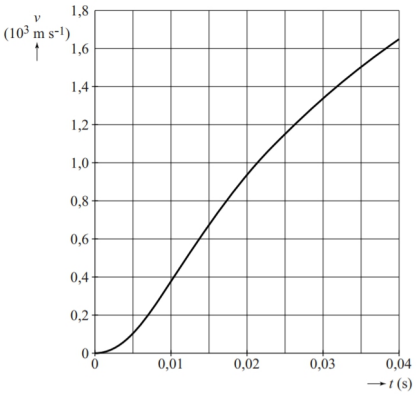
Raaklijnmethode

Hokjesmethode

Voorbeeld

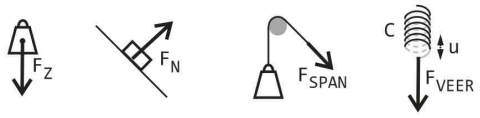
uit: vwo 2019-2 opg. 1

In een groot kanon met een extreem lange loop wordt een granaat afgeschoten. In de grafiek staat de snelheid die de granaat binnen in de loop heeft. Op t= 0 s wordt de granaat afgeschoten, op t = 0,04 s verlaat de granaat de loop. Bepaal uit de grafiek de lengte van de loop.



> Uitwerkingen

12 Krachtsoorten



Zwaartekracht is op aarde altijd recht naar beneden gericht en heeft als aangrijpingspunt het zwaartepunt van het voorwerp. Gewicht is de kracht die door een voorwerp op een ander voorwerp wordt uitgeoefent als gevolg van de zwaartekracht. Voor de grootte geldt

$F_z = m \cdot g$

F_z = zwaartekracht (N)
m = massa (kg)
g = 9,81 m/s^2 (op aarde)

Normaalkracht is de kracht die een oppervlak op een voorwerp uitoefent als reactie op de kracht die dat voorwerp op het oppervlak uitoefent. Normaalkracht staat altijd loodrecht op het oppervlak.

Spankracht is de kracht die in een strak gespannen touw heerst. Als het touw ergens aan vast zit wordt op dit voorwerp de spankracht die in het touw heerst uitgeoefent in de richting van het touw.

Veerkracht is de kracht die via een veer wordt uitgeoefent. Voor de grootte geldt

$F_v = C \cdot u$

F_v = veerkracht (N)
C = veerconstante (Nm^{-1})
u =uitrekking (m)

De veerconstante is de kracht die nodig is voor een uitrekking van 1 m en is een maat voor de stugheid van een veer.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ Krachtsoorten

Voorbeeld
Bereken de grootte van de kracht:

a) De zwaartekracht op een tas van 3,0 kg.
b) De normaalkracht op een boek van 125 g dat op tafel ligt.
c) De kracht die nodig is om een veer (C = 45 Nm^{-1}) 3,0 cm uit te rekken.
d) De spankracht in een strakgespannen touw waaraan tijdens een touwtrekwedstrijd aan beide kanten met een kracht van 800 N getrokken wordt.

> Uitwerkingen

13 Krachtvectoren & evenwicht

Kracht is iets wat ergens tegenaan duwt of aan trekt. Kracht is een vector (aangeduid met een pijl in een tekening en een streepje of pijltje boven het symbool) met naast een grootte (eenheid N) ook een richting en een aangrijpingspunt. De grootte kan gemeten worden met een krachtmeter of veerunster. Bij het optellen moet rekening gehouden worden met de richting:

Zelfde richting: $F_1 + F_2$
Tegengesteld: $F_1 - F_2$
Loodrecht: $\sqrt{(F_1^2 + F_2^2)}$

In een tekening is de lengte van de pijl een maat voor de grootte van de kracht. Optellen kan met de kopstaartmethode of paralellogrammethode.

Resulterende kracht, ook wel nettokracht of somkracht genoemd, is de optelsom van alle krachten die op een voorwerp werken:

$F_{res} = \Sigma F_i$

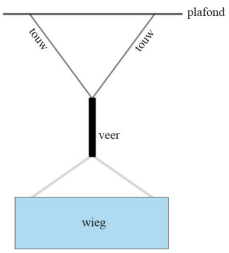
F_{res} = somkracht (N)
$F_{1,2,3...}$ = deelkrachten (N)

Evenwicht is de situatie waarin $F_{res} = 0$ N.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Krachten

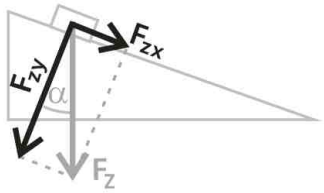
Voorbeeld
uit: havo 2016-2 opg. 2

Een wieg met een massa van 12,2 kg hangt via een veer aan twee touwen aan het plafond. Bepaal met een constructietekening de grootte van de spankracht in de touwen.



> Uitwerkingen

14 Ontbinden



Ontbinden is een manier om een kracht in onderling loodrechte krachtcomponenten op te delen, meestal aangeduid met $F_{...x}$ en $F_{...y}$. Door één of meer krachten te ontbinden ontstaat er een stelsel van krachten dat alleen in twee onderling loodrechte richtingen werkt. Ontbinden gaat altijd aan de hand van een tekening waarin de te ontbinden kracht de schuine zijde vormt van een rechthoekige driehoek. De twee componenten zijn de aanliggende en overstaande zijde van de driehoek gezien vanuit hoek α waarbij voor de twee componenten geldt:

$F_A = F \cdot \sin \alpha$
$F_B = F \cdot \cos \alpha$

F = kracht (N)
F_A = ene component (N)
F_B = andere component (N)

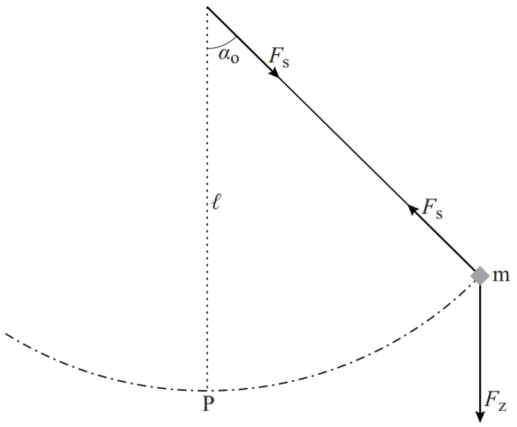
Welke componenten dit zijn is afhankelijk van de situatie en moet steeds bepaald worden door toepassen van de regels voor sinus en cosinus: In het voorbeeld hierboven moet F_{zx} met de sinus berekend worden en F_{zy} met de cosinus.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- Ontbinden
- Helling
- Scheefgetrokkenslinger

Voorbeeld

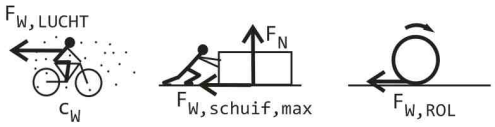
uit: vwo 2015-1 opg. 4

Een massa van 50 g wordt aan een koord heen en weer geslingerd. Tijdens de slingerbeweging werken op de massa twee krachten :F_z recht naar beneden en F_{span} in de richting van het koord waar de massa aan vastzit. In uiterste stand is F_{span} gelijk aan 0,40 N. Bereken de hoek α_0 in de uiterste stand.



> Uitwerkingen

15 Wrijving



Wrijving is de verzamelnaam van krachten die beweging tegengaan als iets in beweging is of wordt gezet:

Luchtwrijving, of luchtweerstand is de wrijving die optreedt ten gevolge van botsingen met moleculen in de stof waarin de beweging plaatsvindt. De grootte hangt o.a. af van de vorm van het voorwerp. De luchtweerstandscoefficiënt (c_W) van verschillende vormen is in BINAS tabel 28A te vinden. Er geldt

$F_{w,l} = ½ \rho C_W A v^2$

$F_{w,l}$ = luchtwrijving (N)
ρ = luchtdichtheid (kg/m^3)
C_W=weerstandscoefficient
A = frontaal oppervlak (m^2)
v = snelheid (m/s)

Schuifwrijving treedt op als een voorwerp over een oppervlak geduwd wordt. Zolang het voorwerp stilstaat geldt $F_s = -F_{duw}$. Als F_{duw} groter wordt dan een bepaald maximum ($F_{s,max}$) komt het voorwerp in beweging. Zolang het voorwerp beweegt blijft F_s gelijk aan $F_{s,max}$. Hiervoor geldt

$F_{w,s,max} = f \cdot F_N$

$F_{w,s,max}$ = max. schuifwrijving (N)
f = schuifwrijvingscoëfficiënt
F_N=normaalkracht (N)

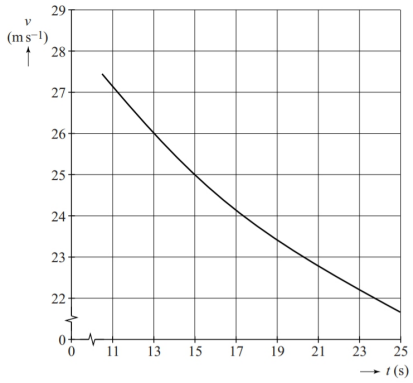
Rolwrijving is de wrijvingskracht die ontstaat als gevolg van het (minieme) indeuken van wielen en banden tijdens het rollen. Rolwrijving is constant en onafhankelijk van de snelheid.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- Luchtwrijving
- Schuifwrijving

Voorbeeld

uit: vwo 2018-1 opg. 1

De bestuurder van een rijdende auto met een massa van 1520 kg drukt het koppelingspedaal in waardoor de motor geen voorwaarste kracht meer levert. De snelheid van de auto neemt hierdoor langzaam af. Bepaal aan de hand van de grafiek hoe groot de wrijvingskracht op de auto is als deze een snelheid van 25 m/s heeft.



> Uitwerkingen

16 Wetten van Newton

De wetten van Newton gaan over het verband tussen kracht en beweging.

De 1e wet van Newton zegt dat de resulterende kracht 0 N is op een voorwerp dat met constante snelheid beweegt of stilstaat. Snelheidsverandering is dus niet mogelijk zonder kracht (traagheid):

$F_{res}=0 \Leftrightarrow v=constant$

F_{res} = nettokracht (N)
v = snelheid (m/s)

De 2e wet van Newton geeft het verband tussen de resulterende kracht en de versnelling als gevolg van een resulterende kracht kracht:

$F_{res} = m \cdot a$

F_{res} = nettokracht (N)
m = massa (kg)
a = versnelling (m/s^2)

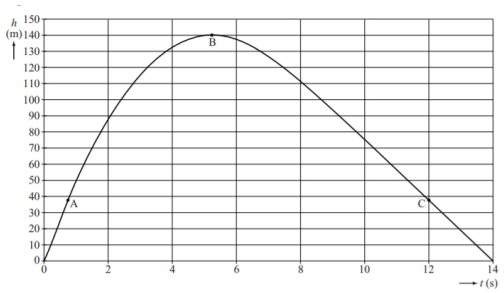
De 3e wet van Newton zegt dat als A een kracht op B uitoefent, B een even grote maar tegengestelde kracht op A uitoefent ("actie is reactie"). Krachten tussen twee voorwerpen komen dus altijd voor in paren:

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

$F_{A \rightarrow B}$ = kracht A op B (N)
$F_{B \rightarrow A}$ = kracht van B op A (N)

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ WettenvanNewton

Voorbeeld
Van een fontein is een rekenmodel gemaakt waarin de hoogte van een waterdruppel tegen de tijd wordt berekend vanaf het moment dat de druppel de fontein verlaat totdat deze weer terug bij het wateroppervlak is. In het model is rekening gehouden met zwaartekracht (F_Z) en wrijvingskracht (F_W). Beredeneer op welke momenten (A,B,C) de resulterende kracht op de druppel 0 N is.



> Uitwerkingen

17 Energiesoorten

Energie is het vermogen om arbeid te kunnen verrichten. Symbool: E, eenheid: Joule (J). Energie kan in verschillende vormen voorkomen.

Kinetische energie (E_k), ook wel bewegingsenergie genoemd, is de energie van bewegende voorwerpen:

$E_k = ½m \cdot v^2$

E_k = kinetische energie (J)
m = massa (kg)
v = snelheid (m/s)

Zwaarte-energie (E_z) is de energie die een massa heeft op een hoogte boven het aardoppervlak:

$E_z = m \cdot g \cdot h$

E_z = zwaarte-energie (J)
m = massa (kg)
g = 9,81 m/s^2 (op aarde)
h = hoogte (m)

Veerenergie (E_v) is de energie in een uitgerekt of ingedrukte veer:

$E_v = ½C \cdot u^2$

E_v = veerenergie (J)
C = veerconstante (N/m)
u =uitrekking (m)

Chemische energie (E_{ch}) is de energie in bv brandstoffen en voedsel. De energie komt vrij bij verbranding.

Ook warmte (symbool: Q) is een vorm van energie.

Opgeslagen energie die makkelijk omgezet kan worden in beweging, zoals bv zwaarte-energie, wordt ook wel potentiële energie genoemd.

Gravitatie-energie staat bij "Gravitatie & Cirkelbeweging".
Elektrische energie staat bij "Elektromagnetisme"

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ Energie

Voorbeeld

Benoem in elk van elk van onderstaande gevallen om welke energiesoort het gaat en bereken de grootte van de energie:

a) Een massa van 2,0 kg wordt 3,0 m omhoog gehesen.
b) Een auto van 2300 kg rijdt met 90 km/h.
c) Een veer (C=30 Nm^{-1}) wordt 4,0 cm uitgerekt.

> Uitwerkingen

18 Wet van behoud van energie

De wet van behoud van energie zegt dat de totale energie in een gesloten systeem altijd gelijk blijft. Er kan nooit energie ontstaan of verdwijnen

$\Sigma E_{voor} = \Sigma E_{na}$

ΣE_{in} = totale beginenergie (J)
ΣE_{uit} = totale eindenergie (J)

Wél kunnen verschillende soorten energie in elkaar worden omgezet. Bv

- Vallen: $E_z \rightarrow E_k$
- Botsen: $E_k \rightarrow$ Warmte
- Bergop fietsen: $E_{ch} \rightarrow E_z$

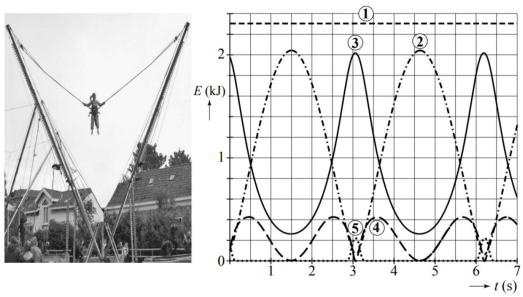
Met een energiebalans (overzicht energiesoorten) van een proces kunnen energieën uitgerekend worden worden. In de praktijk wordt bij elke energieomzetting ook altijd warmte geproduceerd. Warmte is lastig om te zetten in een andere energiesoort en moet in de de praktijk als 'verloren' worden beschouwd.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ WetvanbehoudvanEnergie

Voorbeeld
uit: vwo 2011-1 opg. 4

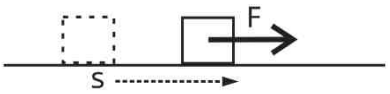
Op bungeetrampoline spring je met een tuigje aan dat verbonden is met twee lange elastieken vastgemaakt aan twee lange palen aan weerzijden van de trampoline. Deze elastieken oefenen steeds een kracht omhoog op je uit tijdens het springen en tijdens het springen varieert zowel de veerenergie in de trampoline als de veerenergie in de elastieken. In de grafiek staat het verloop van onderstaande energiesoorten tijdens het springen. Beredeneer welk nummer bij welke energiesoort hoort.

- Kinetische energie (E_k)
- Zwaarte-energie (E_z)
- Veerenergie elastiek ($E_{v,elastiek}$)
- Veerenergie trampoline ($E_{v,trampoline}$)
- Totale energie (E_{tot})



> Uitwerkingen

19 Arbeid



Arbeid is een maat voor hoeveel 'moeite' iets kost. Arbeid is zelf geen energiesoort maar voor het verrichten van een bepaalde arbeid is energie nodig gelijk aan de hoeveelheid arbeid. Arbeid wordt altijd verricht via een bepaalde kracht.

$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$

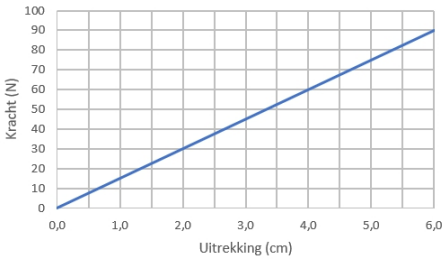
W = arbeid (Nm of J)
F = kracht (N)
s = afgelegde weg (m)
α = hoek tussen F en s

Als de kracht (F) en de verplaatsing (s) dezelfde richting hebben geldt W = F·s. Als de verplaatsing tegengesteld is aan de kracht, zoals bv bij wrijving, wordt W negatief. Dit betekent dat er geen energie nodig is maar vrijkomt. Bij wrijving is dit in de vorm van warmte.

Als de F niet constant is kan W bepaald worden door te rekenen met $F_{gemiddeld}$ of door het oppervlak onder een F,s-grafiek te bepalen.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Arbeid

Voorbeeld
Een veer wordt vanuit de ruststand uitgerekt. In de grafiek staat de kracht die hiervoor moet worden uitgeoefend. Bereken de arbeid die verricht moet worden om de veer 6,0 cm uit te rekken.



> Uitwerkingen

20 Vermogen

Vermogen is de hoeveelheid energie die per seconde wordt omgezet of de arbeid die per seconde geleverd wordt.

$P = E/t$
$P = W/t$

P = vermogen (Js^{-1} of W)
E = energie (J)
W = arbeid (J)
t = tijd (s)

Voor een bewegend voorwerp geldt voor het vermogen dat geleverd wordt door de voorwaartse kracht

$P = F \cdot v$

P = vermogen (Js^{-1} of W)
F = kracht (N)
v = snelheid (ms^{-1})

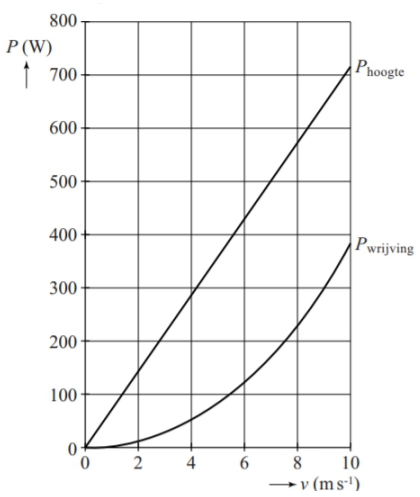
De eenheid Watt (W) is hetzelfde als Js^{-1}.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ Vermogen

Voorbeeld

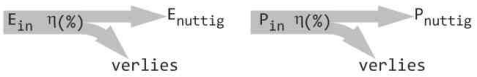
uit: vwo 2014-1 opg. 4

Het vermogen dat een wielrenner moet leveren tijdens een beklimming bestaat uit twee delen: $P_{wrijving}$ is nodig om de wrijvingskracht de overwinnen en P_{hoogte} is nodig om te stijgen. Van een wielrenner zijn beide vermogens bepaald bij verschillende snelheden (zie grafiek). Deze wielrenner kan een maximaal vermogen van 0,60 kW leveren gedurende maximaal 7,5 minuten. Bereken op welke afstand van de top van een berg hij op zijn topvermogen moet beginnen te rijden.



> Uitwerkingen

21 Rendement



Bij het omzetten van de ene energiesoort in de andere wordt nooit alle energie omgezet in de bedoelde energiesoort. Dit wordt uitgedrukt in het begrip rendement

$\eta = E_{nuttig} / E_{in}$
$\eta = P_{nuttig} / P_{in}$

η = rendement
$E_{n.}$ = nuttig gebruikte energie (J)
E_{in} = verbruikte energie (J)
$P_{n.}$ = nuttig vermogen (W)
P_{in} = verbruikt vermogen (W)

Rendement wordt vaak uitgedrukt als percentage (%). De 'verloren' energie wordt meestal omgezet in warmte.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ Rendement

Voorbeeld
Een elektriciteitscentrale met een rendement van 31% levert gedurende een jaar een energie van 6,3 GJ . Bereken hoeveel energie de centrale hierbij heeft verbruikt.

> Uitwerkingen

22 Stookwaarde

Stookwaarde is energie die zit opgeslagen in brandstof per massa- of volumeeenheid. De energie komt vrij bij verbranding. Hierbij geldt

$E_{ch} = r_V \cdot V = r_m \cdot m$

E_{ch} = chemische energie (J)
r_V = stookwaarde in J/m^3
V = volume (m^3)
r_m = stookwaarde in J/kg
m = massa (kg)

r_V en r_m staan in BINAS tabel 28B.

Voorbeeld

Een auto verbruikt tijdens een autorit 87 MJ aan energie. Bereken hoeveel liter benzine de auto heeft verbruikt tijdens deze rit.

> Uitwerkingen

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Stookwaarde

23 Cirkelbeweging

Een eenparige cirkelbeweging is een cirkelvormige beweging waarbij de grootte van de snelheid constant is. Deze snelheid wordt de baansnelheid genoemd. Er geldt

$v_{baan} = 2\pi \cdot r / T$

v_{baan} = baansnelheid (m/s)
r = straal (m)
T = omlooptijd (s)

De baanstraal is de straal van de cirkel die doorlopen wordt. De cirkel kan ook deels doorlopen worden. r en T gelden in dit geval voor de (denkbeeldige) cirkel waar de baan een onderdeel van vormt.

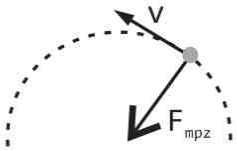
Voorbeeld

Een planeet draait in 6,0 jaar in een cirkelvormige baan een rondje om een ster met een baansnelheid van 14 km/s. Bereken de afstand tussen de planeet en de ster.

> Uitwerkingen

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
CirkelbewegingBaansnelheid

24 Middelpuntzoekende kracht



Tijdens een cirkelbeweging verandert de snelheid voortdurend (niet van grootte maar van richting). Dit betekent dat het voorwerp een versnelling ondergaat en dus dat F_{res} niet 0 kan zijn. Middelpuntzoekende kracht is de naar het middelpunt van de cirkel gerichte kracht die nodig om een voorwerp een cirkelbaan te laten doorlopen

$F_{mpz} = mv^2/r$

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

F_{mpz} is nooit een op zichzelf staande kracht maar een rol die aangenomen door krachten die op een voorwerp werken zoals bv spankracht, normaalkracht, of gravitatiekracht.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
MiddelpuntzoekendeKracht
RonddraaiendeSlinger

Voorbeeld
De maan draait in een (vrijwel) cirkelvormige baan om de aarde. Bereken de grootte van de middelpuntzoekende kracht op de maan.
> Uitwerkingen

25 Gravitatiekracht

Gravitatiekracht is de kracht waarmee massa's elkaar aantrekken. Tussen twee massa (m en M) geldt

$F_g = G \cdot M \cdot m / r^2$

F_g = gravitatiekracht (N)
$G = 6{,}67384 \cdot 10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}
M,m = massa's (kg)
r = afstand (m)

F_g werkt op beide massa's en is voor beide massa's even groot (maar tegengesteld qua richting). r in deze formule is de afstand tussen de zwaartepunten van de massa's.

Gravitatiekracht is een fundamentele kracht die in het hele heelal werkt. Op aarde zorgt het voor de valversnelling. In het zonnestelsel zorgt het voor de bewegingen van manen en planeten.

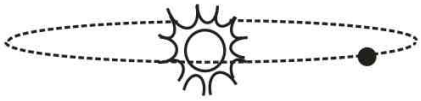
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ Gravitatiewet

Voorbeeld
uit: vwo 2009-2 opg. 3

Een planetoïde bevindt zich op een afstand van $5{,}38 \cdot 10^8$ m van de aarde. De planetoïde, aarde en zon bevinden zich op dat moment precies op één lijn zoals in de afbeelding hieronder (de afbeelding is niet op schaal). Laat met een berekening zien of de planetoïde sterker door de aarde of sterker door de zon wordt aangetrokken.

> Uitwerkingen

26 Planeet- en satellietbanen



Planeten, manen en satellieten draaien in een (bij benadering) cirkelvormige baan om de zon of om een planeet waarbij F_{mpz} geleverd wordt door de gravitatiekracht. Voor elk object in een cirkelvormige baan geldt dus $F_{mpz} = F_g$. Wanneer we de formules voor F_{mpz} en F_g uitschrijven en $v=2\pi r/T$ invullen houden we over

$$r^3/T^2 = G \cdot M / 4\pi^2$$

r = baanstraal (m)
T = omlooptijd (s)
$G = 6{,}67384 \cdot 10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}
M = centrale massa (kg)

Deze formule staat bekend als de 3e wet van Kepler. De wetten van Kepler gelden voor planeten die om de zon draaien, manen die om planeten draaien maar ook voor satellieten rond de aarde. Een geostationaire baan is een baan recht boven de evenaar waarin de omlooptijd (T) gelijk is aan de rotatieperiode van de aarde. De sateliet blijft hierdoor altijd boven hetzelfde punt op het aardoppervlak staan.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- Planeetbanen
- Satellietbanen

Voorbeeld

Het International Space Station (ISS) draait in een cirkelvormige baan om de aarde op een hoogte van 408 km boven het aardoppervlak. Bereken hoe lang het ISS over een rondje om de aarde doet.

> Uitwerkingen

27 Gravitatie-energie

Twee massa's op een afstand van elkaar bezitten gravitatie-energie:

$E_g = -G \cdot m_1 m_2 / r$

E_g = gravitatie-energie (J)
$G = 6{,}67384 \cdot 10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}
$m_{1,2}$ = massa's (kg)
r = afstand (m)

Als de massa's naar elkaar toe gaan bewegen wordt E_g omgezet in kinetische energie waardoor E_g kleiner wordt. Een kleinere r betekent dus een kleinere E_g, vandaar het minteken in de formule. Als $r \to \infty$ wordt E_g 0.

Ontsnappingssnelheid is de minimale snelheid die een voorwerp moet hebben om vanaf het oppervlak van een hemellichaam te ontsnappen aan de gravitatiekracht. De kinetische energie (E_k) moet hiervoor groot genoeg zijn om het verschil tussen E_g op het oppervlak en E_g bij $r=\infty$ (0) te overbruggen. Uit de formules voor E_g en E_k volgt

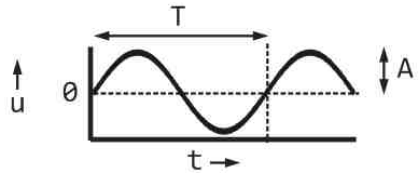
$v_{ontsn} = \sqrt{(2\ GM/r)}$

v_{ontsn} = ontsnappingssnelheid (m/s)
$G = 6{,}67384 \cdot 10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}
M = massa planeet (kg)
r = straal planeet (m)

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
GravitatieEnergie
Ontsnappingssnelheid

Voorbeeld
uit: vwo 2018-1 opg. 2
Een komeet met een massa van 12000 kg beweegt met een snelheid 50 km/s vanaf een hoogte van 100 km boven het aardoppervlak richting aarde. Als de komeet op het aardoppervlak neerstort is de massa van de komeet door wrijving en verdamping afgenomen tot 6000 kg en is er nog maar 0,20% van de oorspronkelijke hoeveelheid energie over. Bereken met welke snelheid de komeet de aarde raakt.
> Uitwerkingen

28 Trillingen



Een trilling is een periodieke beweging rond een evenwichtsstand. De uitwijking (u) is de positie ten opzichte van de evenwichtsstand. Tijdens een trilling verandert de uitwijking en is afwisselend positief en negatief. Amplitude (A) is de maximale uitwijking (heeft altijd een positieve waarde). De tijdsduur waarin de gehele beweging éénmaal doorlopen wordt heet de trillingstijd (T) of periode. Frequentie (f) is het aantal trilling in één seconde, eenheid Hertz (Hz). Er geldt

$f = 1/T$

f = frequentie (Hz)
T = trillingstijd (s)

Bij een gedempte trilling neemt de amplitude af in de loop van de tijd.

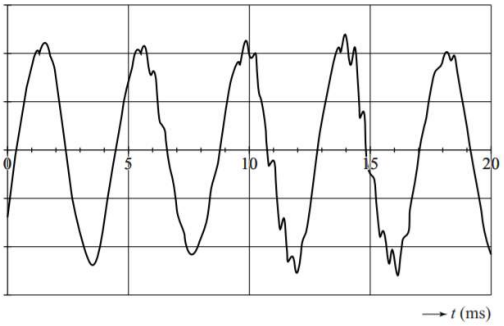
In een u,t-diagram is de beweging af te lezen. Voorbeelden: In een cardiogram (ECG) staan de elektrische spanningen die in het hart worden opgewekt weergegeven. In een seismogram worden kleine bewegingen van het aardoppervlak weergegeven. Een oscilloscoop is een apparaat dat elektrische spanning als functie van de tijd weergeeft. Met twee knoppen kunnen de tijdbasis (horizontaal) en de gevoeligheid (verticaal) ingesteld worden. Ook een computer kan als oscilloscoop gebruikt worden.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- Trillingen
- Oscilloscoop

Voorbeeld

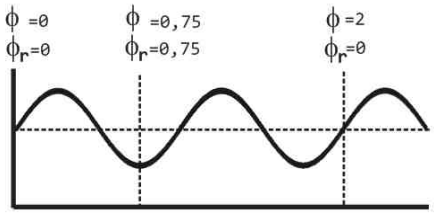
uit: vwo 2011-2 opg. 1

Met een geluidssensor is onderstaande meting gedaan aan geluid uit een fles. Wat is de frequentie van dit geluid?



> Uitwerkingen

29 Fase & gereduceerde fase



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 trilling (symbool: φ). Elke geheel doorlopen periode telt als 1. De fase neemt dus continu toe. Faseverschil tussen twee momenten kan berekend worden met:

$\Delta\varphi = \Delta t/T$

Δφ = faseverschil
Δt = tijdsverschil (s)
T = trillingstijd (s)

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

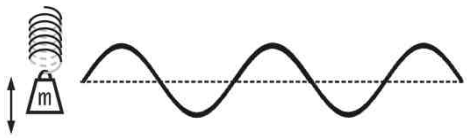
Twee trillingen zijn in fase als $\Delta\varphi_r = 0$
Twee trillingen zijn in tegenfase als $\Delta\varphi_r = ½$

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ FaseGereduceerdeFase

Voorbeeld
Een massa-veersysteem heeft een periode van 1,2 s. Op t = 0 s wordt de massa naar beneden getrokken en losgelaten. Bereken de fase en de gereduceerde fase 5,0 s na het loslaten.

> Uitwerkingen

30 Harmonische trilling



Een harmonische trilling heeft als eigenschappen:

- Het (u,t)-diagram is sinusvormig. Voor de uitwijking als functie van de tijd geldt

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

  u = uitwijking (m)
  A = amplitude (m)
  T = trillingstijd (s)
  t = tijd (s)

- De kracht waarmee het voorwerp wat de trilling uitvoert wordt teruggeduwd naar de evenwichtsstand is rechtevenredig met de uitwijking. Er geldt

  $F = -C \cdot u$

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

  (Het minteken voor de constante is om aan te geven dat de kracht terugduwt in de richting van de evenwichtsstand.)

Voorbeeld van een harmonische trilling is een massa-veersysteem (een massa hangend aan een veer die op en neer kan trillen). Trillingstijd kan berekend worden met:

$T = 2\pi \cdot \sqrt{(m/C)}$

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

De veerconstante in deze formule is gelijk aan de hoeveelheid kracht die er nodig is om een veer één meter uit te rekken en geeft aan hoe stug of slap een veer is.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ HarmonischeTrillingSlingerMassaveer

Voorbeeld
uit: vwo 2011-2 opg. 2
Een speeltoestel in een speeltuin werkt als een massa-veersysteem met een veerconstante van $4{,}5 \cdot 10^3$ Nm^{-1}. Wanneer er kinderen op gaat zitten bedraagt de trillingstijd 0,77 s. Bereken de massa.
> Uitwerkingen

31 Trillingsenergie

Tijdens een trilling worden verschillende energiesoorten afgewisseld. Afhankelijk van het soort trilling kan dit veerenergie (E_v), zwaarte-energie (E_z of E_{pot}), en kinetische energie (E_k) zijn. Hierbij geldt steeds de wet van behoud van energie. De hoeveelheid energie die tijdens een trilling wordt omgezet heet de trillingsenergie.

Door aan te nemen dat in de evenwichtsstand alle trillingsenergie is omgezet in kinetische energie volgt voor de maximale snelheid tijdens een harmonische trilling:

$v_{max} = 2\pi A/T$

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

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ TrillingsenergieSnelheid

Voorbeeld

Een massa van 2,0 kg wordt aan een veer met een veerconstante van 110 Nm^{-1} opgehangen. De massa wordt vanuit de evenwichtsstand 30 cm naar beneden getrokken en losgelaten waardoor deze een harmonische trilling uitvoert.

a) Bereken de hoogste snelheid tijdens de trilling.
b) Bereken de trillingsenergie.

> Uitwerkingen

32 Resonantie & eigentrilling

Eigentrilling is de trilling die een systeem uitvoert zonder invloed van buitenaf (behalve een zetje). De frequentie heet de eigenfrequentie (f_{eigen}). Een beweging waarbij een systeem in trilling blijft door een kracht van buitenaf heet een gedwongen trilling. De frequentie waarmee dit gebeurt heet de aandrijffrequentie. Wat er gebeurt hangt af van $f_{aandrijf}$ en f_{eigen}:

$f_{aandrijf} = f_{eigen}$:
Het systeem gaat meebewegen met een steeds groter wordende amplitude. Dit kan uiteindelijk zelfs uit de hand lopen. Dit wordt resonantie genoemd.

$f_{aandrijf}$ kleiner dan f_{eigen}:
Het systeem beweegt mee met $f_{aandrijf}$ en de amplitude wordt uiteindelijk $A_{aandrijf}$.

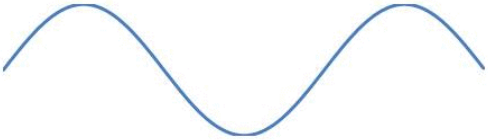
$f_{aandrijf}$groter dan f_{eigen}
Het systeem zal helemaal niet meebewegen maar stil blijven hangen.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ ResonantieEigentrilling

Voorbeeld
Een scooter rijdt met een snelheid van 15 km/h over een weg bestaande uit betonnen stelcon platen. Elke 2,0 m zit er een richel bij de overgang tussen de platen. De scooter heeft een totale massa van 120 kg en de vering heeft een totale veerconstante van $2{,}05 \cdot 10^4$ Nm^{-1}. Ga met een berekening na of er resonantie zal optreden.

> Uitwerkingen

33 Golven



Het zich voortplanten van een trilling leidt tot golfverschijnselen of golven. Een lopende golf is een trilling die zich met constante snelheid (v) voortplant in een bepaalde richting. Als, zoals hierboven, u⊥v heet de golf transversaal. Een voorbeeld hiervan is een golf die zich door een koord of snaar voortplant. Als u parallel aan v trilt heet de golf longitudinaal. Golflengte is de afstand van een punt tot het eerstvolgende punt in dezelfde gereduceerde fase. De snelheid waarmee een bepaalde fase van een golf zich beweegt heet de voortplantingsnelheid of golfsnelheid. Er geldt

$v = f \cdot \lambda$

v = golfsnelheid (m/s)
f = frequentie (Hz)
λ = golflengte (m)

Tussen twee punten in een golf ontstaat een faseverschil als er een verschil is in afstand tot de bron. Dit verschil in afstand heet het weglengteverschil (symbool Δx). Het faseverschil tussen twee punten in een golf kan berekend worden met

$\Delta\varphi = \Delta x / \lambda$

Δφ = faseverschil
Δx = weglengteverschil (m)
λ = golflengte (m)

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Golven
LongitudinaalTtransversaal

Voorbeeld
Geef voor elk van onderstaande situaties aan of het om een longitudinale- of transversale golf gaat.

a) Golven bewegen zich op zee in de richting van het strand.
b) Als je een koord aan één kant op en neer beweegt verplaatst zich een golf door het koord heen.
c) Na een explosie breidt een drukgolf zich uit door de lucht.

> Uitwerkingen

34 Geluid

Geluid is een longitudinale drukgolf die zich voortplant vanaf een geluidsbron. Als de beweging van de geluidsbron een harmonische trilling uitvoert heet de resulterende toon een zuivere 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. In normale situaties is het medium lucht bij kamertemperatuur en is de voortplantingssnelheid 343 ms^{-1} (BINAS tabel 15A). De voortplantingssnelheid is voor alle frequenties en amplitudes gelijk.

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

Voorbeeld

Geef voor elk van onderstaande situaties aan of het geluid hoorbaar zal zijn

a) Een toon van 25 kHz.
b) Een geluidsgolf met een golflengte van 5,0 cm in lucht (20 °C).
c) Een toon van 1500 Hz onder water.

> Uitwerkingen

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
GeluidToonhoogte

35 Interferentie

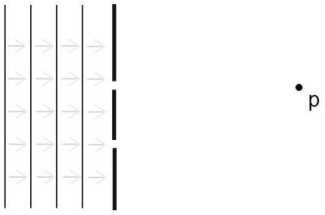
Interferentie is het verschijnsel golven elkaar kunnen versterken af verzwakken.

Constructieve interferentie treedt op als de golven in fase zijn en elkaar versterken. In dit geval geldt Δφ = 0,1,2,3...Een punt waar dit gebeurt heet een buikpunt of buik. Verschillende buiken op een lijn heten een buiklijn.

Destructieve interferentie treedt op als de golven in tegenfase zijn en elkaar uitdoven. In dit geval geldt Δφ = ½, 1½, 2½,...Een punt waar dit gebeurt heet een knooppunt of knoop. Verschillende knopen op een lijn heten een knooplijn.

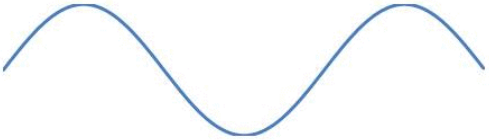
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Interferentie

Voorbeeld
Een golf met een golflengte van 1,56 cm valt op een scherm met twee openingen. De openingen bevinden zich op een onderlinge afstand van 4,9 cm. Op een afstand van 15 cm achter de bovenste opening bevindt zich punt p. Ga met een berekening na of de golven elkaar zullen versterken of zullen uitdoven.



> Uitwerkingen

36 Staande golven



Een staande golf is een golf die zich niet in een bepaalde richting verplaatst. Alleen de amplitudevariëert langs de golf zoals in de afbeelding hierboven.

Plaatsen waar de amplitude maximaal is (buiken) en plaatsen waar de amplitude minimaal is (knopen) blijven hierbij onveranderd vandaar de naam 'staande golf'. Staande golven kunnen ontstaan in een begrenste omgeving waarin precies een héél aantal halve golven passen. In de staande golf hierboven passen er bv precies 3 halve golven. In een snaar geldt

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

L = lengte snaar (m)
n = 1,2,3,...
λ = golflengte (m)

Met f = v/λ kan de bijbehorende frequentie worden berekend. In een snaar is de frequentie voor elke waarde van n anders. De frequentie bij n=1 wordt ook wel de grondtoon genoemd, n=2,3,4... worden harmonischen of boventonen genoemd.

Bij een staande golf in een buis zijn open uiteinden altijd buiken en gesloten uiteinden knopen. Voor een buis met twee open of twee gesloten uiteinde geldt dezelfde formule als voor een snaar. Bij buizen met één gesloten en één open uiteinde past er ¼λ, ¾λ, 1¼λ,... in de buis. Hier geldt

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

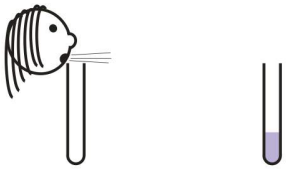
L = lengte buis (m)
n = 1,2,3,...
λ = golflengte (m)

Dit zorgt voor andere verhoudingen tussen de frequenties van de grondtoon en de boventonen.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- SnarenStaandeGolven
- OpenBuis
- GeslotenBuis

Voorbeeld

Als je over een lege reageerbuis blaast ontstaat er een toon. Door water in het buisje te doen kun je deze toon hoger maken. Bereken de frequenties van de grondtoon en de eerste boventoon als je een 30 cm hoog buisje vult met 2,0 cm water.



> Uitwerkingen

37 Ioniserende straling

UV, röntgen-, en gammastraling (γ) zijn vormen van elektromagnetische straling waarbij de energie zó hoog dat de stof waar de straling doorheen gaat geïoniseerd wordt (ioniserende straling) . Hiervoor geldt

$E_f = h \cdot f = h \cdot c/\lambda$

E_{foton} = energie per foton (J)
$h = 6{,}6261 \cdot 10^{-34}$ Js
f = frequentie (Hz)
$c = 2{,}9979 \cdot 10^{8}$ ms^{-1}
λ = golflengte (m)

Naast elektromagnetische straling bestaan er ook deeltjes die ioniserend zijn. Deze deeltjes hebben massa en bewegen met een snelheid kleiner dan de lichtsnelheid.

- α-deeltjes zijn snel bewegende heliumkernen.
- β-deeltjes zijn snel bewegende elektronen (β^-) of positronen (β^+).

Ioniserend vermogen is de mate waarin iets in staat is om stoffen waar het doorheen gaat te ioniseren. Dracht is de afstand die een α- of β- deeltje gemiddeld in een materiaal kan afleggen totdat het zijn ioniserende werking verliest. Bij röntgen- en γ-straling is het doordringend vermogen een maat voor hoe goed straling ergens doorheen komt. De belangrijkste eigenschappen:

- Röntgen-straling:
  groot doordr. verm. / klein ion.verm.
- γ-straling:
  extreem groot doordr.verm. / klein ion. verm.
- α-straling:
  extreem kleine dracht / groot ion.verm.
- β-straling:
  kleine dracht / vrij klein ion. verm.

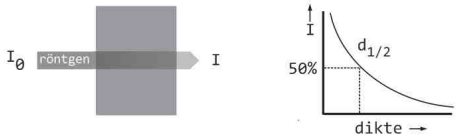
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- IoniserendeStraling
- DrachtIoniserendVermogen
- Detectiemethoden

Voorbeeld
Welke van de volgende deeltjes of soorten straling is ioniserend?

a) Fotonen met een fotonenergie van 1,6 eV
b) Elektromagnetische straling met λ=3400 nm
c) Elektronen met een snelheid van $2{,}3 \cdot 10^{6}$ ms^{-1}

> Uitwerkingen

38 Halveringsdikte, röntgen & CAT



Als straling op een voorwerp valt kan deze (gedeeltelijk) worden

- doorgelaten (transmissie)
- geabsorbeerd (absorptie)
- teruggekaatst (reflectie)

De intensiteit van straling nadat het door een voorwerp heen is gevallen waarin het gedeeltelijk is geabsorbeerd hangt af van de dikte van het materiaal en de halveringsdikte ($d_{½}$) hierbij geldt

$I = I_0 \cdot ½^{d/d_{½}}$

I = intensiteit (W)
I_0 = opvallende intensiteit (W)
d = diepte (m)
$d_{½}$ = halveringsdikte (m)

Van het verschil van halveringsdikte tussen bot en zacht weefsel in het menselijk lichaam wordt gebruikt gemaakt bij röntgenfoto's. Bij een CAT of CT-scan worden meerdere röntgenfoto's vanuit verschillende hoeken gecombineerd tot één 3D-beeld.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Halveringsdikte
Ctscan

Voorbeeld
Een materiaal heeft een halveringsdikte van 5,0 cm voor een bepaalde stralingssoort. Hoe dik moet dit materiaal zijn om 90% van de straling tegen te houden?

> Uitwerkingen

39 Atoomkernen

Een atoom bestaat uit een elektronenschil met daarin een extreem kleine kern opgebouwd uit kerndeeltjes of nucleonen (protonen en neutronen). Het aantal kerndeeltjes wordt het massagetal (A) genoemd, eenheid u (atomaire massaeenheid). Het aantal protonen in de kern bepaalt de lading van de kern en wordt het ladingsgetal of atoomnummer (Z) genoemd. In een ongeladen (neutraal) atoom is het ladingsgetal gelijk aan het aantal elektronen. De notatie is

$^{A}_{Z}$ Symbool

Bijvoorbeeld: $^{110}_{42}Cd$ is een cadmiumkern met 110 kerndeeltjes waaronder 42 protonen en 68 neutronen. Vaak wordt dit ook korter geschreven als Cd-110.

Atomen met hetzelfde atoomnummer maar een verschillend massagetal worden isotopen genoemd.

Voorbeeld

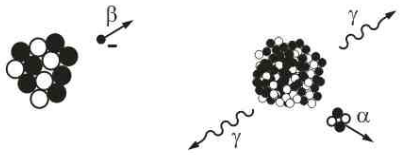
Noem voor elk van onderstaande atomen uit hoeveel protonen, neutronen en elektronen ze bestaan

a) Hg-203
b) Tin-113
c) $^{56}_{26}Fe^{2+}$

> Uitwerkingen

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Atoomkernen

40 Radioactief verval



Sommige isotopen zijn radioactief en vervallen onder het uitzenden van deeltjes. De belangrijkste vervalsoorten (zie BINAS tabel 25):

α-verval: $^{214}_{84}Po \rightarrow {}^{210}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$

β-verval (β^-): $^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{8}O + {}^{0}_{-1}e$

β-verval (β^+): $^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{22}_{10}Ne + {}^{0}_{+1}e$

γ-verval: $^{99m}_{43}Tc \rightarrow {}^{99}_{43}Tc + {}^{0}_{0}\gamma$

(Een β^+-deeltje heet ook wel positron). Als er meerdere vervalsoorten mogelijk zijn zal er één plaatsvinden. Uitzondering is γ-verval (tegelijk met andere vervalsoort). Als de isotoop die ontstaat radioactief is vervalt deze verder (vervalreeks).

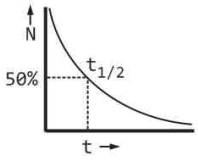
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- RadioactiefVerval
- Vervalsoorten

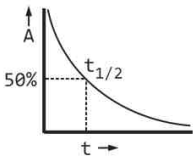
Voorbeeld

U-238 is radioactief en vervalt in een groot aantal vervalstappen uiteindelijk tot het stabiele Pb-206. Het verval verloopt alleen via α- en β^--verval (met soms ook γ). Hoeveel α- en β^--deeltjes zijn er totaal uitgezonden tijdens deze vervalreeks?

> Uitwerkingen

41 Activiteit & halvering





Het aantal radioactieve kernen in een materiaal (N) neemt af door verval. Activiteit is het aantal vervalreacties dat per seconde plaatsvindt (eenheid Bq) en kan bepaald worden met een raaklijn in een N,t-diagram. Met een Geiger-Müller-teller kan activiteit gemeten worden. Halveringstijd ($t_{½}$) is de tijd waarin de helft van het aantal kernen vervalt. Er geldt

$N(t) = N_0 \cdot ½^{t/t_{½}}$

N(t) = hoeveelheid kernen
N_0 = beginhoeveelheid
t = tijd (s)
$t_{½}$ = halveringstijd (s)

$A(t) = A_0 \cdot ½^{t/t_{½}}$

A(t) = activiteit (Bq)
A_0 = beginactiv. (Bq)
t = tijd (s)
$t_{½}$ = halveringstijd (s)

Activiteit kan ook rechtstreeks uit N en $t_{½}$ berekend worden:

$A = N \cdot (\ln 2)/t_{½}$

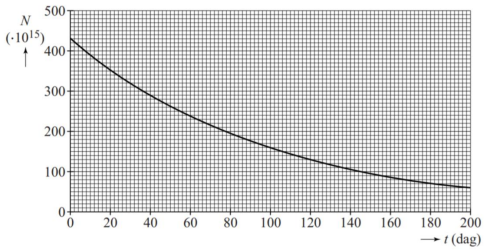
A = activiteit (Bq)
N = aantal kernen
$t_{½}$ = halveringstijd (s)

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- Activiteit
- Halveringstijd

Voorbeeld

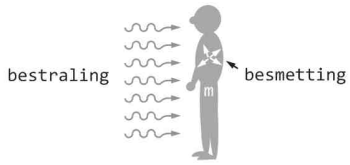
uit: havo 2018-2 opg. 4

Van een hoeveelheid radioactief wolfraam staat hieronder hoe het aantal kernen in de loop van de tijd afneemt. Bepaal aan de hand van de grafiek de activiteit op t=0.



> Uitwerkingen

42 Schadelijkheid



Blootstelling aan ioniserende straling door bestraling of besmetting is altijd schadelijk. Schadelijkheid wordt uitgedrukt in het begrippen dosis en dosisequivalent. Deze hangen af van de geabsorbeerde stralingsenergie, de lichaamsmassa en (voor de dosisequivalent) de soort straling:

$D = E_{abs}/m$

D = dosis (Gy)
E_{abs} = geabsorbeerde energie (J)
m = massa (kg)

$H = w_R \cdot E_{abs}/m$

H = dosisequivalent (Sv)
w_R = weegfactor (α 20, β, γ 1)
E_{abs} = geabsorbeerde energie (J)
m = massa (kg)

(De schadelijkheid en de weegfactoren staan in Binas tabel 27D). Met een dosimeter wordt de stralingsbelasting gemeten. Deze bestaat uit natuurlijke achtergrondstraling die iedereen altijd oploopt (o.a. kosmische straling) en straling die opgelopen wordt bij de uitoefening van een beroep.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ SchadelijkheidDosisequivalent

Voorbeeld

Bij een behandeling van een tumor met een massa van 75 g wordt een hoeveelheid Po-209 met een activiteit van 34000 Bq in de tumor ingebracht. Bereken wanneer het Po-209 weer moet worden verwijderd om tot een blootstelling van 60 mSv te komen.

> Uitwerkingen

43 Echografie & MRI

MRI is een beeldvormende techniek waarbij de patiënt in een sterk magneetveld ligt. Waterstofkernen richten zich naar dit magneetveld en kunnen met een puls radiostraling van richting veranderd worden. Als ze weer terugvallen wordt radiostraling van dezelfde frequentie weer uitgezonden. Door deze radiostraling op te vangen worden de plaatsen zichtbaar waar veel waterstofkernen (water) zitten. De relaxatietijd, de tijd die duurt voor de waterstofkernen om terug te vallen, geeft informatie over de omgeving van de waterstofkernen.

Bij ultrasound of echoscopie worden reflecties van ultrasoon geluid gemeten. Hierbij worden plaatsen in het lichaam zichbaar met een grote overgang in geluidssnelheid, met name de grens tussen bot en zacht weefsel. De resolutie (het kleinste wat nog nét onderscheiden kan worden) wordt bepaald door de golflengte van het geluid in het lichaam.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- Echografie
- MRI

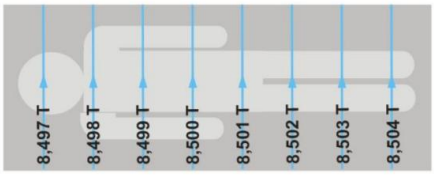
Voorbeeld

Om verschillende posities apart te kunnen meten wordt bij MRI geen constant maar een geleidelijk verlopen magneetveld gebruikt (gradiënt). De frequentie van de radiostraling die wordt opgevangen en uitgezonden hangt namelijk af van de sterkte van het magneetveld volgens onderstaande formule.

a) Welke radiofrequentie moet je gebruiken om waterstofkernen in het hoofd van onderstaande patiënt te meten?
b) Leg uit hoe je een MRI-scan van het hele lichaam kunt maken.

$f_{radio} = 42{,}58 \cdot 10^6 \cdot B$

f_{radio} = radiofrequentie (Hz)
B = magneetveldsterkte (T)



> Uitwerkingen

44 PET & radiotherapie

Een tracer is een stof die in het lichaam gebracht wordt om te kijken waar in het lichaam deze stof zich ophoopt. Bij gammascintigrafie wordt met een gammacamera zichtbaar gemaakt uit welke plekken in het lichaam gammastraling afkomstig is nadat een patient een hoeveelheid van een radioactieve isotoop heeft gekregen.

PET (positron emission tomography) is een techniek waarbij als tracer een β^+-straler gebruikt wordt. Bij annihilatie van het vrijkomende positron met een elektron komen twee γ-fotonen vrij die in tegengestelde richtingen worden uitgezonden. Door gammadetectoren rondom de patient kan aan de hand van de aankomsttijd van de γ-fotonen gereconstrueerd worden waar de straling vandaan kwam.

Bij radiotherapie worden tumoren bestraald. Dit kan door inwendige bestraling of uitwendinge bestraling.

Voorbeeld

Welke van onderstaande isotopen is geschikt als tracer bij PET?

a) Mg-28
b) N-13
c) Na-22
d) B-8

> Uitwerkingen

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
PET

45 Stroom & elektrische lading

Elke stof is o.a. opgebouwd uit positief of negatief geladen deeltjes. Binnen een isolator kan lading zich niet verplaatsen. Binnen een geleider kan lading zich wél verplaatsen. Binnen een metaal zijn de ladingsdrager vrije elektronen die zich door het metaal kunnen bewegen. Stroomsterkte is de lading die per seconde ergens doorheen stroomt

$I = Q/t$

I = stroomsterkte (A)
Q = lading (C)
t = tijdsduur (s)

Stroom kan alleen blijven lopen in een gesloten stroomkring. Stroom wordt gemeten met een ampèremeter die in serie wordt aangesloten met datgene waardoor de stroomsterkte gemeten wordt.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
LadingStroom

Voorbeeld
Door een lampje loopt een stroom van 0,80 A.

a) Bereken hoeveel elektrische lading er in een uur tijd door het lampje is gelopen.
b) Bereken hoeveel elektronen dit zijn.

> Uitwerkingen

46 Spanningsbronnen en spanning

Iets beweegt zich altijd naar het punt waar de energie het laagst is. Om stroom te laten lopen moet er dus een energieverschil bestaan. Het energieverschil tussen twee punten per eenheid lading heet elektrische spanning

Een spanningsbron, zoals een batterij, accu of stopcontact (230 V) zorgt voor een blijvend spanningsverschil binnen een schakeling waardoor stroom kan lopen. Spanning kan gezien worden als de 'kracht' waarmee lading van de ene plaats naar de andere plaats in een schakeling 'geduwd' wordt. Voor het in stand houden van een spanning is geen energie nodig. Pas als er als gevolg van de spanning stroom loopt verbruikt een spanningsbron energie. Spanning over een component kan gemeten worden door een voltmeter parallel aan te sluiten.

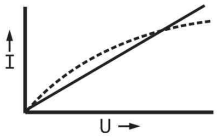
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
SpanningEnergie

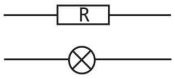
Voorbeeld
De spanning over een weerstand in een schakeling is 30 V.

a) Hoeveel energie is er nodig om één elektron door de weerstand te laten stromen?
b) Hoeveel energie is er nodig om 15 minuten lang een stroom van 0,25 A te laten lopen door de weerstand?

> Uitwerkingen

47 Wet van Ohm & weerstand





Weerstand is de eigenschap die zegt hoe goed iets in staat is om stroom tegen te houden. Binnen een schakeling én voor de schakeling als geheel geldt altijd de wet van Ohm:

$U = I \cdot R$

U = spanning (V)
I = stroomsterkte (A)
R = weerstand (Ω)

Bij een Ohmse weerstand is R constant en bestaat er een recht evenredig verband tussen U en I. Behalve weerstand wordt ook het begrip conductantie of geleidingsvermogen gebruikt om aan te geven hoe goed iets geleidt:

$G = 1/R$

G =geleidingsvermogen (S)
R = weerstand (Ω)

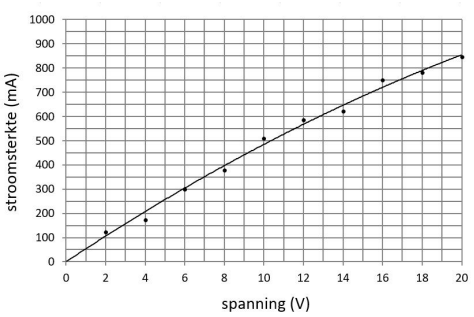
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:

- Weerstanden
- WetvanOhm
- Geleidingsvermogen

Voorbeeld

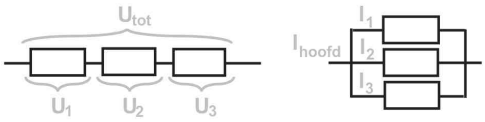
Tijdens een practicum wordt de stroom door een gloeilampje gemeten bij verschillende spanningen. Door de meetpunten is een vloeiende lijn getrokken die zo goed mogelijk bij de meetpunten past.

a) Hoe kun je aan de grafiek zien dat het lampje geen ohmse weerstand is?
b) Bepaal de weerstand bij 8,0 V.
c) Bepaal de weerstand bij 20 V.



> Uitwerkingen

48 Serie- en parallelschakelingen



In een serieschakeling geldt dat de stroom (I) door alle componenten gelijk is. De spanning over de componenten verdeelt zich. In een spanningsdeler wordt hiervan gebruik gemaakt door een lagere deelspanning af te tappen.

$U_{totaal,serie} = U_1 + U_2 + ...$

U_{totaal} = totaalspanning (V)
$U_{1,2,...}$ = deelspanningen (U)

In een parallelschakeling geldt dat de spanning (U) over alle componenten gelijk is. De stroom over de componenten verdeelt zich.

$I_{hoofd,parallel} = I_1 + I_2 + ...$

I_{tot} = hoofdstroom (A)
$I_{1,2,...}$ = deelstromen (A)

De vervangingsweerstand (R_v, heet ook wel totale weerstand, R_{tot}) in een serieschakeling is de som van de weerstanden. Voor de vervangingsweerstand van paralelle weerstanden geldt onderstaande formule

$1/R_V = 1/R_1+1/R_2+...$

$R_{1,2,3...}$ = weerstanden (Ω)
R_{tot} =vervangingsweerstand (Ω)

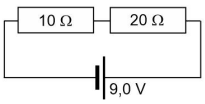
(R_v kan ook bepaald worden door $G_v = G_1 + G_2 + ...$).

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- Serieschakelingen
- Parallelschakelingen
- Vervangingsweerstand

Voorbeeld
Twee weerstanden van 10 en 20 Ω worden in serie aangesloten op een batterij van 9,0 V.

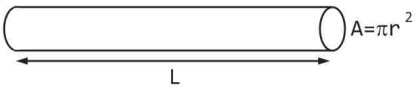
a) Bereken de vervangingsweerstand (R_{tot})
b) Bereken de stroom door de weerstanden.
c) Bereken spanning over de weerstanden afzonderlijk.

d) Leg uit hoe de schakeling als spanningsdeler gebruikt kan worden om van de spanning van 9,0 V een spanning van 6,0 V te maken.



> Uitwerkingen

49 Soortelijke weerstand



De weerstand van een voorwerp kan berekend worden uit de soortelijke weerstand van het materiaal waarvan het voorwerp gemaakt is

$R = \rho \cdot L/A$

R = weerstand (Ω)
ρ = soortelijkeweerstand (Ωm)
L = lengte (m)
A = oppervlak (m^2)

Soortelijke weerstanden van stoffen staan in BINAS tabellen 8,9,10. Het oppervlak A in de formule is het oppervlak van de doorsnede. Bij een draad is dit cirkelvormig en geldt $A = \pi r^2$ met r de helft van de draaddikte.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
SoortelijkeWeerstandDraadweerstand

Voorbeeld
uit: vwo 2019-1 opg. 5
In een wasdroger wordt de lucht verwarmd door een verwarmingselement waar stroom door loopt. Dit verwarmingselement is gemaakt van 42 m koperdraad met een diameter van 0,20 mm. Bereken de weerstand van het verwarmingselement.
> Uitwerkingen

50 Elektrisch vermogen

Elektrisch vermogen is de hoeveelheid elektrische energie die per seconde omgezet wordt in een andere energiesoort (bv warmte of licht). Vermogen kan bepaald worden voor een bepaald component in een schakeling of voor de schakeling als geheel. Er geldt

$P = U \cdot I$

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

$E = P \cdot t$

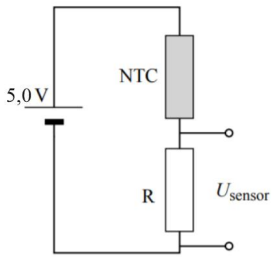
E = elektrische energie (J)
P = elektrisch vermogen (W)
t = tijdsduur (s)

Naast de Joule (J) wordt als eenheid voor elektrisch energie ook de kilowattuur (kWh) gebruikt. 1 kWh is equivalent aan het één uur lang verbruiken van een vermogen van 1 kilowatt.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
ElektrischVermogen

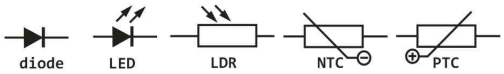
Voorbeeld
uit: vwo 2010-1 opg. 6

Bij het bouwen van een temperatuursensor wordt een temperatuurgevoelige weerstand (NTC) gebruikt met een weerstand van 2,2 kΩ. De NTC kan kapot gaan als er teveel stroom door loopt. Het maximale vermogen dat de NTC aan kan is 2,0 mW. De NTC staat in serie met een weerstand R (zie schema hieronder). Bereken de waarde die deze weerstand minimaal moet hebben.



> Uitwerkingen

51 Bijzondere weerstanden

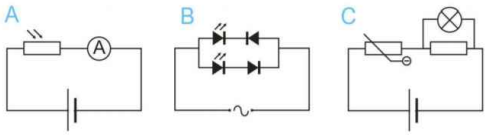


- Een diode is een component dat maar in één richting stroom doorlaat.
- Een LED is een diode die licht uitstraalt als er stroom doorheen loopt (Light Emitting Diode).
- Een LDR is een lichtgevoelige weerstand. Hoe meer licht er op valt hoe lager R.
- Een NTC is een temperatuurgevoelige weerstand waarbij de weerstand láger wordt als de temperatuur stijgt.
- Een PTC is een temperatuurgevoelige weerstand waarbij de weerstand hóger wordt als de temperatuur stijgt.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
BijzondereWeerstanden

Voorbeeld

Hieronder staan 3 schakelingen waarin gebruik wordt gemaakt van diodes, LEDs , NTC en LDR. Leg van elke schakeling uit wat de schakeling doet.



> Uitwerkingen

52 Huisinstallatie

De elektrische installatie van huizen en kantoren werkt op 230 V waarbij + en - met 50 Hz wisselen (wisselspanning). Alle apparaten staan parallel aan elkaar aangesloten via het stopcontact waarbij het huis is onderverdeeld in groepen. Elke groep is beveiligd met een zekering die de stroom onderbreekt als ergens teveel stroom loopt (kortsluiting). Stopcontacten zijn verbonden met de meterkast via drie draden:

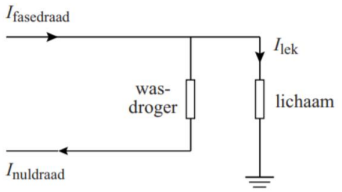
- Een fasedraad (bruin) waar spanning op staat.
- Een nuldraad (blauw) waar geen spanning op staat om samen met de fasedraad een gesloten stroomkring te vormen.
- Een aardleiding (geel/groen) verbonden met de buitenkant van elektrische apparaten als beveiliging.

De aardlekschakelaar vergelijkt continu de stroom door de fasedraad en de nuldraad. Als dit niet gelijk is is er een stroomlek en schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
HuisinstallatieWisselstroom

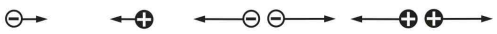
Voorbeeld
uit: vwo 2019-1 opg. 5

Door een defect in een wasdroger kan de metalen buitenkant onder spanning komen te staan en kan er een lekstroom optreden als een persoon de metalen buitenkant van de wasdroger aanraakt. De aardlekschakelaar reageert als er tussen de nuldraad en de fasedraad een verschil van meer dan 30 mA is. Bereken de grootte van de lichaamsweerstand bij een lekstroom van 30 mA.



> Uitwerkingen

53 Lading & wet van Coulomb



Materie is opgebouwd uit o.a. protonen (vast in atoomkern) en elektronen (kunnen zich in geleiders bewegen). De lading van een proton is +e, de lading van een elektron is -e (elementair ladingsquantum). In een neutraal voorwerp zijn evenveel + als -deeltjes. Voorwerpen kunnen elektrische geladen zijn door elektronenoverschot of elektronentekort. Een geladen atoom of molecuul heet een ion. Elektrisch geladen voorwerpen of deeltjes trekken elkaar aan als de ladingen tegengesteld van teken zijn en stoten elkaar af als de lading hetzelfde teken hebben. Voor de kracht geldt de wet van Coulomb

$F_{el} = f \cdot Qq/r^2$

F_{el} = kracht(N)
$f = 8{,}9876 \cdot 10^9\ Nm^2C^{-2}$
Q,q = ladingen (C)
r = afstand (m)

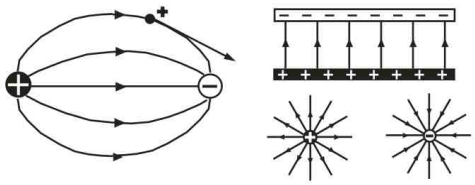
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- ElektrischeLading
- WetvanCoulomb

Voorbeeld

Twee protonen bevinden zich op een afstand van 20 nm van elkaar. Bereken de kracht waarmee ze elkaar afstoten.

> Uitwerkingen

54 Elektrische velden



Een elektrisch veld is het gebied rond een elektrische lading waar de lading invloed heeft. Elektrische veldsterkte op een bepaalde plaats is de kracht op een (denkbeeldige) puntlading van +1 C op die plaats

$E = F/q$

E = veldsterkte (N/C)
F = kracht (N)
q = lading (C)

Veldsterkte heeft een grootte én richting. Om een elektrisch veld weer te geven wordt gebruik gemaakt van veldlijnen die de richting aangeven van het elektrische veld. Elektrische veldlijnen...

- lopen altijd van + → -
- kruisen nooit
- staan loodrecht op een geleider

De dichtheid van de veldlijnen is een maat voor de veldsterkte. Een homogeen veld is een veld waarbij de veldsterkte overal gelijk is. Een radiaal veld is het veld wat ontstaat bij één lading.

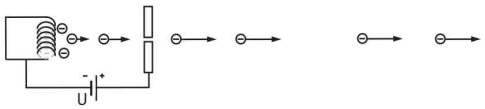
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- Elektrischveld
- Veldlijnen
- Veldsterkte

Voorbeeld
Een Ca^{2+}-ion bevindt zich in een homogeen elektrisch veld tussen twee geladen platen. Het ion ondervindt een elektrische kracht van $2{,}0 \cdot 10^{-15}$ N recht omhoog.

a) Welke richting hebben de veldlijnen?
b) Bereken de veldsterkte tussen de platen.
c) Hoe groot zou de kracht op een Cl^--ion zijn als dit in hetzelfde elektrische veld geplaatst zou worden?

> Uitwerkingen

55 Spanning & energie



Op een lading in een elektrisch veld werkt een kracht. Bij verplaatsing wordt dus arbeid verricht en verandert de elektrische energie van de lading.Spanningsverschil is het verschil in elektrische energie tussen twee plaatsen uitgedrukt in energie per ladingseenheid

Met het spanningsverschil tussen twee plaatsen kan berekend worden of en hoeveel energie er vrijkomt als het deeltje van de ene naar de andere plaats beweegt. In een elektronenkanon of versneller worden elektronen vanaf de kathode versneld naar de anode door een spanningsverschil aan te leggen. Voor de toename in kinetische energie geldt $\Delta E_k = q \cdot \Delta U$. In een lineaire versneller worden geladen deeltjes versneld door meerdere achter elkaar geplaatste versnellers.

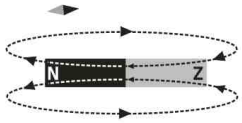
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- ElektrischeEnergieSpanning
- Versneller
- ToepassingenVersneller

Voorbeeld

Elektronen wordt versneld door ze tussen twee geladen platen te laten bewegen. De spanning tussen de platen is 2,5 kV. Bereken de snelheid die de elektronen hierbij krijgen. Ga er hierbij van uit dat de beginsnelheid van de elektronen nul is.

> Uitwerkingen

56 Magnetische velden



Magneten hebben een noordpool en een zuidpool. Tegengestelde polen trekken elkaar aan, gelijke polen stoten elkaar af. Een magneet kan metalen tijdelijk magnetisch maken en aantrekken (influentie). Een kompas werkt dankzij het aardmagnetisme.

Magnetisch veld is het gebied rondom een magneet waarin de magneet invloed heeft op andere magneten.Magnetische veldlijnen worden gebruikt voor het weergeven van een magnetische veld en geven de richting aan waarin een denkbeeldig minikompasje zich met zijn N-pool richt. Magnetische veldlijnen...

- vormen gesloten krommen
- lopen buiten een magneet N→Z
- lopen binnen een magneet Z→N
- kruisen nooit

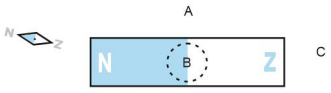
De dichtheid van de veldlijnen is een maat voor de magnetische veldsterkte (symbool B, eenheid Tesla).

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:

- Magnetisme
- MagnetismeElektriciteit
- MagnetischeVeldlijnen

Voorbeeld

Geef voor elk van de posities (A,B,C) bij onderstaande magneet aan in welke richting de noordpool van een minikompasjes zou wijzen als het op deze positie werd gezet. B is een holte binnen in de magneet.



> Uitwerkingen

57 Rechterhandregel

Elektrische stroom wekt een magneetveld op. In een tot een spoel opgewonden draad versterken de magneetvelden van de draden elkaar en ontstaat een elektromagneet. Met de rechterhandregels kunnen de richtingen van B en I bepaald worden

Rechterhandr. draad: duim=I, vingers=B
Rechterhandr. spoel: duim=B, vingers=I

Gebruikte symbolen:

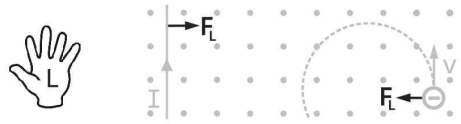
Kruis = magneetveld papier in
Punt = magneetveld papier uit
Kruis in cirkel = stroom papier in
Punt in cirkel = stroom papier uit

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- RechterhandregelDraad
- Stroomspoel
- RechterhandregelSpoel

Voorbeeld
Hieronder staan een draad en een spoel. Geef in beiden de richting van het magneetveld aan dat ontstaat als er stroom in de aangegeven richting loopt.

> Uitwerkingen

58 Lorentzkracht



Lorentzkracht is de kracht die werkt op een bewegend geladen deeltje in een magneetveld:

$F_L = B \cdot q \cdot v$

F_L = lorentzkracht (N)
B = magnetische veldsterkte (T)
q = lading (C)
v = snelheid (m/s)

Ook op een stroomdraad binnen een magneetveld werkt lorentzkracht:

$F_L = B \cdot I \cdot L$

F_L = lorentzkracht (N)
B = magnetische veldsterkte (T)
I =stroomsterkte (A)
L =draadlengte (m)

Lorentzkracht staat altijd loodrecht op B en v (of I). De richting kan gevonden worden met de linkerhandregel: B opvangen in handpalm; gestrekte vingers in richting v of I wijzen; duim geeft richting F_L aan. (Bij negatief geladen deeltjes is v tegengesteld aan de beweegrichting).

De werking van o.a. elektromotor en luidspreker zijn gebaseerd op lorentzkracht.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- Lorentzkracht
- ToepassingenLorentzkracht

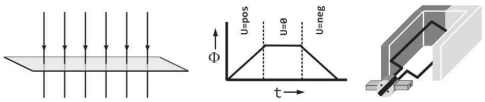
Voorbeeld

Binnen een gebied heerst een magneetveld van 0,15 T. Bereken de grootte van de lorentzkracht binnen dit gebied op onderstaande deeltjes of stroomdraden. Ga er hierbij vanuit dat de snelheid en stroomrichting steeds loodrecht op het magneetveld staan.

a) Een elektron met een snelheid van $4{,}0 \cdot 10^5$ ms^{-1}.
b) Een stroomdraad van 10 cm waardoor een stroom van 50 mA loopt.

> Uitwerkingen

59 Flux & inductie



Magnetische flux is een maat voor hoeveel magnetische veldlijnen door een oppervlak lopen:

$\Phi = B \cdot A \ (\cdot \cos \alpha)$

Φ = magnetische flux (Wb)
B = magnetische veldsterkte (T)
A = oppervlak (m^2)
α = hoek t.o.v. ⊥ op B

Als het veld niet homogeen is moet $B_{gemiddeld}$ gebruikt worden en als de invalrichting niet loodrecht is maar afwijkt met een hoek α komt bij de formule een factor cos α. Als de flux in een draadraam of spoel verandert ontstaat tussen de aansluitpunten een inductiespanning (U_{ind})

$U_{ind} = N \cdot \Delta\Phi / \Delta t$

U_{ind} = inductiespanning (V)
N = aantal windingen
ΔΦ = fluxverandering (Wb)
Δt = tijdsduur (s)

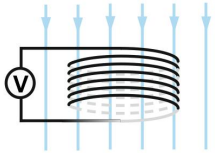
Verandering kan o.a. optreden door verandering van magneetveldsterkte of de invalshoek (draaiende spoel). dΦ/dt is de afgeleide van Φ(t) en kan bepaald worden uit de helling van een Φ,t-grafiek. Inductiespanning kan gebruikt worden om een stroom op te wekken. Hiervan wordt gebruik gemaakt in bv een dynamo of een microfoon.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- MagnetischeFlux
- Inductie
- Fluxverandering

Voorbeeld

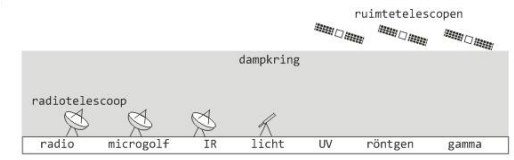
Een spoel met 7 wikkelingen bevindt zich in een homogeen magneetveld van 0,070 T. De veldlijnen lopen recht door de spoel heen en het oppervlak van de spoel (gezien vanuit de richting van de magnetische veldlijnen) is 0,034 m^2.

a) Bereken de grootte van de magnetische flux door de spoel
b) Hoe groot is de spanning die de voltmeter aangeeft op dit moment?
c) Het magneetveld waar de spoel zich in bevindt wordt op een gegeven moment uitgeschakeld. In 0,20 s daalt de magnetische veldsterkte lineair naar 0 T. Hoe groot is de spanning die tijdens het uitschakelen gemeten wordt?



> Uitwerkingen

60 Elektromagnetisch spectrum



Het elektromagnetisch spectrum bestaat verschillende soorten straling die met elkaar gemeen hebben dat ze als elektromagnetische golf beschreven kunnen worden en dat ze met de lichtsnelheid bewegen:

- Radiostraling wordt opgewekt door met een vaste hoge frequentie spanning op een antenne te zetten.
- Microgolfstraling is de straling die in magnetronovens gebruikt wordt.
- Infraroodstraling wordt uitgezonden door warme voorwerpen. In tegenstelling tot radiostraling is de frequentie van infraroodstraling is te groot om elektronisch te kunnen opwekken.
- 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 diep in voorwerpen door die voor zichtbaar licht niet doorzichtig zijn.
- Gammastraling komt vrij bij verval van radioactieve instabiele atoomkernen.

Alle soorten EM-straling worden ook gebruikt voor astronomische waarnemingen:

- Radiostraling wordt vanaf het aardoppervlak met radiotelescopen (antennes) gemeten.
- Microgolfstraling kan alleen vanaf zeer grote hoogte worden opgevangen.
- Infraroodstraling wordt slechts deels (sommige golflengtes) doorgelaten door de dampkring
- Een lichttelescoop (optische telescoop) kan alleen s'nachts gebruikt worden staat op hoge plaatsen om zo min mogelijk last te hebben van bewolking en storingen in de dampkring.
- UV, röntgen, gamma (en deels IR) wordt door de atmosfeer geabsorbeerd en wordt waargenomen door ruimtetelescopen.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:

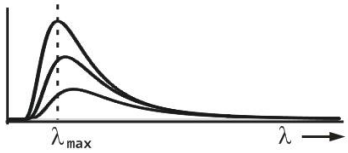
- ElektromagnetischSpectrum
- SoortenElectromagnetischeStraling
- Telescopen

Voorbeeld

Welke van deze stralingssoorten afkomstig uit het heelal kan vanaf het aardoppervlak worden waargenomen? Radio, microgolf, infrarood, zichtbaar licht, UV, röntgen, gamma.

> Uitwerkingen

61 Planckkrommen & wet van Wien



Vaste stoffen, vloeistoffen (en gassen onder hoge druk en dichtheid) zenden straling uit met een continu spectrum. De intensiteitsverdeling volgt de planckkrommen. Een voorwerp waarbij het spectrum exact met de planckkromme overeen komt heet een zwarte straler. Hoe hoger T ...

- hoe hoger de totale intensiteit (oppervlak onder planckkromme)
- hoe meer de piek naar kleinere λ schuift

Met de wet van Wien kan de temperatuur van een ster bepaald worden

$\lambda_{max} = k_W/T$

λ_{max} = golflengte maximum (m)
$k_W = 2{,}8977721 \cdot 10^{-3}$ mK
T = temperatuur (K)

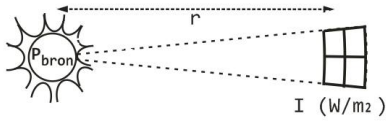
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Planckkrommen
WetvanWien

Voorbeeld
Een ster heeft een oppervlaktetemperatuur van 7000 K.

a) Bereken bij welke golflengte de ster de meeste straling uitzendt.
b) Welke kleur heeft deze ster?

> Uitwerkingen

62 Kwadratenwet & Stefan-Boltzmann



Het vermogen dat een voorwerp (ster) uitstraalt (de lichtkracht) hangt af van het oppervlak en de temperatuur volgens de wet van Stefan-Boltzmann

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

P_{bron} = vermogen (W)
$\sigma = 5{,}670373 \cdot 10^{-8}$ $Wm^{-2}K^{-4}$
A = oppervlakte (m^2)
T = temperatuur (K)

De intensiteit is het opgevangen vermogen per m^2 oppervlak en hangt af van de afstand (r) tot de bron volgens de kwadratenwet

$I = P_{bron}/4\pi r^2$

I = intensiteit (Wm^{-2})
P_{bron} = vermogen (W)
r = afstand (m)

Met bovenstaande formules kunnen temperaturen, groottes en afstanden van sterren berekend worden.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- StefanBoltzmann
- Kwadratenwet

Voorbeeld

Hoeveel keer groter zou de zonneconstante op aarde zijn als de aarde twee keer zo dicht bij de zon zou staan?

> Uitwerkingen

63 Spectraallijnen

Een gas heeft een lijnenspectrum dat uniek is voor de stoffen in het gas. Aan de hand van spectraallijnen kunnen stoffen geïdentificeerd worden. Emissielijnen onstaan als het gas heet is en zelf straling uitstraalt, absorptielijnen, ook wel fraunhoferlijnen genoemd, ontstaan als straling door een gas heen valt waarbij licht wordt geabsorbeerd.

Een lijnenspectrum ontstaat doordat de elektronen in een atoom of molecuul slechts bepaalde energieën kunnen hebben. Alleen díe golflengtes die passen bij de energie van een bepaalde overgang worden uitgezonden of geabsorbeerd. In een energiediagram kunnen de energieniveaus worden afgelezen en kan de fotonenergie bij iedere overgang worden uitgerekend.

$E_f = |E_m - E_n|$

E_f = fotonenergie (J)
E_m = energieniveau vóór (J)
E_n = energieniveau na (J)

Met $E_f = hc/\lambda$ kan dan de bijbehorende golflengte gevonden worden.

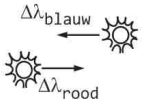
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Lijnenspectra

Voorbeeld

Een elektron valt terug van een energieniveau van 4,30 eV naar een energieniveau van 2,14 eV. Bereken welke kleur licht hierbij wordt uitgezonden.

> Uitwerkingen

64 Dopplereffect



Het dopplereffect treedt op als een stralingsbron (bv een ster) naar je toe of van je af beweegt. Het spectrum vertoont roodverschuiving als de bron van je af beweegt en blauwverschuiving als de bron naar je toe beweegt. Aan de hand van de verschuiving van een spectraallijn kan de radiële snelheid (snelheidcomponent in de kijkrichting) bepaald worden.

$v = c \cdot \Delta\lambda/\lambda$

v = radiële snelheid (ms^{-1})
c = $2{,}9979 \cdot 10^{8}$ ms^{-1}
Δλ = golflengteverschuiving (m)
λ = golflengte (m)

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ Dopplereffect

Voorbeeld
In het spectrum van een sterrenstelsel wordt een spectraallijn van waterstof die normaal bij 656 nm gemeten wordt gemeten bij 670 nm. Bereken de snelheid waarmee het sterrenstelsel van ons af beweegt.

> Uitwerkingen

65 Kernfusie & massadefect

Sterren komen aan hun energie door kernfusie waarbij bij extreem hoge temperatuur en druk in een aantal stappen waterstofkernen (H) fuseren tot een heliumkernen (He). De massa van de deeltjes die hierbij ontstaan is iets kleiner dan de oorspronkelijke massa. Het verschil in massa heet het massadefect en wordt omgezet in energie volgens de formule van Einstein

$E = m \cdot c^2$

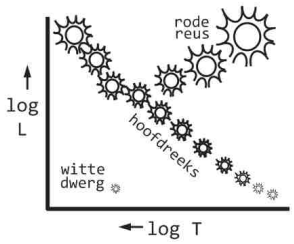
E = energie (J)
m = massaverschil (kg)
c = $2{,}99792458 \cdot 10^8$ m/s

Voorbeeld

Bereken hoeveel massa de zon per seconde verliest uitgaande van de totale lichtkracht van de zon. Je mag er hierbij de massa en energie van door de zon uitgezonden elektronen, protonen en neutrino's (de 'zonnewind') verwaarlozen.

> Uitwerkingen

66 Hertzsprung-Russeldiagram



In een HertzsprungRussel- of HR-diagram staat horizontaal de temperatuur (of kleur) van een ster en verticaal de lichtkracht (of vermogen). In het diagram wordt een sterpopulatie (grote groep sterren) weergegeven waarbij elke ster een grafiekpunt is. In het diagram kunnen de fasen van sterevolutie onderscheiden worden

De hoofdreeks loopt van linksboven naar rechtsonder. Hoofdreekssterren komen aan hun energie door H→He-omzetting (kernfusie) en doen dit het grootste deel van hun leven. Zware sterren zijn het eerst door hun H heen en worden dan rode reuzen (rechtsboven in het diagram). De zwaarste sterren sterren eindigen in een supernova-explosie, kleine sterren worden witte dwergen (linksonder) en doven langzaam uit.

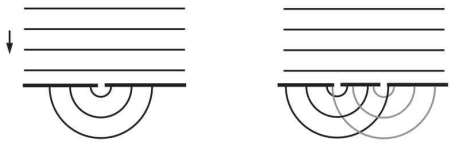
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- HertzsprungRussel
- LevensloopSterren

Voorbeeld

Een hoofdreeksster heeft een lichtkracht die 100 keer zo groot is als die van de zon. Wat is de temperatuur van deze ster? (Gebruik het HR-diagram in Binas tabel 33)

> Uitwerkingen

67 Buigingsverschijnselen



Wanneer een golf op een opening valt treedt buiging op. Hoe kleiner de opening hoe sterker dit effect. Bij twee opening naast elkaar zullen de twee golven interferentie vertonen: Er ontstaat een patroon van maxima en minima. Ook licht vertoont dit verschijnsel en licht is dus een golfverschijnsel. Een toepassing hiervan is de tralie: Een patroon van zeer dicht op elkaar staande spleten waardoor licht onder bepaalde, van de golflengte afhankelijke, hoeken α_n (n=0,1,2,3...) wordt afgebogen waarbij geldt

$d \cdot \sin \alpha_n = n \cdot \lambda$

d = tralieconstante (m)
α = hoek maximum
n = orde (0,1,2,...)
λ = golflengte (m)

Bij het dubbelspleetexperiment bleken elektronen ook interferentie te vertonen.

Dualiteit betekent dat iets zich zowel als deeltje als als golf kan gedragen. Golfverschijnselen treden op als de afmetingen van de omgeving waarin een deeltje zich bevindt klein zijn vergeleken met de golflengte.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
- GolfDeeltje
- Dubbelspleet
- Tralie

Voorbeeld
In het plaatje zie je een golf van boven op een plaat vallen met daarin twee openingen: links een kleine opening rechts een grote opening. Voorspel hoe de golf aan de andere kant van de opening verder gaat.

> Uitwerkingen

68 Brogliegolven

Een Brogliegolf is de golffunctie van een vrij quantumdeeltje. De golflengte is afhankelijk van de impuls van het deeltje (p=m·v):

$\lambda = h/(mv)$

λ = golflengte deeltje (m)
h = $6{,}62606957 \cdot 10^{-34}$ Js
m = massa (kg)
v = snelheid (m/s)

Een toepassing van brogliegolven is de elektronenmicroscoop waarbij de golflengtes van versnelde elektronen veel kleiner is dan de golflengte van licht waardoor veel kleinere structuren zichtbaar worden.

De energie van het deeltje kan uit de impuls worden afgeleid ($E = p^2/ 2m$). Bij een vrij deeltje is de energie niet gequantiseerd en kan dus alle mogelijke waarde hebben.

Golffuncties zijn bedacht om golfverschijnselen te kunnen verklaren. Pas later werd duidelijk wat de golf zelf voorstelt: De amplitude in het kwadraat ($|\Psi|^2$) bleek een maat voor de waarschijnlijkheid om een deeltje op een bepaalde plaats aan te treffen. Bij een vrij deeltje is amplitude overal gelijk en is het deeltje niet gelokaliseerd. Opgesloten deeltjes hebben een andere golffunctie waarbij de amplitude wel variëert en groter is op de plaats waar het deeltje zit opgesloten.

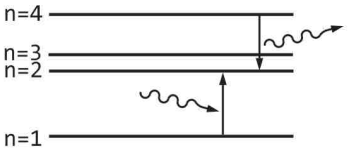
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ Brogliegolven

Voorbeeld
Bereken de brogliegolflengte van

a) Een elektron met een snelheid van $7{,}0 \cdot 10^5$ ms^{-1}.
b) Een α-deeltje met een energie van 4,2 MeV.

> Uitwerkingen

69 Energieniveaus



Een vrij deeltje kan alle mogelijke energieën hebben. Bij een opgesloten deeltje is de energie gequantiseerd. Dit betekent dat alleen bepaalde energieën zijn toegestaan. Dit komt omdat in de ruimte waar het deeltje zich bevindt alleen bepaalde golffunctie "passen". Het hoofdquantumgetal (n) is nummering waarmee deze golffuncties en energiën worden aangeduid: n=1 wordt de grondtoestand genoemd, n=2,3,4... worden aangeslagen toestanden genoemd. De toestand waarbij de energie groot genoeg is om te ontsnappen wordt het ionisatieniveau genoemd. In een energiediagram staat de energie schematisch weergegeven.

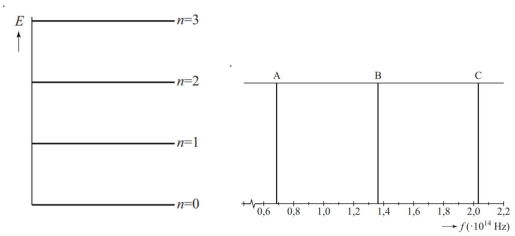
Een deeltje kan van niveau wisselen door een foton, corresponderend met het energieverschil, te absorberen of uit te zenden. Gevolg hiervan is dat alleen fotonen van bepaalde kleuren worden uitgezonden en geabsorbeerd, resulterend in een lijnenspectrum.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ Energieniveaus

Voorbeeld

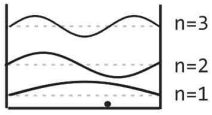
uit: vwo 2016-12 opg. 4

In de figuur links staat het energieschema voor een deeltje dat een harmonische trilling uitvoert. De 4 mogelijke energieniveaus die het deeltje kan hebben staan steeds op gelijke afstanden van elkaar. In de figuur rechts staat het bijbehorende spectrum met daarin 3 spectraallijnen. Beredeneer welke overgang hoort bij lijn B.



> Uitwerkingen

70 Energieput



Een één-dimensionale energieput of deeltje-in-een-doos is een denkbeeldige één-dimensionale ruimte met breedte L en oneindig hoge wanden. Voor deeltjes die hierin zitten opgesloten geldt dat er maar bepaalde golffuncties zijn toegestaan, namelijk diegene waarbij de amplitude bij de wand en daarbuiten 0 is. Net als bij staande golven in een snaar betekent dit dat er altijd een héél aantal halve golven in de ruimte moet passen. Voor de energieniveaus geldt

$E_n = n^2h^2/8mL^2$

E_n = energie (J)
n = niveau (1,2,3,...)
h = $6{,}62606957 \cdot 10^{-34}$ Js
m = massa deeltje (kg)
L = breedte put (m)

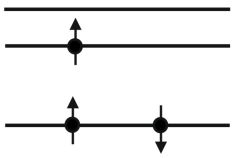
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Energieput

Voorbeeld

Een elektron zit opgesloten in een put met een breedte van 0,70 nm. Bereken de energie die nodig is voor de overgang van de grondtoestand naar de eerste aangeslagen toestand en laat zien dat dit overeenkomt met groen licht.

> Uitwerkingen

71 Uitsluitingsprincipe van Pauli



Het uitsluitingsprincipe van Pauli zegt dat quantumdeeltjes zich nooit in exact dezelfde toestand kunnen bevinden. Ze kunnen dus nooit op dezelfde tijd dezelfde plaats, impuls, energie hebben. Een van de eigenschappen van een quantumdeeltje is de 'spin'. Spin is een eigenschap die iets zegt over hoe een deeltje zich gedraagt in een extern magneetveld. Door de eigenschap spin, waarvan twee mogelijk toestanden bestaan, kunnen twee deeltjes toch dezelfde eigenschappen hebben, mits hun spin verschilt. Deeltjes die twee mogelijk spintoestanden hebben worden fermionen genoemd (oa elektronen, protonen, neutronen). Het uitsluitingsprincipe zorgt ervoor dat meer dan 2 elektronen in een atoom nooit dezelfde energietoestand kunnen bezetten.

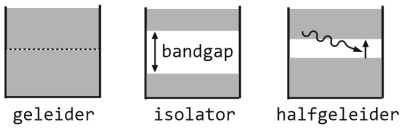
Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Pauli

Voorbeeld

In een energieput met een breedte van 2,0 nm zitten 5 elektronen opgesloten. Bereken de energie die nodig om het systeem over te laten gaan van de toestand waarbij alle elektronen in de laagst mogelijke toestand zitten naar het eerstvolgende energieniveau.

> Uitwerkingen

72 Bandenstructuur



In een vaste stof zitten atomen dicht op elkaar waardoor aangrenzende elektronen elkaar beïnvloeden. Gevolg is dat energieniveau's zó dicht op elkaar komen te liggen dat ze een aaneengesloten gebied vormen: een band. Elektronen in de valentieband zitten gebonden aan het molecuul. Elektronen in de geleidingsband kunnen zich vrij door het materiaal bewegen en waardoor in het materiaal stroom kan lopen.

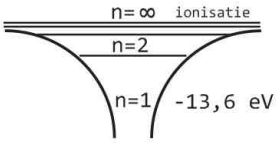
Als valentie- en geleidingsband op elkaar aansluiten kan een materiaal stroom geleiden. Als er een grote bandgap tussen de banden zit kan het materiaal geen stroom geleiden. In een halfgeleider is de bandgap zo klein dat elektronen met een klein beetje energie, afkomstig van bv licht of warmte, wel in de geleidingsband kunnen komen zodat het materiaal wel geleidend wordt. Dit wordt toepast in oa LDR's en NTC's. Bandgap-energiën van halfgeleiders staan in Binas tabel 16C.

Voorbeeld

Groen licht met een golflengte van 520 nm valt op het halfgeleider-materiaal silicium (Si). Ga na of silicium hierdoor geleidend wordt.

> Uitwerkingen

73 Waterstofatoom



Het waterstofatoom kan beschreven worden als een energieput waarin een elektron zit opgesloten. I.t.t. tot een ideale energieput zijn er een aantal verschillen die maken dat de golffuncties én de bijbehorende energieniveaus anders zijn:

- De hoogte is niet ∞
- De wanden lopen niet recht omhoog
- De put heeft 3 dimensies i.p.v. 1

Deze aspecten maken dat de golffunctie in een waterstofatoom, anders dan bij een ideale energieput, zeer ingewikkeld zijn. Voor de bij deze golffuncties horende energieniveau's geldt

$E_n = -13{,}6 / n^2$

E_n = energie t.o.v. ionisatieniveau (eV)
n = quantumgetal (1,2,3,...)

(De negatieve energie ontstaat doordat het ionisatieniveau op 0 eV gesteld is). De energieniveau's komen bij hogere n steeds dichter bij elkaar te liggen.

De bohrstraal is de breedte van de golffunctie van een elektron in de grondtoestand (n=1) in een waterstofatoom (zie BINAS tabel 7).

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ Waterstofatoom

Voorbeeld

De ionisatieenergie van een waterstofatoom in de grondtoestand is 13,6 eV. Een aangeslagen waterstofatoom is veel makkelijker te ioniseren. Bereken hoeveel energie nodig is om een waterstofatoom in de 1e aangeslagen toestand (n=2) te ioniseren.

> Uitwerkingen

74 Tunneleffect

Een deeltje dat klassiek gezien niet genoeg energie heeft om over een energiebarrière te komen heeft als quantumdeeltje dankzij het tunneleffect wél een kans om er door te komen. De golffunctie is aan de andere kant van de barrière klein maar niet 0. De waarschijnlijkheid dat een deeltje door een barrière heen tunnelt wordt groter naarmate

- De barrière ($E_{barrière}$) lager is
- De barrière minder breed is
- De energie van het deeltje hoger is

Het tunneleffect speelt o.a. een rol bij

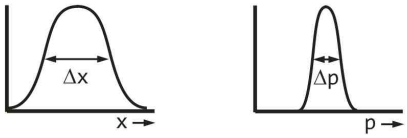
- α-verval: Klassiek gezien zou een α-deeltje nooit genoeg energie hebben om uit een atoomkern te komen. Dankzij het tunneleffect is de waarschijnlijkheid dat het α-deeltje zich buiten de kern bevindt niet nul en kan het tóch ontsnappen.
- STM: In een scanning-tunnelling-microscope wordt een oppervlak afgetast door een positief geladen naald vlak boven een metaaloppervlak. Klassiek gezien is de energiesprong die elektronen in het metaal moeten maken om naar de naald over te springen te groot. Dankzij het tunneleffect lukt dit elektronen wel.

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
▶ Tunneleffect

Voorbeeld
In Binas tabel is te zien dat bij α-verval over het algemeen geldt dat bij isotopen met een lange halveringstijd het vrijkomende α-deeltje een lage energie heeft en dat bij isotopen met een korte halveringstijd het vrijkomende α-deeltje een hoge energie heeft. Verklaar dit aan de hand van het tunneleffect.

> Uitwerkingen

75 Onzekerheidsrelatie



Volgens de onzekerheidsrelatie van Heisenberg is het onmogelijk om precies de plaats (x) en andere gegevens van een quantumdeeltje te kennen zolang sprake is van een golf. Zowel de onzekerheid in plaats (Δx) als de onzekerheid in andere gegevens kan dus nooit 0 worden. Op het moment dat de plaats wél precies bekend is houdt het quantumdeeltje op met golf zijn en moet als deeltje worden beschouwd. Volgens Heisenberg is het niet mogelijk een quantumdeeltje zowel als golf als als deeltje te beschouwen. De twee modellen om de werkelijkheid te beschrijven sluiten elkaar dus onderling uit

Videolessen natuurkundeuitgelegd.nl over dit onderwerp:
Heisenberg

Voorbeeld

Leg aan de hand van de onzekerheidsrelatie van Heisenberg uit dat je een quantumdeeltje nooit kunt 'vastpinnen'op een bepaalde plaats.

> Uitwerkingen

Uitwerking van voorbeeldopgaven

1 Grootheden & eenheden
Als we de formule omschrijven staat er

$k = F_w / v^2$

F_w is een kracht met als eenheid de Newton (N) en v is de snelheid met als eenheid ms^{-1}. De eenheid van k is dus

$[N] / [ms^{-1}]^2$

In BINAS tabel 4 vinden we dat $N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$. Uitgeschreven wordt dit

$[kg \cdot m \cdot s^{-2} / [m \cdot s^{-1}]^2$

$[kg \cdot m \cdot s^{-2} / [m^2 \cdot s^{-2}]$

Een factor m onder de deelstreep valt weg en de s^{-2} boven en onder de deelstreep vallen tegen elkaar weg. We houden over als eenheid van k

$kg\ m^{-1}$

2 Werken met formules
Uit de wet van Ohm volgt voor de stroom (I)

$I = U/R$

Wanneer we U/R invullen op de plaats van I in de formule voor elektrische vermogen krijgen we

$P = U \cdot (U/R)$

$P = U^2/R$

3 Binas & rekenmachine
Goede antwoord: 69,17414059

- Als je antwoord -73,96... is staat je rekenmachine op radialen in plaats van graden.
- Als je antwoord $6,917414059 \cdot 10^{-5}$ is heb je niet de [EXP]-toets gebruikt maar *10^-3 ingetypt.
- Als je antwoord minder cijfers achter de komma heeft staat de nauwkeurigheid niet goed ingesteld.

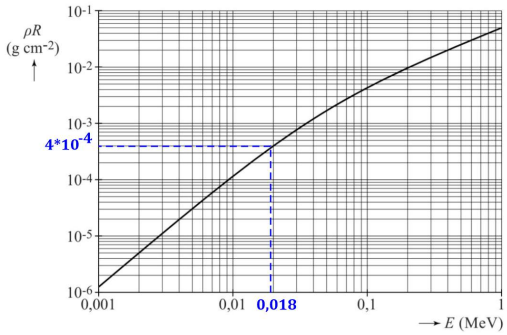
4 Significantie & meetonzekerheid
De totale lengte van de kabel wordt 12,017 m (optellen van de twee getallen). Voor het afronden moeten we er rekening mee houden dat het hier om optellen gaat. Hiervoor moeten we eerst de gegevens omzetten naar dezelfde eenheid waarbij we het aantal significante cijfer gelijk houden

12,0 m → 12,0 m
17 mm → 0,017 m

Het eerste getal heeft 1 cijfer achter de komma. Het tweede getal heeft 3 cijfers achter de komma. Dit betekent dat het eindantwoord op 1 cijfer achter de komma moeten afronden (kleinste aantal). Eindantwoord wordt dus 12,0 m.

5 Schatting en orde van grootte
In BINAS tabel 6A kun je lezen dat een (volwassen) edelhert een massa van 180 kg heeft. Een giraf is groter en in ieder geval veel langer. We schatten dat een giraf daardoor 4 keer zo grote massa heeft en komen dan op 720 kg. Wanneer we op internet zoeken vinden we massa's tussen de 400 kg en de 900 kg. Gemiddeld is dit 650 kg en onze schatting is dus van de juiste orde van grootte.

6 Grafieken & tabellen
In deze grafiek zijn zowel de x-as als de y-as logaritmisch wat het aflezen lastig maakt. Hieronder is in het blauw aangegeven hoe je de waarden afleest. 0,018 ligt tussen de streepjes van 0,01 en 0,02 (het streepje rechts hiervan). Ook de waarden tussen 0,01 en 0,02 MeV liggen zijn niet lineair verdeelt en liggen aan de kant van de 0,02 MeV veel dichter op elkaar. 0,018 MeV ligt dus vlak tegen lijn van 0,02 MeV aan. Je leest dan een waarde van $\rho R = 4 \cdot 10^{-4}$ g cm^{-2} af.



7 Verbanden
Als we de formule anders opschrijven zien we

$f = v/2\pi \cdot \sqrt{(A/L)} \cdot \sqrt{(1/V)}$

Bij het experiment zijn A, L en v constant gebleven en we kunnen dus schrijven

$f = \text{constante} \cdot \sqrt{(1/V)}$

Tussen f en $\sqrt{(1/V)}$ bestaat dus een rechtevenredig verband waarbij de constante de richtingscoëfficient is van de lijn. Deze waarde kunnen we direct aflezen uit de formule die in de grafiek staat: 3,22. Dit betekent dat

$v/2\pi \cdot \sqrt{(A/L)} = 3,22$

Omschrijven geeft

$v = 2\pi \cdot 3,22 \cdot \sqrt{(L/A)}$

Wanneer we invullen

L = 0,030 m
$A = 2,54 \cdot 10^{-4}$ m^2

vinden we

$v = 335,8674$ ms^{-1}

Afgerond op twee significante cijfers is dit een geluidssnelheid van $3,4 \cdot 10^2$ ms^{-1}.

8 Modelleren
a) In regel 5 wordt de nieuwe hoogte (y) uitgerekend. Aan de startwaarden zie je dat y is gemeten ten opzichte van de grond en dat de waarde van y dus bij elke stap moet afnemen. Dit is de oude hoogte min het stukje dat in het laatste tijdstapje is afgelegd. Dit is de snelheid die het voorwerp op dat moment heeft keer de tijdsduur van een tijdstapje (dt). Modelregel 5 wordt dus

y = y - v*dt

b) Het model moet stoppen als het voorwerp de grond raakt. Dit is als y=0. Omdat het model het vallen opdeelt in tijdstapjes is de kans groot dat het stapje waarbij y precies 0 is er niet bij zit maar dat het van bv 0,0013 m naar -0,0027 m gaat. Om te voorkomen dat het model dan niet stopt gebruiken we als stopconditie

ALS (y≤0) dan STOP

9 Bewegingsdiagrammen
0 -1 s: Horizontale lijn dus de auto staat stil

1-2 s: Geen rechte lijn dus niet eenparig

2-4 s: Recht lijn dus de beweging is eenparig. De auto legt 15 m af in 2,0 s. Snelheid is daar dus 15 m/2,0 s = 7,5 m/s

4-6 s: Geen rechte lijn dus niet eenparig

6-10 s: Rechte lijn dus de beweging is eenparig. Auto legt -35 m af in 4 s. Snelheid is daar dus -35 m/4,0 s = -8,75 m/s. Grootte van de snelheid is dus afgerond 8,8 m/s (terug).

10-11 s: Geen recht lijn dus niet eenparig.

11-12 s: Horizontale lijn dus de auto staat stil.

Grootste eenparige snelheid die bereikt wordt is dus 8,8 m/s.

10 Eenparig & versneld
Een versnelling van 1,9 ms^{-2} betekent dat de snelheid per seconde toeneemt met 1,9 ms^{-1}. Na 5,0 s is de snelheid dus toegenomen tot 5,0·1,9 = 9,5 m/s. Er geldt dus

$v_{begin} = 0\ ms^{-1}$
$v_{eind} = 9{,}5\ ms^{-1}$

Omdat het een eenparig versnelde beweging is weet je dat de snelheid regelmatig is toegenomen en dat de gemiddelde snelheid het gemiddelde is van v_{begin} en v_{eind}. De gemiddelde snelheid is dus

$v_{gem} = (9{,}5 + 0) / 2 = 4{,}75\ ms^{-1}$

Als je 5,0 s lang beweegt met gemiddeld 4,75 ms^{-1} leg je aan afstand af van

$s = v_{gem.} \cdot t$

s = 4,75·5,0 = 23,75 m

Afgerond is dit een afstand van 24 m.

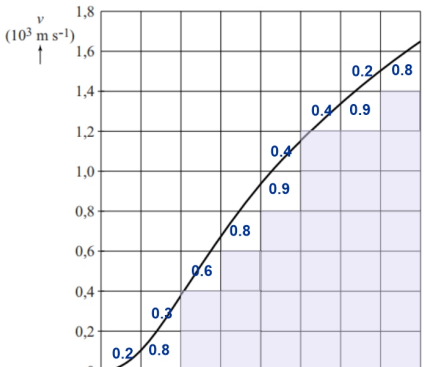
11 Raaklijn & oppervlak
De lengte van de loop is de afgelegde weg tussen t = 0 en 0,04 s. Deze kunnen we bepalen uit het oppervlak onder de v,t-grafiek dat tussen t = 0 en 0,04 s ligt (in dit geval de hele grafiek). We tellen hiervoor het aantal hokjes (zie afbeelding). Er zijn 28 hele hokjes (lichtblauw) en 11 hokjes waarvan maar een deel van het hokje onder de grafiek valt. In het blauw staat een schatting aangegeven van een hoeveelste deel van het hokje onder de grafiek ligt. Bij elkaar opgeteld is dit.

0,2+0,8+0,4+0,9+0,4+0,9+0,8+0,6+0,3+0,2+0,8 = 6,3

Bij elkaar zijn dit

28 + 6,3 = 34,3 hokjes

Een hokjes staat voor een tijd van 0,005 s en een snelheid van $0{,}2 \cdot 10^3$ m/s. Dit is een lengte van 1 m.De totale lengte van de loop is dus afgerond 34 m.



12 Krachtsoorten
a) Met de formule vinden we

$F_z = 3{,}0 \cdot 9{,}81 = 29{,}43$ N

Afgerond is dit 29 N

b) Het boek ligt stil op tafel. Dit betekent dat de normaalkracht even groot is als de zwaartekracht om deze te compenseren. De grootte van de normaalkracht is dus

0,125 · 9,81 = 1,2262N

Afgerond is dit 1,2 N.

c) Met de formule voor veerkracht (F_v) vinden we

$F_v = 45 \cdot 0{,}030 = 1{,}35$ N

Afgerond is dit 1,4 N.

d) De spankracht is op elk punt in een strak gespannen touw gelijk en werkt beide kanten op. De spankracht is dus 800 N.

13 Krachtvectoren & evenwicht
Op de wieg werkt een zwaartekracht F_z recht naar beneden. We tekenen dus eerst deze kracht naar beneden vanaf de wieg. De wieg en de veer hangen stil en zijn dus in evenwicht. Op de bovenkant van de veer moet dus een even grote kracht omhoog werken. Deze kracht is de resulterende kracht van de spankracht in de twee touwen. We tekenen dus deze twee spankrachten met een zodanige lengte dat wanneer je ze kop-staart achter elkaar zet je op deze lengte uitkomt. Wanneer je de lengte van deze pijl daarna opmeet vind je dat deze een lengte heeft die 1,6 keer zo klein is als F_z. Voor de grootte van de spankracht vinden we dan

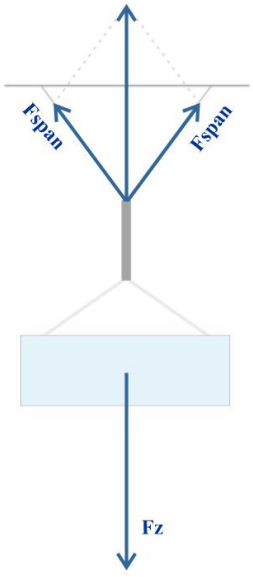
$F_{span} = F_z / 1{,}6$

$F_{span} = 12{,}2 \cdot 9{,}81 / 1{,}6$

$F_{span} = 74{,}8013$ N

Afgerond is de spankracht in ieder van de touwen dus 75 N.

(Bij dit soort opgaven is het moeilijk om het heel nauwkeurig te doen. Meestal is bij dit soort opgaven de marge vrij groot. Bij deze opgave is de marge 10 N. Je kunt hier zelf kiezen hoe lang je de pijl van F_z tekent. Door deze flink lang te tekenen wordt ook je antwoord nauwkeuriger.)



14 Ontbinden
De massa wordt versneld in de richting loodrecht op het touw maar in de richting parallel aan het touw is er evenwicht. De kracht op de massa naar het ophangpunt toe (F_{span}) is dus even groot als de kracht er vanaf ($F_{z,y}$). Dit betekent dat $F_{z,y}$ gelijk is aan 0,40 N. Uit de tekening volgt voor de hoek α_0:

$\cos \alpha_0$ = aanliggend / schuin

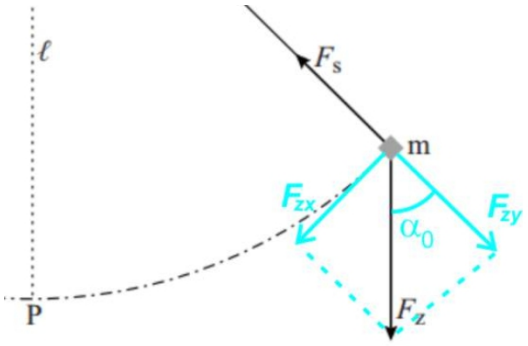
$\cos \alpha_0 = F_{z,y} / F_z$

$\cos \alpha_0 = 0{,}40 / (0{,}050 \cdot 9{,}81)$

$\cos \alpha_0 = 0{,}40 / (0{,}050 \cdot 9{,}81) = 0{,}81549$

$\alpha_0 = \cos^{-1} 0{,}81549 = 35{,}36°$

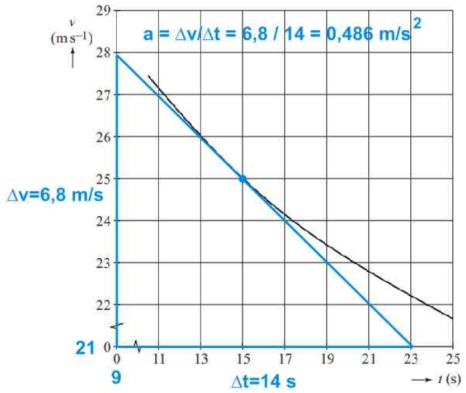
Afgerond is dit een hoek van 35°.



15 Wrijving
De snelheid van de auto verandert. Dit betekent dat er op de auto een resulterende kracht moet werken die zorgt voor de (negatieve) versnelling. Omdat de enige kracht die nog op de auto werkt wrijvingskracht is, is de resulterende kracht ook meteen de totale wrijvingskracht. Voor de resulterende kracht geldt de 2e wet van Newton ($F_{res}=m \cdot a$). We bepalen uit de grafiek dus eerst de grootte van de versnelling. In een v,t-grafiek kan dit met een raaklijn op het moment dat de snelheid 25 m/s is. (zie afbeelding). We vinden daarmee een versnelling van -0,486 ms^{-2}. We vinden dan voor de resulterende kracht

$F_{res} = 1520 \cdot 0{,}486 = 738{,}72$ N

Afgerond is de totale wrijvingskracht (luchtwrijving + rolwrijving) dus $7{,}4 \cdot 10^2$ N.



16 Wetten van Newton
Volgens de 1e wet van Newton is de snelheid constant op het moment dat er krachtenevenwicht is ($F_{res}=0$ N).

In punt A is de snelheid maximaal (vlak daarvoor en vlak daarna loopt de grafiek minder steil). Op punt A is de snelheid dus even constant en is de resulterende kracht 0 N.

In punt B is de snelheid heel even nul maar de snelheidsverandering niet. De snelheid is daar juist aan het veranderen van richting en de versnelling is daar maximaal. Dit betekent dat de resulterende kracht in B niet nul is.

In punt C is de snelheid minder groot dan in punt A maar wel constant (rechte lijn). De resulterende kracht is hier dus ook 0 N.

17 Energiesoorten
a) Als de massa zich 3,0 m boven de grond bevindt bezit deze zwaarte-energie ten opzichte van de grond. Invullen van de formule geeft

$E_z = 2{,}0 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}0 = 58{,}86$ J

Afgerond is dit een zwaarte-energie van 59 J gerekend ten opzichte van de grond.

b) Een bewegende massa bezit kinetische energie. 90 km/h is gelijk aan 25 ms^{-1}. Invullen van de formule geeft

$E_k = \frac{1}{2} \cdot 2300 \cdot (25)^2 = 7{,}188 \cdot 10^5$ J

Afgerond een kinetische energie van $7{,}2 \cdot 10^5$ J.

c) In een uitgerekte of ingedrukte veer zit veerenergie opgeslagen. Invullen van de formule geeft

$E_v = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot (0{,}04)^2 = 0{,}024$ J

18 Wet van behoud van energie
Volgens de wet van behoud van energie is de totale energie altijd onveranderlijk. De enige grafiek die constant blijft is 1 dus dit is E_{tot}.

De trampoline heeft alleen veerenergie wanneer deze is ingedrukt en de rest van de tijd (als je tijdens je sprong los bent van de trampoline) is deze 0. $E_{v,trampoline}$ is dus 5.

De elastieken zijn altijd gespannen en er is dus altijd $E_{v,elastiek}$ en deze wordt nooit 0. De elastieken zijn het sterkst uitgerekt op het laagste punt. Dit is als $E_{v,trampoline}$ maximaal is. $E_{v,elastiek}$ is dus 3.

De kinetische energie is evenredig met de snelheid. Tijdens een sprong is deze even maximaal (op weg omhoog), even 0 (hoogste punt), even maximaal (op weg naar beneden), en weer even 0 (laagste punt). De energiesoort die tijdens een sprong twee keer een maximum heeft is dus E_k. Dit is nummer 4.

Blijft over nummer 2. Dit is E_z. Deze is namelijk minimaal op het laagste punt ($E_{v,trampoline}$ is maximaal) en maximaal op het hoogste punt ($E_k=0$).

Samengevat:

- E_{tot}
- E_z
- $E_{v,elastiek}$
- E_k
- $E_{v,trampoline}$

19 Arbeid
Bij het uitrekken van de veer zijn de richting waarin de kracht wordt uitgeoefend (F) en de verplaatsing (s) steeds gelijk. Maar in de grafiek is ook te zien dat de kracht die wordt uitgeoefend niet

constant is tijdens het uitrekken. We kunnen dus niet zo maar F =90 N in de formule invullen. De arbeid is gelijk aan het oppervlak tussen de grafiek en de x-as. Dit is gelijk aan

$\frac{1}{2}\cdot 0{,}060\cdot 90 = 2{,}7$ J

Een andere manier om het uit te rekenen is aan de hand van de veerenergie die de veer heeft als de veer 6,0 cm is uitgerekt. De arbeid die nodig is geweest om de veer zo ver op te rekken is namelijk gelijk aan de veerenergie. Omdat de grafiek een rechte lijn door 0 is weten we dat dit een ideale veer is en kunnen we de veerconstante uitrekenen. Uit F= C·u volgt

$C = F/u = 90 / 0{,}06 = 1500$ Nm^{-1}

Voor de veerenergie geldt $E_v = \frac{1}{2}\cdot C\cdot u^2$ en we vinden

$E_v = \frac{1}{2}\cdot 1500\cdot(0{,}06)^2 = 2{,}7$ J

20 Vermogen
Het maximale vermogen van 0,60 kW is de optelsom van $P_{wrijving}$ en P_{hoogte}. In de grafiek moeten we dus aflezen bij welke snelheid de optelsom van $P_{wrijving}$ en P_{hoogte} gelijk is aan 600 W. We zien dat bij een snelheid van 6,5 ms^{-1} geldt $P_{wrijving}$ = 150 W en P_{hoogte} = 450 W. Bij elkaar is dit 600 W. Hij kan dit maximaal 7,5 minuten (450 s) volhouden. Met deze snelheid kan hij een afstand afleggen van

$s = v\cdot t = 6{,}5\cdot 450 = 2925$ km

Afgerond is dit 2,9 km voor de top van de berg.

21 Rendement
De geleverde energie is in dit geval de nuttige energie. Uit de formule volgt voor de verbruikte energie

$E_{verbruikt} = E_{nuttig} / \eta$

$E_{verbruikt} = 6{,}3\cdot 10^9 / 0{,}31$

$E_{verbruikt} = 2{,}0323\cdot 10^{10}$ J

Afgerond is dit $2{,}0\cdot 10^{10}$J.

22 Stookwaarde
De verbruikte energie is de chemische energie die in de benzine zit die verbruikt is tijdens de rit. De stookwaarde van benzine vinden we in Binas tabel 28B: $r_V = 33\cdot 10^9$ Jm^{-3}. Uit de formule volgt

$V = E_{ch} / r_V$

$V = 87\cdot 10^6 / 33\cdot 10^9$

$V = 0{,}002636$ m^3

In één m^3 zit 1000 liter. Omgerekend en afgerond is het verbruik dus 2,6 L.

23 Cirkelbeweging
Uit de formule volgt voor de straal (r) van de baan

$r = v_{baan}\cdot T / 2\pi$

We vullen in

$v = 14\cdot 10^3$ ms^{-1}
$T = 1{,}8934\cdot 10^8$ s (6,0 jaar)

en vinden dan

$r = 14\cdot 10^3 \cdot 1{,}8934\cdot 10^8 / 2\pi$

$r = 4{,}2189\cdot 10^{11}$ m

Omdat de ster in het midden staat van de cirkelbaan is de baanstraal is ook meteen de afstand tussen de ster en de planeet. Afgerond is dit $4{,}2\cdot 10^{11}$ m.

24 Middelpuntzoekende kracht
In Binas tabel 31 vinden we de baanstraal (r), omlooptijd (T) en massa (m) van de maan. Als eerste berekenen we de baansnelheid van de maan. De omloopstijd (27,32 d) is omgerekend $2{,}36\cdot 10^6$ s. Voor de baansnelheid vinden we dan met $v_{baan} = 2\pi\cdot r/T$

$v_{baan} = 2\pi\cdot 384{,}4\cdot 10^6 / 2{,}36\cdot 10^6$

$v_{baan} = 1023{,}4$ ms^{-1}

Vervolgens vullen in in de formule voor F_{mpz}

$m = 0{,}0735\cdot 10^{24}$ kg
$v_{baan} = 1023{,}4$ ms^{-1}
$r = 384{,}4\cdot 10^6$

$F_{mpz} = 0{,}0735\cdot 10^{24} \cdot (1023{,}4)^2 / 384{,}4\cdot 10^6$

$F_{mpz} = 2{,}0027\cdot 10^{20}$ N

Afgerond is dit een middelpuntzoekende kracht van $2{,}00\cdot 10^{20}$ N.

25 Gravitatiekracht
De massa's van de aarde en de zon vinden we in Binas tabel 31 en 32c.

$m_{aarde} = 5{,}972\cdot 10^{24}$ kg
$m_{zon} = 1{,}9884\cdot 10^{30}$ kg

De afstand tussen de planetoïde en de aarde (r_{aarde}) staat de in de opgave. De afstand tussen de planetoïde en de zon (r_{zon}) is dezelfde afstand plús de afstand aarde-zon ($0{,}1496\cdot 10^{12}$ m)

$r_{aarde} = 5{,}38\cdot 10^8$ m
$r_{zon} = 0{,}150138\cdot 10^{12}$ m

De massa van de planetoïde (m) weten we niet. Wanneer we de gravitatiekracht van de aarde op de planetoïde en van de zon op de planetoïde uitrekenen vinden we

$F_{g,aarde} = G\cdot m_{aarde}\cdot m / r_{aarde}^2$
$F_{g,zon} = G\cdot m_{zon}\cdot m / r_{zon}^2$

$F_{g,aarde} = 2{,}0\cdot 10^7\cdot G\cdot m$
$F_{g,zon} = 8{,}8\cdot 10^7\cdot G\cdot m$

De gravitatiekracht van de zon is dus veel groter dan die van de aarde.

26 Planeet- en satellietbanen
Het middelpunt van de baan van het ISS is het middelpunt van de aarde. De straal van de baan is dus de straal van de aarde (Binas tabel 31) plus de hoogte van het ISS boven het aardoppervlak. We vinden zo

$r = 6{,}371\cdot 10^6 + 408\cdot 10^3 = 6{,}779\cdot 10^6$ m

Uit de 3e wet van Kepler (bovenstaande formule) volgt voor de omlooptijd

$T^2 = 4\pi^2\cdot r^3 / GM$

We vullen in

$G = 6{,}67384\cdot 10^{-11}$ (Binas tabel 7)
$M = 5{,}972\cdot 10^{24}$ kg (Binas tabel 31)
$r = 6{,}779\cdot 10^6$ m

en vinden dan

$T^2 = 30857522$

$T = 5554{,}95$ s

Dit is een omlooptijd van 1 uur en 33 minuten.

27 Gravitatie-energie
Op 100 km boven de aarde bestaat de totale energie van de komeet uit gravitatie-energie en kinetische energie. Voor de gravitatie-energie gebruiken we bovenstaande formule. De kinetische energie berekenen we met $E_k = ½mv^2$. We vullen in

$m = 12000$ kg
$M = 5{,}972 \cdot 10^{24}$ (Binas tabel 31)
$v = 50 \cdot 10^3$ ms^{-1}
$r = 6{,}471 \cdot 10^6$ m (aardstraal + 100km)

We vinden dan

$E_{g,begin} = -7{,}39104 \cdot 10^{11}$ J

$E_{k,begin} = 1{,}5 \cdot 10^{13}$ J

De totale energie op een hoogte van 100 km is dan

$E_{tot,begin} = -7{,}39104 \cdot 10^{11} + 1{,}5 \cdot 10^{13} = 1{,}42609 \cdot 10^{13}$ J

Op het aardoppervlak aangekomen op een hoogte van 0 km is er nog maar 0,2% van deze energie. De totale energie op 0 km is dus

$E_{tot,eind} = 0{,}002 \cdot 1{,}42609 \cdot 10^{13}$ J $= 2{,}85218 \cdot 10^{10}$ J

Deze energie bestaat ook weer uit E_g en E_k. De gravitatie-energie kunnen we uitrekenen door dezelfde gegevens in te vullen met nu als massa 600 kg en als straal (r) $6{,}371 \cdot 10^6$ m (de aardstraal zónder de 100 km). We vinden dan

$E_{g,eind} = -3{,}75352 \cdot 10^{11}$ J

Voor de kinetische energie op het aardoppervlak vinden we dan

$E_{k,eind} = E_{tot,eind} - E_{g,eind}$

$E_{k,eind} = 2{,}85218 \cdot 10^{10} - -3{,}75352 \cdot 10^{11}$

$E_{k,eind} = 4{,}03874 \cdot 10^{11}$ J

Met $E_k = ½mv^2$ kunnen we dan terugrekenen wat de snelheid moet zijn op het aardoppervlak.

$v^2 = E_{k,eind} / ½m$

$v^2 = 4{,}03874 \cdot 10^{11} / ½ \cdot 6000$

$v = 1{,}1602 \cdot 10^4$ ms^{-1}

Afgerond een snelheid van 12 km/s.

28 Trillingen
De eerste keer dat de trilling door de evenwichtstand gaat in de grafiek is op t = 0,3 ms. Op t = 19,1 ms zijn er hierna 4,5 perioden verstreken. Voor de trillingstijd vinden we dan dus

$T = (19{,}1 - 0{,}3) / 4{,}5 = 4{,}17778$ ms

De frequentie kunnen we vervolgens berekenen met $f = 1/T$

$f = 1 / 4{,}17778 \cdot 10^{-3} = 239{,}362$ Hz

Afgerond is dit $2{,}4 \cdot 10^2$ Hz.

29 Fase & gereduceerde fase
De periode is 1,2 s. Dit betekent dat er na 4,8 s periodes 4 perioden verstreken zijn. Er zijn dan nog 0,2 s te gaan tot 5,0 s. Dit is precies een zesde van een hele periode. De fase na 5,0 s is dus 4 + 1/6 = 4,16667 en de gereduceerde fase is 1/6 (0,166667). Afgerond is het faseverschil t.o.v. het begin

$\Delta\varphi = 4{,}2$
$\Delta\varphi_R = 0{,}2$

We kunnen het ook berekenen aan de hand van de formule. Als we T = 1,2 s en t = 5,0 invullen vinden we:

$\Delta\varphi = \Delta t / T$

$\Delta\varphi = 5{,}0 / 1{,}2$

$\Delta\varphi = 4{,}16667$

30 Harmonische trilling
We gaan uit van bovenstaande formule voor de trillingstijd van een massa-veersysteem

$T = 2\pi \cdot \sqrt{(m/C)}$

Beide kanten kwadrateren geeft

$T^2 = 4\pi^2 \cdot m/C$

Beide kanten met C vermenigvuldigen geeft

$T^2 \cdot C = 4\pi^2 \cdot m$

Beide kanten delen door $4\pi^2$ geeft dan de formule voor m

$m = T^2 \cdot C / 4\pi^2$

Invullen van

$T = 0{,}77$ s
$C = 4{,}5 \cdot 10^3$ Nm^{-1}

geeft

$m = 67{,}5825$ kg

Afgerond is dit een massa van 68 kg.

31 Trillingsenergie
a) De hoogste snelheid wordt bereikt als de massa door de evenwichtsstand gaat en deze kunnen we uitrekenen met bovenstaande formule. We moeten hiervoor eerst de trillingstijd weten (T). Er geldt (omdat het een harmonisch trillend massa-veersysteem is)

$T = 2\pi \cdot \sqrt{(m/C)}$

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

We vullen in

$m = 2{,}0$ kg
$C = 110$ Nm^{-1}

We vinden dan T = 0,8472 s. Als we dit samen met A = 0,30 m invullen vinden we

$v_{max} = 2\pi \cdot 0{,}30 / 0{,}8472 = 2{,}2249$ ms^{-1}

Afgerond is dit een snelheid van 2,2 ms^{-1}

b) De trillingsenergie is de hoeveelheid energie die steeds wordt omgezet. In dit geval is het steeds zwaarte-energie, veerenergie en kinetische energie die elkaar afwisselen. Als de massa door de evenwichtsstand gaat is alle trillingsenergie omgezet in kinetische energie. Er geldt dan

$E_{tril} = E_k$

Voor de kinetische energie geldt

$E_k = ½m·v^2$

E_k = kinetische energie (J)
m = massa (kg)
v = snelheid (m/s)

En dus

$E_{tril} = ½·2,0·(2,2249)^2 = 4,950$ J

Afgerond is dit 5,0 J.

32 Resonantie & eigentrilling
Een snelheid van 15 km/h is gelijk aan 4,1667 ms^{-1}. Over een afstand van 2,0 m doet de scooter dan 2,0/4,1667 = 0,48 s. De scooter zal dus elke 0,48 s over een richel rijden.

De scooter gedraagt zich als een massa-veersysteem waarvoor geldt

$T = 2π·√(m/C)$

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

Als we invullen

m = 120 kg
$C = 2,05·10^4$ Nm^{-1}

vinden we

T = 0,4807 s

Dit is afgerond gelijk aan de tijd waarin de richels voorbij komen. De aandrijffrequentie (de richels) is dus gelijk aan de eigenfrequentie (de scooter zelf). Er zal dus resonantie optreden.

33 Golven
a) De waterhoogte gaat op-en-neer terwijl de golven zich loodrecht hierop richting strand bewegen. Dit is dus een transversale golf.

b) De richting waarin de golven zich door het koord verplaatsen is loodrecht op de richting waarin het koord op-en-neer bewogen is. Dit is dus een transversale golf.

c) De luchtdeeltjes worden bij het uitbreiden van de drukgolf achtereenvolgens samengedrukt en dan weer uit elkaar gedrukt. Ze komen dus steeds dichter bij elkaar en daarna verder van elkaar te zitten. De verplaatsing is hierbij in dezelfde richting als de richting waarin de drukgolf zich voortplant. Dit is dus een longitudinale golf.

34 Geluid
a) De bovenste gehoorgrens is (voor een jong gezond persoon) 20 kHz. Een toon van 25 kHz is hoger dan dit en zal dus te hoog zijn om te horen.

b) De geluidsnelheid in lucht bij 293 K is 343 ms^{-1} (Binas tabel 15A). Voor de frequentie vinden we dan met $v=f·λ$

f = 343/0,050 = 6860 Hz

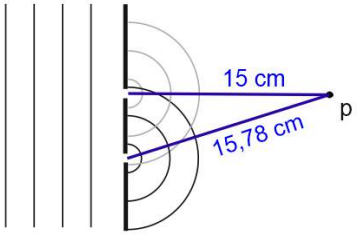
Dit zal dus hoorbaar zijn.

c) Onder water zal de golflengte van deze toon anders zijn dan de golflengte in lucht omdat de voortplantingssnelheid anders is maar... bij het horen van geluid gaat het om de frequentie waarmee het trommelvlies in het oor aan het trillen gebracht wordt en niet om de golflengte. 1500 Hz is prima hoorbaar..

35 Interferentie
Vanuit iedere opening zal de golf zich in alle richtingen uitbreiden. De afstand van de bovenste opening tot punt p is 15,0 cm. De afstand van de onderste opening tot punt p kunnen we uitrekenen met de stelling van pythagoras.

$√(15,0^2 + 4,9^2) = 15,78$ cm

Dit betekent dat de golven uit de onderste opening 0,78 cm meer moeten afleggen naar punt p dan de golven uit de bovenste opening. 0,78 cm is precies de helft van de golflengte. De golven lopen dus niet gelijk met elkaar bij aankomst in punt p en het faseverschil is gelijk aan ½. De golven zullen elkaar in punt p dus uitdoven.



36 Staande golven
De toon ontstaat doordat zich een staande golf vormt in de luchtkolom in het buisje. Als het water in het buisje zit is deze luchtkolom 28,0 cm hoog. De luchtkolom is aan de onderkant (het wateroppervlak) gesloten en aan de bovenkant (de opening) open. Het gaat hier dus om een staande golf met één gesloten uiteinde. Hiervoor geldt

$L = ¼(2n-1)·λ$

L = lengte buis (m)
n = 1,2,3,...
λ = golflengte (m)

Hieruit volgt voor de golflengte

$λ = 4·L / (2n-1)$

Voor de golflengte van de grondtoon (n=1) vinden we dan

$λ = 4·0,28 / (2·1-1)$

$λ = 1,12$ m

De frequentie kunnen we vervolgens uitrekenen met $f = v/λ$. Voor de voortplantingssnelheid nemen we hier de geluidsnelheid in lucht (343 ms^{-1}, Binas tabel 15A). We vinden dan

f = 343 / 1,12 = 306,25 Hz

Voor de golflengte van de 1e boventoon (n=2) vinden we

$λ = 4·0,28 / (2·2-1)$

$λ = 0,37333$ m

Frequentie is dan

f = 343 / 0,37333 = 918,75 Hz

Afgerond zijn de frequenties van de grondtoon en de eerste boventoon dan 306 Hz en 918 Hz.

(We hadden de frequentie van de 1e boventoon ook kunnen berekenen uit de frequentie van de grondtoon. Deze is bij een buis met één afgesloten zijde namelijk altijd 3 keer zo hoog. De volgende boventoon is 5 keer zo hoog, vervolgens 7 keer zo hoog etc...)

37 Ioniserende straling
a) In Binas tabel 19A zien we dat fotonen met een fotonenergie van 2,2 eV zichtbaar zijn (groen). Zichtbaar licht is niet ioniserend. De energie is te laag om atomen of moleculen te ioniseren.

b) In tabel 19B zien we dat elektromagnetische straling met λ=3400 nm ($3{,}4\cdot10^{-6}$ m) infrarood is. Infrarood is niet ioniserend.

c) Voor de kinetische energie van deze elektronen geldt $E_k = ½mv^2$. De massa van elektronen vinden we in Binas tabel 7. Invullen geeft

$E_k = ½\cdot9{,}1091\cdot10^{-31}\cdot(2{,}3\cdot10^6)^2$

$E_k = 2{,}4094\cdot10^{-18}$ J

Omgerekend naar eV is dit 15 eV. Deze energie is zeker hoog genoeg om atomen of moleculen te ioniseren (de ionisatieenergie van waterstof is bv 13,6 eV).

38 Halveringsdikte, röntgen & CAT
Nadat de straling door het materiaal heen is gegaan is er nog maar 10% van de oorspronkelijke hoeveelheid straling over. Dit betekent dat $I/I_0 = 0{,}10$. Uit de formule volgt dan

$½^{d/d_{½}} = 0{,}10$

Als we aan beide kanten de logaritme met grondtal ½ nemen vinden we

$d/d_{½} = {}^{½}\log 0{,}10$

Logaritme met een grondtal ½ kun je niet rechtstreeks met je rekenmachine uitrekenen. In Binas tabel 36D staat hoe je een logaritme met een ander grondtal kunt uitrekenen: ${}^{½}\log x = \log x / \log ½$ (met als log de gewone log met 10 als grondtal). We vinden dan

$d/d_{½} = \log 0{,}10 / \log ½$

$d/d_{½} = -1 / -0{,}30103$

$d/d_{½} = 3{,}32193$

$d = 3{,}32193 \cdot d_{½}$

$d = 3{,}32193 \cdot 5{,}0$ cm

d = 16,6096 cm

Afgerond is dit 17 cm.

39 Atoomkernen
a) In Binas tabel 40a vinden we dat het atoomnummer van kwik (Hg) 80 is. Het atoomnummer is gelijk aan het aantal protonen in de kern en (bij een neutraal ongeladen atoom) ook gelijk aan het aantal elektronen rond de kern. Het massagetal is het aantal protonen + neutronen in de kern. In de kern zitten dus behalve protonen ook 203-80 = 123 neutronen. Dus:

80 protonen
123 neutronen
80 elektronen

b) In Binas tabel 40a vinden we dat het atoomnummer van Tin 50 is. Dus 50 protonen in de kern en 50 elektronen eromheen. In de kern zitten ook 113-50 = 63 neutronen. Dus

50 protonen
63 neutronen
50 elektronen

c) Atoomnummer is 26 dus 26 protonen in de kern maar het aantal elektronen is hier kleiner omdat het atoom elektrische geladen is (2+) er zitten dus geen 26 maar 24 elektronen in het atoom. Aantal neutronen in de kern is 56-26=30. Dus

26 protonen
30 neutronen
24 elektronen

40 Radioactief verval
Het massagetal is met 32 omlaag gegaan (van 238 naar 206). Dit kan alleen zijn gekomen door het uitzenden van α-deeltjes (massagetal van β-deeltjes is namelijk 0). Per α-deeltje gaat het massagetal met 4 omlaag. In totaal zijn dus 32/4 = 8 α-deeltjes uitgezonden.

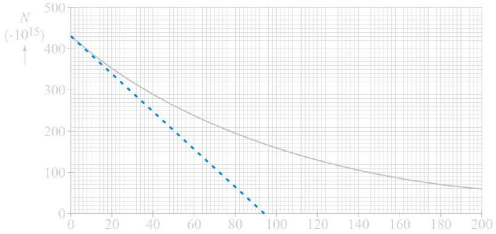
Per α-deeltje gaat het ladingsgetal met 2 omlaag. Als er alleen &alpha-deeltjes zouden zijn uitgezonden zou het ladingsgetal met 2·8 = 16 omlaag moeten zijn gegaan. Het is echter maar met 10 omlaag gegaan (U is atoomnummer 92 en Pb is atoomnummer 82). Dit betekent dat er 6 β^--deeltjes moeten zijn uitgezonden.

41 Activiteit & halvering
Om de activiteit te bepalen tekenen we een raaklijn op t=0s (zie afbeelding). We vinden dan dat de afname op t=0 gelijk is aan $430\cdot10^{15}$ kernen in 94 dagen. Activiteit is hoeveel kernen er per seconde vervallen. Voor de activiteit vinden we dan

$A = 430\cdot10^{15} / (94\cdot24\cdot60\cdot60)$

$A = 5{,}2945\cdot10^{10}$ Bq

Afgerond is dit $5{,}3\cdot10^{10}$ Bq.



42 Schadelijkheid
Po-209 is volgens Binas tabel 25 een α-straler. De energie per uitgezonden deeltje is 4,09 MeV. Dit is gelijk aan

$4{,}09\cdot10^6 \cdot 1{,}602\cdot10^{-19} = 6{,}5522\cdot10^{-13}$ J

De activiteit is 34000 Bq. Dit betekent dat er 34000 deeltjes per seconde worden uitgezonden. In een seconde is de totale uitgezonden energie dus

$34000 \cdot 6{,}5522\cdot10^{-13} = 2{,}2277\cdot10^{-8}$ J

De totale energie die door de tumor geabsorbeerd moet worden volgt uit de formule voor dosisequivalent. Als we deze omschrijven vinden we

$E = m\cdot H / w_R$

Invullen van

m = 0,075 kg
$H = 60\cdot10^{-3}$ Sv
$w_R = 20$ (want Po-209 geeft α-straling)

geeft

$E = 2{,}25\cdot10^{-4}$ J

Het aantal seconden dat de bron in het tumor moet zitten om op deze energie te komen is dus

$t = 2{,}25\cdot10^{-4} / 2{,}2277\cdot10^{-8} = 1{,}01\cdot10^4$ s.

De bron moet dus na 2,8 uur weer worden verwijderd.

43 Echografie & MRI
a) In het hoofd bedraagt de sterkte van het magneetveld 8,497 T. Voor de bijbehorende radiofrequentie vinden we dan

$f_{radio} = 42{,}58 \cdot 10^6 \cdot 8{,}497 = 3{,}61802 \cdot 10^8$ Hz

Afgerond is dit een frequentie van 361,8 MHz.

b) Door de antennes op een andere frequentie af te stemmen kunnen andere delen van het lichaam gemeten worden. Door het hele lichaam op deze manier te scannen kan een beeld van het hele lichaam opgebouwd worden waarbij per positie de aanwezigheid van waterstofkernen zichtbaar wordt.

44 PET & radiotherapie
De gegevens van alle isotopen zijn te vinden in Binas tabel 25.

a) Mg-28 vervalt via β^- verval en niet via β^+-verval en is dus niet geschikt. Voor PET zijn positronen nodig.

b) N-13 vervalt via β^+-verval en heeft een halveringstijd van 9,97 min en is dus geschikt voor PET.

c) Na-22 vervalt via β^+-verval maar zendt hierbij óók γ-straling uit. Bij PET wil je juist alleen gammastraling afkomsting van annihilatie. Bovendien is de halveringstijd te lang waardoor er nog heel lang na het onderzoek radioactief natrium in het lichaam achterblijft.

d) B-8 vervalt wel via β^+-verval maar heeft een halveringstijd van 0,770 s. In de praktijk zal alles al vervallen zijn meteen na het injecteren. B-8 is dus niet geschikt.

45 Stroom & elektrische lading
a) 0,80 A betekent 0,80 Coulomb per seconde. In een uur tijd is er door het lampje dus een totaal van

$3600 \cdot 0{,}80 = 2880$ Coulomb

gelopen. Afgerond is dit een lading van $2{,}9 \cdot 10^3$ C.

b) De lading van één elektron is $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C (Binas tabel 7: elementair ladingskwantum). Het aantal elektronen in 2880 C is dus gelijk aan

$2880 / 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 1{,}798 \cdot 10^{22}$

Afgerond zijn dit $1{,}8 \cdot 10^{22}$ elektronen.

46 Spanningsbronnen en spanning
a) Uit bovenstaande formule volgt voor het energieverschil

$\Delta E_{el} = \Delta U \cdot q$

Invullen van

$\Delta U = 30$ V
$q = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C (lading elektron)

geeft

$E_{el} = 4{,}806 \cdot 10^{-18}$ J

Het energieverschil tussen beide kanten van de weerstand is dus afgerond $4{,}8 \cdot 10^{-18}$ J. Dit betekent dat er $4{,}8 \cdot 10^{-18}$ J nodig om een elektron van de ene naar de andere kant van de weerstand te laten stromen.

b) Een stroomsterkte van 0,25 A betekent 0,25 coulomb lading per seconde. In 15 minuten (900 s) is er dus een totale stroom door de weerstand gelopen van

$q = I \cdot t = 0{,}25 \cdot 900 = 225$ C

Voor de totale energie vinden we dan

$\Delta E_{el} = 225 \cdot 30 = 6750$ J

Afgerond is er dus een energie van 6,8 kJ nodig.

47 Wet van Ohm & weerstand
a) Bij een ohmse weerstand is R constant en bij alle spanningen hetzelfde. De U,I-grafiek is dan een rechte lijn door 0. Dit is hier niet zo. Bij hogere spanningen wijkt de grafiek af van een rechte lijn.

b) De weerstand reken je uit met de wet van Ohm:$R = U/I$

De U en de I die we invullen halen we uit de grafiek. Om de invloed van meetfouten zo klein mogelijk te maken lezen we hiervoor niet één van de meetpunten af maar de lijn. Bij een spanning van 8,0 V lezen we een stroom van 400 mA af. Voor de weerstand vinden we dan

$R = 8{,}0 / 0{,}400 = 20\ \Omega$

c) Bij 20 V lezen we 850 mA af.

$R = 20 / 0{,}850 = 23{,}5294\ \Omega$

Afgerond is dit een weerstand van 24 Ω. De weerstand is dus bij grotere spanning groter dan bij kleinere spanning.

48 Serie- en parallelschakelingen
a) De weerstanden staan in serie. Dat betekent dat de vervangingsweerstand de optelsom is van de weerstanden

$R_v = 10 + 20 = 30\ \Omega$

b) De stroom vinden we door in de wet van Ohm de batterijspanning en de totale weerstand in te vullen. Hieruit volgt

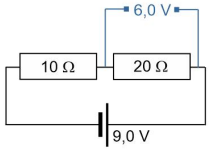
$I = U_{batt} / R_v$

$I = 9{,}0 / 30 = 0{,}30$ A

c) De stroom van 0,30 A loopt zowel door de eerste als de tweede weerstand. Er zit immers geen vertakking in de schakeling. De spanning door elk van de weerstanden vinden we weer met de wet van Ohm. Uit $U=I \cdot R$ volgt

$U_{10\,\Omega} = 0{,}30 \cdot 10 = 3{,}0$ V
$U_{20\,\Omega} = 0{,}30 \cdot 20 = 6{,}0$ V

d) Over de weerstand van 20 Ω staat een spanning van 6,0 V. De spanning van 9,0 V is dus door de twee weerstanden opgedeeld in 3,0 V en 6,0 V. De twee weerstanden werken dus als spanningsdeler. Om een spanning van 6,0 V te kunnen gebruiken moet er een aansluiting komen op de weerstand van 20 Ω (Je moet er dan wel op letten dat datgene dat je aansluit niet zelf een te kleine weerstand heeft anders beinvloedt de verdeling van de weerstand en wordt de spanning lager dan 6,0 V).



49 Soortelijke weerstand
Het oppervlak van de doorsnede van de draad (A) berekenen we met πr^2. We vinden dan

$A = \pi(\frac{1}{2} \cdot 0{,}20 \cdot 10^{-3})^2$

$A = 3{,}1416 \cdot 10^{-8}\ m^2$

Invullen van

$\rho = 17 \cdot 10^{-9}\ \Omega m$ (Binas tabel 8)
$L = 42\ m$
$A = 3{,}1416 \cdot 10^{-8}\ m^2$

geeft

$R = 22{,}727\ \Omega$

Afgerond is dit een weerstand van 23 Ω

50 Elektrisch vermogen
Als we U=I·R in vullen in de formule voor vermogen vinden we

$P = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R$

Hieruit volgt voor de stroom door de NTC

$I_{NTC} = \sqrt{(P/R)}$

$I_{NTC} = \sqrt{(2{,}0 \cdot 10^{-3} / 2{,}2 \cdot 10^{3})}$

$I_{NTC} = \sqrt{(2{,}0 \cdot 10^{-3} / 2{,}2 \cdot 10^{3})}$

$I_{NTC} = 9{,}5346 \cdot 10^{-4}\ A$

De totale weerstand van kunnen we dan uitrekenen met de wet van Ohm (R = U/I). We vinden dan

$R_{totaal} = 5{,}0 / 9{,}5346 \cdot 10^{-4}$

$R_{totaal} = 5244{,}04\ \Omega$

Dit is de totale weerstand van de NTC en weerstand R samen. Voor de waarde van weerstand R vinden we dan

$R = R_{totaal} - R_{NTC}$

$R = 5244{,}04 - 2{,}2 \cdot 10^{3}$

$R = 3044{,}04\ \Omega$

Afgerond is dit een weerstand van 3,0 kΩ.

51 Bijzondere weerstanden
a) In deze schakeling staat een LDR (Light Dependent Resistor) in serie met een stroommeter (zie BINAS tabel 16F). De weerstand van een LDR hangt af van hoeveel licht erop valt. Hoe meer licht hoe lager de weerstand. Als er veel licht op valt zal er dus meer stroom lopen en geeft de stroommeter een grotere uitslag. De stroommeter functioneert nu feitelijk als lichtmeter.

b) Deze schakeling bestaat uit twee onderling parallele takken. In elk hiervan zitten een LED (Light Emitting Diode) en een diode in serie. Zowel een LED als een diode laten stroom maar in één richting door (aangegeven door de richting van het pijltje in het symbool). Een LED straalt daarbij licht uit als er stroom door loopt. In de bovenste tak staan de LED en de diode in tegengestelde richting. Een stroom van links wordt tegengehouden door de diode, stroom van rechts wordt tegengehouden door de LED. Er zal dus nooit stroom kunnen lopen door de bovenste tak en de bovenste LED zal dus niet branden. In de onderste tak staan de LED en de diode in dezelfde richting. Hier kan een stroom naar rechts doorlopen. Stroom naar links wordt tegengehouden. De spanningsbron in deze schakeling geeft een wisselspanning. Dit betekent dat er afwisselend stroom naar de ene kant en stroom naar de andere kant zou lopen ware het niet dat er, door de LED en diodes, maar in één richting daadwerkelijk stroom kan lopen. De onderste LED zal dus maar de helft van de tijd aan zijn en dus knipperen in hetzelfde tempo als de wisselspanning. Als de frequentie van de wisselspanning hoog is zal dit knipperen te snel gaan om te zien. De onderste LED lijkt dan continu op half vermogen te branden.

c) In deze schakeling staan een NTC (Negatieve Temperatuurs Coefficient) en een Ohmse weerstand in serie. Parallel aan de Ohmse weerstand staat een lampje. Een NTC is een temperatuurgevoelige weerstand waarbij de weerstand afneemt naarmate de temperatuur toeneemt. De spanning van de spanningsbron verdeelt zich over de NTC en de weerstand+lampje. Hoe groter de weerstand hoe groter het aandeel van de spanning. Als de temperatuur toeneemt, en dus de weerstand van de NTC afneemt, neemt de weerstand+lampje een relatief groter deel van de totale weerstand voor zijn rekening. Bij stijgende temperatuur neemt de spanning over de Ohmse weerstand en het lampje dus toe en zal het lampje dus feller gaan branden.

52 Huisinstallatie
Het spanningsverschil tussen de fasedraad en de nuldraad is 230 V. De weerstand kunnen we berekenen met de wet van Ohm: R = U/I.

$R = 230 / 30 \cdot 10^{-3} = 7666{,}67\ \Omega$

De aardlekschakelaar zal dus reageren bij een lichaamsweerstand kleiner dan afgerond 7,7 kΩ. Als de lichaamsweerstand groter is zal de aardlekschakelaar niet reageren.

(In werkelijkheid zal de wasdroger óók beveiligd zijn met een aardleiding. De lekstroom zal dan via de aardleiding lopen en niet via je lichaam)

53 Lading & wet van Coulomb
De kracht rekenen we uit met bovenstaande formule. De lading van ieder van de protonen is gelijk aan +e (elementair ladingskwantum). We vullen in

$f = 8{,}98755 \cdot 10^{9}$ (constante Binas tabel 7)
$Q = 1{,}6022 \cdot 10^{-19}\ C$
$q = 1{,}6022 \cdot 10^{-19}\ C$
$r = 20 \cdot 10^{-9}\ m$

We vinden dan

$F_{el} = 5{,}7679 \cdot 10^{-13}\ N$

Afgerond is dit een kracht van $5{,}8 \cdot 10^{-13}$ N.

54 Elektrische velden
a) Veldlijnen geven altijd de richting aan die een kracht heeft op een positieve lading op die plaats. De kracht op een +lading werkt omhoog. Dus de veldlijnen wijzen ook omhoog.

b) Voor de veldsterkte geldt bovenstaande formule. De lading van het ion is 2+. Dit is een lading van twee keer e ($1{,}6022 \cdot 10^{-19}$ C). We vullen in

$F = 2{,}0 \cdot 10^{-15}\ N$
$q = 3{,}2044 \cdot 10^{-19}\ C$

en vinden dan

$E = 6241{,}14\ NC^{-1}$

Afgerond is dit een veldsterkte van $6{,}2 \cdot 10^{3}\ NC^{-1}$ met als richting recht omhoog.

c) De lading van een Cl^--ion is één keer e. Uit de formule volgt voor de kracht F = E·q. We vullen in

$E = 6241{,}14\ NC^{-1}$
$q = 1{,}6022 \cdot 10^{-19}\ C$

en vinden

$F = 1{,}0 \cdot 10^{-15}$ N

Dit is, zoals verwacht, de helft van de kracht op het Ca^{2+}-ion. De richting is recht naar beneden (tegengesteld aan de richting van de veldlijnen omdat het een negatieve lading is).

55 Spanning & energie
Uit de formule voor spanningsverschil volgt voor het verschil in elektrische energie van de elektronen vóór en na het versnellen

$\Delta E_{el} = q \cdot \Delta U$

Bij het versnellen wordt deze elektrische energie omgezet in kinetische energie. Uit de formule voor kinetische energie volgt dan

$\frac{1}{2}mv^2 = q \cdot \Delta U$

$v^2 = q \cdot \Delta U / \frac{1}{2}m$

$v = \sqrt{(q \cdot \Delta U / \frac{1}{2}m)}$

De massa en de lading van het elektron vinden we in Binas tabel 7. We vullen in

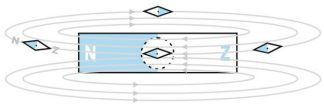
$q = 1{,}6022 \cdot 10^{-19}$ C
$\Delta U = 2{,}5 \cdot 10^{3}$ V
$m = 9{,}1094 \cdot 10^{-31}$ kg

en vinden dan

$v = 2{,}9655 \cdot 10^{7}$ ms^{-1}

Afgerond is dit een snelheid van $3{,}0 \cdot 10^{7}$ ms^{-1}.

56 Magnetische velden
Zie afbeelding hieronder. De minikompasjes richten zich met hun noordpool in de richting van het magnetische veld. De veldlijnen lopen buiten de magneet van N naar Z en binnen de magneet van Z naar N.



57 Rechterhandregel
Voor de draad gebruiken we de rechterhand regel voor draden. Als je je duim naar rechts laat wijzen wijzen je gebogen vinger rond de draad heen. Aan de bovenkant wijzen je vingers naar je toe en is het magnetische veld naar je toe gericht. Aan de onderkant van je af. Boven komen dus puntjes, onder kruisjes.

Voor de spoel gebruik je de rechterhandregel voor spoelen. De stroom loopt aan de voorkant van de spoel naar boven en aan de achterkant naar achteren. Als je de gekromde vinger van je rechterhand zo houdt dat dat je vinger bovenlangs van je af wijzen, wijst je duim naar links. Het magneetveld in de spoel is dus naar links gericht.

58 Lorentzkracht
a) Een elektron is een geladen deeltje en we gebruiken dus de formule $F_L = B \cdot q \cdot v$. De lading van een elektron vinden we in Binas tabel 7 en vullen in

$B = 0{,}15$ T
$q = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C
$v = 4{,}0 \cdot 10^{5}$ ms^{-1}

We vinden dan

$F_L = 9{,}612 \cdot 10^{-15}$ N

Afgerond een lorentzkracht van $9{,}6 \cdot 10^{-15}$ N.

b) Voor een stroomdraad gebruiken we de formule $F_L = B \cdot I \cdot L$. We vullen in

$B = 0{,}15$ T
$I = 50 \cdot 10^{-3}$ A
$L = 0{,}10$ m

We vinden dan

$F_L = 7{,}5 \cdot 10^{-4}$ N.

59 Flux & inductie
a) De magnetische veldlijnen lopen recht door de spoel heen en het is een homogeen magneetveld. We mogen dus gewoon bovenstaande formule voor de flux gebruiken. We vullen in

$A = 0{,}034$ m^2
$B = 0{,}070$ T

We vinden dan

$\Phi = 2{,}38 \cdot 10^{-3}$ Wb

b) Inductiespanning wordt alleen opgewekt als de flux verandert. Dit is hier niet zo. De spoel bevindt zich in een constant magneetveld en de flux door de spoel is dus ook constant. De gemeten inductiespanning is dus 0 V.

c) Het magneetveld verandert nu wél waardoor ook de flux door de spoel verandert. De flux gaat in 0,20 s van $2{,}38 \cdot 10^{-3}$ Wb naar 0 Wb. De fluxverandering per seconde is dus

$\Delta\Phi/\Delta t = 2{,}38 \cdot 10^{-3} / 0{,}20$

$\Delta\Phi/\Delta t = 0{,}0119$ Wb·s^{-1}

De opgewekte inductiespanning hangt niet alleen af van de fluxverandering maar ook van het aantal wikkelingen van de spoel (N). We vinden voor de opgewekte inductiespanning

$U_{ind} = 7 \cdot 0{,}0119$

$U_{ind} = 0{,}0833$ V

Afgerond is dit een spanning van 83 mV.

60 Elektromagnetisch spectrum
In Binas tabel 30E is te zien welke straling door de dampkring wordt geabsorbeerd. Radiostraling met λ tussen de 10 cm en 10m wordt niet geabsorbeerd en kan dus vanaf het aardoppervlak worden waargenomen. Zichtbaar licht en een deel van infrarood met λ≤100 µm wordt een beetje geabsorbeerd maar komt gewoon grotendeels door de dampkring heen en kan vanaf het aardoppervlak worden waargenomen. Ook microgolfstraling (λ rond de cm) komt deels nog door de dampkring heen.

Andere soorten straling worden door de dampkring geabsorbeerd en kunnen dus niet vanaf het aardoppervlak worden waargenomen.

61 Planckkrommen & wet van Wien

a) We vullen in in de wet van Wien

$k_W = 2{,}89777 \cdot 10^{-3}$ mK
T = 7000 K

en vinden dan

$\lambda_{max} = 4{,}1397 \cdot 10^{-7}$ m

Dit is omgerekend en afgerond een golflengte van 414,0 nm.

b) In Binas tabel 19A vinden we dat 414,0 nm violet licht is. De uitgezonden straling is een Planckromme die veel breder is en zich naar beide kanten uitstrekt. Daardoor zijn er ook andere kleuren licht die uitgezonden worden. De ster zal hierdoor niet violet zijn maar blauwachtig wit.

62 Kwadratenwet & Stefan-Boltzmann
De zonneconstante is de intensiteit van het zonlicht op aarde. Volgens de kwadratenwet is er een omgekeerd kwadratisch verband tussen de intensiteit (I) en de afstand (r). Een 2 keer zo kleine afstand betekent dus een 4 keer zo grote intensiteit.

63 Spectraallijnen
Voor het energieverschil tussen beide niveaus vinden we

$\Delta E = 4{,}30 - 2{,}14 = 2{,}16$ eV

Omgerekend van elektronvolt naar Joule is dit gelijk aan

$1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 2{,}16 = 3{,}26032 \cdot 10^{-19}$ J

Als we de formule voor fotonenergie omschrijven vinden we voor de golflengte

$\lambda = hc / E_f$

We vullen in

$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js
$c = 2{,}9979 \cdot 10^{8}$ m/s
$E_f = 3{,}26032 \cdot 10^{-19}$ J

We vinden dan

$\lambda = 5{,}7405 \cdot 10^{-7}$ m

Omgerekend en afgerond is dit een golflengte van 574 nm. In Binas tabel 19A zien we dat dit overeenkomt met (groen)geel licht.

64 Dopplereffect
De lijn is 14 nm verschoven. We vullen in in de formule

$c = 2{,}9979 \cdot 10^{8}$ ms^{-1}
$\Delta\lambda = 14 \cdot 10^{-9}$ m
$\lambda = 656 \cdot 10^{-9}$ m

en vinden dan

$v = 6{,}3980 \cdot 10^{6}$ ms^{-1}

Afgerond is dit $6{,}4 \cdot 10^{6}$ ms^{-1}. De lijn is in de richting van het rood (grotere golflengte) verschoven. Dit betekent dat het sterrenstelsel van ons af beweegt.

65 Kernfusie & massadefect
Het uitgezonden stralingsvermogen bedraagt $3{,}85 \cdot 10^{26}$ W (Binas tabel 32C). Per seconde ontstaat dus $3{,}85 \cdot 10^{26}$ J aan energie. Met $E=\Delta m \cdot c^2$ vinden we dan

Delta;m = $3{,}85 \cdot 10^{26} / (2{,}9979 \cdot 10^{8})^2 = 4{,}2838 \cdot 10^{9}$ kg

De zon wordt dus per seconde 4,28 miljard kilogram lichter.

66 Hertzsprung-Russeldiagram
In het HR-diagram in Binas tabel 33 staat op de y-as log ($L/L_\odot$). De lichtkracht (L) van de ster is 100 keer zo groot als die van de zon ($L_\odot$). Dit betekent dat

$L/L_\odot = 100$

$\log (L/L_\odot) = 2$

Wanneer we in Binas aflezen welke temperatuur de hoofdreeks heeft bij log ($L/L_\odot$) = 2 vinden we een waarde van 4. Op de x-as staat niet T maar de log T.

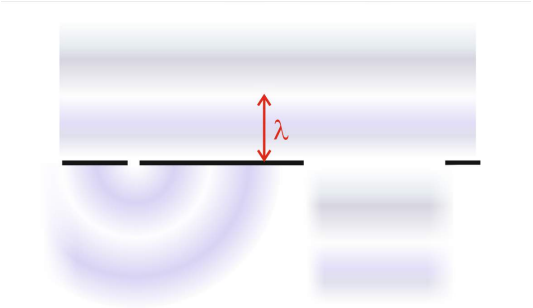
log T = 4

$T = 10^4$ K

Een hoofdreeksster van een lichtkracht van 100 keer de zon heeft dus een temperatuur van rond de 10000 K.

67 Buigingsverschijnselen
De opening links is veel kleiner dan de golflengte (λ). Dit betekent dat er buiging zal optreden en dat de golf niet gewoon alleen rechtdoor zal gaan. De golf gaat dus aan de andere kant van de opening alle kanten op. De opening rechts is veel groter dan de golflengte. Hier gaat de golf dus wel gewoon rechtdoor

(In de praktijk is de situatie niet zo zwart-wit. In het geval links zal de intensiteit die rechtdoor wordt uitgezonden wordt iets groter zijn dan de intensiteit naar de zijkanten. In het geval rechts zal er aan de randen ook een klein beetje buiging optreden.)



68 Brogliegolven
a) Invullen in bovenstaande formule van

$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ (Binas tabel 7)
$m = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg (Binas tabel 7)
$v = 7{,}0 \cdot 10^{5}$ ms^{-1}

geeft

$\lambda = 1{,}0392 \cdot 10^{-9}$ m

Afgerond is dit 1,0 nm.

b) De energie van een vrij α-deeltje is gelijk aan de kinetische energie. 4,2 MeV is gelijk aan $6{,}728 \cdot 10^{-13}$ J. De massa van een α-deeltje is 4u. Dit is $6{,}642 \cdot 10^{-27}$ kg. Voor de kinetische energie geldt $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. Hieruit volgt

$v = \sqrt{(E_k / \frac{1}{2}m)}$

$v = 1{,}4233 \cdot 10^{7}$ ms^{-1}

Invullen van de formule voor de brogliegolflengte (zie vorige vraag) geeft dan

$\lambda = 7{,}009 \cdot 10^{-15}$ m

Afgerond is dit 7,0 fm.

69 Energieniveaus
Omdat de niveaus op gelijke afstanden van elkaar liggen zijn de energiesprongen die horen bij de overgangen 0↔1, 1↔2, 2↔3 gelijk aan elkaar. Deze overgangen corresponderen met spectraallijn A. Spectraallijn B heeft een twee keer zo grote frequentie en dus ook een twee keer zo grote energie. Dit zijn dus de overgangen die horen bij een sprong van 2 niveaus. Spectraallijn B hoort dus bij de overgangen 0↔2 en 1↔3.

(Spectraallijn C hoort bij de grootste sprong die mogelijk is namelijk 0↔3.)

70 Energieput
De grondtoestand is de toestand met de laagste mogelijke energie voor het elektron (n=1). De eerste aangeslagen toestand is het energieniveau direct hierboven (n=2). De energie die nodig is voor de overgang is het verschil in energie tussen de twee niveaus:

$\Delta E = E_2 - E_1$

Uit de formule voor een energieput volgt dan

$\Delta E = (2^2 - 1^2) \cdot h^2 / 8mL^2$

$\Delta E = 3 \cdot h^2 / 8mL^2$

Invullen van

$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ (Binas tabel 7)
$m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg
$L = 0{,}70 \cdot 10^{-9}$ m

geeft

$\Delta E = 3{,}689 \cdot 10^{-19}$ J

Dit is omgerekend naar elektronVolt en afgerond gelijk aan 2,3 eV. In Binas tabel 19A kun je zien dat dit overeenkomt met groen licht.

71 Uitsluitingsprincipe van Pauli
In de energieput zitten in totaal 5 elektronen. In de laagst mogelijk energietoestand is het onderste energieniveau (n=1) bezet met 2 elektronen. Het niveau daarboven (n=2) is ook met 2 elektronen bezet. Het laatste elektron zit in zijn eentje op n=3. De elektronen op n=1 kunnen niet naar een niveau hoger omdat alles bij n=2 al gevuld is. Maar één van de elektronen van n=2 kan wel overgaan naar n=3 omdat daar nog wel een plekje over is. De energiesprong is dus gelijk aan die van n=2 naar n=3 en voor de benodigde energie vinden we dan met de formule voor een energieput

$\Delta E = E_3 - E_2$

$\Delta E = (3^2 - 2^2) \cdot h^2 / 8mL^2$

$\Delta E = 5 \cdot h^2 / 8mL^2$

Invullen van

$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ (Binas tabel 7)
$m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg
$L = 2{,}0 \cdot 10^{-9}$ m

geeft

$\Delta E = 7{,}531 \cdot 10^{-20}$ J

Dit is omgerekend naar elektronVolt en afgerond gelijk aan 0,47 eV.

72 Bandenstructuur
De fotonenergie van licht met een golflengte van 520 nm rekenen we uit met $E_f = hc/\lambda$. We vinden dan

$E_f = 6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}9979 \cdot 10^8 / 520 \cdot 10^{-9} = 3{,}820 \cdot 10^{-16}$ J

Dit is gelijk aan $3{,}820 \cdot 10^{-16} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 2{,}385$ eV. In Binas tabel 16C vinden we dat de bandgap-energie van silicum (Si) gelijk is aan 1,10 eV. De fotonen hebben dus meer dan genoeg energie om elektronen van de valentieband naar de geleidingband te brengen en silicium zal dus onder invloed van dit licht stroom geleiden.

73 Waterstofatoom
De energie in de 1e aangeslagen toestand vinden we door n=2 in te vullen in de formule

$E_2 = -13{,}6 / 2^2 = -3{,}4$ eV

De energie is gegeven ten opzichte van het ionisatieniveua (vandaar dat de energie steeds negatief is). Er is dus 3,4 eV voor nodig om een aangeslagen waterstofatoom te ioniseren.

74 Tunneleffect
Wanneer een isotoop vervalt betekent dit dat een α-deeltje uit de kern naar buiten getunneld is. Bij een lange halveringstijd betekent dit dat de tunnelkans kennelijk heel klein is. De kans dat een deeltje tunnelt hangt o.a. af van de energie van het deeltje. Hoe kleiner de energie hoe kleiner de kans dat het deeltje tunnelt. Daarom hebben de α-deeltjes bij een isotoop met een lange halveringstijd (meestal) een lagere energie dan bij isotopen met een korte halveringstijd.

75 Onzekerheidsrelatie
Als je een quantumdeeltje op een bepaalde plaats zou kunnen vasthouden, zou de plaats bekend zijn. Op dat moment houdt het quantumdeeltje op met golf zijn en is daarmee een gewoon deel = $14 \cdot 10^3$ ms^{-1}
$T = 1{,}8934 \cdot 10^8$ s (6,0 jaar)

en vinden dan

$r = 14 \cdot 10^3 \cdot 1{,}8934 \cdot 10^8 / 2\pi$

$r = 4{,}2189 \cdot 10^{11}$ m

Omdat de ster in het midden staat van de cirkelbaan is de baanstraal is ook meteen de afstand tussen de ster en de planeet. Afgerond is dit $4{,}2 \cdot 10^{11}$ m.

24 Middelpuntzoekende kracht
In Binas tabel 31 vinden we de baanstraal (r), omlooptijd (T) en massa (m) van de maan. Als eerste berekenen we de baansnelheid van de maan. De omloopstijd (27,32 d) is omgerekend $2{,}36 \cdot 10^6$ s. Voor de baansnelheid vinden we dan met $v_{baan} = 2\pi \cdot r/T$

$v_{baan} = 2\pi \cdot 384{,}4 \cdot 10^6 / 2{,}36 \cdot 10^6$

$v_{baan} = 1023{,}4$ ms^{-1}

Vervolgens vullen in in de formule voor F_{mpz}

$m = 0{,}0735 \cdot 10^{24}$ kg
$v_{baan} = 1023{,}4$ ms^{-1}
$r = 384{,}4 \cdot 10^6$

$F_{mpz} = 0{,}0735 \cdot 10^{24} \cdot (1023{,}4)^2 / 384{,}4 \cdot 10^6$

$F_{mpz} = 2{,}0027 \cdot 10^{20}$ N

Afgerond is dit een middelpuntzoekende kracht van $2{,}00 \cdot 10^{20}$ N.

25 Gravitatiekracht
De massa's van de aarde en de zon vinden we in Binas tabel 31 en 32c.

$m_{aarde} = 5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg
$m_{zon} = 1{,}9884 \cdot 10^{30}$ kg

De afstand tussen de planetoïde en de aarde (r_{aarde}) staat de in de opgave. De afstand tussen de planetoïde en de zon (r_{zon}) is dezelfde afstand plús de afstand aarde-zon ($0{,}1496 \cdot 10^{12}$ m)

$r_{aarde} = 5{,}38 \cdot 10^{8}$ m
$r_{zon} = 0{,}150138 \cdot 10^{12}$ m

De massa van de planetoïde (m) weten we niet. Wanneer we de gravitatiekracht van de aarde op de planetoïde en van de zon op de planetoïde uitrekenen vinden we

$F_{g,aarde} = G \cdot m_{aarde} \cdot m / r_{aarde}^{2}$
$F_{g,zon} = G \cdot m_{zon} \cdot m / r_{zon}^{2}$

$F_{g,aarde} = 2{,}0 \cdot 10^{7} \cdot G \cdot m$
$F_{g,zon} = 8{,}8 \cdot 10^{7} \cdot G \cdot m$

De gravitatiekracht van de zon is dus veel groter dan die van de aarde.

26 Planeet- en satellietbanen
Het middelpunt van de baan van het ISS is het middelpunt van de aarde. De straal van de baan is dus de straal van de aarde (Binas tabel 31) plus de hoogte van het ISS boven het aardoppervlak. We vinden zo

$r = 6{,}371 \cdot 10^{6} + 408 \cdot 10^{3} = 6{,}779 \cdot 10^{6}$ m

Uit de 3e wet van Kepler (bovenstaande formule) volgt voor de omlooptijd

$T^2 = 4\pi^2 \cdot r^3 / GM$

We vullen in

$G = 6{,}67384 \cdot 10^{-11}$ (Binas tabel 7)
$M = 5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg (Binas tabel 31)
$r = 6{,}779 \cdot 10^{6}$ m

en vinden dan

$T^2 = 30857522$

$T = 5554{,}95$ s

Dit is een omlooptijd van 1 uur en 33 minuten.

27 Gravitatie-energie
Op 100 km boven de aarde bestaat de totale energie van de komeet uit gravitatie-energie en kinetische energie. Voor de gravitatie-energie gebruiken we bovenstaande formule. De kinetische energie berekenen we met $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. We vullen in

$m = 12000$ kg
$M = 5{,}972 \cdot 10^{24}$ (Binas tabel 31)
$v = 50 \cdot 10^{3}$ ms^{-1}
$r = 6{,}471 \cdot 10^{6}$ m (aardstraal + 100km)

We vinden dan

$E_{g,begin} = -7{,}39104 \cdot 10^{11}$ J

$E_{k,begin} = 1{,}5 \cdot 10^{13}$ J

De totale energie op een hoogte van 100 km is dan

$E_{tot,begin} = -7{,}39104 \cdot 10^{11} + 1{,}5 \cdot 10^{13} = 1{,}42609 \cdot 10^{13}$ J

Op het aardoppervlak aangekomen op een hoogte van 0 km is er nog maar 0,2% van deze energie. De totale energie op 0 km is dus

$E_{tot,eind} = 0{,}002 \cdot 1{,}42609 \cdot 10^{13}$ J $= 2{,}85218 \cdot 10^{10}$ J

Deze energie bestaat ook weer uit E_g en E_k. De gravitatie-energie kunnen we uitrekenen door dezelfde gegevens in te vullen met nu als massa 600 kg en als straal (r) $6{,}371 \cdot 10^{6}$ m (de aardstraal zónder de 100 km). We vinden dan

$E_{g,eind} = -3{,}75352 \cdot 10^{11}$ J

Voor de kinetische energie op het aardoppervlak vinden we dan

$E_{k,eind} = E_{tot,eind} - E_{g,eind}$

$E_{k,eind} = 2{,}85218 \cdot 10^{10} - -3{,}75352 \cdot 10^{11}$

$E_{k,eind} = 4{,}03874 \cdot 10^{11}$ J

Met $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ kunnen we dan terugrekenen wat de snelheid moet zijn op het aardoppervlak.

$v^2 = E_{k,eind} / \frac{1}{2}m$

$v^2 = 4{,}03874 \cdot 10^{11} / \frac{1}{2} \cdot 6000$

$v = 1{,}1602 \cdot 10^{4}$ ms^{-1}

Afgerond een snelheid van 12 km/s.

28 Trillingen
De eerste keer dat de trilling door de evenwichtstand gaat in de grafiek is op t = 0,3 ms. Op t = 19,1 ms zijn er hierna 4,5 perioden verstreken. Voor de trillingstijd vinden we dan dus

$T = (19{,}1 - 0{,}3) / 4{,}5 = 4{,}17778$ ms

De frequentie kunnen we vervolgens berekenen met $f = 1/T$

$f = 1 / 4{,}17778 \cdot 10^{-3} = 239{,}362$ Hz

Afgerond is dit $2{,}4 \cdot 10^{2}$ Hz.

29 Fase & gereduceerde fase
De periode is 1,2 s. Dit betekent dat er na 4,8 s periodes 4 perioden verstreken zijn. Er zijn dan nog 0,2 s te gaan tot 5,0 s. Dit is precies een zesde van een hele periode. De fase na 5,0 s is dus 4 + 1/6 = 4,16667 en de gereduceerde fase is 1/6 (0,166667). Afgerond is het faseverschil t.o.v. het begin

$\Delta\varphi = 4{,}2$
$\Delta\varphi_R = 0{,}2$

We kunnen het ook berekenen aan de hand van de formule. Als we T = 1,2 s en t = 5,0 invullen vinden we:

$\Delta\varphi = \Delta t/T$

$\Delta\varphi = 5{,}0 / 1{,}2$

$\Delta\varphi = 4{,}16667$

30 Harmonische trilling
We gaan uit van bovenstaande formule voor de trillingstijd van een massa-veersysteem

$T = 2\pi \cdot \sqrt{(m/C)}$

Beide kanten kwadrateren geeft

$T^2 = 4\pi^2 \cdot m/C$

Beide kanten met C vermenigvuldigen geeft

$T^2 \cdot C = 4\pi^2 \cdot m$

Beide kanten delen door $4\pi^2$ geeft dan de formule voor m

$m = T^2 \cdot C / 4\pi^2$

Invullen van

$T = 0{,}77$ s
$C = 4{,}5 \cdot 10^3$ Nm^{-1}

geeft

$m = 67{,}5825$ kg

Afgerond is dit een massa van 68 kg.

31 Trillingsenergie
a) De hoogste snelheid wordt bereikt als de massa door de evenwichtsstand gaat en deze kunnen we uitrekenen met bovenstaande formule. We moeten hiervoor eerst de trillingstijd weten (T). Er geldt (omdat het een harmonisch trillend massa-veersysteem is)

$T = 2\pi \cdot \sqrt{(m/C)}$

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

We vullen in

$m = 2{,}0$ kg
$C = 110$ Nm^{-1}

We vinden dan $T = 0{,}8472$ s. Als we dit samen met $A = 0{,}30$ m invullen vinden we

$v_{max} = 2\pi \cdot 0{,}30 / 0{,}8472 = 2{,}2249$ ms^{-1}

Afgerond is dit een snelheid van 2,2 ms^{-1}

b) De trillingsenergie is de hoeveelheid energie die steeds wordt omgezet. In dit geval is het steeds zwaarte-energie, veerenergie en kinetische energie die elkaar afwisselen. Als de massa door de evenwichtsstand gaat is alle trillingsenergie omgezet in kinetische energie. Er geldt dan

$E_{tril} = E_k$

Voor de kinetische energie geldt

$E_k = \frac{1}{2}m \cdot v^2$

E_k = kinetische energie (J)
m = massa (kg)
v = snelheid (m/s)

En dus

$E_{tril} = \frac{1}{2} \cdot 2{,}0 \cdot (2{,}2249)^2 = 4{,}950$ J

Afgerond is dit 5,0 J.

32 Resonantie & eigentrilling
Een snelheid van 15 km/h is gelijk aan 4,1667 ms^{-1}. Over een afstand van 2,0 m doet de scooter dan 2,0/4,1667 = 0,48 s. De scooter zal dus elke 0,48 s over een richel rijden.

De scooter gedraagt zich als een massa-veersysteem waarvoor geldt

$T = 2\pi \cdot \sqrt{(m/C)}$

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

Als we invullen

$m = 120$ kg
$C = 2{,}05 \cdot 10^4$ Nm^{-1}

vinden we

$T = 0{,}4807$ s

Dit is afgerond gelijk aan de tijd waarin de richels voorbij komen. De aandrijffrequentie (de richels) is dus gelijk aan de eigenfrequentie (de scooter zelf). Er zal dus resonantie optreden.

33 Golven
a) De waterhoogte gaat op-en-neer terwijl de golven zich loodrecht hierop richting strand bewegen. Dit is dus een transversale golf.

b) De richting waarin de golven zich door het koord verplaatsen is loodrecht op de richting waarin het koord op-en-neer bewogen is. Dit is dus een transversale golf.

c) De luchtdeeltjes worden bij het uitbreiden van de drukgolf achtereenvolgens samengedrukt en dan weer uit elkaar gedrukt. Ze komen dus steeds dichter bij elkaar en daarna verder van elkaar te zitten. De verplaatsing is hierbij in dezelfde richting als de richting waarin de drukgolf zich voortplant. Dit is dus een longitudinale golf.

34 Geluid
a) De bovenste gehoorgrens is (voor een jong gezond persoon) 20 kHz. Een toon van 25 kHz is hoger dan dit en zal dus te hoog zijn om te horen.

b) De geluidsnelheid in lucht bij 293 K is 343 ms^{-1} (Binas tabel 15A). Voor de frequentie vinden we dan met $v = f \cdot \lambda$

$f = 343/0{,}050 = 6860$ Hz

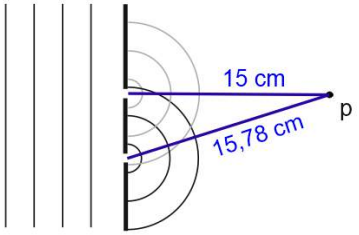
Dit zal dus hoorbaar zijn.

c) Onder water zal de golflengte van deze toon anders zijn dan de golflengte in lucht omdat de voortplantingssnelheid anders is maar... bij het horen van geluid gaat het om de frequentie waarmee het trommelvlies in het oor aan het trillen gebracht wordt en niet om de golflengte. 1500 Hz is prima hoorbaar..

35 Interferentie
Vanuit iedere opening zal de golf zich in alle richtingen uitbreiden. De afstand van de bovenste opening tot punt p is 15,0 cm. De afstand van de onderste opening tot punt p kunnen we uitrekenen met de stelling van pythagoras.

$\sqrt{(15{,}0^2 + 4{,}9^2)} = 15{,}78$ cm

Dit betekent dat de golven uit de onderste opening 0,78 cm meer moeten afleggen naar punt p dan de golven uit de bovenste opening. 0,78 cm is precies de helft van de golflengte. De golven lopen dus niet gelijk met elkaar bij aankomst in punt p en het faseverschil is gelijk aan ½. De golven zullen elkaar in punt p dus uitdoven.



36 Staande golven
De toon ontstaat doordat zich een staande golf vormt in de luchtkolom in het buisje. Als het water in het buisje zit is deze luchtkolom 28,0 cm hoog. De luchtkolom is aan de onderkant (het wateroppervlak) gesloten en aan de bovenkant (de opening) open. Het gaat hier dus om een staande golf met één gesloten uiteinde. Hiervoor geldt

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

L = lengte buis (m)
n = 1,2,3,...
λ = golflengte (m)

Hieruit volgt voor de golflengte

$\lambda = 4\cdot L / (2n-1)$

Voor de golflengte van de grondtoon (n=1) vinden we dan

$\lambda = 4\cdot 0{,}28 / (2\cdot 1-1)$

$\lambda = 1{,}12$ m

De frequentie kunnen we vervolgens uitrekenen met $f = v/\lambda$. Voor de voortplantingssnelheid nemen we hier de geluidsnelheid in lucht ($343\ ms^{-1}$, Binas tabel 15A). We vinden dan

$f = 343 / 1{,}12 = 306{,}25$ Hz

Voor de golflengte van de 1e boventoon (n=2) vinden we

$\lambda = 4\cdot 0{,}28 / (2\cdot 2-1)$

$\lambda = 0{,}37333$ m

Frequentie is dan

$f = 343 / 0{,}37333 = 918{,}75$ Hz

Afgerond zijn de frequenties van de grondtoon en de eerste boventoon dan 306 Hz en 918 Hz.

(We hadden de frequentie van de 1e boventoon ook kunnen berekenen uit de frequentie van de grondtoon. Deze is bij een buis met één afgesloten zijde namelijk altijd 3 keer zo hoog. De volgende boventoon is 5 keer zo hoog, vervolgens 7 keer zo hoog etc...)

37 Ioniserende straling

a) In Binas tabel 19A zien we dat fotonen met een fotonenergie van 2,2 eV zichtbaar zijn (groen). Zichtbaar licht is niet ioniserend. De energie is te laag om atomen of moleculen te ioniseren.

b) In tabel 19B zien we dat elektromagnetische straling met λ=3400 nm ($3{,}4\cdot 10^{-6}$ m) infrarood is. Infrarood is niet ioniserend.

c) Voor de kinetische energie van deze elektronen geldt $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. De massa van elektronen vinden we in Binas tabel 7. Invullen geeft

$E_k = \frac{1}{2}\cdot 9{,}1091\cdot 10^{-31}\cdot(2{,}3\cdot 10^{6})^2$

$E_k = 2{,}4094\cdot 10^{-18}$ J

Omgerekend naar eV is dit 15 eV. Deze energie is zeker hoog genoeg om atomen of moleculen te ioniseren (de ionisatieenergie van waterstof is bv 13,6 eV).

38 Halveringsdikte, röntgen & CAT

Nadat de straling door het materiaal heen is gegaan is er nog maar 10% van de oorspronkelijke hoeveelheid straling over. Dit betekent dat $I/I_0 = 0{,}10$. Uit de formule volgt dan

$\frac{1}{2}^{d/d_{\frac{1}{2}}} = 0{,}10$

Als we aan beide kanten de logaritme met grondtal ½ nemen vinden we

$d/d_{\frac{1}{2}} = {}^{\frac{1}{2}}\log 0{,}10$

Logaritme met een grondtal ½ kun je niet rechtstreeks met je rekenmachine uitrekenen. In Binas tabel 36D staat hoe je een logaritme met een ander grondtal kunt uitrekenen: ${}^{\frac{1}{2}}\log x = \log x / \log \frac{1}{2}$ (met als log de gewone log met 10 als grondtal). We vinden dan

$d/d_{\frac{1}{2}} = \log 0{,}10 / \log \frac{1}{2}$

$d/d_{\frac{1}{2}} = -1 / -0{,}30103$

$d/d_{\frac{1}{2}} = 3{,}32193$

$d = 3{,}32193 \cdot d_{\frac{1}{2}}$

$d = 3{,}32193 \cdot 5{,}0$ cm

$d = 16{,}6096$ cm

Afgerond is dit 17 cm.

39 Atoomkernen

a) In Binas tabel 40a vinden we dat het atoomnummer van kwik (Hg) 80 is. Het atoomnummer is gelijk aan het aantal protonen in de kern en (bij een neutraal ongeladen atoom) ook gelijk aan het aantal elektronen rond de kern. Het massagetal is het aantal protonen + neutronen in de kern. In de kern zitten dus behalve protonen ook 203-80 = 123 neutronen. Dus:

80 protonen
123 neutronen
80 elektronen

b) In Binas tabel 40a vinden we dat het atoomnummer van Tin 50 is. Dus 50 protonen in de kern en 50 elektronen eromheen. In de kern zitten ook 113-50 = 63 neutronen. Dus

50 protonen
63 neutronen
50 elektronen

c) Atoomnummer is 26 dus 26 protonen in de kern maar het aantal elektronen is hier kleiner omdat het atoom elektrische geladen is (2+) er zitten dus geen 26 maar 24 elektronen in het atoom. Aantal neutronen in de kern is 56-26=30. Dus

26 protonen
30 neutronen
24 elektronen

40 Radioactief verval

Het massagetal is met 32 omlaag gegaan (van 238 naar 206). Dit kan alleen zijn gekomen door het uitzenden van α-deeltjes (massagetal van β-deeltjes is namelijk 0). Per α-deeltje gaat het massagetal met 4 omlaag. In totaal zijn dus 32/4 = 8 α-deeltjes uitgezonden.

Per α-deeltje gaat het ladingsgetal met 2 omlaag. Als er alleen &alpha-deeltjes zouden zijn uitgezonden zou het ladingsgetal met 2·8 = 16 omlaag moeten zijn gegaan. Het is echter maar met 10 omlaag gegaan (U is atoomnummer 92 en Pb is atoomnummer 82). Dit betekent dat er 6 β^--deeltjes moeten zijn uitgezonden.

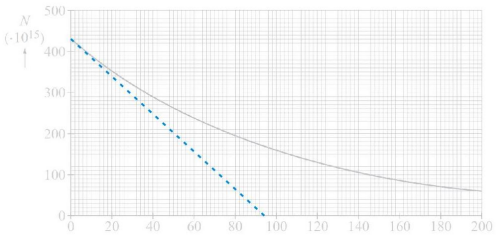
41 Activiteit & halvering

Om de activiteit te bepalen tekenen we een raaklijn op t=0s (zie afbeelding). We vinden dan dat de afname op t=0 gelijk is aan $430\cdot 10^{15}$ kernen in 94 dagen. Activiteit is hoeveel kernen er per seconde vervallen. Voor de activiteit vinden we dan

$A = 430\cdot 10^{15} / (94\cdot 24\cdot 60\cdot 60)$

$A = 5{,}2945\cdot 10^{10}$ Bq

Afgerond is dit $5{,}3\cdot 10^{10}$ Bq.



42 Schadelijkheid
Po-209 is volgens Binas tabel 25 een α-straler. De energie per uitgezonden deeltje is 4,09 MeV. Dit is gelijk aan

$4{,}09 \cdot 10^{6} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 6{,}5522 \cdot 10^{-13}$ J

De activiteit is 34000 Bq. Dit betekent dat er 34000 deeltjes per seconde worden uitgezonden. In een seconde is de totale uitgezonden energie dus

$34000 \cdot 6{,}5522 \cdot 10^{-13} = 2{,}2277 \cdot 10^{-8}$ J

De totale energie die door de tumor geabsorbeerd moet worden volgt uit de formule voor dosisequivalent. Als we deze omschrijven vinden we

$E = m \cdot H / w_R$

Invullen van

m = 0,075 kg
$H = 60 \cdot 10^{-3}$ Sv
$w_R = 20$ (want Po-209 geeft α-straling)

geeft

$E = 2{,}25 \cdot 10^{-4}$ J

Het aantal seconden dat de bron in het tumor moet zitten om op deze energie te komen is dus

$t = 2{,}25 \cdot 10^{-4} / 2{,}2277 \cdot 10^{-8} = 1{,}01 \cdot 10^{4}$ s.

De bron moet dus na 2,8 uur weer worden verwijderd.

43 Echografie & MRI
a) In het hoofd bedraagt de sterkte van het magneetveld 8,497 T. Voor de bijbehorende radiofrequentie vinden we dan

$f_{radio} = 42{,}58 \cdot 10^{6} \cdot 8{,}497 = 3{,}61802 \cdot 10^{8}$ Hz

Afgerond is dit een frequentie van 361,8 MHz.

b) Door de antennes op een andere frequentie af te stemmen kunnen andere delen van het lichaam gemeten worden. Door het hele lichaam op deze manier te scannen kan een beeld van het hele lichaam opgebouwd worden waarbij per positie de aanwezigheid van waterstofkernen zichtbaar wordt.

44 PET & radiotherapie
De gegevens van alle isotopen zijn te vinden in Binas tabel 25.

a) Mg-28 vervalt via β^- verval en niet via β^+-verval en is dus niet geschikt. Voor PET zijn positronen nodig.

b) N-13 vervalt via β^+-verval en heeft een halveringstijd van 9,97 min en is dus geschikt voor PET.

c) Na-22 vervalt via β^+-verval maar zendt hierbij óók γ-straling uit. Bij PET wil je juist alleen gammastraling afkomsting van annihilatie. Bovendien is de halveringstijd te lang waardoor er nog heel lang na het onderzoek radioactief natrium in het lichaam achterblijft.

d) B-8 vervalt wel via β^+-verval maar heeft een halveringstijd van 0,770 s. In de praktijk zal alles al vervallen zijn meteen na het injecteren. B-8 is dus niet geschikt.

45 Stroom & elektrische lading
a) 0,80 A betekent 0,80 Coulomb per seconde. In een uur tijd is er door het lampje dus een totaal van

$3600 \cdot 0{,}80 = 2880$ Coulomb

gelopen. Afgerond is dit een lading van $2{,}9 \cdot 10^{3}$ C.

b) De lading van één elektron is $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C (Binas tabel 7: elementair ladingskwantum). Het aantal elektronen in 2880 C is dus gelijk aan

$2880 / 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 1{,}798 \cdot 10^{22}$

Afgerond zijn dit $1{,}8 \cdot 10^{22}$ elektronen.

46 Spanningsbronnen en spanning
a) Uit bovenstaande formule volgt voor het energieverschil

$\Delta E_{el} = \Delta U \cdot q$

Invullen van

$\Delta U = 30$ V
$q = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C (lading elektron)

geeft

$E_{el} = 4{,}806 \cdot 10^{-18}$ J

Het energieverschil tussen beide kanten van de weerstand is dus afgerond $4{,}8 \cdot 10^{-18}$ J. Dit betekent dat er $4{,}8 \cdot 10^{-18}$ J nodig om een elektron van de ene naar de andere kant van de weerstand te laten stromen.

b) Een stroomsterkte van 0,25 A betekent 0,25 coulomb lading per seconde. In 15 minuten (900 s) is er dus een totale stroom door de weerstand gelopen van

$q = I \cdot t = 0{,}25 \cdot 900 = 225$ C

Voor de totale energie vinden we dan

$\Delta E_{el} = 225 \cdot 30 = 6750$ J

Afgerond is er dus een energie van 6,8 kJ nodig.

47 Wet van Ohm & weerstand
a) Bij een ohmse weerstand is R constant en bij alle spanningen hetzelfde. De U,I-grafiek is dan een rechte lijn door 0. Dit is hier niet zo. Bij hogere spanningen wijkt de grafiek af van een rechte lijn.

b) De weerstand reken je uit met de wet van Ohm:R = U/I

De U en de I die we invullen halen we uit de grafiek. Om de invloed van meetfouten zo klein mogelijk te maken lezen we hiervoor niet één van de meetpunten af maar de lijn. Bij een spanning van 8,0 V lezen we een stroom van 400 mA af. Voor de weerstand vinden we dan

$R = 8{,}0 / 0{,}400 = 20\ \Omega$

c) Bij 20 V lezen we 850 mA af.

$R = 20 / 0{,}850 = 23{,}5294\ \Omega$

Afgerond is dit een weerstand van 24 Ω. De weerstand is dus bij grotere spanning groter dan bij kleinere spanning.

48 Serie- en parallelschakelingen
a) De weerstanden staan in serie. Dat betekent dat de vervangingsweerstand de optelsom is van de weerstanden

$R_v = 10 + 20 = 30\ \Omega$

b) De stroom vinden we door in de wet van Ohm de batterijspanning en de totale weerstand in te vullen. Hieruit volgt

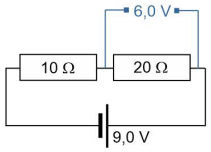
$I = U_{batt} / R_v$

$I = 9,0 / 30 = 0,30$ A

c) De stroom van 0,30 A loopt zowel door de eerste als de tweede weerstand. Er zit immers geen vertakking in de schakeling. De spanning door elk van de weerstanden vinden we weer met de wet van Ohm. Uit $U=I \cdot R$ volgt

$U_{10\ \Omega} = 0,30 \cdot 10 = 3,0$ V
$U_{20\ \Omega} = 0,30 \cdot 20 = 6,0$ V

d) Over de weerstand van 20 Ω staat een spanning van 6,0 V. De spanning van 9,0 V is dus door de twee weerstanden opgedeeld in 3,0 V en 6,0 V. De twee weerstanden werken dus als spanningsdeler. Om een spanning van 6,0 V te kunnen gebruiken moet er een aansluiting komen op de weerstand van 20 Ω (Je moet er dan wel op letten dat datgene dat je aansluit niet zelf een te kleine weerstand heeft anders beinvloedt de verdeling van de weerstand en wordt de spanning lager dan 6,0 V).



49 Soortelijke weerstand
Het oppervlak van de doorsnede van de draad (A) berekenen we met πr^2. We vinden dan

$A = \pi(½ \cdot 0,20 \cdot 10^{-3})^2$

$A = 3,1416 \cdot 10^{-8}$ m^2

Invullen van

$\rho = 17 \cdot 10^{-9}$ Ωm (Binas tabel 8)
$L = 42$ m
$A = 3,1416 \cdot 10^{-8}$ m^2

geeft

$R = 22,727$ Ω

Afgerond is dit een weerstand van 23 Ω

50 Elektrisch vermogen
Als we $U=I \cdot R$ in vullen in de formule voor vermogen vinden we

$P = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R$

Hieruit volgt voor de stroom door de NTC

$I_{NTC} = \sqrt{(P/R)}$

$I_{NTC} = \sqrt{(2,0 \cdot 10^{-3} / 2,2 \cdot 10^{3})}$

$I_{NTC} = \sqrt{(2,0 \cdot 10^{-3} / 2,2 \cdot 10^{3})}$

$I_{NTC} = 9,5346 \cdot 10^{-4}$ A

De totale weerstand van kunnen we dan uitrekenen met de wet van Ohm ($R = U/I$). We vinden dan

$R_{totaal} = 5,0 / 9,5346 \cdot 10^{-4}$

$R_{totaal} = 5244,04$ Ω

Dit is de totale weerstand van de NTC en weerstand R samen. Voor de waarde van weerstand R vinden we dan

$R = R_{totaal} - R_{NTC}$

$R = 5244,04 - 2,2 \cdot 10^3$

$R = 3044,04$ Ω

Afgerond is dit een weerstand van 3,0 kΩ.

51 Bijzondere weerstanden
a) In deze schakeling staat een LDR (Light Dependent Resistor) in serie met een stroommeter (zie BINAS tabel 16F). De weerstand van een LDR hangt af van hoeveel licht erop valt. Hoe meer licht hoe lager de weerstand. Als er veel licht op valt zal er dus meer stroom lopen en geeft de stroommeter een grotere uitslag. De stroommeter functioneert nu feitelijk als lichtmeter.

b) Deze schakeling bestaat uit twee onderling parallele takken. In elk hiervan zitten een LED (Light Emitting Diode) en een diode in serie. Zowel een LED als een diode laten stroom maar in één richting door (aangegeven door de richting van het pijltje in het symbool). Een LED straalt daarbij licht uit als er stroom door loopt. In de bovenste tak staan de LED en de diode in tegengestelde richting. Een stroom van links wordt tegengehouden door de diode, stroom van rechts wordt tegengehouden door de LED. Er zal dus nooit stroom kunnen lopen door de bovenste tak en de bovenste LED zal dus niet branden. In de onderste tak staan de LED en de diode in dezelfde richting. Hier kan een stroom naar rechts doorlopen. Stroom naar links wordt tegengehouden. De spanningsbron in deze schakeling geeft een wisselspanning. Dit betekent dat er afwisselend stroom naar de ene kant en stroom naar de andere kant zou lopen ware het niet dat er, door de LED en diodes, maar in één richting daadwerkelijk stroom kan lopen. De onderste LED zal dus maar de helft van de tijd aan zijn en dus knipperen in hetzelfde tempo als de wisselspanning. Als de frequentie van de wisselspanning hoog is zal dit knipperen te snel gaan om te zien. De onderste LED lijkt dan continu op half vermogen te branden.

c) In deze schakeling staan een NTC (Negatieve Temperatuurs Coefficient) en een Ohmse weerstand in serie. Parallel aan de Ohmse weerstand staat een lampje. Een NTC is een temperatuurgevoelige weerstand waarbij de weerstand afneemt naarmate de temperatuur toeneemt. De spanning van de spanningsbron verdeelt zich over de NTC en de weerstand+lampje. Hoe groter de weerstand hoe groter het aandeel van de spanning. Als de temperatuur toeneemt, en dus de weerstand van de NTC afneemt, neemt de weerstand+lampje een relatief groter deel van de totale weerstand voor zijn rekening. Bij stijgende temperatuur neemt de spanning over de Ohmse weerstand en het lampje dus toe en zal het lampje dus feller gaan branden.

52 Huisinstallatie
Het spanningsverschil tussen de fasedraad en de nuldraad is 230 V. De weerstand kunnen we berekenen met de wet van Ohm: $R = U/I$.

$R = 230 / 30 \cdot 10^{-3} = 7666,67$ Ω

De aardlekschakelaar zal dus reageren bij een lichaamsweerstand kleiner dan afgerond 7,7 kΩ. Als de lichaamsweerstand groter is zal de aardlekschakelaar niet reageren.

(In werkelijkheid zal de wasdroger óók beveiligd zijn met een aardleiding. De lekstroom zal dan via de aardleiding lopen en niet via je lichaam)

53 Lading & wet van Coulomb
De kracht rekenen we uit met bovenstaande formule. De lading van ieder van de protonen is gelijk aan +e (elementair ladingskwantum). We vullen in

$f = 8,98755 \cdot 10^9$ (constante Binas tabel 7)
$Q = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ C
$q = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ C

$r = 20 \cdot 10^{-9}$ m

We vinden dan

$F_{el} = 5{,}7679 \cdot 10^{-13}$ N

Afgerond is dit een kracht van $5{,}8 \cdot 10^{-13}$ N.

54 Elektrische velden
a) Veldlijnen geven altijd de richting aan die een kracht heeft op een positieve lading op die plaats. De kracht op een +lading werkt omhoog. Dus de veldlijnen wijzen ook omhoog.

b) Voor de veldsterkte geldt bovenstaande formule. De lading van het ion is 2+. Dit is een lading van twee keer e ($1{,}6022 \cdot 10^{-19}$ C). We vullen in

$F = 2{,}0 \cdot 10^{-15}$ N
$q = 3{,}2044 \cdot 10^{-19}$ C

en vinden dan

$E = 6241{,}14$ NC^{-1}

Afgerond is dit een veldsterkte van $6{,}2 \cdot 10^{3}$ NC^{-1} met als richting recht omhoog.

c) De lading van een Cl^--ion is één keer e. Uit de formule volgt voor de kracht $F = E \cdot q$. We vullen in

$E = 6241{,}14$ NC^{-1}
$q = 1{,}6022 \cdot 10^{-19}$ C

en vinden

$F = 1{,}0 \cdot 10^{-15}$ N

Dit is, zoals verwacht, de helft van de kracht op het Ca^{2+}-ion. De richting is recht naar beneden (tegengesteld aan de richting van de veldlijnen omdat het een negatieve lading is).

55 Spanning & energie
Uit de formule voor spanningsverschil volgt voor het verschil in elektrische energie van de elektronen vóór en na het versnellen

$\Delta E_{el} = q \cdot \Delta U$

Bij het versnellen wordt deze elektrische energie omgezet in kinetische energie. Uit de formule voor kinetische energie volgt dan

$\frac{1}{2}mv^2 = q \cdot \Delta U$

$v^2 = q \cdot \Delta U / \frac{1}{2}m$

$v = \sqrt{(q \cdot \Delta U / \frac{1}{2}m)}$

De massa en de lading van het elektron vinden we in Binas tabel 7. We vullen in

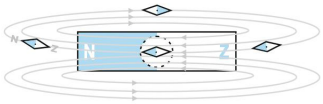
$q = 1{,}6022 \cdot 10^{-19}$ C
$\Delta U = 2{,}5 \cdot 10^{3}$ V
$m = 9{,}1094 \cdot 10^{-31}$ kg

en vinden dan

$v = 2{,}9655 \cdot 10^{7}$ ms^{-1}

Afgerond is dit een snelheid van $3{,}0 \cdot 10^{7}$ ms^{-1}.

56 Magnetische velden
Zie afbeelding hieronder. De minikompasjes richten zich met hun noordpool in de richting van het magnetische veld. De veldlijnen lopen buiten de magneet van N naar Z en binnen de magneet van Z naar N.



57 Rechterhandregel
Voor de draad gebruiken we de rechterhand regel voor draden. Als je je duim naar rechts laat wijzen wijzen je gebogen vinger rond de draad heen. Aan de bovenkant wijzen je vingers naar je toe en is het magnetische veld naar je toe gericht. Aan de onderkant van je af. Boven komen dus puntjes, onder kruisjes.

Voor de spoel gebruik je de rechterhandregel voor spoelen. De stroom loopt aan de voorkant van de spoel naar boven en aan de achterkant naar achteren. Als je de gekromde vinger van je rechterhand zo houdt dat dat je vinger bovenlangs van je af wijzen, wijst je duim naar links. Het magneetveld in de spoel is dus naar links gericht.

58 Lorentzkracht
a) Een elektron is een geladen deeltje en we gebruiken dus de formule $F_L = B \cdot q \cdot v$. De lading van een elektron vinden we in Binas tabel 7 en vullen in

$B = 0{,}15$ T
$q = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C
$v = 4{,}0 \cdot 10^{5}$ ms^{-1}

We vinden dan

$F_L = 9{,}612 \cdot 10^{-15}$ N

Afgerond een lorentzkracht van $9{,}6 \cdot 10^{-15}$ N.

b) Voor een stroomdraad gebruiken we de formule $F_L = B \cdot I \cdot L$. We vullen in

$B = 0{,}15$ T
$I = 50 \cdot 10^{-3}$ A
$L = 0{,}10$ m

We vinden dan

$F_L = 7{,}5 \cdot 10^{-4}$ N.

59 Flux & inductie
a) De magnetische veldlijnen lopen recht door de spoel heen en het is een homogeen magneetveld. We mogen dus gewoon bovenstaande formule voor de flux gebruiken. We vullen in

$A = 0{,}034$ m^2
$B = 0{,}070$ T

We vinden dan

$\Phi = 2{,}38 \cdot 10^{-3}$ Wb

b) Inductiespanning wordt alleen opgewekt als de flux verandert. Dit is hier niet zo. De spoel bevindt zich in een constant magneetveld

en de flux door de spoel is dus ook constant. De gemeten inductiespanning is dus 0 V.

c) Het magneetveld verandert nu wél waardoor ook de flux door de spoel verandert. De flux gaat in 0,20 s van $2{,}38\cdot10^{-3}$ Wb naar 0 Wb. De fluxverandering per seconde is dus

$\Delta\Phi/\Delta t = 2{,}38\cdot10^{-3} / 0{,}20$

$\Delta\Phi/\Delta t = 0{,}0119$ Wb·s^{-1}

De opgewekte inductiespanning hangt niet alleen af van de fluxverandering maar ook van het aantal wikkelingen van de spoel (N). We vinden voor de opgewekte inductiespanning

$U_{ind} = 7 \cdot 0{,}0119$

$U_{ind} = 0{,}0833$ V

Afgerond is dit een spanning van 83 mV.

60 Elektromagnetisch spectrum
In Binas tabel 30E is te zien welke straling door de dampkring wordt geabsorbeerd. Radiostraling met λ tussen de 10 cm en 10m wordt niet geabsorbeerd en kan dus vanaf het aardoppervlak worden waargenomen. Zichtbaar licht en een deel van infrarood met λ≤100 µm wordt een beetje geabsorbeerd maar komt gewoon grotendeels door de dampkring heen en kan vanaf het aardoppervlak worden waargenomen. Ook microgolfstraling (λ rond de cm) komt deels nog door de dampkring heen.

Andere soorten straling worden door de dampkring geabsorbeerd en kunnen dus niet vanaf het aardoppervlak worden waargenomen.

61 Planckkrommen & wet van Wien
a) We vullen in in de wet van Wien

$k_W = 2{,}89777\cdot10^{-3}$ mK
T = 7000 K

en vinden dan

$\lambda_{max} = 4{,}1397\cdot10^{-7}$ m

Dit is omgerekend en afgerond een golflengte van 414,0 nm.

b) In Binas tabel 19A vinden we dat 414,0 nm violet licht is. De uitgezonden straling is een Planckromme die veel breder is en zich naar beide kanten uitstrekt. Daardoor zijn er ook andere kleuren licht die uitgezonden worden. De ster zal hierdoor niet violet zijn maar blauwachtig wit.

62 Kwadratenwet & Stefan-Boltzmann
De zonneconstante is de intensiteit van het zonlicht op aarde. Volgens de kwadratenwet is er een omgekeerd kwadratisch verband tussen de intensiteit (I) en de afstand (r). Een 2 keer zo kleine afstand betekent dus een 4 keer zo grote intensiteit.

63 Spectraallijnen
Voor het energieverschil tussen beide niveaus vinden we

$\Delta E = 4{,}30 - 2{,}14 = 2{,}16$ eV

Omgerekend van elektronvolt naar Joule is dit gelijk aan

$1{,}602\cdot10^{-19} \cdot 2{,}16 = 3{,}26032\cdot10^{-19}$ J

Als we de formule voor fotonenergie omschrijven vinden we voor de golflengte

$\lambda = hc / E_f$

We vullen in

$h = 6{,}626\cdot10^{-34}$ Js
$c = 2{,}9979\cdot10^{8}$ m/s
$E_f = 3{,}26032\cdot10^{-19}$ J

We vinden dan

$\lambda = 5{,}7405\cdot10^{-7}$ m

Omgerekend en afgerond is dit een golflengte van 574 nm. In Binas tabel 19A zien we dat dit overeenkomt met (groen)geel licht.

64 Dopplereffect
De lijn is 14 nm verschoven. We vullen in in de formule

$c = 2{,}9979\cdot10^{8}$ ms^{-1}
$\Delta\lambda = 14\cdot10^{-9}$ m
$\lambda = 656\cdot10^{-9}$ m

en vinden dan

$v = 6{,}3980\cdot10^{6}$ ms^{-1}

Afgerond is dit $6{,}4\cdot10^{6}$ ms^{-1}. De lijn is in de richting van het rood (grotere golflengte) verschoven. Dit betekent dat het sterrenstelsel van ons af beweegt.

65 Kernfusie & massadefect
Het uitgezonden stralingsvermogen bedraagt $3{,}85\cdot10^{26}$ W (Binas tabel 32C). Per seconde ontstaat dus $3{,}85\cdot10^{26}$ J aan energie. Met $E=\Delta m\cdot c^2$ vinden we dan

Delta;m = $3{,}85\cdot10^{26} / (2{,}9979\cdot10^{8})^2 = 4{,}2838\cdot10^{9}$ kg

De zon wordt dus per seconde 4,28 miljard kilogram lichter.

66 Hertzsprung-Russeldiagram
In het HR-diagram in Binas tabel 33 staat op de y-as log ($L/L_\odot$). De lichtkracht (L) van de ster is 100 keer zo groot als die van de zon ($L_\odot$). Dit betekent dat

$L/L_\odot = 100$

$\log (L/L_\odot) = 2$

Wanneer we in Binas aflezen welke temperatuur de hoofdreeks heeft bij log ($L/L_\odot$) = 2 vinden we een waarde van 4. Op de x-as staat niet T maar de log T.

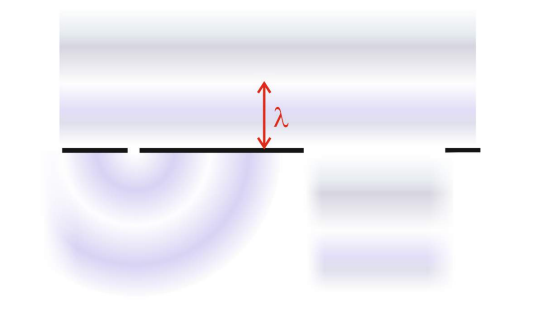
log T = 4

$T = 10^4$ K

Een hoofdreeksster van een lichtkracht van 100 keer de zon heeft dus een temperatuur van rond de 10000 K.

67 Buigingsverschijnselen
De opening links is veel kleiner dan de golflengte (λ). Dit betekent dat er buiging zal optreden en dat de golf niet gewoon alleen rechtdoor zal gaan. De golf gaat dus aan de andere kant van de opening alle kanten op. De opening rechts is veel groter dan de golflengte. Hier gaat de golf dus wel gewoon rechtdoor

(In de praktijk is de situatie niet zo zwart-wit. In het geval links zal de intensiteit die rechtdoor wordt uitgezonden wordt iets groter zijn dan de intensiteit naar de zijkanten. In het geval rechts zal er aan de randen ook een klein beetje buiging optreden.)



68 Brogliegolven
a) Invullen in bovenstaande formule van

$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ (Binas tabel 7)
$m = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg (Binas tabel 7)
$v = 7{,}0 \cdot 10^{5}$ ms^{-1}

geeft

$\lambda = 1{,}0392 \cdot 10^{-9}$ m

Afgerond is dit 1,0 nm.

b) De energie van een vrij α-deeltje is gelijk aan de kinetische energie. 4,2 MeV is gelijk aan $6{,}728 \cdot 10^{-13}$ J. De massa van een α-deeltje is 4u. Dit is $6{,}642 \cdot 10^{-27}$ kg. Voor de kinetische energie geldt $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. Hieruit volgt

$v = \sqrt{(E_k / \frac{1}{2}m)}$

$v = 1{,}4233 \cdot 10^{7}$ ms^{-1}

Invullen van de formule voor de brogliegolflengte (zie vorige vraag) geeft dan

$\lambda = 7{,}009 \cdot 10^{-15}$ m

Afgerond is dit 7,0 fm.

69 Energieniveaus
Omdat de niveaus op gelijke afstanden van elkaar liggen zijn de energiesprongen die horen bij de overgangen 0↔1, 1↔2, 2↔3 gelijk aan elkaar. Deze overgangen corresponderen met spectraallijn A. Spectraallijn B heeft een twee keer zo grote frequentie en dus ook een twee keer zo grote energie. Dit zijn dus de overgangen die horen bij een sprong van 2 niveaus. Spectraallijn B hoort dus bij de overgangen 0↔2 en 1↔3.

(Spectraallijn C hoort bij de grootste sprong die mogelijk is namelijk 0↔3.)

70 Energieput
De grondtoestand is de toestand met de laagste mogelijke energie voor het elektron (n=1). De eerste aangeslagen toestand is het energieniveau direct hierboven (n=2). De energie die nodig is voor de overgang is het verschil in energie tussen de twee niveaus:

$\Delta E = E_2 - E_1$

Uit de formule voor een energieput volgt dan

$\Delta E = (2^2 - 1^2) \cdot h^2 / 8mL^2$

$\Delta E = 3 \cdot h^2 / 8mL^2$

Invullen van

$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ (Binas tabel 7)
$m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg
$L = 0{,}70 \cdot 10^{-9}$ m

geeft

$\Delta E = 3{,}689 \cdot 10^{-19}$ J

Dit is omgerekend naar elektronVolt en afgerond gelijk aan 2,3 eV. In Binas tabel 19A kun je zien dat dit overeenkomt met groen licht.

71 Uitsluitingsprincipe van Pauli
In de energieput zitten in totaal 5 elektronen. In de laagst mogelijk energietoestand is het onderste energieniveau (n=1) bezet met 2 elektronen. Het niveau daarboven (n=2) is ook met 2 elektronen bezet. Het laatste elektron zit in zijn eentje op n=3. De elektronen op n=1 kunnen niet naar een niveau hoger omdat alles bij n=2 al gevuld is. Maar één van de elektronen van n=2 kan wel overgaan naar n=3 omdat daar nog wel een plekje over is. De energiesprong is dus gelijk aan die van n=2 naar n=3 en voor de benodigde energie vinden we dan met de formule voor een energieput

$\Delta E = E_3 - E_2$

$\Delta E = (3^2 - 2^2) \cdot h^2 / 8mL^2$

$\Delta E = 5 \cdot h^2 / 8mL^2$

Invullen van

$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ (Binas tabel 7)
$m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg
$L = 2{,}0 \cdot 10^{-9}$ m

geeft

$\Delta E = 7{,}531 \cdot 10^{-20}$ J

Dit is omgerekend naar elektronVolt en afgerond gelijk aan 0,47 eV.

72 Bandenstructuur
De fotonenergie van licht met een golflengte van 520 nm rekenen we uit met $E_f = hc/\lambda$. We vinden dan

$E_f = 6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}9979 \cdot 10^{8} / 520 \cdot 10^{-9} = 3{,}820 \cdot 10^{-16}$ J

Dit is gelijk aan $3{,}820 \cdot 10^{-16} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 2{,}385$ eV. In Binas tabel 16C vinden we dat de bandgap-energie van silicum (Si) gelijk is aan 1,10 eV. De fotonen hebben dus meer dan genoeg energie om elektronen van de valentieband naar de geleidingband te brengen en silicium zal dus onder invloed van dit licht stroom geleiden.

73 Waterstofatoom
De energie in de 1e aangeslagen toestand vinden we door n=2 in te vullen in de formule

$E_2 = -13{,}6 / 2^2 = -3{,}4$ eV

De energie is gegeven ten opzichte van het ionisatieniveua (vandaar dat de energie steeds negatief is). Er is dus 3,4 eV voor nodig om een aangeslagen waterstofatoom te ioniseren.

74 Tunneleffect
Wanneer een isotoop vervalt betekent dit dat een α-deeltje uit de kern naar buiten getunneld is. Bij een lange halveringstijd betekent dit dat de tunnelkans kennelijk heel klein is. De kans dat een deeltje tunnelt hangt o.a. af van de energie van het deeltje. Hoe kleiner de energie hoe kleiner de kans dat het deeltje tunnelt. Daarom hebben de α-deeltjes bij een isotoop met een lange halveringstijd (meestal) een lagere energie dan bij isotopen met een korte halveringstijd.

75 Onzekerheidsrelatie
Als je een quantumdeeltje op een bepaalde plaats zou kunnen vasthouden, zou de plaats bekend zijn. Op dat moment houdt het quantumdeeltje op met golf zijn en is daarmee een gewoon deeltje zonder golfeigenschappen geworden.

Alfabetische index

α-verval 40
β-verval 40
γ-verval 40
'spin' 71
1e wet van newton 16
2e wet van newton 16
3e wet van kepler 26
3e wet van newton 16
aangrijpingspunt 13
aardleiding 52
aardlekschakelaar 52
aardmagnetisme 56
absorptie 38
absorptielijnen 63
achtergrondstraling 42
actie is reactie 16
activiteit 41
afgelegde weg 9
afgeleide eenheden 1
afleiden 2
afstandssensor 9
afwijkingen 4
ampèremeter 45
amplitude 28
annihilatie 44
anode 55
arbeid 19
atomaire massaeenheid 39
baansnelheid 23
baanstraal 23
band 72
bandgap 72
basiseenheden 1
besmetting 42
bestraling 42
binas 3
blauwverschuiving 64
bohrstraal 73
bot 38
boventonen 36
brogliegolf 68
buiging 67
buiklijn 35
buikpunt 35
buis 36
cardiogram 28
cat 38
chemische energie 17
cirkelvormige beweging 23
coördinatentransformatie 7
conductantie 47
constructieve interferentie 35
continu spectrum 61
ct-scan 38
deeltje-in-een-doos 70
destructieve interferentie 35
diagram 6
diode 51
doordringend vermogen 37
dopplereffect 64
dosimeter 42
dosis 42
dosisequivalent 42
dracht 37
dualiteit 67
dubbelspleetexperiment 67
dynamo 59
ecg 28
echoscopie 43
eenheid 1
eenparige beweging 10
eenparige cirkelbeweging 23
eenparige versnelde beweging 10
eigenfrequentie 32
eigentrilling 32
einstein 65
elektrisch veld 54
elektrisch vermogen 50
elektrische spanning 46
elektrische veldsterkte 54
elektromagneet 57
elektromagnetisch spectrum 60
elektromotor 58
elektronenkanon 55
elektronenmicroscoop 68
elektronenoverschot 53
elektronenschil 39
elektronentekort 53
elementair ladingsquantum 53
emissielijnen 63
energie 17
energiebalans 18
energiebarrière 74
energiediagram 69
energieput 70
evenaar 26
evenredig 7
evenredigheidsconstante 7
evenwicht 13
evenwichtsstand 28
extrapoleren 6
fase 29
fasedraad 52
faseverschil 29
fermionen 71
flux 59
formule 2
fraunhoferlijnen 63
frequentie 28
gammadetectoren 44
gammascintigrafie 44
gedempte trilling 28
gedwongen trilling 32
gehoorgrens 34
geiger-müller-teller 41
geleider 45
geleidingsband 72
geleidingsvermogen 47
geluid 34
gemiddelde snelheid 10
geostationaire baan 26
gequantiseerd 69
gereduceerde fase 29
gesloten uiteinde 36
gewicht 12
golffuncties 68
golflengte 33
golfsnelheid 33
golfverschijnsel 67
golven 33
grafiek 6
gravitatie-energie 27
gravitatiekracht 25
grondeenheden 1
grondtoon 36
grootheid 1
halfgeleider 72
halveringsdikte 38
halveringstijd 41
harmonische trilling 30
harmonischen 36
heisenberg 75
hellingsgetal 6
hellingspercentage 6
hertzsprungrussel 66
hokjesmethode 11
homogeen veld 54
hoofdquantumgetal 69
hoofdreeks 66
hr-diagram 66
ijken 5
impuls 68
in fase 29
inductiespanning 59
influentie 56
infraroodstraling 60
interferentie 35
interpoleren 6
inwendige bestraling 44
ion 53
ionisatieniveau 69
ioniserend vermogen 37
ioniserende straling 37
isolator 45
isotopen 39
kathode 55
kepler 26
kerndeeltjes 39
kernfusie 65
kilowattuur 50
kinetische energie 17
knooplijn 35
knooppunt 35
kompas 56
kopstaartmethode 13
kortsluiting 52
kosmische straling 42
kracht 13
krachtcomponenten 14
krachtmeter 13
kwadratenwet 62
kwadratisch 7
kwh 50
ladingsgetal 39
ldr 51
led 51
lichaamsmassa 42
lichtkracht 62
lichttelescoop 60
lijnenspectrum 63
lineaire versneller 55
linkerhandregel 58
longitudinaal 33
lopende golf 33
lorentzkracht 58
luchtweerstandscoefficiënt 15
luchtwrijving 15
luidspreker 58
magneten 56
magnetische flux 59
magnetische veldlijnen 56
magnetische veldsterkte 56
manen 26
massa-veersysteem 30
massadefect 65
massagetal 39
medium 34
meetfouten 4
meetonzekerheid 4
meterkast 52
microfoon 59
microgolfstraling 60
middelpuntzoekende kracht 24
modelleren 8
mri 43
nettokracht 13
neutronen 39
noordpool 56
normaalkracht 12

ntc 51
nucleonen 39
nuldraad 52
ohmse weerstand 47
omgekeerd evenredig 7
omgekeerd kwadratisch 7
omschrijven 2
onafhankelijke variabele 6
ontbinden 14
ontsnappingssnelheid 27
onzekerheidsrelatie 75
oppervlaktemethode 11
optellen en aftrekken 4
optische telescoop 60
orde van grootte 5
oscilloscoop 28
paralellogrammethode 13
parallelschakeling 48
pauli 71
periode 28
pet 44
plaatsdiagram 9
planckkrommen 61
planeten 26
positron 40
potentiële energie 17
protonen 39
ptc 51
puntlading 54
quantumdeeltje 68
röntgenfoto's 38
raaklijn 11
radiële snelheid 64
radiaal veld 54
radioactief 40
radiostraling 60
radiotelescopen 60
radiotherapie 44
rechterhandregels 57
reflectie 38
rekenmachine 3
rekenmodel 8
relaxatietijd 43
rendement 21
resolutie 43
resonantie 32
resulterende kracht 13
rode reuzen 66
rolwrijving 15
roodverschuiving 64
ruimtetelescopen 60
satellieten 26
scanning-tunnelling-microscope 74
schatten 5
scheurlijn 6
schuifwrijving 15
sciencedata 3
seismogram 28
serieschakeling 48
significante cijfers 4
snaar 36
snelheidsdiagram 9
somkracht 13
soortelijke weerstand 49
spankracht 12
spanningsbron 46
spanningsdeler 48
spanningsverschil 55
spectraallijnen 63
spoel 57
staande golf 36
standaardnotatie 4
startwaarden 8
sterevolutie 66
sterpopulatie 66
stm 74
stookwaarde 22
stopcontact 52
stroboscoop 9
stroomsterkte 45
stugheid 12
supernova 66
symbool 1
système international 1
systematische fouten 4
tabel 6
tegenfase 29
tijdbasis 28
toevallige fouten 4
totale weerstand 48
traagheid 16
tracer 44
tralie 67
transmissie 38
transversaal 33
trilling 28
trillingsenergie 31
trillingstijd 28
tunneleffect 74
u,t-diagram 28
uitsluitingsprincipe 71
uitwendinge bestraling 44
uitwijking 28
ultrasoon geluid 43
ultrasound 43
ultraviolet 60
v,t-diagram 9
valentieband 72
vallen 10
valversnelling 10
vector 13
veerconstante 12
veerenergie 17
veerkracht 12
veerunster 13
veldlijnen 54
veldsterkte 54
verband 7
vermogen 20
verplaatsing 9
versneller 55
versnelling 10
vervalreeks 40
vervalsoorten 40
vervangingsweerstand 48
voltmeter 46
voortplantingsnelheid 33
voorvoegsel 1
vrij deeltje 68
vrije elektronen 45
vrije val 10
waarschijnlijkheid 68
waterstofatoom 73
weegfactoren 42
weerstand 47
weglengteverschil 33
wet van behoud van energie 18
wet van coulomb 53
wet van ohm 47
wet van stefan-boltzmann 62
wet van wien 61
wetenschappelijke notatie 4
wetten van newton 16
wisselspanning 52
witte dwergen 66
wortelverband 7
wrijving 15
x,t-diagram 9
zacht weefsel 38
zekering 52
zuidpool 56
zuivere toon 34
zwaarte-energie 17
zwaartekracht 12
zwaartepunt 12
zwarte straler 61