

Naam:

Natuurkunde klas 3

Hoofdstuk 3 Elektriciteit

§ 1	Lading	3
§ 2	Elektrische energie	7
§ 3	Spanning	8
§ 4	Stroomsterkte	12
§ 5	Vermogen	14
§ 6	Weerstand	17
§ 7	Serieschakeling	21
§ 8	Parallelschakeling	22
§ 9	Practicumproeven	24
§10	Totale weerstand in serieschakeling	26
§11	Totale weerstand in parallelschakeling	28
§12	Overzicht	30
§13	Elektriciteit & Veiligheid	34

Hoofdstuk 4 Moderne natuurkunde

§1	Atomen & Atoomkernen	38
§2	Standaardmodel	44
§3	Energie & Massa: $E = m \cdot c^2$	55
§4	Radioactief verval	60
§5	Ioniserende straling	69
§6	Kernreacties	77

Afspraken

Boekje

Dit boekje is voor het tweede semester. Je hebt dit boekje aan het begin van iedere les op tafel.

Het huiswerk maak je in het boekje. Er is ook ruimte om aanvullende aantekeningen te maken. Je zorgt ervoor dat het boekje netjes blijft.

Het boekje is beschikbaar op: <http://kraakman.home.xs4all.nl/>.

Dit is met name handig voor de leesopdrachten.

Leesopdrachten

Voor de leesopdrachten heb je het internet nodig.

In het boekje staan twee soorten leesopdrachten:



1. verplichte leesopdrachten

Je moet de tekst bestuderen. Dingen die niet (helemaal) duidelijk zijn, moet je in de les vragen.

Wat in de verplichte leesopdrachten wordt behandeld, moet je weten voor overhoringen en proefwerken.



2. extra (lees)opdrachten

Je mag de (soms lastige) opdracht maken. Dingen die niet (helemaal) duidelijk zijn, mag je vragen.

Wat in de extra opdrachten wordt behandeld, hoeft je niet te weten voor overhoringen en proefwerken.



Berekeningen

Bij berekeningen mag je een rekenmachine gebruiken.

Bij berekeningen moet je altijd de volgende vier stappen maken:

1. Noteer de formule (in de juiste vorm).
2. Vul de gegevens in (in bij elkaar passende eenheden).
3. Bereken het antwoord.
4. Noteer de eenheid.



Practicum

Bij een practicum doe je zelf proefjes om de natuurkunde te 'ontdekken' of beter te begrijpen.

Vragen stellen

Natuurkunde is geen vak waarbij je alles uit je hoofd kunt leren. Het is belangrijk dat je het snapt. Dat lukt alleen als:

- ☐ je tijdens de lessen goed meedoet
- ☐ je het huiswerk maakt
- ☐ je vraagt wat je nog niet (helemaal) begrijpt

§1 Lading

Symbol: Q (soms q); eenheid C (coulomb)

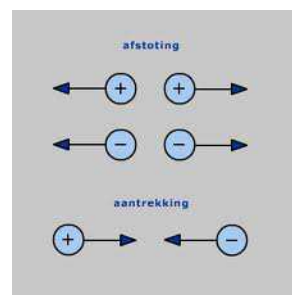
Voorwerpen kunnen elektrische eigenschappen krijgen.

- Als je over synthetische vloerbedekking loopt en je raakt daarna een metalen trapleuning aan, kun je een schokje krijgen.
- Als je droog haar kamt, kan het overeind gaan staan.
- Als je een plastic pen wrijft aan je trui, kun je met deze pen kleine stukjes papier optillen of een dunne waterstraal uit de kraan afbuigen.
- In onweerswolken stromen stijgende warme lucht en dalende koude lucht vlak langs elkaar. Daardoor worden ontladingen mogelijk tussen wolken of tussen de wolk en de aarde: bliksem en donder.



In deze voorbeelden werden voorwerpen "geladen" door wrijving.

In de 18^e eeuw werd duidelijk dat er twee soorten lading bestaan: **positief** en **negatief**. Geladen voorwerpen oefenen een elektrische kracht op elkaar uit.



Wetenschappelijke notatie

Voor getallen die vanwege hun grootte met veel nullen worden geschreven is de **wetenschappelijke notatie** met machten van 10.

Voorbeeld:

$$\begin{array}{llll} 8 \cdot 10^5 & = & 8 \times 100000 & = & 800000 \\ -8 \cdot 10^5 & = & -8 \times 100000 & = & -800000 \\ 8 \cdot 10^{-5} & = & 8 \times (1/100000) & = & 0,00008 \\ -8 \cdot 10^{-5} & = & -8 \times (1/100000) & = & -0,00008 \end{array}$$

Rekenen met machten van 10

Bij vermenigvuldigen moeten de exponenten worden opgeteld:

$$\begin{array}{llll} 8 \cdot 10^5 & \times & -7 \cdot 10^{12} & = & -56 \cdot 10^{17} \\ -4 \cdot 10^{-24} & \times & 3,5 \cdot 10^{20} & = & -14 \cdot 10^{-4} \end{array}$$

Bij delen moeten de exponenten worden afgetrokken:

$$\begin{array}{llll} -6 \cdot 10^{-18} & : & 1,5 \cdot 10^{-20} & = & -4 \cdot 10^2 \\ -2 \cdot 10^3 & : & 8 \cdot 10^{-9} & = & -0,25 \cdot 10^{12} (= -25 \cdot 10^{10}) \end{array}$$

Rekenen met machten van 10 gaat op een rekenmachine makkelijk m.b.v. het knopje **exp** of **EE**.

Vermenigvuldigingsfactoren

Factor	Symbool	Factor	Symbool
10^{-1}	deci (d)		
10^{-2}	centi (c)		
10^{-3}	milli (m)	10^3	kilo (k)
10^{-6}	micro (μ)	10^6	mega (M)
10^{-9}	nano (n)	10^9	giga (G)

Materie

Alle voorwerpen en materialen in de natuur zijn opgebouwd uit zeer kleine deeltjes: protonen, neutronen en elektronen.

- Protonen zijn positief geladen, neutronen zijn ongeladen en elektronen zijn negatief geladen.
- De lading van een proton heet **elementaire lading (e)**; het is de kleinste hoeveelheid lading die in de natuur voorkomt.
- De lading van een proton en een elektron zijn in de eenheid C zeer klein.

Deeltje	Hoeveelheid lading (C)	Hoeveelheid lading
Proton	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$1 \cdot e$
Neutron	0	0
Elektron	$-1,6 \cdot 10^{-19}$	$-1 \cdot e$

- Een ongeladen (of neutraal) voorwerp bestaat uit evenveel protonen als elektronen.
- Een positief geladen voorwerp bestaat uit meer protonen dan elektronen. Er is een elektronentekort.
- Negatief geladen voorwerpen hebben juist een elektronenoverschot.

Door wrijving is het mogelijk om elektronen van het ene voorwerp naar het andere voorwerp over te brengen. Het voorwerp dat een deel van zijn elektronen kwijt raakt, wordt positief geladen. Het voorwerp dat er elektronen bij krijgt, wordt negatief geladen.

Opgaven



1. Glijbaan
 - A. Hoe kun je zien dat de jongen "geladen" is?
 - B. Hoe is dat (waarschijnlijk) gekomen?
2. Schatten en rekenen
 - A. Schat hoe groot $-0,92 \cdot 10^7 : 32 \cdot 10^{-5}$ (ongeveer) is.
 - B. Bereken $-0,92 \cdot 10^7 : 32 \cdot 10^{-5}$ m.b.v. je rekenmachine.
3. Een aluminiumatoom is ongeladen. Het verliest drie elektronen.
 - A. Hoe groot wordt de lading (in de eenheid C)?
 - B. Hoe groot wordt de lading (in de eenheid e)?
4. Hoeveel elektronen hebben samen een lading van -1 C ?
5. Door wrijving tegen een wollen trui wordt de hoeveelheid lading van een ballon $-500 \mu\text{C}$.
 - A. Zijn er elektronen van de trui naar de ballon gegaan of juist andersom?
 - B. Bereken hoeveel elektronen er van het ene naar het andere voorwerp zijn gegaan.
6. Bestudeer:
 - A. <http://phet.colorado.edu/en/simulation/balloons>
 - B. <http://phet.colorado.edu/en/simulation/travoltage>
7. Grieks
Gebruik het internet om uit te zoeken van welk Grieks woord "elektriciteit" is afgeleid en waarom? Op welke site heb je het antwoord gevonden?



Naast de leerstof in dit boekje is op het internet veel informatie over elektriciteit te vinden; bijvoorbeeld: http://huizeblom.demon.nl/electronica/cursus_elektra/startpagina.html
Op deze site staan ook veel nuttige vragen (+ antwoorden).



8. Bestudeer op deze site: Leereenheid 2 (t/m 2.1)
http://huizeblom.demon.nl/electronica/cursus_elektra/leh2_opbouw_vd_stof.html



Practicum: Een elektroscopie maken

Om de hoeveelheid lading te meten, kun je een elektroscopie maken.

§2 Elektrische energie

Herhaling (Hoofdstuk 1 §5)

Symbool E ; Eenheid J (Joule)

Energie overdragen	Energie van ene voorwerp → andere voorwerp
Energie omzetten	Van ene energiesoort → andere energiesoort
Behoud van Energie	De hoeveelheid energie blijft bij iedere omzetting/overdracht gelijk.

Energiesoorten

- Bewegingsenergie Bewegende lucht is in staat om arbeid te verrichten; het kan een molen laten draaien.
- Zwaarte-energie Een hoog heiblok is in staat om arbeid te verrichten; het kan een heipaai de grond in slaan.
- Stralingsenergie Licht is een vorm van stralingsenergie.
De energie in ultraviolette straling kleurt je huid en de energie in röntgenstraling wordt door de tandarts gebruikt.
- Kernenergie In kernen van atomen zit kernenergie. Door kernreacties komt deze energie vrij. Dit gebeurt in de zon (kernfusie) en in kerncentrales (kernsplijting).
- Chemische energie In voedingsstoffen of brandstoffen zit chemische energie. Door verbranding komt deze energie vrij.
Een deel van de vrijgekomen energie wordt gebruikt om arbeid te verrichten. Het resterende deel wordt omgezet in warmte.
- Warmte Warmte is de energiesoort die gaat van een plek met hoge temperatuur naar een plek met lage temperatuur. Warmte ontstaat ook door wrijving.
- Elektrische energie Elektrische energie is de energiesoort die wordt gebruikt in elektrische apparaten. Een 'volle' accu is in staat om arbeid te verrichten; het kan een elektrische boor laten draaien.
Elektrische energie kan op verschillende manieren ontstaan:
 - in een draaiende dynamo wordt bewegingsenergie omgezet in elektrische energie
 - in een accu wordt chemische energie omgezet in elektrische energie
 - in een zonnecel wordt stralingsenergie (licht) omgezet in elektrische energie

Opgaven

9. Welke energie-omzetting vindt er plaats in een wasmachine?
10. Een lamp brandt 20 minuten. In de lamp wordt in deze 20 minuten 48 kJ elektrische energie omgezet. Er ontstaat dan 9,6 kJ stralingsenergie.
 - A. Welke andere energiesoort is er ook ontstaan?
 - B. Hoeveel van deze energiesoort is er ontstaan?
11. Bestudeer http://huizeblom.demon.nl/electronica/cursus_elektra/leh1_elektrische_energie.html
Leereenheid 1: Elektrische energie.



§3 Spanning

Symbol U (soms V of ΔV); Eenheid V (Volt)

De batterij heeft een spanning van 1,5 V.
De accu heeft een spanning van 12 V.



Spanning heeft twee "verschillende" betekenissen:

1. Spanningsbron als ladingpomp

De spanning vertelt hoe krachtig de ladingen in een stroomkring worden rondgepompt. De pompwerking van de accu is (in dit voorbeeld) 8 x zo sterk als die van de batterij; de accu zal dus (in vergelijking met de batterij) de ladingen sneller doen bewegen.

2. Spanningsbron als bron van elektrische energie

De spanning vertelt hoeveel energie één coulomb lading meekrijgt om onderweg in de stroomkring af te geven.

De batterij geeft (in dit voorbeeld) aan iedere coulomb lading 1,5 J energie mee; de accu geeft aan iedere coulomb lading 12 J energie mee.

Als de spanning 1,5 V is, krijgt/geeft één coulomb lading 1,5 J elektrische energie mee/af: $1,5 \text{ V} = 1,5 \text{ J/C}$.

Dus geldt de formule: $U = \frac{E}{Q}$.



Een lampje, aangesloten op de accu, zal (als het niet "doorbrandt") veel feller branden dan hetzelfde lampje aangesloten op de batterij, omdat:

1. Door de sterkere pompwerking van de accu gaat er per seconde veel meer lading door de gloeidraad van het lampje.
2. Iedere coulomb lading die de gloeidraad passeert geeft bovendien meer (in dit voorbeeld 8 x zo veel) energie af aan de gloeidraad van het lampje.

In het lampje wordt dus veel meer elektrische energie omgezet in licht (en warmte).

Spanningsbronnen

Er bestaan twee soorten spanningsbronnen.

1. **Gelijkspanningsbron:**

Bij een gelijkspanningsbron is het ene uiteinde voortdurend positief t.o.v. het andere uiteinde. De ladingen worden voortdurend in dezelfde richting rondgepompt.

Voorbeelden: batterij, accu, zonnecel.



2. **Wisselspanningsbron:**

Bij een wisselspanningsbron verwisselen de plus en de min voortdurend van plaats.

De ladingen worden steeds in tegengestelde richting gepompt.

Voorbeeld: dynamo (en dus ook het stopcontact; frequentie 50 Hz).

Opgaven

12. Welke energieomzetting vindt plaats in een batterij?
13. De spanning van het stopcontact is 230 V.
Bereken hoeveel energie het stopcontact meegeeft aan 5 C lading.
14. Een hoeveelheid lading van 20 C krijgt van een batterij 30 J elektrische energie mee om onderweg af te geven.
Bereken de spanning van deze batterij.
15. Bestudeer http://huizeblom.demon.nl/electronica/cursus_elektra/leh7_elektrische_weerstand.html
Leereenheid 7.3: Opgelet met de spanning.



§4 Stroomsterkte

Symbool I ; Eenheid A (Ampère)

Wat is stroom?

Er is (elektrische) stroom als geladen deeltjes zich (in één richting) verplaatsen.

Wanneer is er stroom?

Er is stroom, als aan twee voorwaarden is voldaan:

1. Er is een spanningsbron.
2. Er is een gesloten kring van geleidend materiaal.

Elektrische stroom kan worden vergeleken met een waterstroom.

Een spanningsbron pompt ladingen 'omhoog'. Als er een gesloten stroomkring is, zullen deze ladingen 'omlaag' stromen en loopt er elektrische stroom.

Een waterpomp pompt water naar een hoog reservoir. Als de kraan geopend wordt, zal het water omlaag stromen en loopt er een waterstroom.

<http://www.betavakken.nl/natuurkunde/Applets/Elektriciteit%20en%20magnetisme/Elektriciteit/algemeen/WaterAnalogy.swf>

Afspraak

De richting van de stroom is (buiten de spanningsbron) van 'plus' naar 'min'.

In een metaal loopt er stroom, als elektronen bewegen. Door de elektrische aantrekkende kracht bewegen deze elektronen (buiten de spanningsbron) echter juist van min naar plus. Het is vreemd dat de richting van de stroom van + naar - is, terwijl juist de negatief geladen elektronen bewegen (van - naar +).

Formule

Als de stroomsterkte 1,5 A is, passeert er per seconde 1,5 C lading:

$$1,5 \text{ A} = 1,5 \text{ C/s.}$$

Dus geldt de formule:

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

Materialen

Er wordt onderscheid gemaakt tussen:

1. **Isolatoren:** Materialen, waarin ladingen zich "niet" kunnen verplaatsen.
2. **Halfgeleiders:** Materialen, waarin ladingen zich moeilijk kunnen verplaatsen.
3. **Geleiders:** Materialen, waarin de ladingen zich gemakkelijk kunnen verplaatsen.
4. **Supergeleiders:** Materialen, waarin ladingen zich zonder moeite kunnen verplaatsen.

Metalen zijn geleiders. Lucht, kunststoffen, glas en rubber zijn isolatoren.

Opgaven

16. Bestudeer www.mste.uiuc.edu/users/Murphy/LightBulb/default.html
In deze simulatie is een gloeilamp aangesloten op een spanningsbron. Als je de spanning groter maakt, gaat er per seconde meer lading door de lamp. De stroomsterkte wordt dus groter en de lamp brandt feller.
In deze simulatie verplaatsen positieve ladingen zich. In werkelijkheid verplaatsen zich echter vrije (geleidings)elektronen.
Bestudeer de uitleg op de site.
17. Door een gloeilamp gaat in 15 minuten 180 C lading.
Bereken de stroomsterkte.
18. Henk is aan het strijken. Over drie overhemden doet hij 5 minuten.
Door de strijkbout loopt een stroom van 2 A.
A. Bereken hoeveel lading er door de strijkbout is gegaan.
B. Hoeveel elektronen zijn er door de strijkbout gegaan?
19. Een zaklantaarn werkt op twee batterijen van ieder 1,5 V.
Er loopt dan een stroom van 400 mA door het lampje.
A. Bereken na hoeveel tijd er 1 C lading door het lampje is gegaan.
B. Bereken hoeveel energie er in 1 minuut tijd in het lampje wordt omgezet.
-  20. Bestudeer http://huizenblom.demon.nl/electronica/cursus_elektra/leh5_hoeveelheid_energie.html
Leereenheid 5: De hoeveelheid elektriciteit.
-  21. Bekijk http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20101029_spanningsbron01
Bekijk http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20100317_stroomkring01
Bekijk http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20110402_elektriciteit01

§5 Vermogen

Symbool P ; Eenheid W (Watt)

Het vermogen van een (elektrisch) apparaat geeft aan hoeveel energie er per seconde wordt omgezet.

Formule

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

In een 40 W gloeilamp wordt iedere seconde 40 J elektrische energie omgezet (in warmte + licht): $40 \text{ W} = 40 \text{ J/s}$.

Voor het verbruik van elektrische energie moet worden betaald aan het energiebedrijf. De energiebedrijven gebruiken voor de hoeveelheid verbruikte elektrische energie de eenheid kW·h (i.p.v. de wetenschappelijke eenheid J).

Verbruik van 1 kW·h

Een apparaat met een vermogen van 1 kW dat één uur aanstaat verbruikt 1 kW·h. Andere voorbeelden van een energieverbruik van 1 kW·h:

Vermogen apparaat	Bedrijfstijd
100 W	10 uur
500 W	2 uur
2 kW	½ uur

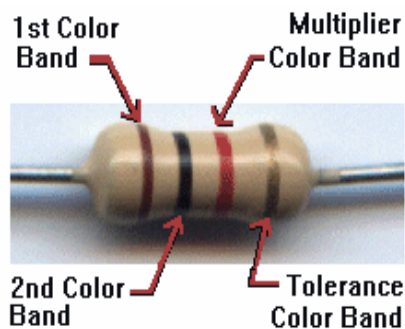
Opgaven

22. Een gloeilamp (25 W) brandt ieder dag 4 uur.
Bereken hoeveel energie er per week in deze gloeilamp wordt omgezet.
23. Reken om: $1 \text{ kWh} = \dots \text{ J}$
24. Van 19.00 uur tot 22.00 uur branden 4 identieke lampen. Deze vier lampen verbruiken samen 0,9 kW·h. Bereken het vermogen van één lamp.
25. Zoek thuis van twee elektrische apparaten het vermogen op.
26. Neem aan dat $1 \text{ kW·h} \in 0,20$ kost.
Een wasmachine met een vermogen van 2200 W is 45 minuten in bedrijf.
Bereken hoeveel aan het energiebedrijf moet worden betaald.
27. Bewijs: het vermogen van een elektrisch apparaat $P = U \cdot I$
28. Bereken het vermogen van de lamp uit opdracht 10 (§2).

§6 Weerstand

Symbol R ; Eenheid Ω (Ohm)

De weerstand(swaarde) van een onderdeel geeft aan hoe gemakkelijk (moeilijk) de ladingen door dat onderdeel kunnen gaan. Als de weerstandswaarde van een onderdeel groot is, is het moeilijk voor de ladingen om te passeren. Er is dan veel spanning nodig om een redelijke stroomsterkte mogelijk te maken.



We vergelijken een onderdeel met een weerstandswaarde van $1,5 \Omega$ en een onderdeel met een weerstandswaarde van 120Ω :

- $1,5 \Omega = 1,5 \text{ V/A}$.
Voor een stroomsterkte van 1 A is een spanning van 1,5 V nodig.
- $120 \Omega = 120 \text{ V/A}$.
Voor een stroomsterkte van 1 A is een spanning van 120 V nodig.

Formule

$$R = \frac{U}{I}$$

De weerstandswaarde is de verhouding van de spanning over en de stroomsterkte door dat onderdeel.

Bespreking: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/battery-resistor-circuit>

Het woord weerstand wordt in twee verschillende betekenissen gebruikt:

1. Weerstand = weerstandswaarde (dus het aantal ohm)
2. Weerstand = onderdeel waar de ladingen met enige moeite kunnen passeren.

Soorten weerstanden

We maken onderscheid tussen de volgende soorten weerstanden:

1. **Ohmse weerstand:**
Onderdeel in een elektrische schakeling met een constante weerstandswaarde.
De spanning over en de stroomsterkte door dat onderdeel zijn evenredig.
2. **PTC:** Onderdeel waarbij de weerstandswaarde toeneemt als de temperatuur stijgt.
3. **NTC:** Onderdeel waarbij de weerstandswaarde afneemt als de temperatuur stijgt.
4. **LDR:** Onderdeel waarbij de weerstandswaarde afneemt als er meer licht op schijnt.

Opgaven

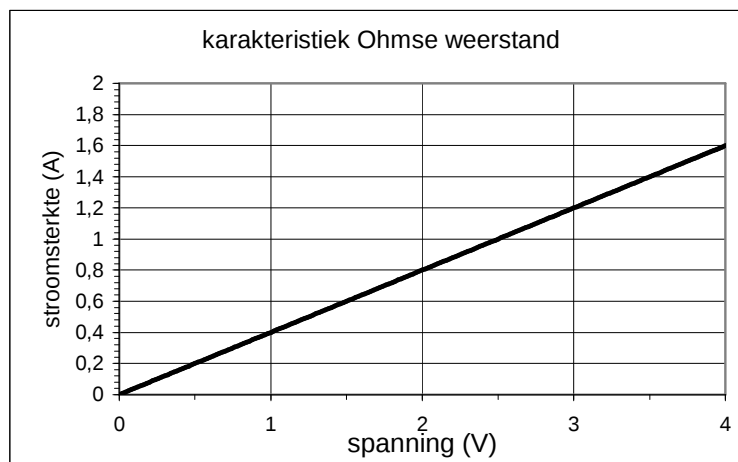
29. Bestudeer: <http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/filamentresistance/index.html>
In deze simulatie zie je vrije elektronen bewegen tussen metaalionen, die op vaste plaatsen in het rooster zitten. De stroomsterkte is in de simulatie te veranderen.
- A. Als er geen stroom loopt, bewegen de vrije elektronen toch.
Hoe kan dit?
 - B. Als er stroom loopt, gaat de stroom dan van links naar rechts of juist andersom?
- De tekst op de site geeft een verklaring voor het verschijnsel "weerstand".
- C. Waardoor wordt de weerstand in een metalen draad veroorzaakt?
Het metaal stelt een (sterk vergroot) stukje gloeidraad voor. Deze gloeidraad is boven het stukje metaal te zien.
 - D. Leg uit hoe het komt dat de gloeidraad steeds feller gaat branden, als de stroomsterkte groter wordt.

30. Gebruik het internet om de weerstandswaarde van de (op de vorige bladzijde) afgebeelde weerstand te bepalen. Op welke site heb je de betekenis van de kleurencodes op een weerstand gevonden?

31. Door een gloeilamp (aangesloten op 220 V) gaat een stroomsterkte van 0,25 A. Bereken de weerstandswaarde van deze gloeilamp.

32. In de figuur is de spanning over en de stroomsterkte door een weerstand getekend: een zogenaamde (I, U) - karakteristiek.

- A. Leg uit dat deze grafiek hoort bij een Ohmse weerstand.
- B. Hoe groot is deze weerstand?



33. Een weerstand heeft een weerstandswaarde van 5,0 k Ω en wordt aangesloten op een batterij van 9,0 V.
Bereken de stroomsterkte door de weerstand.

Overzicht van de formules:

$$U = \frac{E}{Q} \quad 220 \text{ V} = 220 \text{ J/C}$$

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \quad 4 \text{ A} = 4 \text{ C/S}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad 40 \text{ W} = 40 \text{ J/s}$$

$$P = U \cdot I \quad 40 \text{ W} = 40 \text{ V} \cdot \text{A}$$

$$R = \frac{U}{I} \quad 47 \text{ } \Omega = 47 \text{ V/A}$$

34. In een zaklantaarn zitten twee batterijen (ieder 1,5 V). Het lampje in de lantaarn staat gedurende 30 minuten aan. Door het brandende lampje loopt stroom; stroomsterkte = 250 mA.

- A. Bereken de weerstandswaarde van het lampje.
- B. Bereken hoeveel lading er door het lampje is gegaan.
- C. Hoeveel elektronen zijn er door het lampje gegaan?
- D. Bereken het vermogen van het lampje.
- E. Bereken hoeveel energie er in het lampje is omgezet.
- F. Welke energieomzetting vindt er in de batterijen plaats?

35. De koplamp van een motor heeft een weerstand van 18 Ω . Deze koplamp is aangesloten op de accu van de motor. Door de brandende lamp gaat in 15 s tijd 30 C lading.

- A. Hoeveel elektronen zijn er in 15 s door de koplamp gegaan?
- B. Bereken de stroomsterkte door de (brandende) lamp.
- C. Bereken de spanning van de accu.
- D. Bereken het vermogen van de koplamp.
- E. Bereken hoeveel energie er in 15 s in de lamp is omgezet.
- F. Welke energieomzetting vindt er in de koplamp plaats?



36. Bestudeer http://huizenblom.demon.nl/electronica/cursus_elektra/leh7_elektrische_weerstand.html Leereenheid 7 (t/m 7.2): De elektrische weerstand.

37. Bekijk http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20031208_16_01stroom

§7 Serieschakeling

Een serieschakeling is een elektrische stroomkring, waarin alle onderdelen na (achter) elkaar zijn geschakeld.

Er is slechts één route; er zijn geen vertakkingen.

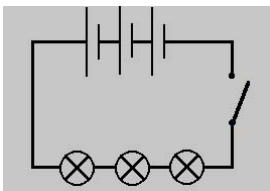
Schakelschema

In een zogenaamd schakelschema is te zien hoe onderdelen in een stroomkring zijn opgenomen. Voor de verschillende onderdelen worden symbolen gebruikt.

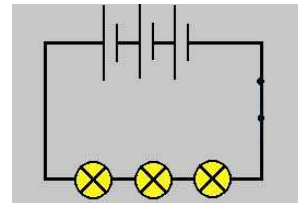
Overzicht van de symbolen:

	verbindingdraad		weerstand (met vaste waarde)
	verbinding met aarde		regelbare weerstand
	schakelaar (open en dicht)		spanningsdeler (potentiometer)
	stroommeter (ampèremeter)		batterijcel
	spanningsmeter (voltmeter)		batterij
	lamp(je)		regelbare spanningsbron (voedingskastje)

Voorbeeld:



Drie lampjes en een schakelaar zijn **in serie** aangesloten op een spanningsbron. Door de schakelaar te sluiten, gaan alle lampjes tegelijk aan.



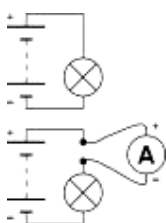
Voorbeeld:

Een belangrijk voorbeeld van een serieschakeling is de verlichting in een kerstboom.

Bij kerstverlichting is een schakelaar niet nodig. De meeste mensen draaien één lampje los. Alle lampjes stoppen dan met branden.



Het meten van de stroomsterkte:



Links is een lampje aangesloten op een batterij. Met een ampèremeter kan de stroomsterkte door het lampje worden gemeten.

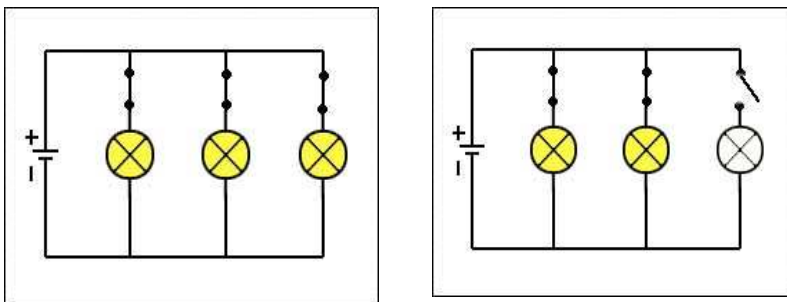
De ampèremeter moet in serie met het lampje worden aangesloten.

De stroomsterkte die op de ampèremeter wordt afgelezen is dan even groot als de stroomsterkte die door het lampje gaat.

§8 Parallelschakeling

Een parallelschakeling is een elektrische stroomkring, waarin alle onderdelen naast elkaar zijn geschakeld. Er zijn verschillende routes (vertakkingen) voor de stroom.

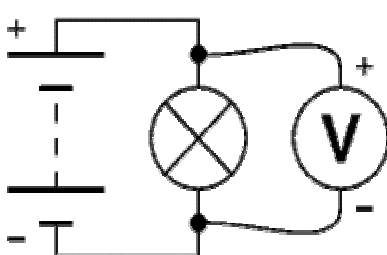
Voorbeeld:



Drie lampjes zijn **parallel** aangesloten op een spanningsbron. In serie met ieder lampje is een schakelaar. Ieder lampje is zo apart aan/uit te schakelen.

Alle elektrische apparaten zijn thuis parallel aangesloten op het stopcontact. Ieder apparaat is apart aan/uit te schakelen.

Het meten van de spanning:



Links is een lampje aangesloten op een batterij. Met een voltmeter kan de spanning over het lampje worden gemeten.

De voltmeter moet parallel met het lampje worden aangesloten.

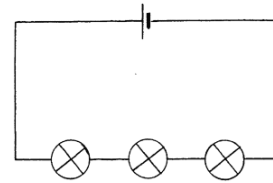
De spanning die op de voltmeter wordt afgelezen is dan even groot als de spanning die over het lampje staat.



§9 Practicumproeven

De stroomsterkte in een serieschakeling

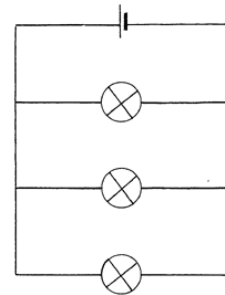
- Vraag op welke spanning de spanningsbron moet worden ingesteld.
- Bouw een serieschakeling van drie verschillende lampjes.
- Geven alle lampjes licht?
- Gaat er door alle lampjes stroom? Leg uit.
- Gebruik een ampèremeter om op verschillende plaatsen in de schakeling de stroomsterkte te meten.
- Klopt de uitspraak: "Een lampje verbruikt stroom."? Leg uit.



In een serieschakeling is de stroomsterkte overal even groot.

De spanning in een parallelschakeling

- Vraag op welke spanning de spanningsbron moet worden ingesteld.
- Bouw een parallelschakeling van drie verschillende lampjes.
- Meet de spanning van de bron.
- Meet de spanning over de verschillende lampjes.



In een parallelschakeling is de spanning overal iedere tak even groot als de spanning van de bron.

De karakteristiek van een gloeilamp

De karakteristiek van een gloeilamp is het $(I.U)$ -diagram van deze lamp. Om dit diagram te kunnen tekenen, moet tegelijkertijd de spanning over én de stroomsterkte door de lamp worden gemeten (bij verschillende instellingen van de spanningsbron).

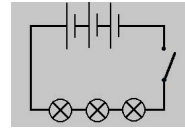
- Teken het schakelschema.
- Vraag wat de maximale spanning is, waarop de lamp mag worden aangesloten, en bouw de schakeling.
- Verwerk je meetresultaten in een meettabel en teken het $(I.U)$ -diagram.
- Leg uit of de lamp een:
Ohmse weerstand
PTC weerstand
NTC weerstand is.

De spanning in een serieschakeling

- Vraag op welke spanning de spanningsbron moet worden ingesteld.
- Bouw een serieschakeling van drie verschillende lampjes met een schakelaar.

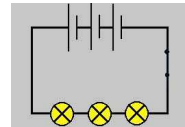
De schakelaar is open; er loopt geen stroom.

- Meet de spanning van de bron.
- Meet de spanning over de schakelaar.
- Meet de spanning over de verschillende lampjes.



De schakelaar is gesloten; er loopt stroom.

- Meet de spanning van de bron.
- Meet de spanning over de schakelaar.
- Meet de spanning over de verschillende lampjes.



In een serieschakeling verdeelt de spanning van de bron zich over de verschillende onderdelen in de kring.

De stroomsterkte in een parallelschakeling

- Vraag op welke spanning de spanningsbron moet worden ingesteld.
- Bouw een parallelschakeling van drie verschillende lampjes.

De "hoofdstroom" is de stroomsterkte in het onvertakte deel van de stroomkring.

- Meet deze hoofdstroom.
- Meet de stroomsterktes door de verschillende lampjes.

In een parallelschakeling verdeelt de hoofdstroom zich over de verschillende takken in de stroomkring.

§10 Totale weerstand in serieschakeling

Totale weerstand R_{tot}

De totale weerstand van een stroomkring geeft aan hoe gemakkelijk (moeilijk) de stroom door de hele kring kan gaan.

Het geeft de bronspanning aan die nodig is om een hoofdstroom van 1 A te krijgen.

De totale weerstand in een serieschakeling

Ieder onderdeel in een serieschakeling vormt een hindernis voor de stroom.

Een extra weerstand in serie geschakeld zorgt er voor dat het moeilijker wordt voor de stroom om door de kring te gaan. Voor de totale weerstand geldt:

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Opgaven

38. Twee weerstanden R_1 en R_2 zijn in serie aangesloten op een spanningsbron. $U_{bron} = 12 \text{ V}$; $R_1 = 20 \Omega$; $R_2 = 30 \Omega$.
Bereken de stroomsterkte.
39. Twee weerstanden R_1 en R_2 zijn in serie aangesloten op een spanningsbron. $U_{bron} = 12 \text{ V}$; $R_1 = 15 \Omega$; $I = 200 \text{ mA}$.
Bereken R_2 .
40. Een elektrische deken bestaat uit o.a. een regelbare weerstand.
De weerstandswaarde van een regelbare weerstand is te variëren door een schuif te verplaatsen.

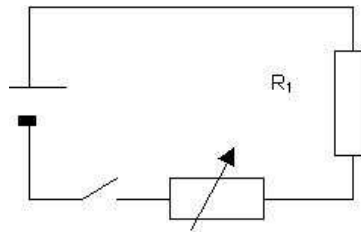
Het schakelschema van de elektrische deken:

$$U_{bron} = 220 \text{ V}$$

$$R_1 = 40 \Omega$$

De regelbare weerstand: $0 \Omega \rightarrow 2160 \Omega$

- schuif helemaal links: $R = 0 \Omega$
- schuif helemaal rechts: $R = 2160 \Omega$



De warmte die in de weerstanden ontstaat, verwarmt de deken.

De schakelaar wordt gesloten. Er loopt een stroom van 200 mA.

A. Bereken de weerstandswaarde van de regelbare weerstand.

De schuif wordt naar links verschoven; de weerstandswaarde van de regelbare weerstand wordt hierdoor 400Ω .

B. Bereken hoe groot de stroomsterkte in de elektrische deken nu is.

§11 Totale weerstand in parallelschakeling

De totale weerstand in een parallelschakeling

Ieder onderdeel in een parallelschakeling vormt een route voor de stroom.

Een extra weerstand parallel geschakeld zorgt er juist voor dat het makkelijker wordt voor de stroom om door de kring te gaan.

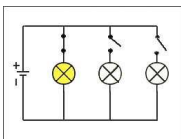
De route door een parallelschakeling is altijd makkelijker dan de route door één van de takken in een parallelschakeling.

Opgaven

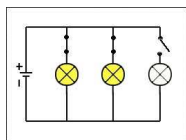
41. Drie lampjes L_1 , L_2 en L_3 zijn parallel aangesloten op een spanningsbron.

$$U_{bron} = 12 \text{ V}; L_1 = 20 \Omega; L_2 = 60 \Omega; L_3 = 30 \Omega.$$

Alleen lampje 1 is ingeschakeld.

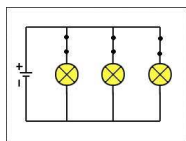


- A. Hoe groot is de totale weerstand?
- B. Bereken de stroomsterkte door lampje 1.
- C. Leg uit dat de hoofdstroom hieraan gelijk is.



Nu wordt ook lampje 2 ingeschakeld.

- D. Bereken de stroomsterkte door lampje 2.
- E. Toon aan dat de hoofdstroom 800 mA is.
- F. Bereken de totale weerstand.



Tenslotte worden alle drie lampjes ingeschakeld.

- G. Toon aan dat de hoofdstroom 1,2 A is.
- H. Bereken de totale weerstand.

**In een parallelschakeling is de totale weerstand
"kleiner dan de kleinste".**

De totale weerstand in een parallelschakeling:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Opgaven

42. Controleer je antwoorden van opdracht 41F. en 41H. met deze formule.

43. In de keuken werken tegelijkertijd (op 220 V) een koelkast en een mixer.

Door de koelkast gaat 200 mA; de weerstand van de mixer is 110 Ω .

Bereken de totale weerstand van de twee apparaten samen.

§12 Overzicht serie- en parallelschakeling

SERIESCHAKELING	PARALLELSCHAKELING
De onderdelen zijn na (achter) elkaar geschakeld. Er is slechts één route voor de stroom.	De onderdelen zijn naast elkaar geschakeld. Er zijn verschillende routes (takken) voor de stroom.
De spanning van de bron verdeelt zich over de verschillende onderdelen in de stroomkring. Stel: $U_{bron} = 12 \text{ V} = 12 \text{ J/C}$ Iedere coulomb lading krijgt dan 12 J energie mee om onderweg aan de onderdelen in de kring af te geven. Ieder onderdeel in de kring ontvangt dus zijn deel. Over ieder onderdeel staat dus spanning; over alle onderdelen samen 12 V.	Over iedere tak in de stroomkring staat de spanning van de bron. Stel: $U_{bron} = 12 \text{ V} = 12 \text{ J/C}$ Iedere coulomb lading krijgt dan 12 J energie mee om onderweg af te geven. Iedere coulomb lading gaat echter maar door één tak [andere lading gaat op hetzelfde moment door de andere tak(ken)]. Over iedere tak staat dus 12 V.
De stroomsterkte is overal in de stroomkring even groot. Stel: Voor de stroomsterkte door de spanningsbron geldt: $I = 6 \text{ A} = 6 \text{ C/s}$ Iedere seconde gaat 6 coulomb lading. Er is slechts één route. De stroom kan zich daarom niet splitsen. De stroomsterkte moet dus overal in de schakeling wel 6 A zijn.	De stroom van de spanningsbron verdeelt zich over de verschillende takken in de stroomkring. Stel: Voor de stroomsterkte door de spanningsbron geldt: $I = 6 \text{ A} = 6 \text{ C/s}$ Iedere seconde gaat 6 coulomb lading. Er zijn verschillende routes; de stroom zal zich splitsen. Door alle takken samen moet iedere seconde 6 coulomb lading passeren.
Een extra weerstand vormt een extra hindernis voor de stroom. Een extra weerstand vergroot daarom de totale weerstandswaarde in de kring. $R_{\text{totaal}} = R_1 + R_2 + \dots$	Een extra weerstand is een extra route voor de stroom. Een extra weerstand verkleint daarom de totale weerstandswaarde in de kring. $\frac{1}{R_{\text{totaal}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

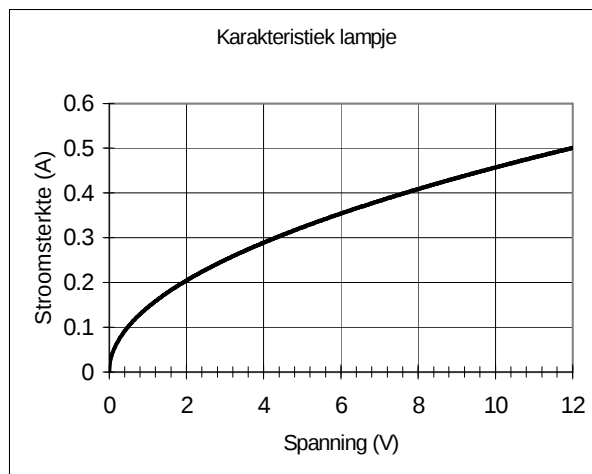
Opgaven

44. Beantwoord de vragen over serieschakeling.
<http://www.matter.org.uk/schools/Content/Resistors/exercises1.html>
45. Beantwoord de vragen over parallelschakeling.
<http://www.matter.org.uk/schools/Content/Resistors/exercises2.html>
46. In §8 is opgemerkt dat alle apparaten thuis parallel op het stopcontact zijn aangesloten, opdat zij apart aan/uit kunnen worden geschakeld. Geef een andere reden waarom huishoudelijke apparaten parallel op de netspanning worden aangesloten.

Opgaven

47. Een lamp (aangesloten op 220 V) heeft een vermogen van 100 W.
Bereken de weerstand van de lamp.
48. De koplamp en de achterlamp van fietsverlichting zijn parallel geschakeld.
A. Leg uit waarom dit bij een fiets handiger is dan serieschakeling.
De dynamo heeft een spanning van 6 V.
Op de achterlamp staat: 6 V; 4,8 W.
Sara fietst (in het donker) naar huis; zij is 5 minuten onderweg.
Haar fietsverlichting werkt goed.
B. Bereken hoeveel energie er in de achterlamp is omgezet.
C. Bereken de stroomsterkte door de brandende achterlamp.
Tijdens het fietsen gaat er een stroomsterkte van 2,3 A door de dynamo.
D. Bereken de weerstand van de koplamp.
49. In school branden van 18.00 uur – 22.00 uur 280 t.l.-buizen van 40 W.
Bovendien werkt de luchtverversing van 12 kW gedurende twee uur.
1 kW·h elektrische energie kost € 0,20.
Bereken de kosten van de energie die deze avond is verbruikt.

50. Voor de identieke lampjes in deze opgave geldt nevenstaande karakteristiek.
De lampjes worden aangesloten op een accu van 12 V.
Drie lampjes zijn in serie geschakeld.
A. Bereken R_{totaal} . Leg uit.
Twee lampjes zijn parallel geschakeld.
B. Bereken R_{totaal} . Leg uit.



51. Bestudeer http://huizeblom.demon.nl/electronica/cursus_elektra/leh10_serieschakelen_van_weerstanden.html
Leereenheid 10: Serieschakelen van weerstanden.

52. Bestudeer http://huizeblom.demon.nl/electronica/cursus_elektra/leh11_parallelischakelen_van_weerstanden.html
Leereenheid 11: Parallelschakelen van weerstanden.



53. Bestudeer http://huizeblom.demon.nl/electronica/cursus_elektra/leh12_gemengde_schakeling_van_weerstanden.html
Leereenheid 12: Gemengde schakeling van weerstanden.

§13 Elektriciteit en veiligheid

Bescherming tegen elektrocutie

Elektrocutie betekent dat het menselijk lichaam in aanraking komt met stroom. De mate van elektrocutie wordt bepaald door de grootte van de stroom en de tijd dat de stroom door het lichaam gaat.

Er zijn drie soorten elektrocutiegevaar:

1. Aanraking van onderdelen die stroom voeren

Onderdelen die stroom voeren, zoals leidingen, zijn gemaakt van geleidende materialen (koper). Deze materialen worden omgeven door isolerende materialen. Zo wordt contact met stroom voorkomen.

Sommige producten hebben een dubbele **isolatie**; symbool:



2. Aanraking van delen die geen stroom mogen voeren

Een elektrisch apparaat kan "*onder spanning*" komen te staan, bijvoorbeeld als de isolatie van een stroomdraad stuk gaat.

Randaarde is een verbinding met de aarde.

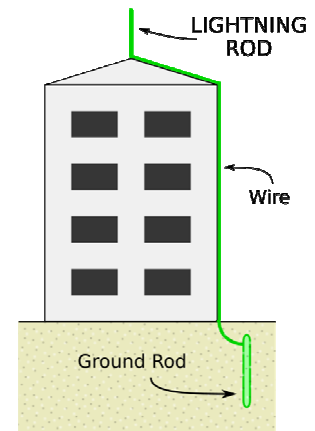
Door het apparaat aan te sluiten op een geaard stopcontact, zal de randaarde ervoor zorgen dat, indien het apparaat zelf onder spanning staat, de stroom veilig naar de aarde wordt afgevoerd. De **aardlekschakelaar** in de meterkast schakelt vervolgens de stroomtoevoer uit.



3. Bliksem bij onweer

Zie (bijvoorbeeld) "Bliksemgevaar" op de site van het KNMI: <http://www.knmi.nl/cms/content/29556/bliksemgevaar>

Een gebouw kan tegen een blikseminslag worden beschermd door een **bliksemafleider**.



Bescherming tegen brand

Door elektriciteitsdraden mag de stroomsterkte niet te groot zijn, omdat ze anders te warm worden en brand kunnen veroorzaken. Als de stroomsterkte te groot is, zal in de meterkast een **zekering** de stroom onderbreken.

Een te grote stroomsterkte kan op twee manieren ontstaan:

1. Kortsluiting

Er is sprake van kortsluiting, als de stroom een route kan volgen "zonder" weerstand. Dit is mogelijk bij een beschadiging; bijvoorbeeld omdat twee niet geïsoleerde draden tegen elkaar aan komen of omdat er water in een elektrisch apparaat is gekomen.

De stroomsterkte zal erg groot zijn.

2. Overbelasting

Er is sprake van overbelasting, als er te veel apparaten met een hoog vermogen tegelijkertijd (in één groep) aan staan.

Omdat apparaten parallel geschakeld zijn, zal de hoofdstroom te groot zijn.

Opgaven

54. Gebruik het internet om de gevolgen van elektrocutie vast te stellen. Van welke site(s) heb je de informatie?
55. Aardlekschakelaar
- A. Ga op het internet na hoe je een aardlekschakelaar kunt testen.
 - B. Wanneer is bij jou thuis de aardlekschakelaar voor het laatst getest? Wie heeft dat gedaan?
56. De zekering in de meterkast schakelt de stroom uit.
- A. Hoe kun je weten of dat het gevolg is van kortsluiting of van overbelasting?
 - B. Wat moet je doen als kortsluiting de oorzaak was?
 - C. Wat moet je doen als overbelasting de oorzaak was?
 - D. Bij hoeveel ampère schakelt bij jou thuis de stroom uit?



§1 Atomen en Atoomkernen

Three quarks for Muster Mark!
Sure he has not got much of a bark
And sure any he has it's all beside the mark.

James Joyce, *Finnegans Wake*



Matter

Atom

Electron

Proton

Quarks

Nucleus

Neutron

LEPTONS

First Family	Second Family	Third Family
Electron Responsible for electricity and chemical reactions; it has a charge of -1	Muon A heavier relative of the electron; it lives for two-millionths of a second	Tau heavier still, it is extremely unstable. It was discovered in 1975
Electron neutrino Particle with no electric charge, and possibly no mass; billions fly through your body every second	Muon neutrino Created along with muons when some particles decay	Tau neutrino Not yet discovered but believed to exist

QUARKS

Up Has an electric charge of plus two-thirds; protons contain two, neutrons contain one	Down Has an electric charge of minus one-third; protons contain one, neutrons contain two
Charm A heavier relative of the up; found in 1974	Strange A heavier relative of the down; found in 1974
Top Heavier still, found in 1995	Bottom Heavier still, measuring bottom quarks is an important test of electroweak theory

Force Particles

These particles transmit the four fundamental forces of nature although gravitons have so far not been discovered

Gluons
Carriers of the strong force between quarks

Felt by: quarks

The explosive release of nuclear energy is the result of the **strong force**

Photons
Particles that make up light; they carry the electromagnetic force

Felt by: quarks and charged leptons

Electricity, magnetism and chemistry are all the results of the **electromagnetic force**

Intermediate vector bosons
Carriers of the weak force

Felt by: quarks and leptons

Some forms of radioactivity are the result of the **weak force**

Gravitons
Carriers of gravity

Felt by: all particles with mass

All the weight we experience is the result of the **gravitational force**

Bron: <http://www.clab.edc.uoc.gr/materials/pc/dive/standardmodel.html>



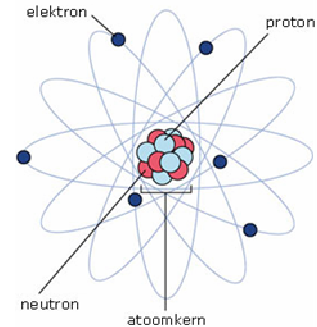
Een zeer uitgebreid overzicht van de leerstof in dit hoofdstuk is te vinden op:
http://adcs.home.xs4all.nl/Deeltjes/adventure_home.html
<http://hv-lab.hust.edu.cn:81/software/HyperPhysics/hbase/hframe.html>

1A Atoommodel Rutherford – Bohr

Materie bestaat uit moleculen.

Moleculen zijn opgebouwd uit atomen.

Atomen zijn in het periodiek systeem gerangschikt.



Alkalimetalen

Aardalkalimetalen

Overgangsmetalen

Andere metalen

Niet-metalen

Edelgasen

Atoom-
getal

Atoom-
gewicht

Symbool

Naam

Zwart vast

Blauw vloeistof

Rood gas

(113) onontdekt

1 1,008

H

Waterstof

2 4,003

He

Helium

3 6,94

Li

Lithium

4 9,01

Be

Beryllium

11 22,99

Na

Natrium

12 24,31

Mg

Magnesium

19 39,10

K

Kalium

20 40,08

Ca

Calcium

21 44,96

Sc

Scandium

22 47,90

Ti

Titaan

23 50,94

V

Vanadium

24 50,01

Cr

Chroom

25 54,94

Mn

Mangaan

26 55,85

Fe

Izer

27 58,93

Co

Kobalt

28 58,91

Ni

Nikkel

29 63,55

Cu

Koper

30 65,37

Zn

Zink

31 69,72

Ga

Gallium

32 72,59

Ge

Germanium

33 74,92

As

Arsen

34 78,96

Se

Selen

35 79,91

Br

Brom

36 83,80

Kr

Krypton

37 85,47

Rb

Rubidium

38 87,63

Sr

Strontium

39 88,91

Y

Yttrium

40 91,22

Zr

Zirkonium

41 92,91

Nb

Niobium

42 95,94

Mo

Molybdeen

43 (98)

Tc

Technetium

44 101,1

Ru

Ruthenium

45 102,9

Rh

Rhodium

46 106,4

Pd

Palladium

47 107,9

Ag

Zilver

48 112,4

Cd

Cadmium

49 114,8

In

Indium

50 118,7

Sn

Tin

51 121,8

Sb

Antimon

52 127,6

Te

Telluur

53 126,9

I

Jood

54 131,3

Xe

Xenon

55 132,9

Cs

Cesium

56 137,3

Ba

Barium

57 138,9

La

Lanthaan

72 178,5

Hf

Hafnium

73 181,0

Ta

Tantal

74 183,8

W

Wolfram

75 186,2

Re

Rhenium

76 190,2

Os

Osmium

77 192,2

Ir

Iridium

78 195,1

Pt

Platina

79 197,0

Au

Goud

80 200,6

Hg

Kwik

81 204,4

Tl

Thallium

82 207,2

Pb

Lood

83 209,0

Bi

Bismut

84 (210)

Po

Polonium

85 (210)

At

Astat

86 (222)

Rn

Radon

87 (223)

Fr

Francium

88 226,0

Ra

Radium

89 227,0

Ac

Actinium

104 (261)

Rf

Rutherfordium

105 (262)

Db

Dubnium

106 (266)

Sg

Seaborgium

107 (262)

Bh

Bohrium

108 (265)

Hs

Hassium

109 (264)

Mt

Meitnerium

(271)

110

(272)

111

(277)

112

(113)

(289)

114

(115)

(289)

116

(117)

(294)

118

(119)

(120)

(121)

Lanthaniden

Actiniden

Superactiniden

58 140,1

Ce

Cerium

59 140,9

Pr

Praseodymium

60 141,2

Nd

Neodymium

61 144,2

Pm

Promethium

62 150,4

Sm

Samarium

63 152,0

Eu

Europium

64 157,3

Gd

Gadolinium

65 158,9

Tb

Terbium

66 162,5

Dy

Dysprosium

67 164,9

Ho

Holmium

68 167,3

Er

Erbium

69 168,9

Tm

Thulium

70 173,0

Yb

Ytterbium

71 173,0

Lu

Lutetium

90 232,0

Th

Thorium

91 231,0

Pa

Protactinium

92 238,0

U

Uraan

93 237,0

Np

Neptunium

94 239,0

Pu

Plutoonium

95 241,1

Am

Americium

96 247,1

Cm

Curium

97 249,1

Bk

Berkelium

98 251,1

Cf

Californium

99 254,1

Es

Einsteinium

100 257,1

Fm

Fermium

101 258,1

Md

Mendelevium

102 259

No

Nobelium

103 259

Lr

Lawrencium

(122-153)

Thompson ontdekte (1897) het elektron	Rutherford heeft aangetoond (1911) dat atomen een positief geladen kern met protonen hebben.	Bohr heeft aangetoond (1913) dat elektronen slechts in bepaalde schillen kunnen zitten.	Chadwick ontdekte (1932) het neutron.

1B Bouw van atoomkernen; atoomnummer en massagetal

- Een atoomkern is opgebouwd uit twee soorten kerndeeltjes (nucleonen): protonen en neutronen.
- Een proton heeft een positieve lading. De grootte van die lading bedraagt $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (de elementairlading). Een neutron is elektrisch neutraal.
- Een proton en een neutron hebben een vrijwel even grote massa.

De algemene notatie voor een atoom(soort) én voor een kern(soort) is: $\frac{A}{Z} X$.

Z is het atoomnummer. Dit getal geeft het aantal protonen in de kern aan. Daarmee wordt de plaats bepaald van het betreffende element in het periodiek systeem. X is het scheikundige symbool voor dat element.

A is het massagetal. Dit getal geeft het totaal aantal nucleonen aan; dus de som van het aantal protonen én het aantal neutronen.

Voorbeeld: ${}_{29}^{63}\text{Cu}$.

Het atoom heeft atoomnummer 29 en is dus koper (Cu). De kern van dit koperatoom bestaat uit 29 protonen en uit $63 - 29 = 34$ neutronen.

1C Bouw van atoomkernen; isotopie

Een element bestaat meestal uit twee of meer soorten atomen. Er is géén verschil in chemische eigenschappen, omdat deze atomen hetzelfde aantal elektronen (want hetzelfde aantal protonen) bezitten.

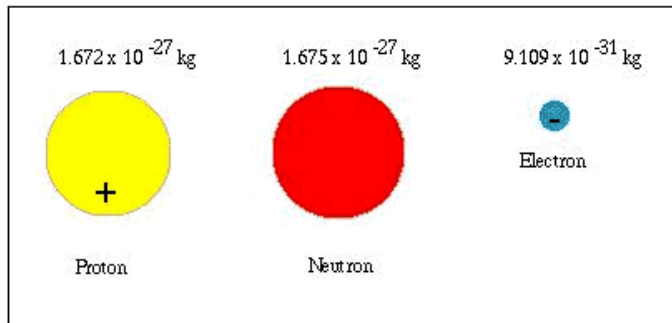
Isotopen verschillen in massa, doordat het aantal neutronen verschilt.

Een eenheid voor de massa van atomen is de atomaire massa-eenheid u :

$$1 \cdot u = \frac{1}{12} \cdot \text{massa } {}_6^{12}\text{C} \text{ atoom} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

De massa van een proton en de massa van een neutron zijn (ongeveer) $1 \cdot u$.

- Massa proton = $1,0073 \cdot u$.
- Massa neutron = $1,0087 \cdot u$.
- De massa van een elektron is veel kleiner: $0,55 \cdot 10^{-3} \cdot u$.

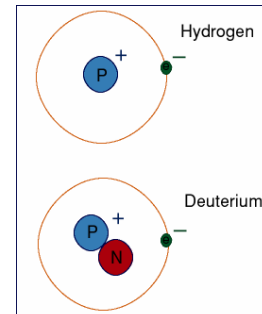


In de natuur komen van koper de isotopen $^{63}_{29}\text{Cu}$ en $^{65}_{29}\text{Cu}$ voor.

De massa van de koperisotopen is dus bij benadering resp. $63 \cdot u$ en $65 \cdot u$.

Van waterstof komen in de natuur voor:

- bijna 100 % ^1_1H
- 0,015 % ^2_1H (deuterium of zwaar waterstof).



Opgaven

1. Uranium

In de natuur komt uranium-238 verreweg het meest voor ($> 99\%$).

- A. Hoeveel protonen zitten er in een uranium-238 atoom?
- B. Hoeveel elektronen zitten er in een uranium-238 atoom?
- C. Hoeveel neutronen zitten er in een uranium-238 atoom?
- D. Hoe groot is de lading van een uranium-238 atoom?
- E. Hoe groot is de lading van een uranium-238 kern in e?
- F. Hoe groot is de lading van een uranium-238 kern in C?

2. Atoommassa

- A. Hoeveel keer zo licht is een elektron vergeleken met een proton / neutron?
- B. Leg uit waarom de massa van een atoomkern 'gelijk' is aan de massa van het atoom zelf.

3. De gemiddelde massa van koperatomen in de natuur is $63,5 \cdot u$.

- A. Wat is het percentage $^{63}_{29}\text{Cu}$ in de natuur?
 - B. Wat is de gemiddelde massa van koperatomen in de natuur in kg?
- De dichtheid van koper $\rho = 8,96 \text{ g/cm}^3$.
- C. Hoeveel koperatomen zitten er in 1 cm^3 koper?

4. Er bestaat nog een 3^e isotoop van waterstof: tritium.

- A. Wat is het atoomnummer Z van tritium?
- B. Wat is het massagetal A van tritium?
- C. Hoe groot is de massa van een tritiumatoom in u?
- D. Hoe groot is de massa van een tritiumatoom in kg?

§2 Standaardmodel

2A Overzicht standaardmodel

Volgens het 'standaardmodel' (1975) bestaat materie uit leptonen en quarks.

FERMIONS matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...					
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_L lightest neutrino*	$(0-0.13) \times 10^{-9}$	0	u up	0.002	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3
ν_M middle neutrino*	$(0.009-0.13) \times 10^{-9}$	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_H heaviest neutrino*	$(0.04-0.14) \times 10^{-9}$	0	t top	173	2/3
τ tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3



De massa van deeltjes zou het gevolg van een 'Higgs-veld' zijn. Er zijn aanwijzingen dat het Higgsdeeltje in CERN aangetoond is. Zie: <http://www.kennislink.nl/publicaties/even-geduld-nog-de-higgs-ontknoping-nadert>

Elektronen zijn elementair.
Zij bestaan niet uit nog kleinere deeltjes.

Protonen en neutronen zijn geen elementaire deeltjes.
Zij bestaan uit quarks.

Krachten ontstaan door het uitwisselen van bosonen ('krachtdragende deeltjes').

- Fotonen voor de elektromagnetische kracht
- W en Z bosonen voor de zwakke kernkracht
- Gluonen voor de sterke kernkracht
- Gravitonen voor de gravitatiekracht (?)

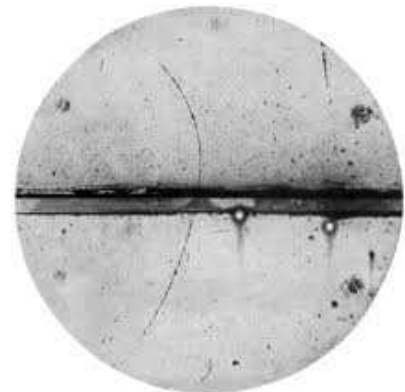
Three Generations of Matter (Fermions)				
	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$	104 MeV $-\frac{1}{3}$	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$	0
	d down	s strange	b bottom	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	<2.2 eV 0	<0.17 MeV 0	<15.5 MeV 0	91.2 GeV ⁰
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z weak force
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Bosons (Forces)	0.511 MeV -1	105.7 MeV -1	1.777 GeV -1	80.4 GeV [±]
	e electron	μ muon	τ tau	W weak force
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1



Bestudeer: http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20100721_standaardmodel01

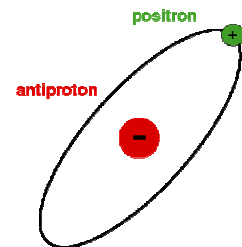
Paul Dirac voorspelde (in 1928) dat ieder materiedeeltje een antideeltje heeft: **antimaterie**. Alle 12 fermionen in het standaardmodel hebben zo'n antideeltje.

In een beroemd experiment (Carl Anderson; 1932) is het anti-elektron (positron) ontdekt¹. Zoals altijd bij materie – antimaterie hebben het elektron en het anti-elektron precies dezelfde massa, maar hun ladingen zijn tegengesteld.



CERN houdt antimaterie 16 minuten vast.

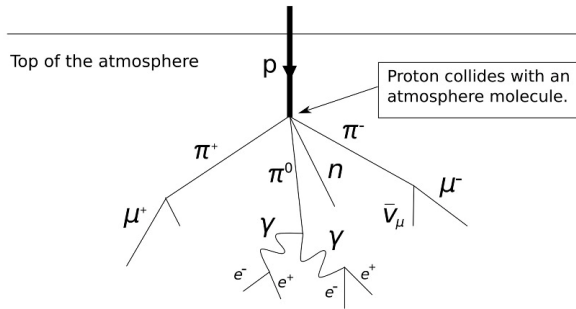
http://www.rtl.nl/actueel/rtlnieuws/buitenland/components/actueel/rtlnieuws/2011/06_juni/06/buitenland/antimaterie_cern_kwartier_vast.xml



¹ Zie (b.v.): <http://nl.wikipedia.org/wiki/Nevelvat>

Muonen

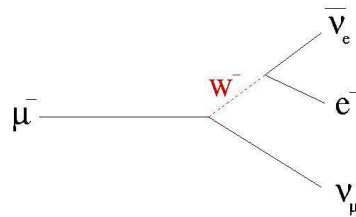
Muonen ontstaan hoog in de atmosfeer, als kosmische straling vanuit het heelal met veel energie botst op luchtmoleculen.



Carl Anderson heeft in 1936 muonen in een nevelvat ontdekt. Het muon is een elementair deeltje met dezelfde lading als het elektron, maar met een 207 keer zo grote massa.



Muonen zijn instabiel; zij vervallen in elektronen en neutrino's. Omdat de gemiddelde levensduur van muonen $2,2 \cdot 10^{-6}$ s is, is na $t_{1/2} = 1,5 \cdot 10^{-6}$ s het aantal muonen gehalveerd.



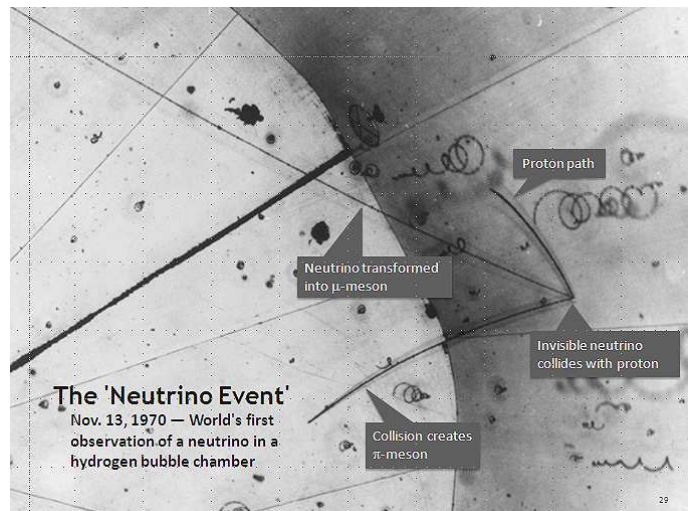
Muonen sneller dan het licht?

Bestudeer: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/relativ/muon.html#c1>

Neutrino's

Neutrino's zijn elementaire deeltjes zonder lading en met een zeer kleine massa (?). Wolfgang Pauli voorspelde in 1930 het bestaan van deze deeltjes.

Neutrino's ontstaan in zeer grote aantallen bij de kernreacties in sterren. Iedere seconde vliegen dag én nacht zo'n 65 miljard neutrino's afkomstig van de zon door iedere $\perp \text{ cm}^2$ op aarde.



Omdat neutrino's bijna geen 'wisselwerking' hebben, gaan ze bijna ongehinderd door materie en zijn ze heel erg moeilijk te detecteren.



Neutrino's sneller dan het licht?

Bestudeer: <http://www.wetenschap24.nl/nieuws/artikelen/2011/september/Opzienbarende-claim--neutrino-s-sneller-dan-licht.html>

2B Quarks en antiquarks; massa, lading en kleurlading

De (elektrische) lading van quarks is $+\frac{2}{3}\cdot e$ of $-\frac{1}{3}\cdot e$.

Quarks hebben ook een 'kleurlading'. Een quark is rood, groen of blauw.

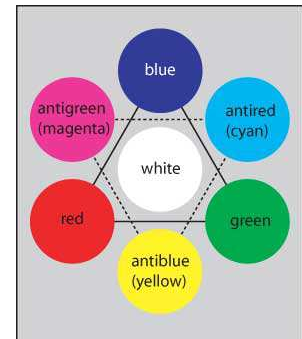
Naast de zes quarks bestaan er ook zes antiquarks. De lading van anti-quarks is dus $-\frac{2}{3}\cdot e$ of $+\frac{1}{3}\cdot e$. Hun kleurlading is cyaan, magenta of geel.

De lading van een materiedeeltje is nooit 'fractioneel'.

Een materiedeeltje is altijd 'kleurloos' (wit).

De volgende combinaties zijn kleurloos:

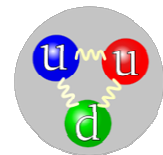
Rood	+	cyaan		
Groen	+	magenta		
Blauw	+	geel		
Rood	+	groen	+	blauw
Cyaan	+	magenta	+	geel



Een proton bestaat uit drie quarks: twee up en één down.

De eigenschappen van het proton:

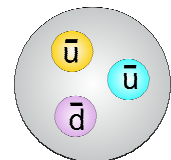
- De massa van het proton is niet eenvoudig te verklaren met de massa's van de drie quarks. De bindingsenergie door de sterke kernkracht is daarbij belangrijk.
- De lading van het proton volgt uit de lading van de quarks:
 $\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1 \cdot e$.
- Het proton is kleurloos. De drie quarks zijn rood, groen én blauw.



Een antiproton bestaat uit drie antiquarks: twee anti-up en één antidown.

De eigenschappen van het antiproton:

- De massa van het antiproton en het proton zijn gelijk.
- De lading van het antiproton is even groot, maar tegengesteld aan de lading van het proton en volgt uit de lading van de antiquarks:
 $-\frac{2}{3} - \frac{2}{3} + \frac{1}{3} = -1 \cdot e$.
- Ook het antiproton is kleurloos.
 De drie quarks zijn cyaan, magenta én geel.



2C Hadronen; mesonen en baryonen

Deeltjes die bestaan uit quarks heten hadronen.

Mesonen zijn deeltjes die uit twee quarks bestaan: één quark + één antiquark. Met de drie lichtste quarks (u, d, s) zijn twee² keer negen deeltjes mogelijk.

Spin = 0	Spin = 1
Q is de lading van het deeltje. S is de 'vreemdheid' van het deeltje. Het strangequark S heeft vreemdheid $S = -1$.	

Voorbeeld: De samenstelling van het positieve kaon K^+ is $\bar{u}\bar{s}$:

- K^+ is een meson en bestaat dus uit twee quarks.
- Omdat $S = +1$, is één van de quarks $\bar{s}$. De lading van $\bar{s}$ is $\frac{1}{3} \cdot e$.
- Omdat $Q = +1$, moet de lading van het andere quark $\frac{2}{3} \cdot e$ zijn. Dus: $\bar{u}$.
- De spin van $\bar{s}$ en $\bar{u}$ zijn tegengesteld gericht ($\uparrow\downarrow$).
- De kleuren van $\bar{s}$ en $\bar{u}$ zijn cyaan – rood óf magenta – groen óf geel – blauw.

Voorbeeld: Het antideeltje van K^+ is K^- . K^- is dus $\bar{u}s$.

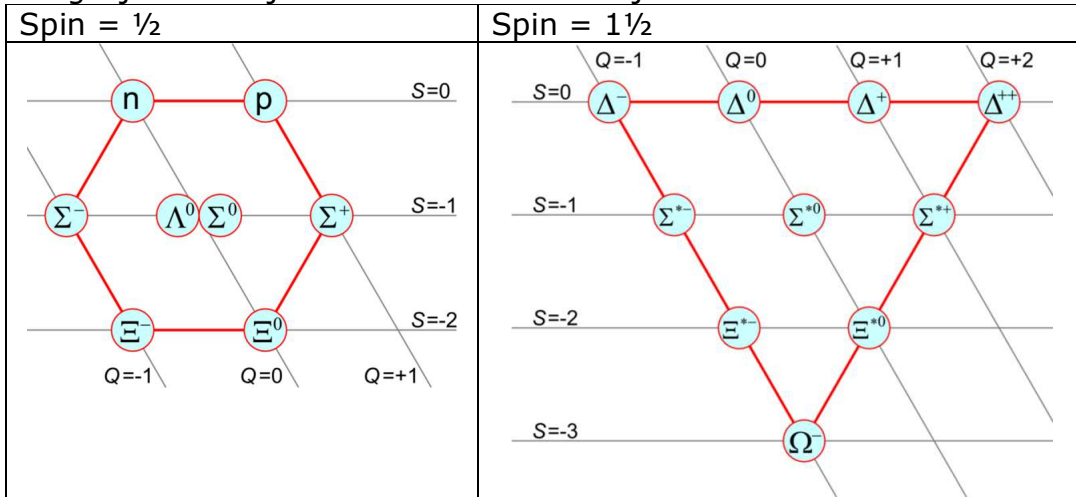
² De 'spin' van een (anti)quark is $\frac{1}{2}$.

De spin van de twee quarks in een meson kunnen parallel zijn ($\uparrow\uparrow$); het meson heeft spin 1.

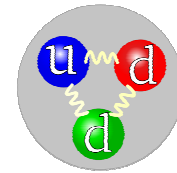
De spin van de twee quarks kunnen antiparallel zijn ($\uparrow\downarrow$); het meson heeft spin 0.

Baryonen zijn deeltjes die uit drie quarks bestaan.

Met de drie lichtste quarks (u , d , s) zijn in principe twee³ keer 10 deeltjes mogelijk. Het blijken er in totaal 18 te zijn.



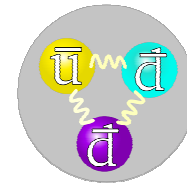
Voorbeeld: De samenstelling van het neutron n is udd .



- n is een baryon en bestaat dus uit drie quarks.
- Omdat $S = 0$, is daar geen S quark bij.
- $Q = 0$; de lading van een u quark wordt gecompenseerd door de lading van twee d quarks samen: $\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$.
- De spin van de quarks zijn deels tegengesteld gericht ($\uparrow\downarrow\uparrow$).
- De kleuren van de quarks zijn rood, groen én blauw.

Voorbeeld: Het antideeltje van het neutron is het antineutron;

dus $\overline{\text{neutron}} = \bar{u}\bar{d}\bar{d}$.



³ De 'spin' van een (anti)quark is $\frac{1}{2}$.

De spin van de drie quarks in een baryon kunnen parallel zijn; het baryon heeft spin $1\frac{1}{2}$.

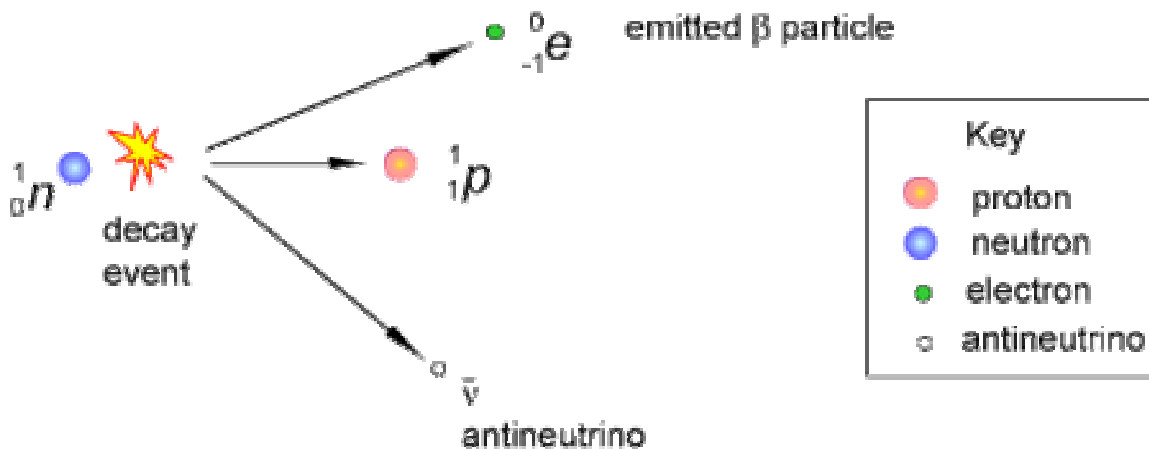
De spin van de drie quarks kunnen verschillend gericht zijn; het baryon heeft spin $\frac{1}{2}$.

2D Instabiele deeltjes; vervalreactie

Het proton en het elektron zijn stabiele deeltjes. Zij veranderen niet spontaan in andere deeltjes. Het neutron is een stabiel deeltje in een atoomkern.

Een vrij neutron is echter instabiel en vervalst: ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}_e$.

Beta Decay of a Neutron



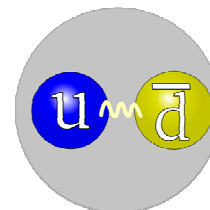
Door zeer grote aantallen reacties te bestuderen is gebleken dat bij iedere (verval)reactie blijkaar moet gelden:

- De lading vóór en na de reactie is gelijk (behoud van elektrische lading)
- Het leptongetal vóór en na de reactie is gelijk (behoud van leptongetal)
- Het baryongetal vóór en na de reactie is gelijk (behoud van baryongetal)

Leptongetal Het leptongetal voor leptonen: $L = 1$
 Het leptongetal voor anti-leptonen: $L = -1$
 Het leptongetal voor de overige deeltjes: $L = 0$

Baryongetal Het baryongetal voor baryonen: $B = 1$
 Het baryongetal voor anti-baryonen: $B = -1$
 Het baryongetal voor de overige deeltjes: $B = 0$

Opgaven



5. Wanneer noemen we een deeltje elementair?
6. In de figuur is een deeltje weergegeven, dat uit twee quarks bestaat. De 'spins' van de quarks zijn 'tegengesteld gericht' ($\uparrow\downarrow$). Wat is de naam van het deeltje?
7. Het Ξ^{*-} deeltje heeft een massa van (ongeveer) $1700 \cdot u$.
 - A. Leg uit wat de samenstelling is van het Ξ^{*-} deeltje. Bespreek daarbij ook de kleur én de spin van de quarks.
 - B. Hoe groot zijn van het antideeltje van Ξ^{*-}
 - ☐ de massa (in u)
 - ☐ de lading (in e)
 - ☐ de vreemdheid S?
8. Neutronverval $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
 - A. Ga na dat de wet van behoud van elektrische lading geldt.
 - B. Ga na dat de wet van behoud van leptongetal geldt.
 - C. Ga na dat de wet van behoud van baryongetal geldt.
9. Pionverval $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$
 - A. Ga na dat de wet van behoud van elektrische lading geldt.
 - B. Ga na dat de wet van behoud van leptongetal geldt.
 - C. Ga na dat de wet van behoud van baryongetal geldt.
10. Muonverval $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$
 - A. Ga na dat de wet van behoud van elektrische lading geldt.
 - B. Ga na dat de wet van behoud van leptongetal geldt.
 - C. Ga na dat de wet van behoud van baryongetal geldt.
11. Welke reactie(s) is/zijn verboden?
 - A. $\pi^+ + p^- \rightarrow K^0 + \Lambda^0 + n$
 - B. $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$
 - C. $\tau^- \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$

§3 Energie & Massa

3A Behoud van energie

Altijd is de hoeveelheid energie vóór en na de reactie gelijk; er bestaat geen reactie waarbij energie ontstaat of verdwijnt.

Bij een reactie kan wel sprake zijn van een energie-omzetting. Belangrijk is daarom de ontdekking van Einstein (1905) dat massa een energiesoort is:

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

- E = energie in J
- m = massa in kg
- $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s (lichtsnelheid).

Bij vervalreacties komt energie vrij, omdat een klein deel van de massa wordt omgezet in andere soorten van energie.

De energie die vrij komt, kan worden berekend met $E = \Delta m \cdot c^2$.

- Δm = massa-afname in kg

3B Bouw van atoomkernen; binding

De protonen in een atoomkern oefenen een afstotende elektrische kracht op elkaar uit. Daar staat tegenover dat de nucleonen (zowel protonen als neutronen) ook een aantrekkende kracht op elkaar uitoefenen (de sterke kernkracht, die werkt op de quarks). De sterke kernkracht werkt slechts op zeer kleine afstanden (uitsluitend op nucleonen, die tegen elkaar aan liggen).

Voor kleine atoomkernen (bijvoorbeeld een $^{35}_{17}\text{Cl}$ kern) is het aantal neutronen in de kern ongeveer gelijk aan het aantal protonen. Naarmate de atoomkern groter is, neemt de verhouding van het aantal neutronen tot het aantal protonen toe. Voor de grootste, nog stabiele, atoomkernen (bijvoorbeeld een $^{208}_{82}\text{Pb}$ kern) is die verhouding ongeveer 3 : 2. Blijkbaar is een

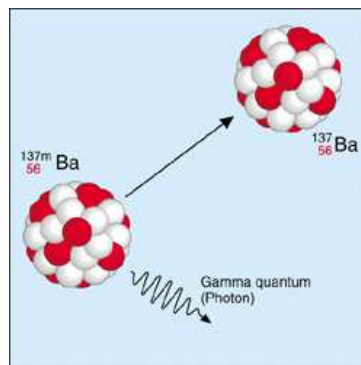
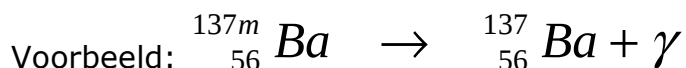
neutronenoverschot noodzakelijk bij grotere atoomkernen. Dit komt doordat elektrische afstoting tussen alle protonen in de kern belangrijk is. Door de extra neutronen in de kern, zijn deze protonen verder bij elkaar vandaan, waardoor de onderlinge elektrische afstoting kleiner is.

De binding in een kern is optimaal, indien de protonen en neutronen in de kern goed gemengd zijn. De kern bevindt zich dan in de **grondtoestand**.

Als de protonen en neutronen niet optimaal gemengd zijn, bevindt de kern zich in een **aangeslagen toestand**.

De kerndeeltjes zullen zich dan na enige tijd spontaan beter mengen, waarbij:

- de kern stabiel(er) wordt
- de massa van de kern kleiner wordt
- gammastraling wordt uitgezonden.



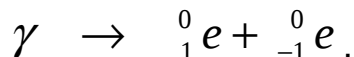
3C Energie en massa; creatie en annihilatie

Het feit dat massa en energie in elkaar kunnen worden omgezet wordt fraai bevestigd door de volgende processen:

- **Creatie** (paarvorming)

Een γ -foton met voldoende energie kan overgaan in twee deeltjes (deeltje + antideeltje).

Bijvoorbeeld de creatie van een elektron en een positron (= anti-elektron):



De massa van een elektron is:

$$0,55 \cdot 10^{-3} \cdot u = 0,55 \cdot 10^{-3} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Omdat het positron even zwaar is als het elektron, moet het foton

$$\text{minstens } E = 2 \cdot m_e \cdot c^2 = 2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (3,00 \cdot 10^8)^2 = 1,64 \cdot 10^{-13} \text{ J zijn.}$$

- **Annihilatie** (vernietiging)

Een positron kan slechts uiterste korte tijd bestaan. Zodra het met een elektron botst, verdwijnen beide deeltjes. Er komt stralingsenergie vrij (twee of drie fotonen).



Opgaven

12. Protonverval?

A. Leg uit dat de behoudswetten voor lading en lepton/baryongetal de volgende reactie niet verbieden: $p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$.

B. Hoe groot is (in u) de massa van het:

- ☐ proton
- ☐ neutron
- ☐ anti-elektron
- ☐ elektron-neutrino?

C. Waarom komt bovenstaande reactie toch niet voor; m.a.w. waarom is het proton stabiel?

13. Neutronverval $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$

A. Waarom is deze reactie mogelijk; m.a.w. waarom is het neutron instabiel?

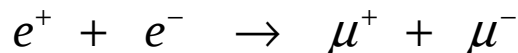
B. Hoeveel massa (in u) verdwijnt er bij deze reactie?

C. Hoeveel massa (in kg) verdwijnt er bij deze reactie?

D. Hoeveel energie (in J) komt er bij deze reactie vrij?

14. Hoeveel energie moet een foton minstens hebben om een proton + een anti-proton te kunnen creëren ($\gamma \rightarrow p^+ + p^-$)?

15. In een deeltjesversneller laat men elektronen en positronen keihard op elkaar botsen. Bij één van deze botsingen treedt de volgende reactie op:



Hoeveel bewegingsenergie moeten de (anti)elektronen samen minstens hebben om deze reactie mogelijk te maken?

16. Hoe groot is de verhouding neutronen : protonen in de volgende kernen:

A. ${}_{15}^{31}\text{P}$

B. ${}_{92}^{238}\text{U}$?

§4 Radioactief verval

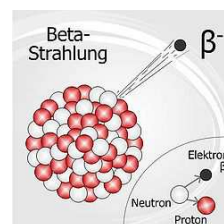
4A Vervalreacties

Niet alle kernen zijn stabiel. Als een kern instabiel is, vervalt het. Bij dit vervalproces komt energie vrij in de vorm van ioniserende straling (kernstraling). Bij vervalprocessen geldt:

- De totale lading voor en na het verval is gelijk.
- Het totaal aantal nucleonen voor en na het verval is gelijk.
- Er komt energie vrij:
 - stralingsenergie (γ -fotonen)
 - kinetische energie van de materie deeltjes.

Er zijn vier oorzaken van instabiliteit:

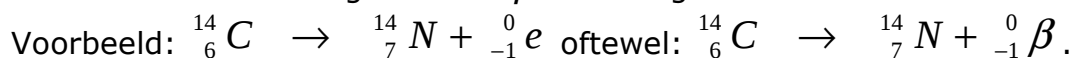
1. het aantal neutronen in de kern is te hoog
2. het aantal neutronen in de kern is te laag
3. het aantal nucleonen in de kern is te hoog
4. de kern bevindt zich in een aangeslagen toestand.



1. Het aantal neutronen in de kern is te hoog: β^- straling

Een neutron in de kern vervalt in een proton én een elektron⁴.

Het elektron wordt uitgezonden: β^- straling.



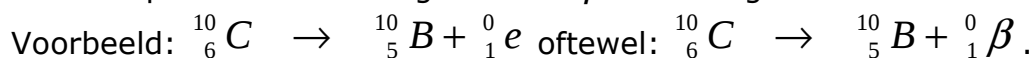
Het elektron krijgt 156 keV kinetisch energie.

2. Het aantal neutronen in de kern is te laag⁵: β^+ straling

Energie in de kern wordt omgezet in materie (creatie).

Er wordt een elektron – positron (anti-elektron) paar gevormd.

- Het elektron vormt met een proton een neutron: ${}^1_1\text{p} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow {}^1_0\text{n}$.
- Het positron wordt uitgezonden: β^+ straling.



Het positron krijgt 2,2 MeV kinetisch energie.

⁴ en een anti-elektronneutrino: ${}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}_e$

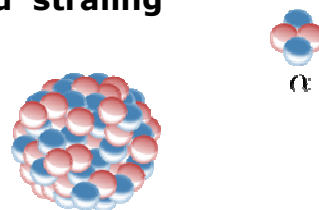
<http://www.kennislink.nl/publicaties/neutrinos-niet-te-vatten>

⁵ Het is ook mogelijk dat een elektron uit de binnenste schil door de kern wordt 'gevangen'

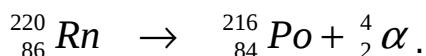
(K-vangst), zodat: ${}^1_1\text{p} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow {}^1_0\text{n}$. Er wordt gamma/röntgenstraling uitgezonden.

3. Het aantal nucleonen in de kern is te hoog: α straling

Twee protonen + twee neutronen samen
(He-kern of α deeltje) schieten uit de kern.



Voorbeeld: ${}_{86}^{220}\text{Rn} \rightarrow {}_{84}^{216}\text{Po} + {}_2^4\text{He}$ ofwel:



Het α deeltje krijgt 6,4 MeV kinetisch energie.

4. De kern bevindt zich in een aangeslagen toestand: γ straling

Kernen verkeren vaak in een aangeslagen toestand (zie 3B) als zij door een kernreactie of door radioactief verval zijn ontstaan⁶.

De kern gaat (meestal na zeer korte tijd) over in een lagere energietoestand (eventueel de grondtoestand). Er wordt daarbij γ straling uitgezonden.

Opgaven

17. Plutonium-240 is een α straler. Geef de vervalreactie.

18. Zink-30 is een β^+ straler. Geef de vervalreactie.

19. Calcium

A. Hoe groot is de lading van het ${}_{20}^{42}\text{Ca}$ -aatom?

B. Hoe groot is de massa is (in u) van de ${}_{20}^{42}\text{Ca}$ kern?

C. Hoe groot is de lading is (in e) van de ${}_{20}^{42}\text{Ca}$ kern?

Er zijn (meer dan) drie calcium isotopen: ${}_{20}^{40}\text{Ca}$; ${}_{20}^{42}\text{Ca}$; ${}_{20}^{47}\text{Ca}$.

${}_{20}^{42}\text{Ca}$ is stabiel.

Eén van de twee andere isotopen is radioactief; het is een β^- straler.

D. Leg uit welke isotoop (${}_{20}^{40}\text{Ca}$ of ${}_{20}^{47}\text{Ca}$) de β^- straler is.

E. Geef de vervalreactie van deze isotoop.

⁶ Meestal gaat α straling of β straling daarom gepaard met γ straling.

4B Tempo van verval; halveringstijd

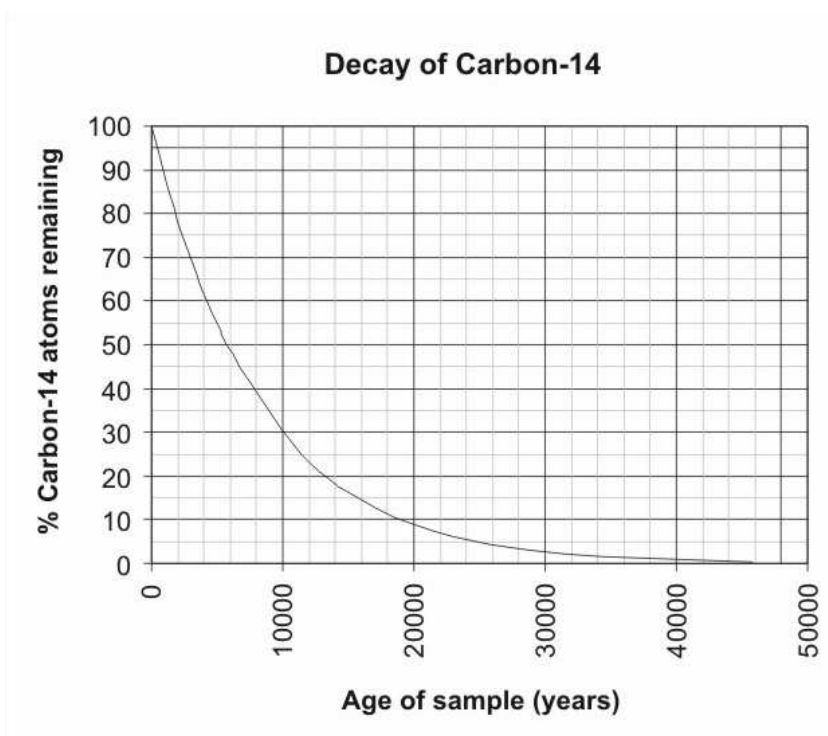
Niet alle deeltjes of kernen zijn stabiel.

Als een kern instabiel is, noemen we de stof 'radioactief'.

Instabiele deeltjes (kernen) vervallen: ze veranderen spontaan in stabiele(re) deeltjes (kernen).

Instabiele deeltjes (kernen) hebben een zekere kans om in een bepaalde periode (bijvoorbeeld de komende seconde) te vervallen⁷. Bij zeer instabiele kernen is die kans zeer groot.

Het aantal kernen dat per seconde vervalt is evenredig met het aantal (nog) aanwezige kernen. Er is daarom sprake van een exponentiële afname.



Exponentiële afname wordt gekenmerkt door een constante halveringstijd $t_{1/2}$.

Na $1 \cdot t_{1/2}$ is er nog 50,0 % van de oorspronkelijk aanwezige kernen.

Na $2 \cdot t_{1/2}$ is er nog 25,0 % van de oorspronkelijk aanwezige kernen.

Na $3 \cdot t_{1/2}$ is er nog 12,5 % van de oorspronkelijk aanwezige kernen.

Na $4 \cdot t_{1/2}$ is er nog 6,25 % van de oorspronkelijk aanwezige kernen. etc.

⁷ Wanneer één instabiel deeltje (radioactieve kern) precies vervalt is niet te zeggen.

Het wordt door het toeval bepaald (kwantummechanika is indeterministisch).

De kans op verval is (in principe) wel te berekenen. Een halveringstijd van b.v. 10 minuten betekent dat ieder deeltje een (gemiddelde) 'levensduur' heeft van ongeveer 1 kwartier.

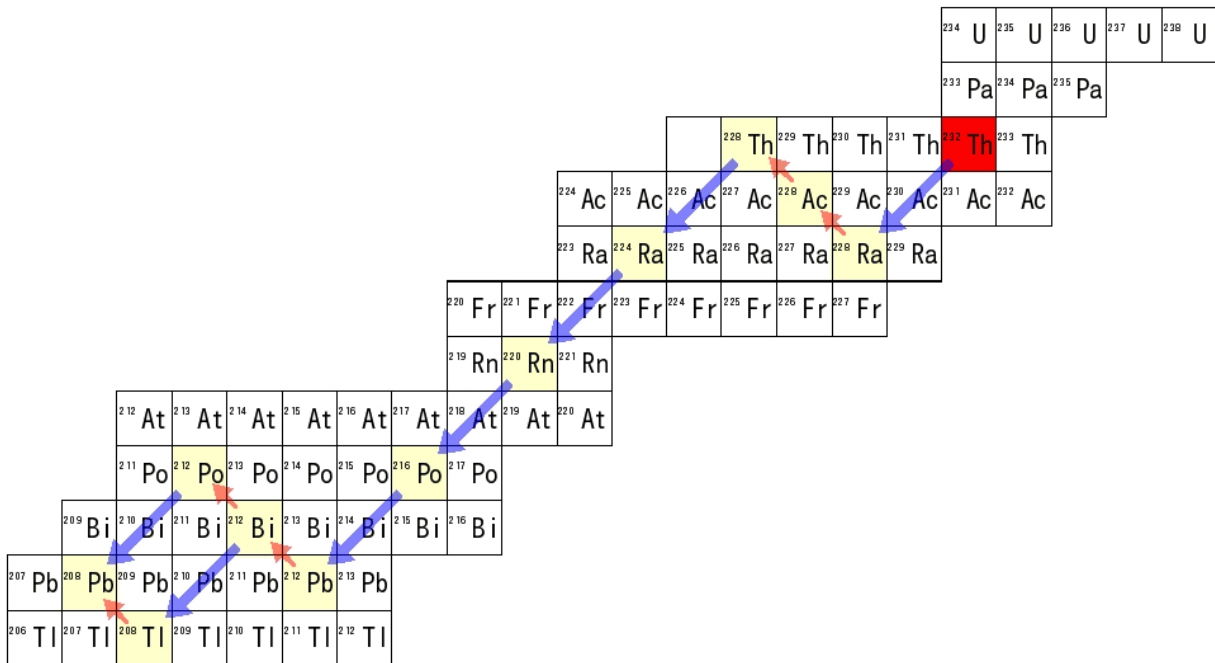
Opgaven

20. Hoe groot is de halveringstijd $t_{1/2}$ van koolstof-14?
21. Neutronen hebben een halveringstijd $t_{1/2} = 10$ minuten.
Er zijn op zeker moment $8 \cdot 10^5$ vrije (instabiele) neutronen.
Hoeveel neutronen zijn er nog na 1 uur?
22. Bij de vorming van de aarde (4,5 miljard jaar geleden) waren $3 \cdot 10^{37}$ ${}^{238}_{92}\text{U}$ atomen aanwezig.
Sinds het ontstaan van de aarde is er geen nieuw uranium gevormd.
De halveringstijd $t_{1/2}$ van ${}^{238}_{92}\text{U}$ is (toevallig) ook 4,5 miljard jaar.
Bereken hoeveel kilogram ${}^{238}_{92}\text{U}$ nu op aarde aanwezig is.
23. Op $t = 0$ s zijn er $100 \cdot 10^3 \pi^+$ (instabiele) mesonen.
Op $t = 54$ ns zijn er nog $12,5 \cdot 10^3 \pi^+$ (instabiele) mesonen over.
A. Hoe groot is de halveringstijd $t_{1/2}$ van π^+ mesonen?
Jan Willem stelt dat er op $t = 90$ ns nog 3125 π^+ mesonen zijn.
Redouan stelt dat er op $t = 90$ ns nog ongeveer 3125 π^+ mesonen zijn.
B. Wie heeft er gelijk?
24. De levensduur van een muon is 2,2 μs .
Op $t = 0$ s wordt een muon gevormd. Hoe lang bestaat dit muon?
25. Polonium-211 is een α straler.
A. Geef de vervalreactie.
B. Bestudeer: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/alpha-decay>
C. Hoe groot is de halveringstijd $t_{1/2}$ van polonium-211?
D. Bestaan de meeste polonium-211 kernen langer of korter dan $t_{1/2}$?

4C Vervalreeks

Instabiele isotopen vervallen vaak in een reeks totdat uiteindelijk een stabiele atoomsoort ontstaat. Bij iedere vervalreactie ontstaat ioniserende straling.

Voorbeeld: $^{232}_{90}\text{Th}$



Subaru Telescope, NAOJ

Opgaven

26. Thorium vervalreeks

- Geef de eerste vier vervalreacties uit deze reeks.
- Bij welk stabiel isotoop eindigt deze vervalreeks

27. Uranium vervalreeks

In de kunstmest zit fosfaathoudend gesteente. Dit gesteente bevat van nature een kleine hoeveelheid uranium-238 (U-238). U-238 vervalt in stappen; Po-210 is een van de tussenisotopen.

In de vervalreeks van U-238 wordt steeds of een α deeltje of een β^- deeltje uitgezonden (eventueel in combinatie met γ straling). Bij het verval van U-238 naar Po-210 is zeven keer een α deeltje uitgezonden.

A. Leg dit uit.

Bij het verval van U-238 naar Po-210 zijn ook β^- deeltjes uitgezonden.

B. Leg uit hoeveel.

28. Radioactief afval van kerncentrales bevat een grote verscheidenheid aan

radioactieve stoffen, o.a. $^{99}_{43}\text{Tc}$ (Tc-99) dat een β^- straler is met een zeer lange halveringstijd heeft: $t_{1/2} = 220 \cdot 10^3$ jaar.

A. Geef de vervalreactie van deze isotoop.

Tegenwoordig onderzoekt men de mogelijkheid om een zeer langlevende radioactieve stof als Tc-99 om te zetten in een stof die veel sneller vervalt. Daartoe bestraalt men het technetium met neutronen. Als een Tc-99-kern een neutron invangt, ontstaat de isotoop Tc-100 met $t_{1/2} = 16$ seconde.

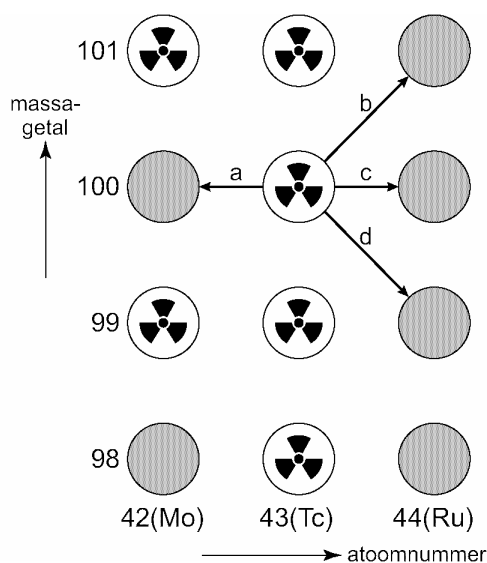
In de figuur zijn twaalf kernen als cirkels weergegeven.

B. Hoeveel neutronen bevat een Tc-100-kern?

De grijze kernen zijn stabiel.
De andere isotopen zijn radioactief.

Vanuit de cirkel die de Tc-100-kern voorstelt, zijn de vier pijlen a, b, c en d getekend. Eén van die pijlen stelt het β^- verval voor van Tc-100.

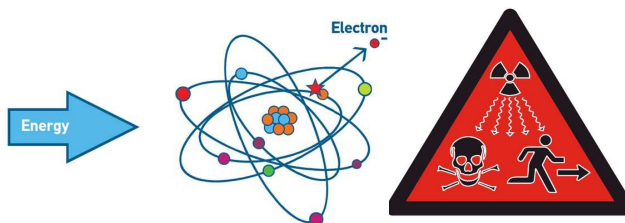
C. Leg uit welke pijl.



§5 Ioniserende straling

5A Doordringend vermogen

Ioniserende straling kan atomen ioniseren. Het bezit (ruim) voldoende energie om elektronen uit de buitenste schillen van atomen weg te slaan, zodat er positieve ionen ontstaan. Daardoor kunnen biochemische processen (bijvoorbeeld in het menselijke lichaam door beschadiging van DNA en/of afbraak van eiwitten en/of **mutatie** = reproductie beschadigde cellen) ernstig verstoord worden.



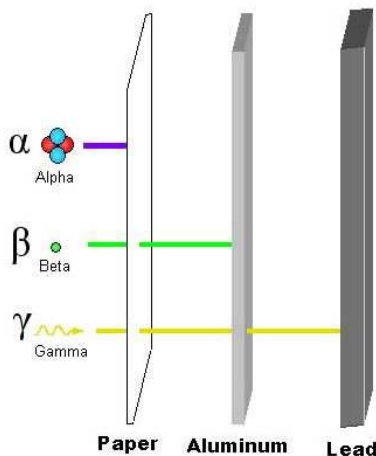
α en β straling zijn geladen deeltjes met een grote kinetische energie. Bij iedere botsing met een atoom geven zij een klein deel van hun kinetische energie af, waardoor het atoom wordt geïoniseerd.

γ straling is elektromagnetische straling ('onzichtbaar licht'). Met de energie van de fotonen die worden geabsorbeerd, worden atomen geïoniseerd.

Doordat α en β^- straling binnen een korte afstand met zeer veel atomen botsen, is hun 'doordringend vermogen' gering.

β^+ straling heeft geen doordringend vermogen door de directe annihilatie met elektronen.

γ straling heeft een groot doordringend vermogen; er is een dikke loden plaat nodig om bijna alle fotonen te absorberen.



Röntgenstraling lijkt op γ straling, maar dan minder schadelijk en makkelijker tegen te houden.

5B Ioniserende straling; effecten op de mens

Bestraling:

De bron van de ioniserende straling bevindt zich op (enige) afstand.

Bescherming tegen α en β bestraling: bron afschermen.

Bescherming tegen γ / röntgenstraling: bron afschermen (lood / beton)
afstand bewaren ('kwadratenwet')
(lange) blootstelling vermijden.

Besmetting:

De bron van de ioniserende straling is in/op het lichaam.

Bescherming tegen besmetting: zorgvuldig beheer radioactieve stoffen.

ALARA principe⁸:

Bestraling en besmetting worden zoveel als redelijkerwijs mogelijk is beperkt.

Gezondheidseffecten van ioniserende straling hangen af van:

- ☐ de soort straling
- ☐ de energie van de straling
- ☐ het lichaamsdeel dat wordt bestraald
- ☐ de leeftijd.

Stralingsbelasting dient zoveel mogelijk te worden beperkt.

Een dosisequivalent onder 20 mSv per jaar zou nauwelijks extra gezondheidsrisico's opleveren.



Stralingsdosis D

De hoeveelheid stralingsenergie die 1 kg weefsel absorbeert.

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

[D] = Gray = Gy = J/kg.

Omdat bij gelijke stralingsdosis het ioniserend vermogen van α straling 20 x zo groot is als van de andere soorten straling, is de **stralingsweegfactor** w_R en de **dosisequivalent** H ingevoerd:

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

[H] = Sievert = Sv = J/kg.

soort straling	weegfactor w_R
α	20
β	1
γ	1
röntgen	1

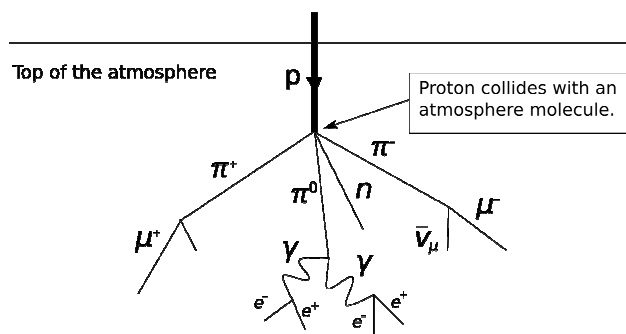
⁸ ALARA = 'As Low As Reasonably Achievable'

5C Ioniserende straling; achtergrondstraling

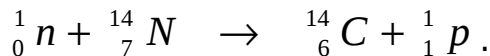
Achtergrondstraling is de ioniserende straling die voortdurend aanwezig is.

Natuurlijke achtergrondstraling:

- Ten gevolge van radioactieve isotopen in de bodem en in bouwmaterialen. Bijvoorbeeld: radon (Rn) is een radioactief edelgas, dat o.a. ontstaat bij het verval van radium (Ra). Het komt van nature in de lucht voor. In (kruipruimtes van) woningen kan het gas zich ophopen. Door inademen van radon vindt besmetting plaats. Omdat radon een α straler is, is er dan sprake van stralingsbelasting van kwetsbaar longweefsel.
- Ten gevolge van **kosmische straling** uit het heelal. Protonen en heliumkernen met grote kinetische energie botsen (hoog) in de atmosfeer met vooral stikstof en zuurstofmoleculen.



Het radioactieve koolstof-14 is een van de isotopen die zo ontstaan:



Koolstof-14 is van belang bij dateringen van materialen van biologische oorsprong: www.kennislink.nl/publicaties/hoe-oud-is-de-holenmens.

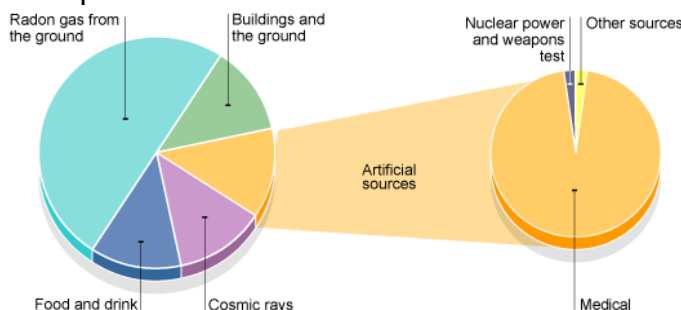
Kunstmatige achtergrondstraling:

- Ten gevolge van het testen en gebruiken van kernwapens
- Ten gevolge van toepassing van en ongelukken met kernenergie.

Radiologie:

De moderne gezondheidszorg is verantwoordelijk voor een belangrijk deel van de stralingsbelasting.

- Diagnose: het vaststellen van ziektebeelden
- Therapie: het behandelen van ziektebeelden.





5D Detectie van ioniserende straling

- ☐ Badge
- ☐ Bellenvat
- ☐ Geiger-Müllerteller
- ☐ Dradenkamer



5E Toepassing van ioniserende straling:

http://www.fi.uu.nl/isp/bestanden/website_info_toepassingen.pdf

- ☐ Radiodiagnose
 - Röntgenfoto
 - CT-scan

http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20061103_ctscan

- Tracers; b.v. $^{99m}_{43}\text{Tc}$

<http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=678476>

http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20061221_gamma01

- ☐ Radiotherapie
 - Inwendige bestraling
 - Uitwendige bestraling
- ☐ Industriële toepassingen

Opgaven

29. Bestraling en besmetting

- A. Is bestraling mogelijk zonder besmetting?
- B. Is besmetting mogelijk zonder bestraling?

30. Arseenvergiftiging?

Men vermoedt dat iemand aan een arsenicumvergiftiging is overleden. Een haar van deze persoon wordt onderzocht op de aanwezigheid van arseen (arsenicum). Arseen is een stabiele stof: As-75.

De haar wordt bestraald met neutronen. Als er arseen in het haar zit,

wordt dit door deze bestraling omgezet in As-76: $^1_0n + ^{75}_{33}\text{As} \rightarrow ^{76}_{33}\text{As}$.

$^{76}_{33}\text{As}$ is radioactief en vervalt tot het stabiele $^{76}_{34}\text{Se}$.

Daarbij wordt o.a. γ straling uitgezonden.

- A. Geef de vervalvergelijking van As-76.

Om arseen aan te tonen gebruikt men zijn halveringstijd: $t_{1/2} = 1$ dag. Eerst meet men met een Geiger-Müllerteller de achtergrondstraling. De teller geeft ten gevolge van de achtergrondstraling 24 pulsen per minuut aan. De achtergrondstraling mag als constant beschouwd worden. Vervolgens wordt de straling gemeten van de verdachte mensenhaar, die met neutronen is bestraald. De teller meet nu 164 pulsen per minuut. Na 2 dagen herhaalt men deze meting. Men meet dan 59 pulsen per minuut. Neem aan dat door de neutronenbestraling slechts één stof radioactief is geworden.

B. Leg uit of deze stof arseen zou kunnen zijn.

31. Hartfoto's

Tegenwoordig maakt men hartfoto's met een zogenaamde gammacamera. Een gammacamera heeft een film die gevoelig is voor γ straling. Enige tijd voordat de foto gemaakt wordt, spuit men bij de patiënt een oplossing van kaliumchloride in. Een deel van het kalium bestaat uit de isotoop K-43 dat als tracer dienst doet. Kalium, dus ook K-43, wordt beter opgenomen door goed werkende hartspieren dan door slecht werkende hartspieren.

In de figuur is links een opname te zien van een goed werkende hartspier en rechts een opname van een slecht werkende hartspier.



In de tabel staan gegevens van twee isotopen, kalium-43 en thallium-201.

Isotoop	Soort straling en energie		Halveringstijd (uur)
K-43	β^- (830 keV)	γ (619 keV)	22
Tl-201	–	γ (135 keV)	72

Naast γ straling wordt door de isotoop K-43 ook β^- straling uitgezonden; er ontstaat dan een stabiel calcium (Ca) isotoop.

A. Geef de vergelijking van dit β^- verval.

B. Waarom is het belangrijk dat een stabiel isotoop ontstaat?

In een periode van 66 uur na het inspuiten is een bepaald percentage van het isotoop K-43 vervallen.

C. Hoe groot is dit percentage?

Voor hartonderzoek gebruikt men tegenwoordig ook de isotoop Tl-201.

Tl-201 wordt even goed door het hart opgenomen als K-43.

D. Noem één voordeel en één nadeel van het gebruik van de Tl-isotoop ten opzichte van de K-isotoop.

Geef zowel bij het voordeel als bij het nadeel een toelichting.



32. Bestudeer: <http://www.kennislink.nl/publicaties/radioactiviteit-onder-de-loep>.

33. Bestudeer: http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20110601_straling01

§6 Kernreacties

6A het beschieten van atoomkernen

Bij radioactief verval treedt een spontane kernreactie op, doordat de kern instabiel is. Kernreacties kunnen ook optreden door een atoomkern te 'beschieten', zodat er een deeltje (projectiel) de atoomkern binnendringt. In de kernfysica gebeurt dit beschieten met:

- ${}^4_2\alpha, {}^1_1p, {}^2_1H$ De projectielen zijn positief geladen en worden dus door de atoomkern afgestoten. Om de atoomkern binnen te dringen moeten deze projectielen dus een zeer grote kinetische energie bezitten (deeltjesversnellers).
- 1_0n Neutronen ondervinden geen afstotende kracht van de atoomkern. Het blijkt dat de kinetische energie van de neutronen niet 'te groot' mag zijn om een kernreactie te veroorzaken⁹.

Als het projectiel door de atoomkern wordt 'ingevangen', ontstaat een tussenkern. Er zijn vervolgens drie mogelijkheden:

1. De tussenkern vervalt (kunstmatig verval)
2. Kernsplijting
3. Kernfusie.

Er komt in ieder geval γ straling vrij, omdat de kernen in een aangeslagen toestand ontstaan. Bij de kernreacties wordt het γ foton (meestal) weggelaten.

Ook nu geldt bij iedere kernreactie:

- De totale lading voor en na het verval is gelijk.
- Het totaal aantal nucleonen voor en na het verval is gelijk.

Voorbeelden:

- De eerste kunstmatige kernreactie; Rutherford 1919
$${}^{14}_7N + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^{17}_8O + {}^1_1p$$
Het proton vliegt weg: **protonstraling**.
- De ontdekking van het neutron; Chadwick 1932
$${}^9_4Be + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^{12}_6C + {}^1_0n$$
Het neutron vliegt weg: **neutronstraling**.
- De productie van eerste kunstmatige radioactieve stof; Joliot - Curie 1934
$${}^{27}_{13}Al + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^{30}_{15}P + {}^1_0n$$
- De productie van de eerste 'transuraan'; 1940
$${}^{238}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{239}_{93}Np + {}^0_{-1}e$$

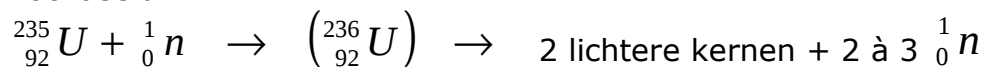
⁹ Zie 'moderator' bij kernsplijting

6B Kernsplijting

Kernen van $^{235}_{92}\text{U}$ en $^{239}_{94}\text{Pu}$ kunnen splijten (splitsen) na vangst van een langzaam ('thermisch') neutron.

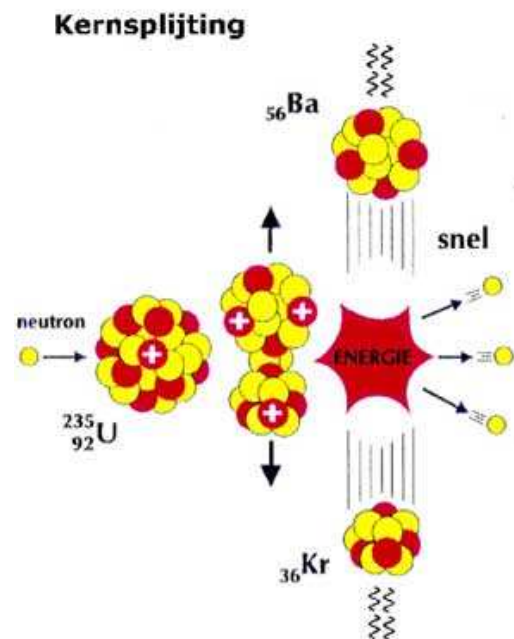
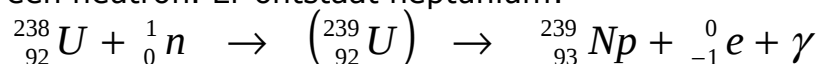
De totale massa van de brokstukken + de losse neutronen die vrijkomen is kleiner dan de massa van de tussenkern $^{236}_{92}\text{U}$ of $^{240}_{94}\text{Pu}$. Bij deze splijtingen komt dus energie vrij (kinetische energie van de brokstukken en de neutronen).

Voorbeeld:



- Het invallende neutron moet 'langzaam' zijn, anders ontstaat de tussenkern niet.
 - Het is niet te voorspellen welke lichtere kernen uit de tussenkern ontstaan. Er zijn veel mogelijkheden.
 - De nieuw gevormde lichtere kernen krijgen een grote kinetische energie. Deze energie wordt overgedragen aan de omgeving: warmte.
 - De vrijgekomen neutronen zijn 'snel'. Deze neutronen moeten afgeremd worden om een nieuwe kernsplijting (en daarmee een kettingreactie) te kunnen veroorzaken.
- In een kerncentrale is sprake van een gecontroleerde kettingreactie; in een kernbom 'explodeert' het aantal reacties.

- $^{238}_{92}\text{U}$ splijt niet na het invangen van een neutron. Er ontstaat neptunium:



Bestudeer: www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=299141

6C Kern(splijtings)reactor

In Nederland is een reactor in Borssele voor het opwekken van elektrische energie¹⁰ en een reactor in Petten voor de fabricage van isotopen.



Splijststof¹¹ is het materiaal waarin kernsplijting plaatsvindt: ${}_{92}^{235}\text{U}$ en ${}_{94}^{239}\text{Pu}$.

In natuurlijk uranium zit slechts 0,7% ${}_{92}^{235}\text{U}$. Het **verrijken** van uranium is het vergroten van het percentage ${}_{92}^{235}\text{U}$. Verrijken is nodig, omdat uitsluitend de isotoop ${}_{92}^{235}\text{U}$ kan splitsen en gebeurt met toestellen die gebruik maken van het verschil in massa tussen ${}_{92}^{238}\text{U}$ en ${}_{92}^{235}\text{U}$ (b.v. ultracentrifuge).

- ❑ Laag verrijkt uranium bevat (minstens) 3% ${}_{92}^{235}\text{U}$.
- ❑ Hoog verrijkt uranium (waarin het percentage ${}_{92}^{235}\text{U}$ aanzienlijk verder is verhoogd) kan in kernwapens worden toegepast.

De internationale gemeenschap is bezorgd over het nucleaire programma in Iran. Zie: <http://nos.nl/artikel/311710-iaea-iran-werkte-aan-kernwapen.html>



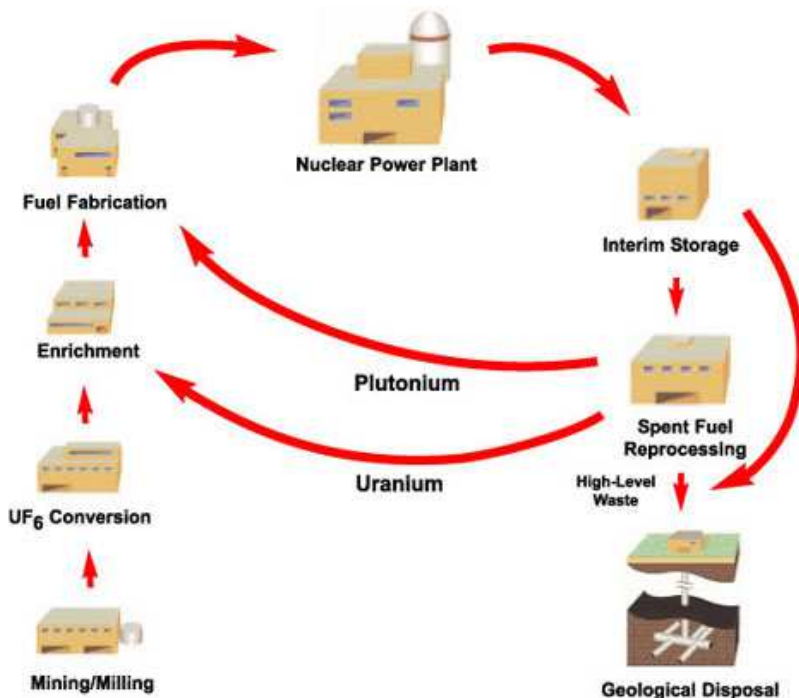
Ook ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ wordt als splijststof gebruikt, zowel voor het opwekken van energie als in kernwapens.

Het eerste kernwapen dat in oorlogstijd werd ingezet was de uraniumbom Little Boy, die tijdens de Tweede Wereldoorlog door de Verenigde Staten op 6 augustus 1945 boven de Japanse stad Hiroshima tot ontploffing werd gebracht. Het vliegtuig waarmee de bom naar Hiroshima werd gevlogen heette Enola Gay. Op 9 augustus 1945 werd Nagasaki aangevallen met een plutoniumbom: Fat Man.

¹⁰ Er zijn plannen voor een tweede centrale:
<http://www.rijksoverheid.nl/nieuws/2011/02/11/bouw-nieuwe-kerncentrale-in-2015.html>
¹¹ Soms wordt (ten onrechte) gesproken van 'brandstof'; er is geen sprake van verbranding.

Splijtstofcyclus

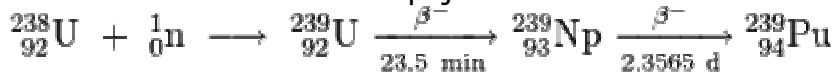
De splijtstofstaven raken na verloop van tijd verontreinigd met uiterst radioactieve splijtingsproducten. Bovendien neemt het percentage $^{235}_{92}\text{U}$ af.



Opwerken

Het (terug)winnen van uranium en plutonium uit gebruikt splijtstof om hergebruik mogelijk te maken.

Plutonium ontstaat in de splijtstofstaven:



$^{239}_{94}\text{Pu}$ kan net als $^{235}_{92}\text{U}$ (op veel verschillende manieren) splijten.

opslag radioactief afval

<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/kernenergie/radioactief-afval>

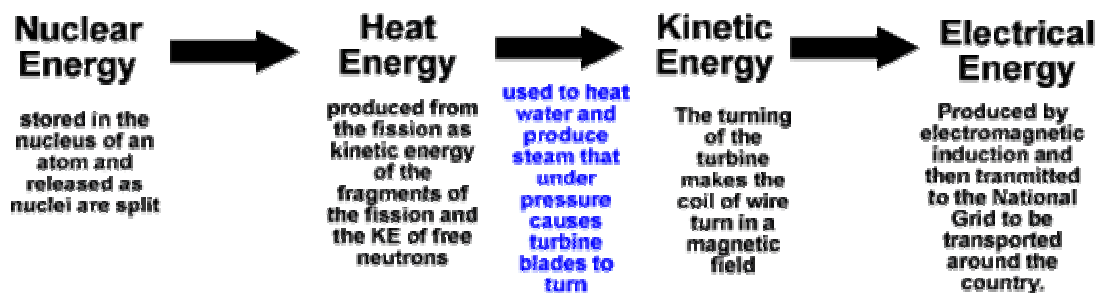
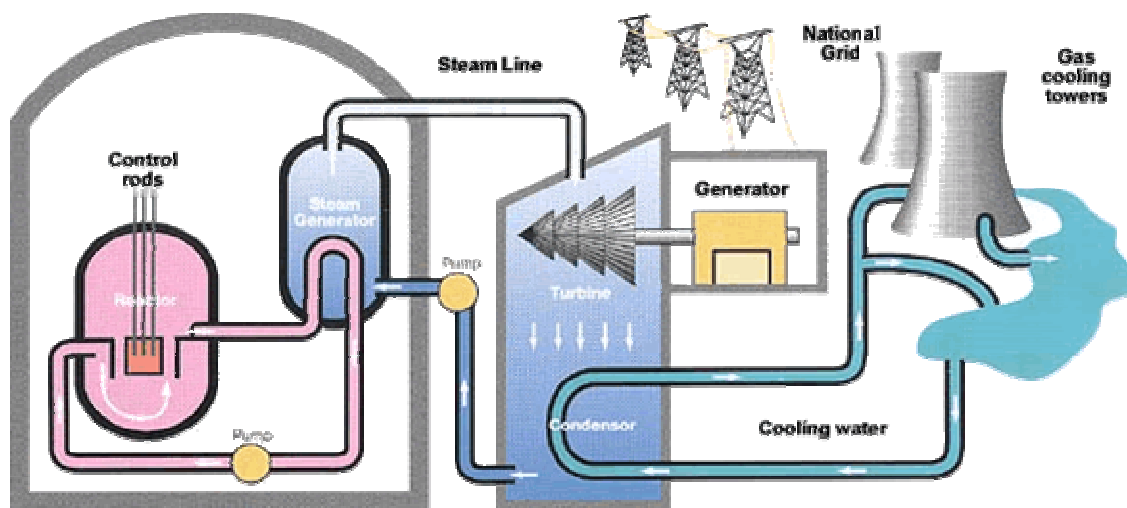
Moderator is de 'neutronenremmer' die de snelle neutronen, die bij splijting van de tussenkern ontstaan, geschikt maakt om een nieuwe kern te splijten. Door de vele botsingen tegen de moderator (die bestaat uit lichte atomen; b.v. koolstof) verliezen de neutronen hun snelheid.

Regelstaven bestaan uit materialen (zoals cadmium) die neutronen absorberen. Het aantal splijtingen en daarmee het vermogen van de centrale kan worden geregeld door de regelstaven meer of minder tussen het splijtstofmateriaal in te schuiven. Vermenigvuldigingsfactor k :

- $k = 1$ De reactor werkt op constant vermogen.
- $k > 1$ Het reactorvermogen stijgt, bijvoorbeeld als de reactor opstart. Het aantal splijtingen per seconde stijgt doordat de regelstaven minder ver tussen het splijtstofmateriaal worden geschoven.
- $k < 1$ Het vermogen daalt, bijvoorbeeld als de reactor wordt stilgelegd. Het aantal splijtingen per seconde daalt doordat de regelstaven verder tussen het splijtstofmateriaal worden geschoven.

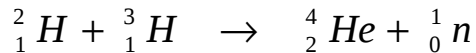
Koelmiddel bevindt zich tussen de splijtstofstaven en geeft de warmte via een 'warmtewisselaar' af aan een tweede circuit. Daar volgt de keten: stoom → turbine → dynamo.

Omhuysel van beton en staal dient als beveiliging tegen de hoge druk en tegen de vrijkomende ioniserende straling.

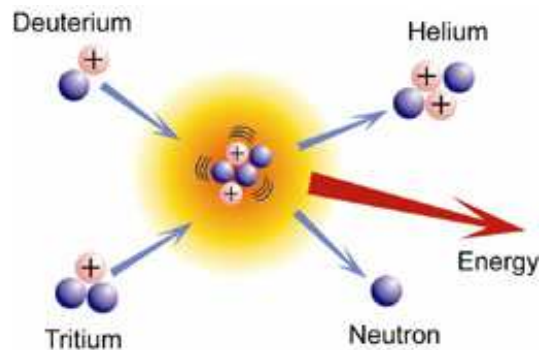


6D Kernfusie

Kernfusie is het samengaan van twee lichte kernen. Een belangrijk voorbeeld is het samengaan van een deuteriumkern en een tritiumkern¹²:



Bij deze fusiereactie is sprake van een relatief grote massa-afname; er komt veel energie vrij.



- Om twee lichte kernen te fuseren, moet eerst veel energie worden toegevoerd (beschikbaar zijn) om de elektrische afstoting tussen de positief geladen kernen te overwinnen. De kernen moeten daartoe een zeer grote snelheid hebben. Er moet dus een zeer hoge temperatuur zijn. De te fuseren deeltjes bevinden zich in de zogenaamde **plasma** fase¹³.
 - Om de kans op fuseren te vergroten, moet de dichtheid van de kernen groot zijn. Er moet dus sprake zijn van een zeer hoge druk.
 - Om een reeks van fusiereacties mogelijk te maken, moeten beide omstandigheden bovendien gedurende enige tijd aanwezig blijven.
- Aan deze voorwaarden is voldaan in het inwendige van sterren zoals onze zon.

Sinds 1952 zijn er waterstofbommen (H-bom), die hun explosieve energie (vooral) halen uit de fusie van waterstof. Kernsplijting wordt daarbij gebruikt om een voldoende hoge temperatuur en druk te krijgen om het fusieproces op gang te brengen.



ITER is een internationaal onderzoeksproject om elektrische energie op te wekken in een kernfusiecentrale.

Het is onduidelijk of / wanneer kernfusie voor de productie van elektriciteit mogelijk zal zijn. Een belangrijk technologisch probleem is de 'opsluiting' van het plasma (bij een zeer hoge temperatuur en druk) in een magneetveld.

Bestudeer: <http://www.fusie-energie.nl/index.htm>
<http://noorderlicht.vpro.nl/artikelen/27515336/>



¹² Tritium kan ontstaan door:

- reactie van lithium en neutron ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$ (kernreactor)
- reactie van stikstof en neutron ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^3_1\text{H}$ (kosmische straling)

¹³ In de natuurkunde wordt onder plasma een fase verstaan waarin de deeltjes van een gasvormige stof in meer of mindere mate geïoniseerd zijn. Vaak wordt plasma de vierde aggregatietoestand genoemd; naast vast, vloeibaar en gas.

6E Fusie in de zon

De zon bestaat voor bijna 75 % uit waterstof en voor bijna 25 % uit helium. In het inwendige van sterren is fusie mogelijk.

De fusie van waterstof tot helium (proton-proton-cyclus) is in sterren zoals onze zon het belangrijkste (zie figuur).

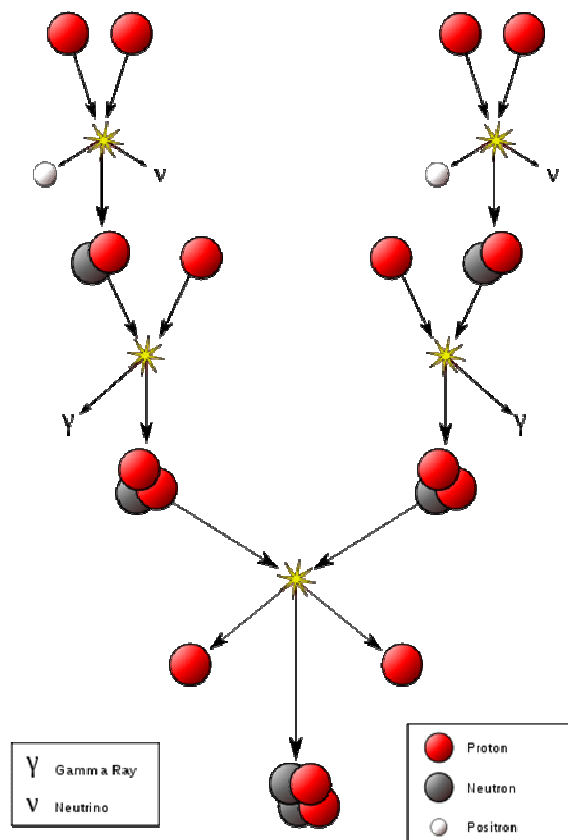
Per saldo fuseren $4\ {}^1_1p$ tot één 4_2He kern.

Daarbij ontstaan ook twee 0_1e .

De neutrino's hebben met de materie in de zon 'geen' wisselwerking en vliegen de zon uit het heelal in.

De hoge temperatuur in het inwendige van de zon is het gevolg van:

- De energie van de γ straling
- De kinetische energie van de deeltjes die ontstaan: 4_2He , 1_1p en 0_1e
- De energie die ontstaat bij de annihilatie van 0_1e .



Opgaven



34. Atoombom

- A. Bestudeer: http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20090623_atoombom01
- B. Bereken hoeveel joule (J) energie vrijkomt, als in een atoombom 1 gram uranium verdwijnt.

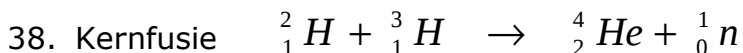
35. In de figuur op blz. 78 is te zien hoe een neutron U-238 splitst in Kr-36 en Ba-56. Er komen daarbij drie neutronen vrij. Geef een mogelijke reactievergelijking van deze splitsing.

36. Kerncentrales

- A. Kerncentrales liggen altijd aan water. Verklaar dit.
- B. Aan welk water ligt de centrale in Borssele?



37. Bestudeer: <http://www.wetenschap24.nl/specials/Fukushima.html>



Bij deze fusiereactie is er sprake van een relatief grote massa-afname.

A. Wat is er 'fout' aan de volgende berekening:

m_{voor}		m_{na}		Δm
${}^2_1\text{H}$	$2 \cdot u$	${}^4_2\text{He}$	$4 \cdot u$	0
${}^3_1\text{H}$	$3 \cdot u$	${}^1_0\text{n}$	$1 \cdot u$	

De massa-afname blijkt: $\Delta m = 0,02 \cdot u$.

B. Bereken hoeveel joule (J) energie vrijkomt bij deze fusiereactie.

39. Fusie in de zon

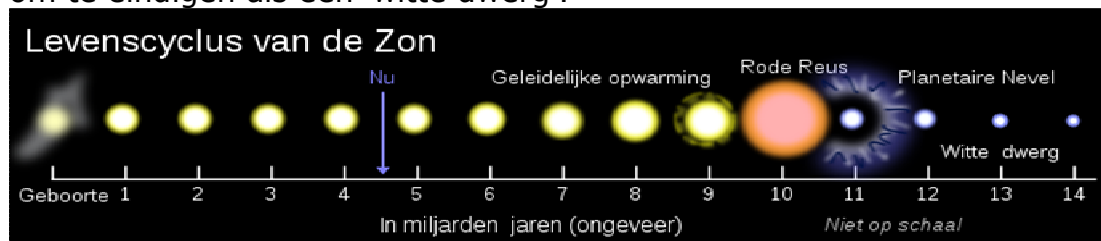
De zon zendt iedere seconde $39 \cdot 10^{25}$ J (stralings)energie uit.

A. Bereken hoeveel kg de zon in één jaar lichter wordt.

De massa van de zon is nu $2 \cdot 10^{30}$ kg. Stel dat de energieproductie van de zon op dezelfde manier doorgaat, totdat alle massa in straling is omgezet.

B. Bereken hoelang de zon in dat geval nog doorgaat met stralen.

In werkelijkheid zullen andere processen een rol gaan spelen, als alle waterstof in de zon verbruikt is. De zon zal eerst een 'rode reus' worden om te eindigen als een 'witte dwerg'.



40. De oorsprong van de elementen

De drie lichtste elementen zijn reeds tijdens de oerknal aanwezig.

A. Welke elementen zijn dat?

Zwaardere elementen zijn door kernreacties in sterren gevormd:

nucleosynthese.

B. Hoeveel elementen bestaan er?

C. Door welke twee reacties wordt koolstof (C-12) gevormd?

Zodra C-12 is gevormd, wordt het mogelijk dat zuurstof (O-16) wordt gevormd.

D. Geef ook deze reactie.

