

**Et-5 stof: Opwekken en transport van elektrische energie  
Straling, gezondheid en kernen**

(Beknopte) uitkomsten vind je op blz 11.

Opgaven en antwoorden vind je op [agtijmens.nl](http://agtijmens.nl) (en op It's learning?)

**1 Opgave 3 De natuurlijke kernreactor van Oklo 2010-1**

Lees eerst onderstaande tekst.

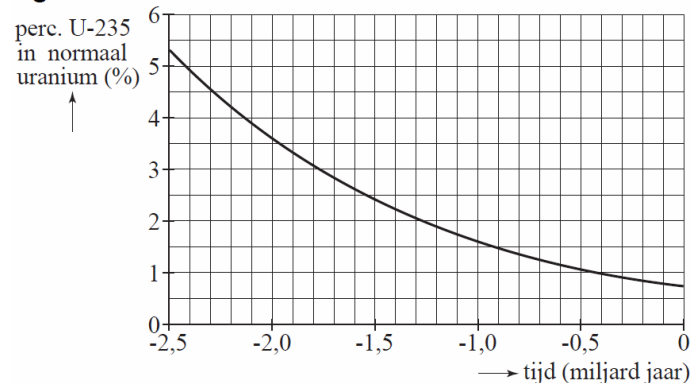
In 1972 ontdekten Franse kernfysici dat het uranium uit de mijn Oklo in Gabon een iets lager percentage U-235 bevatte dan normaal uranium. Dit verschil in percentage is te verklaren door aan te nemen dat de mijn zo'n twee miljard jaar geleden als een natuurlijke kernreactor in actie is geweest.

Er zijn twee voorwaarden voor een kettingreactie van het splijten van U-235: het percentage U-235 moet minstens 3% zijn en er moet water aanwezig zijn om als moderator te dienen. Waarschijnlijk kon het water door aardverschuivingen bij het uranium komen.

Normaal uranium bestaat voor 0,7% uit de radioactieve isotoop U-235 en voor 99,3% uit de radioactieve isotoop U-238.

Men kan uitrekenen hoe het percentage U-235 in uranium in de loop van de tijd is veranderd. Zie figuur 1. Het heden is het tijdstip  $t = 0$ .

**figuur 1**

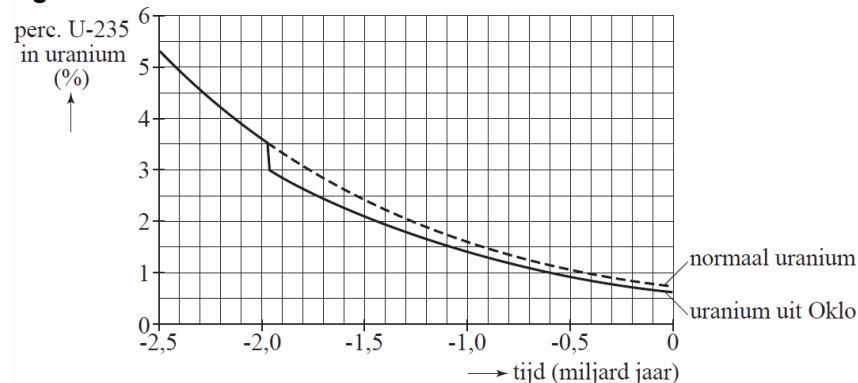


- 2p **12** Leg uit waarom het percentage U-235 in uranium in de loop van de tijd is afgenomen. Gebruik in je uitleg de halveringstijden van U-238 en U-235.

Omdat de samenstelling van het uranium uit de mijn van Oklo iets afwijkt van normaal, heeft men teruggerekend hoe het (massa)percentage U-235 van dit uranium in de loop van de tijd is veranderd. Zie figuur 2.

Ongeveer twee miljard jaar geleden moet er plotseling U-235 verdwenen zijn door kernsplijting. Men schat de hoeveelheid verdwenen U-235 op  $1,1 \cdot 10^4$  kg.

**figuur 2**



- 3p 13 Bepaal met behulp van de grafiek de totale massa die het uranium had op het moment dat de reactor begon te werken.

Bij de splijting van één U-235-kern komt gemiddeld 200 MeV energie vrij.

- 4p 14 Bereken de hoeveelheid energie in J die de kernreactor van Oklo heeft geproduceerd.

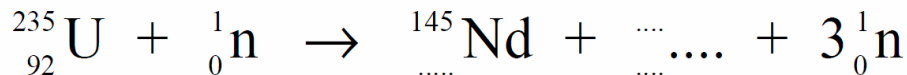
In het uraniumerts uit Oklo zijn sporen van neodymium-145 (Nd-145) gevonden.

Dit moet bij de kernsplijting van U-235 zijn ontstaan.

Op de uitwerkbijlage is deze reactie onvolledig weergegeven.

- 3p 15 Maak de reactie op de uitwerkbijlage compleet door de stippelijntjes in te vullen. (Nd-145 en het andere splijtingsproduct staan niet in tabel 25 van Binas; die elementen staan wel in tabel 40 en 99.)

uitwerkbijlage bij vraag 15:



## 2 Opgave 2 Tsjernobyl, ruim 20 jaar later N2 2009-1

In 1986 ontplofte in Tsjernobyl een kernreactor.

Grote hoeveelheden radioactieve stoffen werden bij dit ongeluk de lucht in geblazen. Door de wind verspreidden de stoffen zich over een enorm gebied.

Een van die stoffen was Cs-137.

Cs-137 is een van de splijtingsproducten in een kernreactor.

Wanneer een U-235-kern een neutron invangt, kunnen er verschillende kernreacties plaatsvinden.

Bij één zo'n reactie wordt Cs-137 gevormd en komen er vier neutronen vrij.

- 3p 5 Geef de reactievergelijking van deze kernreactie. (N.B. Niet alle isotopen in deze reactie staan in Binas.)

Bij de ontploffing kwam een hoeveelheid Cs-137 vrij met een totale activiteit van  $85 \cdot 10^{15}$  Bq. In een gebied van  $3,0 \cdot 10^3 \text{ km}^2$  (drieduizend vierkante kilometer) in de directe omgeving van de centrale, de zogenoemde 'verboden zone', veroorzaakte het neergeslagen cesium een gemiddelde activiteit van  $2,0 \cdot 10^6 \text{ Bq/m}^2$ .

- 3p 6 Bereken welk percentage van het vrijgekomen Cs-137 in dit gebied terecht kwam.

In de verboden zone wonen nog steeds mensen. De stralingsbelasting die zij ten gevolge van **uitwendige** bestraling oplopen, wordt voornamelijk bepaald door de absorptie van

$\gamma$ -straling afkomstig van Cs-137; de  $\beta$ -straling van Cs-137 draagt daar nauwelijks aan bij.

- 1p 7 Geef daarvan de reden.

Bij het verval van een Cs-137-kern komt een  $\gamma$ -deeltje ( $\gamma$ -foton) vrij met een energie van  $1,06 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ .

Voor de equivalente dosis (het dosisequivalent) die een persoon oploopt, geldt:

$$H = Q \frac{E}{m}$$

Hierin is:

- $H$  de equivalente dosis (in Sv);
- $Q$  de zogenoemde weegfactor;  $Q=1$  voor een  $\gamma$ -deeltje;
- $E$  de energie die het lichaam absorbeert (in J);
- $m$  de massa van de persoon (in kg).

Het gebied wordt af en toe bezocht door wetenschappers die de invloed van ioniserende straling op flora en fauna onderzoeken. Geschat wordt dat een persoon van 75 kg in dit gebied  $2,4 \cdot 10^5$   $\gamma$ -deeltjes per seconde absorbeert.

- 4p 8 Bereken hoeveel dagen deze persoon maximaal in het gebied mag blijven zonder de dosislimiet per jaar te overschrijden voor individuele leden van de bevolking.

De activiteit van het Cs-137 in de verboden zone is inmiddels afgenomen tot  $1,2 \cdot 10^6 \text{ Bq/m}^2$  en zal met de jaren verder afnemen.

- 3p 9 Bereken de activiteit per  $\text{m}^2$  van het Cs-137 in het gebied over 90 jaar. Zoek daartoe de halveringstijd van Cs-137 op en neem aan dat de activiteit ervan alleen afneemt ten gevolge van radioactief verval.

In de verboden zone bevond zich een bos waarvan de bomen ernstig waren besmet. Men besloot om de bomen niet te verbranden maar om ze onder een dikke laag zand te begraven.

- 2p 10 Beantwoord de volgende twee vragen vanuit het oogpunt van stralingsbescherming:
- Wat is het bezwaar tegen het verbranden van de bomen?
  - Waarom is het begraven van de bomen onder een laag zand effectief?

### 3 Opgave 5 Hassium-270 N2 2009-2

Jan Dvorak van de Technische Universiteit München en zijn medewerkers zeggen er in geslaagd te zijn de isotoop hassium-270 te hebben gemaakt.

Daarvoor beschoten zij een trefplaatje van curium-248 met magnesium-26-kernen. Bij de kernreactie die daarbij plaatsvond, ontstond hassium-270 en kwamen enkele neutronen vrij.

- 3p 20 Toon met behulp van de reactievergelijking aan dat er bij deze kernreactie vier neutronen vrijkwamen. Gebruik tabel 25 en 40A van Binas.

Om de reactie te laten plaatsvinden, moeten de magnesiumkernen een zeer hoge energie hebben. Dvorak gebruikte magnesiumkernen met een kinetische energie van 136 MeV.

De totale massa van de hassiumkern en de vier neutronen die gevormd worden, is groter dan de massa van de curiumkern en magnesiumkern samen. Deze extra massa wordt gecreëerd uit de bewegingsenergie van de magnesiumkern. In de tabel hiernaast staan alle relevante massa's.

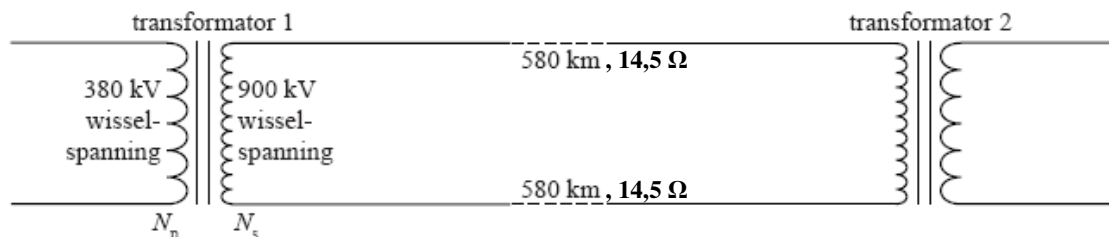
- 3p 22 Toon aan dat de kinetische energie van de magnesiumkernen voldoende groot was om de kernreactie te laten plaatsvinden.

<b>kernmassa van:</b>	
hassium-270	270,075 u
curium-248	248,020 u
magnesium-26	25,976 u
<b>massa neutron</b>	<b>1,009 u</b>

### 4 Opgave 3 Hoogspanningskabel op de bodem van de zee N2-2008-2

Tussen Noorwegen en Nederland is een onderzeese hoogspanningskabel aangelegd. De kabel is 580 km lang en transporteert bij een hoogspanning van 900 kV elektrische energie van Noorwegen naar Nederland of in omgekeerde richting. Elke ader heeft een weerstand van  $14,5 \Omega$ . In figuur 7 is de schakeling schematisch weergegeven.

figuur 7



Een transformator werkt alleen bij wisselspanning.

- 1p 10 Waarom is dat? Gebruik in je antwoord het begrip magnetische flux.

Neem aan dat er in de transformatoren geen verliezen optreden.

- 2p 11 Bereken de verhouding tussen de aantallen windingen  $\frac{N_p}{N_s}$  in transformator 1.

In de kabel wordt een deel van de elektrische energie omgezet in warmte.  
Op een bepaald moment is het vermogen aan het begin van de kabel 700 MW  
(en de spanning 900 kV).

5p 14 Bereken hoeveel procent van dit vermogen in de kabel wordt omgezet in warmte.

Elektrische energie wordt altijd getransporteerd bij een (zeer) hoge spanning.

2p 15 Leg uit waarom men dat doet.

Via de onderzeese kabel is voor huishoudens in totaal een gemiddeld vermogen beschikbaar van 600 MW.

Een huishouden verbruikt per jaar gemiddeld  $3,5 \cdot 10^3$  kWh elektrische energie.

3p 16 Bereken het aantal huishoudens dat op deze manier van elektrische energie kan worden voorzien.

## 5 Opgave 1 Doorstralen van fruit N2 2008-1

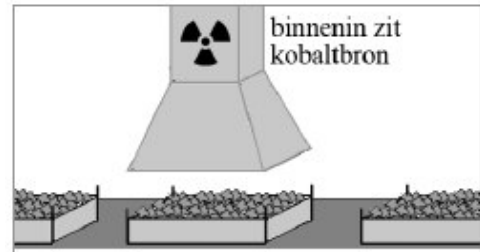
Door bestraling kunnen bacteriën en insecten in voedselproducten onschadelijk worden gemaakt. De producten blijven daardoor langer houdbaar. Lees het artikel hieronder.

De houdbaarheid van bijvoorbeeld aardbeien kan aanzienlijk vergroot worden door de vruchten na het plukken te doorstralen met  $\gamma$ -straling.

Niet alleen de bacteriën die verantwoordelijk zijn voor het rottingsproces worden onschadelijk gemaakt, maar ook insecten en eitjes van insecten.

Als stralingsbron wordt kobalt-60 gebruikt dat bij verval  $\beta$ - en  $\gamma$ -straling

uitzendt. De kistjes fruit komen via een lopende band onder de bestraler. Dan stopt de band even en wordt het fruit enige tijd doorstraald. Daarna schuift het volgende kistje onder de bestraler.



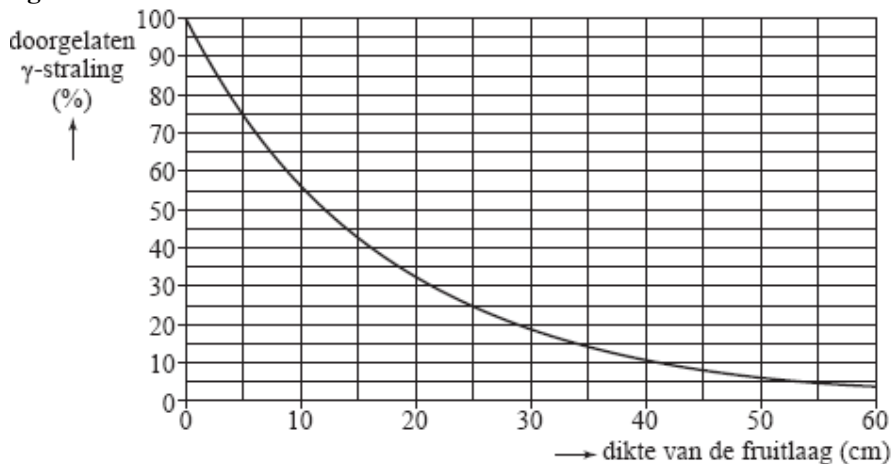
3p 1 Geef de vervalreactie van kobalt-60.

De  $\beta$ -straling die het kobalt uitzendt, draagt nauwelijks bij aan het onschadelijk maken van bacteriën en insecten in het fruit.

1p 2 Geef daarvoor de reden.

De grafiek van figuur 1 geeft aan hoeveel procent van de  $\gamma$ -straling door een laag fruit van een bepaalde dikte wordt doorgelaten.

figuur 1



2p 3 Bepaal de halveringsdikte van fruit voor de  $\gamma$ -straling van kobalt.

Na verloop van tijd vermindert de activiteit van de kobaltbron. De bron blijft bruikbaar tot zijn activiteit gedaald is tot 12,5% van de oorspronkelijke waarde.

3p 4 Bereken na hoeveel jaar de bron vervangen moet worden.

Het doorstralen van voedsel met  $\gamma$ -straling gebeurt op grote schaal. Toch bestaan in consumentenkringen bezwaren tegen deze manier van houdbaar maken van voedsel.

Men stelt vragen als: "Wordt het bestraalde voedsel zelf radioactief?"

2p 5 Beantwoord deze vraag. Licht je antwoord toe.



### Opgave 3 Schuddynamo N2 2007-1

Astrid heeft een magneet in een plastic buis gedaan. De uiteinden van de buis zijn dicht.

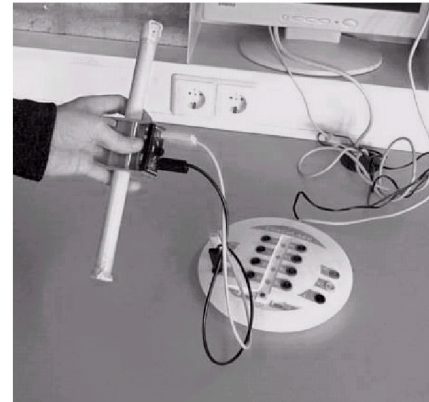
De buis bevindt zich in een spoel die is aangesloten op een computer.

Zie de foto in figuur 6.

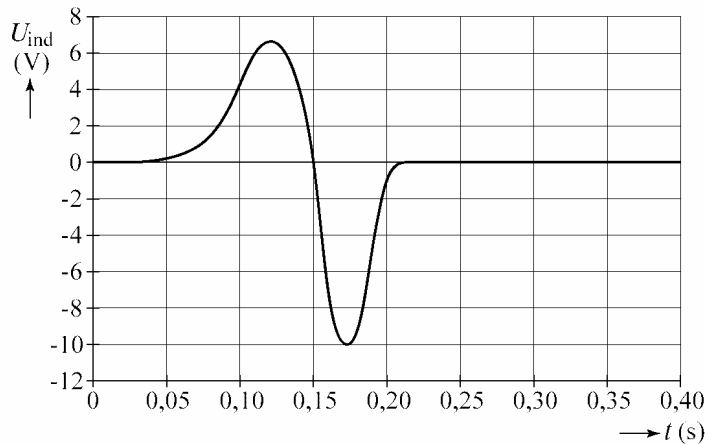
Als zij de buis omdraait, maakt de magneet een (vrije) val door de spoel.

De computer meet de inductiespanning  $U_{\text{ind}}$  en de bijbehorende flux als functie van de tijd. Zie de figuren 7 en 8.

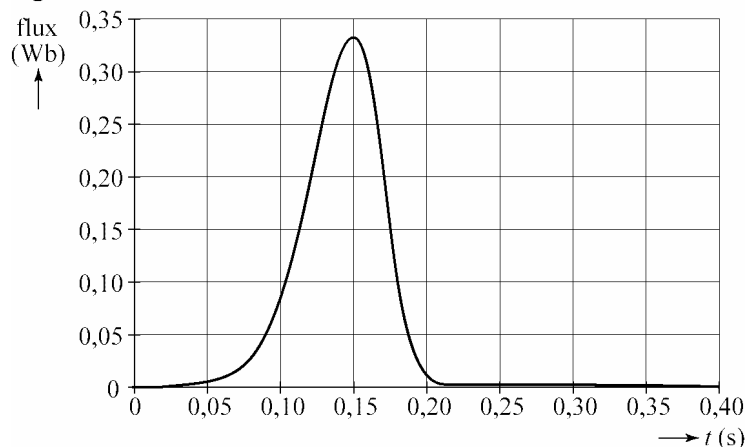
figuur 6



figuur 7



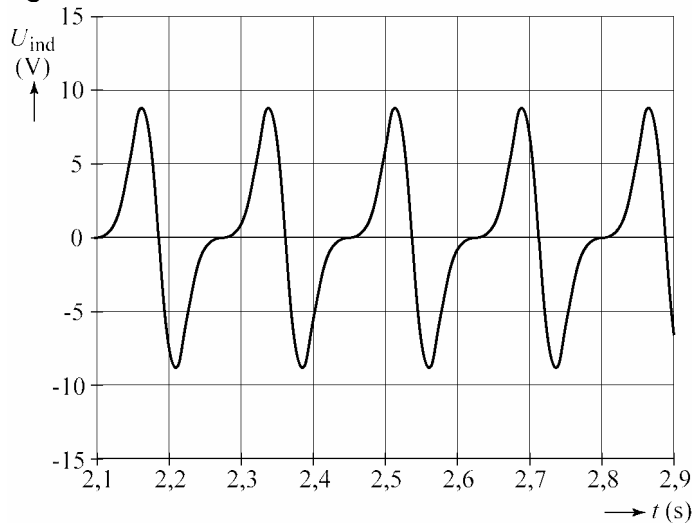
figuur 8



Uit de grafiek van de inductiespanning (figuur 7) blijkt dat de maximum spanning op  $t = 0,12$  s kleiner is dan de (absolute) waarde van de minimum spanning op  $t = 0,17$  s.

- 2p 8 Leg met behulp van de fluxgrafiek (figuur 8) uit waarom dat zo is. Door de magneet heen en weer te schudden, wekt Astrid een wisselspanning op. Zie figuur 9. Om een regelmatig signaal te krijgen, schudt ze horizontaal.

**figuur 9**



- 3p 9 Bepaal zo nauwkeurig mogelijk de frequentie van deze wisselspanning.

Hieronder staan twee beweringen over deze wisselspanning.

a De gemiddelde waarde van de wisselspanning is 0 V.

b De effectieve waarde van de wisselspanning is 0 V.

- 2p 10 Zeg van elke bewering of deze juist is of onjuist. Licht je antwoorden toe.



### Opgave 2 Fietsdynamo N2 2007-2

Freek doet onderzoek aan een fietsdynamo.

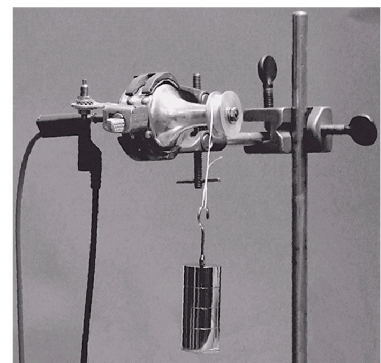
Aan de dynamo is een wielje bevestigd waaromheen een touw is gewikkeld met een gewichtje eraan. Zie figuur 4.

Wanneer hij het gewichtje loslaat, beweegt het naar beneden waardoor de dynamo gaat draaien.

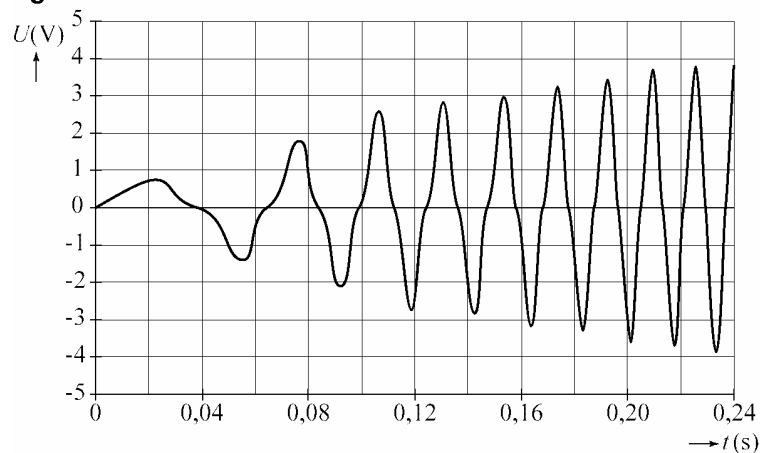
Op de dynamo heeft Freek een computer aangesloten die de opgewekte spanning meet als functie van de tijd.

Figuur 5 laat zien hoe de spanning in de eerste 0,24 s verandert.

**figuur 4**



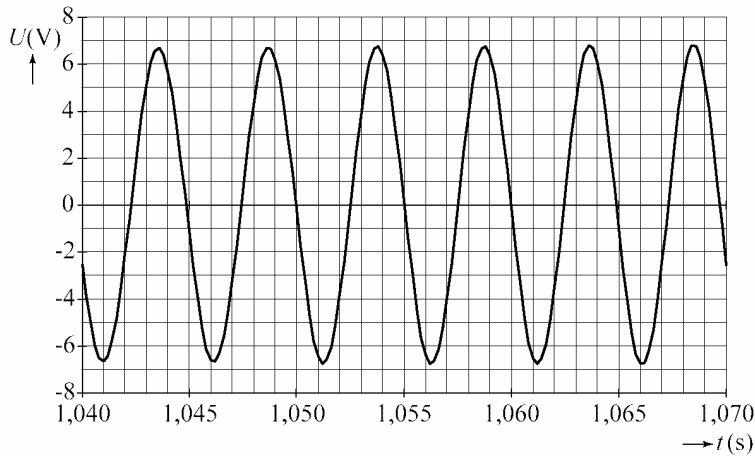
**figuur 5**



- 2p 6 Verklaar waarom de (top)waarde van de spanning steeds groter wordt. Gebruik bij je uitleg in ieder geval de begrippen fluxverandering, tijdsduur en inductiespanning.

Figuur 6 geeft het verloop weer van de spanning tussen  $t = 1,04$  s en  $t = 1,07$  s. Het gewichtje dat de dynamo aandrijft, beweegt dan met constante snelheid.

figuur 6



Freek vraagt zich af hoeveel sinussen worden opgewekt tijdens één omwenteling van het dynamowieltje. Het wieltje heeft een diameter van 2,4 cm. Het gewichtje daalt met een snelheid van 3,8 m/s.

- 4p 7 Beantwoord de vraag van Freek met behulp van deze gegevens en figuur 6.

Een wisselspanning heeft een bepaalde effectieve waarde. Hieronder staan vijf waarden.

- a 0 V
- b 4,8 V
- c 6,8 V
- d 9,6 V
- e 13,6 V

- 2p 8 Welke van deze vijf is gelijk aan de effectieve waarde van de wisselspanning in figuur 6? Licht je antwoord toe.

### **8** Opgave 3 Uranium-munitie N1 2007-1

Lees eerst de tekst in het kader.

Sinds enige tijd is er een nieuwe antitankgranaat in gebruik die nogal ter discussie staat. De granaat is gemaakt van uranium, een hard, zwaar en brandbaar metaal. Het uranium bestaat vrijwel volledig uit de licht radioactieve isotoop U-238. Bij een inslag stijgt de temperatuur van de granaat met meer dan duizend graden Celsius. Hierbij kan een deel van het uranium verpulveren en verbranden. Er ontstaan zeer veel kleine stofdeeltjes uraniumoxide die zich over tientallen kilometers kunnen verspreiden. Bij inademing dringen de stofdeeltjes tot diep in de longen door en bestralen daar het omringende weefsel.

- 3p 13 Geef de vervalreactie van U-238.

Als een stofdeeltje uraniumoxide zich in een long heeft genesteld, wordt het omringende weefsel bestraald.

Het stofdeeltje heeft een activiteit van  $2,2 \cdot 10^6$  Bq.

Bij het verval van één uranium-238-kern komt een energie vrij van  $6,7 \cdot 10^{-13}$  J.

De vrijkomende energie wordt geabsorbeerd in  $0,18 \cdot 10^{-9}$  kg omringend weefsel.

Voor de equivalente dosis (het dosisequivalent)  $H$  geldt:

$$H = Q \frac{E}{m}$$

Hierin is:

- $H$  de equivalente dosis (in Sv);
- $Q$  de zogenoemde (stralings)weegfactor (kwaliteitsfactor); in dit geval geldt dat  $Q = 20$ ;
- $E$  de totale hoeveelheid geabsorbeerde energie (in J);
- $m$  de massa van het bestraalde weefsel (in kg).

4p 14 Bereken de equivalente dosis die het bestraalde weefsel in een jaar ontvangt.



### Opgave 5 Kernfusie N2-2007-1

In de zon fuseren waterstofkernen tot heliumkernen. Bij fusie komt energie vrij.

Op deze manier produceert de zon per seconde  $3,9 \cdot 10^{26}$  J.

Alle energiecentrales op aarde produceren samen in één jaar ongeveer  $1,0 \cdot 10^{14}$  kWh.

3p 18 Bereken hoeveel jaar de centrales op aarde moeten werken om evenveel energie te produceren als de zon in één seconde doet.

Alleen in het binnenste van de zon vindt kernfusie plaats omdat de temperatuur daar hoog genoeg is (ruim tien miljoen graden Celsius).

Waterstofkernen fuseren als ze elkaar heel dicht naderen.

3p 19 Leg uit waarom waterstofkernen alleen bij een (zeer) hoge temperatuur elkaar dicht kunnen naderen.

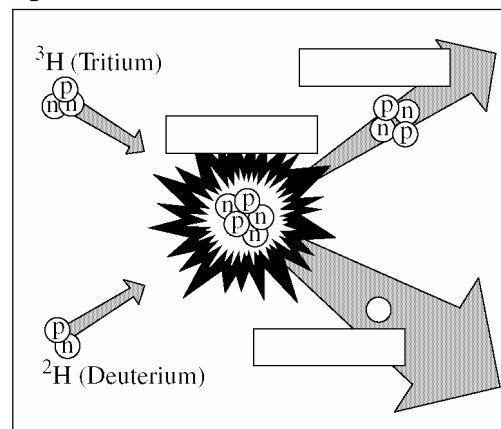
Op verschillende plaatsen op aarde staan experimentele kernfusiereactoren.

In figuur 15 is schematisch de reactie afgebeeld die in deze reactoren plaatsvindt. Figuur 15 staat ook op de uitwerkbijlage.

3p 20 Schrijf in figuur 15:

- in de twee bovenste rechthoeken de symbolen van de betreffende elementen en hun massagetal;
- in de onderste rechthoek de naam van het deeltje dat bij de reactie vrijkomt.

figuur 15



Tijdens een experiment in een van de reactoren is gedurende 1,5 seconde een vermogen opgewekt van 16 MW. Bij de fusie van een deuteriumkern met een tritiumkern wordt een massa van  $3,14 \cdot 10^{-29}$  kg omgezet in energie.

5p 21 Bereken hoeveel kg deuterium in deze tijd is gefuseerd.

De twee 'grondstoffen' van de fusiereactor zijn deuterium en tritium.

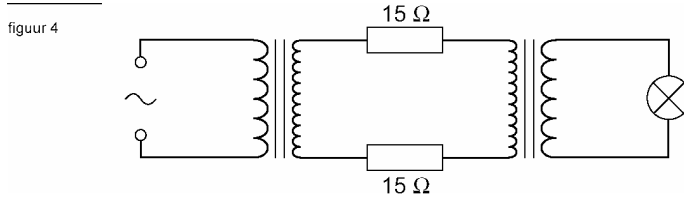
Beide stoffen zijn isotopen van waterstof, dus zeer brandbaar.

Met een van deze twee stoffen moet men extra voorzichtig omgaan.

2p 22 Welke stof is dat? Licht je antwoord toe met een natuurkundig argument.

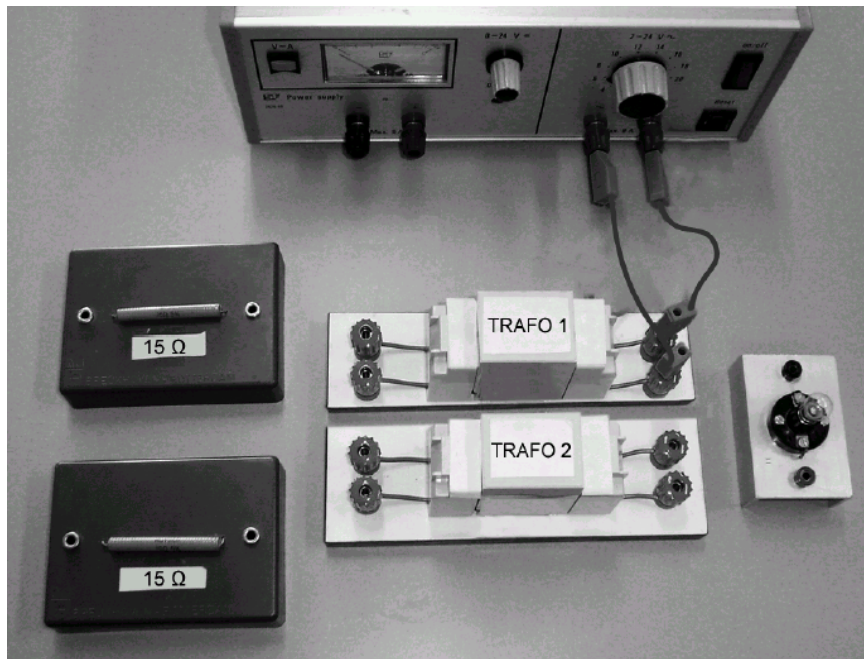
**10** Opgave 2 Transport van elektrische energie N2 2006-2

Jill probeert op school het transport van elektrische energie na te bootsen. Zij gebruikt daarvoor een wisselspanningsbron, twee identieke transformatoren, twee weerstanden van  $15\ \Omega$ , een fietslampje en een aantal snoertjes. In figuur 4 is de schakeling die zij maakt schematisch getekend.



Figuur 5 is een foto van de onderdelen van haar schakeling. De wisselspanningsbron is al op de eerste transformator aangesloten.

Fig. 5



3p **6** Teken in figuur 5 de overige verbindingsdraden zodat de schakeling van figuur 4 ontstaat.

Bij een zogenoemde *ideale* transformator gaat geen energie verloren in de transformator zelf. Jill wil controleren of de transformatoren die ze gebruikt ideaal genoemd kunnen worden.

Daarvoor meet ze in haar schakeling

- de spanning tussen de polen van de spanningsbron:  $U_{\text{bron}} = 6,7\ \text{V}$ ;
- de stroomsterkte die de spanningsbron levert:  $I_{\text{bron}} = 0,55\ \text{A}$ ;
- de stroomsterkte door de weerstanden van  $15\ \Omega$ :  $I = 30\ \text{mA}$ ;
- de spanning over het lampje:  $U_{\text{lamp}} = 3,2\ \text{V}$ ;
- de stroomsterkte door het lampje:  $I_{\text{lamp}} = 0,33\ \text{A}$ .

4p **10** Controleer met een berekening of de gebruikte transformatoren ideaal zijn.

**11 Opgave 4 Energie voor verre reizen N2 2004-1**

Lees onderstaand artikel.

**Kernenergie voor Cassini**

In oktober 1997 is vanaf het Amerikaanse ruimtevaartcentrum Cape Canaveral de Cassinisonde gelanceerd voor een reis naar de planeet Saturnus. De sonde zal in juli 2004 bij de planeet met de ringen aankomen.

Gedurende vier jaar verblijft de onbemande sonde in een baan om Saturnus. De sonde gaat metingen verrichten die doorgestuurd worden naar de aarde. De Cassini heeft elektrische energie nodig voor de apparatuur. Zonnepanelen zijn daarvoor niet geschikt; de sonde is uitgerust met een zogenaamde RTG. De afkorting RTG staat voor 'radio-isotope thermo-electric generator'. In de RTG wordt warmte geleverd door radioactief verval van plutonium. Die warmte wordt rechtstreeks omgezet in elektrische energie. De Cassini heeft 33 kg van de isotoop plutonium-238 aan boord. Hiermee wordt gedurende de elf jaar durende missie een vrijwel constant elektrisch vermogen van 885 watt geproduceerd. Het proces van energieopwekking in een RTG wijkt principieel af van dat in een kernreactor.

Bij het verval van een plutonium-238-kern komt een hoeveelheid energie vrij van 5,6 MeV.

Daarbij wordt een (klein) deel van de massa van zo'n kern omgezet in energie.

Het plutonium-238 van de Cassini-sonde heeft een activiteit van  $2,1 \cdot 10^{16}$  Bq.

De verandering van de activiteit gedurende een jaar is te verwaarlozen.

- 5p 16 Bereken de massa, uitgedrukt in kilogram, die bij dit verval in 1,0 jaar wordt omgezet in energie.

In de toekomst worden misschien onbemande ruimtereizen uitgevoerd naar naburige sterren. Die ruimteschepen zullen enkele duizenden jaren onderweg zijn.

Tijdens die reizen zal steeds elektriciteit nodig zijn voor de meetapparatuur.

De halveringstijd van plutonium-238 is 88 jaar.

- 2p 17 Is bij dergelijke reizen een RTG met plutonium-238 een geschikte bron voor de elektriciteitsvoorziening? Licht je mening toe.

In de laatste zin van het artikel wordt gezegd dat het proces van energieopwekking in een RTG principieel afwijkt van dat in een kernreactor.

De afmetingen van een RTG zijn veel kleiner dan die van een kernreactor.

- 2p 18 Noem twee verschillen tussen de wijze van energieopwekking in een RTG en die in een kernreactor.

----- Einde opgaven -----

Korte antwoorden:

**1 Opgave 3 De natuurlijke kernreactor van Oklo 2010-1****12 maximumscore 2**

> Zoek de halveringstijd van U-235 en van U-238 op en trek juiste conclusie.

**13 maximumscore 3**

> 0,5% is verdwenen, dat is  $1,1 \cdot 10^4$  kg dus  $100\% = \underline{2 \cdot 10^6 \text{ kg}}$

**14 maximumscore 4**

> De massa van een atoom U-235 =  $3,90 \cdot 10^{-25}$  kg.

> Het aantal kernen dat is gespleten, is  $2,82 \cdot 10^{28}$ .

> Geproduceerde energie =  $\underline{9,0 \cdot 10^{17} \text{ J}}$

**15 maximumscore 3****2 Opgave 2 Tsjernobyl, ruim 20 jaar later N2 2009-1****5 maximumscore 3****6 maximumscore 3**

$3,0 \cdot 10^3 \text{ km}^2 = 3,0 \cdot 10^9 \text{ m}^2$ .

Alle Cs-137 in de verboden zone:  $2,83 \cdot 10^7 \text{ Bq/m}^2$

In werkelijkheid was het  $2 \cdot 10^6 \text{ Bq/m}^2$ . Dat is  $\underline{7,1\%}$

OF:

Op de verboden zone valt  $6,0 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$

Het totaal is  $85 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$ . Dat is  $\underline{7,1\%}$

**7 maximumscore 1**

$\gamma$ -straling heeft een (veel) groter doordringend vermogen (kleinere dracht) dan  $\beta$ -straling.

**8 maximumscore 4**

De dosislimiet per jaar voor dit soort werknemers is 1 mSv (BINAS).

Uit  $H = Q \cdot E/m$  volgt dat  $E = 0,075 \text{ J}$ .

Per seconde absorbeert het  $2,54 \cdot 10^{-8} \text{ J}$ .

Deze persoon mag dus  $\underline{34 \text{ dagen}}$  in het gebied blijven.

**9 maximumscore 3**

De halveringstijd van Cs-137 opzoeken.

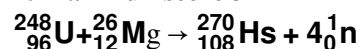
90 jaar = drie halveringstijden dus de activiteit per  $\text{m}^2 = \underline{1,5 \cdot 10^5 \text{ Bq/(m}^2\text{)}}$ .

**10 maximumscore 2**

voorbeeld van antwoorden:

– Bij het verbranden van de bomen komen radioactieve stoffen in de lucht (die ingeademd kunnen worden).

– Door de laag zand wordt de intensiteit van de straling afgezwakt.

**3 Opgave 5 Hassium-270 N2 2009-2****20 maximumscore 3****22 maximumscore 3**

>  $\Delta m = 0,115 \text{ u} = 1,91 \cdot 10^{-28} \text{ kg} = 1,72 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 107 \text{ MeV}$ .

De bewegingsenergie van 136 MeV is dus voldoende.

OF:

$0,115 \text{ u} = 107 \text{ MeV}$  m.b.v. tabel 7

De bewegingsenergie van 136 MeV is dus voldoende.

**4 Opgave 3 Hoogspanningskabel op de bodem van de zee N2-2008-2****10 maximumscore 1**

Een transformator werkt alleen als de magnetische flux verandert want dan ontstaat er een inductiespanning.

**11 maximumscore 2**

1 : 2,37

**14 maximumscore 5**

>  $I = 7,778 \cdot 10^2 \text{ A}$ .

- | >  $P_{\text{verlies}} = 17,5 \text{ MW}$ .
- | > Percentage dat omgezet is in warmte: = 2,5%
- | **15 maximumscore 2**
- | >  $P_s = U_s \cdot I_s$  dus hoe hoger de spanning, des te kleiner de stroomsterkte in de kabel.
- | > Hoe kleiner de stroomsterkte in de kabel, des te kleiner ook het energie/vermogensverlies.
- | **16 maximumscore 3**
- | >  $E_{\text{centrale}} = 5,256 \cdot 10^9 \text{ kWh}$
- | > Het aantal huishoudens dat van elektrische energie kan worden voorzien is 1,5 10<sup>6</sup> huizen.

### **5 Opgave 1 Doorstralen van fruit N2 2008-1**

---

- | **1 maximumscore 3**
- |  ${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{28}^{60}\text{Ni} + {}_{-1}^0\text{e}$
- | **2 maximumscore 1**
- | > De dracht van  $\beta$ -straling (in fruit) is klein.
- | **3 maximumscore 2**
- | De halveringsdikte is 12 cm is (met een marge van 0,5 cm).
- | **4 maximumscore 3**
- | > Halveringstijd van kobalt-60 opzoeken.
- | > 12,5% is na drie halveringstijden = 15,8 jaar.
- | **5 maximumscore 2**
- | > Nee want de atoomkernen / de isotopen veranderen niet als het voedsel  $\gamma$ -straling absorbeert.
- | OF:
- | > Je raakt alleen besmet als er radioactief materiaal op of in je lichaam komt.

### **6 Opgave 3 Schuddynamo N2 2007-1**

---

- | **8 maximumscore 2**
- | > De fluxgrafiek is op  $t = 0,12 \text{ s}$  minder steil dan op  $t = 0,17 \text{ s}$  want de magneet heeft dan nog niet zo'n grote snelheid.
- | *Opmerking: De magneet heeft op  $t = 0,17 \text{ s}$  een grotere snelheid dan op  $t = 0,12 \text{ s}$ : 1 punt.*
- | **9 maximumscore 3**
- |  $T = 0,175 \text{ s}$  dus  $f = 5,7 \text{ Hz}$  (met een marge van 0,1 Hz)
- | **10 maximumscore 2**
- | > Bewering a is juist want elke positieve piek valt weg tegen een negatieve piek.
- | > Bewering b is onjuist want de effectieve waarde van de wisselspanning ligt tussen 0 V en de topwaarde.

### **7 Opgave 2 Fietsdynamo N2 2007-2**

---

- | **6 maximumscore 2**
- | De fluxverandering vindt in een steeds kortere tijdsduur plaats.
- | Daardoor wordt de inductiespanning steeds groter.
- | **7 maximumscore 4**
- | > Eén sinus duurt 0,005 s (met meerdere sinussen bereken!)
- | > Omlooptijd wieletje berekenen = 0,0198 s, dus 4,0 sinussen
- | **8 maximumscore 2**
- | Waarde b is juist ( $U_{\text{eff}} = 4,8 \text{ V}$ ), want de effectieve waarde van de wisselspanning moet tussen 0 V en de topwaarde (6,8 V) liggen.

### **8 Opgave 3 Uranium-munitie N1 2007-1**

---

- | **13 maximumscore 3**
- |  ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$
- | **14 maximumscore 4**
- | > In een jaar vervallen er 69,4 deeltjes.
- | > In een jaar absorbeert het bestraalde weefsel dus  $4,65 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ .
- | > Het dosisequivalent is 5,2 Sv.

**9 Opgave 5 Kernfusie N2-2007-1****18 maximumscore 3**

- > De zon produceert in één seconde  $3,9 \cdot 10^{26}$  J.
- > De energiecentrales op aarde produceren in één jaar  $3,6 \cdot 10^{20}$  J.
- > De centrales moeten dus **1,1 · 10<sup>6</sup> jaar** werken.

**19 maximumscore 3**

- > Omdat ze dezelfde soort lading hebben, stoten twee kernen elkaar af.
- > Bij een hoge temperatuur is de snelheid van de kernen groot waardoor ze elkaar dicht kunnen naderen.

**20 maximumscore 3**

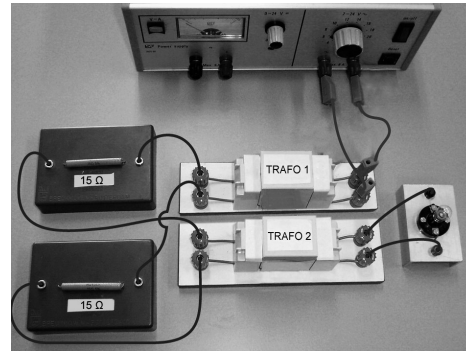
antwoord:  ${}^5\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^1_0\text{n}$

**21 maximumscore 5**

- >  $\Delta m = 3,14 \cdot 10^{-29}$  kg dus  $E = 2,826 \cdot 10^{-12}$  J bij één splijting.
- >  $E_{\text{totaal}} = 24 \cdot 10^6$  J.
- > Het aantal reacties dat plaatsvindt is  $8,49 \cdot 10^{18}$
- > Er is gefuseerd: **2,8 · 10<sup>-8</sup> kg**

**22 maximumscore 2**

Tritium, want dat is radioactief.

**10 Opgave 2 Transport van elektrische energie N2 2006-2****6 □ Maximumscore 4****10 □ Maximumscore 4**

- >  $P_{\text{bron}} = 3,7$  W
- >  $P_{\text{lamp}} = 1,0$  W
- >  $P_{\text{R}} = 0,027$  W
- > Conclusie:  $P_{\text{bron}} > P_{\text{lamp}} + P_{\text{R}}$  dus er moet verlies in de transformator zijn.  
De transformator is dus **niet ideaal**.

**11 Opgave 4 Energie voor verre reizen N2 2004-1****16 Maximumscore 5**

- > Per seconde vervallen er  $2,1 \cdot 10^{16}$  kernen plutonium.
- > De hoeveelheid energie die daarbij vrijkomt is  $1,88 \cdot 10^4$  J.
- > In 1,0 jaar komt  $5,93 \cdot 10^{11}$  J vrij.
- > Voor de massa die wordt omgezet in energie geldt **6,6 · 10<sup>-6</sup> kg**

**17 Maximumscore 2**

- > De halveringstijd van Pu-238 opzoeken.
- > Trek conclusie

**18 Maximumscore 2**

Noem twee van de de volgende verschillen:

- > Een kernreactor werkt op basis van kernsplijting en een RTG op basis van radioactief verval.
- > In een kernreactor moet/kan de energieproductie geregeld worden en bij een RTG niet.
- > In een kernreactor kan een lawine-effect/kettingreactie optreden en in een RTG niet.
- > Een kernreactor moet gekoeld worden en een RTG niet.
- > in een kernreactor nemen de kernen neutronen op
- > in een kernreactor komen (bij splijting van kernen) neutronen vrij

----- Einde korte antwoorden -----

**Volledige uitwerkingen****1 Opgave 3 De natuurlijke kernreactor van Oklo 2010-1****12 maximumscore 2**

- > De halveringstijd van U-238 is 4,47 miljard jaar; de halveringstijd van U-235 is 0,704 miljard jaar)
- > De halveringstijd van U-235 is kleiner dan die van U-238, dus neemt de hoeveelheid U-235 sneller af dan de hoeveelheid U-238.
- > Het gehalte U-235 in het uranium neemt dus af in de loop van de tijd.

**13 maximumscore 3**

- > Uit de grafiek blijkt dat ongeveer 0,5% van het uranium verdwenen is door kernsplijting.  
Dus 0,5 % =  $1,1 \cdot 10^4$  kg  
100 % =  **$2 \cdot 10^6$  kg**

**14 maximumscore 4**

- > De massa van een atoom U-235 is  $235 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}$  kg =  $3,90 \cdot 10^{-25}$  kg.
- > Het aantal kernen dat is gespleten, is  $1,1 \cdot 10^4 / 3,90 \cdot 10^{-25} = 2,82 \cdot 10^{28}$ .
- > Geproduceerde energie =  $2,82 \cdot 10^{28} \cdot 200$  MeV =  $5,64 \cdot 10^{30}$  MeV =  $5,64 \cdot 10^{30} \cdot 1,60 \cdot 10^{-13}$  J =  **$9,0 \cdot 10^{17}$  J**

**15 maximumscore 3****2 Opgave 2 Tsjernobyl, ruim 20 jaar later N2 2009-1****5 maximumscore 3****6 maximumscore 3**

$$3,0 \cdot 10^3 \text{ km}^2 = 3,0 \cdot 10^9 \text{ m}^2$$

Als alle Cs-137 in de verboden zone terecht was gekomen, zou de activiteit per  $\text{m}^2$  zijn:

$$85 \cdot 10^{15} / (3,0 \cdot 10^9) = 2,83 \cdot 10^7 \text{ Bq/m}^2$$

In werkelijkheid was het  $2 \cdot 10^6 \text{ Bq/m}^2$ .

$$\text{Dat is } 2,0 \cdot 10^6 / 2,83 \cdot 10^7 \cdot 100 \% = \mathbf{7,1 \%}$$

OF:

$$\text{Op de verboden zone valt } 2,0 \cdot 10^6 \cdot 3,0 \cdot 10^9 = 6,0 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$$

Het totaal is  $85 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$

$$\text{Dat is } 6,0 \cdot 10^{15} / 85 \cdot 10^{15} \cdot 100 \% = \mathbf{7,1 \%}$$

**7 maximumscore 1**

$\gamma$ -straling heeft een (veel) groter doordringend vermogen dan  $\beta$ -straling.

OF:  $\gamma$ -straling heeft een groot doordringend vermogen"

OF:  $\gamma$ -straling heeft een grotere dracht heeft dan  $\beta$ -straling:

**8 maximumscore 4**

De dosislimiet per jaar voor dit soort werknemers is 1 mSv (BINAS).

Uit  $H = Q \cdot E/m$  dus  $0,001 = 1 \cdot E/75$  volgt dat je  $E = 0,001 \cdot 75 = 0,075 \text{ J}$  aan energie mag absorberen.

Per seconde absorbeert het  $2,4 \cdot 10^5 \cdot 1,06 \cdot 10^{-13} = 2,54 \cdot 10^{-8} \text{ J}$ .

Deze persoon mag dus  $0,075 / 2,54 \cdot 10^{-8} = 2,95 \cdot 10^6 \text{ s} = 2,95 \cdot 10^6 / (24 \cdot 60 \cdot 60) = \mathbf{34 \text{ dagen}}$  In het gebied blijven.

**9 maximumscore 3**

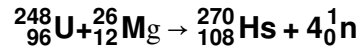
De halveringstijd van Cs-137 is 30 jaar.

Over 90 jaar zijn er drie halveringstijden verstreken en is de activiteit per  $\text{m}^2$ :  $(1/2)^3 \cdot 1,2 \cdot 10^6 = \mathbf{1,5 \cdot 10^5 \text{ Bq/(m}^2\text{)}}$ .

**10 maximumscore 2**

voorbeeld van antwoorden:

- Bij het verbranden van de bomen komen radioactieve stoffen in de lucht (die ingeademd kunnen worden).
- Door de laag zand wordt de intensiteit van de straling afgezwakt.

**3 Opgave 5 Hassium-270 N2 2009-2****20 maximumscore 3****22 maximumscore 3**

Voor de energie die nodig is voor de toename van de massa bij deze kernreactie geldt:  $E = \Delta mc^2$ .

$$\begin{aligned} > \Delta m &= (270,075 + 4 \cdot 1,009) - (248,020 + 25,976) = 0,115 \text{ u} \\ &= 0,115 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,91 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \end{aligned}$$

$$> c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

$$> E = 1,91 \cdot 10^{-28} \cdot (3,00 \cdot 10^8)^2 = 1,72 \cdot 10^{-11} \text{ J nodig.}$$

$$> 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J dus } 1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$> 1,72 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 1,72 \cdot 10^{-11} / 1,6 \cdot 10^{-13} = 107 \text{ MeV.}$$

De bewegingsenergie van de magnesiumkern is 136 MeV en dat is dus voldoende om de kernreactie te laten plaatsvinden.

OF:

De toename van de massa is

$$(270,075 + 4 \cdot 1,009) - (248,020 + 25,976) = 0,115 \text{ u}$$

$$\text{Tabel 7: } 1 \text{ u} = 931,49 \text{ MeV dus } 0,115 \text{ u} = 0,115 \cdot 931,49 = 107 \text{ MeV}$$

Voor deze toename is nodig  $0,115 \cdot 931,49 = 107 \text{ MeV}$ .

De bewegingsenergie van de magnesiumkern is 136 MeV en dat is dus voldoende om de kernreactie te laten plaatsvinden.

**4 Opgave 3 Hoogspanningskabel op de bodem van de zee N2-2008-2****10 maximumscore 1**

Een transformator werkt alleen als de magnetische flux verandert want dan ontstaat er een inductiespanning.

**11 maximumscore 2**

$$N_p/N_s = U_p/U_s = 380.000/900.000 = 1/2,37 \text{ of } 1 : 2,37$$

**14 maximumscore 5**

> Voor de stroomsterkte in de kabel geldt  $P = U \cdot I$  dus

$$I = P/U = 700 \cdot 10^6 / 900 \cdot 10^3 = 7,778 \cdot 10^2 \text{ A.}$$

$$> U_{\text{verlies}} = I \cdot R_{\text{kabel}} = 7,778 \cdot 10^2 \cdot (2 \cdot 14,5) = 2,22556 \cdot 10^5 \text{ V}$$

$$> P_{\text{verlies}} = U \cdot I = 2,22556 \cdot 10^5 \cdot 7,778 \cdot 10^2 = 1,75 \cdot 10^7 \text{ W} = 17,5 \text{ MW.}$$

$$\text{OF: } P_{\text{verlies}} = I^2 R_{\text{kabel}} = (7,778 \cdot 10^2)^2 \cdot 29 = 1,75 \cdot 10^7 \text{ W} = 17,5 \text{ MW.}$$

$$> \text{Percentage dat omgezet is in warmte: } = 17,5/700 \cdot 100\% = \underline{\underline{2,5\%}}$$

**15 maximumscore 2**

>  $P_s = U_s \cdot I_s$  dus hoe hoger de spanning, des te kleiner de stroomsterkte in de kabel.

> Hoe kleiner de stroomsterkte in de kabel, des te kleiner ook het energie/vermogensverlies.

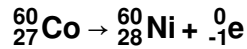
**16 maximumscore 3**

>  $P_{\text{centrale}} = 600 \text{ MW}$  en  $t = 1 \text{ jaar}$

$$E_{\text{centrale}} = P_{\text{centrale}} \cdot t = 600 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot 365 \cdot 24 \text{ h} = 5,256 \cdot 10^9 \text{ kWh elektrische energie geleverd.}$$

> Het aantal huishoudens dat van elektrische energie kan worden voorzien is

$$5,256 \cdot 10^9 / 3,5 \cdot 10^3 = \underline{\underline{1,5 \cdot 10^6 \text{ huizen.}}}$$

**5 Opgave 1 Doorstralen van fruit N2 2008-1****1 maximumscore 3****2 maximumscore 1**

- > De dracht van  $\beta$ -straling (in fruit) is klein.
- OF:
- > De bovenste laag fruit absorbeert alle  $\beta$ -straling.

**3 maximumscore 2**

De halveringsdikte is de dikte van de laag die 50% van de straling doorlaat.  
In de grafiek is af te lezen dat deze dikte **12 cm** is (met een marge van 0,5 cm).

**4 maximumscore 3**

- > De halveringstijd van kobalt-60 is 5,27 jaar.
- > Als de activiteit van de bron gedaald is tot 12,5% van de oorspronkelijke waarde zijn er drie halveringstijden verstreken.
- > Dat duurt dus  $3 \cdot 5,27 = \underline{15,8 \text{ jaar}}$ .

**5 maximumscore 2**

- > Nee want de atoomkernen / de isotopen veranderen niet als het voedsel  $\gamma$ -straling absorbeert.
- OF:
- > Je raakt alleen besmet als er radioactief materiaal op of in je lichaam komt.

**6 Opgave 3 Schuddynamo N2 2007-1****8 maximumscore 2**

- > De inductiespanning correspondeert met de steilheid van de fluxgrafiek.
- > De fluxgrafiek is op  $t = 0,12 \text{ s}$  minder steil dan op  $t = 0,17 \text{ s}$  want de magneet heeft dan nog niet zo'n grote snelheid.

*Opmerking: De magneet heeft op  $t = 0,17 \text{ s}$  een grotere snelheid dan op  $t = 0,12 \text{ s}$ : 1 punt.*

**9 maximumscore 3**

uitkomst:  $f = 5,7 \text{ Hz}$  (met een marge van 0,1 Hz)  
4 periodes =  $2,80 - 2,10 = 0,70 \text{ s}$  ofwel  $4 \cdot T = 0,70 \text{ s}$  dus  $T = 0,175 \text{ s}$ .  
 $f = 1/T = \underline{5,7 \text{ Hz}}$ .

Opmerking

*Als  $T$  is bepaald met behulp van minder dan twee periodes: maximaal 2 punten.*

**10 maximumscore 2**

- > Bewering a is juist want elke positieve piek valt weg tegen een negatieve piek.
- > Bewering b is onjuist want de effectieve waarde van de wisselspanning ligt tussen 0 V en de topwaarde.

**7 Opgave 2 Fietsdynamo N2 2007-2****6 maximumscore 2**

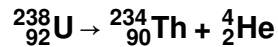
De fluxverandering vindt in een steeds kortere tijdsduur plaats (omdat de snelheid van het wielte toeneemt). Daardoor wordt de inductiespanning (= de spanning die de dynamo opwekt) steeds groter.

**7 maximumscore 4**

omtrek van het wielte 0,0754 m  
snelheid van het gewichtje 3,8 m/s  
Omlooptijd wielte berekenen = 0,0198 s  
1 sinus duurt 0,005 s dus  $0,0198 \text{ s} = \underline{4,0 \text{ sinussen}}$

**8 maximumscore 2**

Waarde b is juist ( $U_{\text{eff}} = 4,8 \text{ V}$ ), want de effectieve waarde van de wisselspanning moet tussen 0 V en de topwaarde (6,8 V) liggen.

**8 Opgave 3 Uranium-munitie N1 2007-1****13 maximumscore 3****14 maximumscore 4**

- > Per seconde vervallen er  $2,2 \cdot 10^{-6}$  deeltjes
- > In een jaar vervallen er dus  $365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} = 69,4$  deeltjes.
- > In een jaar absorbeert het bestraalde weefsel dus  $69,4 \cdot 6,7 \cdot 10^{-13} = 4,65 \cdot 10^{-11}$  J.
- > Het dosisequivalent is dus  $20 \cdot 4,65 \cdot 10^{-11} / 0,18 \cdot 10^{-9} = \underline{5,2 \text{ Sv}}$ .

**9 Opgave 5 Kernfusie N2-2007-1****18 maximumscore 3**

- > De zon produceert in één seconde  $3,9 \cdot 10^{26}$  J.
- > De energiecentrales op aarde produceren in één jaar  $1,0 \cdot 10^{14} \cdot 3,6 \cdot 10^6 = 3,6 \cdot 10^{20}$  J.
- > De centrales moeten dus  $3,9 \cdot 10^{26} / 3,6 \cdot 10^{20} = \underline{1,1 \cdot 10^6 \text{ jaar}}$  werken.

**19 maximumscore 3**

- > Omdat ze dezelfde soort lading hebben, stoten twee kernen elkaar af.
- > Bij een hoge temperatuur is de snelheid van de kernen groot waardoor ze elkaar dicht kunnen naderen.

**20 maximumscore 3**

antwoord:  ${}^5\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^1\text{n}$

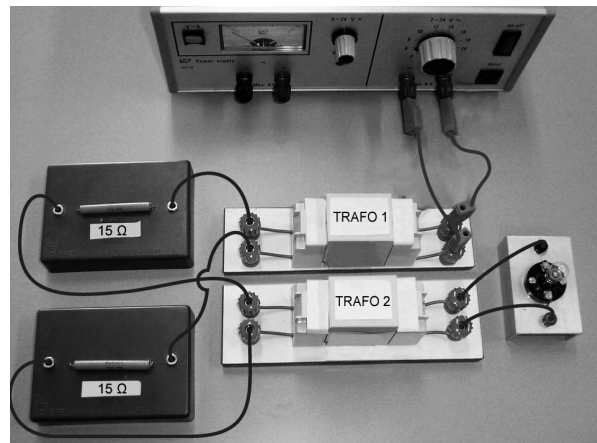
**21 maximumscore 5**

- >  $\Delta m = 3,14 \cdot 10^{-29}$  kg en  $c = 3,00 \cdot 10^8$  m/s dus bij één reactie ontstaat  $E = \Delta mc^2 = 2,826 \cdot 10^{-12}$  J
- >  $E_{\text{totaal}} = P \cdot t = 16 \cdot 10^6 \cdot 1,5 = 24 \cdot 10^6$  J.
- > Het aantal reacties dat plaatsvindt is  $24 \cdot 10^6 / 2,826 \cdot 10^{-12} = 8,49 \cdot 10^{18}$
- > Er is gefuseerd:  $8,49 \cdot 10^{18} \cdot 2,014 \text{ u} = 8,49 \cdot 10^{18} \cdot 2,014 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} = \underline{2,8 \cdot 10^{-8} \text{ kg}}$

**22 maximumscore 2**

Tritium, want dat is radioactief.

Een antwoord zonder uitleg of met een onjuiste uitleg: 0 punten.

**10 Opgave 2 Transport van elektrische energie N2 2006-2****6 □ Maximumscore 4****10 □ Maximumscore 4**

- >  $P_{\text{bron}} = UI = 6,7 \cdot 0,55 = 3,7 \text{ W}$
- >  $P_{\text{lamp}} = UI = 3,2 \cdot 0,33 = 1,0 \text{ W}$
- >  $U_R = IR = 30 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 0,9 \text{ V}$
- $P_R = UI = 0,9 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,027 \text{ W}$
- > Conclusie:  $P_{\text{bron}} > P_{\text{lamp}} + P_R$  dus er moet verlies in de transformator zijn.  
De transformator is dus **niet ideaal**.
- Opm.:  $P_R$  kun je ook berekenen met  $P_R = I^2 R$*

**11 Opgave 4 Energie voor verre reizen N2 2004-1****16 Maximumscore 5**

- > Per seconde vervallen er  $2,1 \cdot 10^{16}$  kernen plutonium.
- > De hoeveelheid energie die daarbij vrijkomt is  
 $E = 2,1 \cdot 10^{16} \cdot 5,6 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 1,88 \cdot 10^4 \text{ J}$ .
- > In 1,0 jaar komt  $E = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 1,88 \cdot 10^4 = 5,93 \cdot 10^{11} \text{ J}$  vrij.
- > Voor de massa die wordt omgezet in energie geldt:  
 $E = mc^2$  dus  $m = E/c^2 = 5,93 \cdot 10^{11} / (3,00 \cdot 10^8)^2 = \underline{\underline{6,6 \cdot 10^{-6} \text{ kg}}}$

**17 Maximumscore 2**

- > De halveringstijd van Pu-238 is 88 jaar. Zo'n ruimtereis van 11 jaar duurt dus vele halveringstijden.
- > De activiteit van het plutonium zal dan sterk afnemen.
- > Pu-238 is dus niet geschikt als energiebron .

**18 Maximumscore 2**

Noem twee van de de volgende verschillen:

- > Een kernreactor werkt op basis van kernsplijting en een RTG op basis van radioactief verval.
- > In een kernreactor moet/kan de energieproductie geregeld worden en bij een RTG niet.
- > In een kernreactor kan een lawine-effect/kettingreactie optreden en in een RTG niet.
- > Een kernreactor moet gekoeld worden en een RTG niet.
- > In een kernreactor nemen de kernen neutronen op
- > In een kernreactor komen (bij splijting van kernen) neutronen vrij

----- Einde volledige uitwerkingen -----