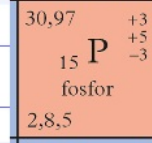


Hoofdstuk 13 Straling



Leerdoelen bij dit hoofdstuk:

- §13.1 A. Je kunt uitleggen wat deze **begrippen** betekenen: elektromagnetische straling, zichtbaar licht, ultraviolet, infrarood, röntgenstraling, alfastraling, betastraling, gammastraling, ioniserende straling, kosmische str., natuurlijke achtergrondstr.
- B. Je kunt uitleggen hoe deze **medische toepassingen** van natuurkunde werken: röntgenfoto, CT-scan, MRI-scan, echogram.
- §13.2 C. Je kunt uitleggen wat deze **begrippen** met elkaar te maken hebben: dichtheid, doordringend vermogen, dracht, halveringsdikte en doorlaatkromme.
- D. Je kunt **rekenen aan de intensiteit I van doorgelaten gammastraling** met de bijbehorende formule op blz. 198.
- §13.3 E. Je kunt de **notatie** geven van isotopen. F. Je kunt **vergelijkingen opstellen van deze vervalsreacties**: α -verval, β^- -verval en β^+ -verval. G. Je kunt **rekenen aan de massa van isotopen** met de atomaire massa-eenheid, u.
- §13.4 H. Je kunt rekenen aan het **verloop van de activiteit A in de tijd** met de formule op blz. 206.
- I. Je kunt rekenen aan het verloop van het **aantal overgebleven kernen N in de tijd** met de formule op blz. 208.
- J. Je kunt rekenen aan de relatie tussen **activiteit A , aantal overgebleven kernen N en halfwaardetijd $t_{1/2}$** is.
- K. Je kunt tabel 25A gebruiken voor het voor **berekeningen aan atoommassa en hoeveelheden**.
- §13.5 L. Je weet wat wordt bedoeld met de **stralingsdosis D** en hoe je deze kunt uitrekenen.
- M. Je weet wat wordt bedoeld met het **dosisequivalent H** en hoe je deze kunt uitrekenen.



$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$$

$$A = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$N = N_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$$

Nieuw bij natuurkunde: exponentiele functies!

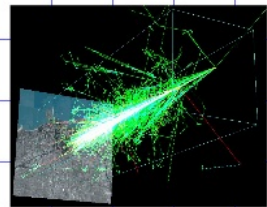
Vaardigheden: rekenen met machten en logaritmen & exponent oplossen met n -substitutie.

Hoofdstuk 13 Straling

- *CONTEXT* -

De volgende pagina's geven interessante achtergrondinformatie bij de stof van dit hoofdstuk zoals voorbeelden uit de natuur van de verschijnselen of technische toepassingen van de natuurkundige inzichten bij deze verschijnselen. Zulke achtergrond informatie heet ook wel context. Het is niet noodzakelijk om deze pagina's te bestuderen voor het proefwerk maar het is wel interessante kennis!

"Wat wordt bedoeld met het elektromagnetisch spectrum?"



ultraviolette straling



zichtbaar licht



infrarode straling ("warmtestraling")



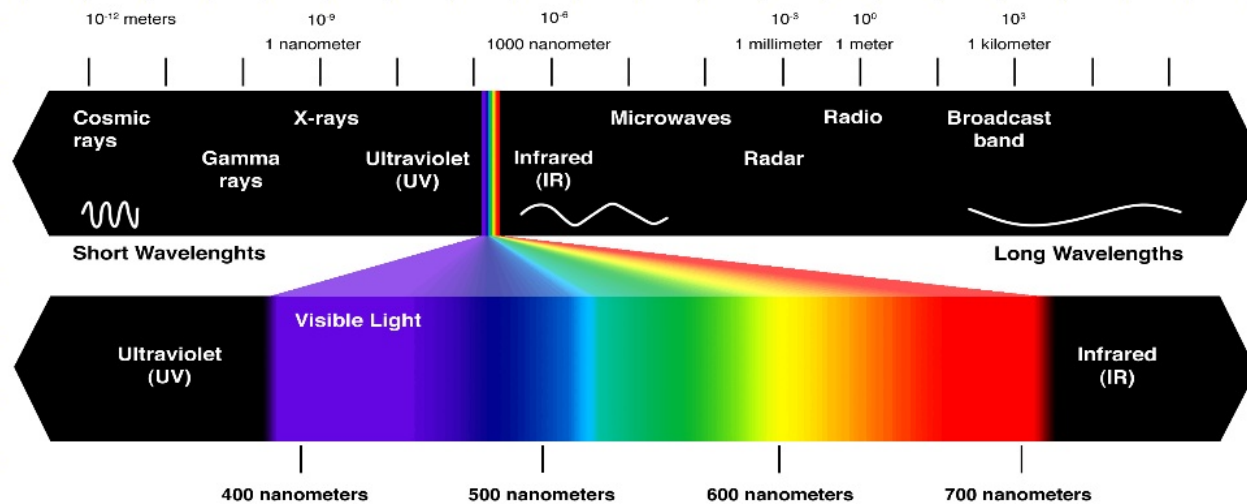
microgolven ("magnetronstraling")



radargolven



radiogolven (audio, telefoons, bluetooth, wifi)

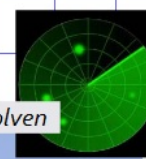
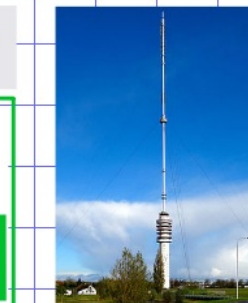
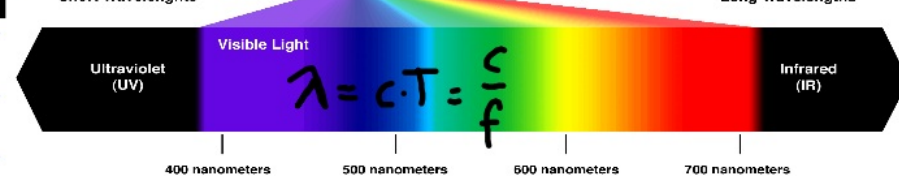
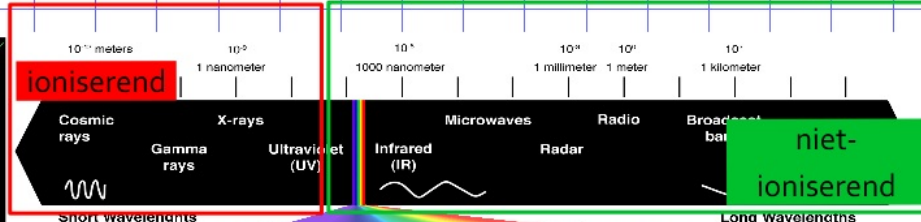
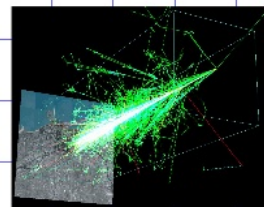


"Welke soorten straling bestaan er en welke zijn gevaarlijk?"

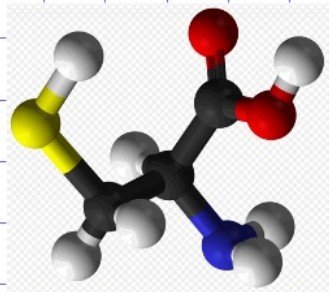
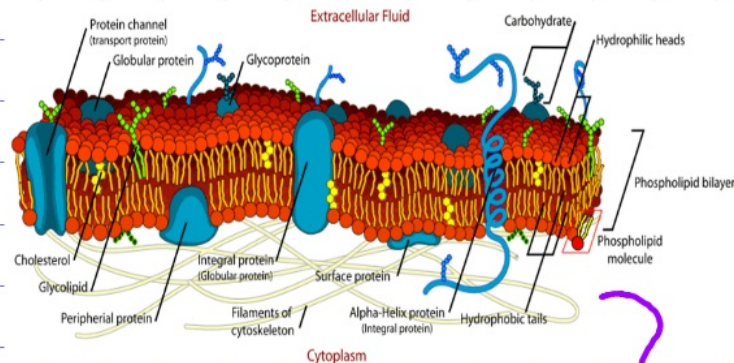
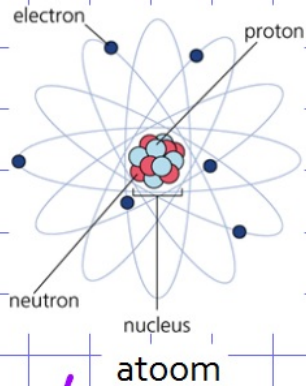
ioniserend

alfa"straling"

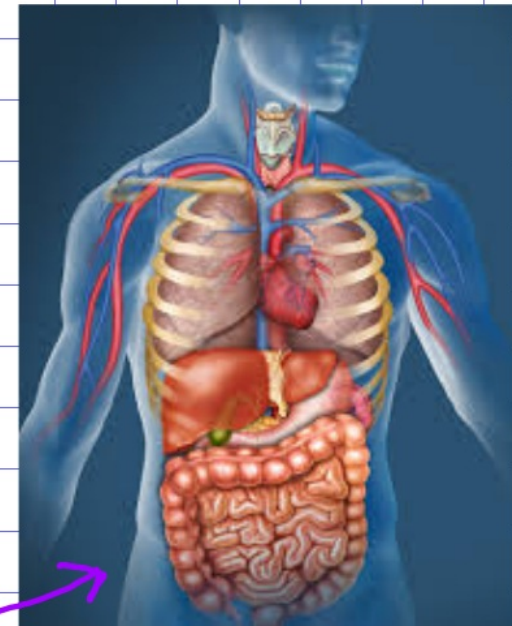
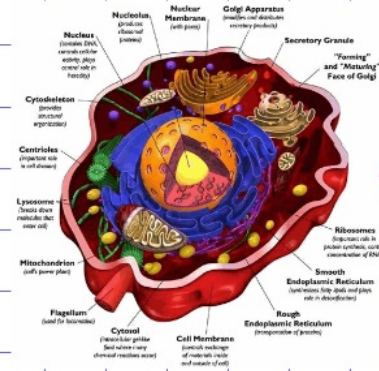
beta"straling"



"Wat is ionisatie en hoe is het schadelijk voor je lichaam?"

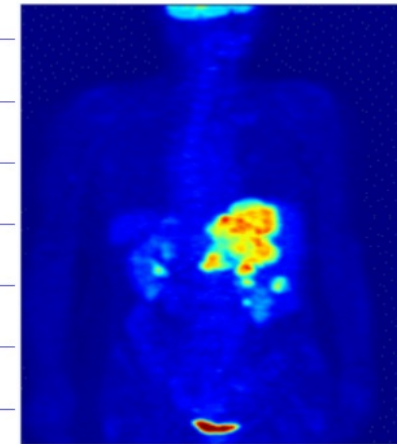
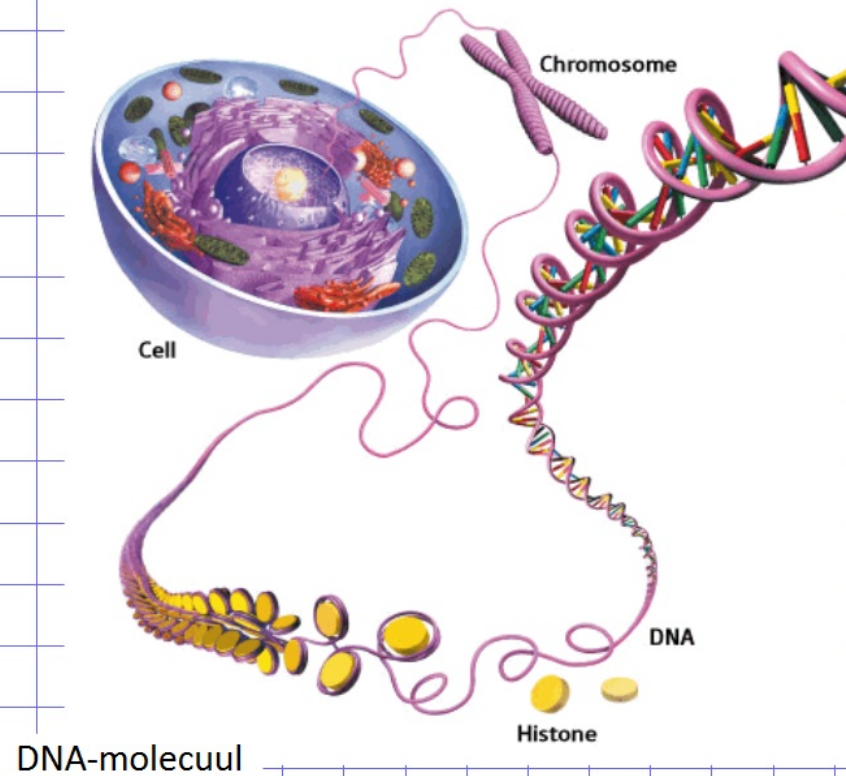
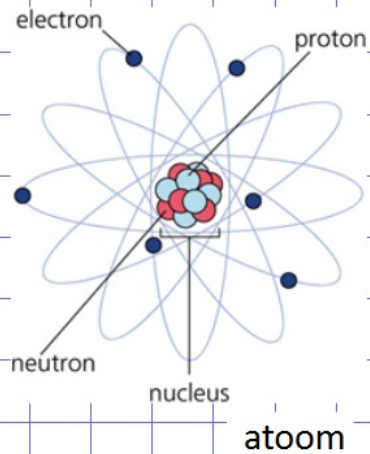


cel



weefsels

"Hoe is ioniserende straling kankerverwekkend?"



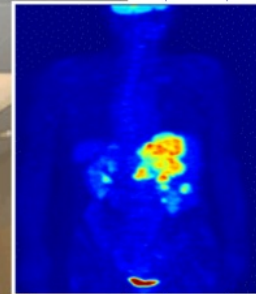
"Hoe kan het dat sommige straling door materie heen kan?"



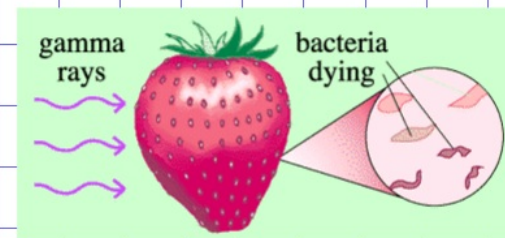
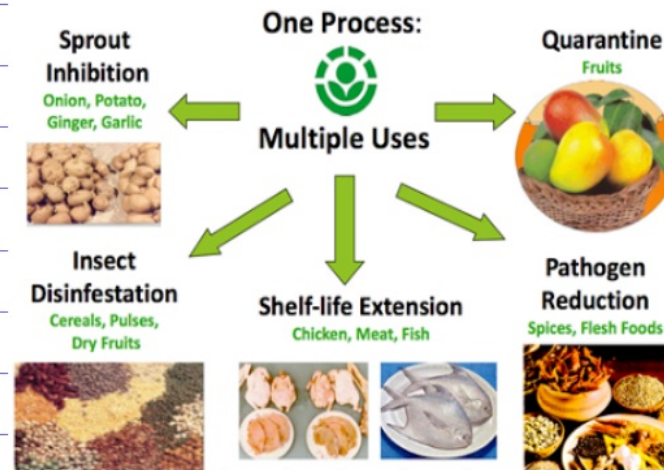
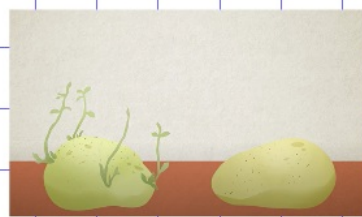
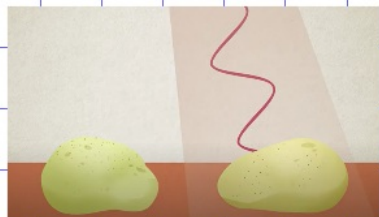
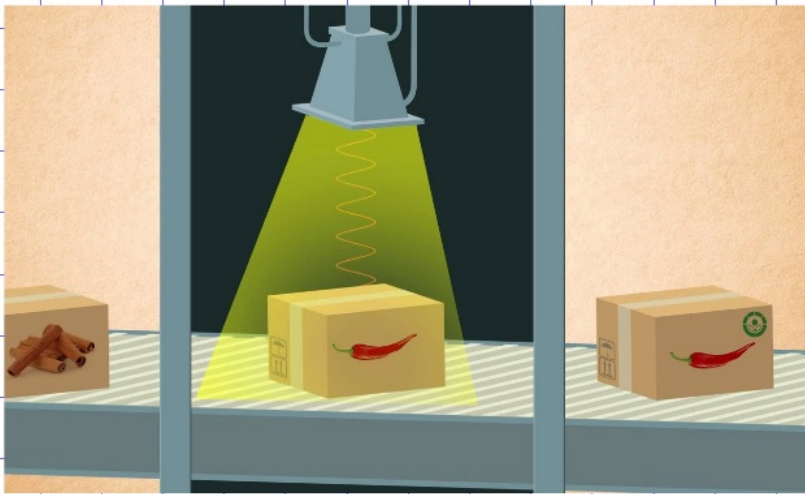
"Hoe wordt radioactiviteit gebruikt in de gezondheidszorg?"



[Radiotherapie \(swf_embedded\)](#)

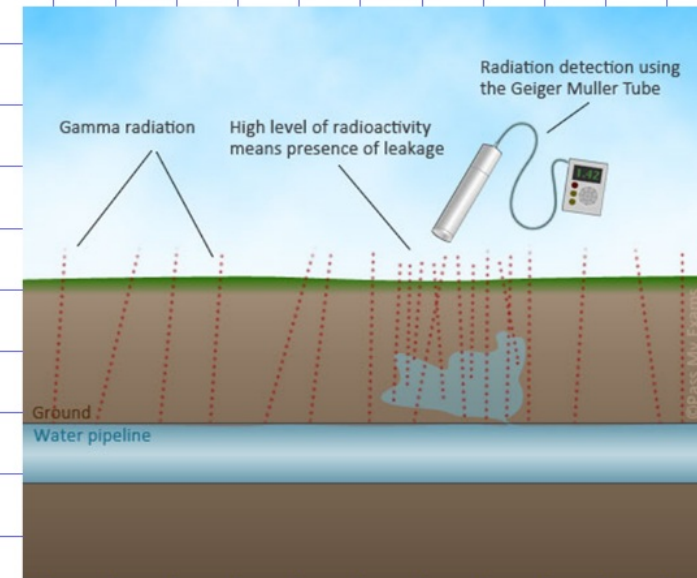
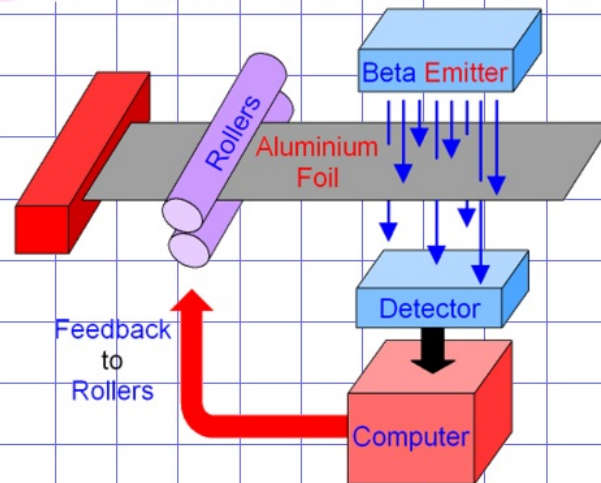
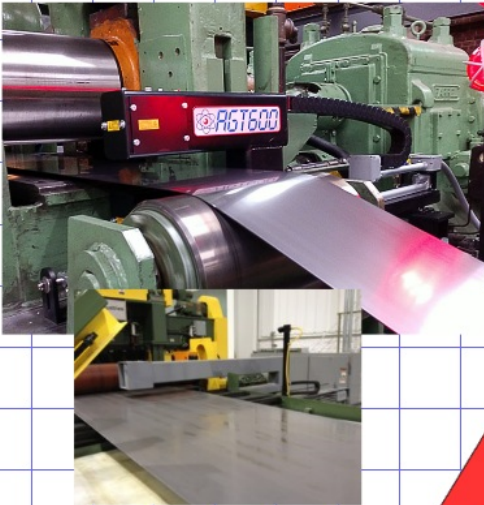


"Hoe wordt radioactiviteit gebruikt in de landbouw?"

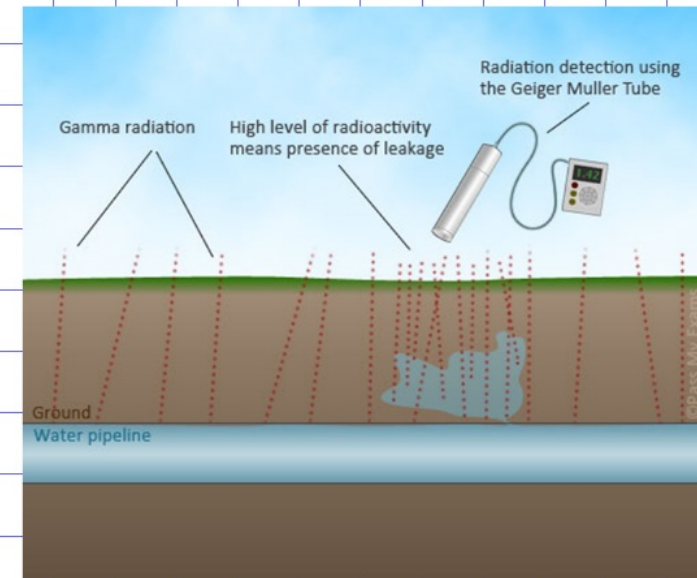
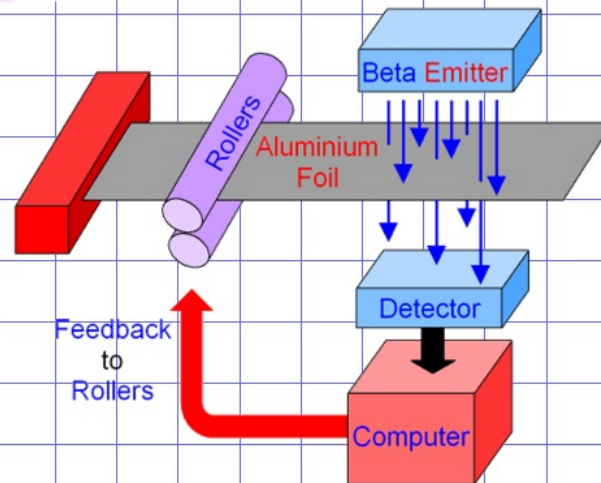
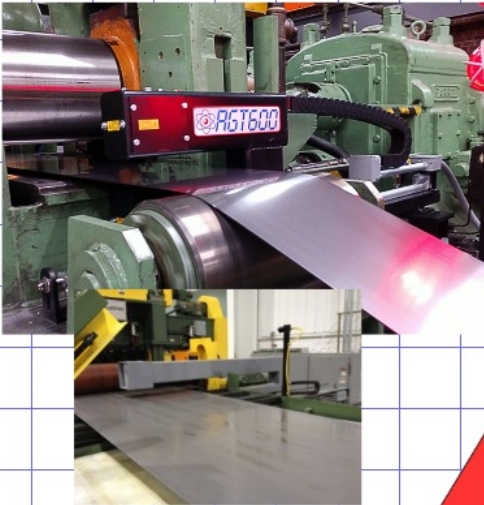


eerlijk over eten
Voedingscentrum

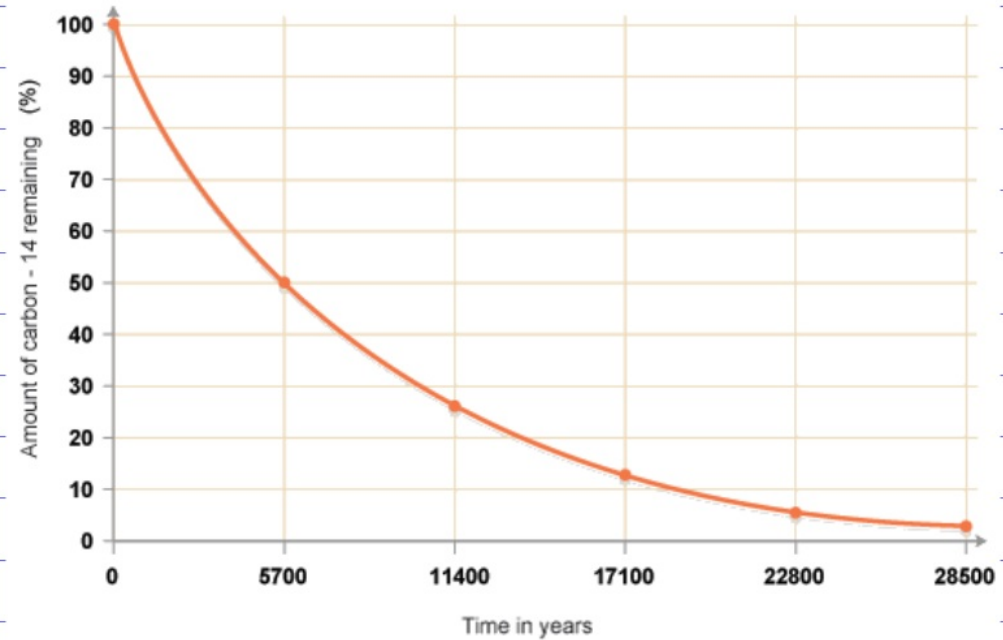
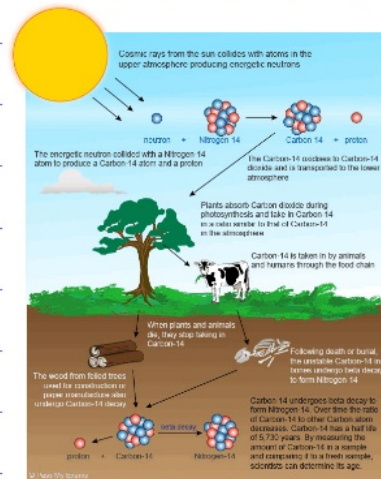
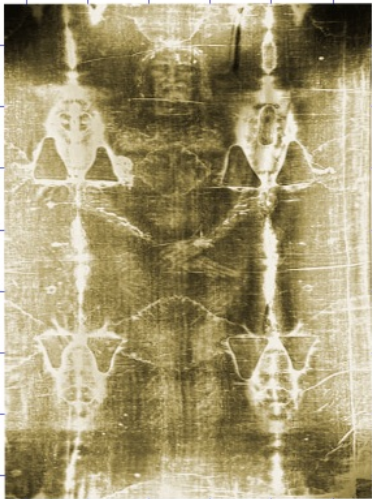
"Hoe wordt radioactiviteit gebruikt in de industrie?"



"Hoe wordt radioactiviteit gebruikt in de industrie?"

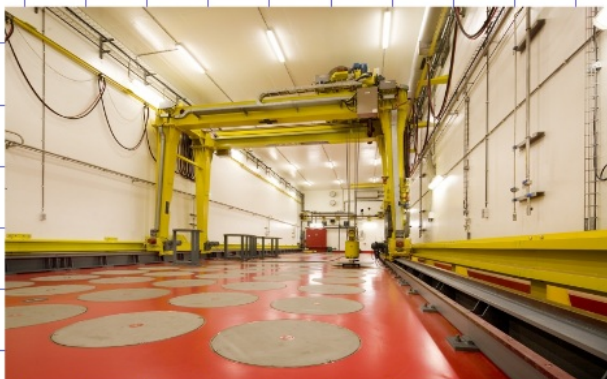


"Hoe werkt koolstofdatering?"

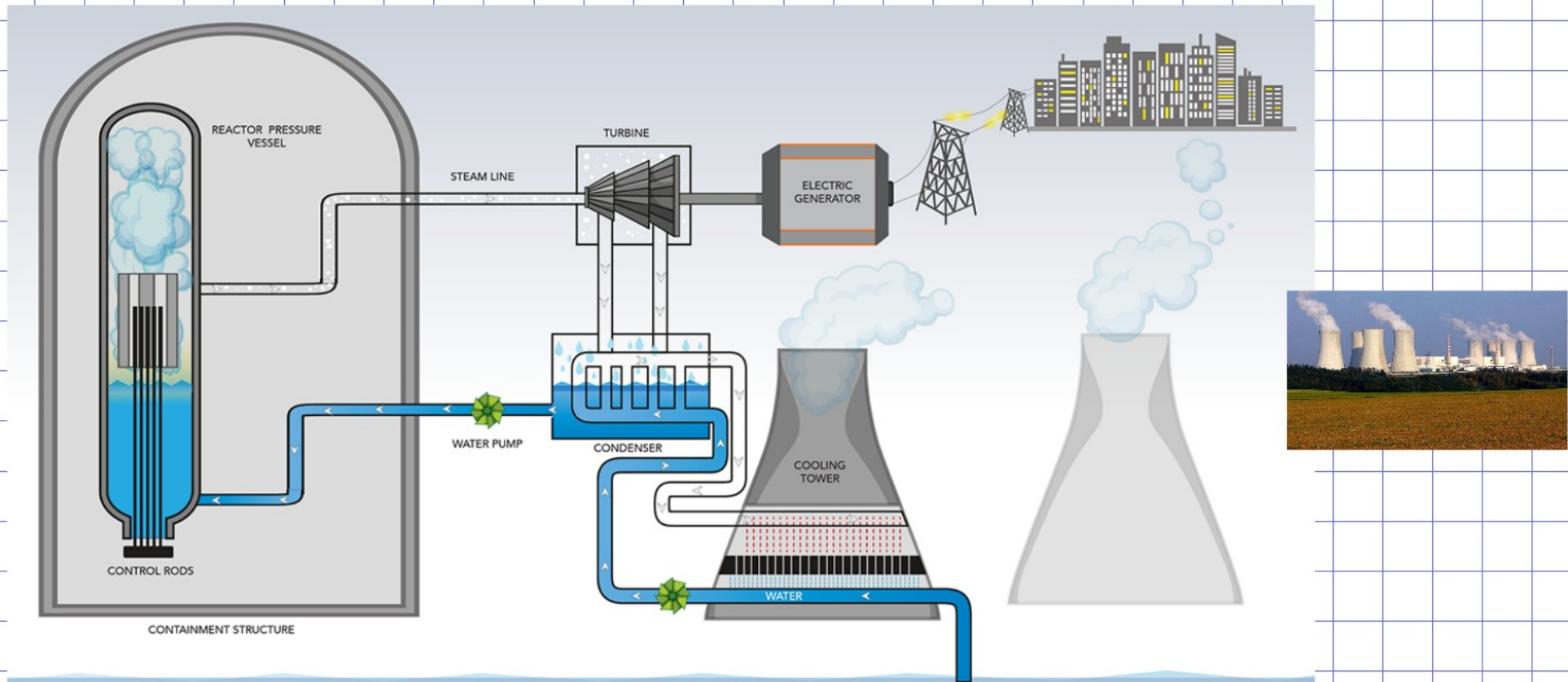


halveringstijd.swf

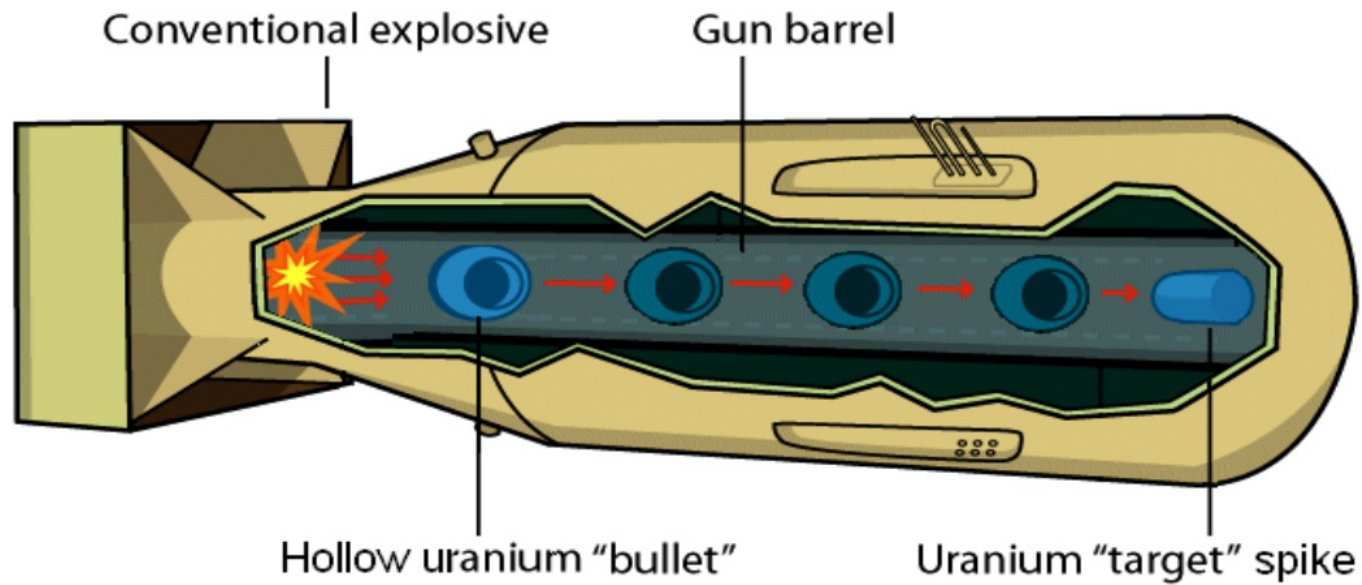
"Hoe lang blijven stoffen radioactief?"



"Hoe werken kerncentrales?"



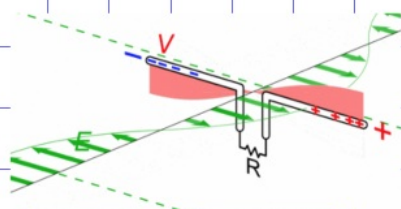
"Hoe werken kernwapens?"



"Hoe kan elektromagnetische straling ontstaan?"



radioactieve stoffen



elektrische antennes

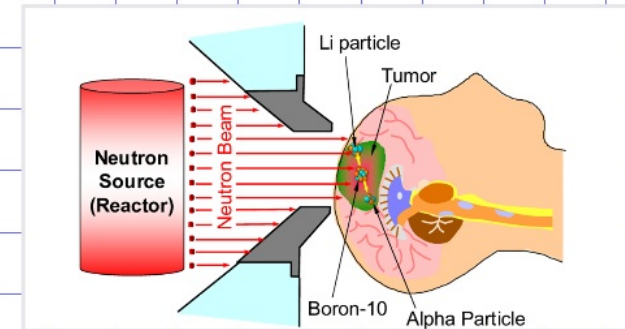
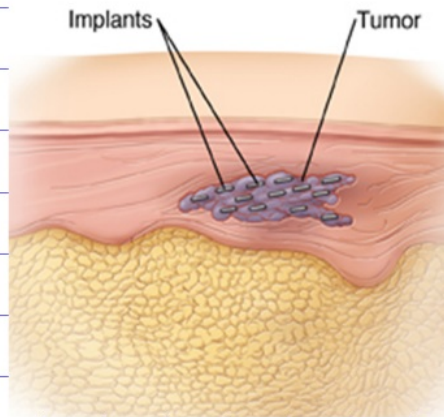


warme voorwerpen

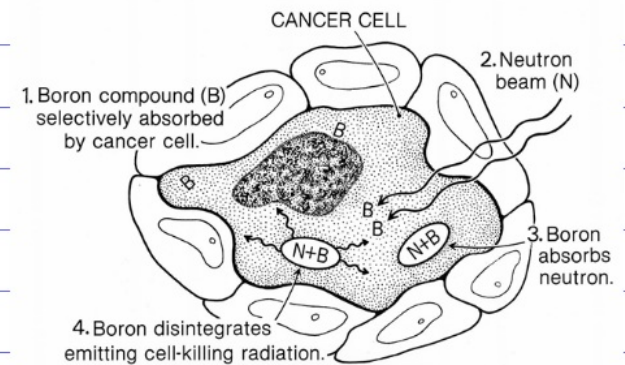


verschillende
soorten lampen

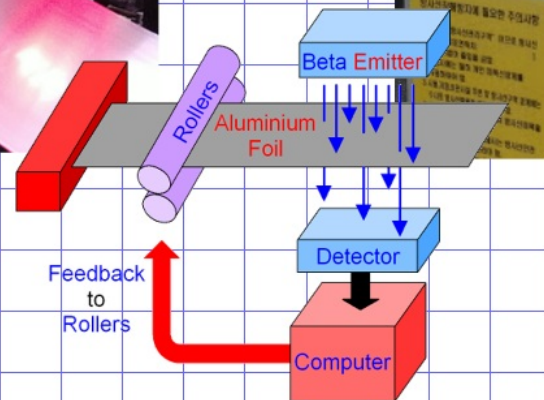
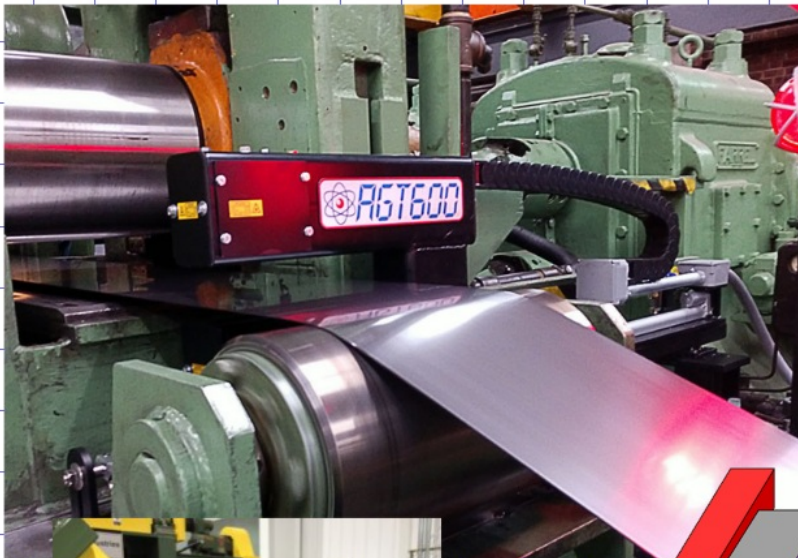
"Welke vormen van stralingstherapie bestaan er?"



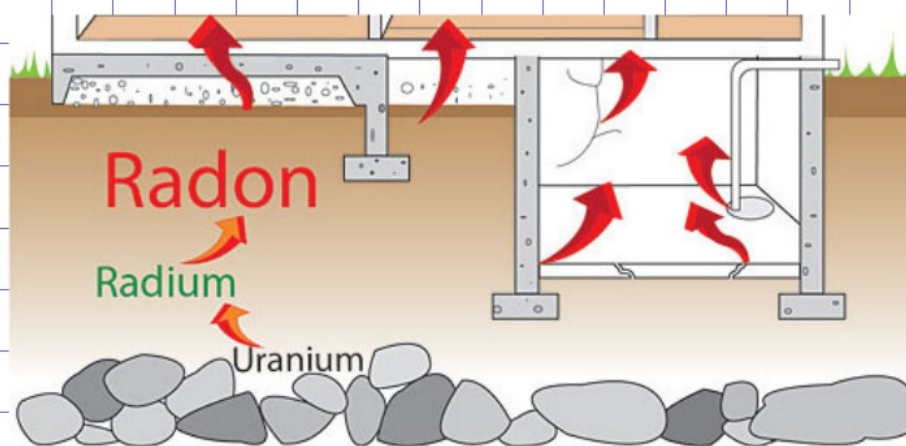
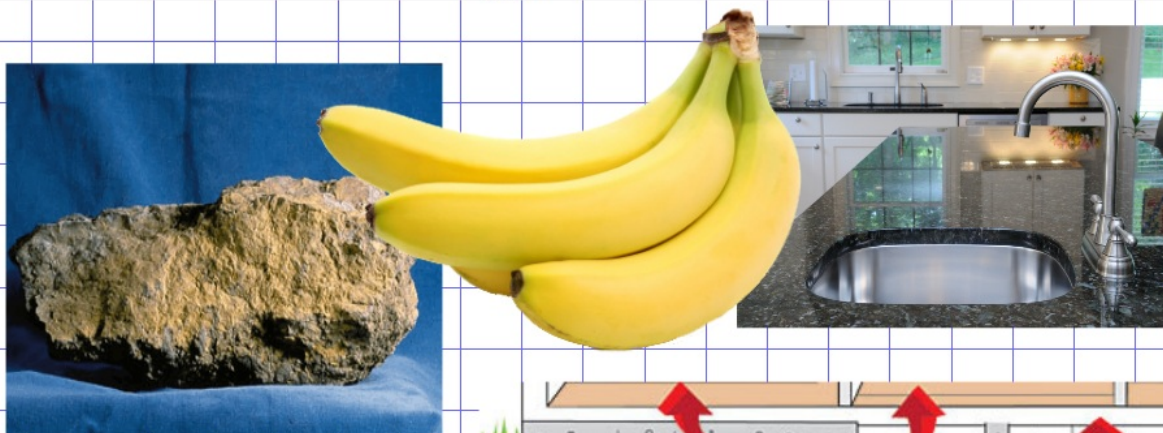
Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)



"Hoe wordt radioactiviteit gebruikt in de industrie?"



"Welke stoffen kunnen allemaal radioactief zijn?"



How radon gas affects humans

Radon is a radioactive gas. It comes from the natural decay of uranium that is found in nearly all soils. It typically moves up through the ground to the air above and into your home through cracks and holes in the foundation. Your home traps radon inside, where it can build up.

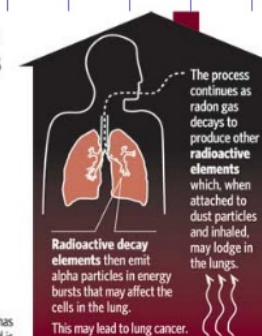
U-238 (uranium)

has a very long half-life so it has been around a long time and is common in rock and soil

decays to $\rightarrow$ Ra 226 (radium) decays to Rn 222 (radon)

*After decaying to thorium 234, protactinium 234, uranium 234, thorium 230

SOURCE: Environmental Protection Agency

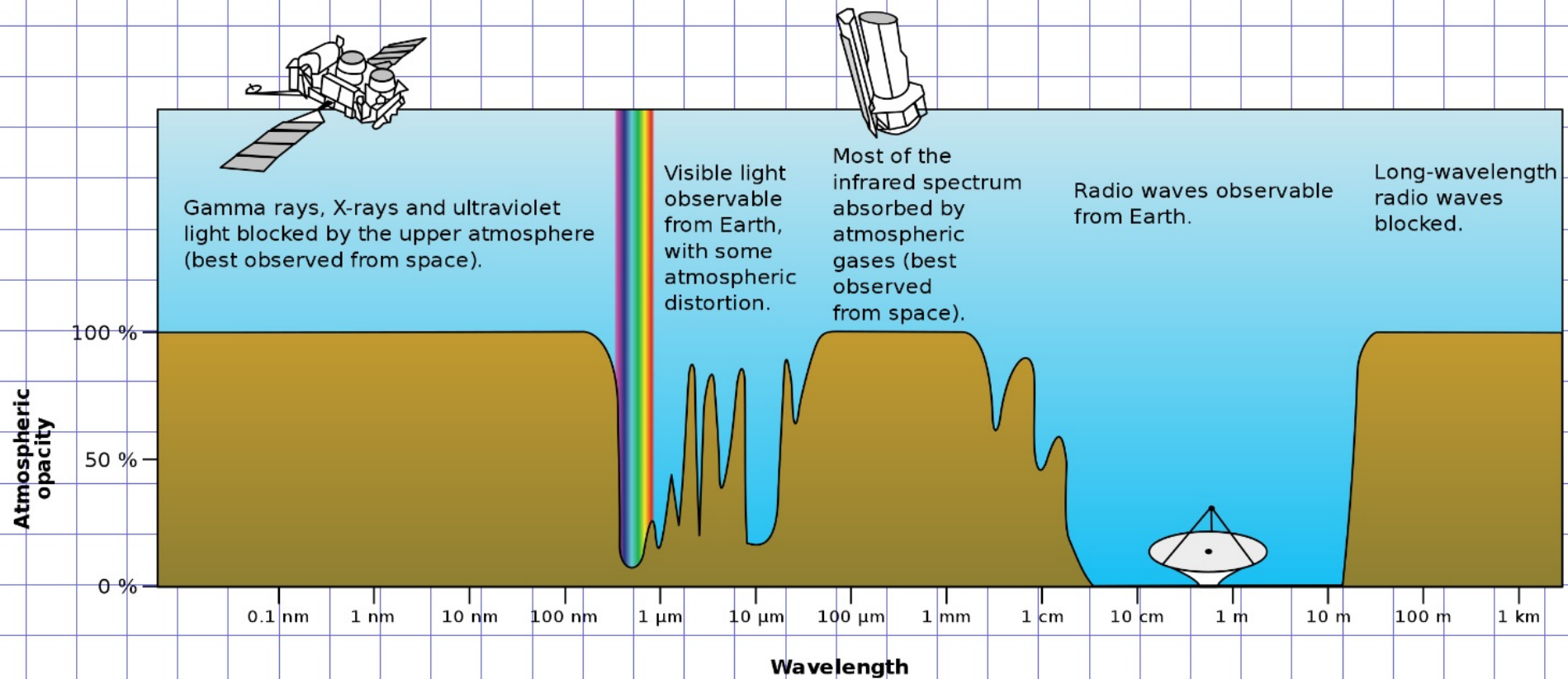


Radon gas enters home

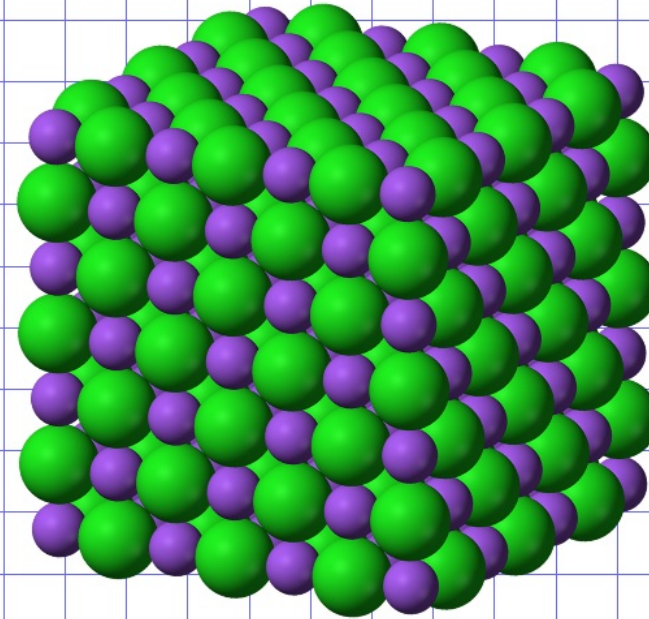
Staff graphic: Molly Quinn

Veritasium, Most Radioactive Places (YouTube)

"Welke EM-straling worden door de dampkring doorgelaten?"



"Hoe kan straling door vaste, niet-transparante stoffen heengaan?"

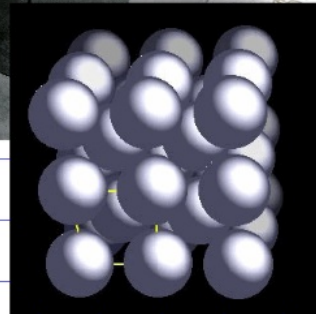


diameter van een proton: 10^{-15} m (femtometer)

bohr-straal: $52,9 \times 10^{-12}$ (picometer)

Dus een waterstof-atoom zelf heeft **50.000 keer** de diameter van de kern
vergelijkbaar met **zandkorrel** die over de buitenste rij rondjes draait om een kern op de middenstip zo groot als een **vlieg**.

"Waarom beschermt lood goed tegen straling?"



"Hoe is radioactiviteit ontdekt?"

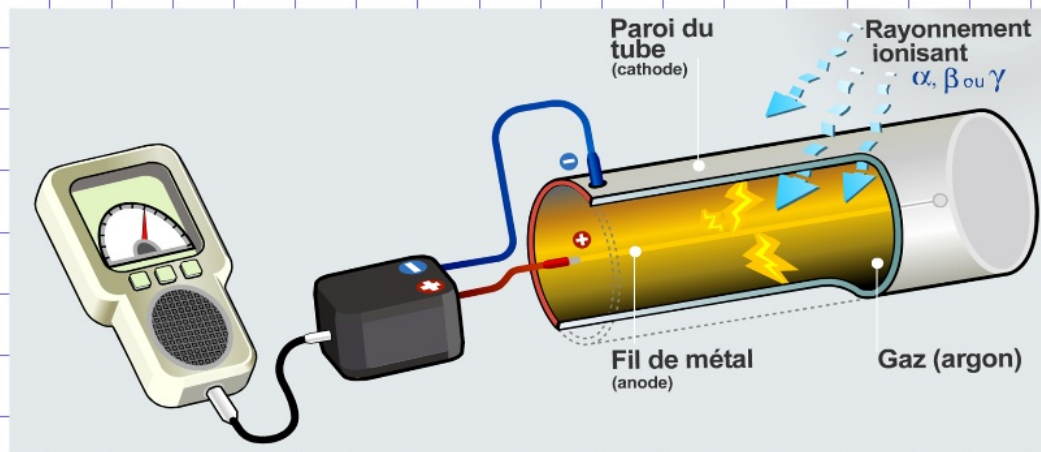
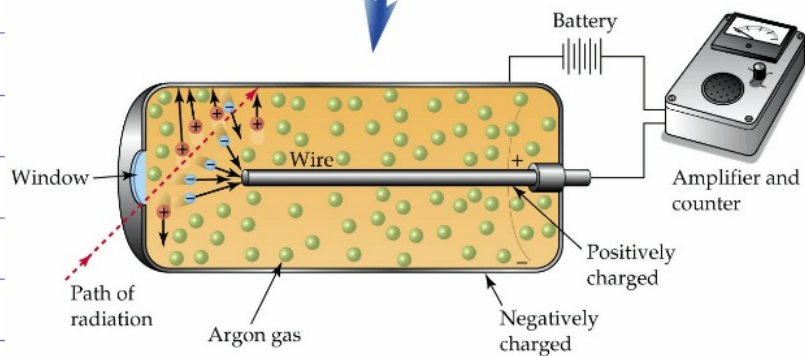
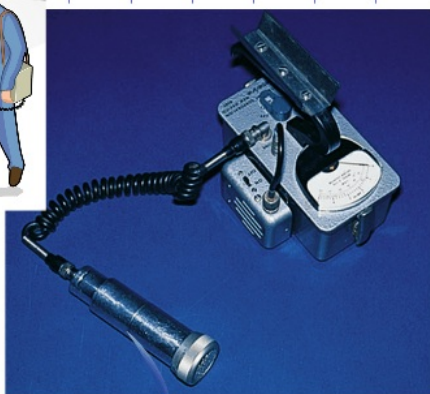


PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

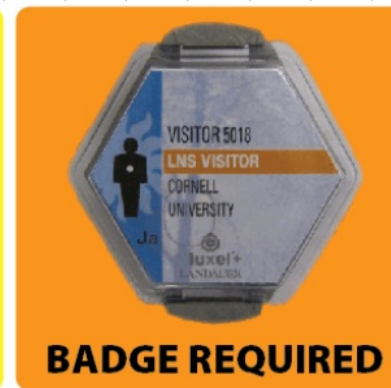
CENTRAL WASHINGTON UNIVERSITY

IA 1																								BA 10																
									2A 2								3A 13		4A 14		5A 15		6A 16		7A 17		He 2 <i>noble gases</i>													
H Hydrogen 1.00794																	Li Lithium 6.941	Be Beryllium 9.01218																	B Boron 10.811	C Carbon 12.011	N Nitrogen 14.0064	O Oxygen 15.9994	F Fluorine 18.9984	Ne Neon 20.1797
Na Sodium 22.98977	Mg Magnesium 24.304	Al Aluminum 26.98154	Si Silicon 28.0855	P Phosphorus 30.97376	S Sulfur 32.06	Cl Chlorine 35.453	Ar Argon 39.948	K Potassium 39.0983	Ca Calcium 40.078	Sc Scandium 44.95591	Ti Titanium 47.88	V Vanadium 50.9415	Cr Chromium 51.9961	Mn Manganese 54.938045	Fe Iron 55.845	Co Cobalt 58.933195	Ni Nickel 58.6934	Cu Copper 63.546	Zn Zinc 65.38	Ga Gallium 69.723	Ge Germanium 72.64	As Arsenic 74.9216	Se Selenium 78.96	Br Bromine 79.904	Kr Krypton 83.80															
Rb Rubidium 85.4678	Sr Strontium 87.62	Y Yttrium 88.90584	Zr Zirconium 91.224	Nb Niobium 92.90638	Mo Molybdenum 95.94	Tc Technetium [98]	Ru Ruthenium 101.07	Rh Rhodium 102.9055	Pd Palladium 106.42	Ag Silver 107.8682	Cd Cadmium 112.411	In Indium 114.818	Sn Tin 118.710	Sb Antimony 121.757	I Iodine 126.905	Xe Xenon 131.29	Cs Cesium 132.90545	Ba Barium 137.327	Lanthanide Series		Hf Hafnium 178.49	Ta Tantalum 180.9479	W Tungsten 183.85	Re Rhenium 186.207	Os Osmium 190.23	Ir Iridium 192.22	Pt Platinum 195.084	Au Gold 196.96657	Hg Mercury 200.59	Tl Thallium 204.3833	Pb Lead 207.2	Bi Bismuth 208.9804	Po Polonium [209]	At Astatine [210]	Rn Radon [222]					
Fr Francium [223]	Ra Radium 226.0254	Actinide Series		Rf Rutherfordium [261]	Ds Darmstadtium [286]	Sg Seaborgium [286]	Bh Bohrium [286]	Hs Hassium [286]	Mt Meitnerium [286]	[110]	[111]	[112]																												
* Lanthanide Series																																								
† Actinide Series																																								

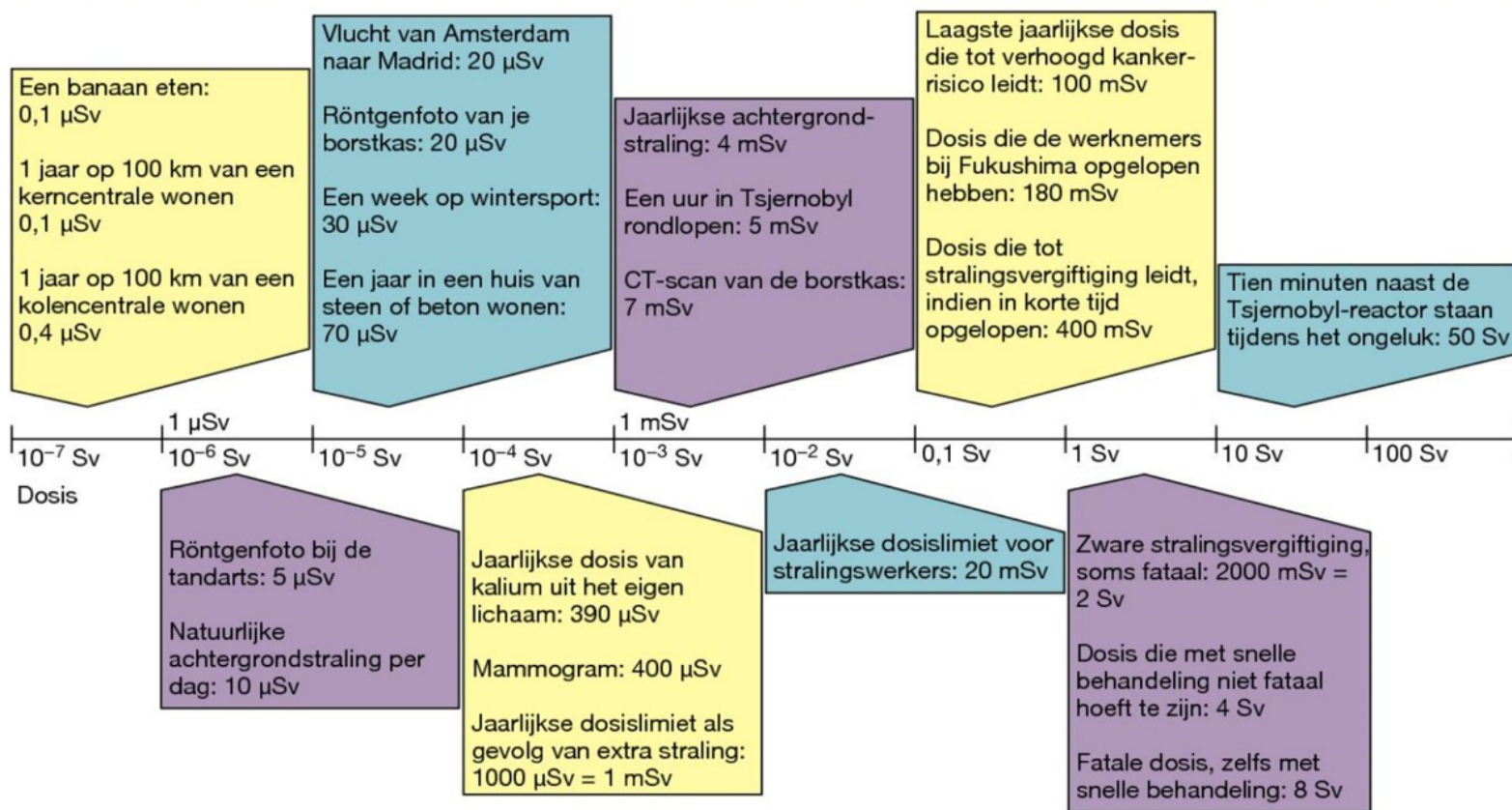
"Hoe kun je ioniserende straling detecteren en meten?"



*"Hoe wordt stralingsbelasting van personeel
in de gaten gehouden?"*



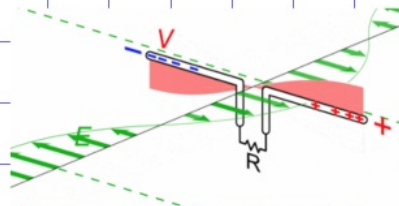
"Welke typische doses horen bij...?"



"Hoe kan elektromagnetische straling ontstaan?"



radioactieve stoffen



elektrische antennes



warme voorwerpen



verschillende
soorten lampen

"Waarom is sommige straling gevaarlijk?"



Veritasium, A Walk Around Chernobyl (YouTube)

Hoofdstuk 13: Straling

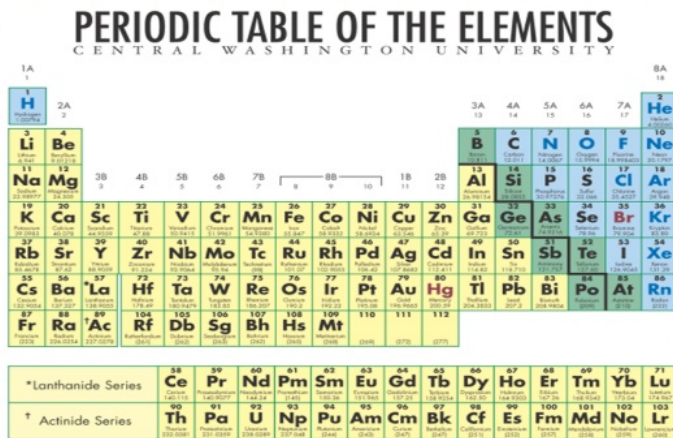


Schéma de désintégration de l'uranium-235 ($^{235}_{92}\text{U}$) – Série de l'actinium en $4n+3$

Decay scheme of uranium-235 ($^{235}_{92}\text{U}$) – Actinium series type $4n+3$

Decay scheme of uranium-235 ($^{235}_{92}\text{U}$) – Actinium series type $4n+3$

The diagram illustrates the decay chain of $^{235}_{92}\text{U}$ (half-life $7.04 \cdot 10^8$ a) through the Actinium series ($4n+3$). The series proceeds through several isotopes, including $^{231}_{90}\text{Th}$, $^{231}_{91}\text{Pa}$, $^{227}_{89}\text{Ac}$, $^{227}_{90}\text{Th}$, $^{223}_{87}\text{Fr}$, $^{223}_{88}\text{Ra}$, $^{219}_{85}\text{At}$, $^{215}_{83}\text{Po}$, $^{215}_{84}\text{At}$, $^{211}_{83}\text{Bi}$, $^{211}_{84}\text{Po}$, and finally the stable isotope $^{207}_{82}\text{Pb}$.

Key decay steps and data:

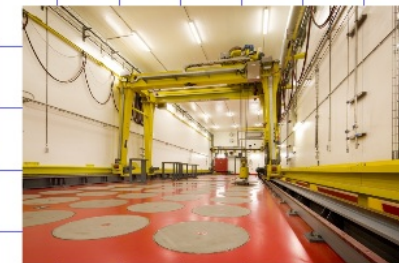
- $^{235}_{92}\text{U}$ decays to $^{231}_{90}\text{Th}$ via α (100%, 4.678 MeV).
- $^{231}_{90}\text{Th}$ decays to $^{231}_{91}\text{Pa}$ via β^- (100%, 0.391 MeV).
- $^{231}_{91}\text{Pa}$ decays to $^{227}_{89}\text{Ac}$ via α (100%, 5.150 MeV).
- $^{227}_{89}\text{Ac}$ decays to $^{227}_{90}\text{Th}$ via β^- (98.62%, 0.045 MeV) and to $^{223}_{87}\text{Fr}$ via α (1.38%, 5.042 MeV).
- $^{227}_{90}\text{Th}$ decays to $^{223}_{88}\text{Ra}$ via α (100%, 5.979 MeV).
- $^{223}_{87}\text{Fr}$ decays to $^{223}_{88}\text{Ra}$ via β^- (100%, 1.149 MeV) and to $^{219}_{85}\text{At}$ via α (100%, 6.147 MeV).
- $^{219}_{85}\text{At}$ decays to $^{215}_{83}\text{Po}$ via α (100%, 6.946 MeV).
- $^{215}_{83}\text{Po}$ decays to $^{211}_{83}\text{Bi}$ via α (100%, 8.178 MeV) and to $^{215}_{84}\text{At}$ via β^- (0.00023%, 0.715 MeV).
- $^{215}_{84}\text{At}$ decays to $^{211}_{83}\text{Bi}$ via α (100%).
- $^{211}_{83}\text{Bi}$ decays to $^{211}_{84}\text{Po}$ via β^- (0.276%, 0.575 MeV) and to $^{207}_{82}\text{Pb}$ via α (99.724%, 6.751 MeV).
- $^{211}_{84}\text{Po}$ decays to $^{207}_{82}\text{Pb}$ via α (100%, 7.595 MeV).
- $^{207}_{82}\text{Pb}$ is the stable end product.

"Hoe weet je welke soort verval een isotoop ondergaat en hoe weet je de halfwaardetijd?"

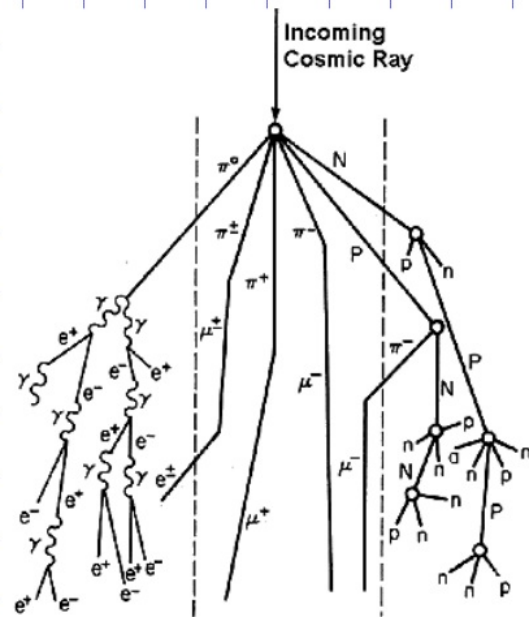
TABLE 22.2 Half-lives of Some Useful Radioisotopes

Radioisotope	Symbol	Radiation	Half-life	Use
Tritium	${}^3_1\text{H}$	β^-	12.33 years	Biochemical tracer
Carbon-14	${}^{14}_6\text{C}$	β^-	5730 years	Archaeological dating
Phosphorus-32	${}^{32}_{15}\text{P}$	β^-	14.26 days	Leukemia therapy
Potassium-40	${}^{40}_{19}\text{K}$	β^-	1.28×10^9 years	Geological dating
Cobalt-60	${}^{60}_{27}\text{Co}$	β^-, γ	5.27 years	Cancer therapy
Technetium-99m*	${}^{99m}_{43}\text{Tc}$	γ	6.01 hours	Brain scans
Iodine-123	${}^{123}_{53}\text{I}$	γ	13.27 hours	Thyroid therapy
Uranium-235	${}^{235}_{92}\text{U}$	α, γ	7.04×10^8 years	Nuclear reactors

*The m in technetium-99m stands for metastable, meaning that it undergoes gamma emission but does not change its mass number or atomic number.

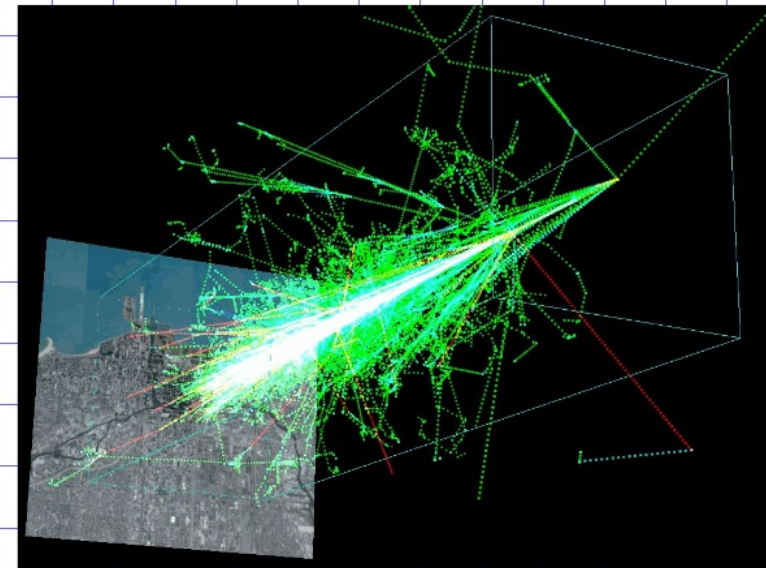
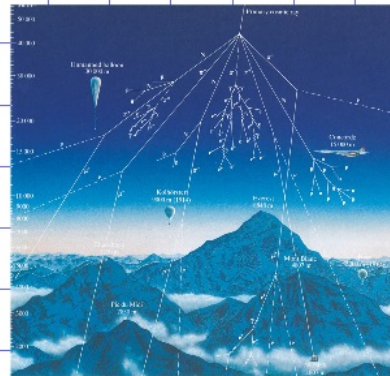
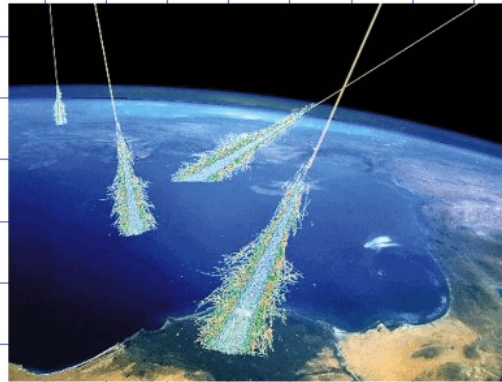


"Waar komt kosmische straling vandaan?"

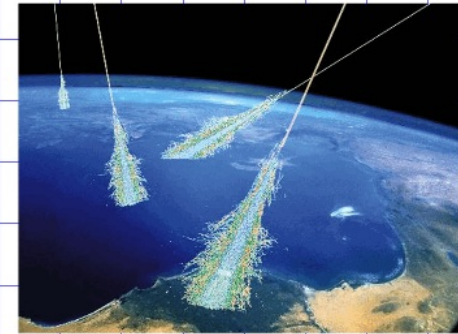


KEY

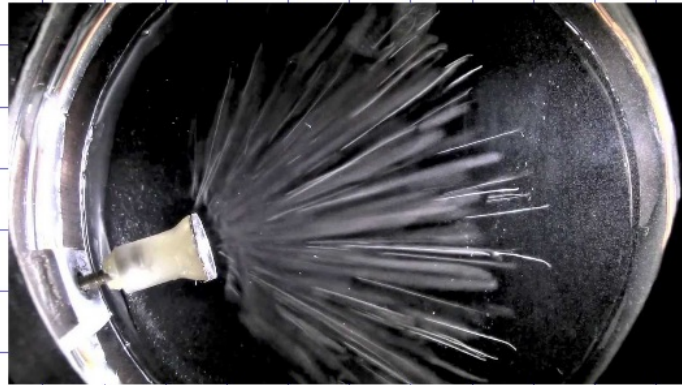
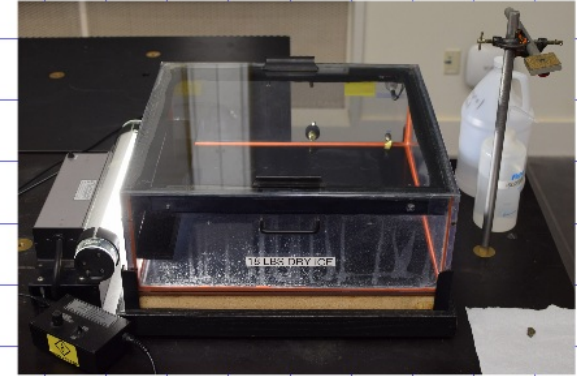
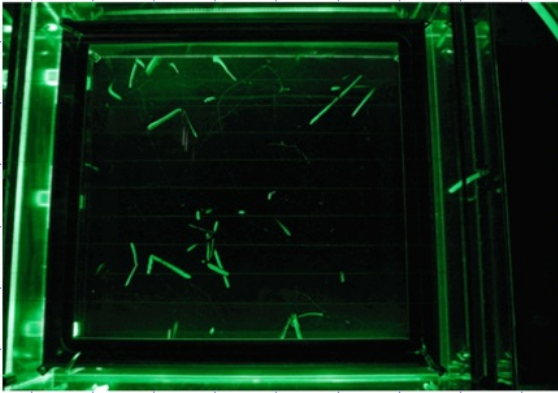
P	Proton	e	Electron
n	Neutron	μ	Muon
π	Pion	γ	Photon



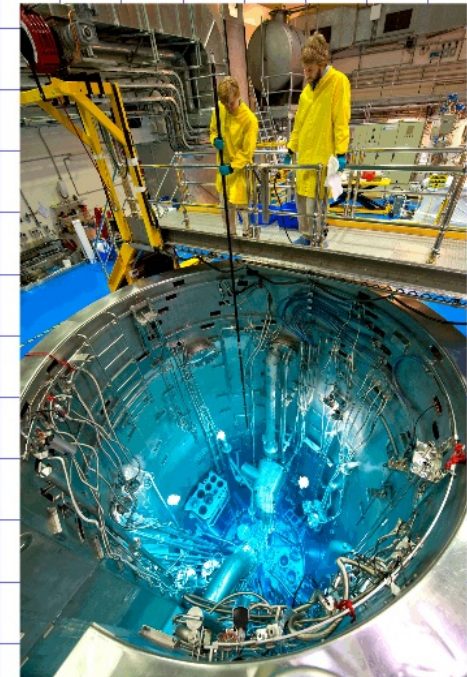
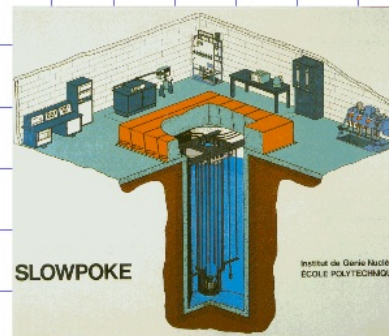
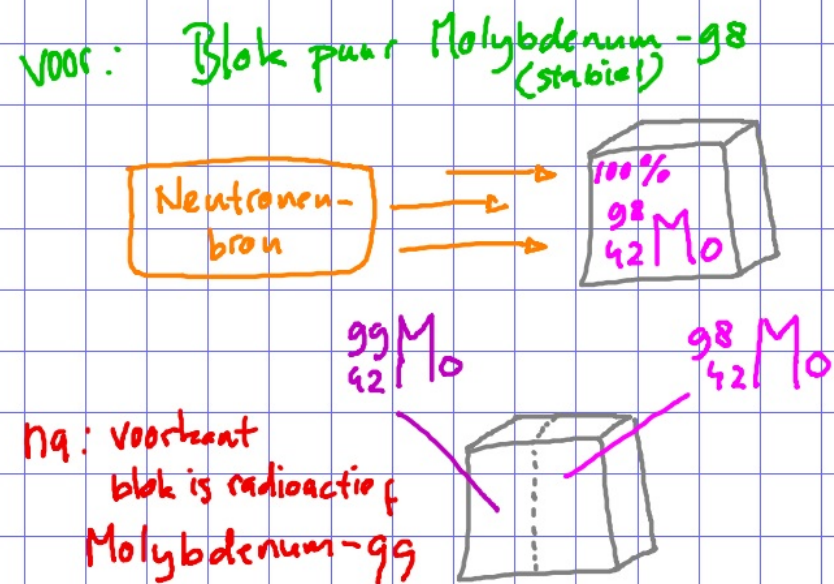
"Waarom is de achtergrondstraling groter als je in de bergen bent?"



"Kun je ioniserende straling zien?"



"Hoe worden medische isotopen gemaakt?"



"Waarom is kernenergie 3x beter dan kolenenergie?"

1. Veiliger



steenkool: 100.000 doden per jaar



kernenergie: minder dan 100 directe doden, enkele duizenden doden door kanker t.g.v. vrijgekomen straling

2. Schoner



steenkool: 1300 g CO₂ per opgewekte kiloWattuur



kernenergie: 40 g CO₂ per opgewekte kiloWattuur

3. Goedkoper



steenkool: 80 dollar per MWu



kernenergie: 60 dollar per MWu

"Hoe kun je uranium verrijken voor brandstof en wapens?"



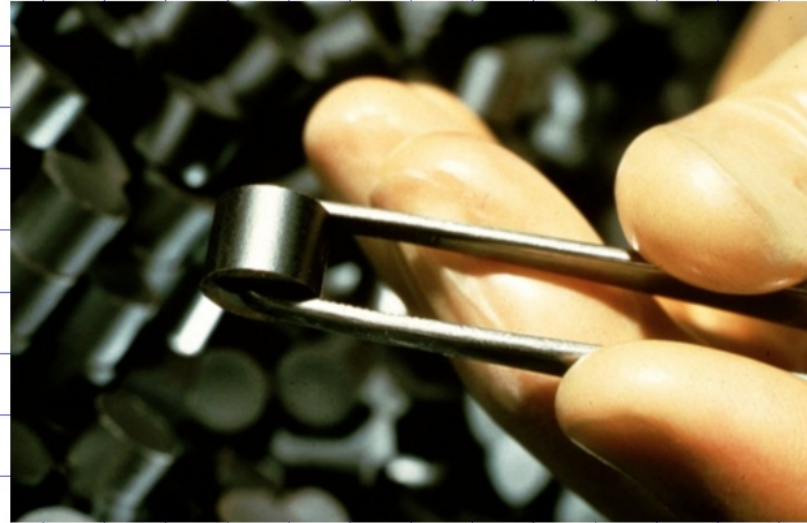
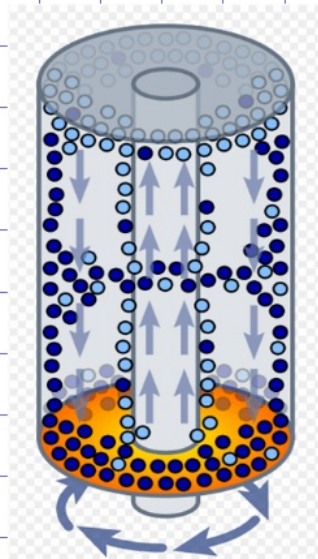
Natural uranium
> 99.2% U-238
0.72% U-235



Low-enriched uranium
(reactor grade)
3-4% U-235

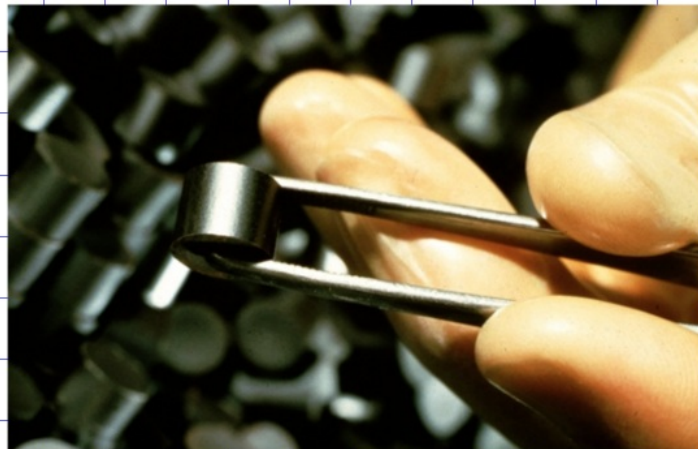
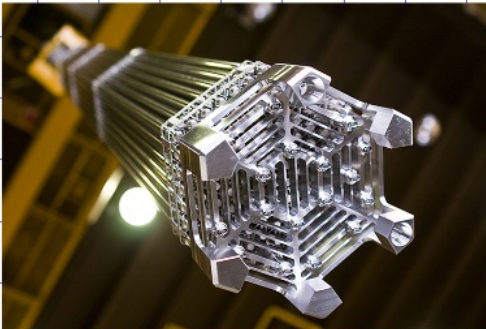


Highly enriched uranium
(weapons grade)
90% U-235

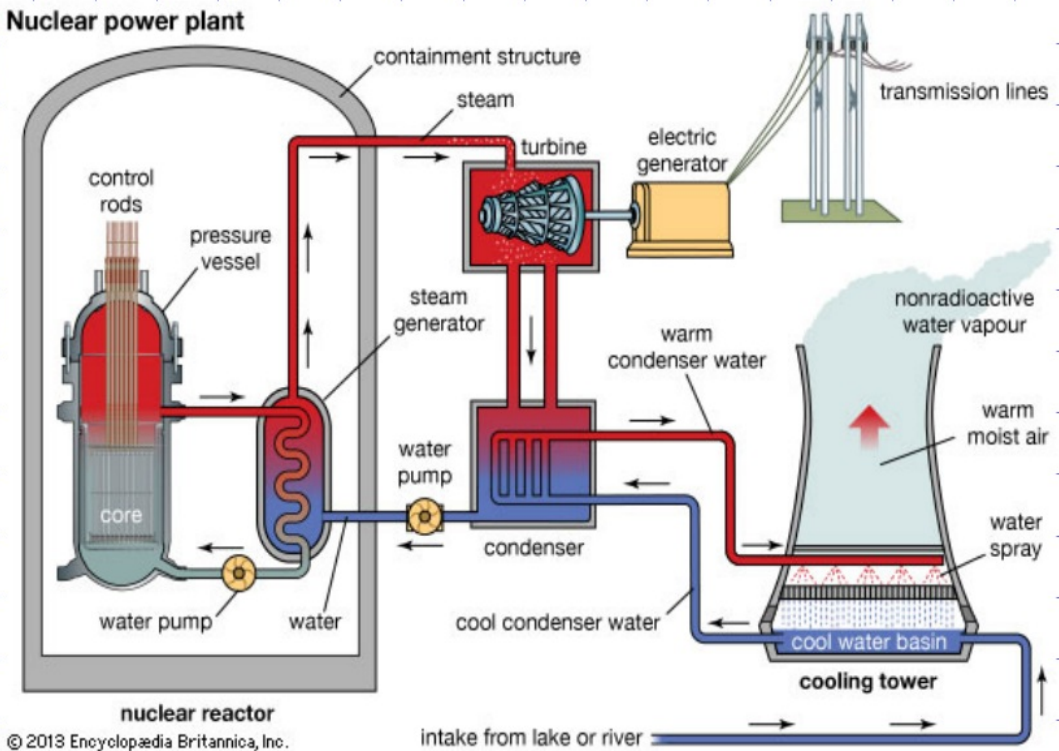


[fabricatie U splijstof.swf](#)

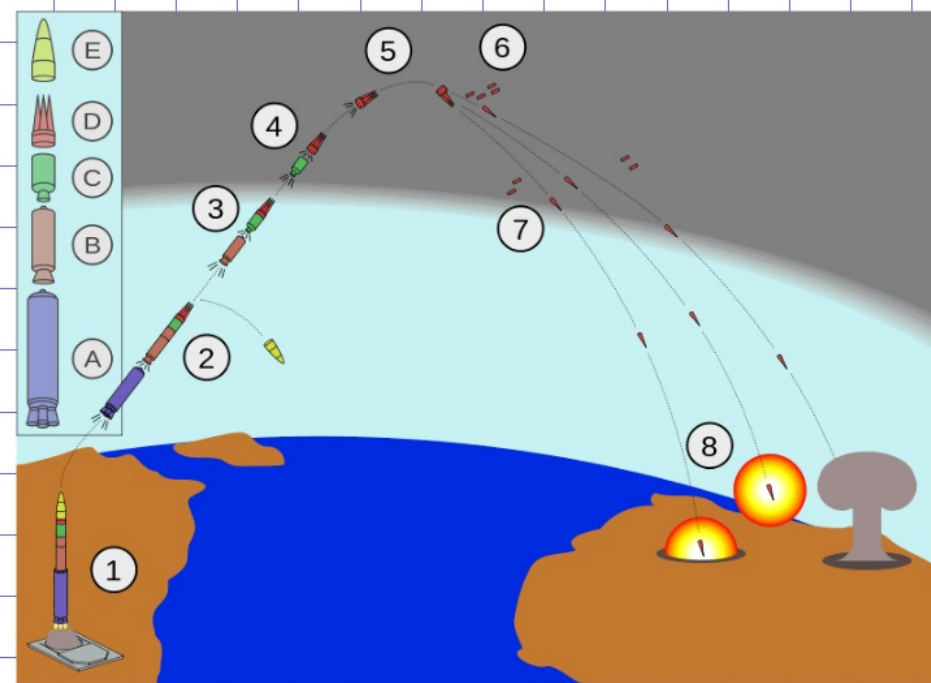
"Hoe wordt kernenergie opgewekt?"



Nuclear power plant



"Welke moderne manieren zijn er om kernwapens af te leveren bij hun doel?"



"Wiens idee was het om kernwapens te maken?"

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Massau Point
Peconic, Long Island
August 2nd, 1939

Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

-2-

The United States has only very poor ores of uranium in moderate quantities. There is some good ore in Canada and the former Czechoslovakia, while the most important source of uranium is Belgian Congo.

In view of this situation you may think it desirable to have some permanent contact maintained between the Administration and the group of physicists working on chain reactions in America. One possible way of achieving this might be for you to entrust with this task a person who has your confidence and who could perhaps serve in an unofficial capacity. His task might comprise the following:

a) to approach Government Departments, keep them informed of the further development, and put forward recommendations for Government action, giving particular attention to the problem of securing a supply of uranium ore for the United States;

b) to speed up the experimental work, which is at present being carried on within the limits of the budgets of University laboratories, by providing funds, if such funds be required, through his contacts with private persons who are willing to make contributions for this cause, and perhaps also by obtaining the co-operation of industrial laboratories which have the necessary equipment.

I understand that Germany has actually stopped the sale of uranium from the Czechoslovakian mines which she has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the ground that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsäcker, is attached to the Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,
A. Einstein
(Albert Einstein)

THE WHITE HOUSE
WASHINGTON

October 19, 1939

My dear Professor:

I want to thank you for your recent letter and the most interesting and important enclosure.

I found this data of such import that I have convened a Board consisting of the head of the Bureau of Standards and a chosen representative of the Army and Navy to thoroughly investigate the possibilities of your suggestion regarding the element of uranium.

I am glad to say that Dr. Sachs will cooperate and work with this Committee and I feel this is the most practical and effective method of dealing with the subject.

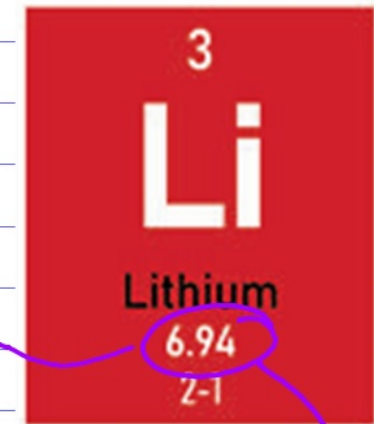
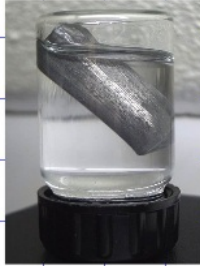
Please accept my sincere thanks.

Very sincerely yours,

Franklin D. Roosevelt

Dr. Albert Einstein,
Old Grove Road,
Massau Point,
Peconic, Long Island,
New York.

"Hoeveel atomen zitten er in een blokje *natuurlijk lithium* van 5,00 g?"



$$0,720 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 4,34 \cdot 10^{23} \text{ atomen}$$

dus 5,00 g is $\frac{5,00}{6,94} = 0,720 \text{ mol}$

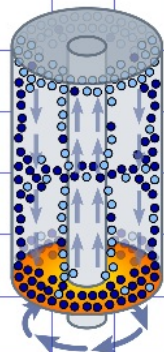
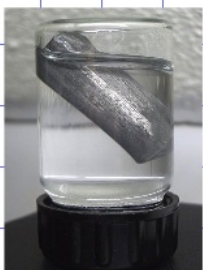
massa van 1 mol in g

gemiddelde atoommassa: 6,94 u

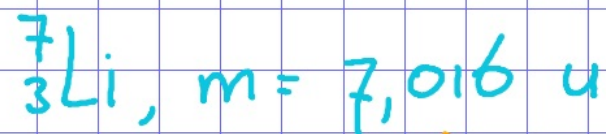
$$\frac{5,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{1,152 \cdot 10^{-26} \text{ kg}} = 4,34 \cdot 10^{23} \text{ atomen}$$

$$6,94 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 1,152 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

"Hoeveel atomen zitten er in een blokje **Lithium-7** van 5,00 g?"



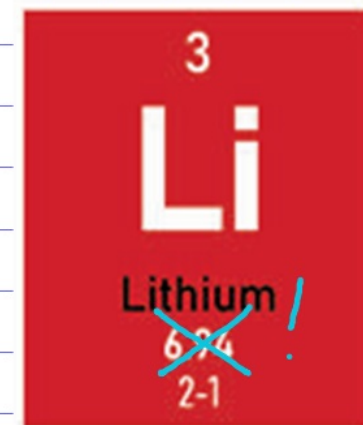
binas 25 A:



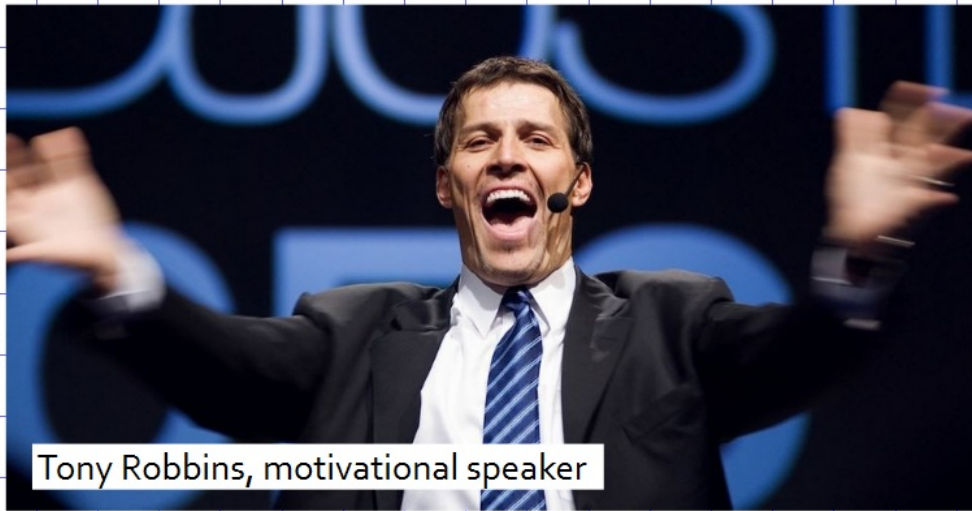
$$7,016 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,16 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

per atoom Li-7

$$\frac{5,00 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{1,16 \cdot 10^{-26} \text{ kg}} = 4,29 \cdot 10^{23} \text{ atomen Li-7}$$



"Wat is het verschil tussen kracht, energie, vermogen en intensiteit?"



Tony Robbins, motivational speaker

"Tony is a forceful speaker."

$$F = ? \quad (\text{N})$$

"Tony is an energetic speaker."

$$E = ? \quad (\text{J})$$

"Tony is a powerful speaker."

$$P = ? \quad (\text{W})$$

"Tony is a intense speaker."

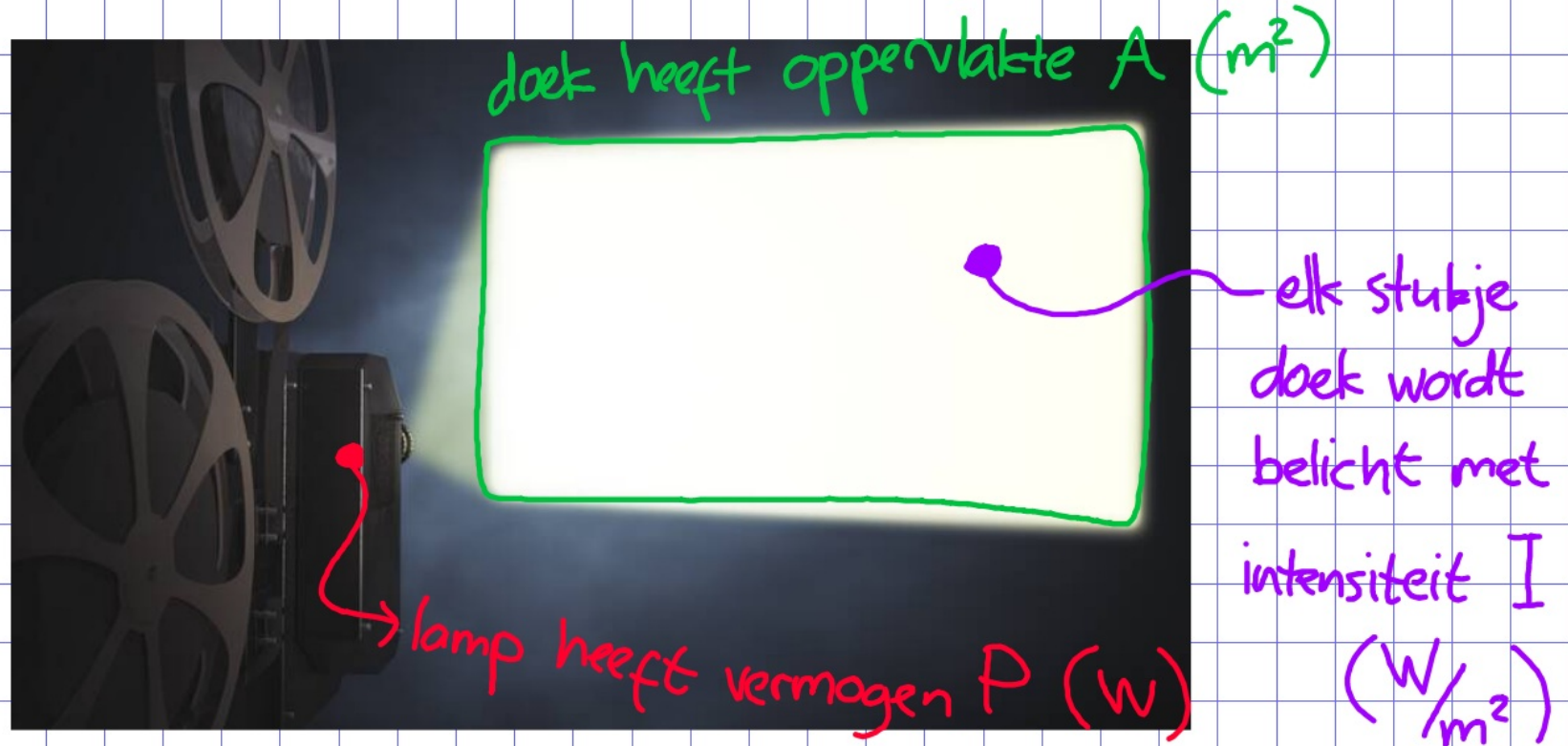
$$I = ? \quad (\text{W/m}^2)$$

$$W = F \cdot s$$

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

$$I = \frac{P}{A}$$

"Wat is het verschil tussen kracht, energie, vermogen en intensiteit?"



Hoofdstuk 13 Straling

- *BONUSVRAGEN* -

Hier staan de bonusvragen bij dit hoofdstuk. Deze vragen zijn bedoeld om je te laten nadenken over wat je geleerd hebt. Soms moet je kennis reproduceren of een geoefende techniek laten zien. Ook zitten hier inzichtvragen tussen waarvoor je geleerde kennis op een nieuwe en creatieve manier moet toepassen. Deze vragen zijn zeer nuttig om voor een proefwerk nog een keer langs te lopen!

Pulsje bij par. 13.1 (blz. 190)

- BONUSVRAAG! -

Hoofdstuk 13 Straling

13.1 Straling in soorten

🌟 In 2012 publiceerde *The New England Journal of Medicine* deze foto (figuur 13.4) van een man die 28 jaar als vrachtwagenchauffeur heeft gewerkt. Op de foto is goed te zien wat de gevolgen zijn van een langdurige blootstelling aan uv-straling van de zon. Volgens de onderzoekers is de huid aan de rechterkant van het gezicht vergelijkbaar met zijn echte leeftijd van 66 jaar, maar komt de huid aan zijn linkerkant overeen met de huid van iemand van 86 jaar.

Welke bewering(-en) zijn waar?

- A De chauffeur reed in een Engelse vrachtauto.
- B Uv-straling gaat door autoramen.
- C De chauffeur reed vaak met een open raam.



▲ Figuur 13.4

Pulsje bij par. 13.2 (blz. 197)

- BONUSVRAAG! -

13.2 Doordringend vermogen

🌟 In figuur 13.23 zie je een leeuw in een CT-scan. Welke bewering(-en) zijn waar?

De hoeveelheid straling die door de detector wordt waargenomen is afhankelijk van:

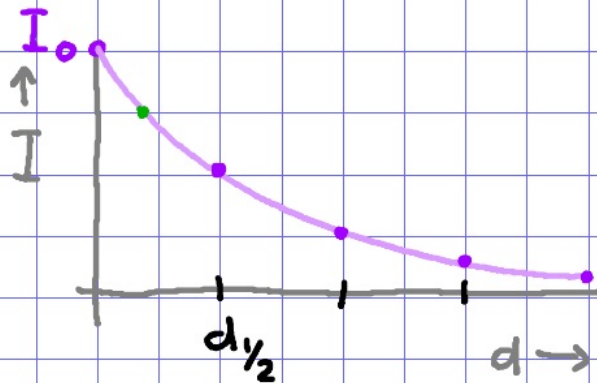
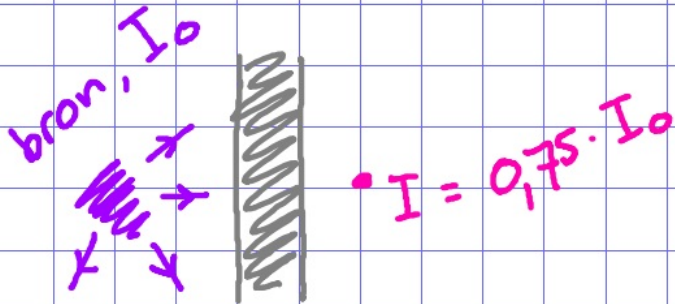
- A de snelheid van de straling.
- B de dikte van het bestraalde object.
- C de dichtheid van de stoffen in het bestraalde object.
- D de golflengte van de gebruikte straling.



▲ Figuur 13.23

Pulsje bij par. 13.2 (blz. 197)

Overlegvraag!



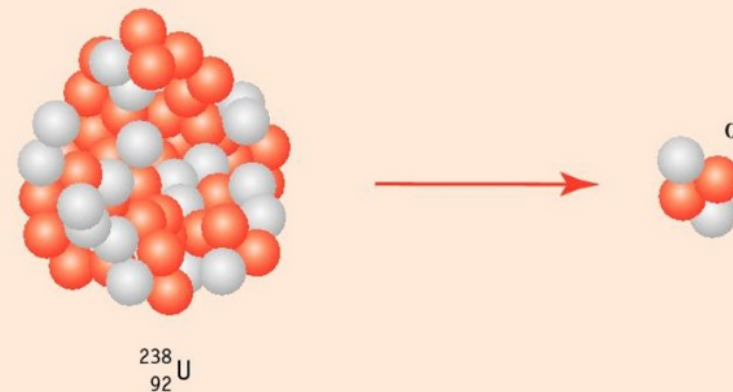
- 19 Een stof houdt 25% van de opvallende γ -straling tegen. De dikte van de stof is:
- A precies een halveringsdikte.
 - B groter dan de halveringsdikte, maar kleiner dan twee halveringsdikten.
 - ☒ C kleiner dan de halveringsdikte.
 - D precies twee halveringsdikten.

13.3 Radioactief verval

☛ Een kern die α -straling uitzendt zoals in figuur 13.33, schiet heliumkernen weg met grote snelheid. De heliumkernen hebben dus kinetische energie.

Waar komt die energie vandaan?

- A Een radioactieve kern kan alleen α -straling uitzenden als deze zelf al snelheid heeft.
- B Er verdwijnt massa die omgezet wordt in kinetische energie.
- C De kern van een radioactieve stof is positief en stoot het positieve α -deeltje dus af.



▲ **Figuur 13.33** Een α -straler

Pulsje bij par. 13.4 (blz. 206)

- BONUSVRAAG! -

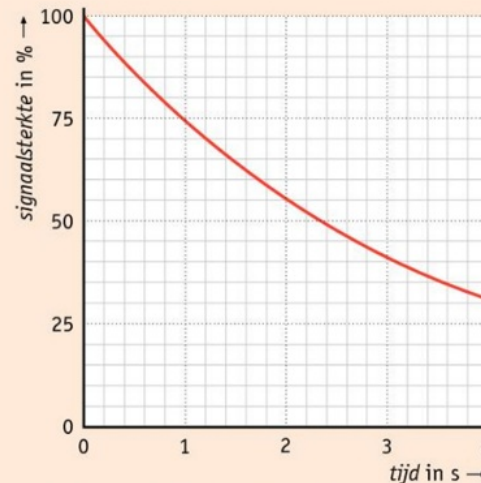
Hoofdstuk 13 Straling

13.4 Activiteit

Als in een MRI-scanner een radiopuls wordt uitgezonden gaan de waterstofkernen in het lichaam van de patiënt vaker antiparallel staan met het magnetveld van de MRI-scanner. De waterstofkernen in de antiparallelle toestand vallen daarna langzaam terug naar de parallelle toestand.

De tijd t_1 is de tijd waarin de helft van de kernen terugkeert. Na twee maal t_1 zit nog de helft van de helft van de kernen in de antiparallelle toestand. Na hoeveel tijd is 25% van de antiparallelle waterstofatomen teruggevallen?

- A Na 2 maal t_1
- B Na 1 maal t_1
- C Na $\frac{1}{2}$ maal t_1
- D Na minder dan $\frac{1}{2}$ maal t_1



▲ **Figuur 13.42** Sterkte MRI-sigitaal na een radiopuls

Hoofdstuk 13 Straling

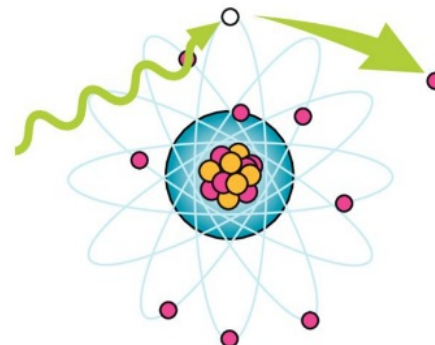
- UITLEG & AANTEKENINGEN -

De volgende dia's zijn de aantekeningen die je in de les overgenomen hebt. Alles wat hier tussen de rode lijnen staat zou ook in je schrift moeten staan. Dit is de essentiële stof voor het proefwerk en deze moet je proberen volledig te begrijpen. Je vindt hier ook de tekst bij de bordoefeningen waarvan je als het goed is alleen de uitwerkingen hebt opgeschreven.

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.1 Straling in soorten

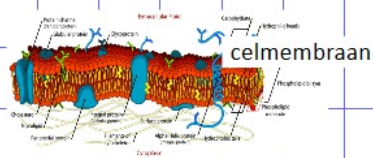
1. EM-straling is in te delen in **ioniserende** en **niet-ioniserende straling**: golflengten vanaf ongeveer 124 nm (10 eV) en korter zijn ioniserend. Dus fotonen van ver-UV, röntgenstraling en gammastraling.



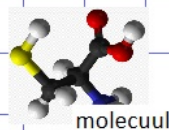
▲ **Figuur 13.5** Interactie van een foton met een atoom waarbij een elektron wordt losgeslagen.



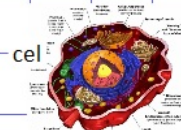
atoom



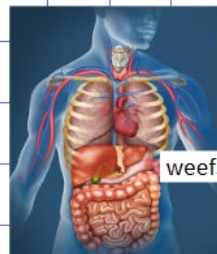
celmembraan



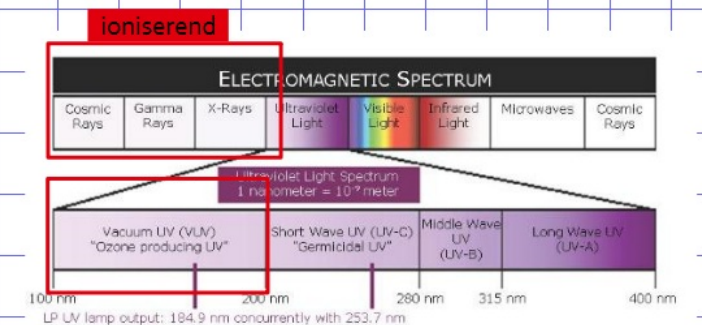
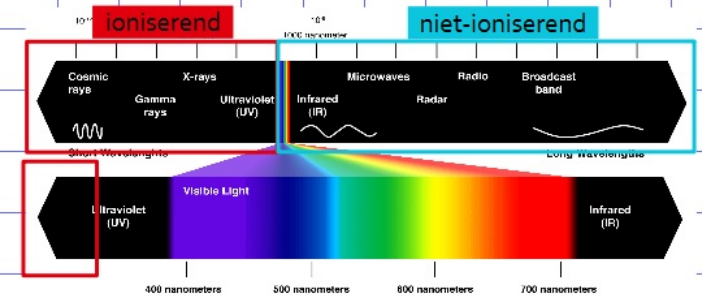
molecuul



cel

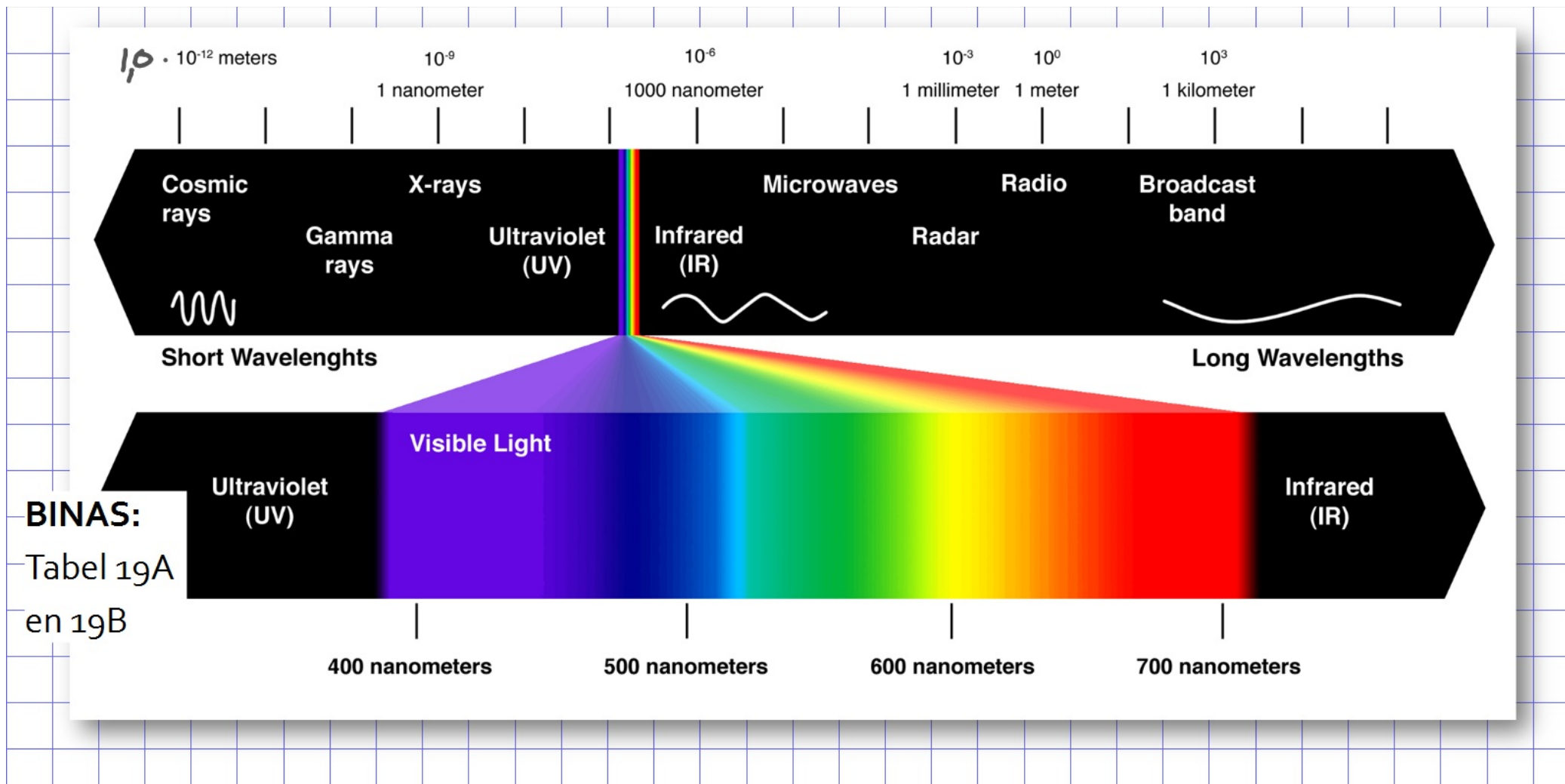


weefsels



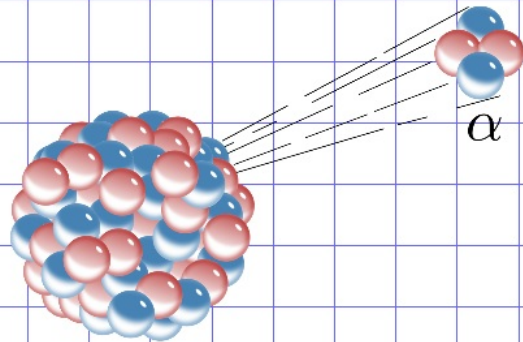
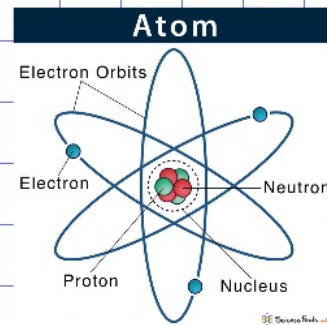
Geiger muller telbuis.swf



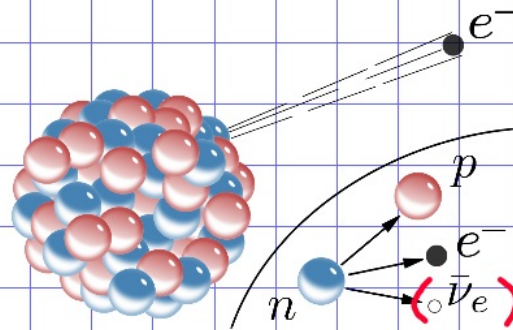


BINAS:
Tabel 19A
en 19B

Let op dat **alfa- en beta"straling"** geen EM-straling zijn, maar deeltjes die afgeschoten worden door instabiele atoomkernen.



alfaverval (PhET)



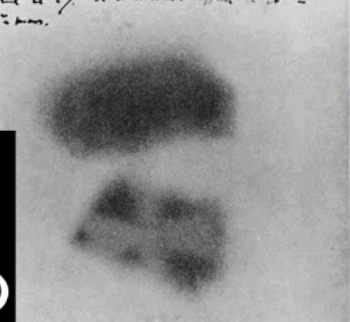
betaverval (PhET)

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.1 Straling in soorten

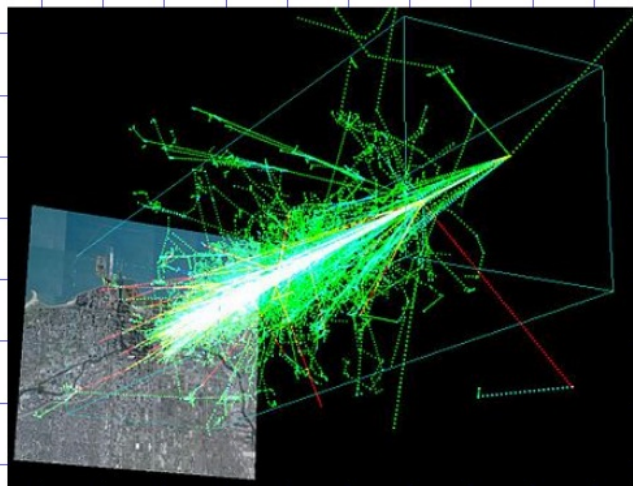


Handwritten text on a piece of paper, likely a note or a label, mentioning 'Sulfide' and 'Voorbeeld'.

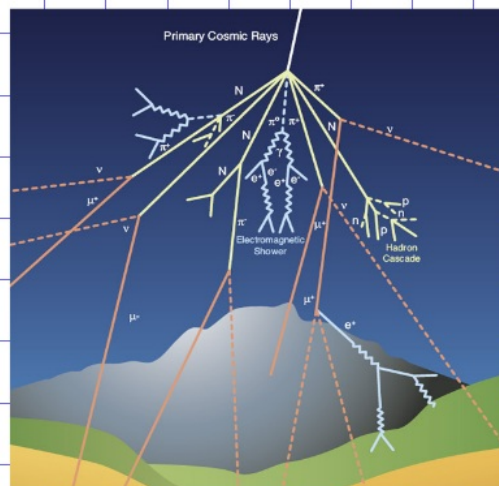


Kosmische straling bestaat uit geladen deeltjes die de ruimte ingeschoten zijn door sterren.

Deze geladen deeltjes veroorzaken **showers** als ze de dampkring van de aarde invliegen: bij botsingen ontstaan nieuwe deeltjes (meer in Hfd14).

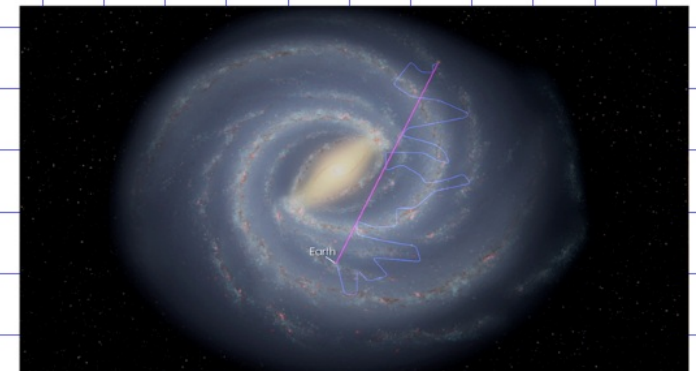
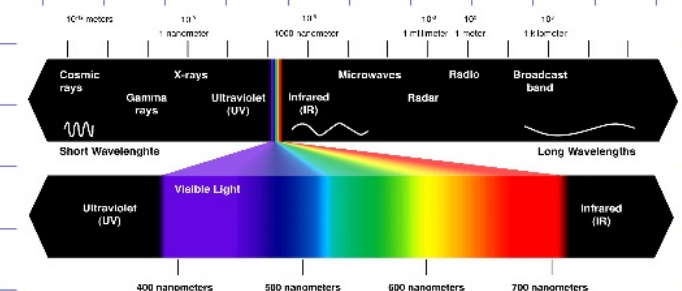


Deze kosmische straling, samen met natuurlijke radioactiviteit in gesteenten om ons heen vormt de **achtergrondstraling**. Dit is het beetje ioniserende straling dat je continu opvangt met je lichaam.



Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.1 Straling in soorten



2. Deze medische beeldvormende technieken zijn gebaseerd op natuurkundige verschijnselen:

a. Röntgenfoto: hoe *kleiner de golflengte* van een foton, hoe beter deze straling door stoffen heen kan. Hoe *dichter een stof*, hoe *minder* EM-straling er doorheen gaat. Door botten gaat minder straling dan door organen en spieren.

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.1 Straling in soorten



▲ Figuur 13.11 Röntgenfoto



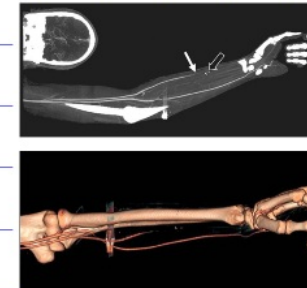
2. Deze medische beeldvormende technieken zijn gebaseerd op natuurkundige verschijnselen:

a. Röntgenfoto: hoe *kleiner de golflengte* van een foton, hoe beter deze straling door stoffen heen kan. Hoe *dichter een stof*, hoe *minder* EM-straling er doorheen gaat. Door botten gaat minder straling dan door organen en spieren.

b. CT-Scan: een soort 3D-röntgenfoto.

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.1 Straling in soorten



▲ **Figuur 13.13** CT-beeld van een arm met een schotwond (pijlen) a: doorsnede; b: 3D-beeld.



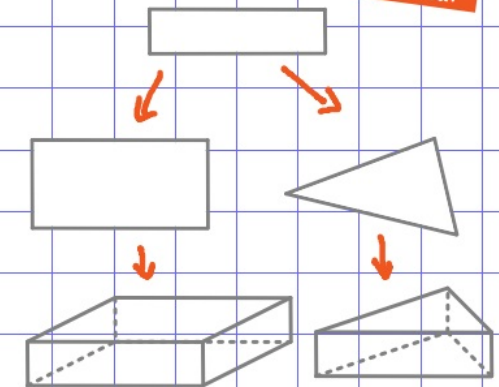
▲ **Figuur 13.11** Röntgenfoto

welke ruimte-figuur is dit, balk of driezijdig prisma?

vooraanzicht

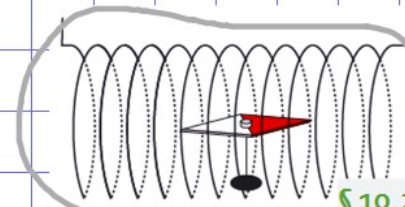
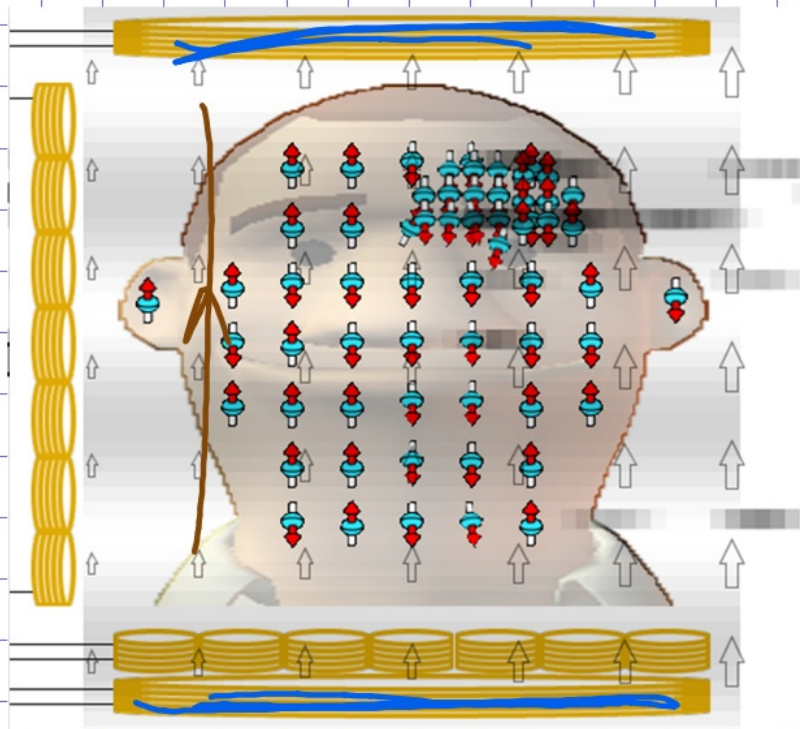
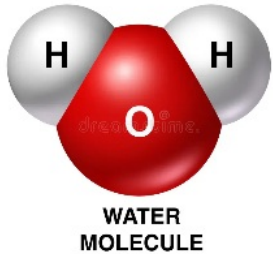
boven-aanzicht

3D-voorstelling

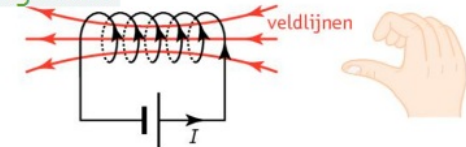


2. Deze medische beeldvormende technieken zijn gebaseerd op natuurkundige verschijnselen:

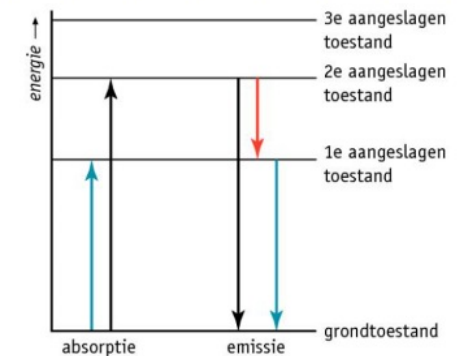
- a. Röntgenfoto
- b. CT-Scan
- c. MRI-Scan:



§ 10.2 Elektromagneten



▲ **Figuur 10.21** De rechterhandregel voor een spoel



▲ **Figuur 12.29** Een energieniveauschema

§ 12.4 Rekenen aan spectraallijnen

Hoofdstuk 13: Straling

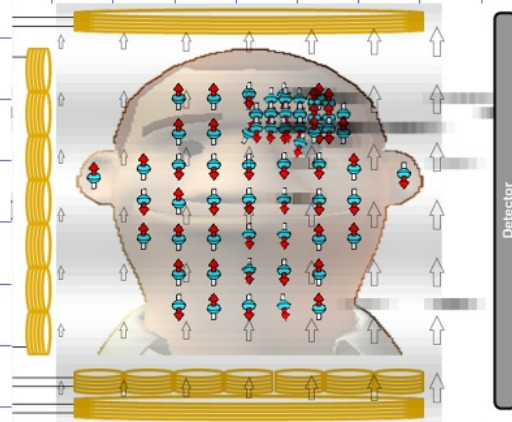
§ 13.1 Straling in soorten

2. Deze medische beeldvormende technieken zijn gebaseerd op natuurkundige verschijnselen:

a. Röntgenfoto: hoe *kleiner de golflengte* van een foton, hoe *meer* deze straling door stoffen heen kan. Hoe *dichter een stof*, hoe *minder* EM-straling er doorheen gaat. Door botten gaat minder straling dan door organen en spieren.

b. CT-Scan: een soort 3D-röntgenfoto.

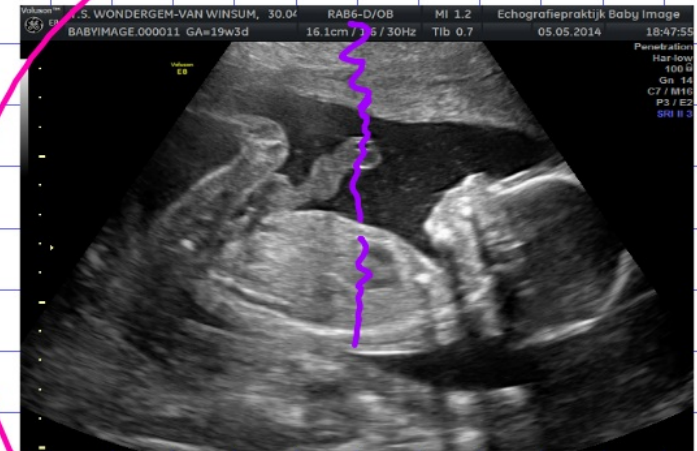
c. MRI-Scan:



d. Echogram: ultrasone geluidsgolven (dus $f > 20$ kHz) weerkaatsen op grensvlakken die ze tegenkomen.

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.1 Straling in soorten



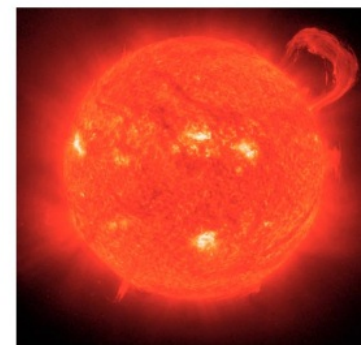
§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

Opdrachten

- 1 Welke soort straling zenden de volgende bronnen voornamelijk uit? Zie *Binas*.
 - a radiator
 - b zonnebank
 - c tv-zendmast
 - d afstandsbediening
 - e radar
- 2 In figuur 13.9 zie je een zonnevlam. Dit is een explosie op het zonneoppervlak. Bij zo'n explosie komt α -, β - en γ -straling vrij. De gemiddelde snelheid van de alfa- en bètastraling is ongeveer 450 km/s.

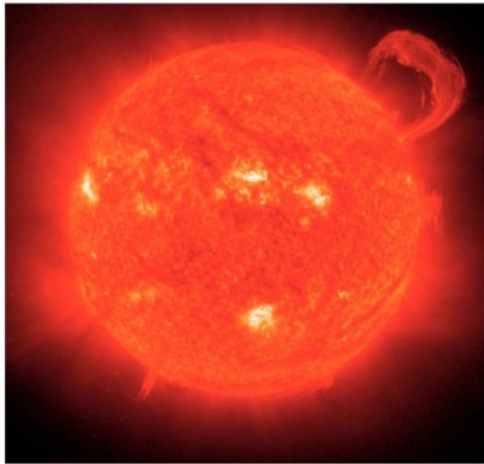


▲ Figuur 13.9

- a Bereken hoelang het duurt voordat alfastraling vanaf de zon de aarde heeft bereikt. Gebruik je *Binas*.
- b Leg uit dat γ -straling ons sneller bereikt.

§ 13.1 Straling in soorten

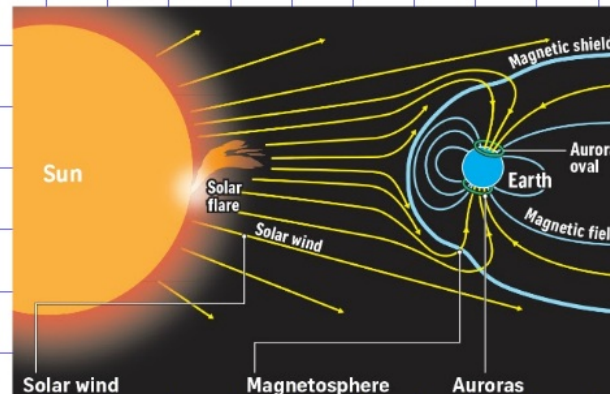
- 2 In figuur 13.9 zie je een zonnevlam. Dit is een explosie op het zonneoppervlak. Bij zo'n explosie komt α -, β - en γ -straling vrij. De gemiddelde snelheid van de alfa- en bètastraling is ongeveer 450 km/s.



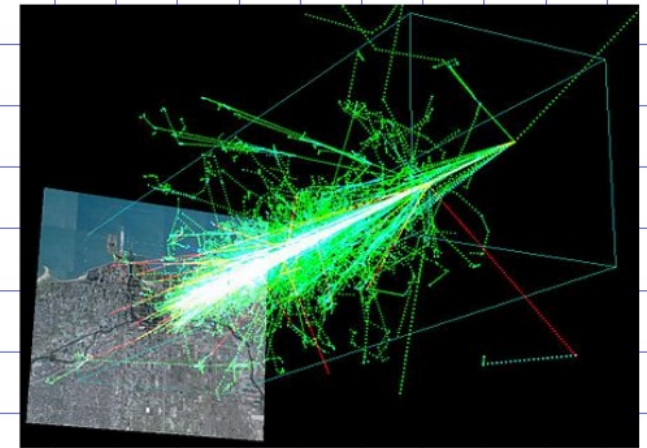
▲ Figuur 13.9

- a Bereken hoelang het duurt voordat alfastraling vanaf de zon de aarde heeft bereikt. Gebruik je *Binas*.
b Leg uit dat γ -straling ons sneller bereikt.

Hoofdstuk 13: Straling



Opgaven bij § 13.1



→ afstand aarde-zon: $1,496 \cdot 10^{11}$ m

→ lichtsnelheid

§ 13.1 Straling in soorten

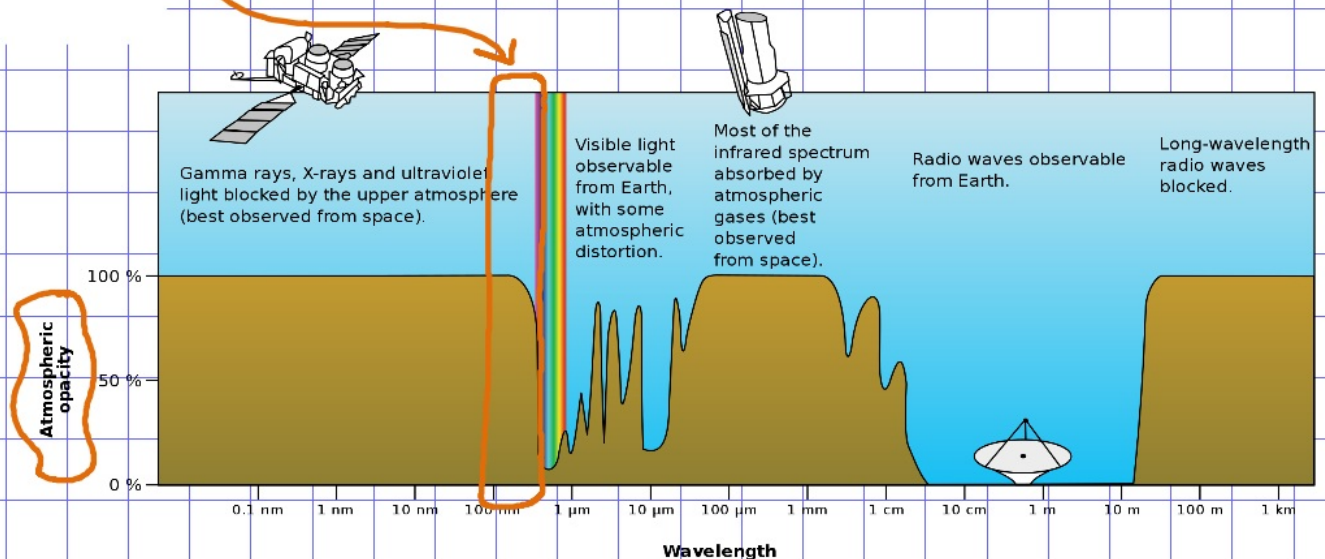
Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

- 3 Uv-straling wordt opgedeeld in 3 types: A, B en C. UV-A heeft de laagste energie en is daarom het minst gevaarlijk. UV-C heeft de meeste energie en daarom de grootste ioniserende werking. Zonlicht dat het aardoppervlak bereikt, bestaat voor 95% uit uv-A en voor 5% uit uv-B.
- a Leg uit hoe het kan dat de uv-B toch meer schade aan je lichaam veroorzaakt.

- b Waarom bevat het zonlicht op aarde geen uv-C?
- c Het verouderen van de huid wordt voornamelijk veroorzaakt door uv-A straling. Gaat uv-A door glas heen? Gebruik figuur 13.4.
- d Bereken de hoogste fotonenergie van uv-A straling. Gebruik *Binas*.

atmosferische
ondoorlatend-
heid per λ

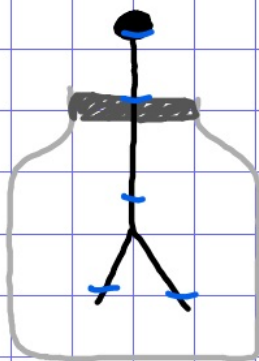


§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

- 4 Als je een elektroscop negatief laadt en er vervolgens een α -straler bij houdt, bewegen de stripjes weer naar elkaar toe.
- a Geef een verklaring voor deze proef.
- b Zou deze proef ook lukken met een positief geladen elektroscop? Leg uit.

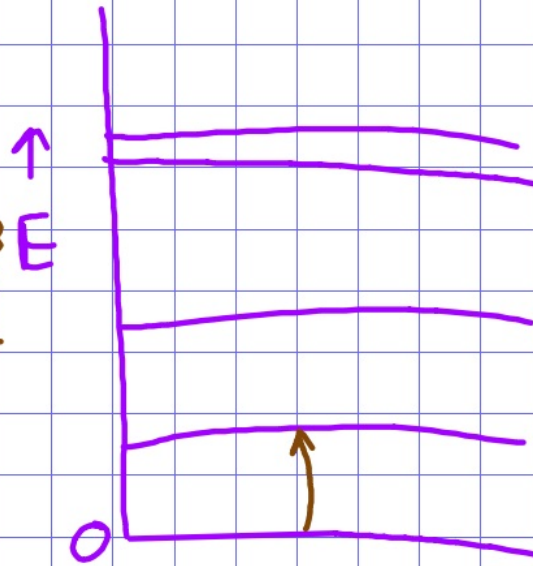


§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

$$\begin{aligned} E &= \frac{h \cdot c}{\lambda} \\ &= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{550 \cdot 10^{-9}} \text{ E} \\ &= 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ &= 2,26 \text{ eV} \end{aligned}$$



- 5 Het noorderlicht en het zuiderlicht (figuur 13.10) zijn lichtverschijnselen die voornamelijk plaatsvinden bij de poolgebieden ten gevolge van kosmische straling. Hierbij vinden er botsingen plaats tussen de kosmische stralingsdeeltjes en zuurstof- en stikstofatomen in de atmosfeer.



▲ **Figuur 13.10** Het zuiderlicht vanuit het ISS

- Een groot deel van de kosmische straling bestaat uit geladen deeltjes. Verklaar dat dit verschijnsel zich vooral in de buurt van de polen voordoet.
- Het poollicht wordt wel vergeleken met een tl. Leg dit uit.
- Het groene licht op de foto is het gevolg van botsingen van de kosmische straling met zuurstof. Gebruik *Binas* om te schatten hoeveel energie het kosmische stralingsdeeltje minimaal moet hebben verloren bij de botsing met zuurstof.
- Waarom staat er bij vraag c het woord minimaal?

§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

- 6 a Leg uit waarom je niet met een piercing in een MRI-scanner mag.
- b Noem drie overeenkomsten tussen een MRI-scanner en een CT-scanner.
- c Noem twee voordelen van een MRI-scan ten opzichte van een CT-scan.
- d Noem twee voordelen van echoscopie ten opzichte van een CT-scan.
- e Noem twee voordelen van echoscopie ten opzichte van een MRI-scan.

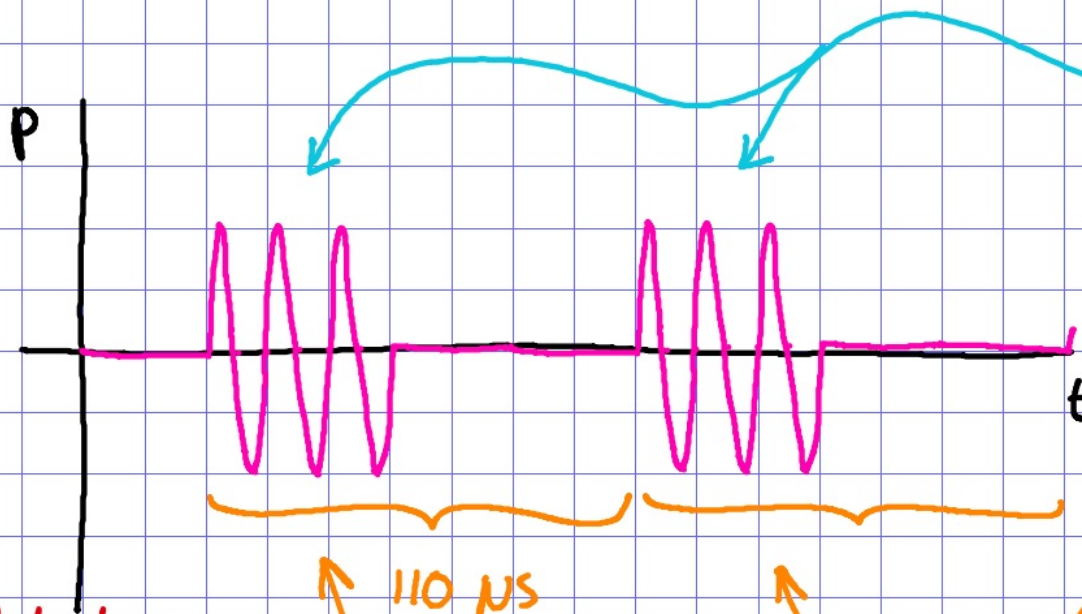
b) geluidssnelheid
in baarmoeder : $v = 1,63 \cdot 10^3 \text{ m/s}$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1,63 \cdot 10^3 \text{ m/s}}{2,0 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 0,82 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1,63 \cdot 10^3 \text{ m/s}}{18 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 9,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

- 7 Bij echoscopie wordt gebruikgemaakt van ultrasone geluidsgolven met een frequentie tussen 2,0 MHz en 18 MHz.
- a Waarom wordt er bij echoscopie geen röntgenstraling gebruikt?
 - b Bereken tussen welke waarden de golflengte van de gebruikte golven in lichaamsweefsel in de baarmoeder ligt. Gebruik tabel 15A van *Binas*.
 - c De afstand tussen de transducer op de buikwand en het ongeboren kind is 12 cm. De ultrasone golven worden in pulsen uitgezonden. De duur van een puls is 110 μs . Op een bepaald tijdstip vertrekt het begin van de puls van de bron van het echoapparaat. Zodra het echoapparaat het einde van de teruggekaatste puls heeft ontvangen, wordt de volgende puls uitgezonden.
Laat met een berekening zien dat het afgeven van de pulsen gebeurt met een frequentie waarvoor het menselijk oor gevoelig is. Ga uit van de geluidssnelheid in de baarmoeder.
 - d In werkelijkheid zit tussen de baarmoeder en de transducer nog lichaamsweefsel, zoals vet. Leg uit of de bij vraag b berekende frequentie in werkelijkheid groter of kleiner is.
- Naar examen vwo 2005-II

c)

hoofdstuk 9
(golven)110 μ s

pulsduur

$$f = \frac{1}{110 \cdot 10^{-6}} = 9,0 \text{ kHz}$$

7 Bij echoscopie wordt gebruikgemaakt van ultrasone geluidsgolven met een frequentie tussen 2,0 MHz en 18 MHz.

a Waarom wordt er bij echoscopie geen röntgenstraling gebruikt?

b Bereken tussen welke waarden de golflengte van de gebruikte golven in lichaamsweefsel in de baarmoeder ligt. Gebruik tabel 15A van *Binas*.

c De afstand tussen de transducer op de buikwand en het ongeboren kind is 12 cm. De ultrasone golven worden in pulsen uitgezonden. De duur van een puls is 110 μ s. Op een bepaald tijdstip vertrekt het begin van de puls van de bron van het echoapparaat.

Zodra het echoapparaat het einde van de teruggekaatste puls heeft ontvangen, wordt de volgende puls uitgezonden.

Laat met een berekening zien dat het afgeven van de pulsen gebeurt met een frequentie waarvoor het menselijk oor gevoelig is. Ga uit van de geluidssnelheid in de baarmoeder.

d In werkelijkheid zit tussen de baarmoeder en de transducer nog lichaamsweefsel, zoals vet. Leg uit of de bij vraag b berekende frequentie in werkelijkheid groter of kleiner is.

Naar examen vwo 2005-II

§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

8a

$$J = \text{Hz} \cdot \cancel{\text{T}} \cdot J \cdot \text{s} \cdot \cancel{\text{T}}$$

$$J = \cancel{\text{s}} \cdot J \cdot \cancel{\text{s}}$$

- 8 Een MRI-scanner produceert een sterk magneetveld waaraan waterstofkernen zich parallel of antiparallel richten. Het verschil in energie tussen deze twee toestanden is evenredig met de sterkte van het aangebrachte magneetveld:
- $$\Delta E = \gamma \hbar B$$
- Hierin is $\hbar$ de constante van Planck en γ een factor die afhankelijk is van het soort atoom. Voor waterstof is deze factor $42,6 \text{ MHz} \cdot \text{T}^{-1}$.
- Laat zien dat de gegeven formule inderdaad de juiste eenheid voor energie oplevert.
 - De sterkte van het magneetveld is $1,5 \text{ T}$. Bereken het verschil in energie tussen de parallelle en de antiparallelle toestand.
 - Leg uit dat er in een MRI sprake is van emissie en absorptie.
 - Bereken de golflengte van de radiozender van de MRI bij de gegeven sterkte van het magneetveld.
 - Hoe groot is de golflengte van de door het lichaam uitgezonden fotonen?
 - Een tumor bevat relatief veel waterstof. Welke invloed heeft dit op de golflengte en de intensiteit van de ontvangen fotonen?
 - In het magneetveld van een MRI-scanner wordt een zogenaamde gradiënt aangebracht. Het magneetveld is dan bijvoorbeeld $1,5 \text{ T}$ bij het hoofd en neemt geleidelijk toe richting de voeten. Leg met de gegeven formule uit hoe uit het ontvangen signaal zou kunnen worden afgeleid uit welk gedeelte van het lichaam de fotonen afkomstig zijn.

a)

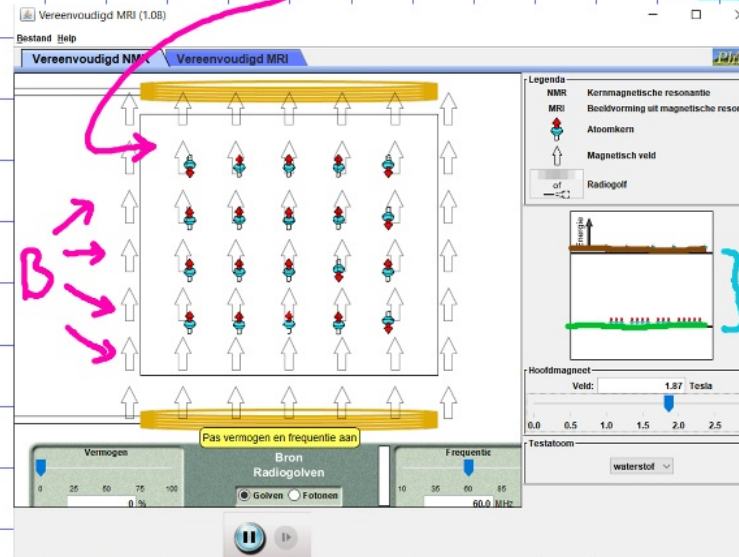
§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

b) $\Delta E = \gamma \cdot h \cdot B$

$$\Delta E = 42,6 \cdot 10^6 \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 1,5 = 4,2 \cdot 10^{-26} \text{ J}$$



- 8 Een MRI-scanner produceert een sterk magneetveld waaraan waterstofkernen zich parallel of antiparallel richten. Het verschil in energie tussen deze twee toestanden is evenredig met de sterkte van het aangebrachte magneetveld:

$$\Delta E = \gamma h B$$

Hierin is h de constante van Planck en γ een factor die afhankelijk is van het soort atoom. Voor waterstof is deze factor $42,6 \text{ MHz} \cdot \text{T}^{-1}$.

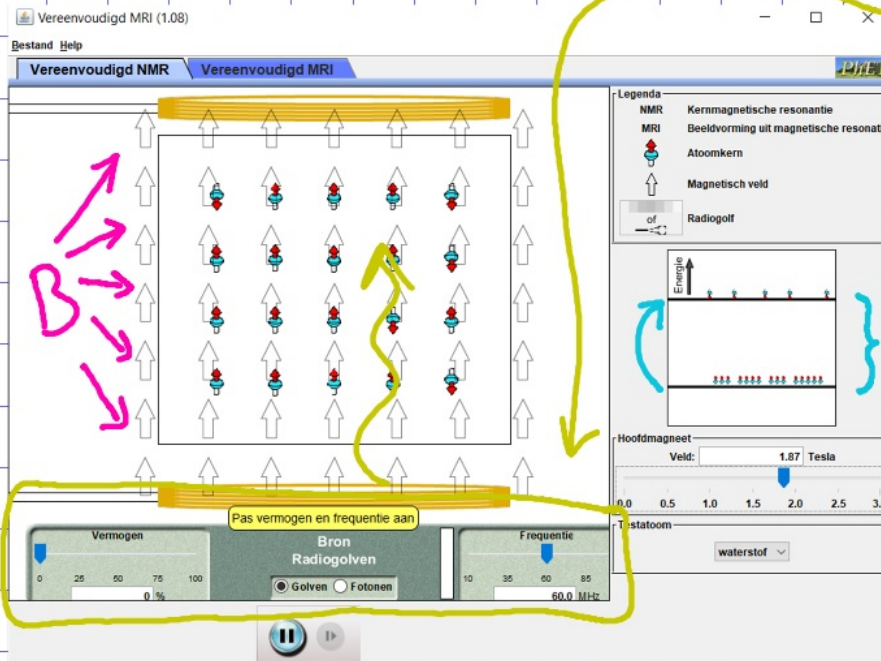
- Laat zien dat de gegeven formule inderdaad de juiste eenheid voor energie oplevert.
- De sterkte van het magneetveld is $1,5 \text{ T}$. Bereken het verschil in energie tussen de parallelle en de antiparallelle toestand.
- Leg uit dat er in een MRI sprake is van emissie en absorptie.
- Bereken de golflengte van de radiozender van de MRI bij de gegeven sterkte van het magneetveld.
- Hoe groot is de golflengte van de door het lichaam uitgezonden fotonen?
- Een tumor bevat relatief veel waterstof. Welke invloed heeft dit op de golflengte en de intensiteit van de ontvangen fotonen?
- In het magneetveld van een MRI-scanner wordt een zogenaamde gradiënt aangebracht. Het magneetveld is dan bijvoorbeeld $1,5 \text{ T}$ bij het hoofd en neemt geleidelijk toe richting de voeten. Leg met de gegeven formule uit hoe uit het ontvangen signaal zou kunnen worden afgeleid uit welk gedeelte van het lichaam de fotonen afkomstig zijn.

§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

$$d) E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{4,2 \cdot 10^{-26}} = 4,7 \text{ m}$$



voor omklappen
waterstofkern

← nodig:

$$\Delta E = 4,2 \cdot 10^{-26} \text{ J}$$

- 8 Een MRI-scanner produceert een sterk magneetveld waaraan waterstofkernen zich parallel of antiparallel richten. Het verschil in energie tussen deze twee toestanden is evenredig met de sterkte van het aangebrachte magneetveld:

$$\Delta E = \gamma h B$$

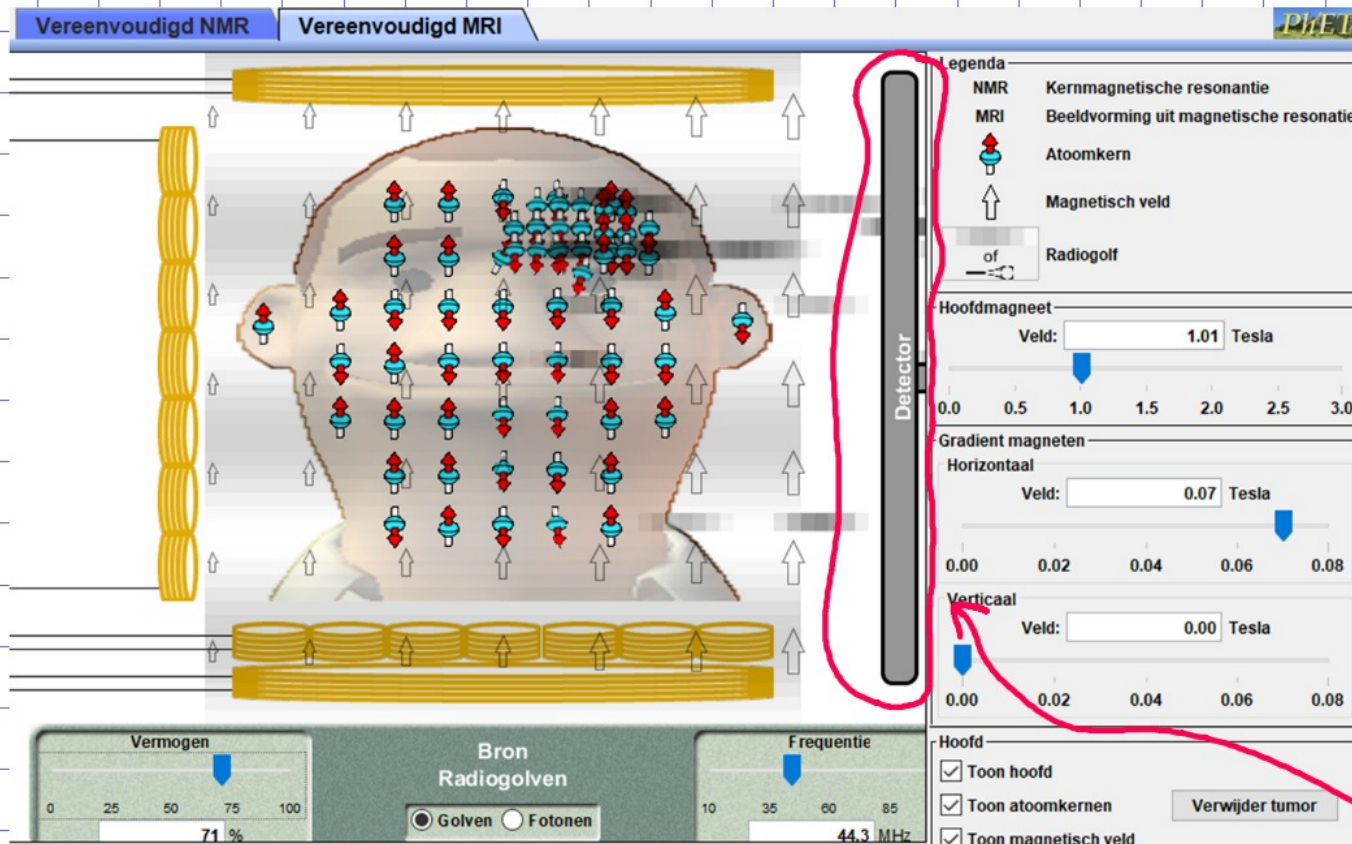
Hierin is h de constante van Planck en γ een factor die afhankelijk is van het soort atoom. Voor waterstof is deze factor $42,6 \text{ MHz} \cdot \text{T}^{-1}$.

- Laat zien dat de gegeven formule inderdaad de juiste eenheid voor energie oplevert.
- De sterkte van het magneetveld is $1,5 \text{ T}$. Bereken het verschil in energie tussen de parallelle en de antiparallelle toestand.
- Leg uit dat er in een MRI sprake is van emissie en absorptie.
- Bereken de golflengte van de radiozender van de MRI bij de gegeven sterkte van het magneetveld.
- Hoe groot is de golflengte van de door het lichaam uitgezonden fotonen?
- Een tumor bevat relatief veel waterstof. Welke invloed heeft dit op de golflengte en de intensiteit van de ontvangen fotonen?
- In het magneetveld van een MRI-scanner wordt een zogenaamde gradiënt aangebracht. Het magneetveld is dan bijvoorbeeld $1,5 \text{ T}$ bij het hoofd en neemt geleidelijk toe richting de voeten. Leg met de gegeven formule uit hoe uit het ontvangen signaal zou kunnen worden afgeleid uit welk gedeelte van het lichaam de fotonen afkomstig zijn.

§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

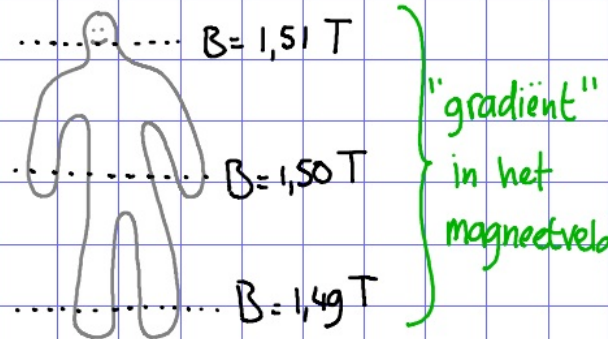
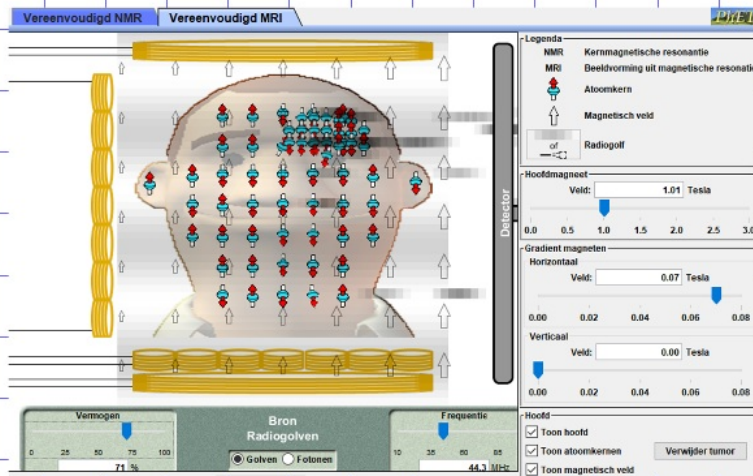


- 8 Een MRI-scanner produceert een sterk magneetveld waaraan waterstofkernen zich parallel of antiparallel richten. Het verschil in energie tussen deze twee toestanden is evenredig met de sterkte van het aangebrachte magneetveld:
- $$\Delta E = \gamma h B$$
- Hierin is h de constante van Planck en γ een factor die afhankelijk is van het soort atoom. Voor waterstof is deze factor $42,6 \text{ MHz} \cdot \text{T}^{-1}$.
- Laat zien dat de gegeven formule inderdaad de juiste eenheid voor energie oplevert.
 - De sterkte van het magneetveld is $1,5 \text{ T}$. Bereken het verschil in energie tussen de parallelle en de antiparallelle toestand.
 - Leg uit dat er in een MRI sprake is van emissie en absorptie.
 - Bereken de golflengte van de radiozender van de MRI bij de gegeven sterkte van het magneetveld.
 - Hoe groot is de golflengte van de door het lichaam uitgezonden fotonen?
 - Een tumor bevat relatief veel waterstof. Welke invloed heeft dit op de golflengte en de intensiteit van de ontvangen fotonen?
 - In het magneetveld van een MRI-scanner wordt een zogenaamde gradiënt aangebracht. Het magneetveld is dan bijvoorbeeld $1,5 \text{ T}$ bij het hoofd en neemt geleidelijk toe richting de voeten. Leg met de gegeven formule uit hoe uit het ontvangen signaal zou kunnen worden afgeleid uit welk gedeelte van het lichaam de fotonen afkomstig zijn.

§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1



- 8 Een MRI-scanner produceert een sterk magneetveld waaraan waterstofkernen zich parallel of antiparallel richten. Het verschil in energie tussen deze twee toestanden is evenredig met de sterkte van het aangebrachte magneetveld:
- $$\Delta E = \gamma h B$$
- Hierin is h de constante van Planck en γ een factor die afhankelijk is van het soort atoom. Voor waterstof is deze factor $42,6 \text{ MHz} \cdot \text{T}^{-1}$.
- Laat zien dat de gegeven formule inderdaad de juiste eenheid voor energie oplevert.
 - De sterkte van het magneetveld is $1,5 \text{ T}$. Bereken het verschil in energie tussen de parallelle en de antiparallelle toestand.
 - Leg uit dat er in een MRI sprake is van emissie en absorptie.
 - Bereken de golflengte van de radiozender van de MRI bij de gegeven sterkte van het magneetveld.
 - Hoe groot is de golflengte van de door het lichaam uitgezonden fotonen?
 - Een tumor bevat relatief veel waterstof. Welke invloed heeft dit op de golflengte en de intensiteit van de ontvangen fotonen?
 - In het magneetveld van een MRI-scanner wordt een zogenaamde gradiënt aangebracht. Het magneetveld is dan bijvoorbeeld $1,5 \text{ T}$ bij het hoofd en neemt geleidelijk toe richting de voeten. Leg met de gegeven formule uit hoe uit het ontvangen signaal zou kunnen worden afgeleid uit welk gedeelte van het lichaam de fotonen afkomstig zijn.

§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

handige rekenregel

fractie doorgelaten
door x aantal hokjes
van één bepaalde stof

= $\left(\begin{array}{l} \text{fractie doorgelaten} \\ \text{door één hokje v.e.} \\ \text{bepaalde stof} \end{array} \right)^x$

$x \leftarrow$ aantal
hokjes
waar
straling
doorheen
moet

$$f_x = f_1^x$$

wiskundig
intermezzo

0,852 of 85,2 %
fractie percentage

- Toon aan dat de detector bij x_1 een afname van 5,0% waarneemt.
- Bereken hoeveel blokjes van 1,0 mm water nodig zijn om 50% van de straling te blokkeren.
- Bij x_2 wordt een afname van 6,5% gemeten. Verklaar dat deze afname groter is dan bij x_1 .
- Bereken hoeveel procent van de straling door 1,0 mm bot wordt tegengehouden.
- Bereken hoeveel blokjes van 1,0 mm bot nodig zijn om 50% van de straling te blokkeren.
- Bereken het stralingspercentage dat langs y_3 wordt doorgelaten.
- Bij x_3 wordt nog 95% van de uitgezonden röntgenstraling ontvangen. Bereken dit percentage voor y_2 .

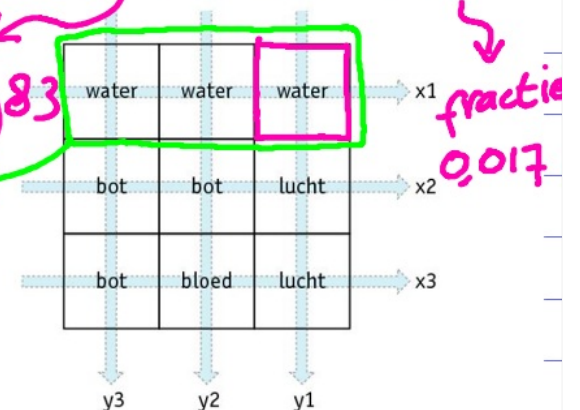
$$x = \frac{\log f_x}{\log f_1} = \frac{\log 0,50}{\log 0,983} = 40 \text{ blokjes}$$

doorgelaten
dus $f_1 = 0,983$
(water)

$$a) f_x = (0,983)^3$$

$$f_x = 0,950$$

- 9 De hoeveelheid röntgenstraling die de detector van een CT-scanner treft is afhankelijk van het tussenliggende weefsel. Een klein stukje van het menselijk lichaam is schematisch in blokjes van 1 bij 1 mm getekend in figuur 13.19. Tijdens een scan draaien de stralingsbron en de detector rond de patiënt. De pijlen geven mogelijke richtingen van de röntgenstralen aan. Lucht blokkeert de röntgenstraling nauwelijks. De detector bij y_1 meet een stralingsafname van 1,7%.



▲ Figuur 13.19

§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

$$f_x = f_1^x$$

$$f_1 = ?$$

$$x = ?$$

$$f_1 = ?$$

$$x = ?$$

d) let op: bot

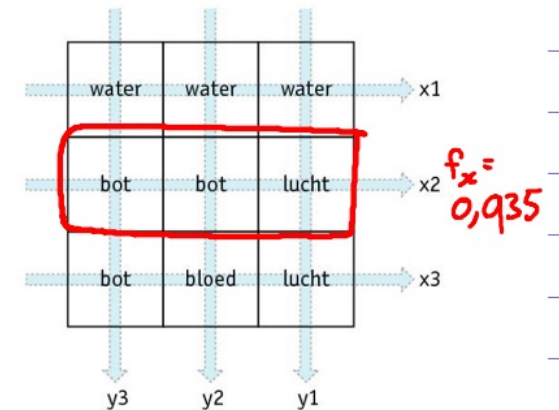
$$f_1 = \sqrt{x} f_x = f_x^{\frac{1}{x}}$$

$$f_1 = (0,935)^{\frac{1}{2}} = 0,967$$

- Toon aan dat de detector bij x1 een afname van 5,0% waarneemt.
- Bereken hoeveel blokjes van 1,0 mm water nodig zijn om 50% van de straling te blokkeren.
- Bij x2 wordt een afname van 6,5% gemeten. Verklaar dat deze afname groter is dan bij x1.
- Bereken hoeveel procent van de straling door 1,0 mm bot wordt tegengehouden.
- Bereken hoeveel blokjes van 1,0 mm bot nodig zijn om 50% van de straling te blokkeren.
- Bereken het stralingspercentage dat langs y3 wordt doorgelaten.
- Bij x3 wordt nog 95% van de uitgezonden röntgenstraling ontvangen. Bereken dit percentage voor y2.

dus 3,3% wordt door 1 blokje bot tegengehouden

- 9 De hoeveelheid röntgenstraling die de detector van een CT-scanner treft is afhankelijk van het tussenliggende weefsel. Een klein stukje van het menselijk lichaam is schematisch in blokjes van 1 bij 1 mm getekend in figuur 13.19. Tijdens een scan draaien de stralingsbron en de detector rond de patiënt. De pijlen geven mogelijke richtingen van de röntgenstralen aan. Lucht blokkeert de röntgenstraling nauwelijks. De detector bij y1 meet een stralingsafname van 1,7%.



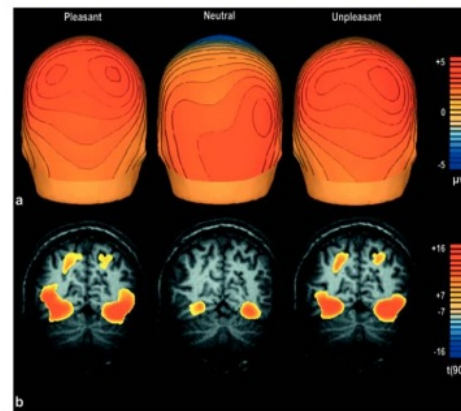
▲ Figuur 13.19

§ 13.1 Straling in soorten

- 10 Bij functionele MRI (fMRI) worden veranderingen in de hersenactiviteit gemeten door elke twee seconden opnieuw de hersenen te scannen.
- a Leg uit waarom de resolutie bij fMRI lager is dan bij een gewone MRI.
 - b Bij fMRI wordt de term 4D-datasets gebruikt. Verklaar deze term.
 - c Wanneer een deel van de hersenen actief is, zorgt dit voor een verhoogde zuurstofbehoefte. Zuurstofarm bloed verzwakt het MRI-sigitaal. Verklaar dat er uit een actief hersengebied toch een hoger MRI-sigitaal komt.
 - d Bij een bepaald onderzoek kregen proefpersonen plaatjes te zien die vervelend, neutraal of prettig waren. Figuur 13.20 toont het resultaat van het onderzoek.

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1



▲ Figuur 13.20 fMRI-beelden.

Rood hoort bij een verhoogde activiteit, blauw bij een verlaagde activiteit. Leg uit dat bij het bekijken van neutrale plaatjes er nog steeds een verhoogde hersenactiviteit te zien is.

§ 13.1 Straling in soorten

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.1

- 11 a De fotonenergie is veel meer dan in een ziekenhuis. In het lichaam moet de straling wel door zacht weefsel maar in mindere mate door bot. Bij archeologisch onderzoek moet de straling juist wel sterk door harde materie om daarin structuur te kunnen zien. Bovendien wordt in het ziekenhuis de energie van de straling zo laag mogelijk gehouden, vanwege de schadelijke bijwerkingen.

- b In de röntgenbuis botsen elektronen met grote snelheid waardoor ze fotonen vrijmaken.

$$100 \mu\text{C/s} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 6,24 \cdot 10^{14} \text{ elektronen/s}$$

In 15 s levert dat $9,4 \cdot 10^{15}$ elektronen en fotonen.

- c $6,24 \cdot 10^{14}$ fotonen per seconde hebben een energie van $6,24 \cdot 10^{14} \cdot 200 \text{ keV} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 20 \text{ W}$
 $(P = U \cdot I = 200 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 20 \text{ W})$

$$I = \frac{P}{A} = \frac{20}{0,35 \cdot 0,43} = 2,0 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$$

d $\text{lengte} = \frac{350 \text{ mm}}{0,069 \text{ mm}} = 5,07 \cdot 10^3 \text{ pixels}$

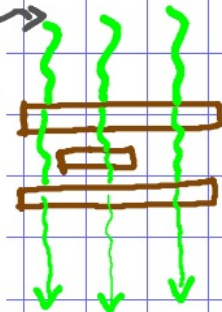
$\text{breedte} = \frac{430 \text{ mm}}{0,069 \text{ mm}} = 6,23 \cdot 10^3 \text{ pixels}$

$N = 5,07 \cdot 10^3 \cdot 6,23 \cdot 10^3 = 31,6 \cdot 10^6 \text{ pixels}$

- e Ieder pixel kent 4096 grijsstinten = 2^{12} . Per pixel zijn er dus 12 bits nodig, of in totaal:
 $12 \cdot 31,6 \cdot 10^6 = 3,79 \cdot 10^8 \text{ bits}$. Dat is $379 \text{ Mb/60} = 6,3 \text{ Mb/s}$.

binair, "4096" → 111111111111

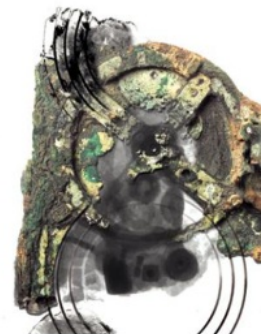
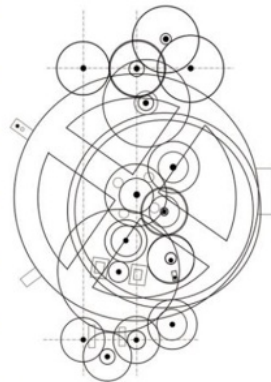
binair, "104" →



- 11 CT-scans worden niet alleen in ziekenhuizen gebruikt, maar ook voor archeologisch onderzoek. In figuur 13.21 zie je het Mechanisme van Antikythera (zie bron 3), een analoge computer uit 100 v. Chr. Links zie je de gereconstrueerde tandwielstructuur. De computer werd door de Grieken gebruikt voor astronomische tijdberekeningen.

De getoonde doorsnede van het CT-beeld in figuur 13.22 is gemaakt met röntgenstralen met een energie van 200 keV.

- a Zal dit meer of minder zijn dan bij een CT-scan in het ziekenhuis? Leg uit.



▲ Figuur 13.21

- b De opname van het getoonde beeld duurde 15 s. In de röntgenbuis liep een stroom van $100 \mu\text{A}$. Elk elektron in de buis levert één foton. Bereken hoeveel röntgenfotonen zijn gebruikt voor het maken van het beeld.

- c De fotonen vallen op een fosforplaat die röntgenstraling absorbeert en omzet naar zichtbaar licht. Het principe is bijna gelijk aan fluorescentie, maar bij fosforescentie vallen de elektronen minder snel terug naar de grondtoestand, zodat de fosforplaat langer fotonen blijft uitzenden.

Voordat de opname begon, werd de CT-scanner getest. Op dat moment stond de computer nog niet tussen de bron en de plaat. De fosforplaat is $35 \times 43 \text{ cm}$. Bereken de intensiteit bij de fosforplaat tijdens de test. Ga ervan uit dat alle fotonen de fosforplaat treffen.

- d Om het ontstane beeld te digitaliseren naar pixels werd de fosforplaat gescand met een nauwkeurigheid van $0,069 \text{ mm}$ per pixel. Bereken het aantal pixels van het beeld in megapixels.

- e Het digitaliseren duurt 1,0 minuut. Hierbij worden 4096 grijsstinten onderscheiden. Bereken de datatransfer rate in Mb/s.

12 bits

110100 ← 6 bits

§ 13.2 Doordringend vermogen

4. Hoeveel straling nog tot een zekere diepte doordringt in materie hangt af van:

- de dichtheid van de materie (grote atomen en/of atomen dicht op elkaar)
- de soort straling (deeltje of foton)

- deeltjes: energie (kinetisch)

- fotonen: energie (foton)

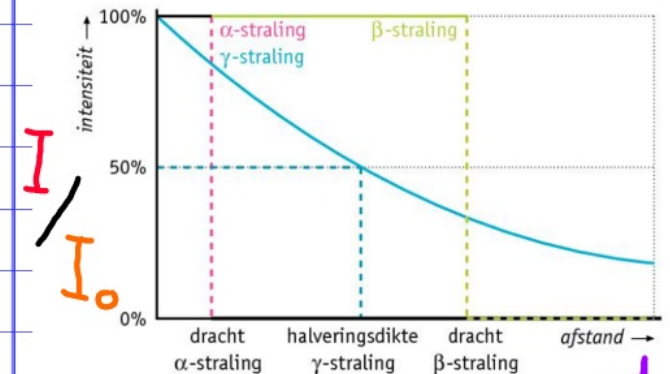
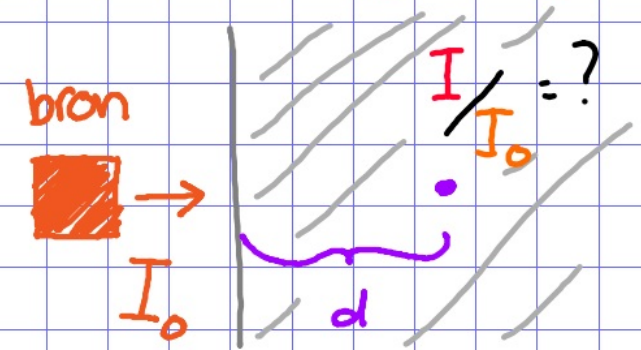
$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$
$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

alfa- en betadeeltjes verliezen hun energie door een serie van botsingen met de materie, fotonen verliezen **alles in een keer**. Aanwijzingen bij figuur 13.25:

alfa- en betadeeltjes hebben een gemiddelde afstand tot hoever ze doordringen in materie, genaamd de **dracht**. Tot aan deze afstand dringen bijna alle deeltjes nog door, voorbij deze afstand meet je abrupt geen alfa- of betastraling meer.

gammastraling heeft voor elke stof een afstand vanaf waar je nog maar de helft van de gammafotonen meet, genaamd de **halveringsdikte**. Op deze diepte meet je nog de helft vd originele intensiteit.

Hoofdstuk 13: Straling



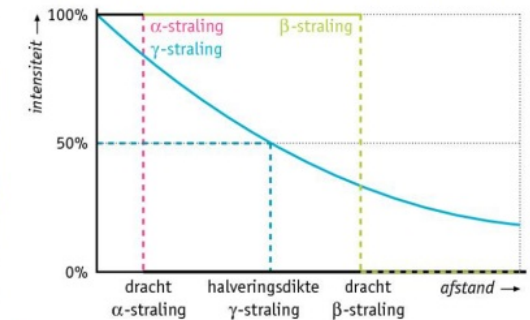
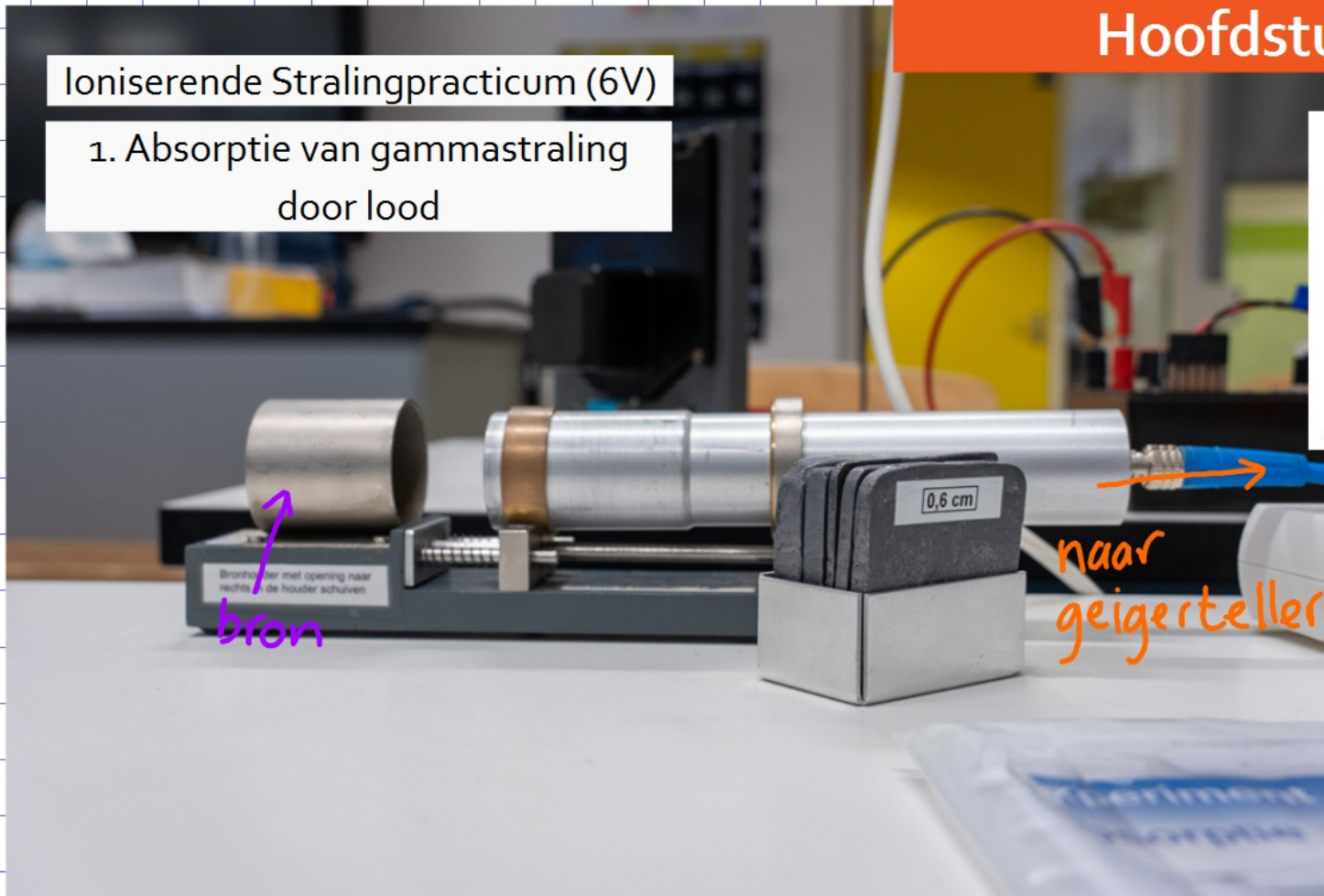
▲ **Figuur 13.25** Straling en doordringend vermogen



Hoofdstuk 13 Straling

Ioniserende Straling practicum (6V)

1. Absorptie van gammastraling
door lood



▲ **Figuur 13.25** Straling en doordringend vermogen

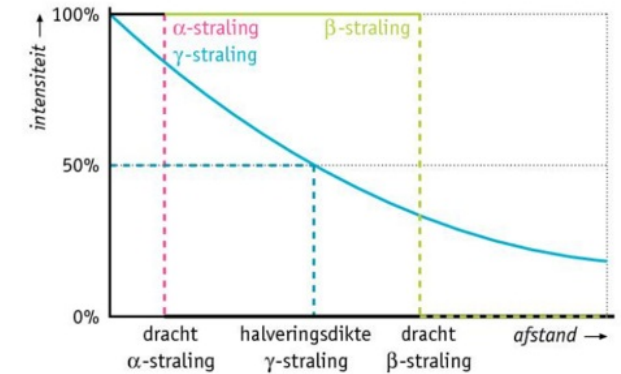
Hoofdstuk 13 Straling

Ioniserende Stralingpracticum (6V)

19. Dracht van α -deeltjes in lucht

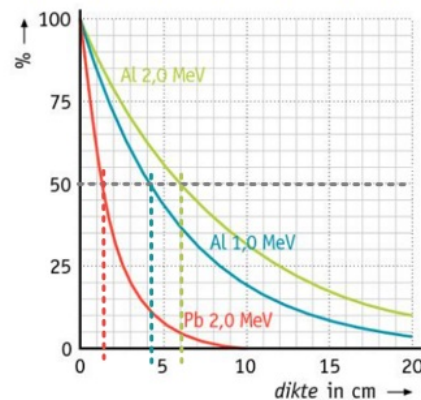
naar
geigerteller

bron



▲ **Figuur 13.25** Straling en doordringend vermogen

Hoe de curve van gammastraling in fig. 13.25 (blz. 197) precies loopt hangt af van de *dichtheid van de absorberende stof* en de *energie van de gamma-fotonen*. Met deze gegevens kan een **doorlaatkromme** opgesteld worden:



▲ **Figuur 13.26** Doorlaatkrommes voor lood (Pb) en aluminium (Al)

5. Je kunt uitrekenen **hoe groot de stralingsintensiteit achter een hoeveelheid materie** nog is als je de halveringsdikte (Binas 28F) weet:

gemeten intensiteit op diepte d in de muur

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$$

intensiteit v.d. bron

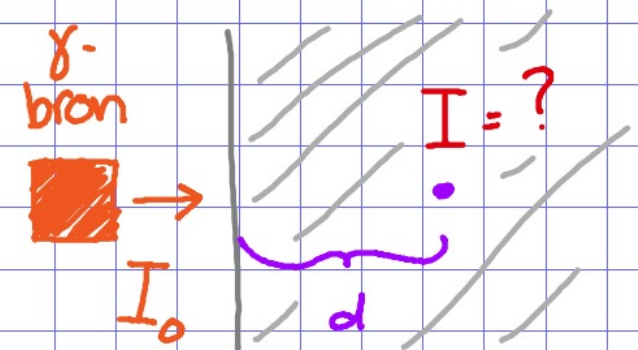
d ← diepte in de muur waar je meet

$d_{1/2}$ ← halveringsdikte

- energie v.d. straling
- materiaal v.d. muur

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.2 Doordringend vermogen



Voorbeeld: Je meet bij een bron van gamma-straling (1,0 MeV per foton) een intensiteit van 300 W/m^2 . Reken uit welke intensiteit je nog meet achter een betonnen muur van 0,20 m dik.

5. Je kunt uitrekenen hoe groot de stralingsintensiteit achter een hoeveelheid materie nog is als je de halveringsdikte weet:

gemeten intensiteit op diepte d in de muur $\rightarrow$

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$$
 intensiteit v.d. bron $\uparrow$
 $\frac{d}{d_{1/2}}$ $\leftarrow$ diepte in de muur waar je meet
 $\leftarrow$ halveringsdikte
 - energie v.d. straling
 - materiaal v.d. muur

Voorbeeld:

$$d_{1/2} = 4,6 \text{ cm}$$

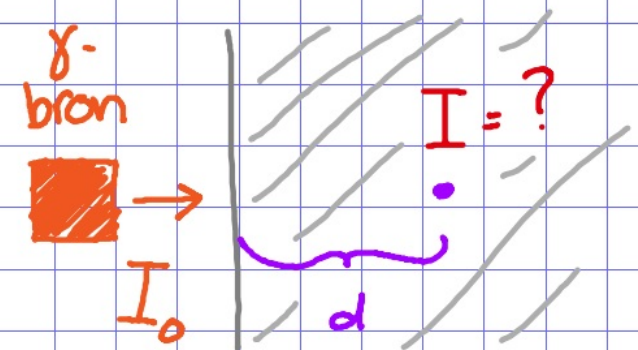
$$d = 20 \text{ cm}$$

$$I_0 = 300 \text{ W/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 I &= 300 \cdot (0,5)^{\frac{20}{4,6}} \\
 &= 300 \cdot (0,5)^{4,3} \\
 &= 300 \cdot 0,049 = 15 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.2 Doordringend vermogen



Voorbeeld: Je meet bij een bron van gamma-straling (1,0 MeV per foton) een intensiteit van 300 W/m². Reken uit welke intensiteit je nog meet achter een betonnen muur van 0,20 m dik.

Intermezzo: rekenen aan exponentiële functies

rekenregels:

$$y = a^x \rightarrow x = {}^a\log y \rightarrow x = \frac{{}^{10}\log y}{{}^{10}\log a}$$

Tip: schrijf deze breuk als een tijdelijke variabele "n".

$$n = \frac{d}{d_{1/2}}$$
$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$$
$$\frac{I}{I_0} = (0,5)^n \rightarrow n = {}^{0,5}\log \frac{I}{I_0} \rightarrow n = \frac{{}^{10}\log \frac{I}{I_0}}{{}^{10}\log 0,5}$$

Diagram showing the substitution of $\frac{d}{d_{1/2}}$ with n in the equation $I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$, leading to $d = n \cdot d_{1/2}$ and $d_{1/2} = \frac{d}{n}$.

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.2 Doordringend vermogen

Rekenmachineoefening: Reken uit met behulp van de rekenregel:

$$2^{\log 8} = ?$$

Bordoefening 1:

a. 12,0 cm is $2 \times d_{1/2}$, dus $I = 2,5 \text{ W/m}^2$

b. 18,0 cm is $3 \times d_{1/2}$, dus $I = 1,3 \text{ W/m}^2$

c. $I = 10 \text{ W/m}^2 \cdot (0,5)^{\frac{0,090 \text{ m}}{0,060 \text{ m}}} = 3,5 \text{ W/m}^2$

d. $I = 10 \text{ W/m}^2 \cdot (0,5)^{\frac{0,010 \text{ m}}{0,060 \text{ m}}} = 8,9 \text{ W/m}^2$

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.2 Doordringend vermogen

Bordoefening 1: Je meet bij een bron van gamma-straling (2,0 MeV per foton) een intensiteit van 10 W/m^2 . Reken uit welke intensiteit je nog meet achter een aluminium plaat met een dikte van:

a. 12,0 cm | b. 18,0 cm | c. 9,0 cm | d. 1,0 cm

Bordoefening 2: Je hebt een plaat ijzer van 1,8 mm dik en een bron die gammafotonen uitzendt met een energie van 100 keV. Reken uit welk percentage straling de plaat tegenhoudt.

Bordoefening 3: Je plaatst een 4,8 cm dikke metalen plaat tussen een bron van $3,0 \text{ W/m}^2$ en een detector. Je meet een intensiteit van $2,1 \text{ W/m}^2$. Wat is de halveringsdikte van dit metaal?

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}} \rightarrow \frac{I}{I_0} = (0,5)^n \rightarrow n = \frac{\log \frac{I}{I_0}}{\log 0,5}$$

where $d = n \cdot d_{1/2}$ and $d_{1/2} = \frac{d}{n}$

Bordoefening 2:

voor ijzer bij $E_{\text{fot}} = 0,100 \text{ MeV}$ geldt: $d_{1/2} = 0,24 \text{ cm}$

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$$

$$\frac{I}{I_0} = (0,5)^{\frac{0,18 \text{ cm}}{0,24 \text{ cm}}} = (0,5)^{0,75} = 0,59$$

dus 59% wordt doorgelaten,
oftewel 41% wordt tegengehouden

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.2 Doordringend vermogen

Bordoefening 1: Je meet bij een bron van gamma-straling (2,0 MeV per foton) een intensiteit van 10 W/m^2 . Reken uit welke intensiteit je nog meet achter een aluminium plaat met een dikte van:

a. 12,0 cm | b. 18,0 cm | c. 9,0 cm | d. 1,0 cm

Bordoefening 2: Je hebt een plaat ijzer van 1,8 mm dik en een bron die gammafotonen uitzendt met een energie van 100 keV. Reken uit welk percentage straling de plaat tegenhoudt.

Bordoefening 3: Je plaatst een 4,8 cm dikke metalen plaat tussen een bron van $3,0 \text{ W/m}^2$ en een detector. Je meet een intensiteit van $2,1 \text{ W/m}^2$. Wat is de halveringsdikte van dit metaal?

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}} \rightarrow n \rightarrow d = n \cdot d_{1/2} \rightarrow d_{1/2} = \frac{d}{n}$$
$$\frac{I}{I_0} = (0,5)^n \rightarrow n = \frac{10 \log \frac{I}{I_0}}{10 \log 0,5}$$

Bordoefening 3:

$$n = \frac{{}^{10}\log\left(\frac{2,1 \text{ W/m}^2}{3,0 \text{ W/m}^2}\right)}{{}^{10}\log 0,5} = \frac{-0,155}{-0,301} = 0,515$$

$$d_{1/2} = \frac{d}{n} = \frac{0,048 \text{ m}}{0,515} = 0,093 \text{ m}$$

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.2 Doordringend vermogen

Bordoefening 1: Je meet bij een bron van gamma-straling (2,0 MeV per foton) een intensiteit van 10 W/m^2 . Reken uit welke intensiteit je nog meet achter een aluminium plaat met een dikte van:

a. 12,0 cm | b. 18,0 cm | c. 9,0 cm | d. 1,0 cm

Bordoefening 2: Je hebt een plaat ijzer van 1,8 mm dik en een bron die gammafotonen uitzendt met een energie van 100 keV. Reken uit welk percentage straling de plaat tegenhoudt.

Bordoefening 3: Je plaatst een 4,8 cm dikke metalen plaat tussen een bron van $3,0 \text{ W/m}^2$ en een detector. Je meet een intensiteit van $2,1 \text{ W/m}^2$. Wat is de halveringsdikte van dit metaal?

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}} \rightarrow n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow d_{1/2} = \frac{d}{n}$$

$$\frac{I}{I_0} = (0,5)^n \rightarrow n = \frac{{}^{10}\log \frac{I}{I_0}}{{}^{10}\log 0,5}$$

Hal van

§ 13.2 Doordringend vermogen

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.2

- 12 a Waardoor is röntgenstraling zo geschikt voor geneeskundige diagnose?
b Röntgenmedewerkers dragen een loodschort. Waarom juist lood?
c Leg uit dat je onder sommige parasols nog steeds kunt verbranden.
d Om de reactor van een kerncentrale wordt altijd een metersdikke betonnen mantel gebouwd. Leg uit voor welk type straling deze mantel is bedoeld.

- 13 Neem de tabel in figuur 13.27 over en vul op de juiste plaatsen de woorden heel groot, groot, klein of kleinste in.

eigenschap	α -straling	β -straling	γ -straling
doordringend vermogen			
ioniserend vermogen			

▲ Figuur 13.27

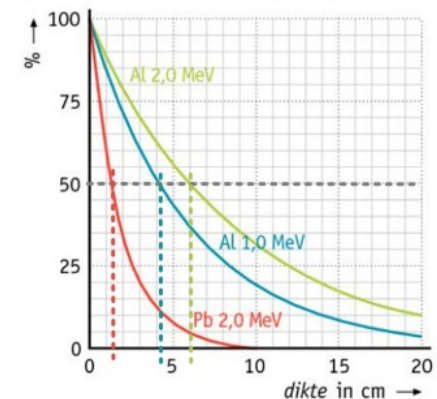
- 14 a Kun je zeggen dat de energie van een infraroodstraler groter is dan die van een uv-straler? Licht je antwoord toe.
b Wat is het verschil tussen de energie en de intensiteit van straling?

→ Vermogen?

$$P = \text{energie per foton} \times \text{fotonen per seconde}$$

15) 12,5% betekent 3x gehalveerd
a) dus 18 cm is 3x de halveringsdikte
b, c en d) aflezen

- 15 In figuur 13.26 kun je aflezen dat een plaatje aluminium van 18 cm nog 12,5% γ -straling van 2,0 MeV doorlaat.
- Leg uit hoe je met dit gegeven de halveringsdikte van aluminium voor deze straling kunt bepalen.
 - Bepaal uit de grafiek zo nauwkeurig mogelijk de halveringsdikte van aluminium voor straling met een energie van 1,0 MeV.
 - Bepaal hoe dik een plaatje lood moet zijn om 65% van een 2,0 MeV-stralingsbron te absorberen.
 - Bepaal hoeveel procent van deze straling wordt geabsorbeerd door 5,0 cm lood.



▲ **Figuur 13.26** Doorlaatkrommes voor lood (Pb) en aluminium (Al)

$$16a) \frac{I}{I_0} = ?$$

$$d = 4,3 \text{ mm}$$

$$E_\gamma = 1,0 \text{ MeV}$$

$$\text{binas, } d_{1/2} = 8,6 \text{ mm}$$

$$\frac{I}{I_0} = (0,5)^n$$

$$n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{4,3 \text{ mm}}{8,6 \text{ mm}} = 0,5$$

$$\frac{I}{I_0} = (0,5)^{0,5} = 0,707$$

dit is de fractie die wordt doorgelaten.
tegengehouden wordt:

$$1,0 - 0,707 = 0,293 \quad (29,3\%)$$

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}} \rightarrow n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow d = n \cdot d_{1/2} \rightarrow \frac{d}{d_{1/2}} = \frac{d}{n} \text{ dus: } \frac{I}{I_0} = (0,5)^n \rightarrow n = \frac{10 \log \frac{I}{I_0}}{10 \log 0,5}$$

16 Een röntgenmedewerker in het ziekenhuis draagt een loden schort van 4,3 mm dik. Er valt γ -straling op met een energie van 1,0 MeV.

a Welk percentage van de opvallende straling houdt het schort tegen? Gebruik *Binas*.

b Bereken hoeveel beton je nodig hebt om hetzelfde percentage tegen te houden.

16b)

 $d = ?$

$$d_{1/2} = 4,6 \text{ cm}$$

$$\frac{I}{I_0} = 0,707$$

$$\frac{I}{I_0} = (0,5)^n$$

$$n = \frac{10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)}{10 \log (0,5)}$$

$$n = \frac{10 \log (0,707)}{10 \log (0,5)}$$

$$n = \frac{-0,151}{-0,301} = 0,5$$

$$d = n \cdot d_{1/2} = 0,5 \cdot 4,6 \text{ cm} = 2,3 \text{ cm}$$

$$4,3 \text{ mm} \cdot 5,3 = 23 \text{ mm}$$

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}} \rightarrow n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow d = n \cdot d_{1/2} \text{ dus: } \frac{I}{I_0} = (0,5)^n \rightarrow n = \frac{10 \log \frac{I}{I_0}}{10 \log 0,5}$$

16 Een röntgenmedewerker in het ziekenhuis draagt een loden schort van 4,3 mm dik. Er valt γ -straling op met een energie van 1,0 MeV.

a Welk percentage van de opvallende straling houdt het schort tegen? Gebruik *Binas*.

b Bereken hoeveel beton je nodig hebt om hetzelfde percentage tegen te houden.

$$\frac{\text{beton, } d_{1/2}}{\text{lood, } d_{1/2}} = \frac{4,6 \text{ cm}}{0,86 \text{ cm}} = 5,3$$

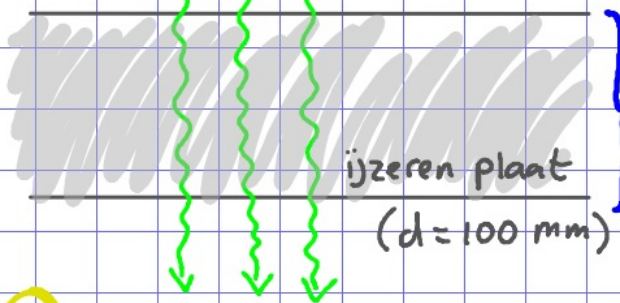
§ 13.2 Doordringend vermogen

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.2

bron $I_0 = ?$

γ -straling binas,
5,0 MeV 28F:
 $d_{1/2} = 2,8 \text{ cm}$



① detector

dus bij $d = 10 \text{ cm}$ meet de detector

$$\frac{I}{I_0} = (0,5)^{\frac{100}{2,8}} = 0,084119 \text{ nog } 8,4\% \text{ v.d.}$$

↪ bronintensiteit

② minimale detecteerbare onderintensiteitsverhouding I/I_0 t.g.v. een te dikke plaat:

$$0,084119 - 0,00070 = 0,083419$$

③ dikte d berekenen bij deze nieuwe intensiteitsverhouding I/I_0

$$0,083419 = (0,5)^{\frac{d}{2,8}} = (0,5)^n$$

$$n = \frac{\log 0,083419}{\log 0,5} = 3,58$$

$$\hookrightarrow d = n \cdot d_{1/2} = 3,58 \cdot 2,8 \text{ cm} = 10,034 \text{ cm}$$

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}} \rightarrow n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow d = n \cdot d_{1/2}$$

dus: $\frac{I}{I_0} = (0,5)^n \rightarrow n = \frac{10 \log \frac{I}{I_0}}{10 \log 0,5}$

- 17 Om te kijken of metalen platen overal even dik zijn, wordt γ -straling gebruikt.
- Leg uit hoe dit in zijn werk gaat.
 - Waarom wordt hiervoor geen α - of β -straling gebruikt?
 - Een ijzeren plaat van 100 mm dikte wordt over de volledige lengte gescand met behulp van een 5,0 MeV γ -stralingsbron. De γ -detector kan variaties in intensiteit van 0,070% meten ten opzichte van de gewenste intensiteit. Bereken het verschil tussen de kleinste en grootste dikte waarvoor een afwijking ten opzichte van 100 mm kan worden gedetecteerd.
 - De gevoeligheid van de detector is onafhankelijk van de energie van de γ -straling. Wordt de nauwkeurigheid van de meting vergroot door straling met een hogere energie te gebruiken? Leg uit.

§ 13.2 Doordringend vermogen

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.2

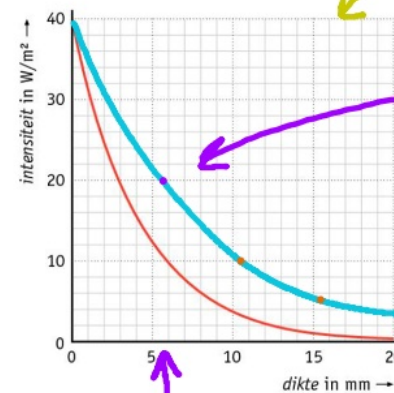
a) aflezen : $d_{1/2} = 2,9 \text{ mm}$

b) $I = 40 \text{ W/m}^2 \cdot (0,5)^{\frac{20 \text{ mm}}{2,9 \text{ mm}}}$
 $I = 0,34 \text{ W/m}^2$

c) $d = ?$ bij $\frac{I}{I_0} = 0,19$

d) $d_{1/2} =$ bij $I_0 = 40 \text{ W/m}^2 \rightarrow d_{1/2} = 5,2 \text{ mm}$
 $d = 14 \text{ mm}$ en $I = 6,1 \text{ W/m}^2$

18 In figuur 13.28 staat de doorlaatkromme van goud voor γ -straling met een energie van 0,60 MeV. De intensiteit wordt aangegeven in W/m^2 .



Figuur 13.28

- Bepaal de halveringsdikte van goud voor deze γ -straling.
- Welke intensiteit meet je wanneer je een plaatje van 2,0 cm neemt? Leg uit.
- Bepaal hoe dik een goudplaatje moet zijn om bij deze straling 81% van de fotonen te absorberen.
- Vanneer er een bundel straling met een energie van 1,0 MeV met dezelfde intensiteit op een plaatje goud van 14 mm valt, is de intensiteit na het plaatje nog $6,1 \text{ W/m}^2$. Bereken de bijbehorende halveringsdikte.
- Schets op het werkblad de doorlaatkromme van goud voor straling van 1,0 MeV.
- Bepaal met de door jou getekende doorlaatkromme bij welke dikte nog 10% van de straling wordt doorgelaten.
- Controleer het antwoord bij f met een berekening. Zie eventueel bron 5.

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}} \rightarrow n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow d = n \cdot d_{1/2} \rightarrow \frac{I}{I_0} = (0,5)^n \rightarrow n = \frac{10 \log \frac{I}{I_0}}{10 \log 0,5}$$

- 19 Een stof houdt 25% van de opvallende γ -straling tegen.
De dikte van de stof is:
- A precies een halveringsdikte.
 - B groter dan de halveringsdikte, maar kleiner dan twee halveringsdikten.
 - C kleiner dan de halveringsdikte.
 - D precies twee halveringsdikten.

§ 13.2 Doordringend vermogen

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.2

d) binas 28 F: voor $E = 1,0 \text{ MeV}$, water, $d_{1/2} = 9,8 \text{ cm}$

$$CT = 1000 \cdot \frac{d_{1/2}^{\text{wa}} - d_{1/2}^{\text{wee}}}{d_{1/2}^{\text{wee}}}$$

$$\frac{CT}{1000} = \frac{d_{1/2}^{\text{wa}} - d_{1/2}^{\text{wee}}}{d_{1/2}^{\text{wee}}}$$

$$CT \cdot d_{1/2}^{\text{wee}} = 1000 (d_{1/2}^{\text{wa}} - d_{1/2}^{\text{wee}})$$

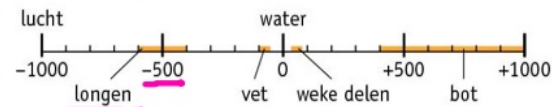
$$CT \cdot d_{1/2}^{\text{wee}} = 1000 \cdot d_{1/2}^{\text{wa}} - 1000 \cdot d_{1/2}^{\text{wee}}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{c-d}{d} \rightarrow b(c-d) = a \cdot d \rightarrow$$

$$bc = ad + bd \leftarrow bc - bd = ad$$

$$\hookrightarrow bc = d(a+b) \rightarrow d = \frac{bc}{a+b}$$

20 Radiologen maken bij CT-scans gebruik van Hounsfield-waarden of CT-waarden. Deze zijn een maat voor de straling die door weefsel wordt doorgelaten (zie figuur 13.29).



▲ Figuur 13.29 Hounsfield-waarden

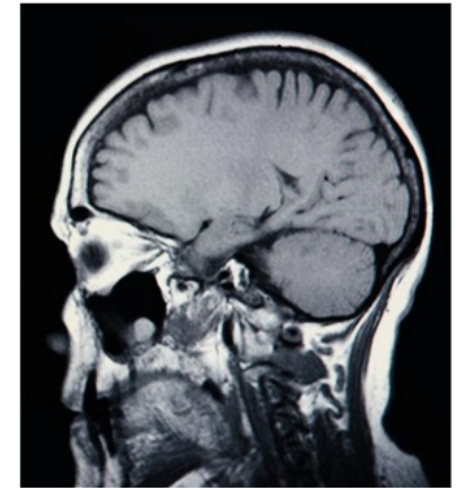
Hounsfield gebruikte voor het berekenen van de CT-waarden van een bepaald weefsel de halveringsdikte van water als referentie:

$$CT = 1000 \cdot \frac{d_{1/2}^{\text{water}} - d_{1/2}^{\text{weefsel}}}{d_{1/2}^{\text{weefsel}}}$$

a Bepaal de halveringsdikte van longweefsel voor een bundel fotonen met een energie van 1,0 MeV. Gebruik figuur 13.29 en *Bin*as.

b Halveringsdiktes zijn afhankelijk van de energie van de opvallende straling. Voor 150 keV is de halveringsdikte van water 4,61 cm en voor schedel 2,44 cm. Schedelbot heeft een CT-waarde van 783 voor 1,0 MeV γ -straling. Zijn CT-waardes afhankelijk van de energie van de straling? Licht je antwoord toe met een berekening.

c Voor de CT-scan van het hoofd in figuur 13.30 werd 150 keV röntgenstraling gebruikt.



→ Figuur 13.30 CT-scan

Voor hersenweefsel geldt bij deze energie een CT-waarde van 35,2.

Bereken op basis van een schatting welk percentage van de straling door het hoofd wordt geabsorbeerd bij een bestraling van de linkerkant naar de rechterkant van het hoofd.

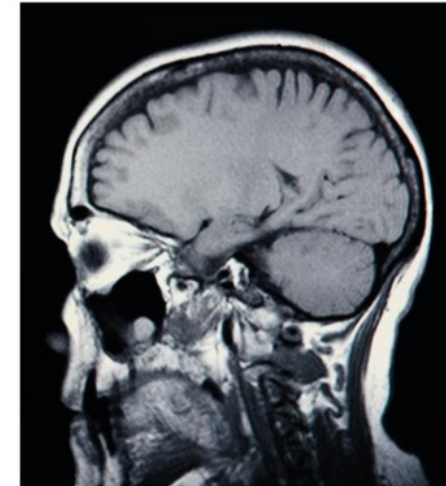
d Wordt de meeste straling door het schedelbot of door het hersenweefsel geabsorbeerd?

§ 13.2 Doordringend vermogen

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.2

- c Voor de CT-scan van het hoofd in figuur 13.30 werd 150 keV röntgenstraling gebruikt.



Figuur 13.30 CT-scan

- Voor hersenweefsel geldt bij deze energie een CT-waarde van 35,2.
Bereken op basis van een schatting welk percentage van de straling door het hoofd wordt geabsorbeerd bij een bestraling van de linkerkant naar de rechterkant van het hoofd.
- d Wordt de meeste straling door het schedelbot of door het hersenweefsel geabsorbeerd?

§ 13.2 Doordringend vermogen

Hoofdstuk 13: Straling

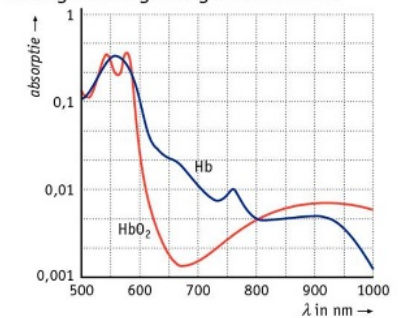
Opgaven bij § 13.2

21 In bron 6 lees je hoe een meter voor het zuurstofgehalte in je bloed werkt.

a In welke situatie meet de detector het meeste rode licht? Bij een hoog of bij een laag zuurstofgehalte?

b Behalve door hemoglobine-absorptie is er verlies aan intensiteit doordat het licht door het weefsel van de vinger heen gaat.

Figuur 13.31 laat zien hoe de weefselabsorptie afhangt van de golflengte van het licht.



► **Figuur 13.31**

Leg met behulp van de grafiek uit waarom bij de meting voor een golflengte van 660 nm wordt gekozen.

c Leg uit wat de betekenis is van de snijpunten bij 590 nm en 805 nm.

d De meeste hemoglobine is gebonden aan zuurstof. De twee led-lampjes zenden licht uit met dezelfde intensiteit.

Leg uit of de gemeten verhouding $I_{\text{rood}} / I_{\text{IR}}$ groter of kleiner is dan 1.

e De halveringsdikte van vingernagels is voor beide golflengtes hetzelfde. Hangt de gemeten verhouding $I_{\text{rood}} / I_{\text{IR}}$ af van de nageldikte van een persoon? Leg uit.

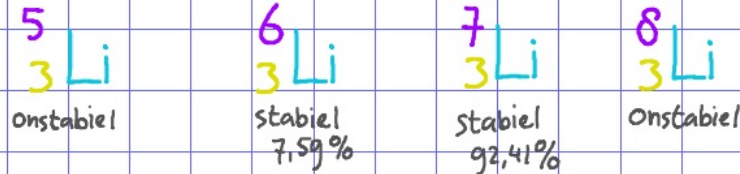
§ 13.3 Radioactief verval

7. Voor de verschillende **isotopen** (zie tabel 25 in binas) van de elementen bestaat een gestandaardiseerde **notatie**:

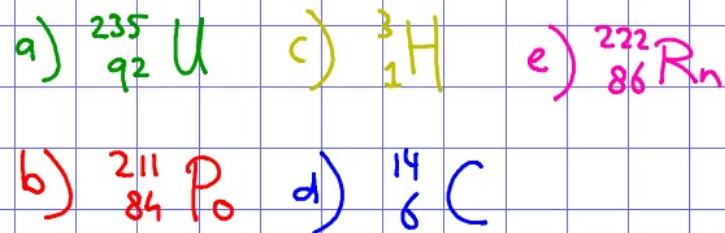
totaal aantal kerndeeltjes
 (protonen + neutronen) → **A**
 "Massagetal"
 aantal protonen → **Z**
 "Atoomnummer"

$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} \text{X}$
 ← symbool van het element

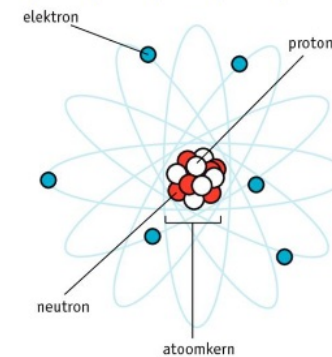
Voorbeeld, vier mogelijke isotopen van lithium:



Bordoefening 4:



Hoofdstuk 13: Straling



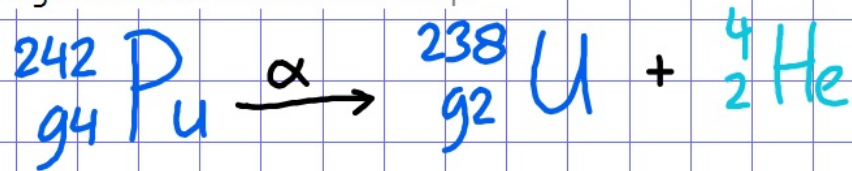
▲ Figuur 13.34 Bouw van het atoom

Bordoefening 4: Geef de notatie van deze atoomkernen

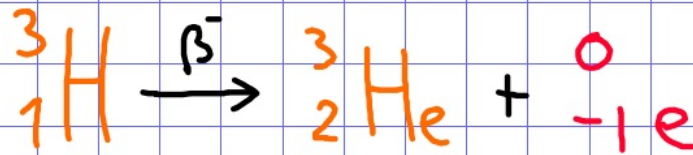
- Uranium met 143 neutronen
- Polonium met 127 neutronen
- Waterstof met 2 neutronen
- Een atoom met 6 prot. en 8 neutr.
- Een atoom met 222 kerndeeltjes waarvan 136 neutr.

8 en 9. Kernverval treedt op als de kern **instabiel** is door een **ongunstige verhouding** in het aantal protonen vs. neutronen. Er zijn dan mogelijk:

1. Alfaverval: twee neutronen en twee protonen schieten weg uit de kern. Voorbeeld: Pu-242



2. β^- -verval: een neutron in de kern verandert in een proton en er ontstaat een extra elektron dat wegschiet. Voorbeeld: Waterstof-3



Let op: β^- -verval is eigenlijk het verval van een neutron:

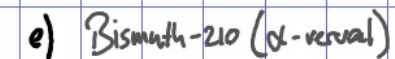
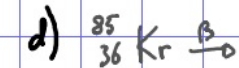
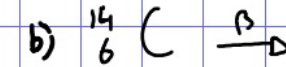
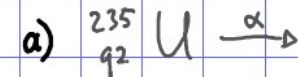


Hoofdstuk 13: Straling

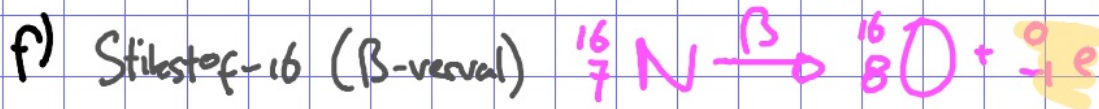
§ 13.3 Radioactief verval



Bordoeffening 7a: Stel de vergelijkingen van deze vervalsreacties op (neem een periodiek systeem voor je).



Bordoefening 7a:

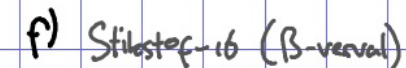
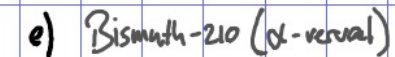
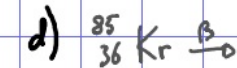
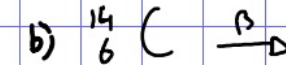
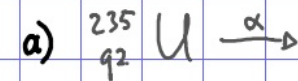


Hoofdstuk 13: Straling

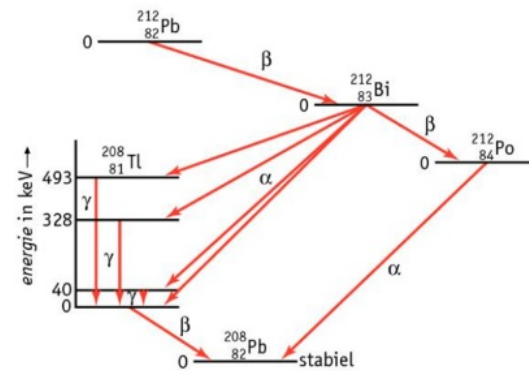
§ 13.3 Radioactief verval



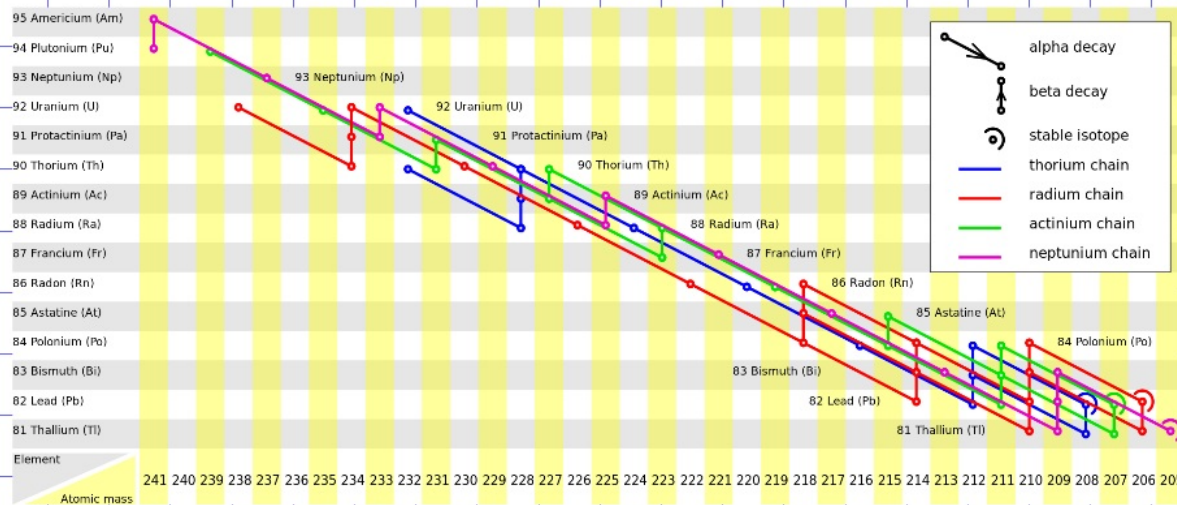
Bordoefening 7a: Stel de vergelijkingen van deze vervalsreacties op (neem een periodiek systeem voor je).



8 en 9 (vervolg). Een dochterkern kan op haar beurt ook weer instabiel zijn en ook weer vervallen. Zo kan **radioactieve vervalsreeks** optreden, bijvoorbeeld zoals bij Lood-212:

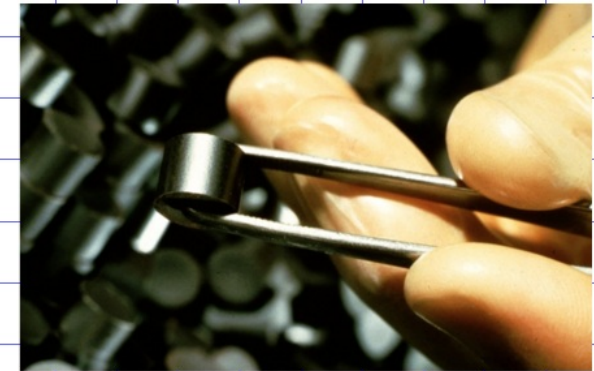


▲ **Figuur 13.36** Vervalsreeks van lood-212



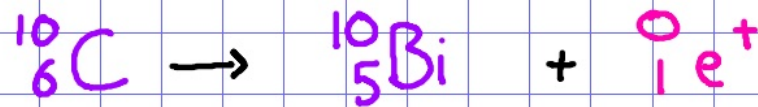
Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.3 Radioactief verval

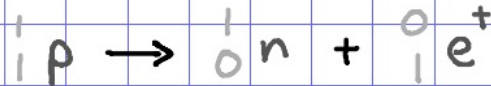


8 en 9 (vervolg). Andere mogelijke vormen van verval zijn:

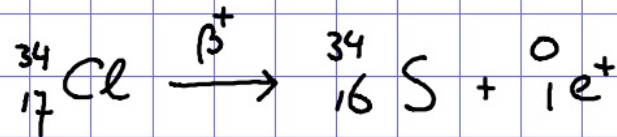
3. β^+ -verval (nieuw!): een proton in de kern verandert in een neutron.
Er ontstaat een *positron* dat wegschiet. Voorbeeld: koolstof-10



Let op: β^+ -verval is eigenlijk het verval van een proton:



Bordoefening 7b:



Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.3 Radioactief verval

Bordoefening 7b: Stel de vergelijking van de vervalsreactie op van Chloor-34.

8 en 9 (vervolg). Andere mogelijke vormen van verval zijn:

3. β^+ -verval (nieuw!):

Voorbeeld: koolstof-10

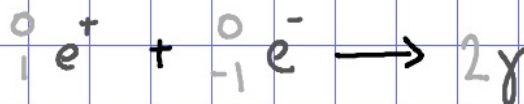


Let op: β^+ -verval is eigenlijk het verval van een proton:



Het ontstane β^+ -deeltje heet een **positron** en is het **antideeltje** van het elektron.

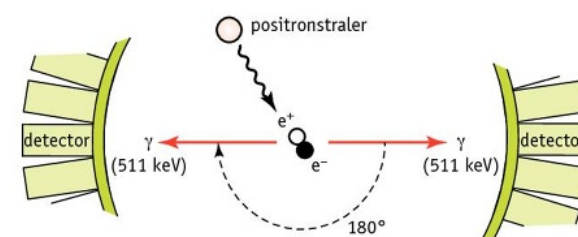
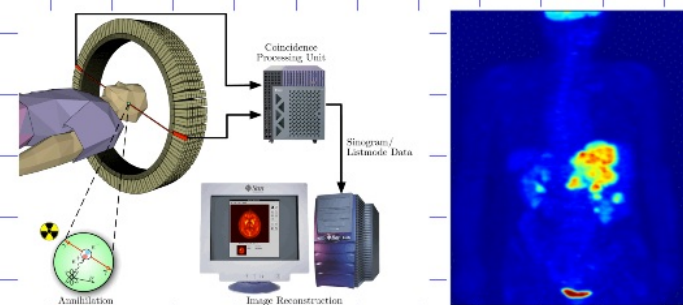
Als een elektron en positron elkaar vinden treed **annihilatie** op: beide deeltjes verdwijnen en er ontstaan twee (gamma)fotonen:



In PET-scans wordt een radioactieve stof (een *tracer*) in de bloedbaan gebracht die de neiging heeft tot β^+ -verval. Een voorbeeld van zo'n tracer is FDG. Dit is een soort glucose waarin een H-atoom is vervangen door een atoom Fluor-18. De twee fot. die bij verval vrijkomen worden gedetecteerd.

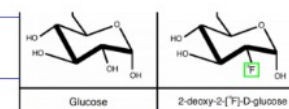
Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.3 Radioactief verval



▲ **Figuur 13.38** Detectie van annihilatie

Radiotherapie (swf_embedded)



Rekenen aan massa van atomen met de **atomaire massa-eenheid**, u:

massa:
 $1,0 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

energie:
 $1,0 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

Let op: de massa van een atoom is **niet precies gelijk aan de som van de deeltjes** in het atoom (maar kleiner) om redenen die in Hfd14 duidelijk zullen worden. Zie tabel 25A van *binas* voor de precieze massa's.

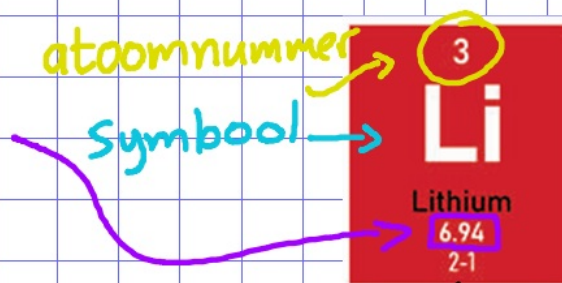
Let op: deze massa in het periodiek systeem is een **gewogen gemiddelde van de massa's van de isotopen** van dat element naar het percentage voorkomen in de natuur.

Bordoeffening 5:

- a) Li-7; 3p, 4n en 3e, dus $3 \times 1,0073 + 4 \times 1,0087 + 3 \times 5,4858 \times 10^{-4} = 7,0583 \text{ u} = 1,17 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
- b) U-235; 92p, 143n en 92e, dus $92 \times 1,0073 + 143 \times 1,0087 + 92 \times 5,4858 \times 10^{-4} = 236,9662 \text{ u} = 3,93 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$
- c) C-12; 6p, 6n en 6e, dus $6 \times 1,0073 + 6 \times 1,0087 + 6 \times 5,4858 \times 10^{-4} = 12,0993 \text{ u} = 2,01 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

Bordoeffening 6:

- a) Li-7; $m = 7,016004 \text{ u}$ b) U-235; $m = 235,04392 \text{ u}$ c) C-12; $m = 12,000000 \text{ u}$



Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.3 Radioactief verval

	deeltje	notatie	massa in u
	proton	1_1p	1,0073
	neutron	1_0n	1,0087
	elektron	${}^0_{-1}e$	$5,4858 \cdot 10^{-4}$

▲ **Figuur 13.35**

Bordoeffening 5: Reken van deze isotopen uit hun deeltjes uit welke massa ze hebben in u en in kg:

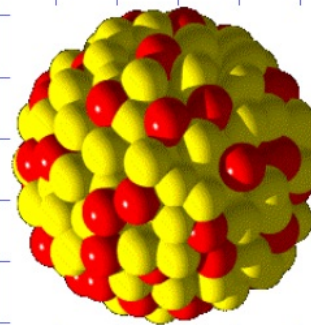
- a. ${}^7_3\text{Li}$ b. U-235 c. koolstof-12

Bord
borda
mass

8 en 9 (extra). Bekijk binas tabel 25A:

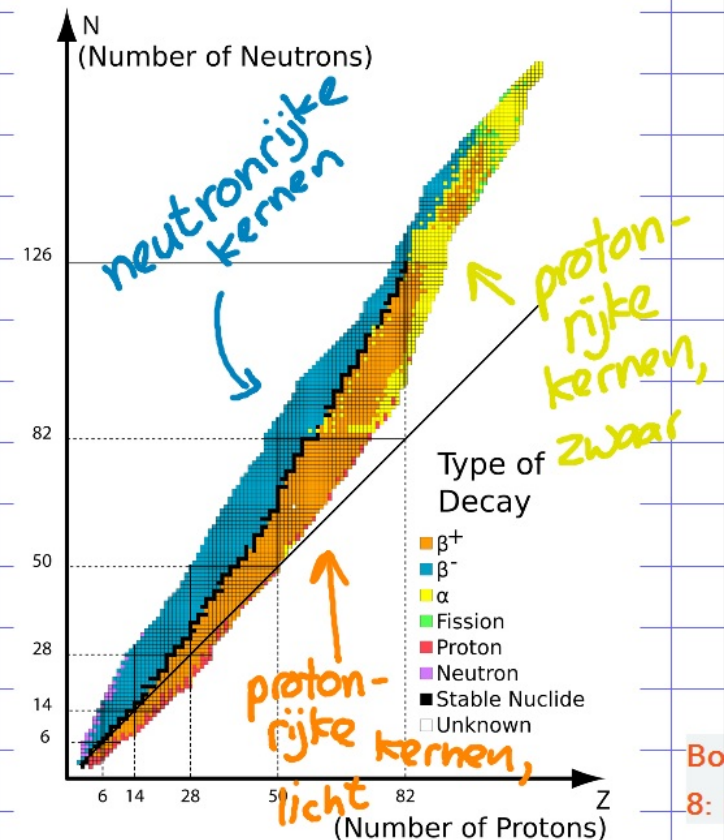
- kernen met als halveringstijd een "-" zijn stabiel en vervallen niet.
- zware en protonrijke kernen hebben de neiging tot alfaverval.
- neutronrijke kernen hebben de neiging tot β^- -verval.
- lichte tot middelzware, protonrijke kernen hebben de neiging tot β^+ -verval.

Bordoeffening 8: Zoek Fluor-18 op in Binas, tabel 25B en bevestig dat dit isotoop de neiging heeft tot β^+ -verval. Zoek ook op welke neiging een Zr-100 kern heeft.

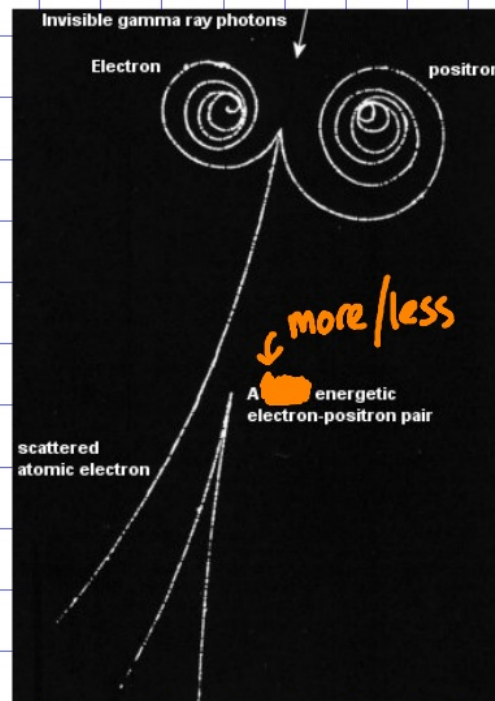
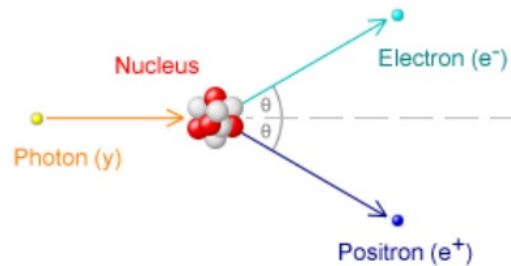


Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.3 Radioactief verval



8 en 9. Het omgekeerde van beta⁺-verval kan ook optreden: een foton met een hoge energie botst op een atoomkern. Het foton verdwijnt hierbij. Uit de hierbij vrijgekomen energie ontstaan een deeltje en diens anti-deeltje. Dit heet (paar)creatie.



Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.3 Radioactief verval



§ 13.3 Radioactief verval

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.3

Periodic Table of the Elements

Periodic Table																		VIII																																																																																																																																																																																													
1 IA																		2 IIA		13 IIIA																		14 IVA		15 VA		16 VIA		17 VIIA		18 VIIIA																																																																																																																																																																	
1 H																		2 He		3 Li																		4 Be		5 B																		6 C		7 N		8 O		9 F		10 Ne																																																																																																																																													
Hydrogen 1.008																		Helium 4.0026		Lithium 6.94																		Beryllium 9.0122		Boron 10.81																		Carbon 12.011		Nitrogen 14.007		Oxygen 15.999		Fluorine 18.998		Neon 20.180																																																																																																																																													
3 Na																		4 Mg		11 K																		12 Ca		19 K																		20 Ca		27 Co																		28 Ni		29 Cu		30 Zn		31 Ga		32 Ge		33 As		34 Se		35 Br		36 Kr																																																																																																																	
Sodium 22.98976928																		Magnesium 24.304		Potassium 39.0983																		Calcium 40.078		Cobalt 58.933195																		Nickel 58.6934		Copper 63.546		Zinc 65.38		Gallium 69.723		Germanium 72.630		Arsenic 74.9216		Selenium 78.96		Bromine 79.904		Krypton 83.798																																																																																																																																					
13 Al																		14 Si		21 Sc																		22 Ti		29 Cu																		30 Zn		37 Rb																		38 Sr		45 Rh																		46 Pd		47 Ag		48 Cd		49 In		50 Sn		51 Sb		52 Te		53 I		54 Xe																																																																																													
Aluminum 26.9815386																		Silicon 28.0855		Scandium 44.955912																		Titanium 47.88		Copper 63.546																		Zinc 65.38		Rubidium 85.468																		Strontium 87.62		Rhodium 102.9055																		Palladium 106.3675		Silver 107.8682		Cadmium 112.411		Indium 114.818		Tin 118.710		Antimony 121.757		Tellurium 127.6		Iodine 126.905		Xenon 131.29																																																																																													
15 P																		16 S		23 V																		24 Cr		31 Ga																		32 Ge		39 Y																		40 Zr		47 Ag																		48 Cd		55 Cs																		56 Ba		63 Eu																		64 Gd		65 Tb		66 Dy		67 Ho		68 Er		69 Tm		70 Yb		71 Lu																																																							
Phosphorus 30.973762																		Sulfur 32.06		Vanadium 50.9415																		Chromium 51.9961		Gallium 69.723																		Germanium 72.630		Yttrium 88.90584																		Zirconium 91.224		Silver 107.8682																		Cadmium 112.411		Cesium 132.90545196																		Barium 137.327		Europium 151.964																		Gadolinium 157.25		Terbium 158.92534		Dysprosium 162.50015		Holmium 164.93033		Erbium 167.259		Thulium 168.93032		Ytterbium 173.05468		Lutetium 174.967																																																							
17 Cl																		18 Ar		25 Mn																		26 Fe		33 As																		34 Se		41 Nb																		42 Mo		49 In																		50 Sn		57 La																		58 Ce		59 Pr		60 Nd		61 Pm		62 Sm		63 Eu		64 Gd		65 Tb		66 Dy		67 Ho		68 Er		69 Tm		70 Yb		71 Lu																																																															
Chlorine 35.45																		Argon 39.948		Manganese 54.938045																		Iron 55.845		Antimony 74.9216																		Selenium 78.96		Niobium 92.90638																		Molybdenum 95.94		Lanthanum 138.90547																		Cerium 140.12		Praseodymium 140.90766		Neodymium 144.24		Promethium 144.9127		Samarium 150.36		Europium 151.964		Gadolinium 157.25		Terbium 158.92534		Dysprosium 162.50015		Holmium 164.93033		Erbium 167.259		Thulium 168.93032		Ytterbium 173.05468		Lutetium 174.967																																																																																			
19 K																		20 Ca		27 Co																		28 Ni		35 Br																		36 Kr		43 Tc																		44 Ru		51 Sb																		52 Te		59 Pr																		60 Nd		61 Pm		62 Sm		63 Eu		64 Gd		65 Tb		66 Dy		67 Ho		68 Er		69 Tm		70 Yb		71 Lu																																																																			
Potassium 39.0983																		Calcium 40.078		Cobalt 58.933195																		Nickel 58.6934		Bromine 79.904																		Krypton 83.798		Technetium 98.00																		Ruthenium 101.07		Antimony 121.757																		Tellurium 127.6		Praseodymium 140.90766																		Neodymium 144.24		Promethium 144.9127		Samarium 150.36		Europium 151.964		Gadolinium 157.25		Terbium 158.92534		Dysprosium 162.50015		Holmium 164.93033		Erbium 167.259		Thulium 168.93032		Ytterbium 173.05468		Lutetium 174.967																																																																			
37 Rb																		38 Sr		45 Rh																		46 Pd		53 I																		54 Xe		55 Cs																		56 Ba		63 Eu																		64 Gd		65 Tb		66 Dy		67 Ho		68 Er		69 Tm		70 Yb		71 Lu																																																																																															
Rubidium 85.468																		Strontium 87.62		Rhodium 102.9055																		Palladium 106.3675		Iodine 126.905																		Xenon 131.29		Cesium 132.90545196																		Barium 137.327		Europium 151.964																		Gadolinium 157.25		Terbium 158.92534		Dysprosium 162.50015		Holmium 164.93033		Erbium 167.259		Thulium 168.93032		Ytterbium 173.05468		Lutetium 174.967																																																																																															
55 Cs																		56 Ba		63 Eu																		64 Gd		71 Lu																		72 Hf		79 Au																		80 Hg		87 Fr																		88 Ra		95 Am																		96 Cm		97 Bk		98 Cf		99 Es		100 Fm		101 Md		102 No		103 Lr																																																																											
Cesium 132.90545196																		Barium 137.327		Lutetium 174.967																		Hafnium 178.49		Gold 196.966569																		Mercury 200.59		Francium 223																		Radium 226		Americium 243																		Curium 247		Berkelium 247		Californium 251		Einsteinium 252		Fermium 257		Mendelevium 258		Nobelium 259		Lawrencium 262																																																																																															
79 Au																		80 Hg		87 Fr																		88 Ra		95 Am																		96 Cm		103 Lr																		104 Rf		111 Rg																		112 Cn		119 Uu																		120 Uub		127 Bh																		128 Hs		135 Db																		136 Sg		143 Lr																		144 La		145 Ce		146 Pr		147 Nd		148 Pm		149 Sm		150 Eu		151 Gd		152 Tb		153 Dy		154 Ho		155 Er		156 Tm		157 Yb		158 Lu	
Rutherfordium 261																		Dubnium 262		Roentgenium 272																		Copernicium 285		Ununseptium 293																		Unbihexium 294		119 Uu																		120 Uub		127 Bh																		128 Hs		135 Db																		136 Sg		143 Lr																		144 La		145 Ce		146 Pr		147 Nd		148 Pm		149 Sm		150 Eu		151 Gd		152 Tb		153 Dy		154 Ho		155 Er		156 Tm		157 Yb		158 Lu																																									
104 Rf																		105 Db		111 Rg																		112 Cn		119 Uu																		120 Uub		127 Bh																		128 Hs		135 Db																		136 Sg		143 Lr																		144 La		145 Ce		146 Pr		147 Nd		148 Pm		149 Sm		150 Eu		151 Gd		152 Tb		153 Dy		154 Ho		155 Er		156 Tm		157 Yb		158 Lu																																																													
Rutherfordium 261																		Dubnium 262		Roentgenium 272																		Copernicium 285		Ununseptium 293																		Unbihexium 294		119 Uu																		120 Uub		127 Bh																		128 Hs		135 Db																		136 Sg		143 Lr																		144 La		145 Ce		146 Pr		147 Nd		148 Pm		149 Sm		150 Eu		151 Gd		152 Tb		153 Dy		154 Ho		155 Er		156 Tm		157 Yb		158 Lu																																									
109 Tm																		110 Ds		117 Ts																		118 Og		125 Db																		126 Sg		133 Lr																		134 La		135 Ce		136 Pr		137 Nd		138 Pm		139 Sm		140 Eu		141 Gd		142 Tb		143 Dy		144 Ho		145 Er		146 Tm		147 Yb		148 Lu																																																																																																					
Thulium 168.93032																		Darmstadtium 271		Tennessine 294																		Oganesson 294		Dubnium 261																		Seaborgium 266		Lanthanum 138.90547																		Cerium 140.12		Praseodymium 140.90766		Neodymium 144.24		Promethium 144.9127		Samarium 150.36		Europium 151.964		Gadolinium 157.25		Terbium 158.92534		Dysprosium 162.50015		Holmium 164.93033		Erbium 167.259		Thulium 168.93032		Ytterbium 173.05468		Lutetium 174.967																																																																																																							
149 Sm																		150 Eu		157 Yb																		158 Lu		165 Tm																		166 Yb		173 Lu																		174 La		175 Ce		176 Pr		177 Nd		178 Pm		179 Sm		180 Eu		181 Gd		182 Tb		183 Dy		184 Ho		185 Er		186 Tm		187 Yb		188 Lu																																																																																																					
Samarium 150.36																		Europium 151.964		Ytterbium 173.05468																		Lutetium 174.967		Thulium 168.93032																		Ytterbium 173.05468		Lutetium 174.967																		Lanthanum 175.053		Cerium 176.014		Praseodymium 176.031		Neodymium 176.031		Promethium 176.031		Samarium 176.031		Europium 176.031		Gadolinium 176.031		Terbium 176.031		Dysprosium 176.031		Holmium 176.031		Erbium 176.031		Thulium 176.031		Ytterbium 176.031		Lutetium 176.031																																																																																																					
187 Yb																		188 Lu		195 Am																		196 Cm		201 Lr																		202 La		203 Ce		204 Pr		205 Nd		206 Pm		207 Sm		208 Eu		209 Gd		210 Tb		211 Dy		212 Ho		213 Er		214 Tm		215 Yb		216 Lu																																																																																																																									
Americium 243																		Curium 247		Lawrencium 262																		Lanthanum 263		Cerium 264		Praseodymium 265		Neodymium 266		Promethium 267		Samarium 268		Europium 269		Gadolinium 270		Terbium 271		Dysprosium 272		Holmium 273		Erbium 274		Thulium 275		Ytterbium 276		Lutetium 277																																																																																																																																													
216 Lu																		217 Yb		225 Ac																		226 Th		232 Pa																		233 U		241 Np																		242 Pu		250 Lr																		251 La		252 Ce		253 Pr		254 Nd		255 Pm		256 Sm		257 Eu		258 Gd		259 Tb		260 Dy		261 Ho		262 Er		263 Tm		264 Yb		265 Lu																																																																																	
225 Actinium																		226 Thorium		232 Protactinium																		233 Uranium		241 Neptunium																		242 Plutonium		250 Lawrencium																		251 Lanthanum		252 Cerium		253 Praseodymium		254 Neodymium		255 Promethium		256 Samarium		257 Europium		258 Gadolinium		259 Terbium		260 Dysprosium		261 Holmium		262 Erbium		263 Thulium		264 Ytterbium		265 Lutetium																																																																																																					
265 Lu																		266 Yb		270 Lr																		271 La		272 Ce		273 Pr		274 Nd		275 Pm		276 Sm		277 Eu		278 Gd		279 Tb		280 Dy		281 Ho		282 Er		283 Tm		284 Yb		285 Lu																																																																																																																																													
270 Lawrencium																		271 Lanthanum		277 Th																		278 Actinium		286 Pa																		287 Uranium		295 Np																		296 Plutonium		303 Lr																		304 La		305 Ce		306 Pr		307 Nd		308 Pm		309 Sm		310 Eu		311 Gd		312 Tb		313 Dy		314 Ho		315 Er		316 Tm		317 Yb		318 Lu																																																																																	
286 Protactinium																		287 Uranium		295 Neptunium																		296 Plutonium		303 Lawrencium																		304 Lanthanum		305 Cerium		306 Praseodymium		307 Neodymium		308 Promethium		309 Samarium		310 Europium		311 Gadolinium		312 Terbium		313 Dysprosium		314 Holmium		315 Erbium		316 Thulium		317 Ytterbium		318 Lutetium																																																																																																																									
295 Neptunium																		296 Plutonium		303 Lawrencium																		304 Lanthanum		305 Cerium		306 Praseodymium		307 Neodymium		308 Promethium		309 Samarium		310 Europium		311 Gadolinium		312 Terbium		313 Dysprosium		314 Holmium		315 Erbium		316 Thulium		317 Ytterbium		318 Lutetium																																																																																																																																													
303 Lawrencium																		304 Lanthanum		309 Th																		310 Actinium		318 Pa																		319 Uranium		326 Np																		327 Pu		334 Lr																		335 La		336 Ce		337 Pr		338 Nd		339 Pm		340 Sm		341 Eu		342 Gd		343 Tb		344 Dy		345 Ho		346 Er		347 Tm		348 Yb		349 Lu																																																																																	
318 Lawrencium																		319 Lanthanum		326 Protactinium																		327 Uranium		334 Neptunium																		335 Plutonium		342 Lawrencium																		343 Lanthanum		344 Cerium		345 Praseodymium		346 Neodymium		347 Promethium		348 Samarium		349 Europium		350 Gadolinium		351 Terbium		352 Dysprosium		353 Holmium		354 Erbium		355 Thulium		356 Ytterbium		357 Lutetium																																																																																																					
326 Protactinium																		327 Uranium		334 Neptunium																		335 Plutonium		342 Lawrencium																		343 Lanthanum		344 Cerium		345 Praseodymium		346 Neodymium		347 Promethium		348 Samarium		349 Europium		350 Gadolinium		351 Terbium		352 Dysprosium		353 Holmium		354 Erbium		355 Thulium		356 Ytterbium		357 Lutetium																																																																																																																									
334 Neptunium																		335 Plutonium		342 Lawrencium																		343 Lanthanum		344 Cerium		345 Praseodymium		346 Neodymium		347 Promethium		348 Samarium		349 Europium		350 Gadolinium		351 Terbium		352 Dysprosium		353 Holmium		354 Erbium		355 Thulium		356 Ytterbium		357 Lutetium																																																																																																																																													
342 Lawrencium																		343 Lanthanum		348 Th																		349 Actinium		357 Pa																		358 Uranium		365 Np																		366 Pu		373 Lr																		374 La		375 Ce		376 Pr		377 Nd		378 Pm		379 Sm		380 Eu		381 Gd		382 Tb		383 Dy		384 Ho		385 Er		386 Tm		387 Yb		388 Lu																																																																																	
357 Lawrencium																		358 Lanthanum		365 Protactinium																		366 Uranium		373 Neptunium																		374 Plutonium		381 Lawrencium																		382 Lanthanum		383 Cerium		384 Praseodymium		385 Neodymium		386 Promethium		387 Samarium		388 Europium		389 Gadolinium		390 Terbium		391 Dysprosium		392 Holmium		393 Erbium		394 Thulium		395 Ytterbium		396 Lutetium																																																																																																					
365 Protactinium																		366 Uranium		373 Neptunium																		374 Plutonium		381 Lawrencium																		382 Lanthanum		383 Cerium		384 Praseodymium		385 Neodymium		386 Promethium		387 Samarium		388 Europium		389 Gadolinium		390 Terbium		391 Dysprosium		392 Holmium		393 Erbium		394 Thulium		395 Ytterbium		396 Lutetium																																																																																																																									
373 Neptunium																		374 Plutonium		381 Lawrencium																		382 Lanthanum		383 Cerium		384 Praseodymium		385 Neodymium		386 Promethium		387 Samarium		388 Europium		389 Gadolinium		390 Terbium		391 Dysprosium		392 Holmium		393 Erbium		394 Thulium		395 Ytterbium		396 Lutetium																																																																																																																																													
381 Lawrencium																		382 Lanthanum		387 Th																		388 Actinium		396 Pa																		397 Uranium		403 Np																		404 Pu		410 Lr																		411 La		412 Ce																																																																																																											

Opdrachten

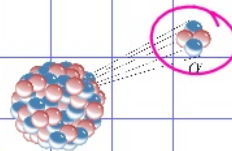
- 22 Koolstof heeft verschillende isotopen.
- Wat betekent het begrip isotoop?
 - Zoek op hoeveel isotopen er van koolstof in *Binas* staan.
 - De massa van de isotoop koolstof-12 is als uitgangspunt genomen bij de definitie van de atomaire massa-eenheid.
Hoe groot is de massa van koolstof-12?
 - Hoe is de atomaire massa-eenheid gedefinieerd?
Tip: uit hoeveel nucleonen bestaat deze isotoop?
- 23 a Welk atoom heeft het symbool Ra?
b Hoeveel protonen, neutronen en elektronen heeft $^{288}_{88}\text{Ra}$?
- 24 Een atoom heeft 82 protonen en 128 neutronen.
- Over welke atoomsoort gaat het?
 - Hoeveel elektronen heeft dit atoom?
 - Schrijf deze isotoop in de vorm ^A_ZX
 - Toon aan dat de massa van deze isotoop kleiner is dan de som van de massa's van al zijn bouwstenen.

§ 13.3 Radioactief verval

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.3

26 a. $^{238}_{92}\text{U}$ 92 p en 146 n



b. $E_k = 4,18 \cdot 10^6 \text{ eV} = 6,69 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

$m = 4,002603 \text{ u} - (2 \times 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u})$
 $= 4,001509 \text{ u} = 6,644656 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_k}{m}} = 14,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

LET OP:
deze massa's
zijn met elektronen

2	He	3	3,016049	12,5 y	p 0,018
3		3	3,016029	0,00014	—
4		4	4,002603	100	—
6		6	6,018886	0,807 s	β^- 3,5
7		7	7,016003	7,50	—

- 25 Een atoom heeft 4 elektronen en 4 neutronen. Welk atoom is dit?
 A He-4
 B Li-8
 C Be-8
 D B-8
- 26 De uraniumkern uit de paragraafopening schiet heliumkernen weg met een kinetische energie van 4,18 MeV.
 a Uit hoeveel protonen en neutronen bestaat deze uraniumkern?
 b Bereken de snelheid van het uitgezonden α -deeltje.
 c Hoeveel protonen en neutronen heeft het α -deeltje?
 d Hoeveel protonen en neutronen blijven er dan nog in de uraniumkern achter?
 e Wat is nu het atoomnummer van deze kern?
 f Welke atoomsoort is dit?

§ 13.3 Radioactief verval

- 27 Po-216 kan zowel α -straling als β -straling uitzenden.
- Schrijf de twee mogelijke vervalvergelijkingen van Po-216 op.
 - Laat zien dat in beide gevallen uiteindelijk het stabiele Pb-208 ontstaat.
Tip: je hoeft niet alle reactievergelijkingen op te schrijven.
 - Bereken hoeveel atomen er in 1,0 kg Po-216 zitten.
 - Po-214 kan ontstaan uit twee verschillende atoomkernen. Geef de twee mogelijke vervalvergelijkingen.
- 28 Vaak zendt een radioactieve kern naast α -straling of β -straling ook γ -straling uit. Een voorbeeld daarvan is U-238.
- Hoe verandert het aantal kerndeeltjes door dit γ -verval? Leg dit uit.
 - Schrijf de vervalvergelijking op.

massa:

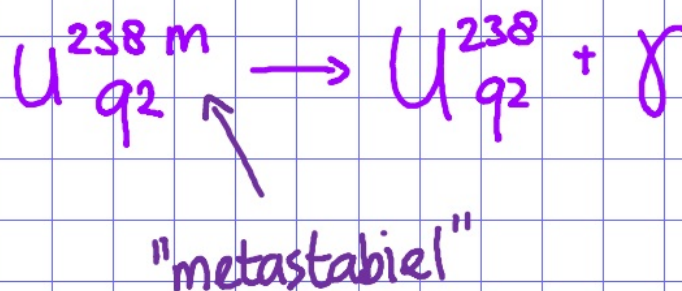
$$1,0 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Hoofdstuk 13: Straling

BINAS 25 A

→ massa van 1 atoom
 $^{216}_{84}\text{Po}$ is 216,00190 u

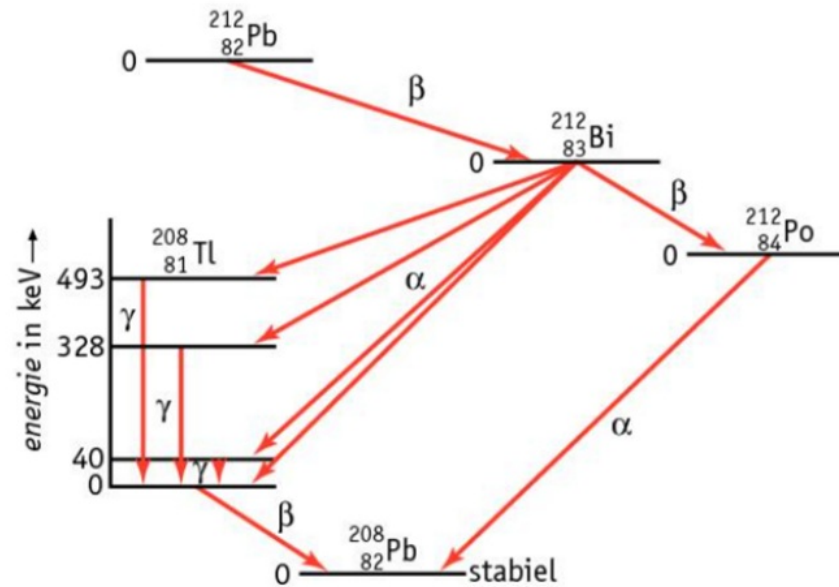
gemiddelde massa
 van 1 atoom natuur-
 lijk Po is 209,0



Opgaven bij § 13.3

121,8 51 Sb antimoon 18,5	+3 +5 -3	127,6 52 Te telluur 18,6	+4 +6 -2	126,9 53 I jood 18,7	+1 +5 +7 -1
209,0 83 Bi bismut 32,18,5	+3 +5	(209) 84 Po polonium 32,18,6	+2 +4	(210) 85 At astat 32,18,7	
(288) 115 Uup ununpentium 32,18,5		(293) 116 Lv livermorium 32,18,6		(294) 117 Uus ununseptium 32,18,7	

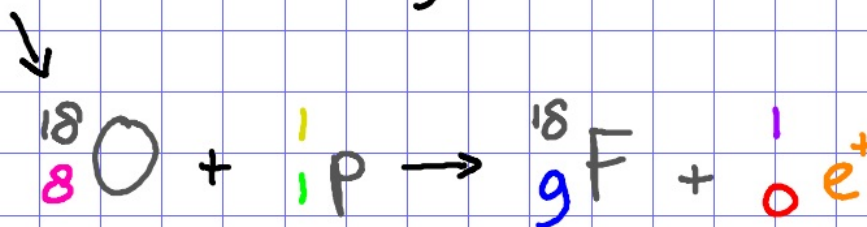
PER SY



▲ **Figuur 13.36** Vervalreeks van lood-212

- 29 Bekijk de vervalreeks van lood-212 in figuur 13.36.
- Waarom zou β -verval naar rechts worden getekend en α -verval naar links?
 - Bi-212 vervalst voor 36% via α -verval. De α -deeltjes krijgen bij de kernreactie niet altijd dezelfde snelheid. Hoe is dat te zien in figuur 13.36?
 - De snelste α -deeltjes hebben een kinetische energie van 6,20 MeV. Bereken met behulp van figuur 13.36 de snelheid van de langzaamste α -deeltjes.

fout in uitwerkingen!



Opdrachten

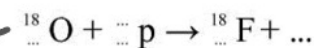
30 De PET-tracer FDG bevat fluor-18.

a Geef de vervalvergelijking van fluor-18.

b Fluor-18 moet worden geproduceerd, omdat het niet voorkomt in de natuur.

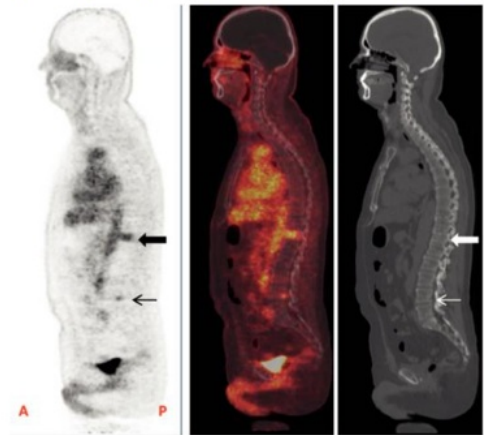
Hoe kun je dit zien in *Binas*?

c Fluor-18 wordt gemaakt door H_2O -18 (water met de isotoop zuurstof-18) te beschieten met protonen. Hierbij ontstaat naast fluor-18 nog een deeltje. Vul de onderstaande kernreactie aan:



d Fluor-18 kan ook worden geproduceerd door zuurstofatomen in gewoon water met een ander deeltje te beschieten. Hierbij ontstaat behalve fluor-18 ook een proton. Geef de kernreactie en bepaal hiermee met welk deeltje het water wordt beschoten.

ioniserende
↓
"radioactieve
straling"



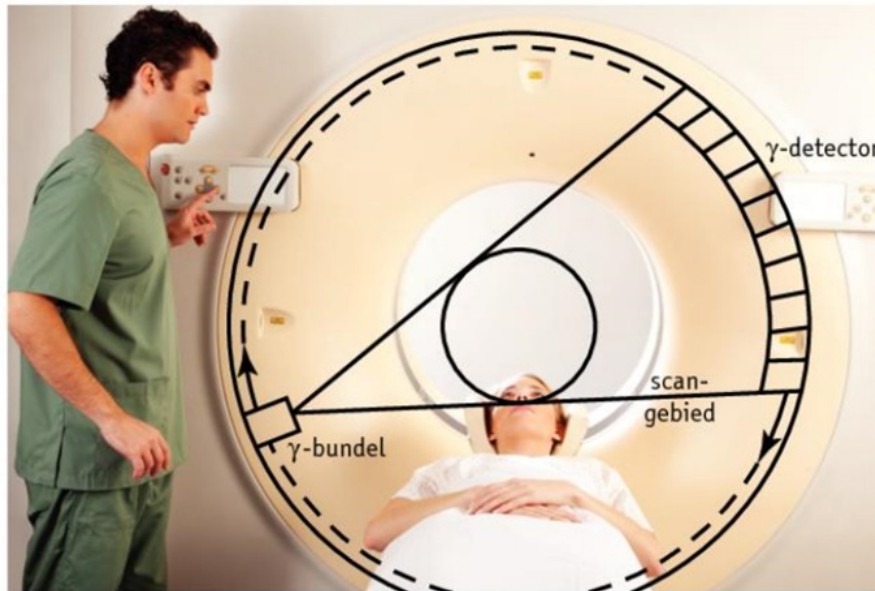
▲ **Figuur 13.39** Combinatie van PET en CT

- 31 Bekijk figuur 13.39.
- Is de schedel beter zichtbaar op de PET-scan of de CT-scan? Verklaar dit.
 - Noem nog een voordeel van een CT-scan ten opzichte van een PET-scan.
 - Noem twee voordelen van een MRI-scan ten opzichte van een PET-scan.
 - Noem een voordeel van een PET-scan ten opzichte van zowel een MRI-scan als een CT-scan.
 - Verklaar dat een tumor beter op een PET-scan dan op een CT-scan kan worden gelokaliseerd.

§ 13.3 Radioactief verval

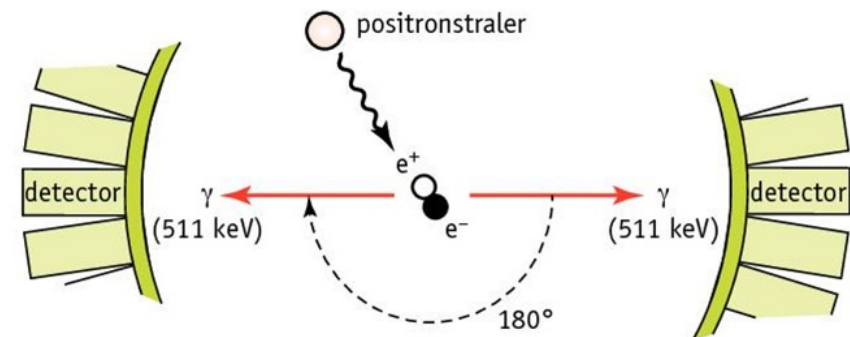
Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.3



▲ **Figuur 13.12** Een CT-scanner

- 32 Een PET-scanner heeft in tegenstelling tot een CT-scanner geen ronddraaiende detector.
- Leg uit waarom.
 - De gedetecteerde γ -fotonen zijn het gevolg van de annihilaties van β^+ - en β^- -deeltjes. Waar komen die β^- -deeltjes vandaan?
 - Leg uit of het beeld van een PET-scan zou kunnen worden verstoord door positronen die op de ring van detectoren vallen.



▲ **Figuur 13.38** Detectie van annihilatie

§ 13.3 Radioactief verval

b) $\Delta t = \frac{s}{v} = \frac{0,12 \text{ m}}{3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 0,40 \text{ ns}$

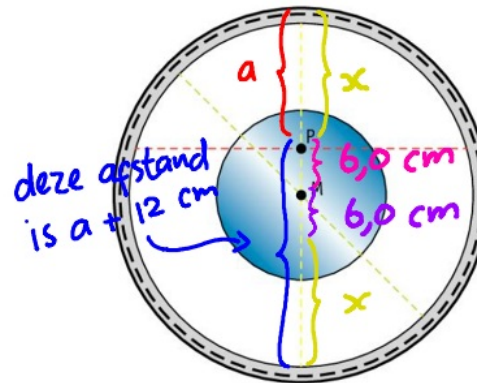
(let op, je wilt alleen
het tijdsverschil weten)

c) $s = v \cdot \Delta t = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 3,0 \cdot 10^{-9} \text{ s}$
 $= 0,90 \text{ m}$
 (dus 45 cm elke kant op)



Hoofdstuk 13: Straling

- 33 Dorien doet een aantal proefberekeningen aan een PET-scan. In een model plaatst ze een cilindervormig object van hersenweefsel met een straal van 10 cm in het middelpunt M van de scanner (zie figuur 13.40).



▲ Figuur 13.40

In de scanner markeert ze een 2e punt P en tekent ze een rode, groene en gele lijn. Bij een elektron-positron-annihilatie ontstaan twee γ -fotonen die in tegengestelde richting bewegen. De PET-scan meet het verschil in tijd tussen de ontvangst van deze fotonen.

- a Leg voor zowel het punt M als het punt P uit voor welke lijnen er geen tijdsverschil is.

Opgaven bij § 13.3

- b Het punt P bevindt zich 6,0 cm boven punt M. Dorien neemt aan dat de fotonen bewegen met de lichtsnelheid in vacuüm. Bereken het tijdsverschil tussen de aankomst van de fotonen langs de gele lijn in nanoseconde.
- c Moderne PET-scans kunnen tijdsverschillen tot 3,0 ns meten. Er is dan sprake van een onnauwkeurigheid in de plaatsbepaling. Stel dat de scanner geen tijdsverschil waarneemt bij een annihilatie waarbij de γ -fotonen aan de uiteinden van de groene lijn worden gedetecteerd. Hoe ver van het midden zou de reactie dan nog geweest kunnen zijn? Geef een berekening.
- d Verklaar dat een PET-scan een beeld met een lagere resolutie oplevert dan een CT-scan.
- e Verklaar dat een PET-scan een nauwkeuriger beeld geeft dan de bij vraag c berekende onzekerheid.

- 34 Lees bron 10.

- a Geef de reactievergelijking van de productie van het ununtrium.
- b Elementen met een atoomnummer hoger dan 92 zijn niet stabiel. Het bewijs voor het nieuw gevonden element werd verkregen, doordat de zojuist gevormde kern in een aaneengesloten reeks van α -verval verviel tot mendelevium. Beredeneer welke isotoop van mendelevium hierbij ontstond.

§ 13.3 Radioactief verval

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.3

34 Lees bron 10.

- a** Geef de reactievergelijking van de productie van het ununtrium.
- b** Elementen met een atoomnummer hoger dan 92 zijn niet stabiel. Het bewijs voor het nieuw gevonden element werd verkregen, doordat de zojuist gevormde kern in een aaneengesloten reeks van α -verval verviel tot mendelevium. Beredeneer welke isotoop van mendelevium hierbij ontstond.

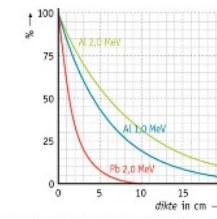
§ 13.4 Activiteit

11. Het aantal kernen in een hoeveelheid radioactieve stof dat per seconde vervalst heet de **activiteit**. De eenheid is **bequerel** (Bq).

De activiteit van een hoeveelheid radioactieve materie neemt in de loop van de tijd af met een **vervalkromme** (zie fig. 13.43).

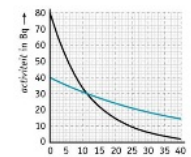
De tijdsduur waarin de helft van het aantal instabiele kernen in een hoeveelheid stof vervalst heet de **halfwaardetijd**.

Hoofdstuk 13: Straling



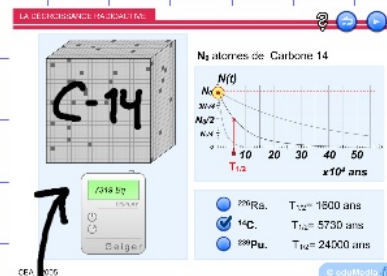
▲ **Figuur 13.26** Doorlaatkrommes voor lood (Pb) en aluminium (Al)

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$$



▲ **Figuur 13.43** Activiteit van twee radioactieve stoffen als functie van de tijd

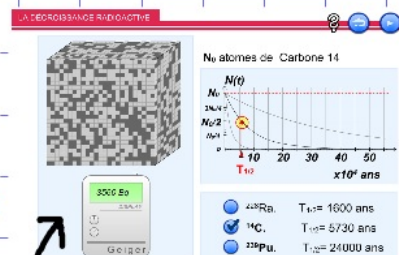
$$A = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$



$$A = 7319 \text{ Bq}$$

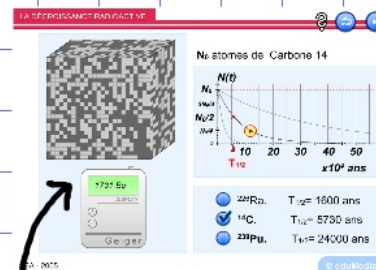
$t = 0$

Animatie halfwaardetijd



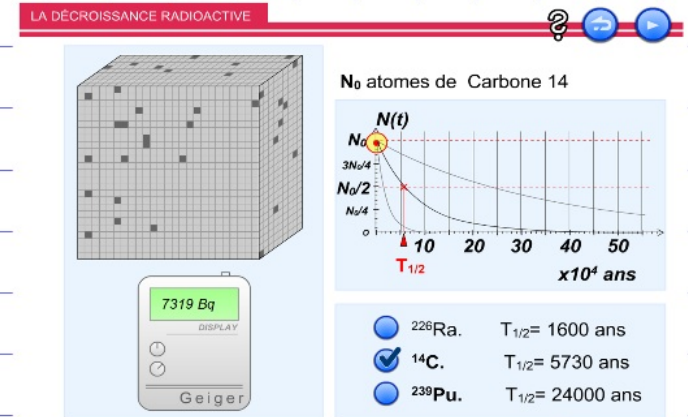
$$A = 3560 \text{ Bq}$$

$t = 5700 \text{ j}$



$$A = 1731 \text{ Bq}$$

$t = 11400 \text{ j}$



CEA - 2005

© eduMedia.fr

Ook de activiteit halveert in één halfwaardetijd. Je kunt hieraan rekenen met:

activiteit in Bq → $A = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$

activiteit op $t=0$ ↑

← verstreken tijd sinds $t=0$

← halfwaardetijd

Bordoeffening 9:

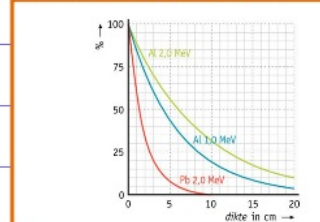
Waterstof-3, $t_{1/2} = 12,3 \text{ j}$

a) 60 kBq b) $A = 2,4 \cdot 10^2 \cdot (0,5)^{\frac{10 \text{ j}}{12,3 \text{ j}}} = 1,4 \cdot 10^2 \text{ kBq}$

c) $A = 2,4 \cdot 10^2 \cdot (0,5)^{\frac{0,833 \text{ j}}{12,3 \text{ j}}} = 2,3 \cdot 10^2 \text{ kBq}$

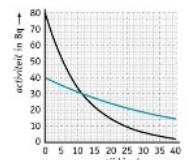
Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.4 Activiteit



▲ **Figuur 13.26** Doorlaatkrachten voor lood (Pb) en aluminium (Al)

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$$



▲ **Figuur 13.43** Activiteit van twee radioactieve stoffen als functie van de tijd

$$A = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

Bordoeffening 9: De beginactiviteit van een buisje tritium was $2,4 \times 10^2 \text{ kBq}$. Reken uit wat de activiteit van het buisje is...

a. na 24,6 j b. na 10 j c. na 10 maanden



12. De activiteit A is de **snelheid** waarmee het aantal overgebleven instabiele kernen N afneemt. **Hoeveel instabiele kernen** er na een tijd nog over zijn kun je uitrekenen met een vergelijkbare formule:

aantal resterende instabiele kernen

$$N = N_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

aantal instabiele kernen op $t=0$

t ← verstreken tijd sinds $t=0$

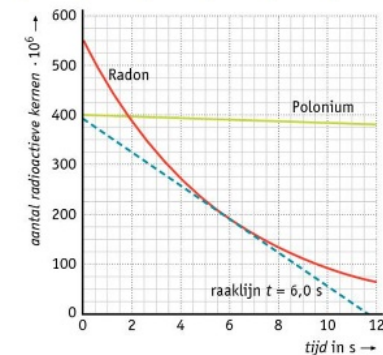
$t_{1/2}$ ← halfwaaertijd

Omdat de activiteit de snelheid is waarmee het aantal overgebleven kernen afneemt kun je de formule voor activiteit vinden door de formule voor het aantal overgebleven kernen te differentiëren. Vervolgens kun je de **activiteit uitdrukken in de halveringstijd en het aantal kernen**:

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$$

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.4 Activiteit



▲ Figuur 13.45 Vervalkrommes van radon en polonium

Bordoeffening 10: Reken uit na hoeveel tijd je nog $5,1 \times 10^7$ kernen Kr-87 je over hebt als je beginhoeveelheid $2,00 \times 10^9$ was.

Bordoeffening 11: Een tritiumbuisje in een horloge heeft een activiteit van 59,0 kBq. Hoeveel tritiumatomen zitten er in het busje?

Bordoefening 10:

Krypton-87, $t_{1/2} = 76,3 \text{ min}$

$$\frac{N}{N_0} = \frac{5,1 \cdot 10^7}{2,00 \cdot 10^9} = 0,0255$$

$$N = N_0 \cdot (0,5)^n \rightarrow \frac{N}{N_0} = (0,5)^n$$

$$n = {}^{0,5}\log\left(\frac{N}{N_0}\right) \rightarrow n = \frac{{}^{10}\log\left(\frac{N}{N_0}\right)}{{}^{10}\log(0,5)} = \frac{-1,59}{-0,30} = 5,29$$

$$t = n \cdot t_{1/2} = 5,29 \cdot 76,3 \text{ min} = 4,0 \cdot 10^2 \text{ min}$$

Bordoefening 11:

$$12,3 \text{ j} = 3,88 \cdot 10^8 \text{ s}$$

$$N = \frac{A \cdot t_{1/2}}{\ln 2} = \frac{59,0 \cdot 10^3 \text{ Bq} \cdot 3,88 \cdot 10^8 \text{ s}}{0,693} = 3,30 \cdot 10^{13}$$

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.4 Activiteit

$$N = N_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \quad \frac{t}{t_{1/2}} = n$$

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$$

$$y = a^x \rightarrow x = \frac{{}^{10}\log y}{{}^{10}\log a}$$

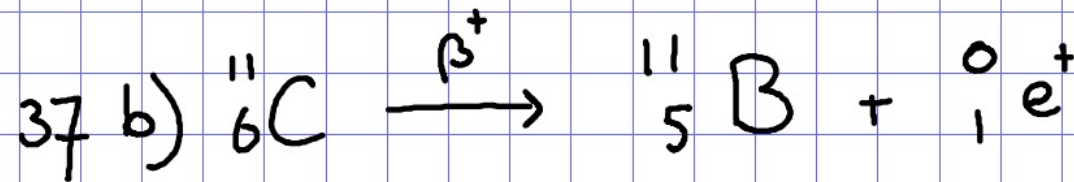
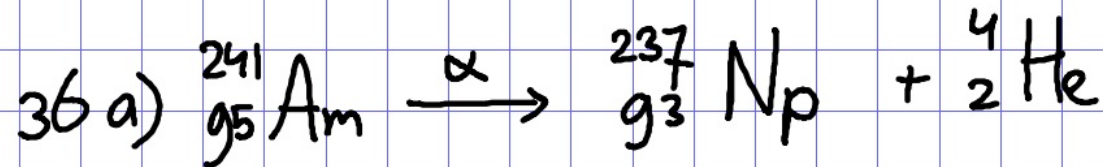
Bordoefening 10: Reken uit na hoeveel tijd je nog $5,1 \times 10^7$ kernen Kr-87 je over hebt als je beginhoeveelheid $2,00 \times 10^9$ was.

Bordoefening 11: Een tritiumbuisje in een horloge heeft een activiteit van $59,0 \text{ kBq}$. Hoeveel tritiumatomen zitten er in het busje?

§ 13.4 Activiteit

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.4



↑
stabiel

35 Maak de juiste keuze.

- a Een radioactieve stof met een grote activiteit heeft een *grote / kleine* halveringstijd.
- b Van een stof met een kleine halveringstijd vervallen *veel / weinig* kernen per seconde.

36 In sommige rookmelders zit een radioactieve bron, Americium-241.

- a Geef de vervalvergelijking van een Am-241 kern.
- b De activiteit van de bron is bij aankoop 30 kBq. Leg uit wat dit betekent.
- c Waarom is de activiteit na 1 jaar bijna niet veranderd?

37 Voor het maken van een PET-scan worden voornamelijk C-11, N-13, O-15 en F-18 gebruikt als tracer.

- a Leg uit wat een tracer is.
- b Toon aan dat al deze tracers een dochterkern hebben die zelf niet radioactief is.
- c Van koolstof en stikstof bestaan nog andere isotopen met β^+ -verval. Leg uit waarom deze niet geschikt zijn als tracer.

§ 13.4 Activiteit

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.4

a)

$$A = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\frac{t}{t_{1/2}} = n$$

$$A = A_0 \cdot (0,5)^n$$

$$\frac{A}{A_0} = (0,5)^n \rightarrow n = \frac{10 \log A/A_0}{10 \log 0,5}$$

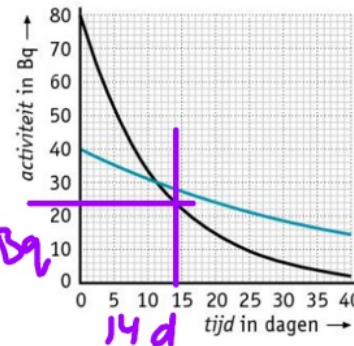
$$n = \frac{10 \log \left(\frac{2,5}{80} \right)}{10 \log (0,5)} = 5$$

$$\rightarrow t_{1/2} = \frac{t}{n} = \frac{40 \text{ d}}{5} = 8 \text{ d}$$

b) $t_{1/2} = 8 \text{ d}$, dus in 60 d zijn er c)

$$\frac{60 \text{ d}}{8 \text{ d}} = 7,5 \text{ halveringen in } A.$$

$$A = 80 \text{ Bq} \cdot (0,5)^{7,5} = 0,44 \text{ Bq}$$



▲ **Figuur 13.43** Activiteit van twee radioactieve stoffen als functie van de tijd

30% van 80 Bq is 24 Bq

38 In figuur 13.43 kun je aflezen dat de activiteit van de bron die hoort bij de zwarte lijn na 40 dagen nog 2,5 Bq is.

- Leg uit hoe je hiermee nauwkeurig de halveringstijd kunt bepalen.
- Schat de activiteit na twee maanden. Leg uit.
- Bereken na hoeveel dagen de activiteit van deze bron met 70% is afgenomen.
- Controleer het antwoord bij vraag c met behulp van figuur 13.43.
- Na hoeveel dagen is de activiteit van de bron die hoort bij de blauwe lijn met 70% afgenomen?
- Wat is de betekenis van het snijpunt in figuur 13.43?
- Van welke stof zijn er op dat moment de meeste radioactieve kernen? Leg uit.

$$A = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$0,30 = (0,5)^n \rightarrow n = \frac{10 \log 0,30}{10 \log 0,5} = 1,74$$

$$\frac{t}{t_{1/2}} = 1,74 \rightarrow t = 1,74 \cdot 8 \text{ d} = 14 \text{ d} *$$

$$\frac{A}{A_0} = 0,30$$

§ 13.4 Activiteit

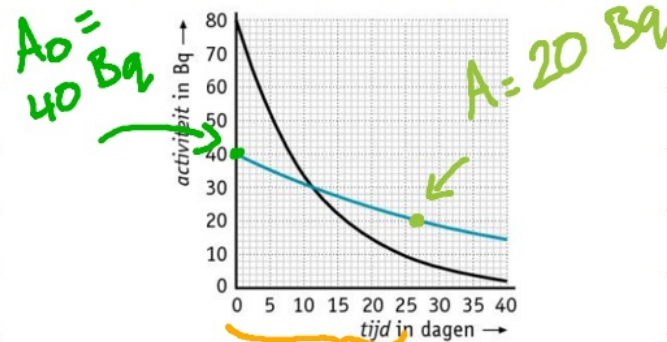
$$e) A = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$0,30 = (0,5)^n$$

$$n = \frac{\log(0,30)}{\log(0,5)} = 1,7$$

$$n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow t = n \cdot t_{1/2} = 47 \text{ d}$$

Hoofdstuk 13: Straling



▲ **Figuur 13.43** Activiteit van twee radioactieve stoffen als functie van de tijd

$$A = N \cdot \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

$$\rightarrow N = A \cdot \frac{t_{1/2}}{\ln 2}$$

Opgaven bij § 13.4

- 38 In figuur 13.43 kun je aflezen dat de activiteit van de bron die hoort bij de zwarte lijn na 40 dagen nog 2,5 Bq is.
- Leg uit hoe je hiermee nauwkeurig de halveringstijd kunt bepalen.
 - Schat de activiteit na twee maanden. Leg uit.
 - Bereken na hoeveel dagen de activiteit van deze bron met 70% is afgenomen.
 - Controleer het antwoord bij vraag c met behulp van figuur 13.43.
 - Na hoeveel dagen is de activiteit van de bron die hoort bij de blauwe lijn met 70% afgenomen?
 - Wat is de betekenis van het snijpunt in figuur 13.43?
 - Van welke stof zijn er op dat moment de meeste radioactieve kernen? Leg uit.

- 39 Van een radioactieve stof is na 48 uur nog een achtste deel over van de oorspronkelijke hoeveelheid. Hoe groot is de halveringstijd van deze stof?

$$t_{1/2} = \frac{48 \text{ u}}{3} = 16 \text{ u}$$

$$\frac{1}{8} = 0,125$$

drie halveringen

§ 13.4 Activiteit

$$A = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\frac{t}{t_{1/2}} = n$$

$$\frac{A}{A_0} = (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\frac{80}{800} = (0,5)^{\frac{t}{12,3 \text{ j}}}$$

$$0,1 = (0,5)^n \rightarrow n = \frac{\log(0,1)}{\log(0,5)}$$

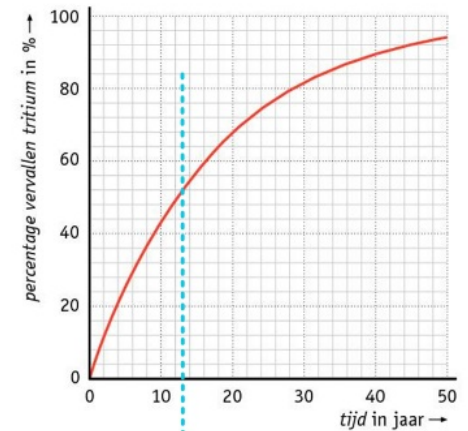
Hoofdstuk 13: Straling

40 Vroeger gebruikte men het gevaarlijke radium in lichtgevende wijzerplaten van horloges. Tegenwoordig gebruikt men het radioactieve tritium. Tritium is een isotoop van waterstof.

- a Welke kern ontstaat bij het verval van tritium?
b In figuur 13.44 is het percentage vervallen tritiumkernen weergegeven als functie van de tijd. Bepaal de halveringstijd van tritium.

$$n = 3,3 \rightarrow t = 3,3 \cdot 12,3 \text{ j} = 41 \text{ j}$$

Opgaven bij § 13.4



▲ Figuur 13.44

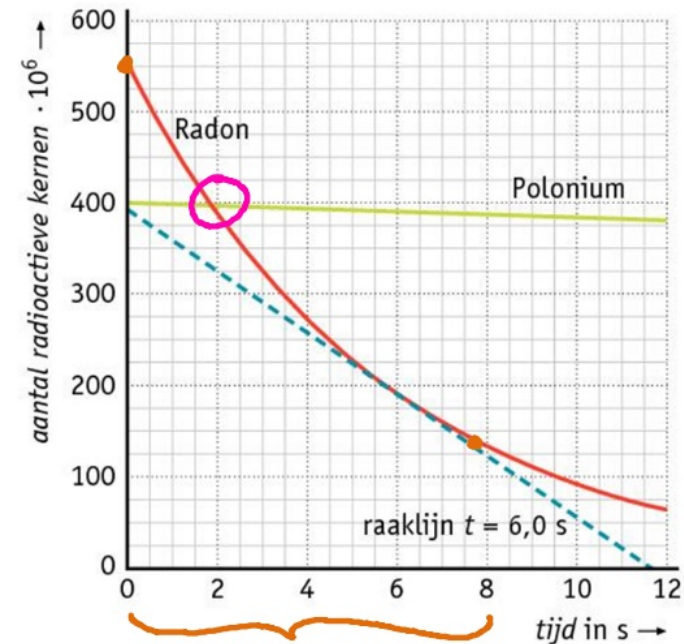
- c In de urine van sommige dragers van deze horloges vond men lage concentraties tritium. Dit tritium verplaatste zich via de plastic horlogekast door de huid van de drager. De activiteit bedroeg 800 Bq per liter. Bepaal hoelang het duurt tot deze activiteit is afgenomen tot 80 Bq.

41 a)

$$\frac{A}{A_0} = (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow \text{onbekende.}$$

41 Bekijk figuur 13.45.

- a Bepaal na hoeveel seconden er nog 25% van de kernen van radon over is.
- b Bereken de halveringstijd van radon met het antwoord van vraag a.
- c Op $t = 1,8$ s is het aantal kernen van radon gelijk aan het aantal kernen polonium.
Maak de juiste keuze.
De activiteit van het radon is op dat moment *groter* / *gelijk* / *kleiner* dan de activiteit van het polonium.
Geef een toelichting bij jouw keuze.

▲ **Figuur 13.45** Vervalkrommes van radon en polonium
 $t = 7,8 \text{ s}$

- 42** Bij zijn onderzoek aan uranium nam Becquerel geen verandering waar in de activiteit. Zelfs na maanden bleek de activiteit niet meetbaar veranderd.
- a** Geef hiervoor een verklaring.
 - b** Leg uit hoe het mogelijk is dat er in de natuur radioactieve isotopen voorkomen met een korte halveringstijd.

§ 13.4 Activiteit

a) $A = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2 \cdot N}{A}$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693 \cdot 400 \cdot 10^6}{1,515 \cdot 10^6} = 183 \text{ s}$$

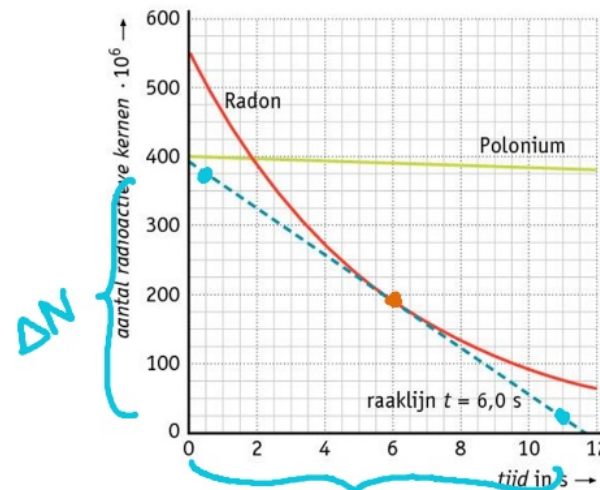
b) $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N = \frac{0,693}{3,92 \text{ s}} \cdot 190 \cdot 10^6 = 33,6 \cdot 10^6 \text{ Bq}$

c) $A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$

d) $N = N_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$

$$\frac{t}{t_{1/2}} = n \rightarrow n = \frac{10 \log \frac{N}{N_0}}{10 \log 0,5}$$

Hoofdstuk 13: Straling



▲ Figuur 13.45 Vervalkrommen van radon en polonium

Opgaven bij § 13.4

- 43 De activiteit van de polonium-bron in figuur 13.45 is op $t = 0$ gelijk aan $1,515 \text{ MBq}$.
- Bereken met behulp van figuur 13.45 de halveringstijd en onderzoek met *Binas* om welke isotoop van polonium het hier gaat.
 - De halveringstijd van het radon in figuur 13.45 is $3,92 \text{ s}$. Bepaal het aantal radon-kernen op $t = 6,0 \text{ s}$ en bereken hiermee de activiteit van het radon op dit tijdstip.
 - Controleer je antwoord bij vraag b met de raaklijn in figuur 13.45.
 - Op $t = 0$ waren er $550 \cdot 10^6$ radon-kernen. Bereken na hoeveel seconden hier nog 4700 kernen van over zijn.
 - Hoe groot was op dat tijdstip de activiteit van het radon?

§ 13.4 Activiteit

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.4

44 Het element jood wordt bij inname door de mens vooral in de schildklier opgenomen. Die eigenschap maakt radioactieve jood-isotopen bruikbaar voor zowel onderzoek van de schildklier als voor behandeling van een schildkliertumor.

- a Leg op grond van twee argumenten uit welke jood-isotoop het meest geschikt is voor schildklieronderzoek: jood-123 of jood-131.
- b Leg uit dat jood-123 niet geschikt is voor de behandeling van schildklierkanker.
- c Om een schildkliertumor te behandelen, wordt bij een patiënt jood-131 ingebracht. Geef de vervalvergelijking van jood-131.
- d De hoeveelheid jood-131 die aan de patiënt wordt toegediend, wordt uitgedrukt in de activiteit van het jood. Voor de vernietiging van een bepaalde tumor wordt een hoeveelheid jood-131 met een activiteit van 5,5 GBq toegediend. Bereken het aantal atomen jood-131 dat is ingespoten.
- e Een deel van het jood-131 wordt via de urine uitgescheiden. De met jood-131 verontreinigde urine mag pas geloosd worden als de activiteit per milliliter niet meer dan 1,85 Bq bedraagt. Op zeker moment blijkt de van een patiënt verzamelde urine ten gevolge van het verval van jood-131 een activiteit van 1,2 MBq te hebben. Het volume van deze urine is 1,1 liter. Bereken na hoeveel dagen deze urine op het riool geloosd mag worden.

§ 13.4 Activiteit

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.4

a) "metastabiel" b) binas 25A kijken

c) $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

$400 \text{ Ci} = 1,48 \cdot 10^{13} \text{ Bq}$

$$N = \frac{A \cdot t_{1/2}}{\ln 2} = \frac{1,48 \cdot 10^{13} \cdot 237240}{0,693} = 5,1 \cdot 10^{18} \text{ atomen}$$

$65,9 \text{ u} = 237240 \text{ s}$

daarna:

$54 + 55$

Nu $45 + 48$

45 Bij het NRG in Petten (figuur 13.47) wordt molybdeen-99 geproduceerd dat onder andere vervalt tot de isotoop technetium-99m, die in ziekenhuizen veelvuldig wordt gebruikt voor diagnostisch onderzoek. Het NRG produceert meer dan 1/3 deel van alle in de wereld gebruikte isotopen voor medisch onderzoek. Dagelijks worden hiermee ruim 24 000 patiënten geholpen.

a Waar staat de 99m voor?

b Waarom produceren ze in Petten niet gewoon meteen de dochterkern Tc-99m in plaats van de moederkern Mo-99?

c De installatie in Petten produceert per week een hoeveelheid molybdeen met een activiteit van 400 curie. De 'curie' is een oude eenheid voor de activiteit die volgens Binas tabel 5 inmiddels de status van verboden eenheid heeft.

Bereken hoeveel kernen er aanwezig zijn in een hoeveelheid Mo-99 met een activiteit van 400 curie.

d Bij medische toepassingen is naast de halveringstijd van het γ -verval van Tc-99m ook de biologische halveringstijd t_{bio} van belang. Dit is de tijd die het lichaam gemiddeld nodig heeft om de helft van het aanwezige Tc-99m uit te scheiden.

Een patiënt mag pas bezoek ontvangen van kleine kinderen 22 uur na het toedienen van het technetium. De activiteit is dan afgenomen tot 0,50% van de waarde bij het toedienen.

Voor de activiteit $A(t)$ geldt de formule:

$$A(t) = A(0) \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{1/2}}} \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{bio}}}$$

Bereken de biologische halveringstijd van Tc-99m.
e Geef de redenen waarom Tc-99m geschikt is voor medisch onderzoek. Geef argumenten op basis van het doordringend vermogen van de ontstane straling, de halveringstijd en de ontstane dochterkern.
Naar examen vwo 2005-I.

§ 13.4 Activiteit

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.4

d)

$$A = A_0 \cdot \underbrace{(0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}}_{\text{natuurkundig verval}} \cdot \underbrace{(0,5)^{\frac{t}{t_{\text{bio}}}}}_{\text{biologisch verval}}$$

$\frac{t}{t_{\text{bio}}} = n$ (enige onbekende)
 $t = 6,0 \text{ u}$
 $t = 22 \text{ u}$
 $\frac{A}{A_0} = 0,00050$

$$0,0005 = (0,5)^{\frac{22}{6,0}} \cdot (0,5)^{\frac{22}{t_{\text{bio}}}}$$

$n = \frac{22}{t_{\text{bio}}}$

$$0,0005 = 0,0787 \cdot 0,5^n$$

$$0,0063 = 0,5^n \rightarrow n = \frac{\log 0,0063}{\log 0,5} = 7,3$$

$$t_{\text{bio}} = \frac{22 \text{ u}}{7,3} = 3,0 \text{ u}$$

daarna:
54 + 55

Nu 45 + 48

45 Bij het NRG in Petten (figuur 13.47) wordt molybdeen-99 geproduceerd dat onder andere vervalt tot de isotoop technetium-99m, die in ziekenhuizen veelvuldig wordt gebruikt voor diagnostisch onderzoek. Het NRG produceert meer dan 1/3 deel van alle in de wereld gebruikte isotopen voor medisch onderzoek. Dagelijks worden hiermee ruim 24 000 patiënten geholpen.

a Waar staat de 99m voor?

b Waarom produceren ze in Petten niet gewoon meteen de dochterkern Tc-99m in plaats van de moederkern Mo-99?

c De installatie in Petten produceert per week een hoeveelheid molybdeen met een activiteit van 400 curie. De 'curie' is een oude eenheid voor de activiteit die volgens Binas tabel 5 inmiddels de status van verboden eenheid heeft. Bereken hoeveel kernen er aanwezig zijn in een hoeveelheid Mo-99 met een activiteit van 400 curie.

d Bij medische toepassingen is naast de halveringstijd van het γ -verval van Tc-99m ook de biologische halveringstijd t_{bio} van belang. Dit is de tijd die het lichaam gemiddeld nodig heeft om de helft van het aanwezige Tc-99m uit te scheiden.

Een patiënt mag pas bezoek ontvangen van kleine kinderen 22 uur na het toedienen van het technetium. De activiteit is dan afgenomen tot 0,05% van de waarde bij het toedienen.

Voor de activiteit $A(t)$ geldt de formule:

$$A(t) = A(0) \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{1/2}}} \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{\text{bio}}}} \quad (0,0005)$$

Bereken de biologische halveringstijd van Tc-99m.

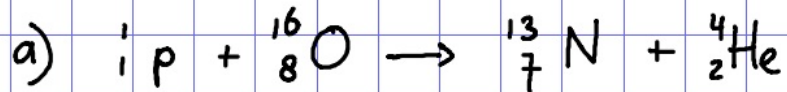
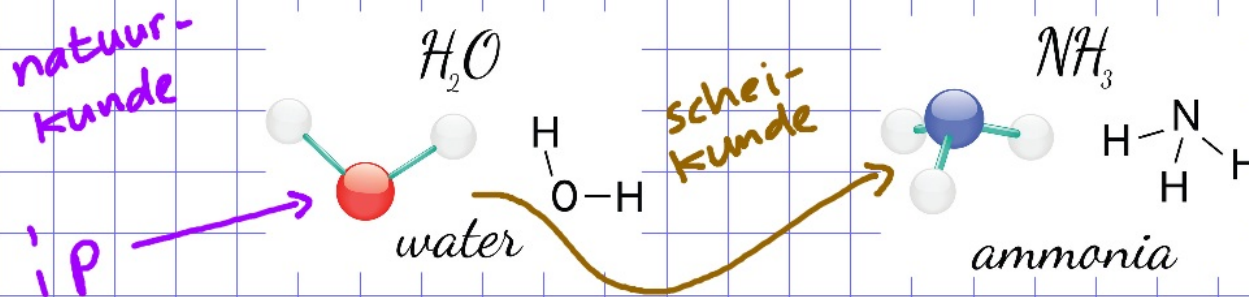
e Geef de redenen waarom Tc-99m geschikt is voor medisch onderzoek. Geef argumenten op basis van het doordringend vermogen van de ontstane straling, de halveringstijd en de ontstane dochterkern.

Naar examen vwo 2005-I.

§ 13.4 Activiteit

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.4



b) $t_{1/2} = 9,97 \text{ min} = 0,166 \text{ u}$

$A = 324 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{0,166}} = 5,00 \cdot 10^6 \text{ Bq}$

daarna:
54 + 55 ←

Nu 45 + 46

46 Ziekenhuizen produceren ammoniak-tracers (NH_3) met N-13 om met een PET-scan onderzoek te doen naar de doorbloeding van patiënten. N-13 wordt gemaakt door water te beschieten met protonen die met een cyclotron zijn versneld. Bij de reactie ten gevolge van de beschieting ontstaat nog een deeltje.

- Geef de reactievergelijkingen van de productie en het verval van N-13.
- Een uur voordat de PET-scan wordt gemaakt, krijgt de patiënt een tracer met een activiteit van 324 MBq ingespoten. Daarna wordt een uur gewacht. Bereken de activiteit van de tracer op het moment dat de PET-scan start.
- De scan zelf duurt 13 minuten. Bereken de relatieve afname in intensiteit van het PET-sigitaal.
- Bereken het aantal N-13-kernen dat tijdens de scan is vervallen.

§ 13.4 Activiteit

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.4

c) $t_{1/2} = 9,97 \text{ min} = 598 \text{ s}$ $t = 13 \text{ min}$

$$A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} \rightarrow \frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{13}{9,97}} = 0,40502$$

(= 40,5%)

dus een afname van 0,59 (= 59%)

d) $N = \frac{A \cdot t_{1/2}}{\ln 2} = \frac{5,0 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot 598 \text{ s}}{0,693} = 4,3 \cdot 10^9 \text{ kernen}$

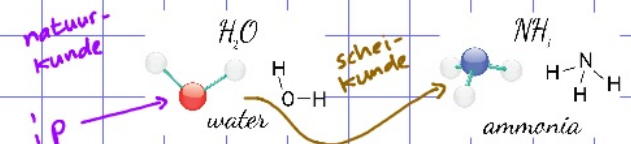
dus na de scan nog $1,7 \cdot 10^9$ kernen over $\leftarrow \times 0,40502$

daarna:
54 + 55 $\leftarrow$

Nu 45 + 46

46 Ziekenhuizen produceren ammoniak-tracers (NH_3) met N-13 om met een PET-scan onderzoek te doen naar de doorbloeding van patiënten. N-13 wordt gemaakt door water te beschieten met protonen die met een cyclotron zijn versneld. Bij de reactie ten gevolge van de beschieting ontstaat nog een deeltje.

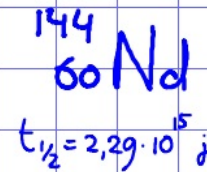
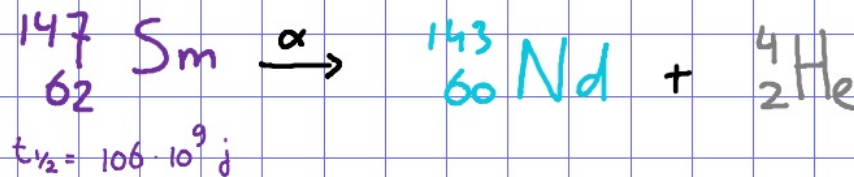
- Geef de reactievergelijkingen van de productie en het verval van N-13.
- Een uur voordat de PET-scan wordt gemaakt, krijgt de patiënt een tracer met een activiteit van 324 MBq ingespoten. Daarna wordt een uur gewacht. Bereken de activiteit van de tracer op het moment dat de PET-scan start.
- De scan zelf duurt 13 minuten. Bereken de relatieve afname in intensiteit van het PET-sigitaal.
- Bereken het aantal N-13-kernen dat tijdens de scan is vervallen.



§ 13.4 Activiteit

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.4



f) verhouding:

$$\frac{\text{aantal kernen } ^{143}_{60}\text{Nd}}{\text{aantal kernen } ^{144}_{60}\text{Nd}} =$$

47 Lees bron 13.

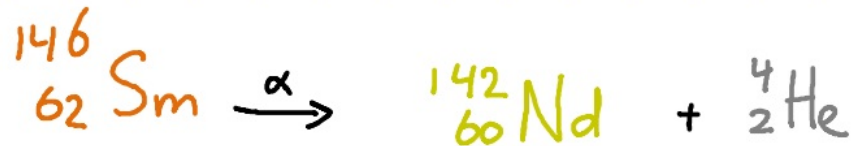
Stel dat een brokstukje van een mineraal bij de vorming van een meteoriet 80 moederkernen bevat en 20 dochterkernen.

- Leg uit dat er na één halveringstijd 40 moederkernen zijn en 60 dochterkernen.
- Hoeveel dochterkernen zijn er dan na vier halveringstijden?
- Een techniek om de leeftijd van meteorieten te bepalen is de samarium-neodymium-datering. Nd-142 en Nd-143 zijn beide dochterkernen van samarium-isotopen. Ontstaan Nd-142 en Nd-143 door α - of β -verval? Geef een toelichting.
- Bij de datering wordt gebruik gemaakt van het verval van Sm-147 ($t_{1/2} = 106 \cdot 10^9$ jaar). Hoeveel neutronen zitten er in een kern van Sm-147?
- In meteorieten zit ook Nd-144 ($t_{1/2} = 2,29 \cdot 10^{15}$ jaar). Het heet heelal is ongeveer $13,75 \cdot 10^9$ jaar oud. Leg uit dat de hoeveelheid Nd-144 ook op de schaal van de leeftijd van meteorieten ongeveer constant is.
- Nd-143 is stabiel. Leg uit dat de verhouding tussen het aantal kernen Nd-143 / Nd-144 in de loop der tijd steeds groter wordt.
- Bij de vorming van mineralen is de verhouding Sm-147 en Nd-143 niet altijd dezelfde. De blauwe en de rode lijn in figuur 13.48 geven weer wat er als verloop van de tijd gebeurt met mineralen met een verschillende isotopenverhouding.

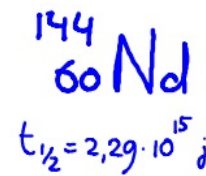
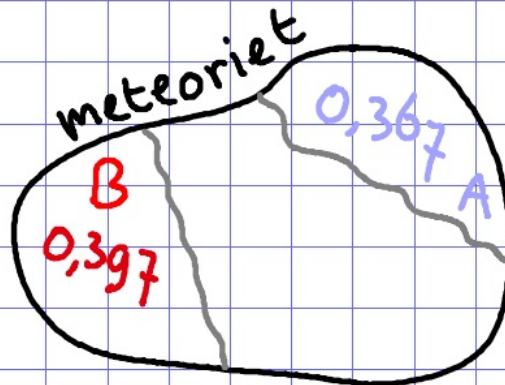
§ 13.4 Activiteit

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.4

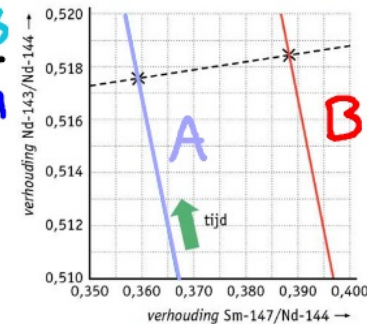
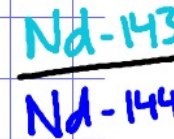


g)



f) verhouding:

$$\frac{\text{aantal kernen } {}^{143}_{60}\text{Nd}}{\text{aantal kernen } {}^{144}_{60}\text{Nd}}$$



▲ Figuur 13.48

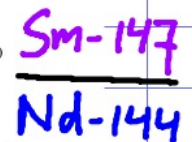
Omdat de verhouding tussen het aantal kernen Nd-143 / Nd-144 in de loop der tijd steeds groter wordt, loopt de tijd in deze grafiek van onder naar boven.

De twee zwarte meetpunten horen bij een meting aan twee mineralen van dezelfde meteoriet. Deze mineralen zijn dus even oud, maar de verhouding Sm-147 / Nd-144 was bij de vorming van de mineralen verschillend en daarom nu nog steeds.

Het hellinggetal van de stippellijn is een maat voor de verhouding tussen de huidige activiteit en de beginactiviteit (A / A_0). De leeftijd van de meteoriet (in jaren) is dan te berekenen met de volgende formule:

$$\text{leeftijd} = t_{\frac{1}{2}\text{Sm-147}} \cdot \frac{\log(1 + \text{helling})}{\log(2)}$$

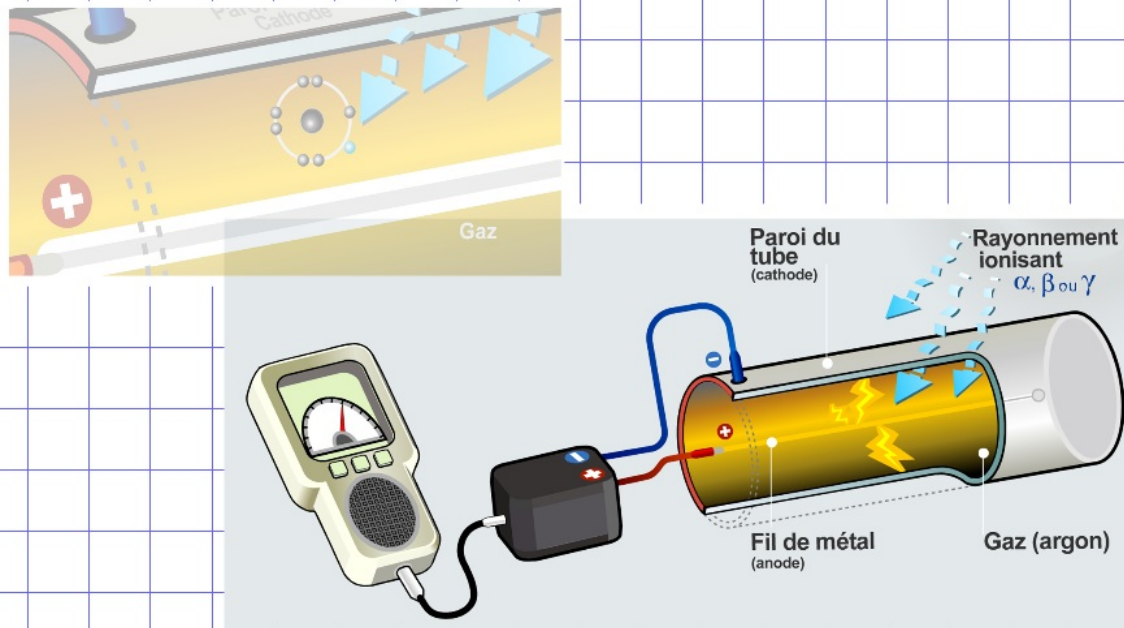
Het hellinggetal van de grafiek is $29,8 \cdot 10^{-3}$. Bereken de leeftijd van deze meteoriet.



↑
varieert
tussen
varian-
ten van
een mine-
raalsort.

§ 13.5 Straling en risico's

14. Ioniserende straling kan gemeten worden met een **GM-telbuis**. In de buis zit een edelgas dat door invallende straling geïoniseerd raakt. Het elektron en het ontstane ion recombineren via een schakeling met een luidspreker die daarbij een tikgeluid geeft.



Hoofdstuk 13: Straling



▲ Figuur 13.51 Geiger-Müller teller



activiteit
meten



▲ Figuur 13.52 Dosimeter



dosis
meten

Animatie GM-telbuis

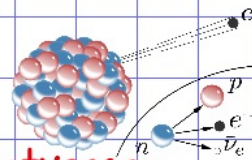
15. De totale hoeveelheid stralingsenergie die je per kilogram lichaamswefsel hebt ontvangen binnen een bepaalde tijdsduur heet de **dosis**. Deze kun je als volgt berekenen:

dosis
in gray (Gy) →

$$D = \frac{E_{\text{str}}}{m}$$

← ontvangen
energie in J

← massa
persoon in kg



De dosis is geen goede maat voor de schade aan je lichaam. Om die schade vast te stellen kun je het **dosequivalent** berekenen, dat ook rekening houdt met het soort straling:

dosequivalent
in sievert (Sv) →

$$H = w_r \cdot D$$

↑
stralingsweegfactor

← dosis in Gy

Let op: er is een verschil tussen **bestraling** en **besmetting**. Bij besmetting draag je radioactief materiaal met je mee op of in je lichaam dat continu straling afgeeft aan jou en je omgeving.

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.5 Straling en risico's

$H = 10^{-4} \text{ mSv}$



Binas, tabel 27D

	weegfactor w_r
α-straling	20
snelle neutronen	10–20
protonen	5
β-straling	1
γ-straling	1
röntgenstraling	1

▲ **Figuur 13.56** Stralingsweegfactoren

$$a) \quad t_{1/2} = 3,3 \text{ u} \quad \beta^- \text{ verval} \quad E = 0,72 \text{ MeV} \\ = 11880 \text{ s} \quad = 1,152 \cdot 10^{-13} \text{ J} \quad m = 208,98108 \text{ u} \\ = 3,46901 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

$$b) \quad N = \frac{A \cdot t_{1/2}}{\ln 2} = \frac{8,60 \cdot 10^3 \cdot 11880}{0,693} = 1,47 \cdot 10^8$$

$$c) \quad 8,6 \cdot 10^3 \cdot 1,152 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 9,91 \cdot 10^{-10} \text{ J/s}$$

$$d) \quad \text{in } 1,0 \text{ u} \rightarrow E = 3600 \cdot 9,91 \cdot 10^{-10} \text{ J/s} \\ = 3,57 \cdot 10^{-6} \text{ J/u}$$

$$D = \frac{E_{\text{str}}}{m} = \frac{3,57 \cdot 10^{-6} \text{ J}}{78,0 \text{ kg}} = 4,5 \cdot 10^{-8} \text{ Gy}$$

$$e) \quad \text{bètastraling, dus} \quad H = 4,5 \cdot 10^{-8} \text{ Sv} \\ (\text{per uur}) \quad = 0,045 \text{ } \mu\text{Sv}$$

$$f) \quad m = 1,47 \cdot 10^8 \cdot 3,469 \cdot 10^{-25} \text{ kg} = 5,10 \cdot 10^{-17} \text{ kg}$$

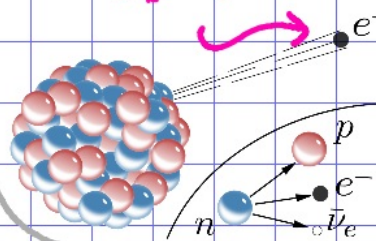
$$D = \frac{E_{\text{str}}}{m}$$

$$1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$1,0 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$$

$$E_{\beta} = 0,72 \text{ MeV}$$



Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.5 Straling en risico's

- Bordoeffening 12:** Een hoeveelheid puur Lood-209 heeft een activiteit van 8,60 kBq.
- Zoek de isotoop op in Binas tabel 25A en schrijf op wat de halfwaardetijd is, welk verval het ondergaat, wat de energie van het deeltje is per verval en wat de massa van de isotoop is.
 - Reken uit hoeveel atomen Lood-209 er in deze hoeveelheid zitten.
 - Reken uit hoeveel energie de hoeveelheid per seconde uitstraalt.
 - Stel, deze hoeveelheid is in je maag terechtgekomen. Reken uit welke stralingsdosis je na een uur hebt opgelopen. Ga uit van een lichaamsmassa van 78,0 kg.
 - Reken ook het dosisequivalent uit in microsievert per uur.
 - Bereken de massa van deze hoeveelheid lood.

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.5 Straling en risico's

- Bordoeffening 12:** Een hoeveelheid puur Lood-209 heeft een activiteit van 8,60 kBq.
- Zoek de isotoop op in Binas tabel 25A en schrijf op wat de halfwaardetijd is, welk verval het ondergaat, wat de energie van het deeltje is per verval en wat de massa van de isotoop is.
 - Reken uit hoeveel atomen Lood-209 er in deze hoeveelheid zitten.
 - Reken uit hoeveel energie de hoeveelheid per seconde uitstraalt.
 - Stel, deze hoeveelheid is in je maag terechtgekomen. Reken uit welke stralingsdosis je na een uur hebt opgelopen. Ga uit van een lichaamsmassa van 78,0 kg.
 - Reken ook het dosisequivalent uit in microsievert per uur.
 - Bereken de massa van deze hoeveelheid lood.

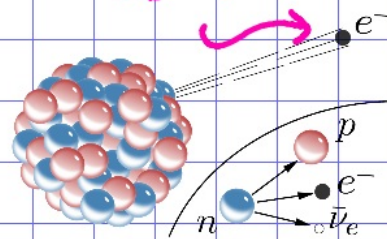
$$D = \frac{E_{\text{str}}}{m}$$

$$1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$1,0 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

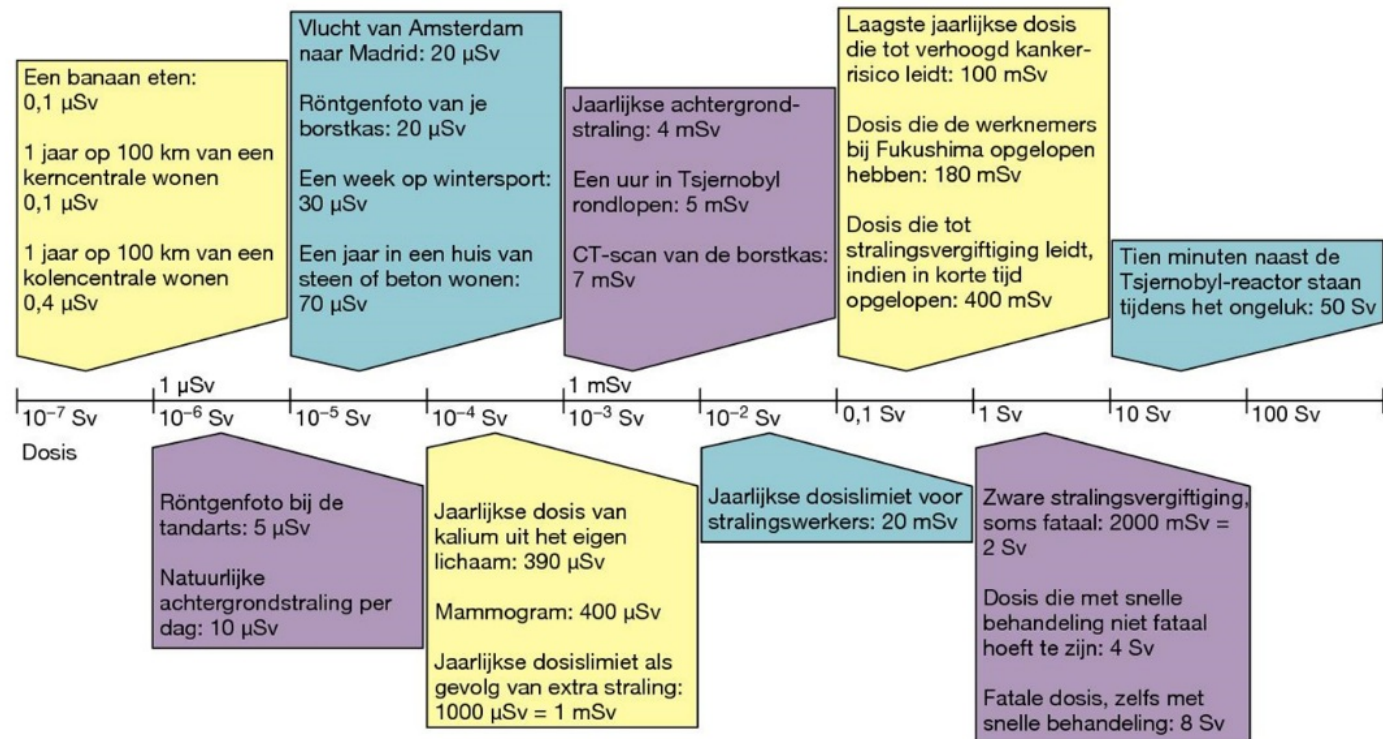
$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$$

$$E_{\nu} = 0,72 \text{ MeV}$$



Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.5 Straling en risico's



2.13 Verschillende activiteiten en de bijbehorende dosis

15 (vervolg). Een nog nauwkeuriger manier om biologische schade uit te drukken is in de effectieve totale lichaamsdosis. Hiervoor wordt het dosisequivalent nog eens vermenigvuldigd met een **weefselweegfactor**, w_t . Deze factor houdt rekening met welk deel van je lichaam bestraald is.

$$H = w_r \cdot w_t \cdot D$$

dosisequivalent in sievert (Sv) stralingsweegfactor weefselweegfactor dosis in Gy

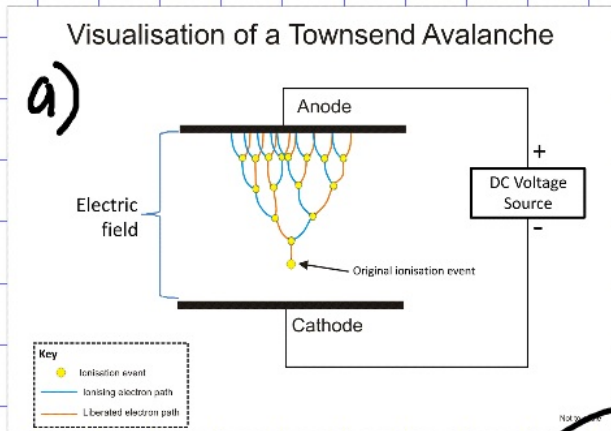
Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.5 Straling en risico's

orgaan of weefsel	weefselweegfactor w_t
geslachtsorganen	0,08
rood beenmerg	0,12
dikke darm	0,12
longen	0,12
maag	0,12
borstklier	0,12
blaas	0,04
lever	0,04
slokdarm	0,04
schildklier	0,04
huid	0,01
botoppervlak	0,01
hersenen	0,01
speekselklieren	0,01
overig weefsel	0,12

▲ **Figuur 13.57** Overzicht van weefselfactoren

§ 13.5 Straling en risico's



tussen punten
A en B: $U = 0 \text{ V}$

tussen punten A en B:
 $U = 5,0 \text{ V}$

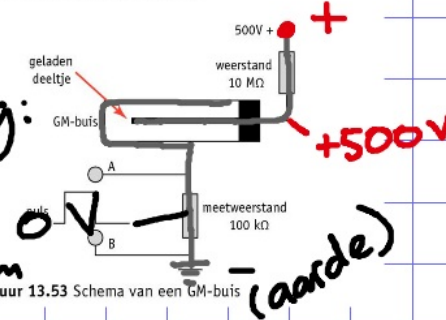
Hoofdstuk 13: Straling

b)

open
schakeling:
loopt
geen stroom

Opdrachten

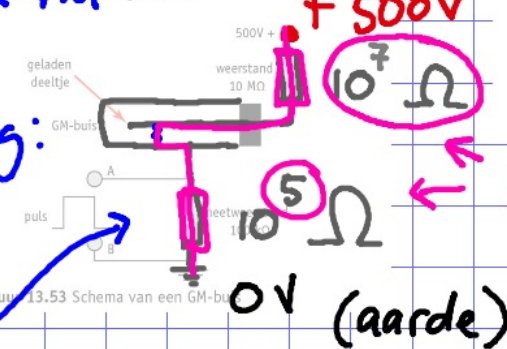
48 In figuur 13.53 is schematisch de schakeling in een Geiger-Müllertelbuis getekend.



door vonk nu
gesloten
schakeling:
loopt wel
stroom

Opdrachten

48 In figuur 13.53 is schematisch de schakeling in een Geiger-Müllertelbuis getekend.



Opgaven bij § 13.5

Tussen de mantel van de GM-buis en de pin staat een spanning van 500 V zolang er geen stroom loopt. Bij de ionisatie van het gas ontstaan in eerste instantie slechts enkele ion / elektronparen.

- Leg uit dat hierdoor een lawine van ionisaties ontstaat.
- De weerstand van de buis mag verwaarloosd worden op het moment dat de buis doorslaat. Bereken de grootte van de spanningspuls tussen A en B.
- Twee ioniserende deeltjes die de GM-buis binnenkomen, kunnen afzonderlijk worden geteld als er een minimale tijd zit tussen het binnenkomen. Deze tijd heet de dode tijd. Hoeveel deeltjes per seconde kun je maximaal tellen bij een dode tijd van 2,0 ms?
- Je meet met deze GM-buis 4000 pulsen per minuut bij een dode tijd van 2,0 ms. Bereken het werkelijke aantal deeltjes dat de buis is gepasseerd.
- Bij de douane wordt gecontroleerd op de invoer van radioactief materiaal. Leg uit waarom ze gebruik maken van een GM-teller en niet van een badge.

spanningsdeling

§ 3.4 (SE-1)

§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5

$$c) \quad \frac{1000 \text{ ms}}{2,0 \text{ ms}} = 5,0 \cdot 10^2 \text{ pulsen/s}$$

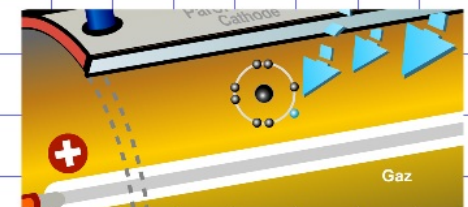
$$d) \quad 4000 \times 2,0 \text{ ms} = 8,0 \text{ s totale dode tijd in één minuut}$$

dus echte meettijd is 52 s

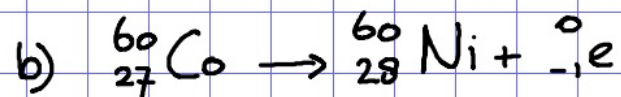
$$\rightarrow \frac{4000 \text{ pulsen}}{52 \text{ s}} = 4,6 \cdot 10^3 / \text{min}$$

Tussen de mantel van de GM-buis en de pin staat een spanning van 500 V zolang er geen stroom loopt. Bij de ionisatie van het gas ontstaan in eerste instantie slechts enkele ion / elektronparen.

- a Leg uit dat hierdoor een lawine van ionisaties ontstaat.
- b De weerstand van de buis mag verwaarloosd worden op het moment dat de buis doorslaat. Bereken de grootte van de spanningspuls tussen A en B.
- c Twee ioniserende deeltjes die de GM-buis binnenkomen, kunnen afzonderlijk worden geteld als er een minimale tijd zit tussen het binnenkomen. Deze tijd heet de dode tijd. Hoeveel deeltjes per seconde kun je maximaal tellen bij een dode tijd van 2,0 ms?
- d Je meet met deze GM-buis 4000 pulsen per minuut bij een dode tijd van 2,0 ms. Bereken het werkelijke aantal deeltjes dat de buis is gepasseerd.
- e Bij de douane wordt gecontroleerd op de invoer van radioactief materiaal. Leg uit waarom ze gebruik maken van een GM-teller en niet van een badge.



§ 13.5 Straling en risico's



d) Co-60, $t_{1/2} = 5,27 \text{ j}$

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

$$194 = 1321 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$0,146 = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$n = \frac{\frac{1}{2} \log 0,146}{\frac{1}{2} \log \frac{1}{2}} = \frac{\log 0,146}{\log \frac{1}{2}} = 2,77 \rightarrow t = 2,77 \cdot 5,27 \text{ j} = 14,6 \text{ j}$$

$n = \frac{t}{t_{1/2}}$

Hoofdstuk 13: Straling

49 Armand en Marije willen met behulp van een meting een ouderdomsbepaling van radioactieve bronnen doen. Ze gebruiken hiervoor een GM-teller en enkele verschillende bronnen met kobalt-60.

- Noem twee argumenten waarom je met een GM-teller niet de echte activiteit van een bron kunt meten.
- In deze opgave gaan we ervan uit dat de kobalt-kernen alleen vervallen door β^- -verval. Geef de vervalvergelijking.
- Armand en Marije beschikken over 3 verschillende bronnen kobalt-60, die bij aanschaf identiek waren. Ze plaatsen de bronnen één voor één op een afstand van 10 cm voor de GM-teller en meten steeds 5 keer het aantal pulsen gedurende 10 seconden. Dit doen ze ook voor de achtergrondstraling.

Opgaven bij § 13.5

Leg uit waarom het verstandig is om per bron meerdere metingen te doen.

d In figuur 13.54 staat het resultaat van de metingen.

bron	gemiddeld aantal pulsen in 10 s
bron I	745
bron II	1321
bron III	194
achtergrond	4,0

▲ Figuur 13.54

Omdat de bronnen niet op hetzelfde moment zijn aangeschaft, verschilt hun huidige activiteit. Bekend is dat de jongste bron 5,0 jaar oud is. Bereken met behulp van de gegevens in de tabel de leeftijd van de oudste van de drie bronnen.

e Armand en Marije willen onderzoeken hoe het aantal gemeten pulsen afhangt van de afstand van de bron tot de GM-teller.

Leg uit dat deze relatie voldoet aan de kwadratenwet.

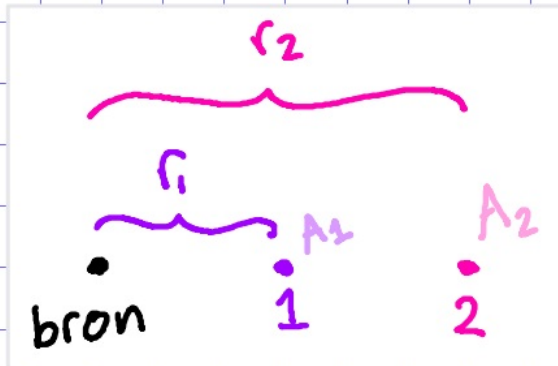
f Bereken op welke afstand bron I van de GM-teller gezet moet worden om 100 pulsen in 10 seconden te meten.

← + 5,0 j dus 19,6 j

§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5



$$\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 = \frac{A_1}{A_2} \rightarrow \frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}$$

$$r_2 = r_1 \cdot \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \rightarrow r_2 = 10 \text{ cm} \cdot \sqrt{\frac{741}{96}} = 28 \text{ cm}$$

49 Armand en Marije willen met behulp van een meting een ouderdomsbepaling van radioactieve bronnen doen. Ze gebruiken hiervoor een GM-teller en enkele verschillende bronnen met kobalt-60.

- Noem twee argumenten waarom je met een GM-teller niet de echte activiteit van een bron kunt meten.
- In deze opgave gaan we ervan uit dat de kobalt-kernen alleen vervallen door β -verval. Geef de vervalvergelijking.
- Armand en Marije beschikken over 3 verschillende bronnen kobalt-60, die bij aanschaf identiek waren. Ze plaatsen de bronnen één voor één op een afstand van 10 cm voor de GM-teller en meten steeds 5 keer het aantal pulsen gedurende 10 seconden. Dit doen ze ook voor de achtergrondstraling.

Leg uit waarom het verstandig is om per bron meerdere metingen te doen.

d In figuur 13.54 staat het resultaat van de metingen.

bron	gemiddeld aantal pulsen in 10 s
bron I	745
bron II	1321
bron III	194
achtergrond	4,0

▲ Figuur 13.54

Omdat de bronnen niet op hetzelfde moment zijn aangeschaft, verschilt hun huidige activiteit. Bekend is dat de jongste bron 5,0 jaar oud is.

Bereken met behulp van de gegevens in de tabel de leeftijd van de oudste van de drie bronnen.

e Armand en Marije willen onderzoeken hoe het aantal gemeten pulsen afhangt van de afstand van de bron tot de GM-teller.

Leg uit dat deze relatie voldoet aan de kwadratenwet.

f Bereken op welke afstand bron I van de GM-teller gezet moet worden om 100 pulsen in 10 seconden te meten.

"omgekeerde kwadratenwet"

§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5

- 50 a** In welk van de volgende gevallen kan er sprake zijn van radioactieve besmetting?
- A Iemand eet met cesium besmette spinazie.
 - B De tandarts maakt een röntgenfoto van je gebit.
 - C Je eet bestraald fruit.
 - D Bij een ongeluk in een kerncentrale komt een radioactief gas vrij.
 - E Een patiënt met een tumor wordt bestraald.
- b** In welk van de vijf bovengenoemde gevallen ontvang je geen straling? Leg uit.
- c** Is het gevaarlijk om in de buurt te komen van een patiënt die is bestraald? Leg uit.

§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5

- 51** Drie dagen na de ramp in Tsjernobyl kwam veel van het ontsnapte jood-131 via wind en regen terecht in Polen. Er werden jodiumtabletten uitgedeeld aan de bevolking. Een jodiumtablet bevat het stabiele I-127 en dit wordt opgenomen door de schildklier. Het lichaam neemt niet meer jood op dan nodig is.
- a** Waarom helpt een jodiumtablet de radioactieve besmetting tegen te gaan?
 - b** Waarom is een groot gebied rondom de centrale nog steeds niet bewoonbaar?
 - c** Behalve jood zat er ook cesium-137 op de besmette spinazie in Nederland.
Geef een mogelijke reden waarom het cesium nauwelijks bijdroeg tot de gemeten radioactiviteit.
 - d** Het advies was destijds om de spinazie een week te laten liggen voor het op te eten. Ga met een berekening na of de activiteit dan onder de toegestane waarde ligt. (Tip: zie bron 15)
 - e** Nog steeds overlijden mensen als gevolg van de ramp. Leg uit hoe dat kan.

§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5

- 52 a** Voor welke soorten straling is de stralingsdosis gelijk aan het dosisequivalent?
- b** Welke soort straling is vooral gevaarlijk bij uitwendige bestraling? Leg uit.
- c** En welke bij inwendige bestraling? Leg uit.
- d** De tandarts maakt een röntgenfoto van je kaak. De energie van de röntgenbundel is $5,0 \cdot 10^{-6}$ J. 60% van de opvallende straling wordt geabsorbeerd. De bestraalde massa is 40 g. Bereken de stralingsdosis die de kaak absorbeert.

§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5

- 53 Een persoon heeft door inademing een α -straler in zijn longen. Hierdoor heeft hij een dosis van 1,25 mGy opgelopen.
- a Is hier sprake van bestraling of besmetting?
 - b Toon aan dat de equivalente dosis van de longen 25 mSv is.
 - c In de tabel in figuur 13.57 kun je zien wat de weefselweegfactoren zijn. Bereken met behulp van deze tabel de effectieve totale lichaamsdosis.

<i>orgaan of weefsel</i>	<i>weefselweegfactor w_T</i>
geslachtsorganen	0,08
rood beenmerg	0,12
dikke darm	0,12
longen	0,12
maag	0,12
borstklier	0,12
blaas	0,04
lever	0,04
slokdarm	0,04
schildklier	0,04
huid	0,01
botoppervlak	0,01
hersenen	0,01
speekselklieren	0,01
overig weefsel	0,12

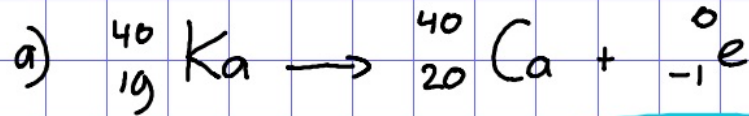
▲ **Figuur 13.57** Overzicht van weefselfactoren

- d Laat met behulp van de tabel zien dat de equivalente dosis bij bestraling van het hele lichaam gelijk is aan de effectieve totale lichaamsdosis.

§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5



b) $m = 39,96400 \text{ u} = 6,63 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
 ↳ $\frac{0,00100 \text{ kg}}{6,63 \cdot 10^{-26} \text{ kg}} = 1,51 \cdot 10^{22} \text{ atomen}$

c) $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N \rightarrow N = \frac{A \cdot t_{1/2}}{\ln 2}$
 $N = \frac{3,1 \cdot 10^3 \text{ Bq} \cdot 4,0366 \cdot 10^6 \text{ s}}{0,693} = 1,81 \cdot 10^{20} \text{ atomen}$

$1,81 \cdot 10^{20} \times 6,63 \cdot 10^{-26} \text{ kg} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \rightarrow \times \frac{1}{0,00012} = 0,10 \text{ kg}$

let op:
gebruik de isotoopmassa uit tabel 25A en niet de atoommassa uit het periodiek systeem!

- 54 In het spierstelsel van een volwassene bevindt zich kalium, dat voor een klein deel uit de isotoop K-40 bestaat. Kalium-40 is radioactief en vervalt onder uitzending van β -straling.
- Geef de vervalvergelijking van K-40.
 - Toon aan 1,00 gram kalium uit $1,51 \cdot 10^{22}$ atomen bestaat.
 - De gemiddelde activiteit van het radioactieve kalium in het spierstelsel van een volwassene bedraagt $3,1 \cdot 10^3 \text{ Bq}$. Kalium bestaat voor 0,012% uit de isotoop K-40. Bereken de massa van al het kalium in het spierstelsel van een volwassene.
 - De energie die een β -deeltje uit de kaliumkern afstaat aan het spierstelsel is gemiddeld 0,44 MeV. Een volwassene heeft gemiddeld 30 kg spierweefsel. Bereken de stralingsdosis die het spierstelsel in een jaar van dit kalium absorbeert.
 - Bereken het dosisequivalent van die stralingsdosis.

Kalium-40:

$t_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9 \text{ s}$
 $= 4,0366 \cdot 10^6 \text{ s}$

§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5

d) $A = 3,1 \cdot 10^3 \text{ Bq}$ (deeltjes per seconde)

per β -deeltje: $0,44 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$
 $= 7,05 \cdot 10^{-14} \text{ J}$

per seconde: $7,05 \cdot 10^{-14} \text{ J} \cdot 3,1 \cdot 10^3$
 $= 2,186 \cdot 10^{-10} \text{ J}$

per jaar: $2,186 \cdot 10^{-10} \text{ J} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600$
 $= 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

$$D = \frac{E}{m} = \frac{6,8 \cdot 10^{-3} \text{ J}}{30 \text{ kg}} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$$

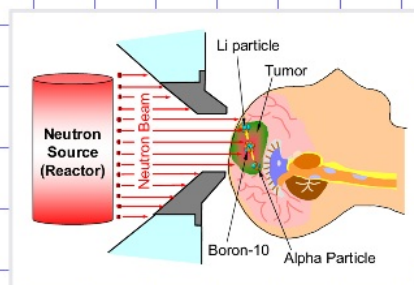
e) $H = W_R \cdot D = 1 \cdot 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$
 $= 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$

- 54 In het spierstelsel van een volwassene bevindt zich kalium, dat voor een klein deel uit de isotoop K-40 bestaat. Kalium-40 is radioactief en vervalt onder uitzending van β -straling.
- Geef de vervalvergelijking van K-40.
 - Toon aan 1,00 gram kalium uit $1,51 \cdot 10^{22}$ atomen bestaat.
 - De gemiddelde activiteit van het radioactieve kalium in het spierstelsel van een volwassene bedraagt $3,1 \cdot 10^3 \text{ Bq}$. Kalium bestaat voor 0,012% uit de isotoop K-40. Bereken de massa van al het kalium in het spierstelsel van een volwassene.
 - De energie die een β -deeltje uit de kaliumkern afstaat aan het spierstelsel is gemiddeld 0,44 MeV. Een volwassene heeft gemiddeld 30 kg spierweefsel. Bereken de stralingsdosis die het spierstelsel in een jaar van dit kalium absorbeert.
 - Bereken het dosisequivalent van die stralingsdosis.

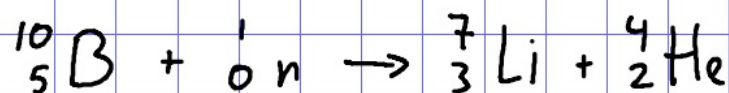
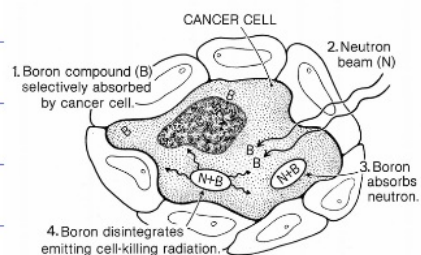
§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5

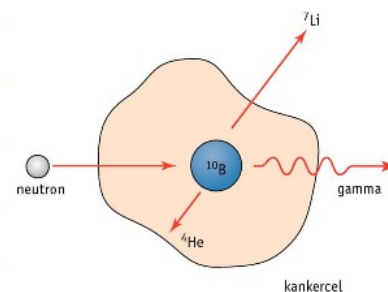


Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)



↑
stabiele
isotoop

55 Bij BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) spuit een arts een kleine hoeveelheid moleculen met daarin boor-10 in het lichaam van een patiënt met een hersentumor. Boor-10 hoopt zich op in tumorcellen. Na enige tijd wordt de patiënt bestraald met een bron die langzame neutronen uitzendt. Die richten geen schade aan in het hersenweefsel. Wel wordt een deel van de neutronen ingevangen door het boor. Hierbij ontstaat een instabiele kern die uiteen valt in lithium en hoogenergetische α -straling (zie figuur 13.58). De α -straling vernietigt de kankercellen.



▲ Figuur 13.58

- Is boor-10 in dit geval een tracer? Leg uit.
- Hoe vindt de arts de plek waar de tumor zit?
- Leg uit dat met deze techniek geen gezond weefsel wordt bestraald.

d Bij BNCT-therapie komen ook ongewenste reacties voor. Een van die reacties is de reactie waarbij de meest voorkomende stikstofisotoop een neutron invangt en meteen daarna een proton uitzendt. Geef voor deze reactie de vergelijking.

e Bij BNCT kan in één of twee behandelingen een dosis van 60 tot 70 Gy worden gegeven. Wil je een dergelijke dosis bereiken door bestraling met γ -fotonen, dan is een reeks van dagelijkse behandelingen van wel 6 weken nodig. Geef hiervoor een verklaring.

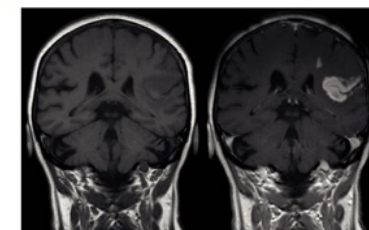
f Wetenschappers onderzoeken de mogelijkheid om gadolinium te gebruiken voor GdNCT. Een van de voordelen van Gd-157 is dat het aantal niet gewenste reacties kleiner is dan bij boor. Bovendien kan het stabiele Gd-157 worden gebruikt als contrastvloeistof in een MRI-scanner.

Is Gd-157 in dit geval op te vatten als tracer?

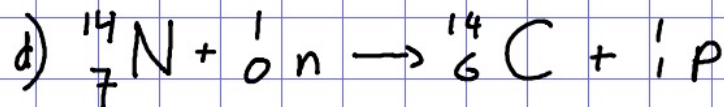
g In figuur 13.59 zie je de toegevoegde waarde van Gd-157 bij MRI na een herseninfarct. Links is een beeld gemaakt door gebruik te maken van het van nature aanwezige waterstof en rechts is gebruik gemaakt van gadolinium.

Draagt het Gd-157 in dit geval bij aan de effectieve totale lichaamsdosis?

h Bedenk hoe een radioloog onderscheid zou kunnen maken tussen het MRI-sigitaal van het altijd aanwezige waterstof en het MRI-sigitaal van gadolinium.



▲ Figuur 13.59



§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5

- 56** Een patiënt krijgt voor het maken van een PET-scan een F-18-tracer met een activiteit van 365 MBq toegediend. De energie van de positronen E_{β^+} is 0,6335 MeV.
- a** Laat zien dat voor het vermogen van de tracer geldt:
 $P = E_{\beta^+} \cdot A$
- b** Tussen het toedienen van de tracer en de start van de scan zit 1 uur. Bereken het vermogen van de tracer op het moment dat de scan start. De halveringstijd van F-18 is 109,8 min.
- c** Als de PET-scan is afgerond, is het vermogen van de tracer ten opzichte van het moment van toedienen gedaald met 40%. Bereken hoelang de PET-scan in beslag heeft genomen.
- d** Voor het aantal positronen N_{β^+} dat in een tijd t wordt uitgezonden, geldt de volgende relatie met de activiteit A van de tracer:

$$N_{\beta^+} = \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2} \cdot A(0) \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}\right)$$

Leid deze formule af.

- e** Bereken, gebruikmakend van de formule, het aantal γ -fotonen dat maximaal tijdens het maken van de PET-scan kan zijn gedetecteerd.
- f** Waarom staat er bij vraag e maximaal?
- g** Het ontvangen dosisequivalent ten gevolge van de positronen is 7,1 mSv. Bereken de massa van het bestraalde weefsel.
- h** Geef een reden waarom het acceptabel is dat voor de berekening van deze dosis geen rekening gehouden wordt met de γ -fotonen.

§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

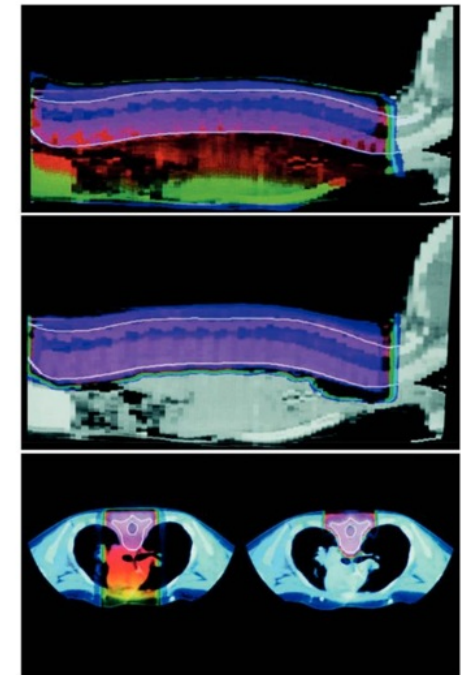
Opgaven bij § 13.5

57 Bij traditionele radiotherapie komt minder dan de helft van de stralingsenergie op de juiste plaats. Daarom werken onderzoekers aan de ontwikkeling van andere behandelmethodes. Een voorbeeld hiervan is een therapie waarbij de patiënt wordt bestraald met een bundel protonen.

- a Bereken de snelheid van protonen met een energie van 200 MeV. Ga uit van de rustmassa van een proton.
- b In figuur 13.60 zie je een aantal afbeeldingen van het effect van bestraling op een patiënt met een tumor in de rug. Protonentherapie en gammabestraling worden hier vergeleken. De bovenste afbeelding en de afbeelding linksonder horen bij het ene type bestraling, de middelste afbeelding en de afbeelding rechtsonder horen bij het andere type bestraling. De kleur in de tekening is een maat voor de stralingsdosis. Paars hoort bij de hoogste dosis, groen bij de laagste dosis.

Leg uit welke twee afbeeldingen horen bij de protonentherapie.

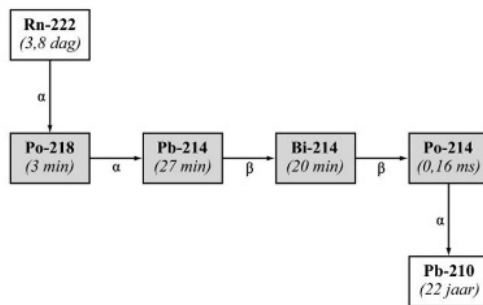
- c Is de patiënt van bovenaf of van onderaf bestraald? Hoe kun je dat zien?
- d Lag de patiënt op zijn buik of op zijn rug?
- e Bij een behandeling voor prostaatkanker ontvangt een patiënt 44 maal een dosis van 180 cGy. De stralingsweegfactor van een behandeling met protonen is 5,0. Bereken het dosisequivalent.



▲ **Figuur 13.60** Protonen en gammatherapie

§ 13.5 Straling en risico's

- 58 De meest voorkomende isotoop van radon is radon-222. Er bestaan in de natuur twee zogenoemde 'radioactieve reeksen'. De ene reeks begint bij thorium-232, de andere bij uranium-238.
- a Bereken de half-life van radon-222 uit thorium-232 of uit uranium-238.



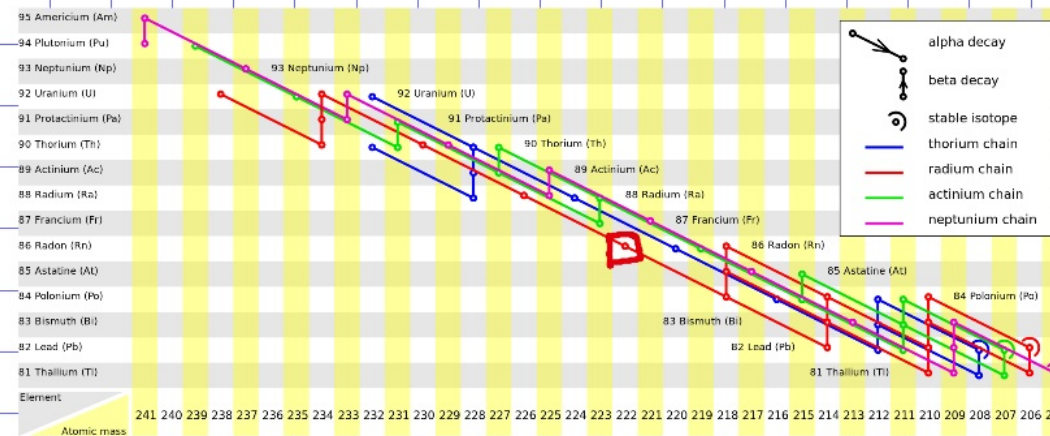
▲ Figuur 13.61

a) inzicht: bij verval verliest een kern of 4 kerndeeltjes of geen.

$$238 - 222 = 16$$

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5



How radon gas affects humans

Radon is a radioactive gas. It comes from the natural decay of uranium that is found in nearly all soils. It typically moves up through the ground to the air above and into your home through cracks and holes in the foundation. Your home traps radon inside, where it can build up.

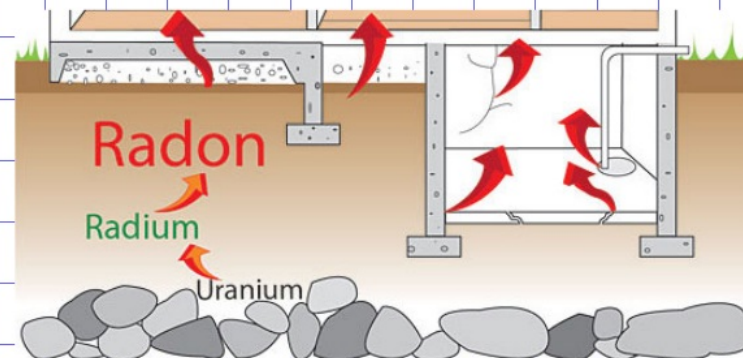
U-238 (uranium) has a very long half-life so it has been around a long time and is common in rock and soil.

→ decays to → Ra 226 (radium) decays to → Rn 222 (radon)

After decaying to thorium 234, protactinium 234, uranium 234, thorium 230

SOURCE: Environmental Protection Agency

Still graphic: Moly Quin



over radon (site: RIVM)

§ 13.5 Straling en risico's

Hoofdstuk 13: Straling

Opgaven bij § 13.5

$$1,0 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

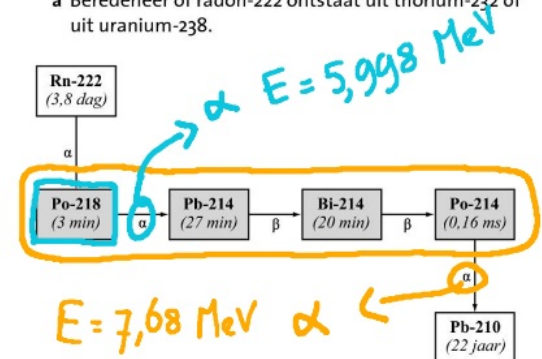
$$D = \frac{E_{\text{str}}}{m}$$

$$b) D_1 = \frac{2,6 \cdot 10^4 \cdot 5,998 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2,5 \text{ kg}} = \frac{2,49 \cdot 10^8 \text{ J}}{2,5 \text{ kg}} = 9,98 \cdot 10^7 \text{ Gy}$$

$$D_2 = \frac{(2,6 \cdot 10^4 + 2,3 \cdot 10^5 + 1,7 \cdot 10^5) \cdot 7,68 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2,5 \text{ kg}} = \frac{4,26 \cdot 10^5 \cdot 7,68 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2,5 \text{ kg}} = \frac{5,23 \cdot 10^7 \text{ J}}{2,5 \text{ kg}} = 2,09 \cdot 10^7 \text{ Gy}$$

$$\text{Totale dosis, } D_{\text{tot}} = D_1 + D_2 = 2,2 \cdot 10^7 \text{ Gy}$$

- 58 De meest voorkomende isotoop van radon is radon-222. Er bestaan in de natuur twee zogenoemde 'radioactieve reeksen'. De ene reeks begint bij thorium-232, de andere bij uranium-238.
- a Bereken de dosis van radon-222 die ontstaat uit thorium-232 of uit uranium-238.



▲ Figuur 13.61

In figuur 13.62 staat het aantal kernen in 1 m³ lucht van elk van de radondochters in de kelderruimte.

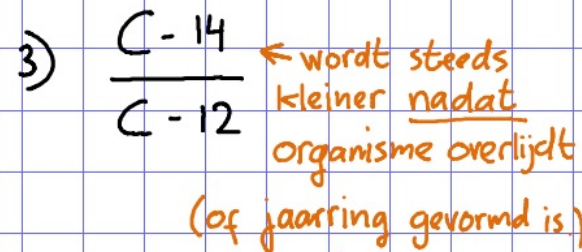
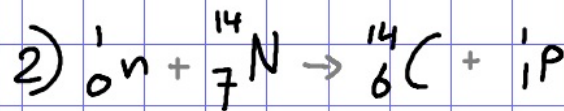
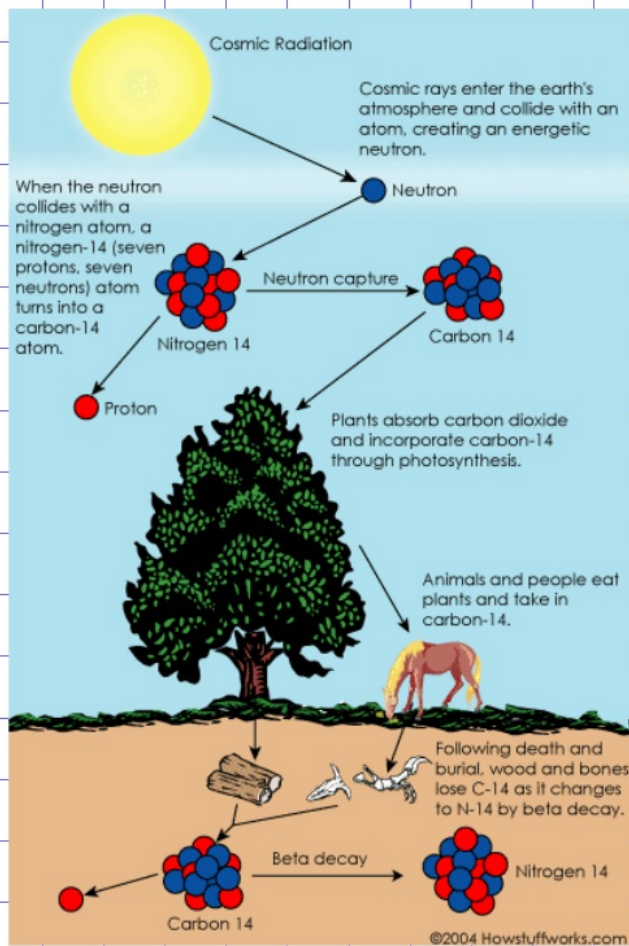
	aantal kernen (in 1 m³ lucht) in de kelderruimte
Po-218	$2,6 \cdot 10^4$
Pb-214	$2,3 \cdot 10^5$
Bi-214	$1,7 \cdot 10^5$
Po-214	≈ 0

▲ Figuur 13.62

Bereken de stralingsdosis die de longen ontvangen ten gevolge van alfastraling.
Naar examen vwo 2011-II.

Hoofdstuk 13 Straling

- Toepassingen -



dus verhouding wordt ook kleiner met verstreken tijd

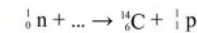
de verhogin C-14 in 774 laat de jaarring jonger lijken

Hoofdstuk 13: Straling

In het artikel wordt een toename van het C-14-gehalte verklaard door een zeer snelle toename van de intensiteit van kosmische straling. Kosmische straling is een vorm van natuurlijke achtergrondstraling.

1 Noem nog een bron van natuurlijke achtergrondstraling.

In het artikel staat dat radioactieve koolstof onder invloed van de deeltjes van de kosmische straling ontstaat. Dit gaat als volgt: de kosmische straling botst hoog in de dampkring met atomen. Hierbij worden neutronen gevormd die een reactie aangaan met een in de dampkring aanwezige stof:



2 Bepaal met welke stof de neutronen reageren.

Koolstof in de atmosfeer reageert met zuurstof en vormt zo koolstofdioxide (CO₂). Bomen en planten nemen CO₂ op bij fotosynthese en verwerken de koolstof. Op die manier bevatten de in het artikel genoemde cederbomen zowel C-12 als C-14. Door de verhouding tussen de hoeveelheden van het stabiele C-12 en het radioactieve C-14 te bekijken, kan iets gezegd worden over de ouderdom van voorwerpen. Deze manier van ouderdomsbepaling heet koolstofdatering. Bij koolstofdatering gaat men uit van een vaste verhouding tussen de hoeveelheid C-14 en de hoeveelheid C-12 op het moment dat een plant sterft. In het artikel staat juist dat het C-14-gehalte in het jaar 774 plotseling met 1,2 procent is toegenomen.

3 Leg uit of een koolstofdatering dan zou leiden tot een te hoge of een te lage leeftijd van de jaarring uit 774.

De activiteit van de jaarringen uit het jaar 774 van de in het artikel beschreven cederbomen was in het jaar 2012 gelijk aan 218 Bq per kilogram koolstof. De normale verhouding tussen het aantal C-14-kernen en het aantal C-12-kernen is voor levende organismen $1,30 \cdot 10^{-12} : 1$. Dat zou dus ook voor de cederbomen in het jaar 774 moeten gelden. Gezien het feit dat verreweg de meeste koolstofkernen C-12-kernen zijn, mag in deze opgave het verschil in massa tussen C-12 en C-14 worden verwaarloosd.

4 Toon aan dat de hoeveelheid C-14 in het jaar 774 inderdaad 1,2% hoger lag dan normaal. Bereken daarvoor eerst wat de activiteit per kilogram in 774 was.

4) in 2012, $A = 218 \text{ Bq}$ per kg koolstof
 $t_{1/2} = 5730 \text{ j}$
 $2012 - 774 = 1238 \text{ j}$

$$218 = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{1238 \text{ j}}{5730 \text{ j}}} \rightarrow A_0 = \frac{218 \text{ Bq}}{0,861} = 253 \text{ Bq per kg}$$

$$N = \frac{A \cdot t_{1/2}}{\ln 2} = \frac{253 \text{ Bq} \cdot 1,807 \cdot 10^{11} \text{ s}}{0,693} = 6,60 \cdot 10^{13} \text{ atomen C-14 per kg koolstof}$$

C-12 atoom, $m = 12,0 \text{ u} = 1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

in 1,0 kg koolstof: $\frac{1,0 \text{ kg}}{1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}} = 5,02 \cdot 10^{25} \text{ atomen C-12 per kg koolstof}$ A

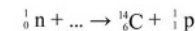
$$\frac{\text{C-14}}{\text{C-12}} = \frac{6,60 \cdot 10^{13}}{5,02 \cdot 10^{25}} = 1,315 \cdot 10^{-12}$$

Hoofdstuk 13: Straling

In het artikel wordt een toename van het C-14-gehalte verklaard door een zeer snelle toename van de intensiteit van kosmische straling. Kosmische straling is een vorm van natuurlijke achtergrondstraling.

1 Noem nog een bron van natuurlijke achtergrondstraling.

In het artikel staat dat radioactieve koolstof onder invloed van de deeltjes van de kosmische straling ontstaat. Dit gaat als volgt: de kosmische straling botst hoog in de dampkring met atomen. Hierbij worden neutronen gevormd die een reactie aangaan met een in de dampkring aanwezige stof:



$$5730 \text{ j} = 1,807 \cdot 10^{11} \text{ s}$$

2 Bepaal met welke stof de neutronen reageren.

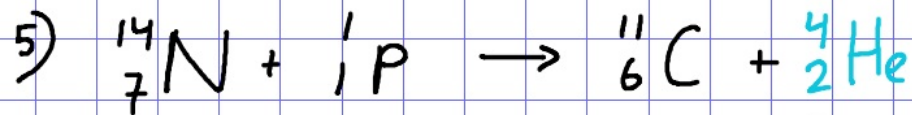
Koolstof in de atmosfeer reageert met zuurstof en vormt zo koolstofdioxide (CO_2). Bomen en planten nemen CO_2 op bij fotosynthese en verwerken de koolstof. Op die manier bevatten de in het artikel genoemde cederbomen zowel C-12 als C-14. Door de verhouding tussen de hoeveelheden van het stabiele C-12 en het radioactieve C-14 te bekijken, kan iets gezegd worden over de ouderdom van voorwerpen. Deze manier van ouderdomsbepaling heet koolstofdatering. Bij koolstofdatering gaat men uit van een vaste verhouding tussen de hoeveelheid C-14 en de hoeveelheid C-12 op het moment dat een plant sterft. In het artikel staat juist dat het C-14-gehalte in het jaar 774 plotseling met 1,2 procent is toegenomen.

3 Leg uit of een koolstofdatering dan zou leiden tot een te hoge of een te lage leeftijd van de jaarring uit 774.

De activiteit van de jaarringen uit het jaar 774 van de in het artikel beschreven cederbomen was in het jaar 2012 gelijk aan 218 Bq per kilogram koolstof. De normale verhouding tussen het aantal C-14-kernen en het aantal C-12-kernen is voor levende organismen $1,30 \cdot 10^{-12} : 1$. Dat zou dus ook voor de cederbomen in het jaar 774 moeten gelden. Gezien het feit dat verreweg de meeste koolstofkernen C-12-kernen zijn, mag in deze opgave het verschil in massa tussen C-12 en C-14 worden verwaarloosd.

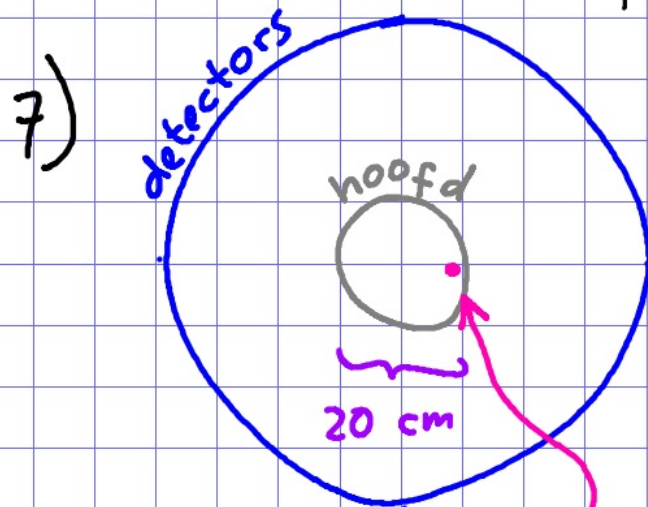
4 Toon aan dat de hoeveelheid C-14 in het jaar 774 inderdaad 1,2% hoger lag dan normaal. Bereken daarvoor eerst wat de activiteit per kilogram in 774 was.

$$T \rightarrow A_0$$



$$6) \quad E = h \cdot f \rightarrow f = \frac{E}{h} = \frac{0,5 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}} =$$

$$= 1,24 \cdot 10^{20} \text{ Hz} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,24 \cdot 10^{20} \text{ Hz}} = 2,42 \text{ pm}$$



$$\Delta t = \frac{\Delta x}{c} = \frac{0,20 \text{ m}}{3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 0,7 \cdot 10^{-9} \text{ s}$$

annihilatie hier

Opgave 2 PET-scan (examen vwo pilot 2012-II)

Bij onderzoek naar de ziekte van Alzheimer wordt de PET-scan gebruikt. Daarbij spuit men bij de patiënt een speciale stof in die het C-11-isotoop bevat. Deze stof bindt het C-11-isotoop aan plaatsen in de hersenen waar de ziekte van Alzheimer zit.

Figuur 13.63 toont een voorbeeld van zo'n PET-scan.

Het C-11-isotoop verkrijgt men door versnelde protonen op N-14 te schieten.

- 5 Geef de kernreactievergelijking van de productie van het C-11-isotoop uit N-14.

Het C-11-isotoop vervalst onder uitzending van een positron. Het positron dat ontstaat, remt in het hersenweefsel af tot (bijna) stilstand, en annihileert dan met een elektron. Hierbij ontstaat 1,0 MeV energie.

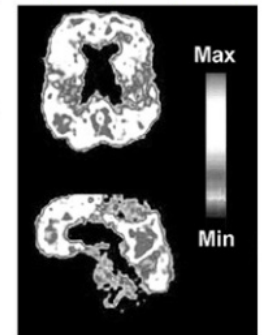
Bij de annihilatie worden twee gamma-fotonen met dezelfde frequentie in tegengestelde richting uitgezonden. Zie figuur 13.64.

- 6 Bereken de frequentie van één zo'n gamma-foton.

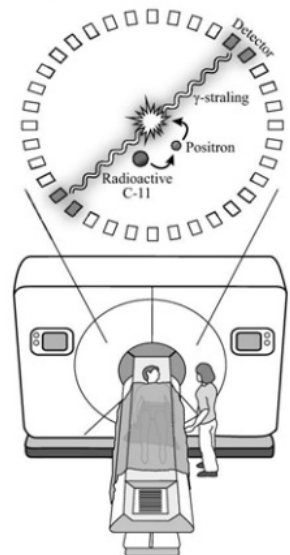
Als twee gamma-fotonen binnen een tijdsduur Δt de ringvormige detector bereiken, neemt men aan dat ze afkomstig zijn van dezelfde annihilatie.

Een computer verwerkt de gegevens tot een plaatje zoals in figuur 13.63.

- 7 Bereken de orde van grootte van de ingestelde tijdsduur Δt . Maak daarbij gebruik van een schatting en neem aan dat de fotonen overal met de lichtsnelheid in vacuüm bewegen.



▲ Figuur 13.63



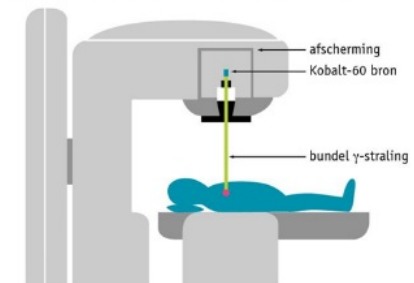
▲ Figuur 13.64

Hoofdstuk 13: Straling

Hoofdstuk 13: Straling

Opgave 3 Radiotherapie

In ziekenhuizen worden patiënten met een tumor op de afdeling radiotherapie behandeld. Zie figuur 13.65. Zij worden bestraald met röntgenstraling of gammastraling. Door de bestraling worden kwaadaardige cellen afgeremd in hun groei of gedood. Dode cellen worden door het lichaam van de patiënt opgeruimd.

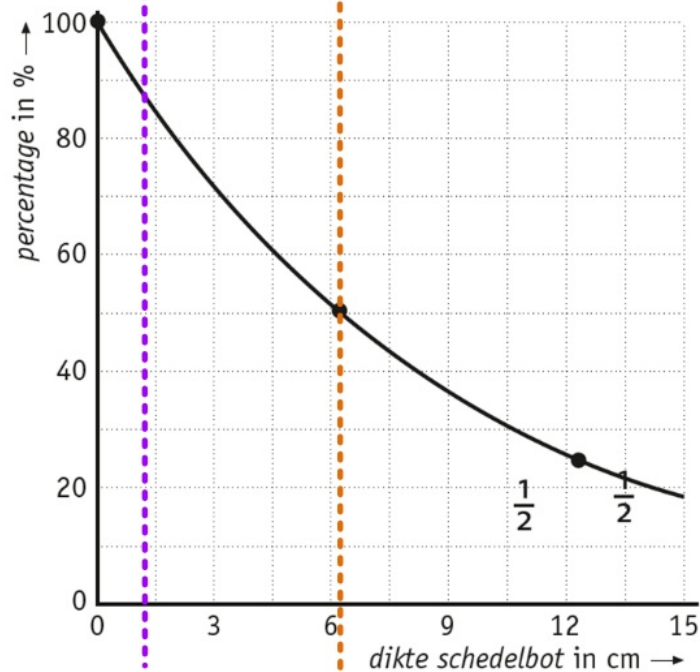


▲ **Figuur 13.65**

- 8 Een patiënt vraagt zich af of hij door de bestraling zelf radioactief wordt. Welk antwoord zou jij hem geven?
- Een behandeling bestrijkt een periode van enkele weken waarbij de patiënt een aantal maal per week wordt bestraald.
- 9 Leg uit waarom de behandeling in kleine porties wordt opgedeeld.

← bij $d = 1,3 \text{ cm} \rightarrow \frac{I}{I_0} = 0,86$

12



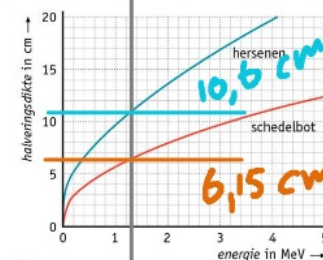
11

Schedel, $d_{\frac{1}{2}} = 6,15 \text{ cm}$ (gevonden bij opg. 10)

Hoofdstuk 13: Straling

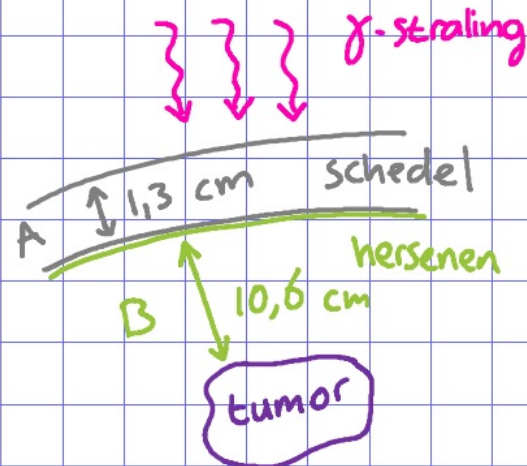
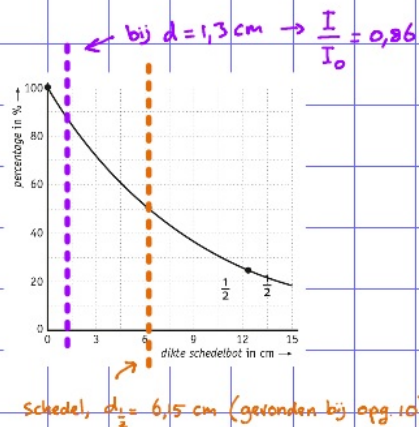
Bij een behandeling met gammastraling wordt gebruik gemaakt van radioactief kobalt. Een kobalt-60 kern vervalt eerst naar een andere kern. Deze tweede kern zendt vervolgens twee gammafotonen uit.

De behandelende arts moet berekenen hoeveel straling de patiënt gaat ontvangen. Omdat een tumor vaak binnenin het lichaam zit, maakt hij hierbij gebruik van de halveringsdiktes van lichaamsdelen. De halveringsdikte is afhankelijk van de energie van de gebruikte fotonen. In figuur 13.66 zie je de halveringsdikte van hersenweefsel en schedelbot als functie van de energie van de fotonen. De uitgezonden gammafotonen hebben een energie van 1,17 MeV en 1,33 MeV.



▲ Figuur 13.65

- 10 Bepaal met behulp van figuur 13.66 de halveringsdikte van hersenweefsel en schedelbot voor deze fotonen. Ga uit van de gemiddelde energie van deze fotonen: 1,25 MeV.
- 11 Teken een doorlaatkromme voor de gevonden halveringsdikte van de schedel. Zet horizontaal de dikte (0 tot 15 cm) en verticaal het percentage doorgelaten straling.
Op de plaats waar wordt bestraald is de schedel ongeveer 1,3 cm dik.
- 12 Toon met behulp van de door jou getekende doorlaatkromme aan dat nog 86% van de straling over is na het passeren van de schedel.
De tumor bevindt zich 10,6 cm onder de schedel. Slechts 43% van de straling bereikt deze tumor.
- 13 Toon dit aan met een berekening. Gebruik hierbij figuur 13.66.
De patiënt ligt doorgaans op een tafel. De stralingsbron draait dan vaak rond de patiënt.
- 14 Waar ligt het draaipunt van deze beweging?
- 15 Waarom is het beter om een patiënt niet van één kant te bestralen? Leg uit.



13

A: schedel laat 86% door

B: hersenen laten 50% door

totaal door: $0,86 \cdot 0,50 = 0,43$
(oftewel 43%)

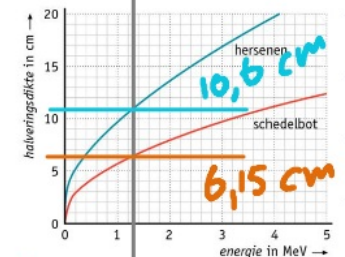
14+15



Hoofdstuk 13: Straling

Bij een behandeling met gammastraling wordt gebruik gemaakt van radioactief kobalt. Een kobalt-60 kern vervalt eerst naar een andere kern. Deze tweede kern zendt vervolgens twee gammafotonen uit.

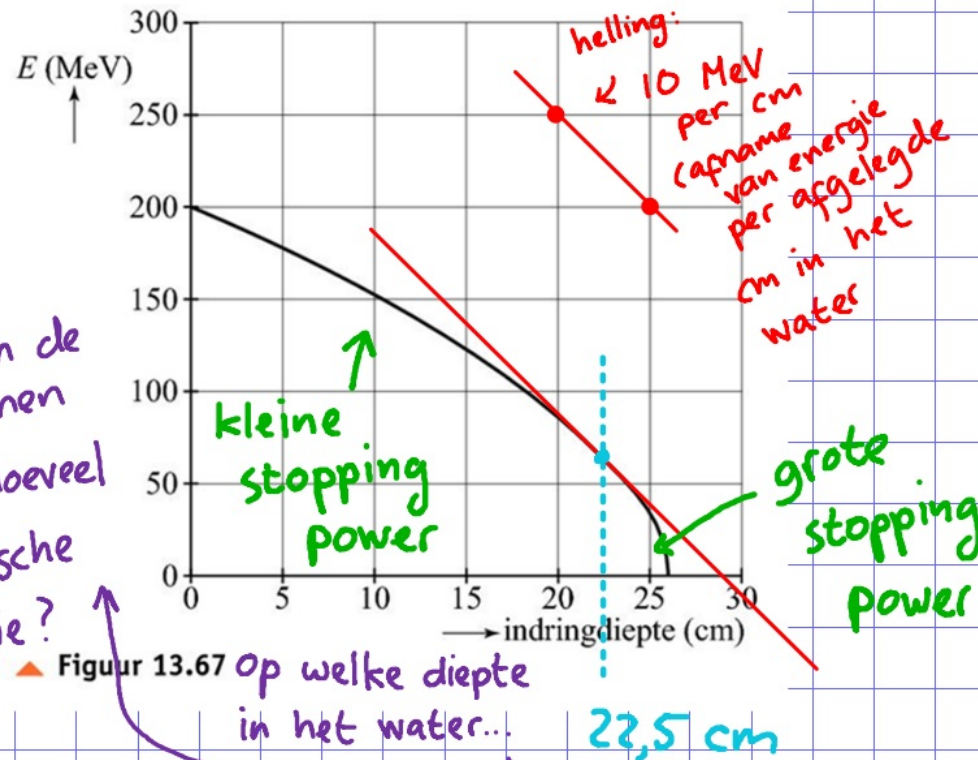
De behandelende arts moet berekenen hoeveel straling de patiënt gaat ontvangen. Omdat een tumor vaak binnenin het lichaam zit, maakt hij hierbij gebruik van de halveringsdiktes van lichaamsdelen. De halveringsdikte is afhankelijk van de energie van de gebruikte fotonen. In figuur 13.66 zie je de halveringsdikte van hersenweefsel en schedelbot als functie van de energie van de fotonen. De uitgezonden gammafotonen hebben een energie van 1,17 MeV en 1,33 MeV.



▲ Figuur 13.65

- 10 Bepaal met behulp van figuur 13.66 de halveringsdikte van hersenweefsel en schedelbot voor deze fotonen. Ga uit van de gemiddelde energie van deze fotonen: 1,25 MeV.
- 11 Teken een doorlaatkromme voor de gevonden halveringsdikte van de schedel. Zet horizontaal de dikte (0 tot 15 cm) en verticaal het percentage doorgelaten straling.
Op de plaats waar wordt bestraald is de schedel ongeveer 1,3 cm dik.
- 12 Toon met behulp van de door jou getekende doorlaatkromme aan dat nog 86% van de straling over is na het passeren van de schedel.
De tumor bevindt zich 10,6 cm onder de schedel. Slechts 43% van de straling bereikt deze tumor.
- 13 Toon dit aan met een berekening. Gebruik hierbij figuur 13.66.
De patiënt ligt doorgaans op een tafel. De stralingsbron draait dan vaak rond de patiënt.
- 14 Waar ligt het draaipunt van deze beweging?
- 15 Waarom is het beter om een patiënt niet van één kant te bestralen? Leg uit.

Hoofdstuk 13: Straling

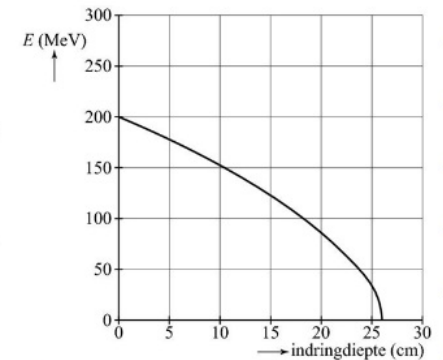


Opgave 4 Protonentherapie (examen vwo 2010-II)

Voor het bestralen van tumoren maakt men meestal gebruik van gammastraling. Onderzoekers pleiten voor de bouw van drie centra in Nederland voor bestraling met protonen. Zij hebben het gedrag van protonen in water onderzocht en beweren dat deze manier voordelen heeft boven bestralen met gammastraling.

Onderzoek naar protonen in water is van belang voor eventuele medische toepassingen, omdat protonen zich in water hetzelfde gedragen als in biologisch weefsel.

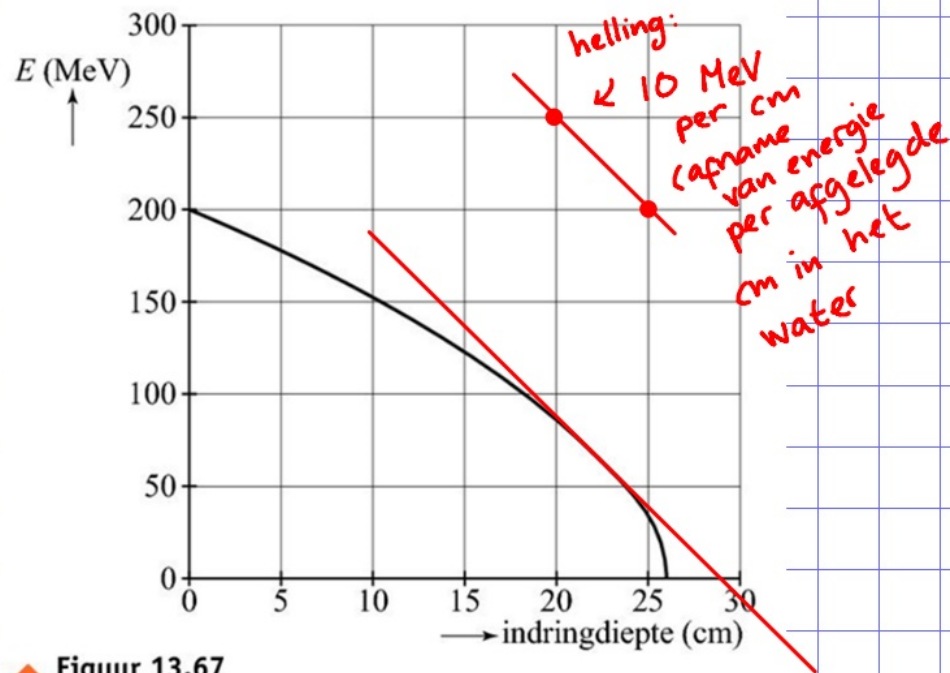
In figuur 13.67 is de energie van protonen uitgezet tegen de indringdiepte. Het gaat hier om protonen die met een energie van 200 MeV water binnendringen.



Figuur 13.67

De energieafname per centimeter wordt 'stopping power' genoemd met de eenheid $\text{MeV} \cdot \text{cm}^{-1}$. Uit figuur 13.67 is af te leiden dat de stopping power aan het begin veel kleiner is dan aan het eind.

16 Bepaal met behulp van de figuur tot welke indringdiepte de stopping power voor deze protonen in water kleiner is dan $10 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^{-1}$.



▲ **Figuur 13.67**

Hoofdstuk 13: Straling

In een onderzoek naar de bestraling van tumoren doet men een experiment waarbij een bolletje paraffine beschoten wordt met protonen. Het bolletje is bevestigd op een plaat. Het geheel bevindt zich in een bak met water. Zie figuur 13.68.



▲ **Figuur 13.68**

Protonen gedragen zich in paraffine hetzelfde als in water. Men stelt drie eisen aan de bestraling:

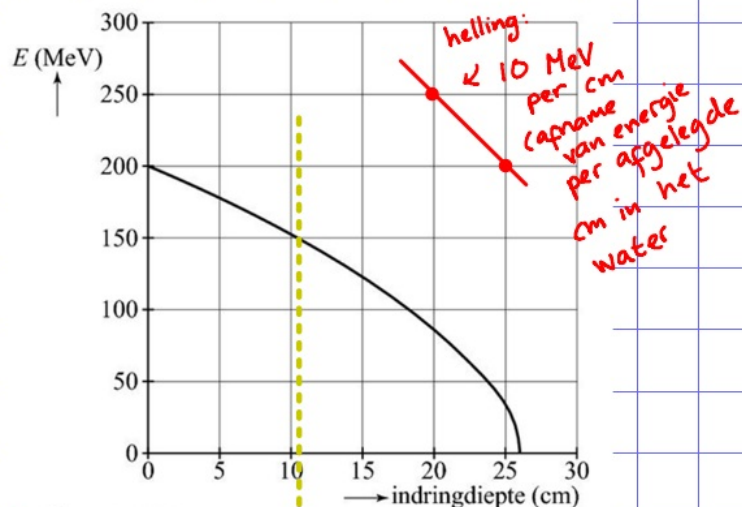
- › het water ontvangt een lage stralingsdosis;
- › het bolletje ontvangt een hoge stralingsdosis;
- › de plaat ontvangt een stralingsdosis gelijk aan nul.

17 Leg uit dat de linkerkant van de plaat zich moet bevinden op een afstand van 26 cm van de plaats waar de protonen het water binnenkomen. Bespreek daarbij alle drie de eisen.

Inzicht: de afgestane kinetische energie van de protonen wordt in het water omgezet en zo gebruikt voor ionisaties van watermoleculen of moleculen van het paraffinebolletje. Deze energie is de dosis die het water of het paraffine ontvangen volgens:

$$D = \frac{E_{\text{str}}}{m}$$

dosis in gray (Gy) $\rightarrow$ $\leftarrow$ ontvangen energie in J $\leftarrow$ massa persoon in kg



▲ Figuur 13.67

(19)
$$\frac{800 \text{ MeV/cm}}{72 \text{ eV/interactie}} = 1,11 \cdot 10^7 \text{ interacties/cm}$$

gemiddelde afstand tussen interacties: $9,0 \cdot 10^{-8} \text{ cm} = 0,9 \text{ nm}$ $\leftarrow x^{-1}$

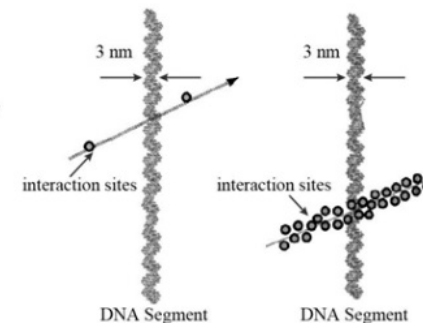
Hoofdstuk 13: Straling

Protonen met een hogere beginenergie komen in water verder dan protonen met een lagere beginenergie. Stel dat men de plaat met het bolletje 10 cm meer naar links zou plaatsen.

- 18 Welke beginenergie moeten de protonen hebben om opnieuw aan dezelfde eisen te voldoen?

De protonen geven hun energie af door interactie met watermoleculen. Gemiddeld wordt per interactie een energie van 72 eV afgegeven. In figuur 13.69 zijn twee segmenten getekend van een DNA-keten. De pijl stelt de baan van een proton voor.

Bij het linker DNA-segment is de stopping power klein, namelijk ongeveer $2,5 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^{-1}$, en liggen twee opeenvolgende interacties op nanoschaal betrekkelijk ver uit elkaar. Bij het rechter DNA-segment is de stopping power groot, namelijk $800 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^{-1}$, en liggen de interacties zo dicht op elkaar dat een gebiedje met de breedte van een DNA-keten op meerdere plaatsen geraakt wordt.

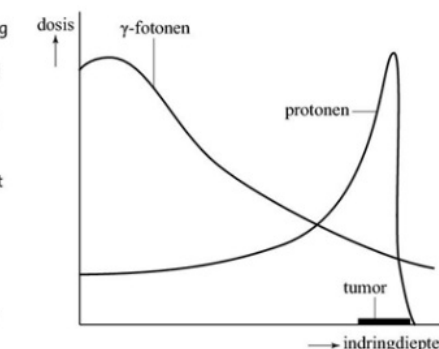


▲ Figuur 13.69

- 19 Maak met een berekening aannemelijk dat bij het rechter DNA-segment het aantal 'interaction sites' goed is weergegeven.

Op verschillende plaatsen in de wereld worden hoogenergetische protonen al gebruikt om tumoren te bestralen. Ook in Nederland is de protonentherapie in opkomst.

Voorstanders wijzen op de voordelen die de bestraling met protonen heeft ten opzichte van bestraling met gammastraling (fotonen). Hun argumenten worden gevisualiseerd weergegeven in figuur 13.70.



▲ Figuur 13.70

- 20 Leid uit figuur 13.70 één voordeel af van protonenbestraling ten opzichte van bestraling met fotonen.

$$(21) \quad E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot (9,0 \cdot 10^6)^2 = 6,76 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$E = U \cdot q \rightarrow U = \frac{E}{q} = \frac{6,76 \cdot 10^{-14} \text{ J}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 4,2 \cdot 10^5 \text{ eV}$$

$$(22) \quad 4,2 \cdot 10^5 \text{ eV} = 0,42 \text{ MeV}$$

Hoofdstuk 13: Straling

Bij een buitenlandse kliniek voor radiotherapie bij kinderen behandelt men tumoren die vlak onder de huid zitten. Daarvoor gebruikt men protonen met veel minder energie. De kliniek beschikt over een protonenversneller die protonen levert met een snelheid van $9,0 \cdot 10^6 \text{ ms}^{-1}$. De protonen worden vanuit stilstand versneld in een elektrisch veld.

- 21 Bereken de grootte van de spanning waarmee deze protonen versneld worden.
- 22 Hoe groot is de energie in MeV waarmee de protonen de versneller verlaten?

26

$$A = A_0 \cdot (0,5)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

polonium-210, $t_{1/2} = 138 \text{ d}$

$$n = \frac{t}{t_{1/2}} = \frac{19 \text{ d}}{138 \text{ d}} = 0,1377$$

$$(0,5)^{0,1377} = 0,909 \rightarrow \text{dus } 90,9 \% \text{ is nog over, dus } 9,1 \% \text{ is vervallen.}$$

Hoofdstuk 13: Straling

23 Is er in dit geval sprake van besmetting of alleen van bestraling? Geef een toelichting waarbij duidelijk naar voren komt wat het verschil is tussen bestraling en besmetting.

De daders hebben de moord gepleegd door $1,0 \mu\text{g}$ polonium-210 in de thee van Alexander Litvinenko te doen. Er zijn van polonium 33 isotopen, meer dan van enig andere stof.

24 Noem een verschil en een overeenkomst tussen deze 33 isotopen.

25 Noem een argument waarom de daders geen Polonium-211 hebben gebruikt.

Stel dat het polonium 19 dagen voor de aanslag was geproduceerd.

26 Hoeveel procent van het oorspronkelijke polonium was dan op het moment van de aanslag al vervallen?

De radioactieve isotoop ^{210}Po kan in een laboratorium worden gemaakt door het beschieten van een bismut-isotoop met neutronen. Deze bismut-isotoop is zelf ook radioactief, maar heeft een zo hoge halveringstijd dat in deze opgave mag worden aangenomen dat dit bismut stabiel is.



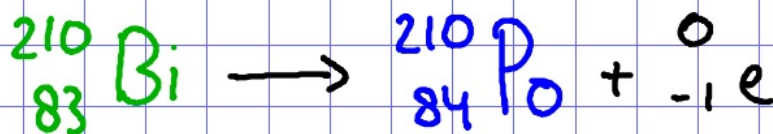
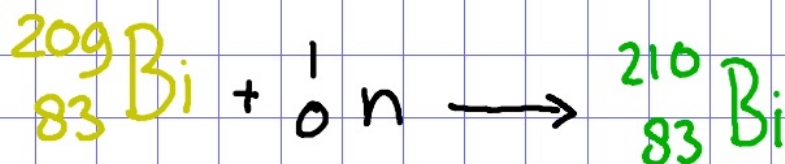
▲ Figuur 13.71 Litvinenko voor en na de aanslag

Hoofdstuk 13: Straling

27

Bi-210
 $t_{1/2} = 5,0 \text{ d}$

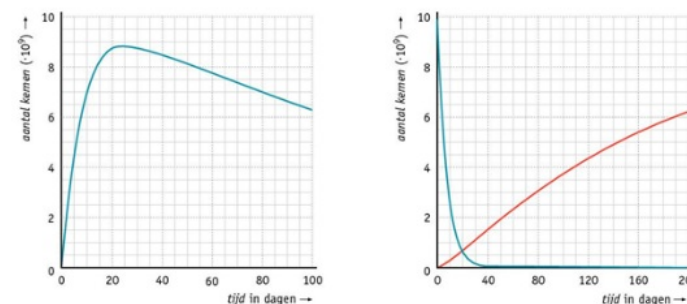
of



De kern van de beschoten bismut-isotoop neemt een neutron op. Door de beschieting met neutronen ontstaat een andere bismut-isotoop die met een halveringstijd van 5,0 dagen vervalt naar polonium-210. De radioactieve isotoop ${}^{210}\text{Po}$ vervalt vervolgens naar een andere, stabiele kern.

27 Hierboven staan drie reacties beschreven. Geef van alle drie de reactievergelijking.

Terwijl de bismut-isotoop in 5,0 dagen halveert naar ${}^{210}\text{Po}$, vervalt ${}^{210}\text{Po}$ zelf met een halveringstijd van 138 dagen. Op $t = 0$ stopt de beschieting met neutronen. Met de gegeven halveringstijden kun je met een computermodel berekenen wat de hoeveelheid ${}^{210}\text{Po}$ als functie van de tijd is (zie figuur 13.72 links). Ook kan worden berekend hoeveel kernen er van de radioactieve bismut-isotoop en de in de tekst genoemde stabiele andere stof zijn (figuur 13.72 rechts; bedenk zelf welke lijn bij welke stof hoort).



▲ Figuur 13.72

28 Verklaar de vorm van de ${}^{210}\text{Po}$ -grafiek. Leg hierbij uit wat de betekenis is van het maximum van de grafiek.

29 Bepaal het aantal ${}^{210}\text{Po}$ -kernen na 200 dagen met behulp van figuur 13.72.

30 Bepaal de activiteit van ${}^{210}\text{Po}$ op het tijdstip $t = 80$ dagen.

31 Ontwerp het in de tekst genoemde model in Coach en reproduceer de getoonde grafieken.

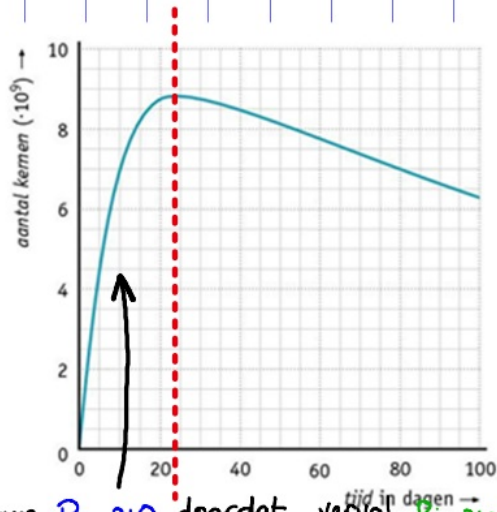
Volgens officiële gegevens wordt er wereldwijd slechts 100 g ${}^{210}\text{Po}$ per jaar geproduceerd, waarvan 85 g door Rusland. Omdat het zo radioactief is, krijgt een enkel grammetje ${}^{210}\text{Po}$ in korte tijd spontaan een temperatuur van 500 °C.

32 Toon aan dat er in 1,0 gram ${}^{210}\text{Po}$ ongeveer $2,9 \cdot 10^{21}$ kernen zitten.

33 Toon aan dat de activiteit van deze kernen ongeveer $1,7 \cdot 10^{14}$ Bq is.

34 Bereken het vermogen van 1,0 gram ${}^{210}\text{Po}$.

Hoofdstuk 13: Straling



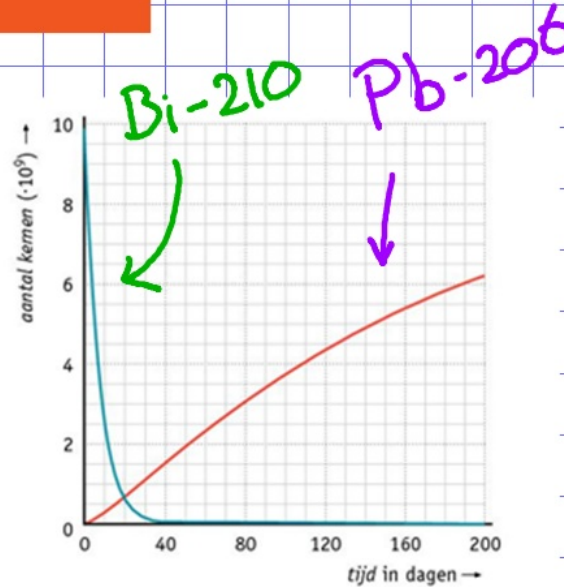
toename $Po-210$ doordat verval $Bi-210$

domineert over eigen verval $Po-210$

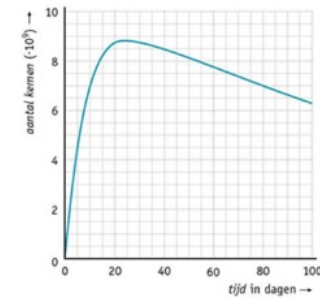
op $t=0$
 $N = 10 \cdot 10^9$

op $t=200$ d:

$N = 0$
 $N = 6,2 \cdot 10^9$
 $N = 3,8 \cdot 10^9$



Terwijl de bismut-isotoop in 5,0 dagen halveert naar ^{210}Po , vervalt ^{210}Po zelf met een halveringstijd van 138 dagen. Op $t=0$ stopt de beschieting met neutronen. Met de gegeven halveringstijden kun je met een computermodel berekenen wat de hoeveelheid ^{210}Po als functie van de tijd is (zie figuur 13.72 links). Ook kan worden berekend hoeveel kernen er van de radioactieve bismut-isotoop en de in de tekst genoemde stabiele andere stof zijn (figuur 13.72 rechts; bedenk zelf welke lijn bij welke stof hoort).



▲ Figuur 13.72

28 Verklaar de vorm van de ^{210}Po -grafiek. Leg hierbij uit wat de betekenis is van het maximum van de grafiek.

29 Bepaal het aantal ^{210}Po -kernen na 200 dagen met behulp van figuur 13.72.

30 Bepaal de activiteit van ^{210}Po op het tijdstip $t=80$ dagen.

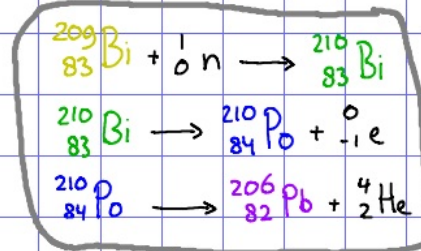
31 Ontwerp het in de tekst genoemde model in Coach en reproduceer de getoonde grafieken.

Volgens officiële gegevens wordt er wereldwijd slechts 100 g ^{210}Po per jaar geproduceerd, waarvan 85 g door Rusland. Omdat het zo radioactief is, krijgt een enkel grammetje ^{210}Po in korte tijd spontaan een temperatuur van 500 °C.

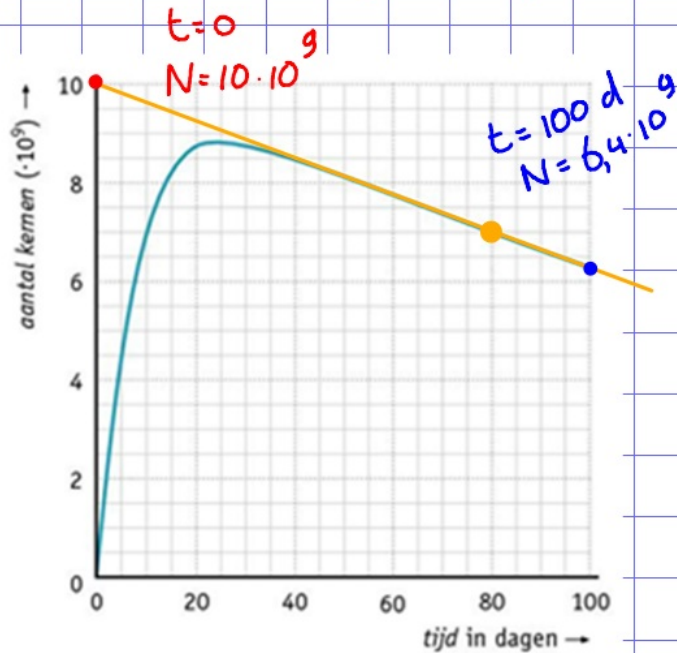
32 Toon aan dat er in 1,0 gram ^{210}Po ongeveer $2,9 \cdot 10^{23}$ kernen zitten.

33 Toon aan dat de activiteit van deze kernen ongeveer $1,7 \cdot 10^{14}$ Bq is.

34 Bereken het vermogen van 1,0 gram ^{210}Po .



Hoofdstuk 13: Straling



▲ Figuur 13.72

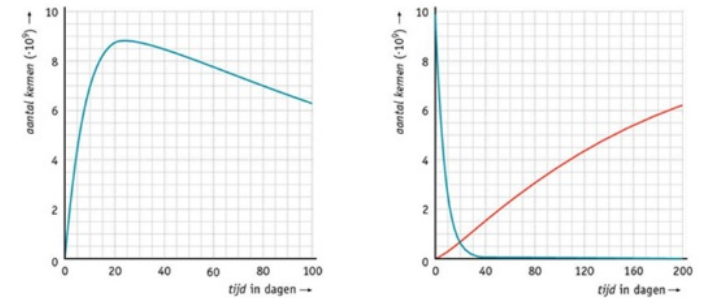
$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{6,4 \cdot 10^9 - 10 \cdot 10^9}{100 - 0} = \frac{-3,6 \cdot 10^9}{(100 \cdot 24 \cdot 3600)} = 4,2 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

$$t_{1/2} = 138 \text{ d} = 1,19 \cdot 10^7 \text{ s}$$

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$$

$$A = \frac{0,693}{1,19 \cdot 10^7} = 6,5 \cdot 10^9 = 3,8 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

Terwijl de bismut-isotoop in 5,0 dagen halveert naar ^{210}Po , vervalt ^{210}Po zelf met een halveringstijd van 138 dagen. Op $t = 0$ stopt de beschieting met neutronen. Met de gegeven halveringstijden kun je met een computermodel berekenen wat de hoeveelheid ^{210}Po als functie van de tijd is (zie figuur 13.72 links). Ook kan worden berekend hoeveel kernen er van de radioactieve bismut-isotoop en de in de tekst genoemde stabiele andere stof zijn (figuur 13.72 rechts; bedenk zelf welke lijn bij welke stof hoort).



▲ Figuur 13.72

28 Verklaar de vorm van de ^{210}Po -grafiek. Leg hierbij uit wat de betekenis is van het maximum van de grafiek.

29 Bepaal het aantal ^{210}Po -kernen na 200 dagen met behulp van figuur 13.72.

30 Bepaal de activiteit van ^{210}Po op het tijdstip $t = 80$ dagen.

31 Ontwerp het in de tekst genoemde model in Coach en reproduceer de getoonde grafieken.

Volgens officiële gegevens wordt er wereldwijd slechts 100 g ^{210}Po per jaar geproduceerd, waarvan 85 g door Rusland. Omdat het zo radioactief is, krijgt een enkel grammetje ^{210}Po in korte tijd spontaan een temperatuur van 500 °C.

32 Toon aan dat er in 1,0 gram ^{210}Po ongeveer $2,9 \cdot 10^{21}$ kernen zitten.

33 Toon aan dat de activiteit van deze kernen ongeveer $1,7 \cdot 10^{14}$ Bq is.

34 Bereken het vermogen van 1,0 gram ^{210}Po .

Hoofdstuk 13: Straling

$$\textcircled{32} \quad \text{Po-210, } m = 209.98286 \text{ u} = 3,49 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$
$$\left(3,49 \cdot 10^{-25} \text{ kg}\right)^{-1} = 2,87 \cdot 10^{24} \text{ atomen per kg} \rightarrow \text{dus } 2,9 \cdot 10^{21} \text{ per gram}$$

$$\textcircled{33} \quad A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N = \frac{0,693}{1,19 \cdot 10^7 \text{ s}} \cdot 2,9 \cdot 10^{21} = 1,7 \cdot 10^{14} \text{ Bq}$$

$$\textcircled{34} \quad 1,7 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} \cdot 5,4 \text{ MeV} = 9,0 \cdot 10^{20} \text{ MeV/s} = 144 \text{ J/s}$$

Volgens officiële gegevens wordt er wereldwijd slechts 100 g ^{210}Po per jaar geproduceerd, waarvan 85 g door Rusland. Omdat het zo radioactief is, krijgt een enkel grammetje ^{210}Po in korte tijd spontaan een temperatuur van 500 °C.

32 Toon aan dat er in 1,0 gram ^{210}Po ongeveer $2,9 \cdot 10^{21}$ kernen zitten.

33 Toon aan dat de activiteit van deze kernen ongeveer $1,7 \cdot 10^{14}$ Bq is.

34 Bereken het vermogen van 1,0 gram ^{210}Po .

$$t_{1/2} = 138 \text{ d} = 1,19 \cdot 10^7 \text{ s}$$

$$1,0 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$
$$1,0 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Hoofdstuk 13 Straling

- ACTIVITEITEN -

Als we grotere activiteiten zoals practicum gedaan hebben tijdens dit hoofdstuk dan vind je hier de informatie die daar bij hoorde. Hoewel dit niet cruciaal is voor succes op het proefwerk is het wel nuttig om te bekijken. Probeer je daarbij te herinneren wat we precies gedaan hebben en waarom dat een nuttige leeractiviteit zou kunnen zijn met het oog op de proefwerkstof.

Hoofdstuk 13 Straling

Ioniserende Straling practicum (6V)

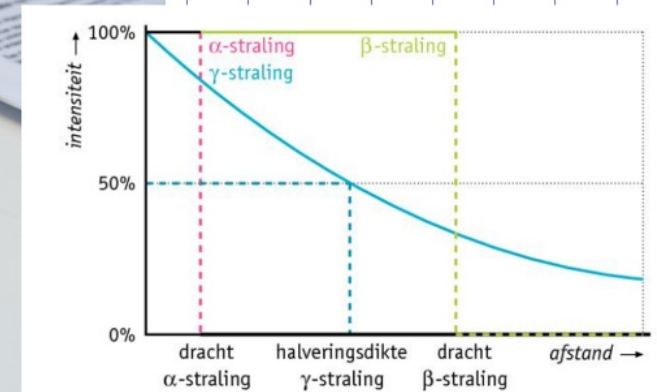
1. Absorptie van gammastraling
door lood



Hoofdstuk 13 Straling

Ioniserende Straling practicum (6V)

5. Absorptie van alfa-, bèta en gammastraling door verschillende materialen.



▲ **Figuur 13.25** Straling en doordringend vermogen

Hoofdstuk 13 Straling

Ioniserende Straling practicum (6V)

19. Dracht van α -deeltjes in lucht



Hoofdstuk 13 Straling

Ioniserende Straling practicum (6V)

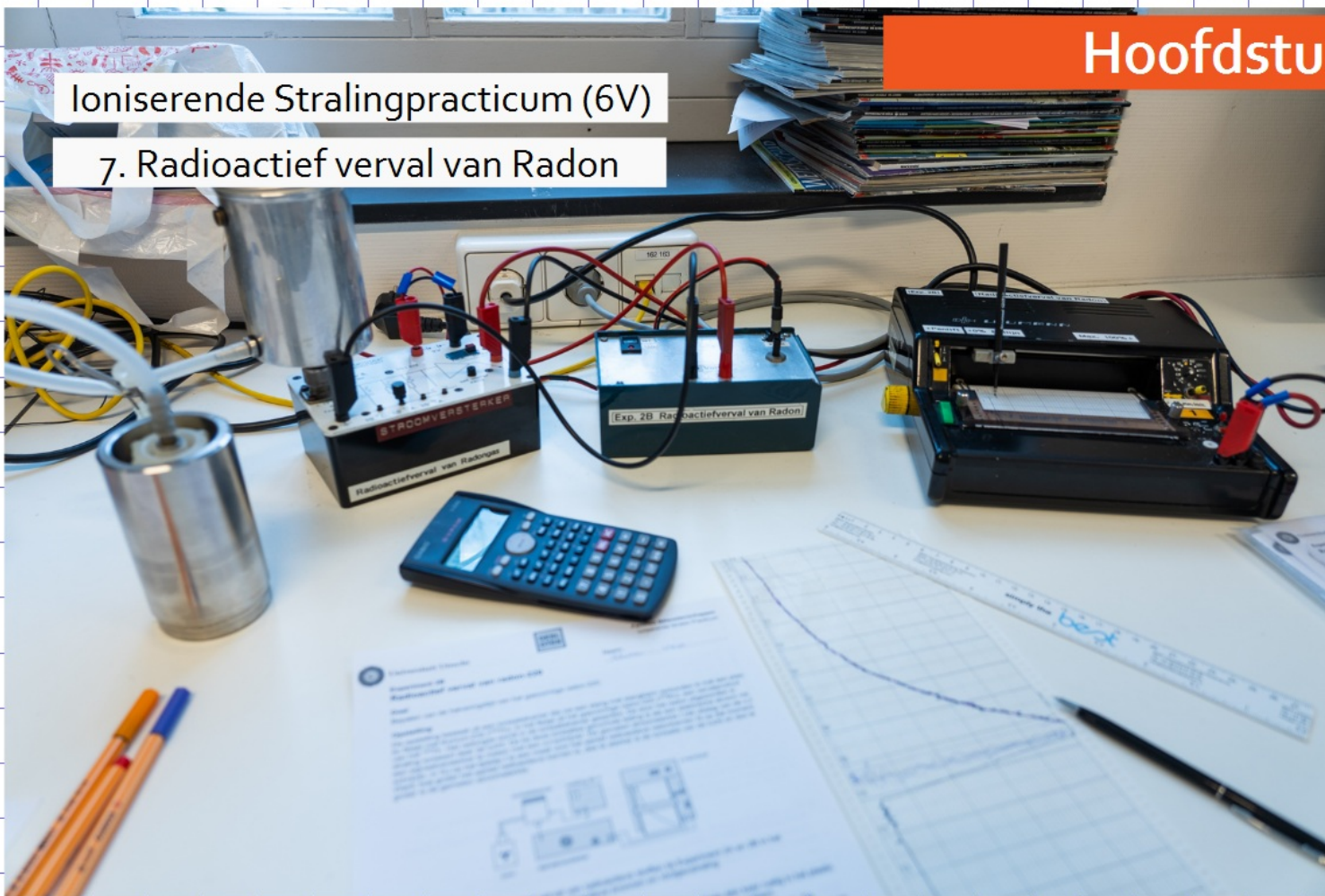
8. Stralingsintensiteit en afstand



Hoofdstuk 13 Straling

Ioniserende Straling practicum (6V)

7. Radioactief verval van Radon



Hoofdstuk 13 Straling

Ioniserende Straling practicum (6V)

5. Absorptie van alfa-, bèta en gammastraling door verschillende materialen.



Hoofdstuk 13 Straling

Ioniserende Stralingpracticum (6V)

12. Terugstrooiing van bètadeeltjes



Hoofdstuk 13 Straling

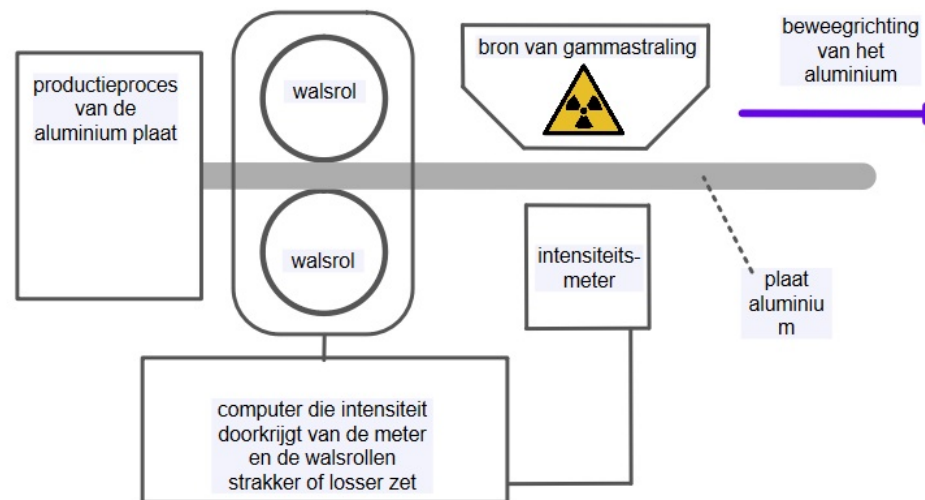
Ioniserende Straling practicum (6V)

21. Absorptie van bètadeeltjes door aluminium.



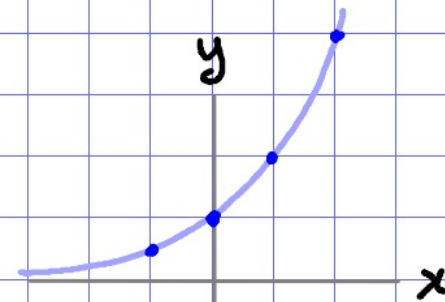
Hoofdstuk 13 Straling

- Archief -



Intermezzo: rekenen aan exponentiële functies

$$\rightarrow y = C \cdot A^{b \cdot x}$$

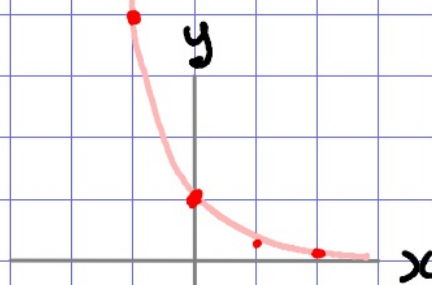


$$y = 2^x$$

x	y
-1	0,5
0	1
1	2
2	4

$$y = (0,5)^{2x}$$

$$I = I_0 \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$$

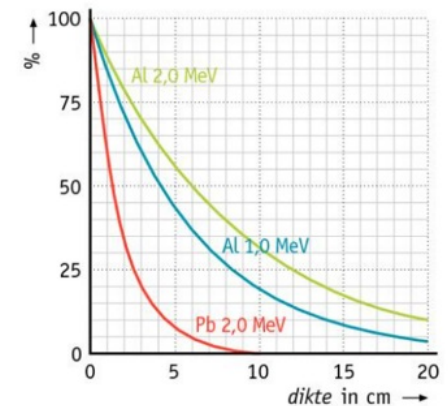


x	y
-1	4
0	1
1	0,25
2	0,0625

Hoofdstuk 13: Straling

§ 13.2 Doordringend vermogen

Denkvraag: hoe verandert de vorm van de grafiek als je de waarden voor A, b en C groter maakt?



▲ **Figuur 13.26** Doorlaatkrommes voor lood (Pb) en aluminium (Al)