



e6 H6 Elektromagnetische golven

Auteur

Team

Laatst gewijzigd

Licentie

Webadres

Bètapartners

Wikiwijs Maken Auteurs

8 mei 2015

CC Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie

<https://maken.wikiwijs.nl/51309/>



Dit lesmateriaal is gemaakt met Wikiwijs van Kennisnet. Wikiwijs is hét onderwijsplatform waar je leermiddelen zoekt, maakt en deelt.

Inhoudsopgave

H6 Elektromagnetische golven	2
6.1 Het elektromagnetisch spectrum	4
6.2 Ontstaan van elektromagnetische golven	5
6.3 Voortplanting van elektromagnetische golven	8
6.4 Mensen scannen met MRI	11
6.5 De röntgenbuis	15
Basiskennistoets hoofdstuk 6	17
Over dit lesmateriaal	19

H6 Elektromagnetische golven



James Clerk Maxwell
(1831-1879)

Beroemd om zijn vier wetten over elektromagnetisme

Leerdoelen

Als je dit hoofdstuk hebt doorgewerkt, kun je:

1. verschillende soorten elektromagnetische straling benoemen;
2. uitleggen hoe elektromagnetische golven kunnen ontstaan;
3. berekeningen met de voortplantingssnelheid van elektromagnetische golven maken;

4. in eigen woorden uitleggen hoe een MRI-scanner werkt;
5. berekeningen over een röntgenbuis maken.

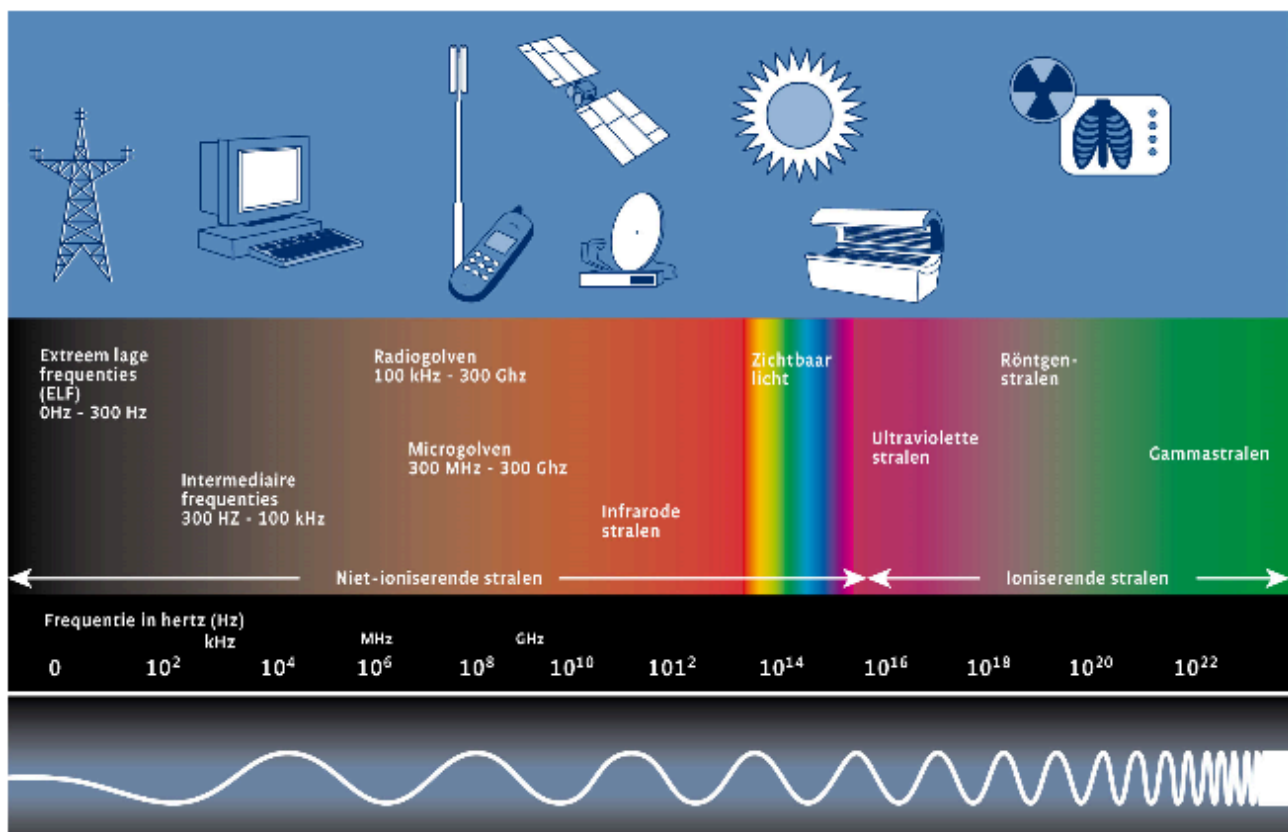
6.1 Het elektromagnetisch spectrum

Straling is overal. We 'maken' het zelf in apparaten als mobiele telefoons, magnetrons en radars. En dan is er nog de enorme hoeveelheid natuurlijke straling, afkomstig van bijvoorbeeld radioactief gesteente hier op aarde. Maar ook uit de verste uithoeken van het heelal! Een hoop verschillende soorten straling dus. Maar zijn ze echt wel zo verschillend?

Onze ogen zijn gevoelig voor wat we kennen als 'zichtbaar licht'. Rood, geel, groen, blauw... het hele kleurenspectrum zit erin. Maar het zichtbaar licht maakt zelf ook weer deel uit van een groter spectrum. Dit kennen we als het *elektromagnetisch spectrum*.

Zoals je weet, heeft zichtbaar licht een golflengte. De golflengte van rood licht is bijvoorbeeld 700 nm en die van violet licht 400 nm. Zichtbaar licht bestaat uit *elektromagnetische golven*. Naast zichtbaar licht zijn er nog veel meer van dit soort golven, met golflengtes die uiteenlopen van minieme picometers tot wel kilometers lang. Samen vormen deze golven het eerder genoemde elektromagnetisch spectrum.

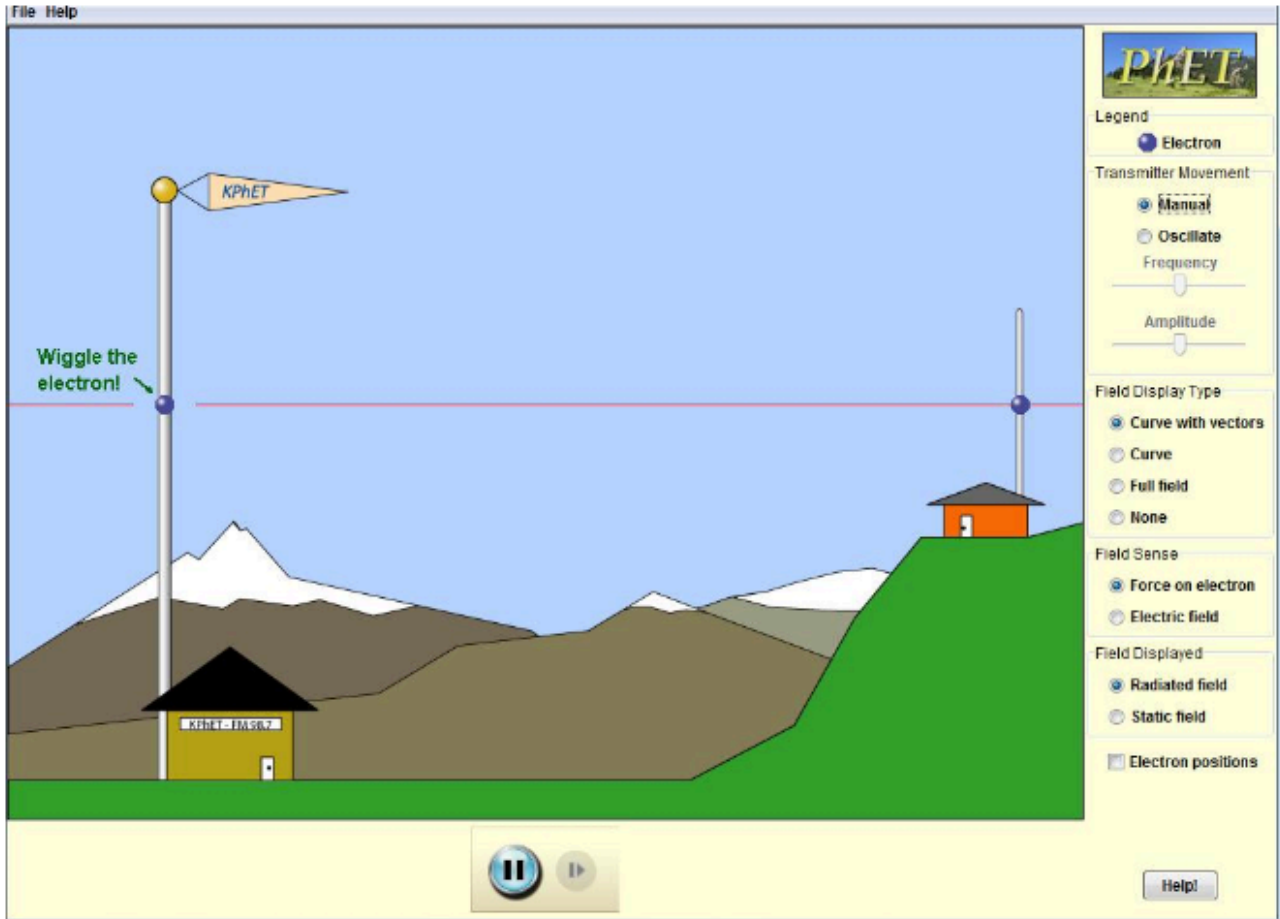
In figuur 6.1.1 vind je een overzicht van het elektromagnetisch spectrum, voor een grotere versie kun je [hier](#) klikken. Zoals je ziet, is alle straling die we in de inleiding besproken hebben in dit spectrum terug te vinden. Straling bestaat dus uit elektromagnetische golven.



figuur 6.1.1

6.2 Ontstaan van elektromagnetische golven

Bekijk de volgende applet.



Klik hier: http://phet.colorado.edu/sims/radio-waves/radio-waves_en.jnlp

- Beweeg het elektron op en neer door de paal.
- Zet hem nu op trillen ('oscillate') met de frequentie op zijn hoogst en amplitude laag, ongeveer 1/10e van de schaal.
- Leg uit wat er met de amplitude gebeurt als de afstand groter wordt.
- Vink onder 'Field display type' nu 'Curve with vectors' aan en schakel af en toe even tussen 'Manual' en 'Oscillate'. Schrijf op wat je opvalt.
- Schakel ook eens naar 'Full Field'.

Wat zijn nu elektromagnetische golven?

De naam doet terecht vermoeden dat elektriciteit en magnetisme er iets mee te maken hebben. Maar hoe? Daarvoor gaan we even terug naar de wet van Faraday: *een veranderende magnetische flux veroorzaakt een inductiespanning.*

Oneerbiedig gezegd is dit een nogal 'oppervlakkige' formulering van die wet. Handig weliswaar, want met spanningen kunnen we goed verder rekenen. Maar de wet van Faraday wordt een stuk 'fundamenteler' als we hem in termen van elektrische en magnetische velden formuleren. In dat geval zeggen we:

Daar waar een veranderend magnetisch veld is, ontstaat een elektrisch veld.

Een andere Brit, James Maxwell, veronderstelde dat het omgekeerde ook moest gelden. Hij bleek daarin gelijk te hebben:

Daar waar een veranderend elektrisch veld is, ontstaat een magnetisch veld.

De zendmast in de applet zendt radiogolven uit door elektronen in de antenne op en neer te bewegen.

In het algemeen kun je zeggen dat bewegende lading, net als een wisselstroom door een spoel, een veranderend magnetisch veld opwekt.

Door dit veranderend magnetisch veld zal nu volgens Faraday een elektrisch veld ontstaan. Een veranderend elektrisch veld, in dit geval. En wat doet dat veld op zijn beurt? Precies, het veroorzaakt weer een (veranderend) magnetisch veld!

Zo blijven magnetische en elektrische velden elkaar opwekken en samen vormen ze een elektromagnetische golf die vanuit de antenne de ruimte in gezonden wordt.



Vragen

<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898367>

Algemene Informatie

Titel Vragen
Aantal Vragen 2

MAIN_SECTION

A)

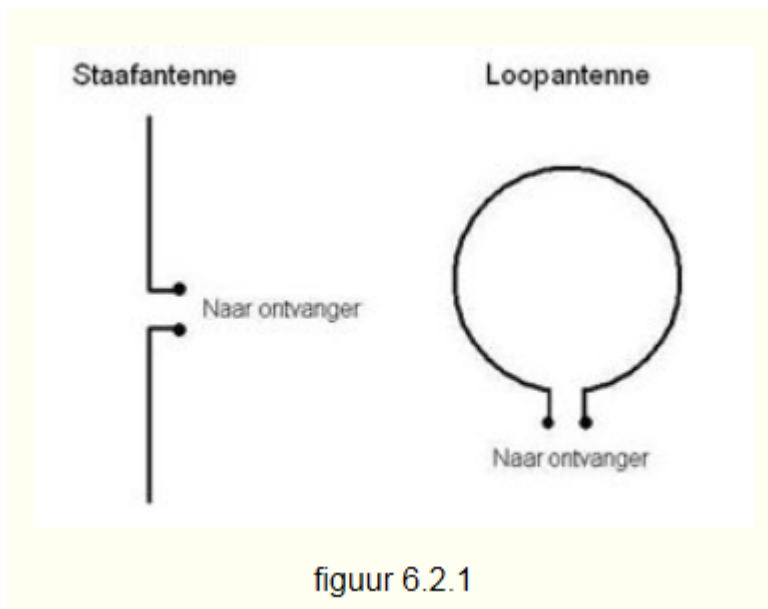
Wat golft er in een elektromagnetische golf?

B)

Om elektromagnetische golven op te vangen, worden antennes gebruikt.

In figuur 6.2.1 zie je er twee.

Leg uit van welk deel van de elektromagnetische golf (het E-veld of het B-veld) elke antenne gebruikmaakt bij de omzetting naar een elektrisch signaal.



Leg uit van welk deel van de elektromagnetische golf (het E-veld of het B-veld) elke antenne gebruikmaakt bij de omzetting naar een elektrisch signaal.

6.3 Voortplanting van elektromagnetische golven

Aan het eind van de 19e eeuw deed Maxwell een van de belangrijkste ontdekkingen in de geschiedenis van de natuurkunde. Door te rekenen aan elektrische en magnetische velden, kwam hij erachter dat er een specifieke golfsnelheid nodig is om een elektromagnetische golf in stand te houden. Een snelheid van maar liefst 300.000 km/s.

Klinkt dat bekend? Juist! Dit is precies de snelheid van het licht die men al jarenlang kende. Na de ontdekking van Maxwell kon men dan ook niet anders dan concluderen dat zichtbaar licht uit elektromagnetische golven bestaat - en deel uitmaakt van de grote familie die we nu kennen als het elektromagnetisch spectrum.

In de applet met de spoel hebben we gezien dat snelle veranderingen van het magnetisch veld een groter inductie-effect hebben. Om een elektromagnetische golf te krijgen die zich effectief voortplant, zijn hoge frequenties nodig, bijvoorbeeld 10^5 - 10^8 Hz voor radiogolven en hoger voor mobiele communicatie en TV (zie figuur 6.1.1).



Vragen

<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898368>

Algemene Informatie

Titel Vragen
Aantal Vragen 6

MAIN_SECTION

A)

a. Bereken hoe lang een elektromagnetisch signaal van de aarde naar de maan onderweg is.

b. Stel dat de zon plotseling uitdooft. Bereken hoe lang het duurt voordat wij daar op aarde iets van merken.

B)

Een radiostation zendt uit op 100,7 FM.

a. Zoek uit wat dit inhoudt.

Ook voor elektromagnetische golven geldt de formule $v = \lambda f$.

b. Geef de waarde van v in dit geval.

c. Bereken de golflengte van de door het radiostation uitgezonden golven.

C)

Een zanger zingt een lied in een zaal. Via zijn microfoon wordt het geluid over de radio uitgezonden.

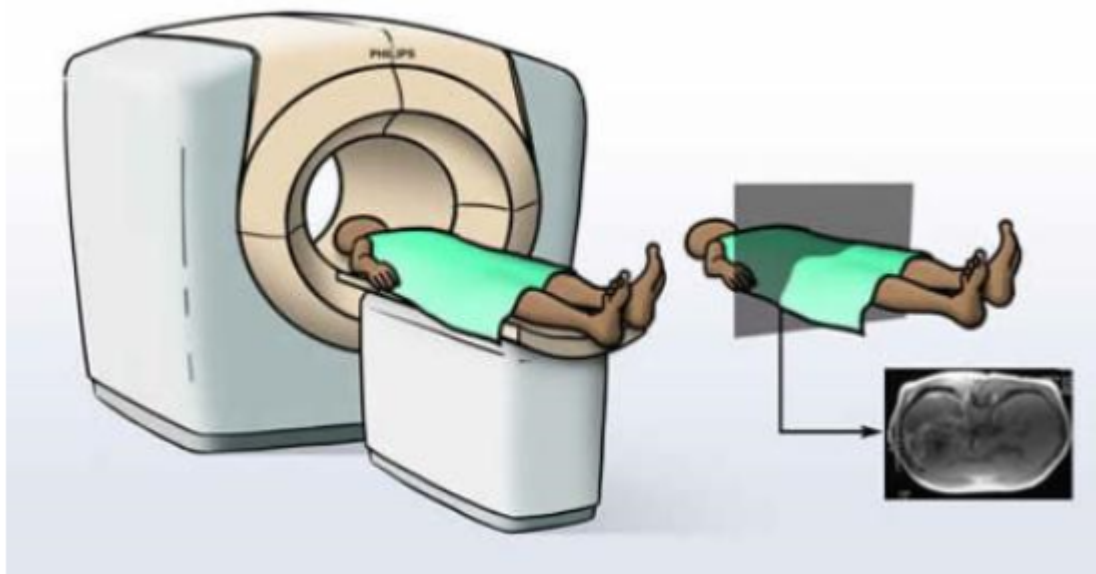
Wie hoort de zanger eerder? Een persoon in de zaal, op 50 m afstand van de boxen, of een persoon op 3000 km afstand met zijn oor vlakbij de radio?

Bereken het verschil in tijdsduur als de temperatuur in de zaal $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ is.

6.4 Mensen scannen met MRI

Een van de grootste medische successen was de ontdekking dat men met behulp van röntgenstraling zicht op het menselijk skelet kon krijgen. Zonder de patiënt te opereren! Het lokaliseren van botbreuken werd zo een fluitje van een cent. Natuurlijk wilde men al snel ook andere delen van het lichaam kunnen bekijken, en zo ging de zoektocht naar nieuwe afbeeldingstechnieken voort.

'Magnetic Resonance Imaging' (MRI) is de naam van zo'n techniek. Met MRI kunnen afbeeldingen van diverse soorten weefsel - waaronder de hersenen - worden gemaakt om bijvoorbeeld tumoren op te sporen. Hoe gaat dat nu in zijn werk?



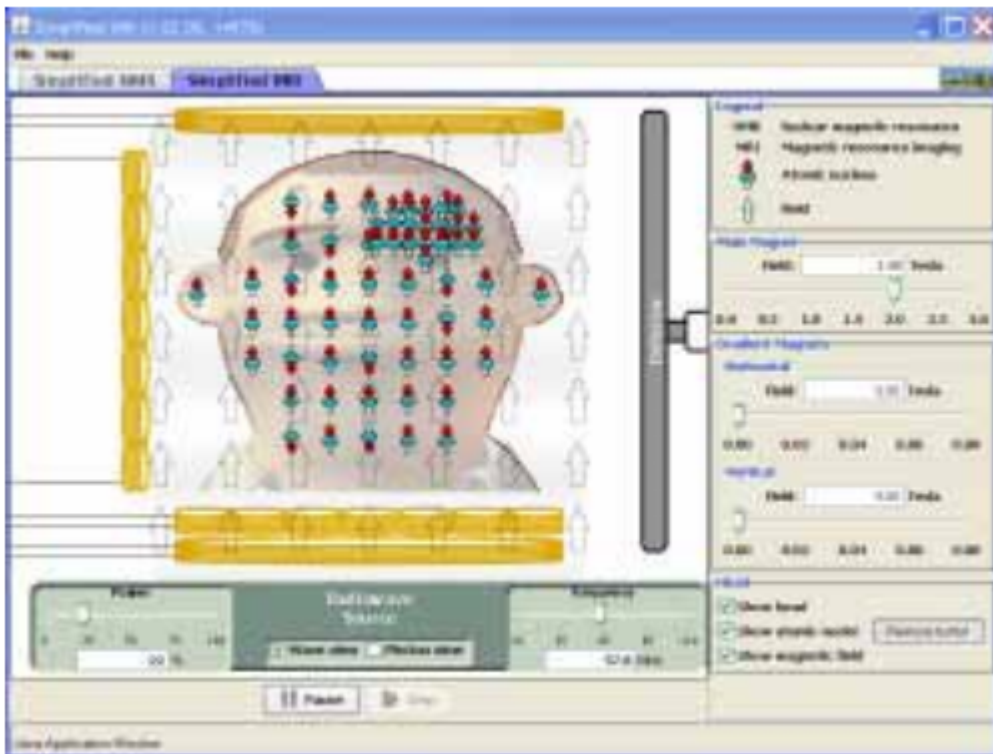
Om te beginnen moet je weten dat er ontzettend veel waterstofatomen in een lichaam zitten. Deze zijn opgebouwd uit één proton en één elektron. In hoofdstuk 3 hebben we al gezien dat elektronen een eigenschap hebben die we spin noemen en dat ze mede daardoor eigenlijk kleine magneetjes zijn. Protonen hebben deze eigenschap ook en daar maakt MRI graag gebruik van.

Eerst wordt er een sterk magnetisch veld rondom het te onderzoeken lichaamsdeel aangelegd (ca. 1 T). In dit veld gaan de protonen zich richten, net zoals een kompasnaaldje in het aardmagnetisch veld. De tweede stap is het toevoeren van kortdurende elektromagnetische golven: 'pulsen'. Deze pulsen beïnvloeden de protonen en brengen ze als het ware uit evenwicht.

Als een puls voorbij is, kan het proton weer terugkeren in zijn oude positie. Hierbij zendt het zelf echter ook een puls uit. Deze pulsen worden gedetecteerd en zo kan men zien hoe de waterstofatomen in het lichaam verdeeld zijn. Aangezien de waterstofdichtheid per weefselsoort verschilt, kan men zo achterhalen op welke plek welk weefsel zit.

Grappig: MRI werd eerst NMR genoemd, *Nuclear Magnetic Resonance*. Een proton is immers de kern ('nucleus') van een waterstofatoom. Mensen kregen echter zo'n spookbeeld bij het woord 'nuclear', dat er toch maar van deze naam is afgestapt.

Bekijk de volgende applet en maak de opdrachten.



Klik hier: http://phet.colorado.edu/sims/mri/mri_en.jnlp

Deel I: Tabblad 'Simplified NMR'

- In het hoofdvenster zie je een aantal trillende atoomkernen voorgesteld.
- Onder het venster staat het bedieningspaneel van de elektromagnetische (EM) golfgenerator. Hiermee kun je het vermogen ('Power') en de frequentie instellen.
- In de balk rechts naast het hoofdvenster staat een klein venstertje waarin twee lijnen te zien zijn. Op de bovenste lijn staan de atoomkernen die 'in trilling' zijn gebracht. Op de onderste lijn staan de kernen die geen energie van de EM-bron hebben meegekregen.
- Ook kun je in de rechterbalk het hoofdmagneetveld instellen.

Zet de power op ongeveer 50%, de hoofdmagneet ('main magnet') op ongeveer 1 T en stel de frequentie zo in dat het olfe tussen de 2 lijnen in het kleine venstertje rechts, onder "energie", precies tussen de 2 lijnen past.



Vragen

<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898369>

Algemene Informatie

Titel Vragen
Aantal Vragen 3

MAIN_SECTION

A)

Wat valt op?

B)

Hoe groot is de resonantiefrequentie?

C)

Zet nu de frequentie terug naar 10 MHz en verklaar wat je waarneemt.

Deel II: Tabblad 'Simplified MRI'

- Stel de MRI in met dezelfde waarden als waarmee je met de NMR veel resonantie waarnam. Onderaan in de rechterbalk kun je onder het kopje 'head' een tumor toevoegen. Doe dit.
- De kunst is nu natuurlijk om zoveel mogelijk fotonen uit de tumor te laten komen en zo weinig mogelijk uit de rest van het hoofd.
- Zoals je ziet is de concentratie van de gevoelige kernen het grootst in de tumor. Omdat ze dichter bij elkaar liggen, draaien ze iets moeilijker en hebben dus iets meer energie nodig en dus een hogere frequentie. Voer nu de frequentie voorzichtig op totdat er bijna geen fotonen meer uit de kernen in het hoofd komen.
- Omdat de kernen ook slordiger liggen, reageren ze beter op een magneetveld dat een beetje scheef op de bewegingsrichting van de golven staat. Zet nu de horizontale 'gradient magnet' op vol en probeer het signaal van de tumor zo duidelijk mogelijk te krijgen.
- Vergelijk jouw resultaat met dat van andere leerlingen en schrijf op wat je opvalt.

D)

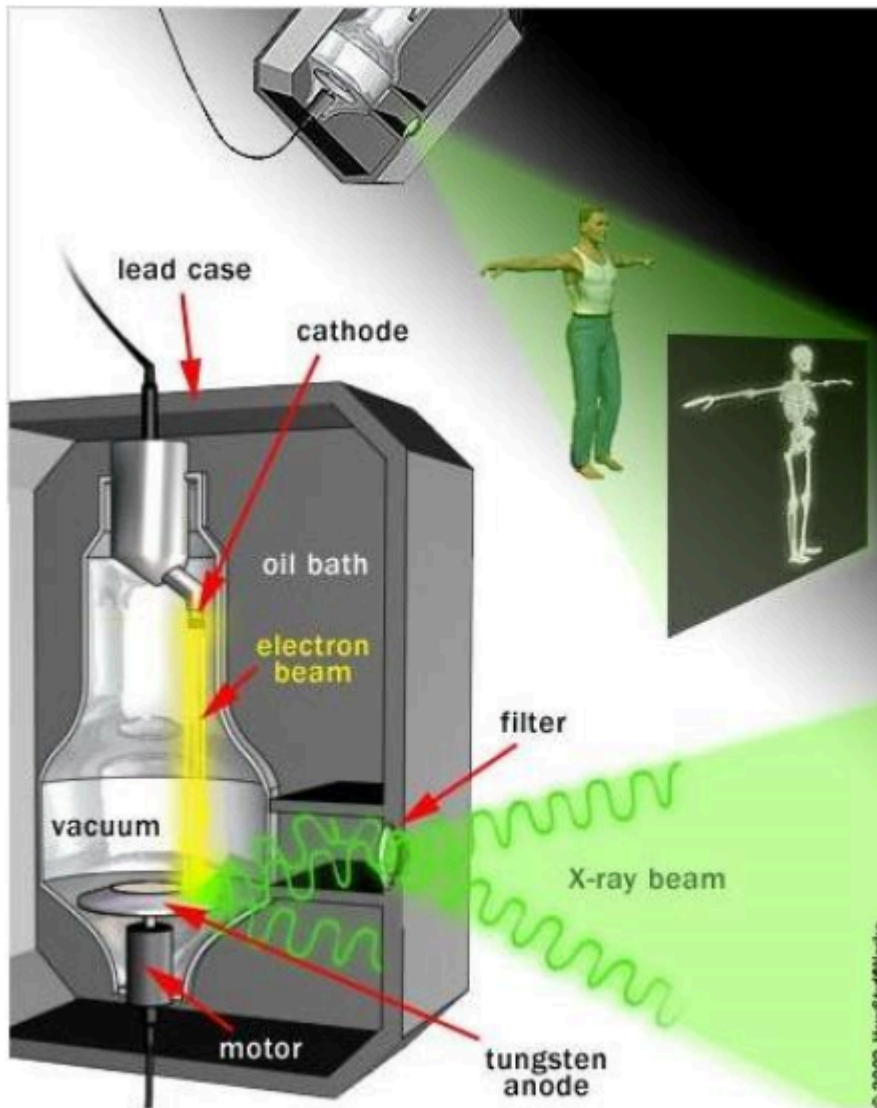
Denk na hoe je de instellingen het beste kunt instellen.

6.5 De röntgenbuis

Het opwekken van röntgenstraling gebeurt in een röntgenbuis.

In de figuur hieronder zie je de röntgenbuis.

In een vacuümbuis zit de kathode (hier de negatieve plaat) waar elektronen worden vrijgemaakt. Tussen de kathode en de anode (hier de positieve plaat) worden de elektronen versneld, zodat ze een enorme kinetische energie krijgen.



De röntgenbuis: als snelle elektronen de anode treffen ontstaat röntgenstraling

De spanning tussen anode en kathode is circa 100 kV. De elektronen hebben bij de anode dus een kinetische energie van 100 keV en ongeveer de helft van de lichtsnelheid.

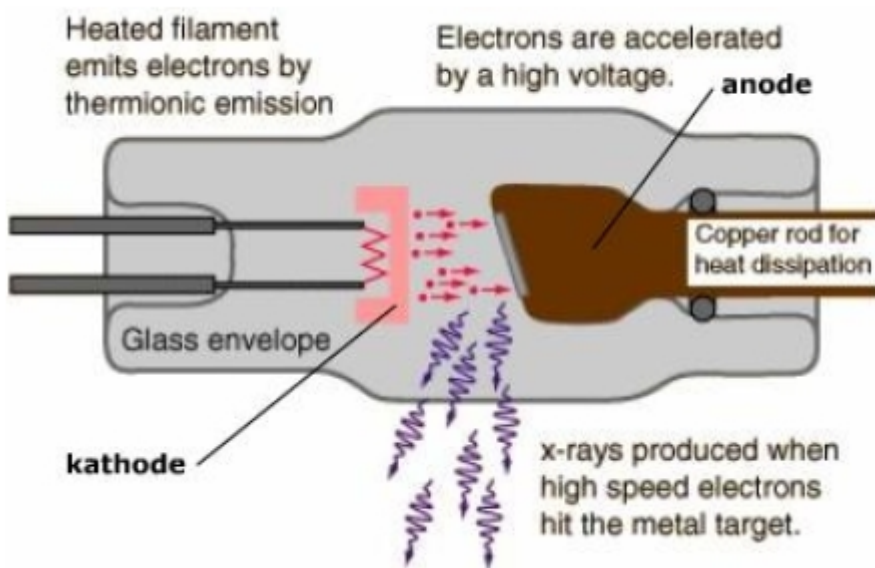
De anode bestaat uit een ronddraaiende schijf van bijvoorbeeld wolfram. Als de elektronen in de anode doordringen, zullen de meeste botsen tegen elektronen van de wolframatomen. Door dit soort botsingen krijgen de elektronen in de anode en ook de wolframatomen steeds meer kinetische energie en stijgt de temperatuur. Om te voorkomen dat de anode gaat smelten, wordt die rondgedraaid (dan wordt niet steeds hetzelfde stuk van de anode door elektronen getroffen) en gekoeld. Het oliebad om de

röntgenbuis is ook voor de koeling bedoeld.

Slechts een klein gedeelte van de binnendringende elektronen komt vlak in de buurt van één van de atoomkernen van de anode. Die elektronen veroorzaken de röntgenstraling.

De röntgenstraling kan door een venster naar buiten komen. In dat venster zit meestal een filter om de zachte röntgenstraling eruit te filteren. De röntgenbuis is omgeven door een loden kast om te verhinderen dat de straling in alle richtingen het röntgenapparaat verlaat. Een röntgenbuis is niet goedkoop: hij kost tussen de 10.000 en 20.000 euro en gaat bij intensief gebruik 6 tot 8 maanden mee.

Opgave 44)



In een röntgenbuis worden elektronen versneld van de kathode naar de anode.

De spanning tussen de anode en de kathode is 120 kV. Neem aan dat de elektronen bij de kathode een te verwaarlozen snelheid hebben.

- Bereken de snelheid waarmee de elektronen de anode treffen.
- Bereken de golflengte van het röntgenfoton als alle energie van het elektron in stralingsenergie wordt omgezet. Als je niet (meer) weet hoe dit moet zoek dan op internet op watde wet van Planck is.

De spanningsbron levert aan de röntgenbuis een vermogen van 10,0 kW. Het vermogen dat nodig is om de kathode te verhitten is te verwaarlozen.

- Bereken hoeveel elektronen per seconde van kathode naar anode gaan.

Het rendement van de röntgenbuis is slechts 1,0 %, dat wil zeggen dat van het elektrisch vermogen slechts 1,0 % in de röntgenstraling gaat zitten - de rest wordt warmte. De anode moet dan ook gekoeld worden. Dit gebeurt met koelwater dat met een temperatuur van 20 °C de buis binnenkomt en er met 80 °C weer uit komt.

- Bereken hoeveel koelwater er per seconde door de anode moet stromen.

Basiskennistoets hoofdstuk 6



Vragen

<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898371>

Algemene Informatie

Titel Vragen
Aantal Vragen 4

MAIN_SECTION

1)

Bij een waterstofatoom draait een elektron om een proton. Volgens de klassieke theorie van de elektromagnetische golven kan dit nooit een stabiele toestand opleveren.

Waarom niet?

2)

Zoek het elektromagnetisch spectrum op in BINAS.

Rangschik de soorten straling naar opklimmende energie.

Wat is het verschil tussen harde en zachte röntgenstraling? Geef ook hun toepassingen.

3)

Welke gegevens heb je nodig om de energie van een bepaalde soort straling uit te rekenen? Denk weer terug aan de wet van Planck. Leg je antwoord uit.

4)

Leg het natuurkundig principe van een MRI-scan uit.

Gebruik hiervoor de begrippen spin van de waterstofkern, uitwendig magneetveld, radiogolven, detecteren van waterstofatomen.

Over dit lesmateriaal

Colofon

Auteurs	Bètapartners
Team	Wikiwijs Maken Auteurs
Laatst gewijzigd	8 mei 2015 om 11:27
Licentie	De Nederlandse Creative Commons 3.0 licentie waarbij de gebruiker het werk mag kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken mag maken onder de voorwaarden: Naamsvermelding en Gelijk Delen, zie http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/nl/ . Meer informatie over de CC Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie licentie.

Aanvullende informatie over dit lesmateriaal

Van dit lesmateriaal is de volgende aanvullende informatie beschikbaar:

Leerniveaus	VWO 6, VWO 5
Leerinhoud en doelen	EM-straling (niet zichtbaar), Natuurkunde, Licht, geluid en straling
Eindgebruiker	leerling/student
Trefwoorden	e-klassen rearrangeerbaar