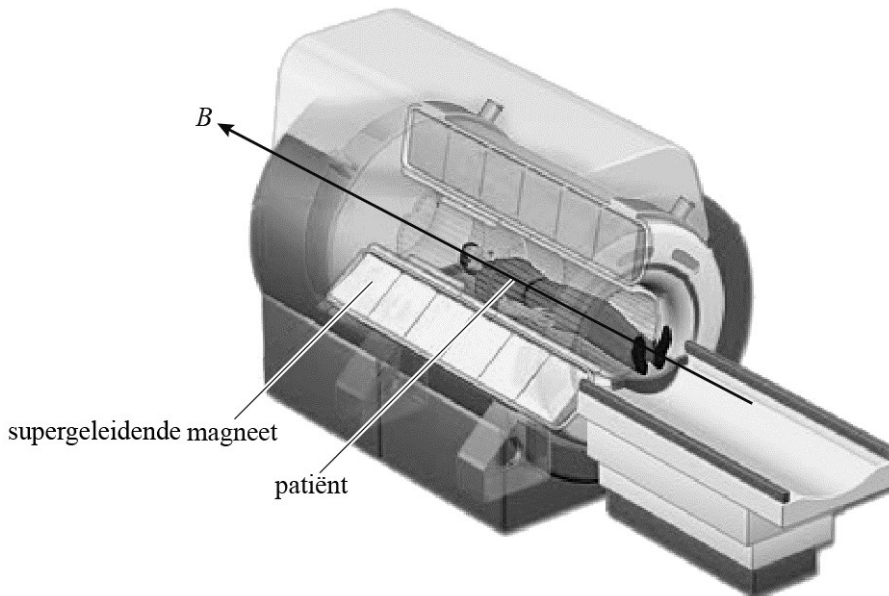


MRI (Magnetic Resonance Imaging)

Een MRI-scanner kan 3D-beelden van het inwendige van een patiënt maken. Daarbij wordt gebruikgemaakt van een sterk magnetisch veld B en van radiogolven. Zie figuur 1 voor een opengewerkte afbeelding van een MRI-scanner.

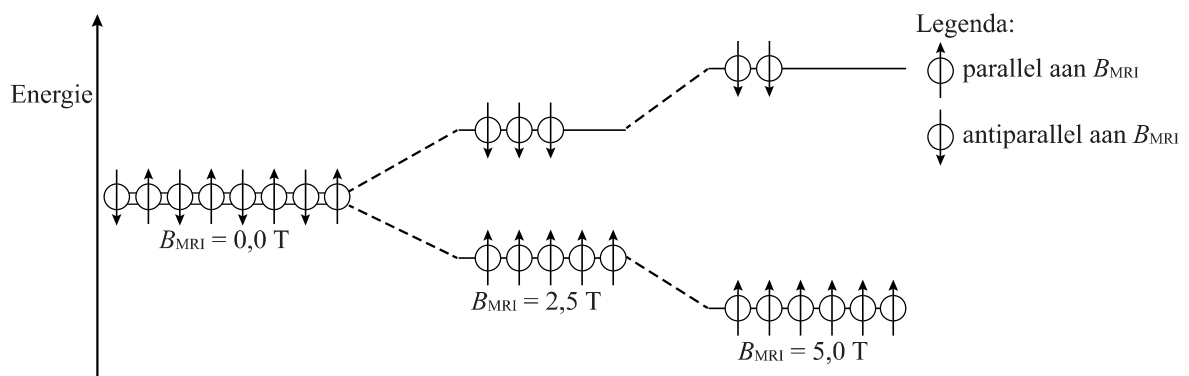
figuur 1



2p 17 Leg uit dat een MRI-scan veiliger is voor de patiënt dan een CT-scan.

De waterstofkernen (protonen) in het lichaam van een patiënt gedragen zich als kleine magneetjes. Deze richten zich als er een magnetisch veld B_{MRI} wordt aangelegd. De waterstofkernen kunnen dan in dezelfde richting als B_{MRI} staan (parallel) of tegengesteld aan B_{MRI} (antiparallel). De waterstofkernen parallel aan B_{MRI} bevinden zich in een lager energieniveau dan de kernen antiparallel aan B_{MRI} . In het lage energieniveau zitten meer waterstofkernen dan in het hoge energieniveau. Bij een sterker magnetisch veld is er een groter overschot aan waterstofkernen in het lage energieniveau. Dit is schematisch weergegeven in figuur 2.

figuur 2



Voor het energieverschil tussen de waterstofkernen die parallel aan B_{MRI} en de waterstofkernen die antiparallel aan B_{MRI} staan, geldt:

$$\Delta E = \gamma h B_{\text{MRI}}$$

Hierin is:

- γ een constante die voor waterstof gelijk is aan: $42,57 \text{ MHz T}^{-1}$;
- h de constante van Planck in J s;
- B_{MRI} de sterkte van het magnetisch veld in T.

Er wordt nu een RF-puls (Radio Frequente puls, puls van radiostraling) naar de patiënt gezonden met fotonen die precies de energie ΔE hebben die nodig is om de waterstofkernen in het hoge energieniveau te brengen.

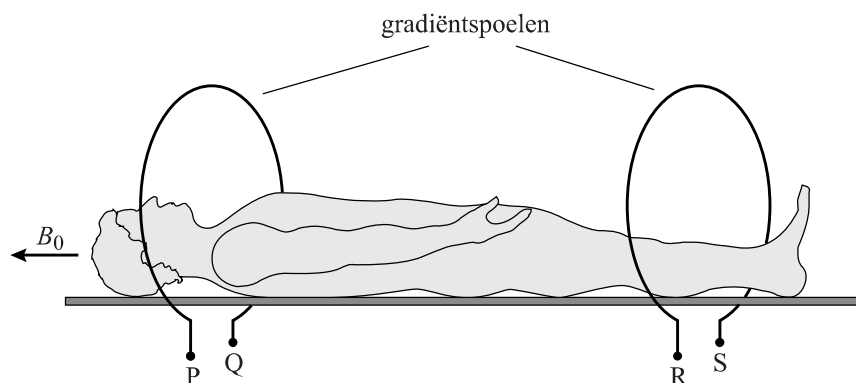
- 2p 18 Bereken de frequentie die de RF-puls moet hebben bij een magnetisch veld van 5,0 T.

Het magnetisch veld B_{MRI} bestaat uit een constant magnetisch veld B_0 en het zogenaamde gradiëntveld B_g . B_g heeft dezelfde richting als B_0 of is tegengesteld aan B_0 en is niet op elke plaats even sterk.

Er geldt: $B_{\text{MRI}} = B_0 + B_g$.

Het gradiëntveld B_g wordt opgewekt door stroom te sturen door twee spoelen. Zie figuur 3 voor een schematische weergave. Figuur 3 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3

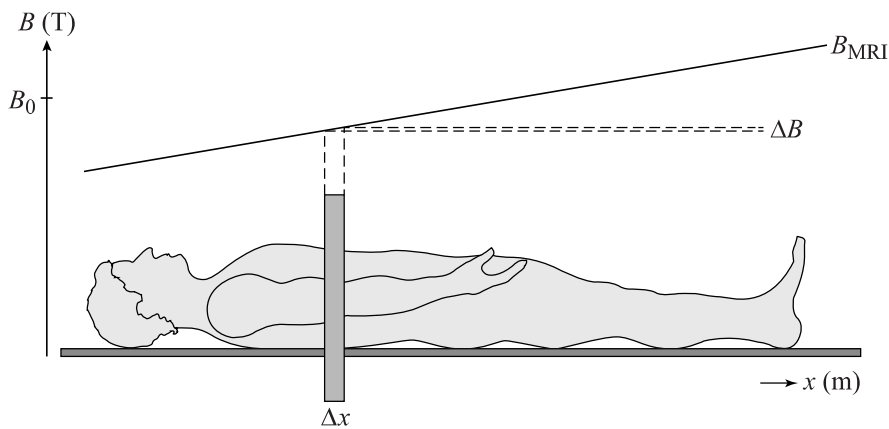


Op een bepaald moment stelt men het gradiëntveld in figuur 3 zodanig in dat het totale magnetisch veld B_{MRI} bij het hoofd van de patiënt minder sterk is dan B_0 en bij de voeten sterker is dan B_0 .

- 3p 19 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage voor elke gradiëntspool aan:
- de richting van het magnetisch veld dat het gradiëntveld levert;
 - de richting van de stroom;
 - de polariteit van de aansluitingen (plus of min bij P, Q, R en S).

In figuur 4 staat het verloop op een bepaald moment van het totale magnetisch veld B_{MRI} schematisch weergegeven. De patiënt blijft op dezelfde plaats liggen. Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



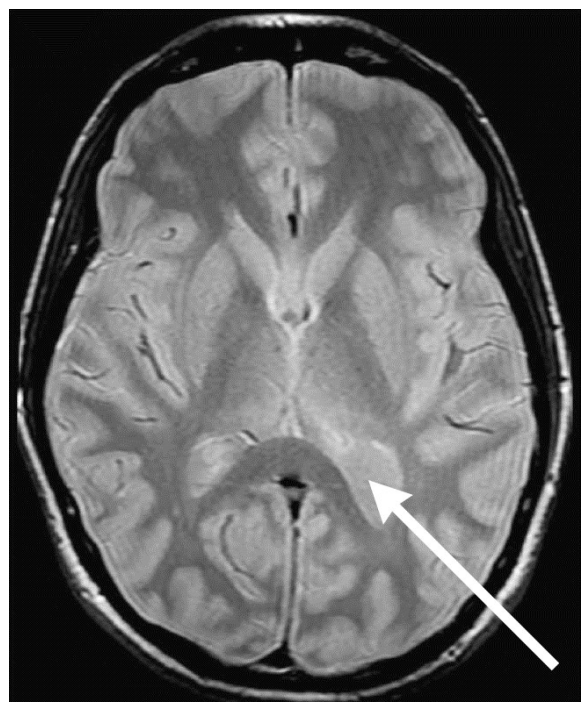
De RF-puls heeft een vaste frequentie zoals in vraag 18 berekend en een vaste bandbreedte. Door deze vaste bandbreedte worden waterstofkernen in een gebiedje ΔB naar het hoge energieniveau gebracht. Hierdoor worden fotonen geabsorbeerd en even later geëmitteerd door waterstofkernen uit een plakje Δx . De plaats in het lichaam en de dikte van het plakje Δx zijn in te stellen door het gradiëntveld B_g te variëren. Het veld B_0 blijft daarbij constant.

Men verandert het gradiëntveld B_g zodat het plakje Δx dunner wordt en bij het hoofd van de patiënt komt te liggen.

2p 20 Teken in de figuur op de uitwerkbijlage hoe B_{MRI} daartoe nu verloopt.

Na het uitschakelen van de RF-puls zenden de waterstofkernen gedurende een aantal milliseconden een signaal uit. Weefsels met veel waterstofkernen geven een signaal met een hoge intensiteit en zijn het witst op een MRI-beeld. Zie figuur 5. Hersenweefsel heeft ongeveer 80% van de waterstofkernendichtheid van water. Andere weefsels hebben een kleinere waterstofkernendichtheid.

figuur 5



2p 21 Leg uit of er bij de pijl in figuur 5 hersenweefsel zit of ander weefsel.

Energievoorziening voor een weerstation

Een afgelegen weerstation is gedurende het hele jaar vierentwintig uur per dag in bedrijf. De installatie wordt van energie voorzien door een 12-volts-accu.

Het elektrisch vermogen van de installatie varieert sterk en bedraagt gemiddeld 2,3 W.

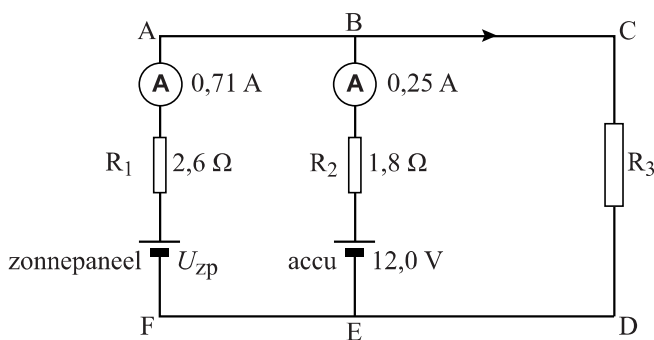
Een volledig opgeladen accu heeft een capaciteit van 75 Ah. (Dit houdt in dat de volledig opgeladen accu gedurende 1,0 uur een stroom van 75 A kan leveren, of gedurende 3,0 uur een stroom van 25 A, enzovoorts.)

Deze accu voldoet niet om de installatie één jaar te laten werken.

- 3p **22** Bereken het aantal volledig opgeladen accu's dat in één jaar nodig zou zijn als ze niet tussentijds worden opgeladen.

Overwogen wordt om naast de accu een zonnepaneel in de schakeling op te nemen. Hiertoe wordt een proefopstelling gebouwd. Zie figuur 1.

figuur 1



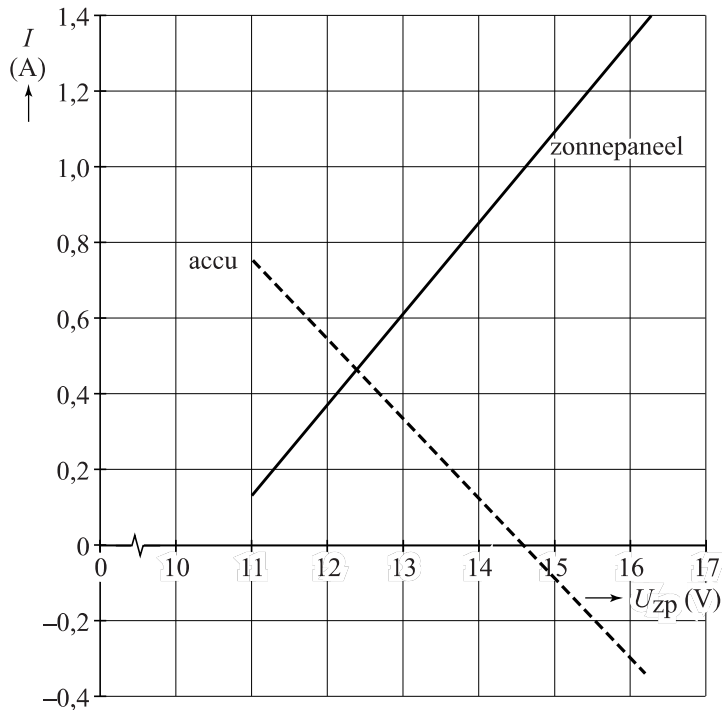
De installatie van het weerstation is weergegeven door een gewone weerstand, aangegeven met R_3 . Het zonnepaneel staat in de schakeling parallel aan de accu.

Bij een bepaalde lichtsterkte op het zonnepaneel leveren beide spanningsbronnen stroom aan de weerstand R_3 en worden de in figuur 1 weergegeven stroomsterktes gemeten.

- 4p **23** Bereken het vermogen dat in dat geval aan weerstand R_3 geleverd wordt.
- 3p **24** Bereken de spanning U_{zp} van het zonnepaneel bij deze lichtsterkte. Gebruik hierbij de spanningswet van Kirchhoff.

De spanning van het zonnepaneel hangt af van de hoeveelheid (zon)licht. Als de hoeveelheid licht toeneemt, neemt U_{zp} toe. Als U_{zp} verandert, blijken zowel de stroom die het zonnepaneel levert als de stroom die de accu levert te veranderen. Dit is weergegeven in figuur 2.

figuur 2



- 3p 25 Beantwoord de volgende vragen:
- Voor welke waarden van U_{zp} wordt de accu opgeladen?
 - Voor welke waarden van U_{zp} levert de accu stroom aan het zonnepaneel?

Het is ongewenst dat de accu stroom levert aan het zonnepaneel. Dit kan men verhinderen door een diode in de schakeling op te nemen.

Op de uitwerkbijlage staat de schakeling van figuur 1 weergegeven.

- 2p 26 Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de diode op een juiste plaats en in de juiste richting.