

## Medische beeldvorming

### Opgave: MRI-scan

- a) Er zitten twee protonen in elk watermolecuul.

Hoeveel watermoleculen zitten in  $1,0 \text{ mm}^3$  water?

$$m = \rho \cdot V = 0,998 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 10^{-9} = 0,998 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

Eén molecuul heeft een massa van  $16 + 2 \cdot 1 = 18 \text{ u} = 2,989 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

Er zitten dus  $3,34 \cdot 10^{19}$  moleculen water in  $1,0 \text{ mm}^3$  water.

Dat zijn dan  $6,68 \cdot 10^{19}$  protonen in  $1,0 \text{ mm}^3$  water.

Er zijn dus  $(6,68 \cdot 10^{19} / 10^6) \cdot 18 = 1,2 \cdot 10^{15}$  protonen in een voxel.

- b) Er geldt:

$$B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{l}$$

$$* B = 3,0 \text{ T}$$

$$* \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$$

$$* N = 200$$

$$* l = 0,60 \text{ m}$$

$$\Rightarrow I = 7,2 \cdot 10^3 \text{ A}$$

- c) Er geldt:

$$P = I^2 \cdot R$$

$$* I = 7,16 \cdot 10^3 \text{ A}$$

$$* R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

$$* \rho = 17 \cdot 10^{-9} \text{ } \Omega\text{m}$$

$$* A = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$* l = 300 \text{ m}$$

$$\Rightarrow R = 5,1 \text{ } \Omega$$

$$\Rightarrow P = 2,6 \cdot 10^8 \text{ W}$$

- d) Beneden een bepaalde kritische temperatuur verliezen metalen hun elektrische weerstand geheel. De weerstand is dan  $0 \text{ } \Omega$ . Bij metalen moet extreem gekoeld worden tot enkele Kelvin boven het absolute nulpunt. Er zijn ook keramische materialen die supergeleiding reeds bij veel hogere temperaturen vertonen. Maar ook deze materialen moeten nog steeds behoorlijk onder kamertemperatuur gekoeld worden. Het voordeel van deze categorie materialen is echter dan ze reeds supergeleidend zijn bij vloeibare stikstoftemperaturen van ettelijke tientallen Kelvin. Nadeel is dat het keramische materialen zijn en dat maakt ze breekbaar.
- e) Als de gradiëntspoelen bekrachtigd worden ondervinden ze in het sterke magneetveld (in z-richting) een behoorlijke lorentzkracht. Deze kracht zorgt mechanische trillingen. Iedereen die wel eens in de buurt is geweest van een MRI die in bedrijf is weet dat het apparaat nogal wat herrie maakt. Schuimrubber en vacuüm zijn twee maatregelen die genomen worden om de geluidsoverlast zoveel mogelijk te beperken.  
In moderne MRI-apparaten is het geluid met wel 90% gedempt (en dan nog maakt het herrie).

f) De frequentie is 20 MHz, dat is midden in het gebied van de radiogolven (zie tabel 19B).

g) Er geldt:

$$E = h \cdot f_{\text{Larmor}} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 20 \cdot 10^6 = 1,325 \cdot 10^{-26} \text{ J} = 8,271 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$$

$$N = \frac{E}{E_f} = \frac{1,2}{8,271 \cdot 10^{-8}} = 1,5 \cdot 10^7$$

h) Fotonen van de RF-spoelen hebben een energie van  $10^{-8}$  eV tot  $10^{-7}$  eV

Atomaire bindingen liggen in de grootteorde van enkele eV (zie tabel 58)

$$10^5 \text{ J/mol} = 10^5 / N_A = 10^5 / 6,0 \cdot 10^{23} = 1,7 \cdot 10^{-19} \text{ J/binding} = 1,0 \text{ eV/binding}$$

De RF-straling is dus bij lange na niet in staat om atomaire bindingen te verbreken.

Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld röntgenstraling waar de fotonenergie in de grootteorde van duizenden eV ligt.

**Opgave: Echografie**

- a) De frequentie van het ultrasoon geluid ligt tussen de 2,5 MHz en de 10 MHz.

Er geldt:

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}$$

$$\Rightarrow \frac{1540}{10 \cdot 10^6} \leq \lambda \leq \frac{1540}{2,5 \cdot 10^6}$$

$$\Rightarrow 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \leq \lambda \leq 6,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\Rightarrow 0,15 \text{ mm} \leq \lambda \leq 0,62 \text{ mm}$$

- b) De indringdiepte van het ultrasoon geluid neemt af met toenemende frequentie. Je zult dus moeten kiezen voor een relatief lage frequentie.
- c) Als je een relatief klein ding als een ader zichtbaar wilt maken moet je er rekening mee houden dat geluid, net als licht, aan buiging onderhevig is. Je hebt bij licht geleerd dat er volledige buiging optreedt als het voorwerp veel kleiner is dan de golflengte van het licht. Dat geldt ook voor geluid. Als het voorwerp dat je zichtbaar wilt maken veel kleiner is dan de golflengte van het geluid dan zal er volledige buiging optreden en zal het voorwerp niet te zien zijn. Je zult in dit geval dus moeten kiezen voor een relatief hoge frequentie.
- d) Het probleem zit hem in het feit dat de apparatuur is gekalibreerd op een gemiddelde geluidssnelheid van 1540 m/s terwijl de daadwerkelijke geluidssnelheid in het vetweefsel tussen 1462 m/s en 1473 m/s kan liggen.

Er geldt:

$$s = v \cdot t$$

$$* d = \frac{1}{2} \cdot s \quad (\text{s is heen en terug})$$

$$\Rightarrow d = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t$$

De relatieve afwijking bedraagt dan maximaal

$$\Rightarrow \frac{d_{\text{gemeten}} - d_{\text{werkelijkheid}}}{d_{\text{gemeten}}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot v_{\text{gem}} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot v_{\text{vet}} \cdot t}{\frac{1}{2} \cdot v_{\text{gem}} \cdot t} = \frac{v_{\text{gem}} - v_{\text{vet}}}{v_{\text{gem}}}$$

$$\Rightarrow \frac{d_{\text{gemeten}} - d_{\text{werkelijkheid}}}{d_{\text{gemeten}}} = \frac{1540 - 1462}{1540} = 0,051 = 5,1\%$$

- e) Het reflectiepercentage tussen zacht weefsel en lucht is 99%. Zonder contactgel zou er nauwelijks een signaal in het lichaam doordringen.
- f) Botten hebben een boven gemiddeld grote akoestische impedantie (grote  $v$  en grote  $\rho$ ) zodat *het verschil in akoestische impedantie ter plekke van de overgang* van weefsel naar bot groot is. Hierdoor zullen de geluidsgolven bij de overgang van weefsel naar bot sterk reflecteren. Botten zijn daarmee voor ultrasoon geluid ondoordringbaar. Je kunt dus niets zien dat zich achter botten bevindt. Daarnaast veroorzaken botten ook allerlei storende effecten zoals schaduw.

- g) Longweefsel heeft een zeer kleine akoestische impedantie (kleine  $\rho$  en met name kleine  $v$ ) zodat *het verschil in akoestische impedantie ter plekke van de overgang* van weefsel naar longen groot is. Hierdoor zullen de geluidsgolven bij de overgang van weefsel naar longen sterk reflecteren. Er dringt dus onvoldoende signaal door tot in de longen.
- h) Zoals al eerder aangegeven is de reflectie aan een grensvlak met lucht zeer groot en dringt hoog frequent geluid niet ver door in het lichaam. Er moet dus een lage frequentie worden gekozen om voldoende signaal in de diepere delen van het oog te krijgen.
- i) Er geldt:

$$N = \frac{t}{T} = \frac{t}{\left(\frac{1}{f}\right)} = t \cdot f = 3,0 \cdot 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 10^6 = 3,0 \text{ perioden}$$

- j) Er geldt:

$$s = v \cdot t$$

$$* d = \frac{1}{2} \cdot s$$

$$* v = 1,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

$$* t = 22,5 - 17,5 = 5,0 \mu\text{s} = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$\Rightarrow d = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

- k) De breedte van de pieken wordt veroorzaakt door de duur van de geluidspuls. De piek begint namelijk zodra de voorkant van de geluidspuls wordt gedetecteerd en eindigt zodra ook de achterkant van de geluidspuls is gedetecteerd. De geluidspuls kan niet veel minder perioden bevatten waardoor de enige mogelijkheid is om de frequentie van het ultrasoon geluid te verhogen. Ook hier tref je dus weer het bekende dilemma aan. Om de resolutie te verbeteren moet je de frequentie verhogen, maar dat gaat weer ten koste van de signaalsterkte omdat dan de reflectie bij het grensvlak met de lucht toeneemt en de absorptie van het signaal in het oog toeneemt.

- l) Er geldt:

$$d = \frac{1}{2} \cdot (s_2 - s_1) = \frac{1}{2} \cdot (v \cdot t_2 - v \cdot t_1) = \frac{1}{2} \cdot v \cdot (t_2 - t_1)$$

$$* v = 1,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

$$* t_1 = t_1 \pm 1 \cdot 10^{-6}$$

$$* t_2 = t_2 \pm 1 \cdot 10^{-6}$$

$$\Rightarrow t_2 - t_1 = t_2 - t_1 \pm 2 \cdot 10^{-6}$$

$$\Rightarrow d = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot (t_2 - t_1) \pm \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-6}$$

$$\Rightarrow d = d \pm 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Rightarrow d = d \pm 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$