

Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Let op het juiste aantal significante cijfers en vergeet de eenheden niet! Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

**Met potlood geschreven tekst wordt niet gecorrigeerd!  
Het gebruik van Tipp-Ex is niet toegestaan.**

### Opgave 1

Brachytherapie staat voor inwendige bestraling. Het is een vorm van radiotherapie waarbij een stralingsbron enige tijd in, of in de nabijheid, van ziek weefsel wordt gebracht.

Er zijn twee varianten voor de behandeling van prostaatkanker.

De zogenaamde LDR- (Low Dose Rate, oftewel laag dosistempo) en de HDR- (High Dose Rate, oftewel hoog dosistempo) behandeling.

In het geval van een HDR-behandeling worden iridium-192 bronnen via holle naalden enige tijd in en/of rond het ziek weefsel geplaatst. In nevenstaande afbeelding zie je hoe dit wordt toegepast als behandeling tegen prostaatkanker. Allereerst worden de naalden (zonder de bron) precies op de juiste plek ingevoerd. Daarna worden de bronnen gedurende een paar minuten via deze buizen in de nabijheid van het zieke weefsel gebracht. Deze behandeling wordt dan over een periode van meerdere dagen of weken een paar keer herhaald.



- a) Geef de mogelijke vergelijkingen voor het verval van iridium-192.

De  $\beta$ -deeltjes bij dit verval hebben een energie van slechts 0,6 MeV.  $\beta$ -deeltjes met zo'n lage energie komen in het weefsel maar ongeveer 3 mm ver. Als je bedenkt dat de bron in een capsule zit komen ze nog minder ver, waardoor ze aan de behandeling van de prostaat geen bijdrage leveren. Het zijn de fotonen, die ten gevolge van het radioactief verval vrijkomen, die voor de eigenlijke dosis zorgen bij deze vorm van bestraling.

Bij één sessie van een bepaalde behandeling moet een stuk weefsel met een massa van 30 g een dosistempo van 20 Gy per uur ontvangen. De behandeling duurt 10 minuten. De gemiddelde energie van de hierbij uitgezonden  $\gamma$ -deeltjes is 350 keV. Neem aan dat alle uitgezonden straling door het stukje weefsel wordt opgenomen.

- b) **Bereken** de gemiddelde activiteit die het ingebrachte iridium moet hebben.

De activiteit van het iridium-192 daalt in de loop van de tijd. Met hetzelfde iridiumpreparaat wordt de behandeling precies vier weken later herhaald. Men wil dan dezelfde stralingsdosis toedienen aan hetzelfde stukje weefsel.

- c) **Bereken** hoe lang de behandeling dan moet duren.

## Opgave 2

Gammastraling heeft een veel groter doordringend vermogen dan alfa- en bètastraling. Bovendien laat gammastraling zich niet volledig afschermen: er komt altijd nog wel iets door de afscherming heen.

Om de halveringsdikte van aluminium voor gammastraling te bepalen, worden plaatjes aluminium van gelijke dikte tussen een gammabron en een telbuis gestapeld. Zie nevenstaande afbeelding. De hoeveelheid gemeten straling zonder plaatjes noemen we 100%.

Bij één plaatje wordt 95% gemeten: het plaatje heeft dus 5% geabsorbeerd.

a) **Leg uit** of de absorptie van de stapel van 5 plaatjes kleiner, even groot of groter is dan 25%.

Met dit experiment wordt vastgesteld dat de halveringsdikte van aluminium voor gammastraling van 1 MeV gelijk is aan 4,2 cm.

b) **Bereken** de dikte van een laag aluminium die nodig is om 99% van deze gammastraling te absorberen.

De waarde van de halveringsdikte voor gammastraling met een energie van 1 MeV vind je ook in BiNaS tabel 28F. Uit deze tabel blijkt dat niet alle stoffen gammastraling in gelijke mate absorberen.

De absorptie van gammastraling is uitgebeeld in nevenstaande afbeelding. Deze afbeelding is niet op schaal.

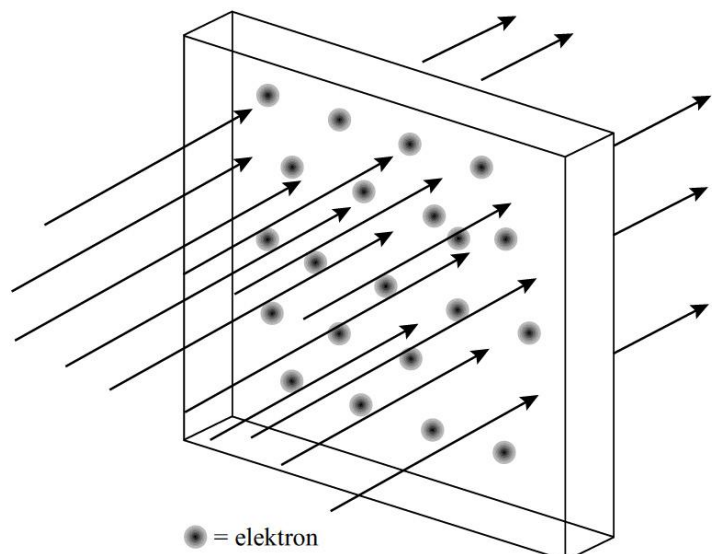
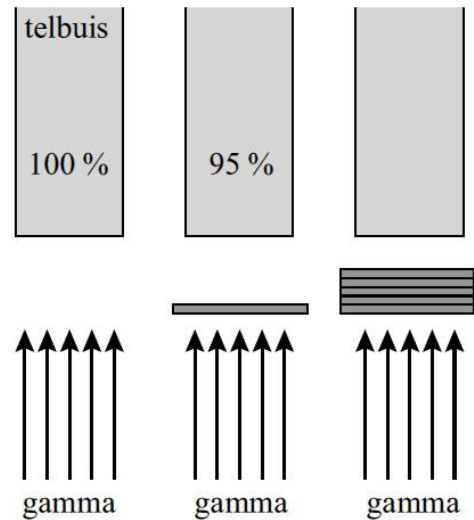
In de afbeelding is een bundel gammafotonen weergegeven die op een plaatje valt. Als een gammafoton een elektron tegenkomt, verdwijnt het uit de bundel en is het geabsorbeerd.

Bij een grotere elektronendichtheid worden dus meer gammafotonen geabsorbeerd. Voor de elektronendichtheid in het materiaal geldt:

$$n_e = \rho \cdot \frac{Z}{m_{\text{at}}} \quad (1)$$

Hierin is:

- $n_e$  de elektronendichtheid;
- $\rho$  de dichtheid van het materiaal;
- $Z$  het atoomnummer;
- $m_{\text{at}}$  de massa van het atoom.



c) **Leg uit** met behulp van formule 1 dat de eenheid van  $n_e$  gelijk is aan  $m^{-3}$ .  
Het verband tussen de halveringsdikte  $d$  van het materiaal en de elektronendichtheid  $n_e$  wordt gegeven door de formule:

$$d_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\sigma} \cdot \frac{1}{n_e} \quad (2)$$

Hierin is:

- $d$  de halveringsdikte van het materiaal;
  - $\sigma$  de effectieve trefoppervlakte van de elektronen in het materiaal.
- d) **Bereken** de effectieve trefoppervlakte  $\sigma$  van de elektronen in aluminium voor gammafotonen van 1 MeV.
- e) **Leg uit** met behulp van de formules en gegevens uit BiNaS uit of de effectieve trefoppervlakte  $\sigma$  met toenemende de energie van de gebruikte gammafotonen toeneemt, gelijk blijft, of afneemt.