

Centraal examen vwo natuurkunde 2026. tijdvak 1, opgave Linac, vraag 19

Het centraal examen vwo 2026, tijdvak 1, bevat een opgave 'Linac' (LINear ACcelerator). Hieronder noteer ik enkele kanttekeningen bij vraag 19 van de opgave. Reacties zijn welkom.

Jaap Koole

gepensioneerd natuurkundedocent vwo, medische leek

DWARF@XS4ALL.NL

Begin van de opgave:

Linac

In ziekenhuizen past men uitwendige bestraling toe om tumoren te behandelen. Het apparaat dat hiervoor wordt gebruikt noemt men een Linac. Het bevat een lineaire deeltjesversneller waarin elektronen worden versneld. Daarna zijn er twee mogelijkheden:

- de tumor wordt direct bestraald met de elektronenbundel;
- met de elektronen worden röntgenfotonen geproduceerd waarmee vervolgens de bestraling wordt gedaan.

De eerste methode is niet voor alle tumoren geschikt.

- 2p 19 Leg uit aan welke voorwaarde een tumor moet voldoen om de eerste methode te kunnen toepassen.

Beoordelingsmodel in het correctievoorschrift:

Linac

19 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

Het doordringend vermogen van elektronen is klein. De tumor moet bij het gebruik van een elektronenbundel dicht onder de huid liggen.

- | | |
|---|---|
| • inzicht dat het doordringend vermogen van elektronen klein is | 1 |
| • consequente conclusie over de ligging van de tumor | 1 |

Het voorbeeld van een antwoord en de twee bollen in het correctievoorschrift passen tot op zekere hoogte bij de hedendaagse klinische praktijk in Nederlandse ziekenhuizen. Echter, het gestelde in het correctievoorschrift bij vraag 19 is niet geheel juist; voor een goed antwoord is meer kennis nodig dan wat de leerling geacht wordt te weten; er zijn andere goede antwoorden mogelijk die passen bij vraag 19.

1 Het gestelde in het correctievoorschrift bij vraag 19 is niet geheel juist.

- a Vraag 19 gaat om een 'voorwaarde' waaraan een tumor moet voldoen om de eerste methode te kunnen toepassen.

In het voorbeeld van een antwoord: 'De tumor moet bij het gebruik van een elektronenbundel dicht onder de huid liggen.' Dit is geen *voorwaarde*, want uitwendige directe bestraling met een elektronenbundel wordt ook toegepast om een tumor in de huid zelf (niet dicht eronder) te behandelen. Zie https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_therapy → Indications

- b In het voorbeeld van een antwoord: 'Het doordringend vermogen van elektronen is klein.' Wat is hier bedoeld? Elektronen met hoeveel kinetische energie? Klein vergeleken met wat? Leerlingen leren over het doordringend vermogen wanneer het gaat om röntgen- en kernstraling. Zij worden geacht te weten of kunnen in het informatieboek *Binas* of *ScienceData* opzoeken:
- dat een β^- -deeltje een elektron is;

- dat de maximale energie van β^- in de orde is van 1 à 10 MeV;
- dat de maximale dracht van β^- of een elektron in weefsel in de orde is van 1 mm tot enkele cm. Leerlingen kunnen bedenken dat het doordringend vermogen van een elektron toeneemt met de kinetische energie, maar dit is geen standaard-leerstof.

De linacs in Nederlandse ziekenhuizen versnellen elektronen tot 4 à 10 MeV, in dezelfde orde van grootte als de maximale energie van β^- , zodat de dracht in weefsel vergelijkbaar is.

Leerlingen worden niet geacht te weten wat de energie is van de bundelelektronen in de opgave. Zij kunnen dit niet opzoeken in het informatieboek. Ze hoeven in hun antwoord op vraag 19 niet de 4,1 MeV te betrekken die pas na vraag 22 wordt genoemd.

Leerlingen worden niet geacht te weten hoe groot het doordringend vermogen van elektronen met een gegeven energie is. Zij kunnen dit niet opzoeken in het informatieboek.

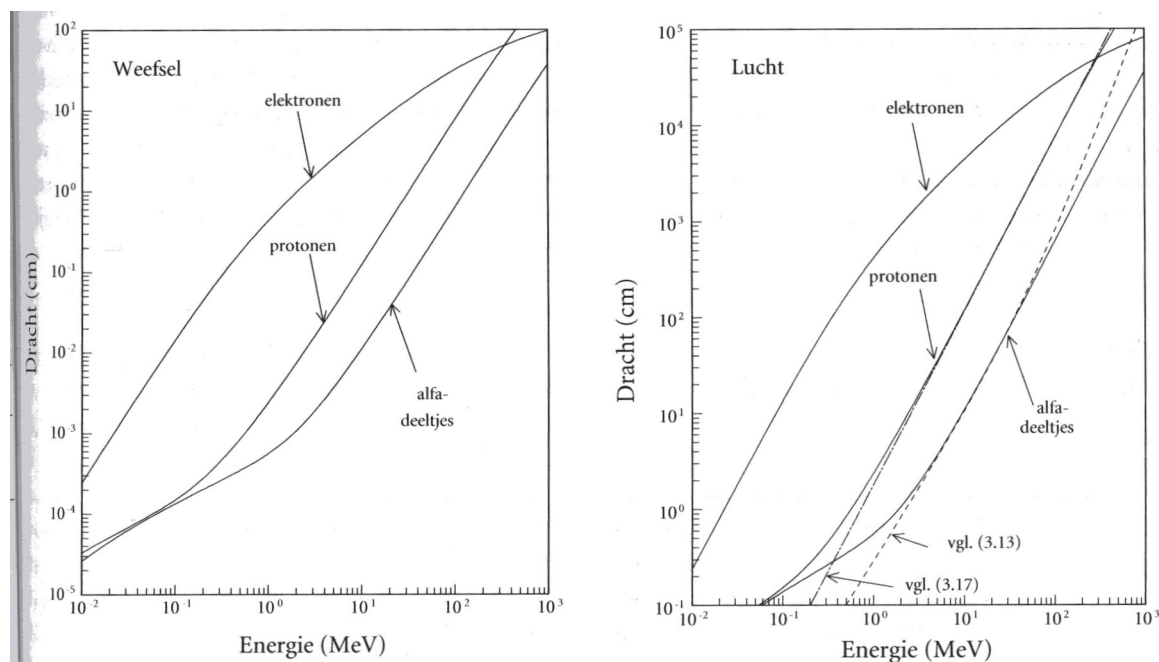
► *Leerlingen zijn in het ongewisse over het doordringend vermogen van de linac-elektronen.*

Zij hebben onvoldoende grond om te kunnen beweren dat de linac-elektronen een tumor kunnen bereiken die dicht onder de huid ligt en niet een dieper gelegen tumor.

- c De β^- van tritium komen niet door de laag met dode huidcellen heen. Een bundel elektronen met dezelfde energie kan niet worden gebruikt om een tumor 'dicht onder de huid' te behandelen.

- d Leerlingen kunnen hebben geoefend met het centraal examen vwo 2010, tijdvak 2, waar bij vraag 15 sprake is van onderzoek naar de bestraling van tumoren met protonen van 200 MeV met een dracht van circa 26 cm in weefsel. <https://nvon.nl/examen/examen-2010-2-vwo-natuurkunde>

Leerlingen kunnen inzien dat elektronen van 200 MeV een vergelijkbare dracht in weefsel hebben als protonen met evenveel energie, ook al worden zulke elektronen nu niet klinisch toegepast.



Figuur 3.10

Dracht (ononderbroken lijnen) van elektronen, protonen en alfa-deeltjes in lucht en zacht weefsel. De onderbroken lijnen zijn benaderingen volgens de aangegeven vergelijkingen.

Bron: *Inleiding tot de stralingshygiëne*, A.J.J. Bos *et al.*, 2009

- e Er is wel simulatie-onderzoek gedaan naar therapeutisch gebruik van 'very high-energy electrons'. Zie Figure 1 van het onderstaande artikel. Grafiek (g): een gefocuseerde bundel elektronen van 200 MeV levert zijn energie hoofdzakelijk af in een 'tumor' op een diepte van 15 cm. De simulatie ondersteunt niet dat 'De tumor moet [...] dicht onder de huid liggen' een voorwaarde is om een elektronenbundel toe te passen voor uitwendige directe bestraling van een tumor.

<https://www.nature.com/articles/s41598-019-46630-w>

- 2 Voor een goed antwoord is meer kennis nodig dan wat de leerling geacht wordt te weten. Behalve het gestelde bij 1b geldt, dat vraag 19 ligt op het vakgebied van de radiotherapie, niet de natuurkunde van het vwo. Vraag 19 vergt kennis van de interactie tussen de bundelelektronen en (tumor)weefsel, de mechanismen waardoor elektronen tumorcellen kunnen doden of hun groei kunnen remmen, de kans op schade aan omliggend weefsel enzovoort. De opleiding tot radiotherapeut duurt circa twaalf jaar. Een leerling kan geen gegronde uitspraak doen over de voorwaarde waaraan een tumor moet voldoen voor uitwendige directe bestraling met versnelde elektronen. Waar in het examenprogramma en de syllabus sprake is van medische aspecten van ioniserende straling, gaat het specifiek om beeldvormingstechnieken en diagnostiek en slechts in algemene zin om effecten van straling op en risico's voor de mens, niet om therapie. Medische behandeling van een tumor is geen leerstof voor natuurkunde in het vwo.
- 3 Er zijn andere goede antwoorden mogelijk die passen bij vraag 19. Zoals Jacco Dankers in het NVON-forum heeft geschreven, kunnen leerlingen andere antwoorden geven die passen bij de vraag naar de 'voorwaarde' waaraan de tumor moet voldoen. Zoals...
- De tumor moet niet nabij 'belangrijk' weefsel liggen dat kwetsbaar is voor nevenschade. Denk aan het hart. Of een zaadbal van een jonge man met een kinderwens.
 - De tumor moet beperkt zijn tot een klein gebied, geen 'tentakels' of webstructuur hebben.
 - De tumor moet groeien. Bij een 'slapende' tumor kan bestraling meer kwaad dan goed doen.
- Mijns inziens is algemene regel 3.3 van het correctievoorschrift van toepassing.
- 3.3 indien een antwoord op een open vraag niet in het beoordelingsmodel voorkomt en dit antwoord op grond van aantoonbare, vakinhoudelijke argumenten als juist of gedeeltelijk juist aangemerkt kan worden, moeten scorepunten worden toegekend naar analogie of in de geest van het beoordelingsmodel;*
- Wat betekent 'vakinhoudelijke argumenten' hier? Welke vakinhoud: natuurkunde van het vwo of radiotherapie?
- Met het oog op de onvolkomenheid van het correctievoorschrift (1) en de ontoereikende kennis van de leerling (2) zou ik geneigd zijn regel 3.3 ruimhartig toe te passen. Het correctievoorschrift schrijft niet dwingend voor dat het antwoord over het doordringend vermogen van de elektronen en de ligging van de tumor *moet* gaan.