

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.

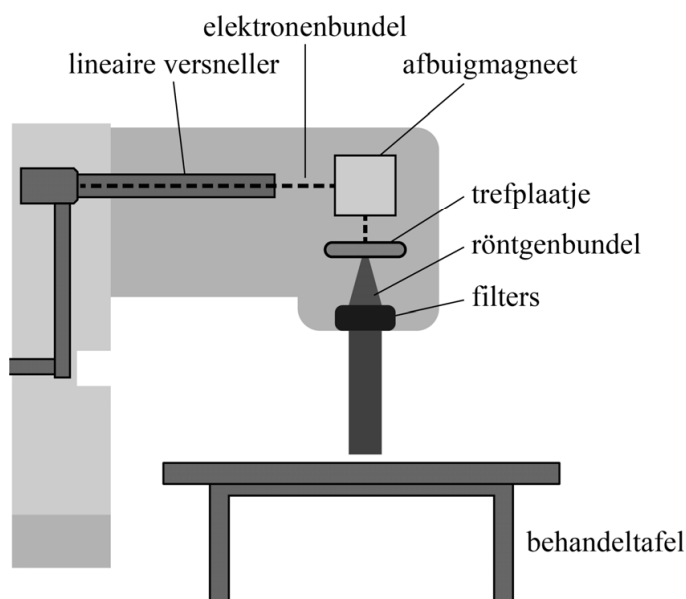
- 2p **19** Leg uit aan welke voorwaarde een tumor moet voldoen om de eerste methode te kunnen toepassen.

Om een röntgenbundel te vormen, bevat de Linac behalve de versneller nog drie andere essentiële onderdelen:

- een afbuigmagneet om de elektronenbundel te richten en te focuseren;
- een trefplaatje waarin de energie van de elektronen wordt omgezet in röntgenfotonen;
- een of meer filters om een gelijkmatige bestraling van de tumor mogelijk te maken.

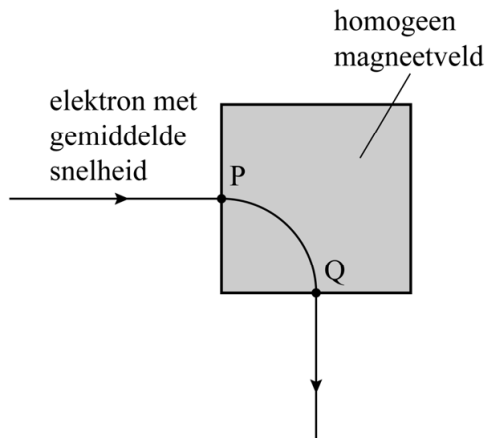
Figuur 1 toont deze onderdelen in een schematische tekening.

figuur 1

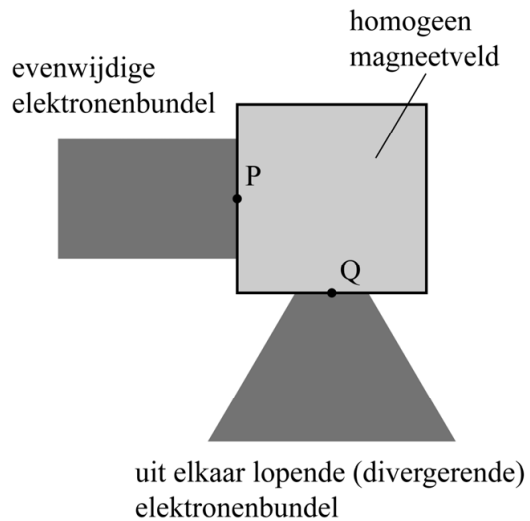


De elektronen moeten na het versnellen naar de behandeltafel worden afgebogen. Dit wordt gedaan met de afbuigmagneet. Figuur 2 toont de baan van een elektron dat met de gemiddelde snelheid in punt P het homogene magneteveld binnenkomt. Het doorloopt een deel van een cirkelbaan en verlaat het magneteveld weer bij Q. Het magneteveld staat loodrecht op het papier.

figuur 2



figuur 3



Voor de baanstraal van een elektron in het magneteveld geldt:

$$r = \frac{mv}{Bq} \quad (1)$$

- 3p **20** Leid formule (1) af met behulp van formules uit het informatieboek.

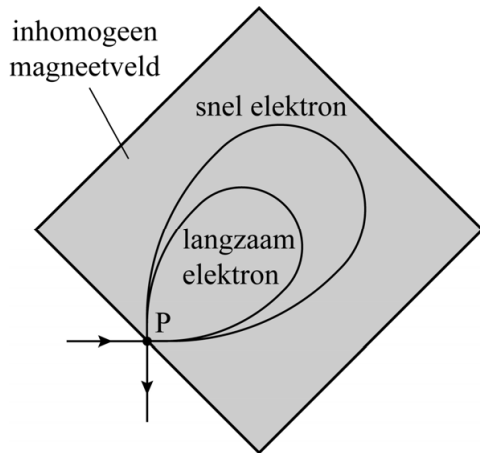
In de praktijk hebben de elektronen niet allemaal dezelfde snelheid en heeft de elektronenbundel een bepaalde breedte. Een evenwijdig invallende elektronenbundel blijkt daardoor na het afbuigen uit elkaar te lopen. Zie figuur 3.

Op de uitwerkbijlage is figuur 2 nog twee keer weergegeven voor elektronen die op een andere hoogte in de bundel of met een andere beginsnelheid het magneteveld binnenkomen.

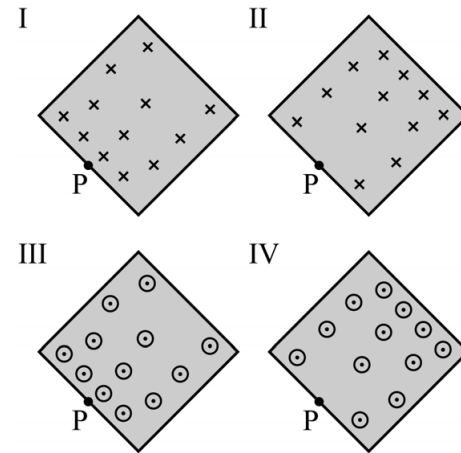
- 3p **21** Teken in beide figuren op de uitwerkbijlage de baan die het elektron volgt door het magneteveld heen en na het verlaten van het magneteveld.

Om ervoor te zorgen dat de elektronenbundel na het afbuigen evenwijdig blijft, gebruikt men in de praktijk een ander magneetveld, dat inhomogeen is. De elektronen doorlopen hierin een bocht van 270 graden. In figuur 4 zijn de banen van een snel en een langzaam elektron in dit veld getekend.

figuur 4



figuur 5

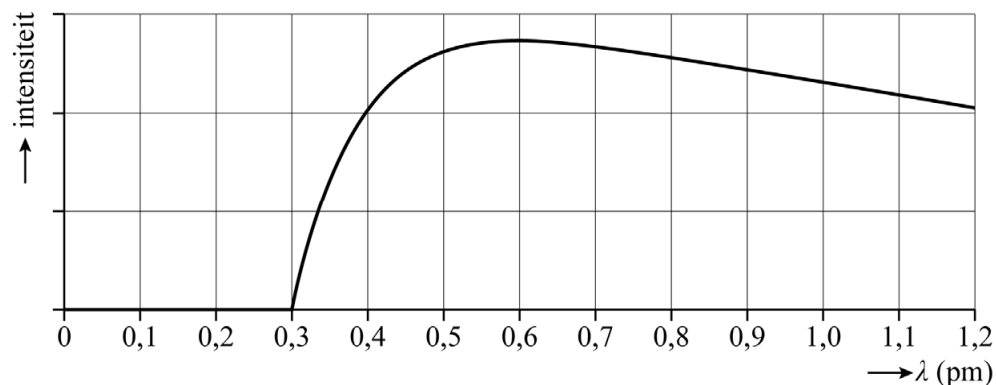


In tekening I en II van figuur 5 is het magneetveld het papier in gericht, en in tekening III en IV het papier uit.

- 3p **22** Leg uit welk magneetveld in figuur 5 (I, II, III of IV) geschikt is om de elektronen de banen van figuur 4 te laten volgen.

De smalle elektronenbundel die uit de afbuigmagneet komt, valt op het trefplaatje. De grafiek van figuur 6 toont het röntgenspectrum dat ontstaat bij een elektronenbundel die versneld is tot 4,1 MeV.

figuur 6

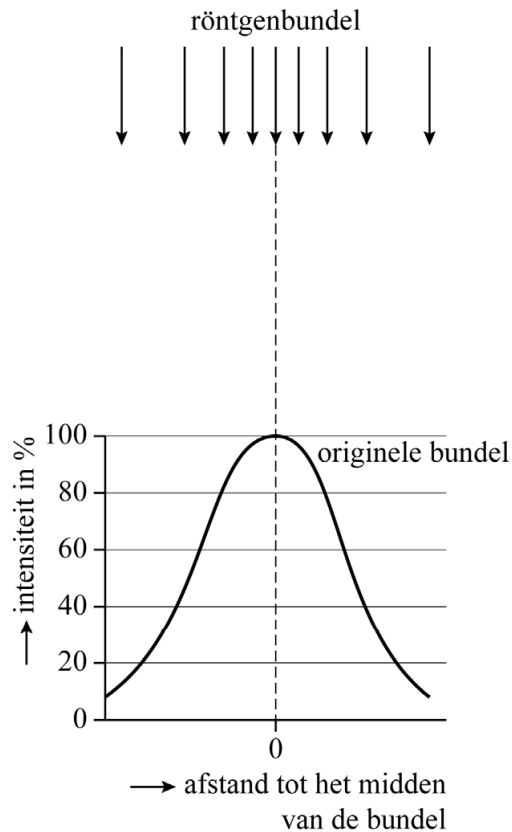


In figuur 6 is te zien dat er geen röntgenfotonen zijn met een golflengte kleiner dan 0,30 pm.

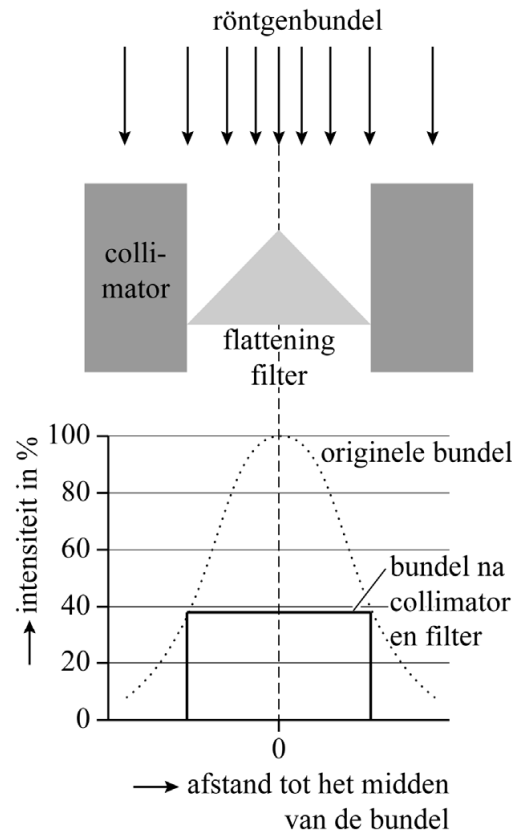
- 3p **23** Verklaar dit met behulp van een berekening.

Omdat de stralingsdosis over het te bestralen gebied constant moet zijn, wil men dat de intensiteit van de bundel röntgenfotonen overal hetzelfde is. Dit is bij de originele bundel niet het geval, zie figuur 7. Daarom monteert men zogenaamde collimators en flattening filters in het apparaat. Zie figuur 8.

figuur 7

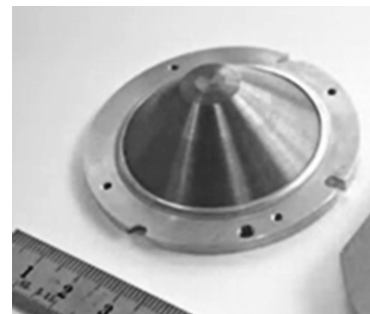


figuur 8



Een collimator houdt alle fotonen in het buitenste deel van de bundel tegen. Een flattening filter moet in het middelste deel van de bundel zoveel fotonen absorberen dat de intensiteit daar overal even groot wordt. Figuur 9 toont een voorbeeld van een flattening filter dat voor dit doel ontworpen is.

figuur 9

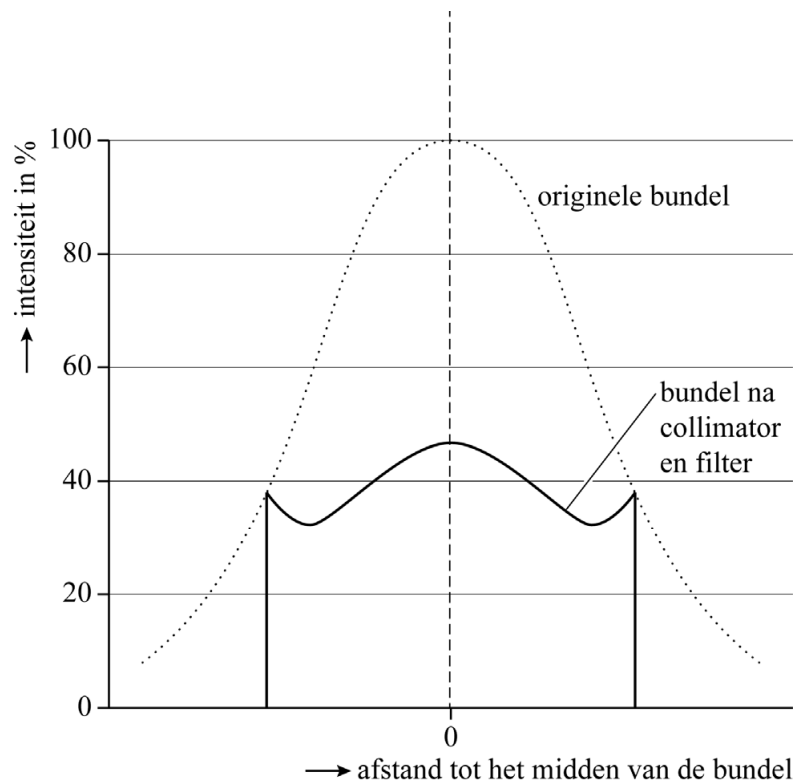


Ontwerpers willen een kegelvormig flattening filter ontwikkelen waarbij de intensiteit na het filter overal 38% van de maximale intensiteit in de originele bundel is. Ze nemen aan dat de gemiddelde fotonenergie overal in de röntgenbundel gelijk is aan 2,0 MeV. Het filter wordt gemaakt van ijzer.

- 2p **24** Bereken de dikte die het flattening filter in het midden van de bundel moet hebben.

In figuur 10 is te zien dat de intensiteit na plaatsing van het kegelvormige filter toch niet over de hele bundel gelijk is. De aanname dat de gemiddelde fotonenergie overal in de bundel hetzelfde is, is kennelijk niet juist.

figuur 10



Op de uitwerkbijlage staat figuur 10 met daarboven een doorsnede van het kegelvormige filter.

3p **25** Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit of de gemiddelde fotonenergie in het midden van de bundel groter of kleiner is dan die aan de randen.
- Schets binnen het gestippelde kader op de uitwerkbijlage een vorm van het flattening filter waarmee een meer homogene bundel ontstaat, zonder extra verlies aan gemiddelde intensiteit.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.