

## Opgave 5 Cyclotron

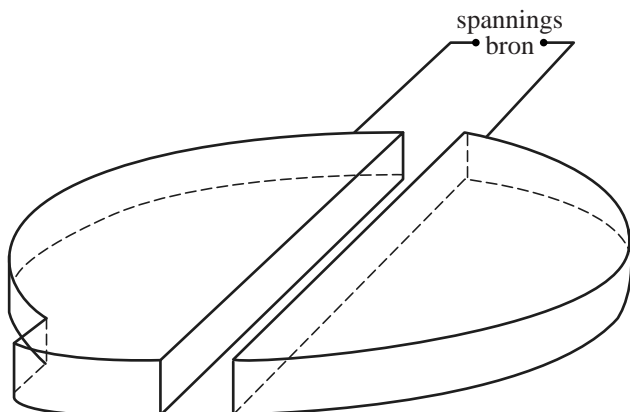
In ziekenhuizen maakt men met een cyclotron radioactieve isotopen die gebruikt worden voor diagnostiek. Zie de foto in figuur 1.

Een cyclotron is een apparaat dat bestaat uit twee holle D-vormige koperen trommels die op een kleine afstand van elkaar staan, zoals schematisch staat weergegeven in de figuren 2 en 3. Deze figuren zijn niet op schaal. Het geheel bevindt zich in vacuüm.

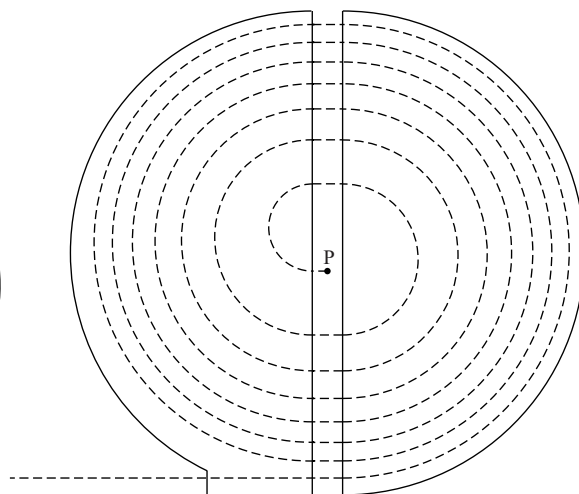
figuur 1



figuur 2



figuur 3



In de ruimte tussen de twee trommels bevindt zich een elektrisch veld. Doordat de trommels zijn aangesloten op een blokspanningsbron wisselt dit veld steeds van richting.

In het midden bevindt zich een protonenbron P. Zie figuur 3. De protonen worden in het elektrisch veld versneld en komen in een van de trommels terecht. Loodrecht op beide trommels staat een homogeen magneetveld waardoor de protonen onder invloed van de lorentzkracht met constante snelheid een halve cirkelbaan doorlopen. De baan van een proton staat weergegeven met een stippelijijn. Figuur 3 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 3p 21 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef in de figuur op de uitwerkbijlage in de punten 1 en 2 de richting van de stroom en de richting van de lorentzkracht aan.
  - Leg uit of het magneetveld in de ene trommel gelijk of tegengesteld gericht is aan het magneetveld in de andere trommel.

De protonen worden alleen tussen de trommels versneld: binnen de trommels is de grootte van de snelheid constant.

- 2p **22** Leg uit dat de elektrische kracht wel arbeid op de protonen verricht en de lorentzkracht niet. Gebruik hierbij de formule  $W = F_s \cos \alpha$ .

In een trommel doorloopt een proton een halve cirkelbaan. Voor de tijd  $t$  die nodig is om zo'n halve cirkelbaan te doorlopen geldt de formule:

$$t = \frac{\pi m}{Bq}$$

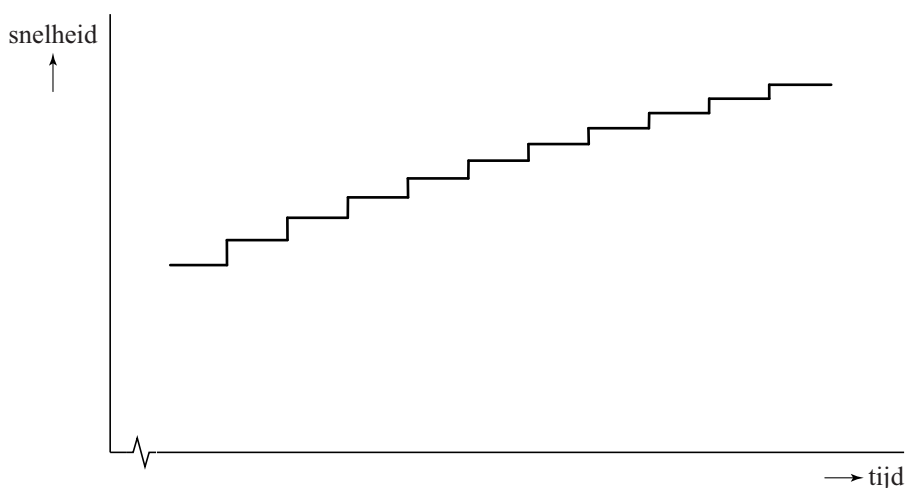
Hierin is:

- $m$  de massa van het proton;
- $B$  de sterkte van het magneetveld;
- $q$  de lading van het proton.

- 4p **23** Leid de formule af met formules uit Binas.

Elke keer dat een proton na een halve cirkel in de ruimte tussen de twee trommels komt, is het elektrische veld van richting omgekeerd, zodat het in de goede richting staat en het proton er dezelfde hoeveelheid bewegingsenergie bij krijgt. De snelheid van het proton als functie van de tijd die hieruit volgt is geschetst in figuur 4.

**figuur 4**



Figuur 4 laat twee eigenschappen zien:

- de tijdsduur van elke stap in de trommels is steeds gelijk;
- de snelheidstoename is bij elke stap tussen de trommels kleiner.

- 3p **24** Leg van beide eigenschappen uit waarom dit zo is.

De sterkte van het magneetveld bedraagt 1,5 T. Het wisselende elektrische veld tussen de twee holle ruimtes wordt veroorzaakt door een blokspanning.

- 3p **25** Bereken de frequentie van deze blokspanning.

uitwerkbijlage

21

