

- 15 Een nieuwe manier om tumoren te bestralen is protonen-therapie. Onderzoekers hebben het gedrag van protonen in water onderzocht, omdat protonen zich in water hetzelfde gedragen als in biologisch weefsel. De protonen dringen het water binnen met een energie van 200 MeV.

a Bereken de totale spanning die nodig om de protonen deze energie te geven.

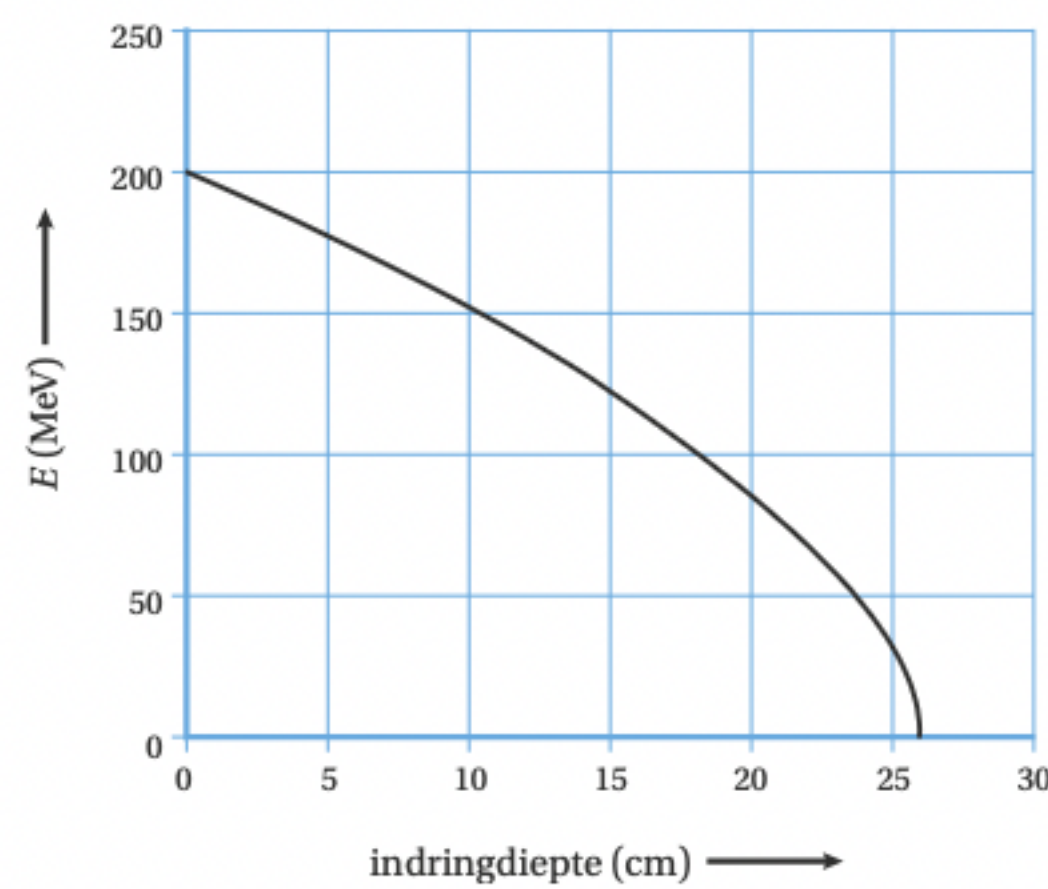
Bij een energie van 200 MeV is de snelheid van de protonen  $6,2 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$ . Volgens de relativiteitstheorie mag je bij deze hoge energie van het proton niet meer de 'klassieke' formule ( $E = \frac{1}{2}mv^2$ ) gebruiken.

b Laat dat zien met een berekening.

In figuur 10.22 is de energie van protonen uitgezet tegen de indringdiepte.

In de grafiek lees je bijvoorbeeld af dat protonen met een beginenergie van 200 MeV ongeveer 50 MeV energie zijn kwijtgeraakt nadat ze 10 cm hebben afgelegd in water. De energieafname per centimeter wordt 'stopping power' (van het water) genoemd, met als eenheid  $\text{MeV cm}^{-1}$ . Uit figuur 10.22 is af te leiden dat de stopping power aan het begin veel kleiner is dan aan het eind.

c Bepaal met behulp van de figuur tot welke indringdiepte de stopping power kleiner is dan  $10 \text{ MeV cm}^{-1}$ .



Figuur 10.22

In een onderzoek naar de bestraling van tumoren wordt een bolletje paraffine beschoten met protonen. Het bolletje is bevestigd op een plaat. Het geheel bevindt zich in een bak met water. Zie figuur 10.23. Protonen gedragen zich in paraffine hetzelfde als in water. De bestraling moet aan drie eisen voldoen:

- het water ontvangt een kleine hoeveelheid energie van de straling;
  - het bolletje ontvangt een grote hoeveelheid energie van de straling;
  - de plaat ontvangt geen energie van de straling.
- d Leg uit dat de linkerkant van de plaat zich moet bevinden op 26 cm van de plaats waar de protonen het water binnenkomen. Bespreek alle drie de eisen.

Protonen met een hogere beginenergie dringen verder door in water dan protonen met een lagere beginenergie. Stel dat de onderzoekers de plaat met het bolletje 10 cm meer naar links zouden plaatsen.

e Welke beginenergie moeten de protonen dan hebben om opnieuw aan dezelfde eisen te voldoen?



Figuur 10.23

#### Opgave 15

- a De totale spanning bereken je met de formule voor de toename van de elektrische energie. De verandering in elektrisch energie bereken je met de verandering van de kinetische energie.

$$\Delta E_k = q \cdot U$$

$$\Delta E_k = 200 \text{ MeV}$$

$$q = +e$$

$$\text{Invullen levert: } 200 \cdot 10^6 = 1 \cdot U.$$

$$\text{Afgerond: } U = 200 \cdot 10^6 \text{ V}$$

- b De snelheid bereken je met de kinetische energie uitgedrukt in J.

$$200 \cdot 10^6 \text{ eV} = 200 \cdot 10^6 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 3,204 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$m = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7B})$$

$$\text{Invullen levert: } 3,204 \cdot 10^{-11} = \frac{1}{2} \times 1,672 \cdot 10^{-27} \cdot v^2.$$

$$v = 1,957 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Dat is meer dan twee keer zo groot als de werkelijke snelheid.

Dus je mag de snelheid bij deze energie niet op de klassieke manier berekenen.

- c De stopping power volgt uit de steilheid van de raaklijn aan de grafiek. De steilheid is  $10 \text{ MeV cm}^{-1}$  als de raaklijn evenwijdig loopt aan de lijn door de punten (0; 300) en (30; 0). Dat is het geval voor de raaklijn bij een indringdiepte van 22,5 cm. Is de indringdiepte kleiner, dan loopt de raaklijn minder steil en is de stopping power ook kleiner.
- d De hoeveelheid energie van de straling is het grootst als de steilheid het grootst is. Na 26 cm wordt er geen straling meer geabsorbeerd, dus het plaatje ontvangt geen energie van de straling. De steilheid is het grootst net voor dit plaatje. Het bolletje ontvangt dus een grote hoeveelheid energie van de straling. De steilheid is in het begin het kleinst. Het water ontvangt dus een kleine hoeveelheid energie van de straling.
- e Het bolletje bevindt zich 10 cm naar links en de grafiek moet hetzelfde blijven. Dus schuift de grafiek 10 cm naar links en is de benodigde energie gelijk aan 150 MeV.