

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.**

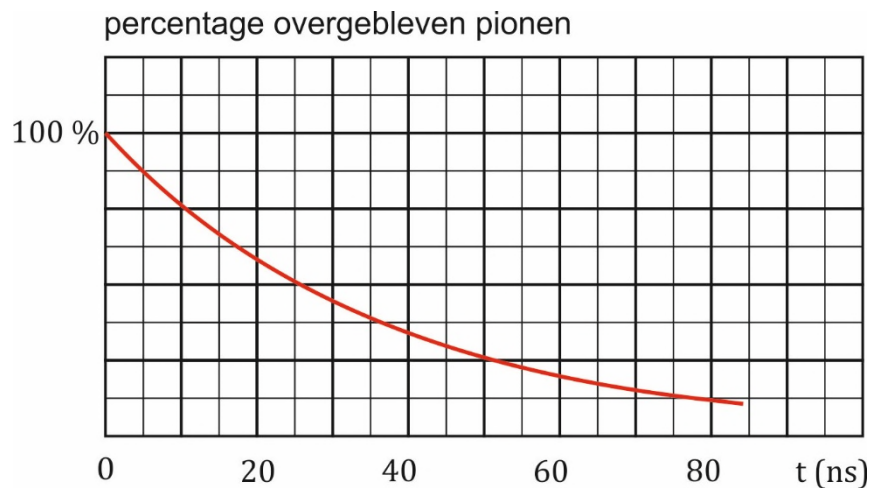
Opgave 1

In gespecialiseerde instituten worden tumoren behandeld door deze te bestralen met geladen deeltjes. Daarbij wordt gebruik gemaakt van zogenaamde pionen. Om pionen te produceren heeft men protonen nodig die met hoge snelheid op elkaar botsen. Daartoe worden protonen van uit rust versneld en daarna in een opslagring geleid.

Voor het gemak veronderstellen we in de rest van de opgave dat de protonen een snelheid van $0,79 \cdot c$ hebben die door gebruik te maken van geschikte afbuigmagneten in een cirkelbaan met een straal van 8,0 m worden gehouden.

- a) **Teken** een stuk van de cirkelbaan waarin je aangeeft hoe de magnetische inductie, de snelheid van de protonen en de lorentzkracht zijn gericht.
- b) **Bereken** het aantal rondjes dat een proton per seconde in de opslagring zal afleggen.
- c) **Toon aan** dat een dergelijk proton een relativistische massa heeft gelijk aan $1,6 \cdot m_0$ en een kinetische energie bezit gelijk aan 0,56 GeV.
- d) **Bereken** de grootte van de magnetische inductie in de opslagring.

Door middel van de protonen worden de pionen geproduceerd. Deze pionen vervallen echter zeer snel. Zie nevenstaande afbeelding. De pionen bewegen met vrijwel de lichtsnelheid door een 8,0 m recht kanaal richting de patiënt.

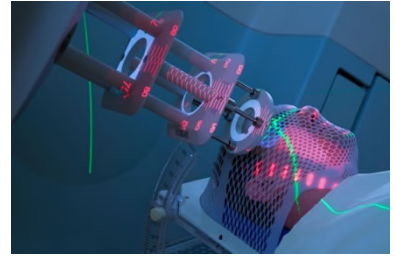


- e) **Bepaal** hoeveel procent van de pionen die het kanaal binnengaan de patiënt bereiken. Laat daarbij relativistische effecten buiten beschouwing.
- f) **Leg uit** waarom het werkelijke percentage veel groter is als relativistische effecten wel worden meegenomen.

Opgave 2

Voor de bestraling van tumoren worden moderne lineaire deeltjesversnellers ingezet. Elektronen worden daarbij versnelt tot een kinetische energie 10 MeV en worden door afbuigmagneten richting tumor geleid.

- Bereken** hoeveel procent de snelheid van de elektronen verschilt van de lichtsnelheid.
- Schat hoe groot de magnetische inductie in een afbuigmagneet moet zijn als de afbuigmagneet de straal over 90° moet afbuigen en het apparaat niet breder dan een meter mag zijn.



Opgave 3

Je versnelt proton 1 tot 99,990% van de lichtsnelheid, proton 2 tot 99,999% van de lichtsnelheid.

Beide protonen vliegen door hetzelfde sterke magnetische veld, dat ze afbuigt.

- Leg uit** of proton 2 dan een andere massa heeft dan proton 1.
- Leg uit** dat proton 2 dan nauwelijks een andere snelheid heeft dan proton 2.
- Leg uit** hoe de baan van proton 2 wel merkbaar verschilt van de baan van proton 1.