

**Trein in het web**

In de film Spiderman 2 stopt de held Spiderman een op hol geslagen trein met behulp van draden gesponnen uit spinrag. Zie figuur 1.

Engelse natuurkundestudenten van de Universiteit van Leicester hebben berekend of het spinrag van een gewone spin hiervoor sterk genoeg is. In deze opgave gaan we deze berekening in stappen na.

**figuur 1**



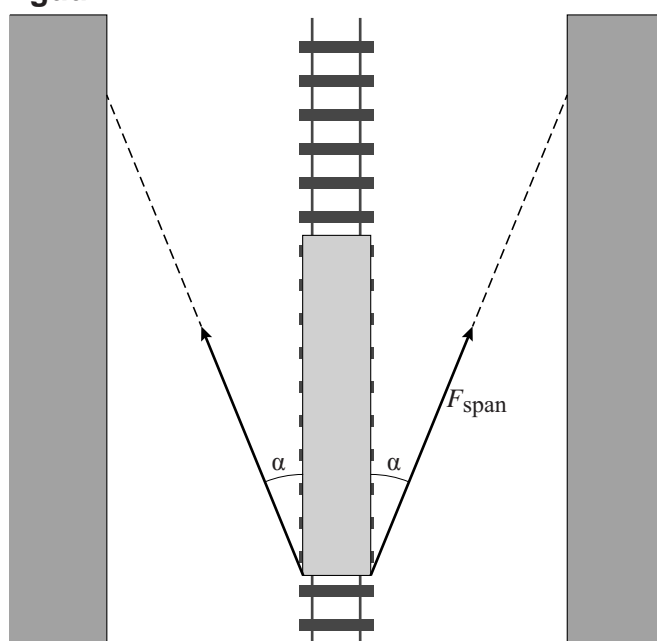
De studenten veronderstelden dat een trein zonder spinnendraden eenparig vertraagd tot stilstand komt.

De trein in de film heeft een beginsnelheid van  $25 \text{ m s}^{-1}$  en wordt in  $50 \text{ s}$  tot stilstand gebracht. De massa van de trein met inzittenden is  $2,0 \cdot 10^5 \text{ kg}$ .

- 2p **15** Bereken de remafstand van de trein.
- 3p **16** Bereken de resulterende kracht die nodig is om de trein af te remmen.

In de film gebruikt Spiderman draden van spinrag die hij links en rechts van de trein aan de gebouwen vast schiet. De eerste draden die Spiderman aan de gebouwen bevestigd heeft, maken een hoek  $\alpha$  met de trein. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.

**figuur 2**



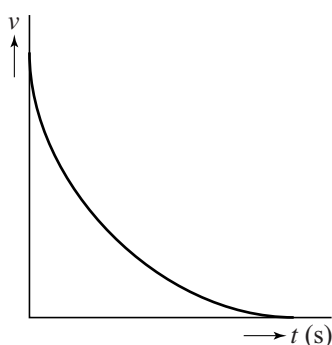
Tijdens het afremmen verandert hoek  $\alpha$  en worden de draden langer. De resulterende kracht  $F$  op de trein wordt hierdoor groter.

- 2p 17 Leg uit waarom de resulterende kracht  $F$  groter wordt bij remmen als:
- hoek  $\alpha$  verandert,
  - de draden (elastisch) langer worden.

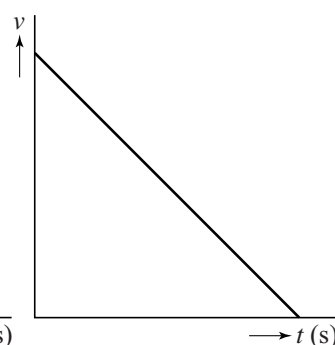
De snelheid van de trein zal niet eenparig afnemen omdat de resulterende kracht groter wordt.

In figuur 3 staan drie  $(v,t)$ -grafieken.

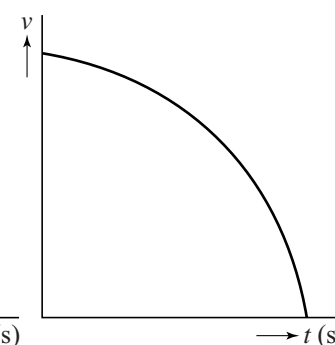
figuur 3a



3b



3c



- 2p 18 Leg uit welke grafiek het snelheidsverloop van de trein tijdens het afremmen het beste weergeeft.

Als de draden maximaal zijn uitgerekt, is de spankracht in de linkerdraad  $1,8 \cdot 10^5$  N. De (relatieve) rek van het spinrag van Spiderman is dan 40.

Uit de film blijkt dat elk van de twee draden van het spinrag van Spiderman bestaat uit acht losse draden. De diameter van een van deze acht draden is 5,0 mm. De diameter is tijdens het remmen constant.

Het sterkste spinrag dat in de natuur wordt gevonden, heeft een elasticiteitsmodulus van 12 GPa bij een (relatieve) rek van 40.

- 4p 19 Leg met behulp van een berekening van de spanning uit of het spinrag dat in de natuur wordt gevonden minder sterk is dan, even sterk is als, of sterker is dan het spinrag van Spiderman.