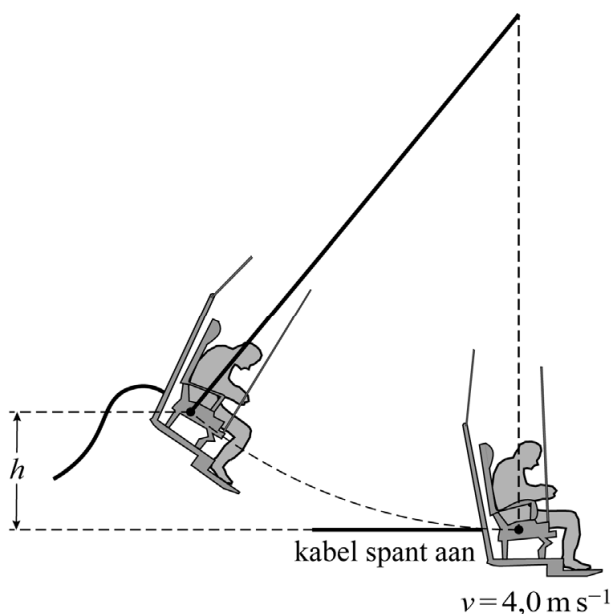


Botsproef

Ongeveer 75 jaar geleden onderzocht John Stapp de effecten van grote versnellingen op het menselijk lichaam. In een van zijn experimenten zat hij op een stoel, met een veiligheidsriem over zijn heupen. De stoel hing aan een lange kabel. De stoel werd uit de evenwichtsstand getrokken en vervolgens vanuit stilstand losgelaten. Zie figuur 1. Bij het laagste punt werd een botsing nagebootst. Dit deed men door een andere kabel aan de achterkant van de stoel aan te spannen, waardoor de stoel plotseling vertraagde.

figuur 1

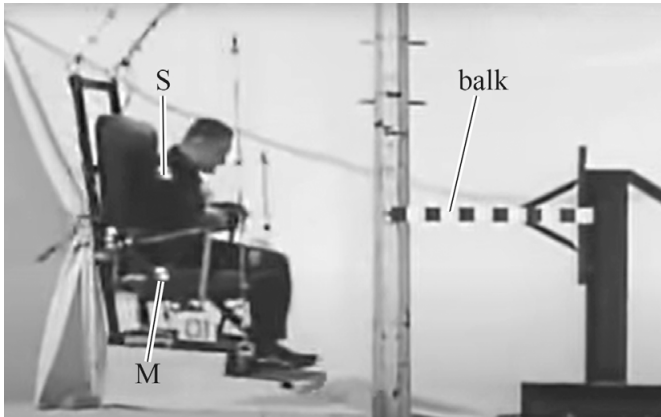


De snelheid van de stoel vlak voor de botsing (het aanspannen van de kabel) is $4,0 \text{ m s}^{-1}$.

- 3p 1 Bereken op welke hoogte h boven het laagste punt de stoel is losgelaten. Verwaarloos daarbij de wrijvingskracht.

Aya heeft op internet een film van het experiment van Stapp gevonden. Figuur 2 toont een beeldje uit de film.

figuur 2



De film werd gemaakt om de beweging met behulp van videometen te onderzoeken. Daarom is er op de achtergrond in figuur 2 een gestreepte balk met een totale lengte van 1 yard ($= 0,91$ m) geplaatst. Ook zijn er twee markeringen aangebracht:

- M, op de zitting van de stoel;
- S, op de schouder van Stapp.

Aya analyseert de beweging van de markeringen M en S. Daarvoor vergroot zij de filmbeeldjes en meet daarin met een liniaal. De vergroting van het beeldje uit figuur 2 staat op de uitwerkbijlage. Daar is ook het assenstelsel aangegeven dat Aya gekozen heeft. Uit haar metingen berekent zij de werkelijke horizontale positie x en werkelijke verticale positie y van de markeringen ten opzichte van de oorsprong.

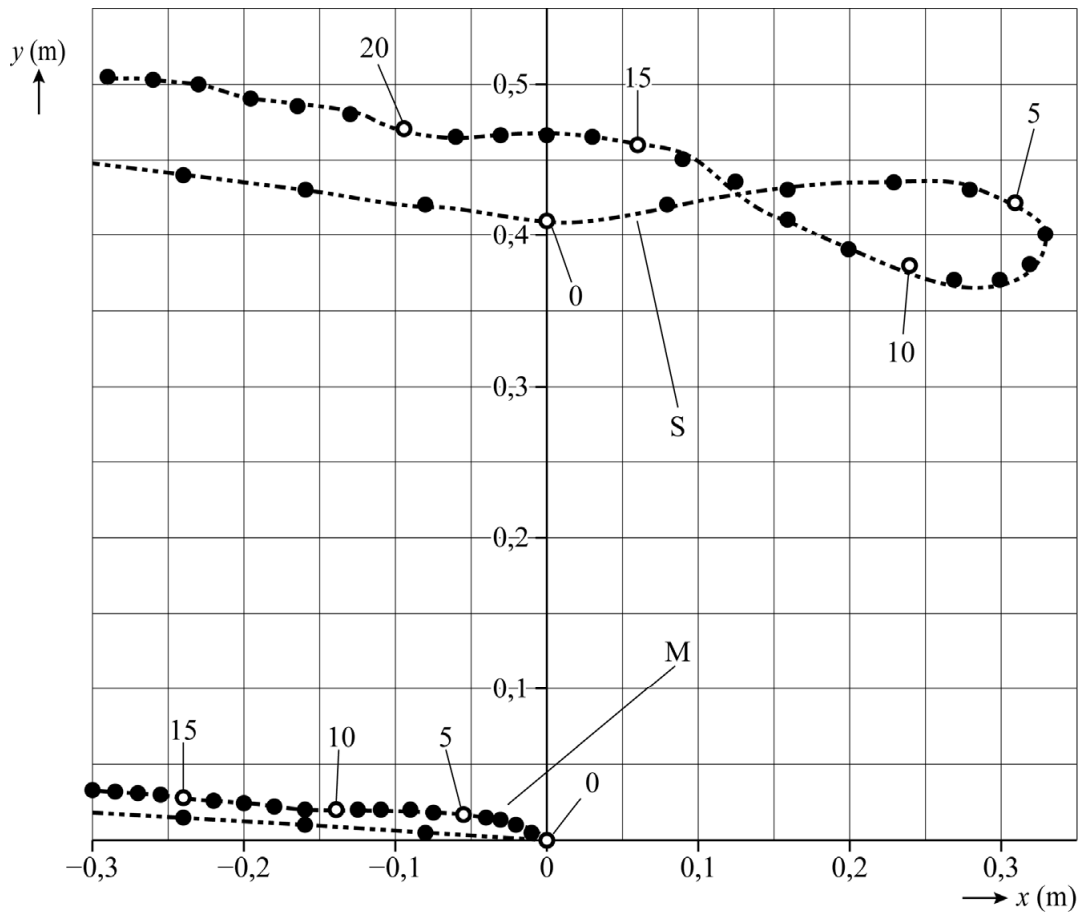
- 2p **2** Schat met de figuur op de uitwerkbijlage tot op hoeveel cm nauwkeurig Aya de werkelijke positie van een markering kan bepalen.

Aya zet de posities van de markeringen M en S uit in een (y,x) -diagram. Dit diagram is weergegeven in figuur 3. In het diagram zijn enkele meetpunten genummerd. Beeldje 0 komt overeen met het moment van de botsing. S en M bevinden zich dan recht boven elkaar bij $x = 0$. De film is opgenomen met 50 beeldjes per seconde.

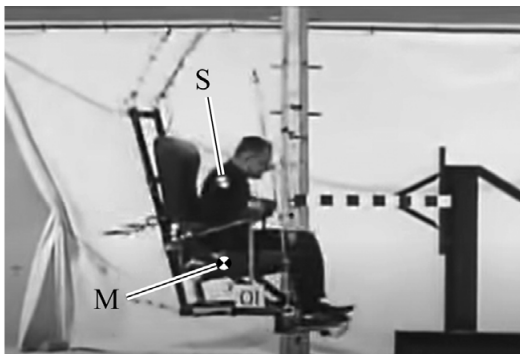
Aya concludeert uit figuur 3 dat S zich na de botsing gedurende 0,34 s rechts van $x = 0$ bevindt.

- 2p **3** Leg met een berekening uit hoe zij deze tijdsduur heeft bepaald.

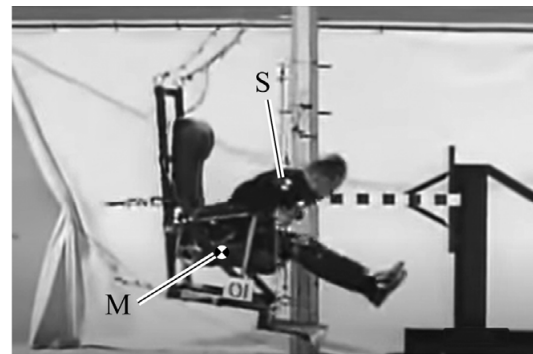
figuur 3



figuur 4



beeldje 0



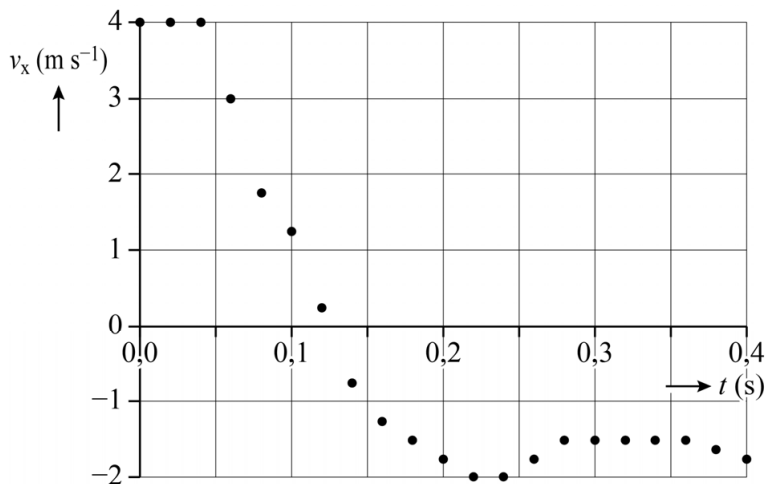
beeldje 5

Figuur 4 toont beeldje 0 en beeldje 5. Hier is te zien dat de schouder na de botsing ten opzichte van de stoel beweegt. De beweging van markering S ten opzichte van markering M duurt volgens Aya 0,34 s.

2p **4** Leg met behulp van figuur 3 uit of Aya gelijk heeft.

Met behulp van software voor videometen bepaalt Aya voor ieder beeldje de snelheid v_x van markering S in horizontale richting. In figuur 5 is v_x uitgezet tegen de tijd t . Figuur 5 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 5



Aya bekijkt het deel van de beweging waarin S vertraagt, tot aan het moment dat de bewegingsrichting omkeert.

- 3p **5** Bepaal met behulp van het diagram op de uitwerkbijlage de gemiddelde horizontale vertraging van S tijdens dit deel van de beweging. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Door de experimenten van Stapp kwam er aandacht voor de vraag hoe inzittenden van een personenauto beschermd kunnen worden tegen de grote vertraging bij een botsing. Men zag in dat de kinetische energie van de inzittenden zo geleidelijk mogelijk moet worden omgezet. De vertraging tijdens het afremmen is in dat geval constant. Voor de horizontale vertraging a_x geldt dan:

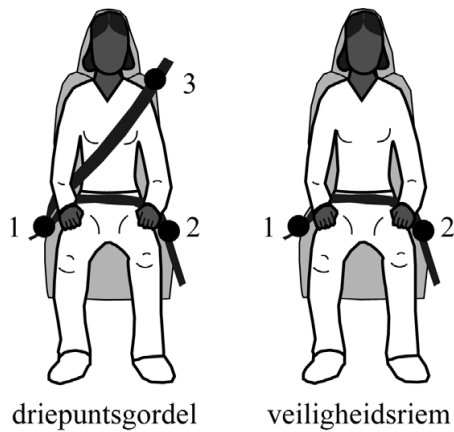
$$a_x = \frac{v_b^2}{2s} \quad (1)$$

Hierin is:

- v_b de horizontale snelheid vlak voor de botsing;
- s de lengte van de remweg in horizontale richting.

- 4p **6** Leid formule (1) af.

figuur 6



Uit de figuren 3 en 5 blijkt dat de schouder van Stapp na de botsing eerst nog met constante snelheid bewoog, en vanaf ongeveer $x = 20$ cm begon te vertragen.

Tegenwoordig zijn driepuntsgordels in personenauto's verplicht. Zie figuur 6. De driepuntsgordel wordt steeds strak tegen het lichaam getrokken. De elastische schouderband van een bepaald type driepuntsgordel kan over een horizontale afstand van 18 cm uitrekken. Aya beweert dat de horizontale vertraging a_x van de schouder van Stapp kleiner geweest zou zijn als hij deze driepuntsgordel had gebruikt in plaats van de veiligheidsriem.

3p 7 Leg met behulp van formule (1) uit of Aya gelijk heeft.