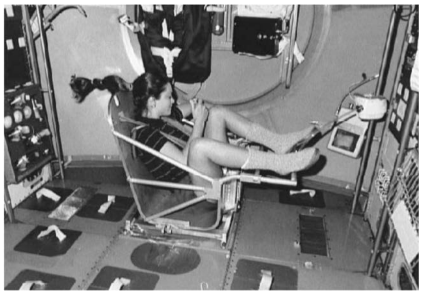
## Massa meten in de ruimte

Astronauten verblijven soms langdurig in een ruimtestation dat om de aarde cirkelt. Om te voorkomen dat de astronauten spier- en botmassa verliezen moeten ze oefeningen doen. Daarom moet gedurende het verblijf hun massa gemonitord worden.

**figuur 1**

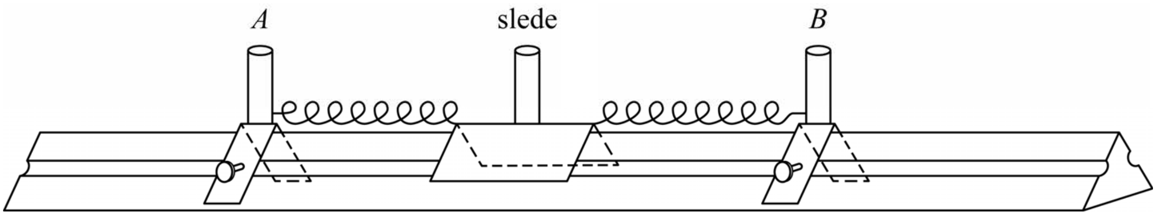


Om in de ruimte de massa van astronauten te bepalen, is speciale apparatuur nodig. Anders dan op aarde kan de massa niet worden bepaald door de astronauten op een gewone personenweegschaal te laten staan.

2p **1** Leg uit waarom dat niet kan.

Figuur 1 toont een foto van een astronaute in een speciale stoel waarmee haar massa kan worden bepaald. Deze stoel is via twee veren, aan de voor- en achterkant van de stoel, verbonden aan twee vaste ophangpunten. Als de stoel een horizontale uitwijking krijgt, gaat hij trillen. Door de trillingstijd te meten, kan de massa van de astronaute worden bepaald.
Jasper en André doen een experiment waarbij ze dit simuleren. Ze gebruiken een luchtkussenbaan met daarop een slede die met twee identieke veren is vastgemaakt aan twee vaste klemmen (zie figuur 2). De veerconstante van elke veer is $25\ \mathrm{N\,m^{-1}}$.

**figuur 2**




De klemmen A en B zijn zo ver uit elkaar gezet dat de veren gespannen zijn als de slede in de evenwichtsstand staat. In de figuur op de uitwerkbijlage zijn drie situaties getekend:

1 De veren zijn nog niet bevestigd aan de slede. $L_0$ is de rustlengte van de veren.
2 De slede is aan twee gespannen veren bevestigd en bevindt zich in de evenwichtsstand. De uitrekking van beide veren is nu $u_0$.
3 De slede heeft een uitwijking $x$ uit de evenwichtsstand. De uitrekking van beide veren is respectievelijk $u_\mathrm{L}$ en $u_\mathrm{R}$.

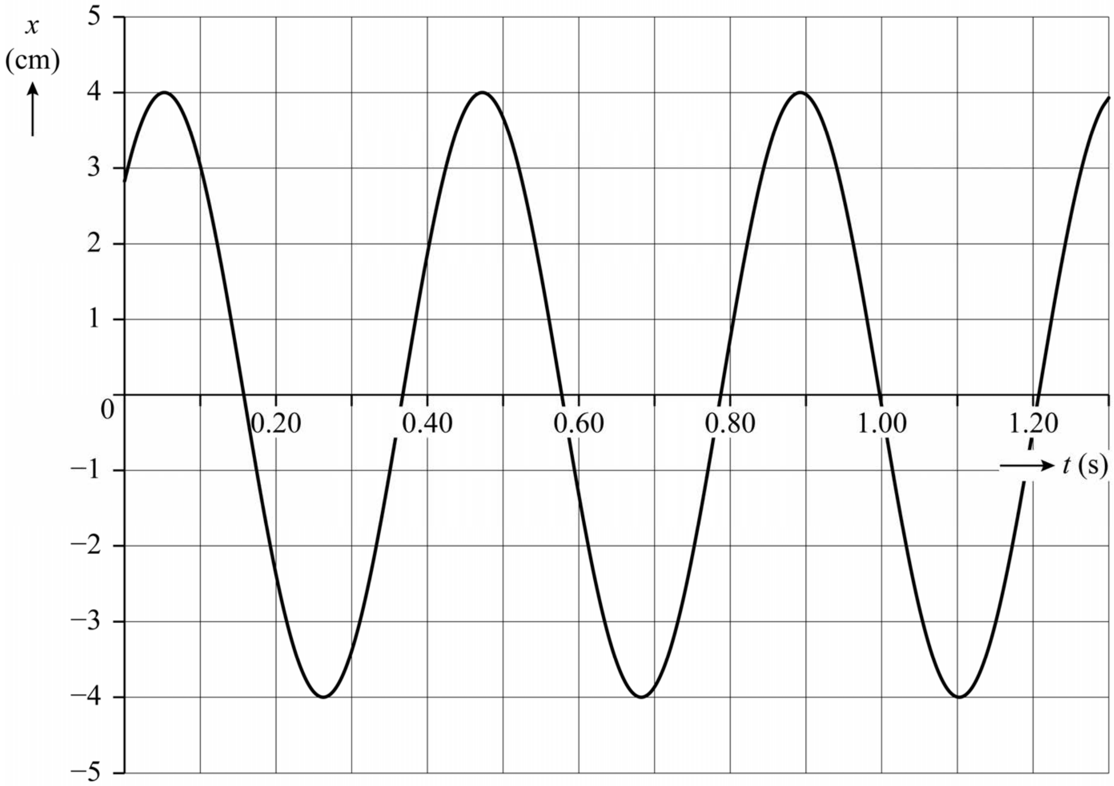
André beweert dat het massa-veersysteem, bestaande uit de slede en de twee veren, een totale veerconstante heeft van $50\ \mathrm{Nm^{-1}}$.

In de figuur op de uitwerkbijlage is in de situaties 2 en 3 de veerkracht $F_\mathrm{L}$ van de linker veer op de slede getekend.

4p **2** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de veerkracht $F_\mathrm{R}$ van de rechter veer op de slede in de situaties 2 en 3.
- Leg hiermee uit dat André gelijk heeft.

Nadat de slede een uitwijking uit de evenwichtsstand heeft gekregen, beweegt deze wrijvingsloos over de luchtkussenbaan. Jasper en André maken een videometing van de beweging van de slede. Het $(x,t)$-diagram van deze meting staat in figuur 3.

**figuur 3**

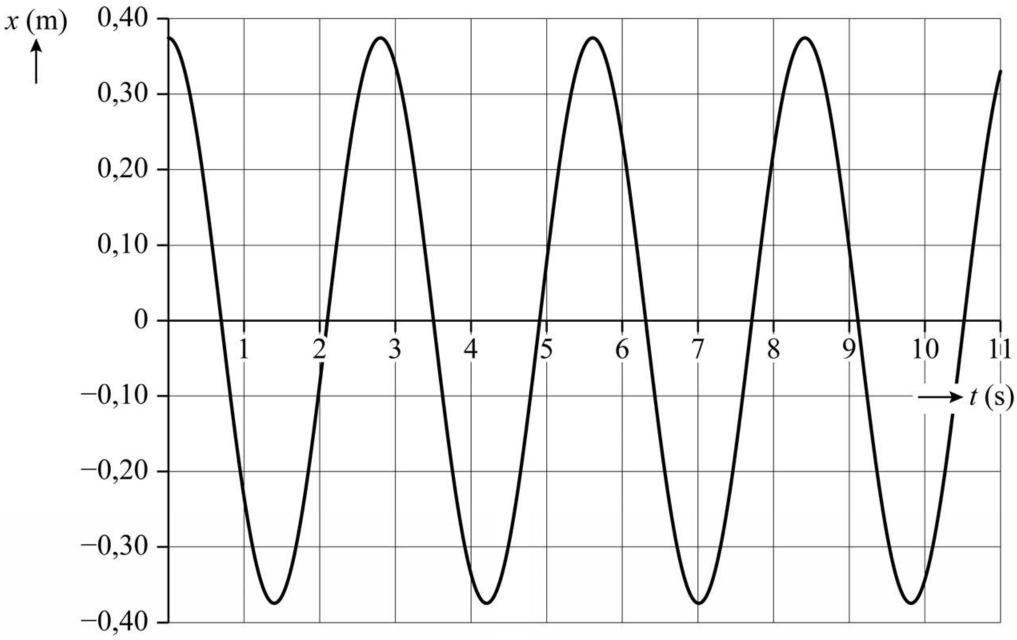



3p **3** Bepaal de massa van de slede met behulp van figuur 3. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Jasper en André maken een computermodel om het massa-veersysteem in het ruimtestation te beschrijven. De waardes van alle grootheden zijn dus niet hetzelfde als bij de vorige vragen. Net als bij het experiment zijn in het model de veren gespannen als de stoel met de astronaut zich in de evenwichtsstand bevindt.

Jasper en André maken met het model een grafiek voor $x$ als functie van de tijd. Zie figuur 4. Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

**figuur 4**




5p **4** Voer de volgende opdrachten uit:

– Bepaal met behulp van het $(x,t)$-diagram op de uitwerkbijlage de maximale snelheid van de stoel. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.
– Teken in de figuur op de uitwerkbijlage het bijbehorende $(v,t)$-diagram.

Dan bedenkt Jasper dat er in het ruimtestation wrijving is. Hij past het model aan door een wrijvingskracht toe te voegen. Hij voegt ook de formules toe voor de kinetische energie $E_k$, de veerenergie $E_v$ en de totale energie $E_t$ van het massa-veersysteem. Hierbij is $E_t = E_k + E_v$.

1p **5** Welke formule voor de veerenergie is de juiste?

**A** $E_v = \frac{1}{2}C(u_L^2 - u_R^2)$

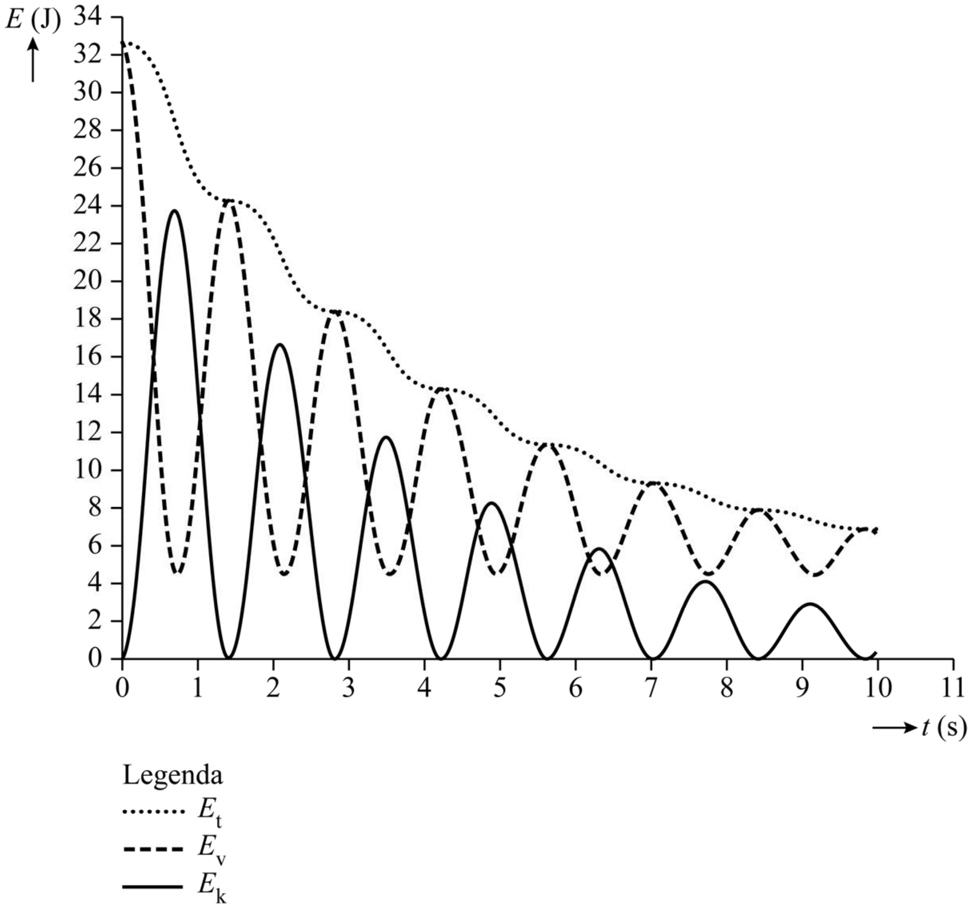
**B** $E_v = \frac{1}{2}C(u_L^2 + u_R^2)$

**C** $E_v = \frac{1}{2}C(u_L - u_R)^2$

**D** $E_v = \frac{1}{2}C(u_L + u_R)^2$

Jasper maakt met het aangepaste model grafieken voor de kinetische energie, de veerenergie en de totale energie als functie van de tijd. Zie figuur 5.

**figuur 5**




Uit figuur 5 blijkt dat de veerenergie niet tot $0\ \text{J}$ daalt.

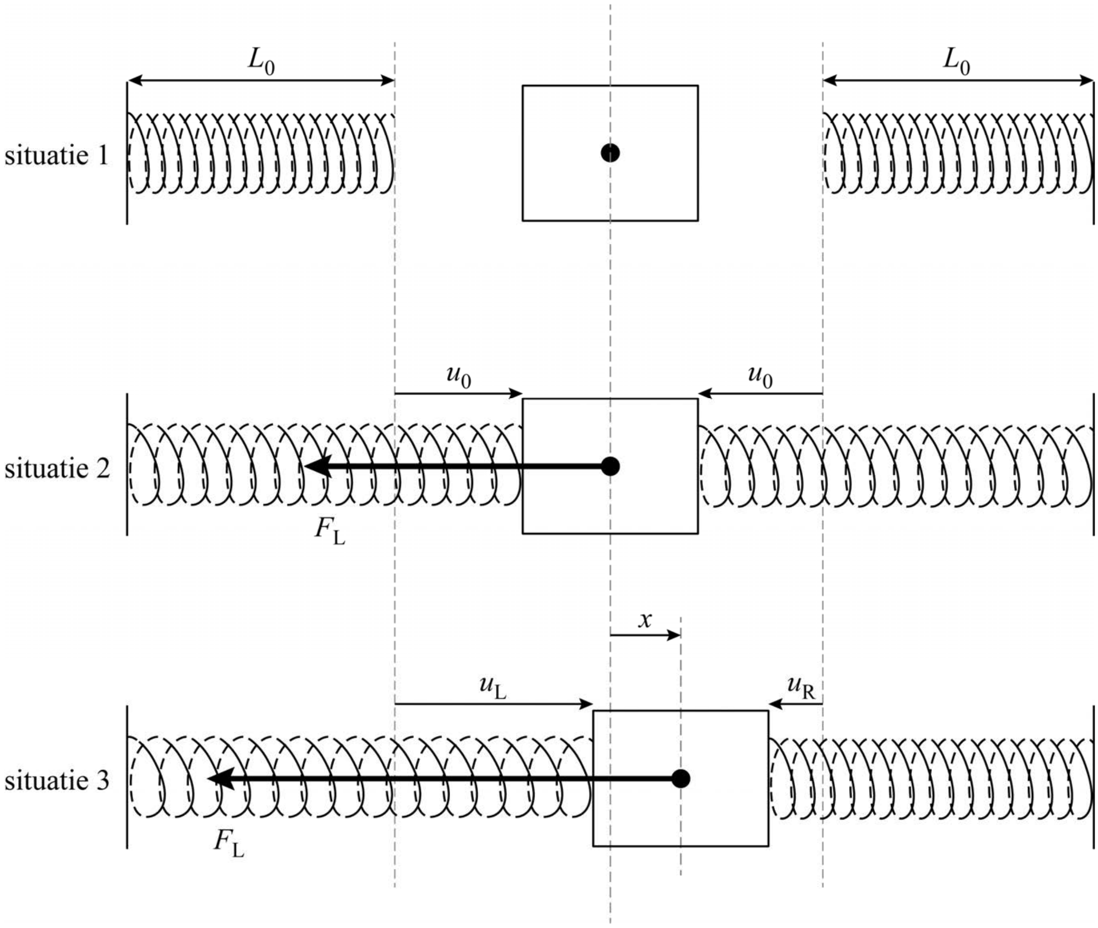
1p **6** Geef hiervoor de natuurkundige verklaring.

André constateert dat het totale energieverlies per seconde afwisselend toe- en afneemt, waardoor de grafiek van $E_t$ er nogal hobbelig uitziet. Hij ziet ook dat $E_t$ het snelst daalt als $E_k$ maximaal is. André vermoedt dat dit komt doordat in het model voor de wrijvingskracht de formule voor luchtweerstand is gebruikt. Omdat deze afhankelijk is van de snelheid zal het energieverlies per seconde het grootst zijn als de snelheid maximaal is. Om deze hypothese te toetsen past André de modelformule voor de wrijvingskracht aan zodat de grootte van de wrijvingskracht constant is. Vervolgens maakt André met het model de grafieken van $E_k$ en $E_t$ opnieuw. Hij verwacht dat de grafiek van $E_t$ nu geen hobbels meer vertoont.

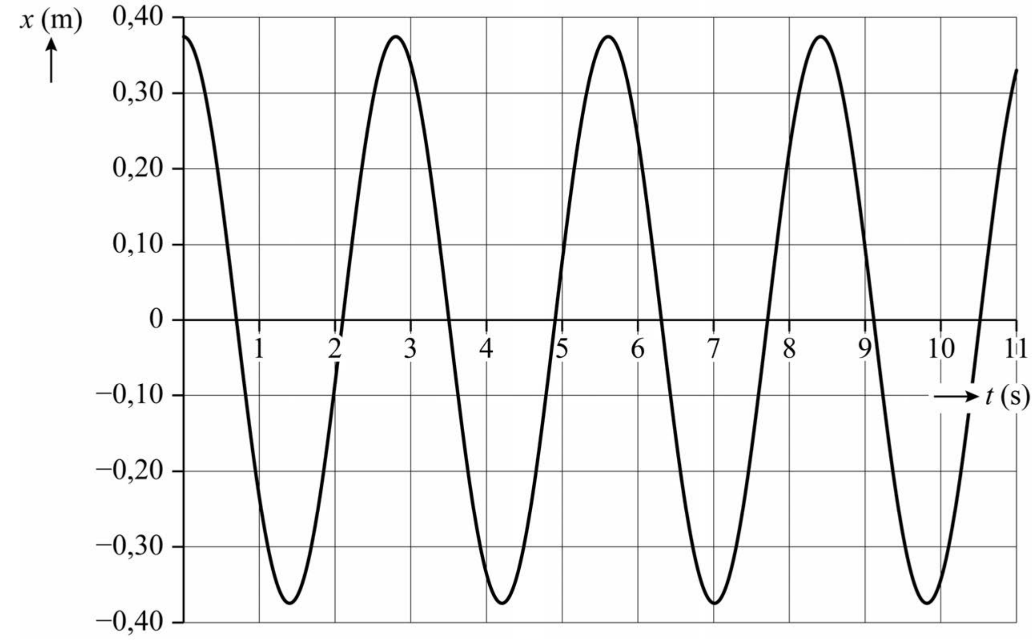
2p **7** Leg uit of de verwachting van André terecht is.

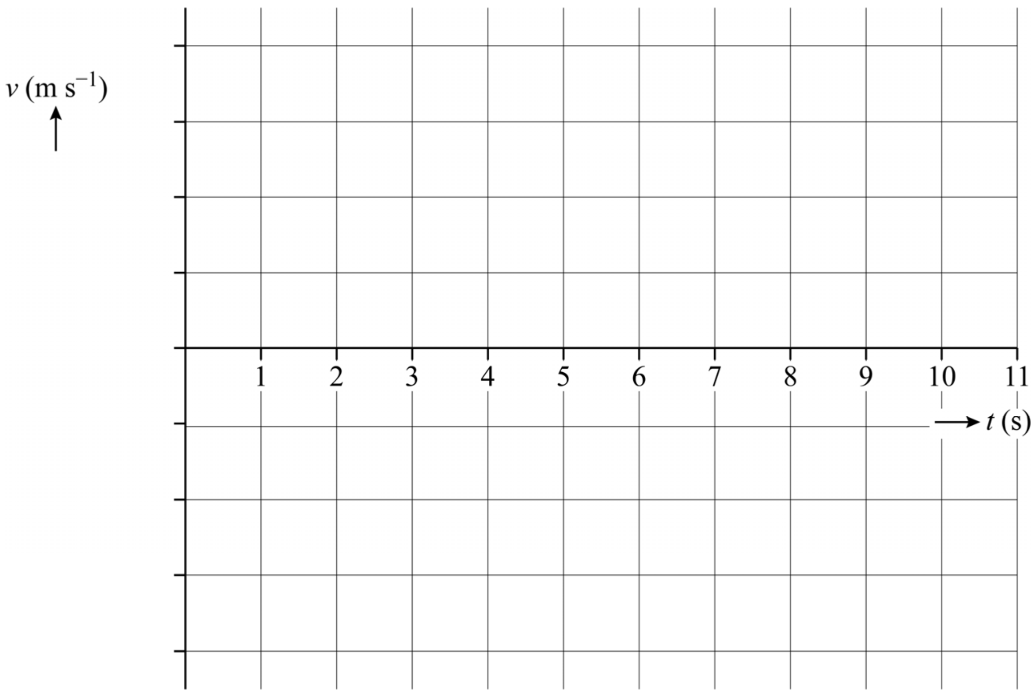
## uitwerkbijlage

**2**



4


x (m)
0,40
0,30
0,20
0,10
0
−0,10
−0,20
−0,30
−0,40
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
t (s)


v (m s−1)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
t (s)