

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 het televisieprogramma “Magic of science” heeft men de proef uitgevoerd die in nevenstaande afbeelding schematisch staat weergegeven.

Een zwaard hangt verticaal recht boven het hoofd van een persoon. Men richt een ballenkanon precies op het zwaard zoals weergegeven in nevenstaande afbeelding.

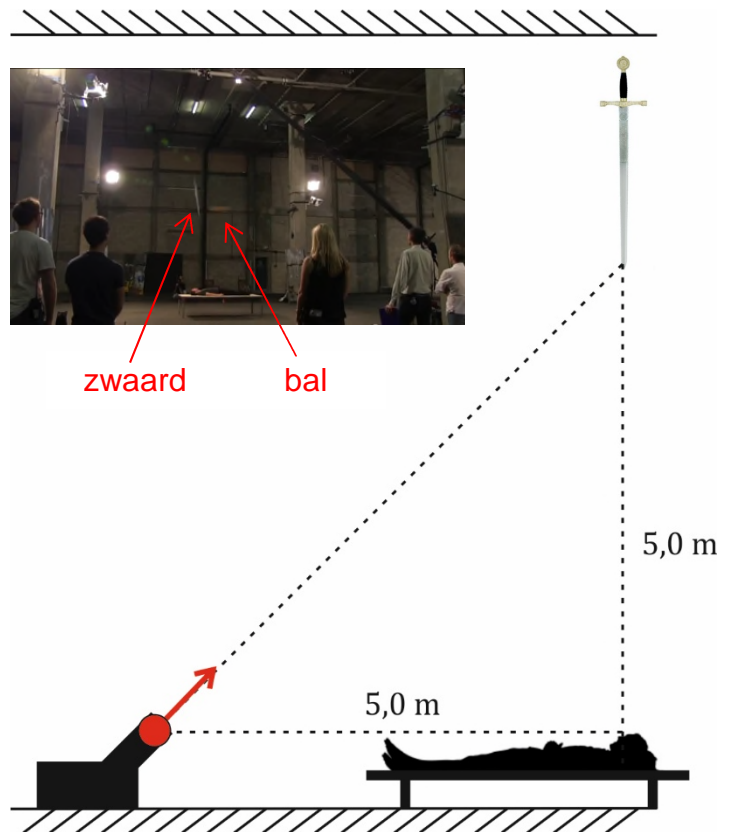
Op het moment dat het zwaard begint te vallen wordt de bal afgeschoten.

De bedoeling is natuurlijk dat het zwaard door de bal aan de kant wordt geslagen voordat het zwaard het hoofd van de persoon doorboort.

De bewering in het TV-programma luidt:

Vanaf een zekere minimum snelheid van de bal zal de bal het zwaard altijd raken.

Wil je het experiment zien kijk dan bij <https://www.youtube.com/watch?v=lZYc54Hxo8A>



Deze opgave is het vervolg op de opgave die we al eens eerder bekeken hebben. Maar nu dan met luchtwrijving. In nevenstaande afbeelding staat het oorspronkelijke model weergegeven. Voor de luchtwrijving geldt:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

Hierin staat  $F_w$  voor de wrijvingskracht in N,  $c$  voor de luchtwrijvingscoëfficiënt,  $\rho$  voor de dichtheid van lucht in  $\text{kg/m}^3$ ,  $A$  voor het frontaaloppervlak in  $\text{m}^2$  en  $v$  voor de snelheid in  $\text{m/s}$ .

```

Modelvenster
ay_zwaard=.....
ay_bal=.....
ax_bal=.....

y_zwaard=y_zwaard+v_zwaard*dt
v_zwaard=v_zwaard+ay_zwaard*dt

y_bal=y_bal+vy_bal*dt
vy_bal=vy_bal+ay_bal*dt

x_bal=x_bal+vx_bal*dt
vx_bal=vx_bal+ax*dt

t=t+dt

als x_bal>=10 dan stop eindals

m_zwaard=2
m_bal=0,430
g=-9,81
rho=1,293
c_zwaard=0,1
c_bal=0,4
A_zwaard=5e-4
A_bal=3,8e-2

y_zwaard=5
x_zwaard=5
v_zwaard=0

y_bal=0
x_bal=0
v_bal=7

hoek=(45/180)*Pi
ux_bal=v_bal*cos(hoek)
vy_bal=v_bal*sin(hoek)

dt=0,005

```

Voor de bal geldt:

$m = 0,430 \text{ kg}$   
 $A = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$   
 $c = 0,40$

Voor het zwaard geldt

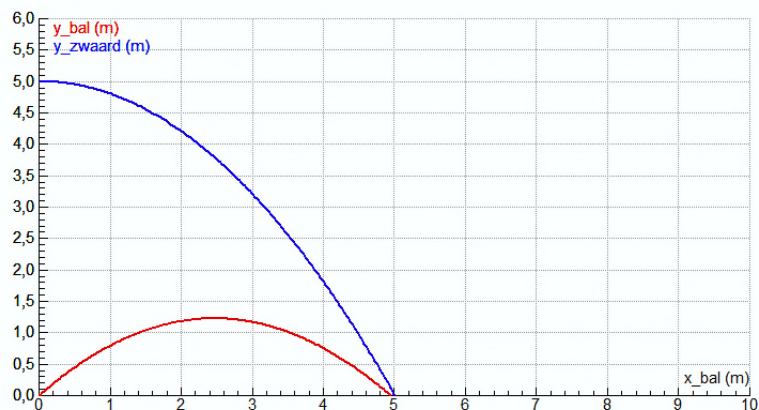
$m = 2,0 \text{ kg}$   
 $A = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$   
 $c = 0,10$

Voor de lucht geldt:

$\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$

In het model zijn de drie regels voor de versnelling van het zwaard respectievelijk de bal onvolledig.

- a) Completeer deze drie regels.  
 Als je het goed hebt gedaan kun je nevenstaand diagram reproduceren.



Je kunt het model downloaden onder

[http://www.rwi-natuurkunde.nl/download/doc/Zwaard\\_van\\_Damocles\\_2.zip](http://www.rwi-natuurkunde.nl/download/doc/Zwaard_van_Damocles_2.zip)

- b) Ga met het model na of het simpel uitlijnen nog steeds werkt. Oftewel is het nog steeds zo eenvoudig dat het ballenkanon recht op het zwaard moet worden gericht zoals dat het geval was toen we wrijving buiten beschouwing lieten?

Stel de afschiet snelheid van de bal in op 15 m/s.

- c) **Bepaal** met het model de hoek waaronder het ballenkanon moet worden afgevuurd zodat de bal het zwaard op tijd raakt.

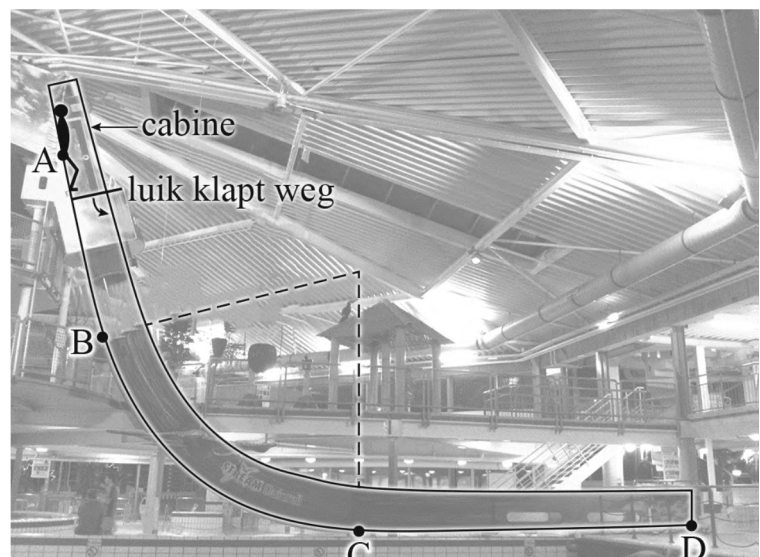
Als je het model verder wilt verbeteren zou je het zwaard niet moeten beschouwen als een punt maar de afmetingen mee moeten nemen in het model.

De bal zou dan niet op de punt van het zwaard moeten worden gericht, maar op het zwaartepunt van het zwaard. Zou de bal het zwaard op de punt raken dan zou het zwaard niet alleen weggeslagen worden maar vooral ook gaan draaien. Dan krijgt de persoon niet de punt van het zwaard in zijn gezicht maar het handvat, hetgeen beslist niet veel minder onplezierig zal zijn.

Tevens moet je er dan rekening mee houden dat de punt van het zwaard eerder bij het hoofd van de persoon is dan het zwaartepunt van het zwaard.

## Opgave 2

In het Tikibad in Wassenaar staat de attractie X-stream. Zie onderstaande afbeeldingen. In onderstaande rechter afbeelding zijn de voornaamste onderdelen aangegeven. Op de uitwerkbijlage staat een grotere tekening op schaal van een zijaanzicht van de X-stream.



De X-stream werkt als volgt. Een persoon staat in een cabine op een luik. Het luik klappt weg en de persoon valt naar beneden door een buis die via een bocht in een horizontaal stuk eindigt. De positie van de persoon in de cabine is aangegeven met de letter A. Het begin van het gebogen stuk is aangegeven met de letter B. Bij punt C begint het horizontale stuk.

Zie de figuur op de uitwerkbijlage. In de opgave verwaarlozen we de luchtwrijving. Tijdens de beweging in de buis komt de persoon niet los van de buis.

a) Voer de volgende opdrachten uit:

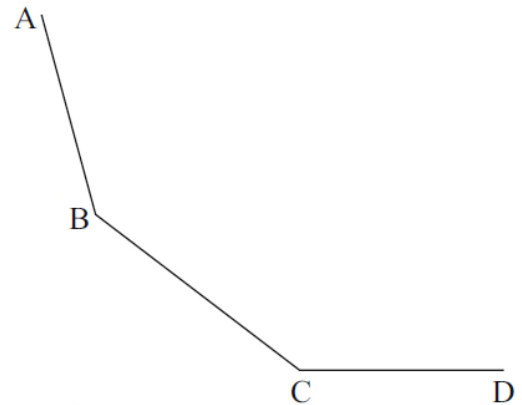
- Geef aan waarom er in buisdeel AB geen sprake is van een vrije val.
- **Bepaal** met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de versnelling die de persoon zal krijgen in buisdeel AB als de wrijvingskrachten worden verwaarloosd.

Bij het ontwerp van de attractie is aan een aantal eisen voldaan. Twee ervan zijn:

- De snelheid van de persoon bij punt C is maximaal 11 m/s.
- Door de wrijvingskracht ontstaat warmte. Het remmend vermogen van de wrijvingskracht bij punt C mag maximaal  $1,5 \cdot 10^3$  W zijn.

b) **Bereken** de maximale grootte van de wrijvingskracht bij punt C bij een snelheid van 11 m/s.

De wrijvingskracht die de persoon ondervindt, kan verminderd worden door meer water van bovenaf in de buis te laten stromen. De snelheid waarmee de persoon in punt C aankomt, hangt onder andere af van de wrijvingskracht en van de afstand AB. Om de invloed hiervan te onderzoeken wordt een sterk vereenvoudigd model gemaakt, waarbij de baan wordt verdeeld in drie gedeelten. Zie nevenstaande afbeelding. In onderstaande afbeelding staat het model.



Modelregels	Startwaarden in SI-eenheden
$s_{AC} = s_{AB} + s_{BC}$	hoek = 75
als $s_{AC} > s > s_{AB}$ dan hoek = 75/2 eindals	$s_{AB} = 2,00$
als $s > s_{AC}$ dan hoek = 0 eindals	$s_{BC} = 7,00$
$F_{vooruit} = m \cdot g \cdot \sin(\text{hoek})$	$s = 0$
$F_w = k \cdot m \cdot g \cdot \cos(\text{hoek})$	$v = 0$
$F_{res} = F_{vooruit} - F_w$	$t = 0$
$a = F_{res} / m$	$dt = 0,001$
$v = v + a \cdot dt$	$m = 70$
$s = s + v \cdot dt$	$g = 9,81$
$t = t + dt$	$k = 0,21$
als $t > 2,5$ dan stop eindals	

In het model geldt:

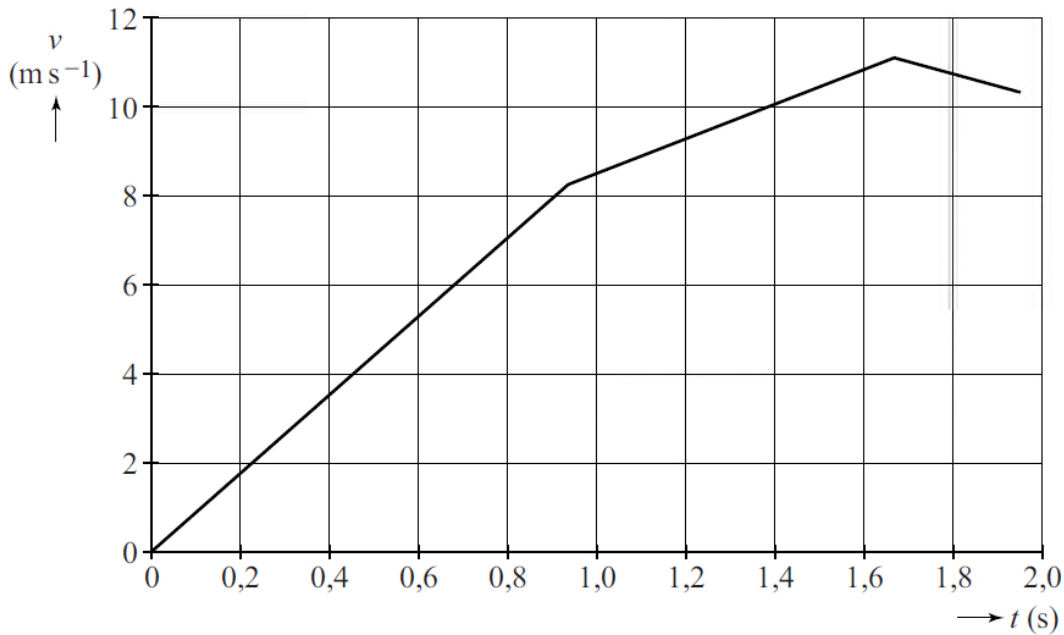
- $s$  is de afgelegde weg langs de baan,
- de toevoegingen AB, BC en AC geven aan tussen welke punten.

Een andere waarde van  $k$  betekent dat er meer of minder water door de buis stroomt.

c) Voer de volgende opdrachten uit:

- **Leg uit** of een grotere waarde van  $k$  betekent dat 'er meer water door de buis stroomt' of dat er 'er minder water door de buis stroomt'.
- **Leid** de eenheid van  $k$  **af**.

In een simulatie van het model wordt  $s_{AB}$  zo gekozen dat de snelheid in C gelijk is aan 11 m/s. Het (v,t)-diagram dat hiervan het resultaat is, staat onderstaande afbeelding.



d) **Bepaal** de waarde van  $s_{AB}$  die bij dit resultaat van het model hoort.

Een derde eis voor de X-stream is dat de persoon op het horizontale stuk (het buisdeel CD) op tijd tot stilstand komt. Dit kan door er voor te zorgen dat in buisdeel CD een diepe laag water staat. De persoon remt dan door dit water. De remkracht kan vergroot worden door het water dieper te maken.

Het bovenstaande model kan worden uitgebreid voor dit deel van de beweging over buisdeel CD. Dit kan bijvoorbeeld door één of meer modelregels, startwaarden en/of stopvoorwaarden (stopcondities) toe te voegen of aan te passen.

Neem aan dat de extra remkracht evenredig is met het kwadraat van de snelheid. Neem voor de evenredigheidsconstante de waarde 17.

e) **Leg uit** hoe het model uitgebreid moet worden om ook de beweging in buisdeel CD te beschrijven.

In werkelijkheid is het buisdeel BC niet als een recht stuk ontworpen, maar als een deel van een cirkel.

f) Geef hiervoor de natuurkundige reden.

