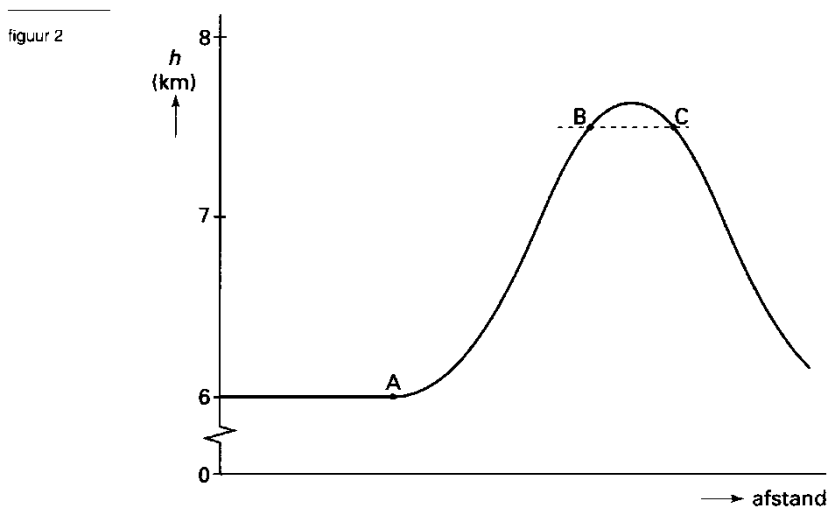


Opgave 2 Paraboolvlucht

De ESA (European Space Agency) organiseert een aantal vluchten met het vliegtuig de 'Caravelle' waarbij wetenschappers experimenten met gewichtloosheid uitvoeren. In figuur 2 is een deel van de baan van zo'n vlucht weergegeven.



Het vliegtuig heeft een massa van $62,3 \cdot 10^3$ kg en vliegt eerst op een hoogte van 6,00 km horizontaal met een constante snelheid van 675 kmh^{-1} . Dan begint het (vanaf punt A) te stijgen. Op 7,50 km hoogte (in punt B) heeft het een snelheid van 465 kmh^{-1} . In deze opgave moet de afname van de valversnelling ten gevolge van de hoogte worden verwaarloosd.

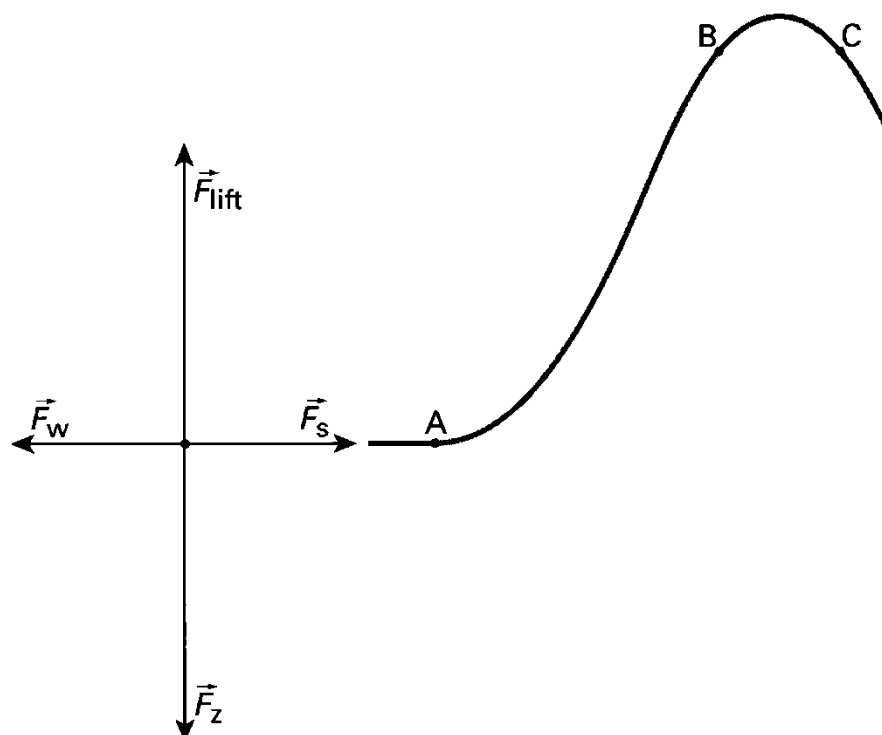
3p 5 □ Toon aan dat de stuwkracht van de motoren tussen A en B arbeid moet verrichten.

Tijdens de vlucht met constante snelheid (vóór het punt A) werken er vier krachten op het vliegtuig:

- de zwaartekracht F_z ;
- de stuwkracht F_s ;
- de wrijvingskracht F_w , die evenredig is met het kwadraat van de snelheid van het vliegtuig, dus $F_w = kv^2$, met k constant;
- de liftkracht F_{lift} , die alleen werkt wanneer de kleppen aan de vleugels van het vliegtuig in een bepaalde stand staan.

In figuur 3 zijn deze vier krachten in de juiste verhouding tot elkaar getekend.

figuur 3



Vlak voordat het vliegtuig in punt B is aangekomen, worden de kleppen aan de vleugels in een zodanige stand gezet dat er geen liftkracht meer werkt. In punt B begint dan een periode van gewichtloosheid. De resulterende versnelling die het vliegtuig in deze periode ondervindt, is gelijk aan de valversnelling. Omdat ook de voorwerpen in het vliegtuig deze versnelling ondervinden, oefenen ze geen kracht (gewicht of gewichtskraft) uit op hun omgeving: ze zijn dus gewichtloos.

Figuur 3 is ook op de bijlage weergegeven.

- 5p **6** Teken in de figuur op de bijlage alle krachten die in punt B op het vliegtuig werken op dezelfde schaal als de al getekende krachten. (Hint: Bereken eerst de lengte van de vector F_w in punt B. Neem daarbij aan dat k niet is veranderd.)

De Caravelle beschrijft tijdens de gewichtloze periode een paraboombaantotdat hij is aangekomen in punt C. Dit punt bevindt zich op gelijke hoogte als punt B. Zie nogmaals figuur 2. In punt B maakt de baan een hoek van $50,0^\circ$ met het horizontale vlak.

- 4p **7** Bereken de tijdsduur van de gewichtloze periode. Bereken daartoe eerst de verticale component van de snelheid van het vliegtuig in punt B.

Een automatisch besturingssysteem in de Caravelle zorgt ervoor dat de lengte-as van het vliegtuig steeds de richting heeft van de raaklijn aan de paraboombaant. De neus van het vliegtuig kan hiertoe omhoog of omlaag worden gestuurd. Om dit systeem goed te laten werken, is het vliegtuig voorzien van een hoeksensor. Deze hoeksensor meet voortdurend de hoek tussen de lengte-as van het vliegtuig en het horizontale vlak. De ijkgrafiek van de sensor is lineair. Het bereik ligt tussen $-90,0^\circ$ en $+90,0^\circ$. Het uitgangssignaal wordt toegevoerd aan een 8-bits AD-omzetter. De maximale uitgangsspanning van de hoeksensor en het bereik van de AD-omzetter zijn beide 5,00 V.

De sensor meet in punt B een hoek van $+50^\circ$.

- 4p **8** Bepaal de binaire waarde van de uitgang van de AD-omzetter als het vliegtuig zich in punt B bevindt.

Met een eenvoudig computermodel berekent men steeds de plaats van het vliegtuig en de hoek die de raaklijn aan de paraboombaant met het horizontale vlak maakt. In het model wordt deze hoek aangeduid met de variabele HBAAN. Het model gaat ervan uit dat het vliegtuig op het gehele traject tussen de punten B en C in gewichtloze toestand verkeert, zodat de versnelling in grootte en richting steeds gelijk is aan de valversnelling. Hieronder is een deel van het model weergegeven. De notatie in het model voor v_x , v_y en a_y is achtereenvolgens vx , vy en ay . Aan het model worden startwaarden meegegeven voor t , dt , x , vx , y , vy en ay . Deze waarden zijn hier niet vermeld.

MODEL
(1) $t = t + dt$
(2) $x = x + vx * dt$
(3) $vy = \dots\dots\dots$
(4) $y = y + vy * dt$
(5) $HBAAN = ARCTAN (\dots\dots\dots)$

(Opmerking: $ARCTAN = BGTAN = TAN^{-1} = INVTAN$)

MODEL

- (1) $t = t + dt$
- (2) $x = x + vx * dt$
- (3) $vy = \dots\dots\dots$
- (4) $y = y + vy * dt$
- (5) $HBAAN = ARCTAN (\dots\dots\dots)$

(Opmerking: $ARCTAN = BGTAN = TAN^{-1} = INVTAN$)

Twee regels van dit model zijn nog niet volledig.

2p **9** Schrijf de regels (3) en (5) van het model volledig op.

In de praktijk blijkt volledige gewichtloosheid moeilijk realiseerbaar te zijn. Tijdens de experimenten ondervindt het vliegtuig in werkelijkheid tussen de punten B en C een versnelling van 0,99 maal de valversnelling. De voorwerpen in het vliegtuig ondervinden ten opzichte van het vliegtuig dus nog een versnelling van 0,01 maal de valversnelling.

Een natuurkundestudente die deelneemt aan één van de vluchten voert experimenten uit met een massa-veer-systeem en een slinger.

Het massa-veer-systeem bestaat uit een veer met daaraan een blok met een massa van 0,94 kg. De veerconstante van de veer is gelijk aan $9,5 \text{ Nm}^{-1}$. De slinger bestaat uit eenzelfde blok aan een draad met verwaarloosbare massa. De studente heeft een zodanige slingerlengte gekozen, dat de trillingstijd van het massa-veer-systeem en de slingertijd van de slinger op de grond precies gelijk zijn aan elkaar.

4p **10** Bereken de slingerlengte die zij heeft gekozen.

In het vliegtuig bevestigt ze het massa-veer-systeem en de slinger aan het plafond van de cabine. Tussen de punten B en C van de vlucht meet ze de periodetijden van beide systemen.

4p **11** Beredeneer hoe de slingertijd van de slinger en de trillingstijd van het massa-veer-systeem zich bij deze meting verhouden.

Bijlage:

