

Opgave 1 Superbus

Op de TU Delft is onder leiding van professor Wubbo Ockels de Superbus ontwikkeld. Zie figuur 1.

figuur 1

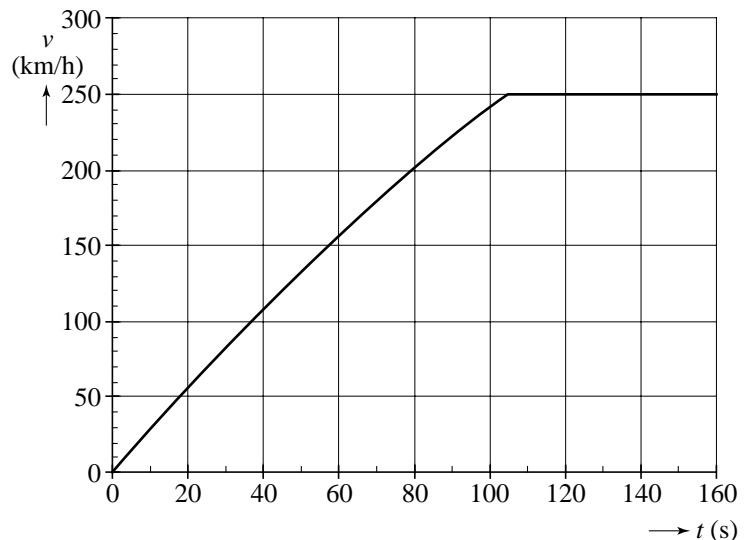


De bus wordt elektrisch aangedreven, biedt plaats aan ongeveer 20 personen en heeft een kruissnelheid van 250 km/h. De massa van de bus inclusief passagiers is $8,1 \cdot 10^3$ kg.

In figuur 2 is het (v,t) -diagram van het optrekken van de Superbus weergegeven. Tussen $t = 0$ en $t = 10$ s is de beweging eenparig versneld. Een deel van figuur 2 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 4p 1 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de afstand die de Superbus tussen $t = 0$ en $t = 10$ s aflegt.

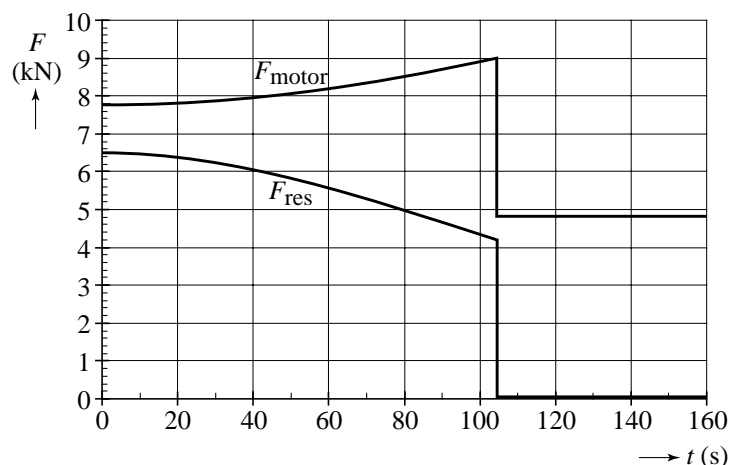
figuur 2



Van het optrekken van de bus is ook een (F,t) -diagram gemaakt. Zie figuur 3. Hierin is F_{motor} de kracht waarmee de motor de bus aandrijft en F_{res} de resulterende kracht op de bus. Tussen $t = 0$ en $t = 10$ s is F_{res} constant. De waarde van F_{res} is af te lezen in het (F,t) -diagram. Die waarde is ook te bepalen met behulp van het (v,t) -diagram.

- 4p 2 Laat met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage zien dat beide waarden van F_{res} met elkaar kloppen.

figuur 3



De wrijvingskracht op de bus bestaat uit de constante rolwrijvingskracht $F_{w,rol}$ en de luchtwrijvingskracht $F_{w,lucht}$ waarvan de grootte onder andere afhangt van de snelheid.

Voor de Superbus geldt: $F_{w,rol} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ N}$.

- 3p **3** Leg uit hoe uit figuur 3 blijkt dat $F_{w,rol} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ N}$.

Na $t = 105 \text{ s}$ is de motorkracht constant.

- 3p **4** Bepaal het vermogen dat de motor dan levert.

De Superbus is zo ontworpen dat hij zo weinig mogelijk wrijvingskracht ondervindt.

De rolwrijvingskracht is recht evenredig met de massa van de bus.

Voor de luchtwrijvingskracht $F_{w,lucht}$ geldt de volgende formule:

$$F_{w,lucht} = \frac{1}{2} c_w \rho A v^2$$

Hierin is:

- c_w de luchtwrijvingscoëfficiënt;
- ρ de dichtheid van de lucht (in kg/m^3);
- A de frontale oppervlakte van de bus (in m^2);
- v de snelheid van de superbus (in m/s).

- 2p **5** Noem twee eigenschappen van de Superbus waaruit blijkt dat de ontwerpers geprobeerd hebben de luchtwrijvingskracht zo klein mogelijk te houden.

De Superbus is van licht materiaal gemaakt.

- 2p **6** Beantwoord de volgende vragen:
- Beïnvloedt deze materiaalkeuze de rolwrijvingskracht? Licht je antwoord toe.
 - Beïnvloedt deze materiaalkeuze de luchtwrijvingskracht? Licht je antwoord toe.

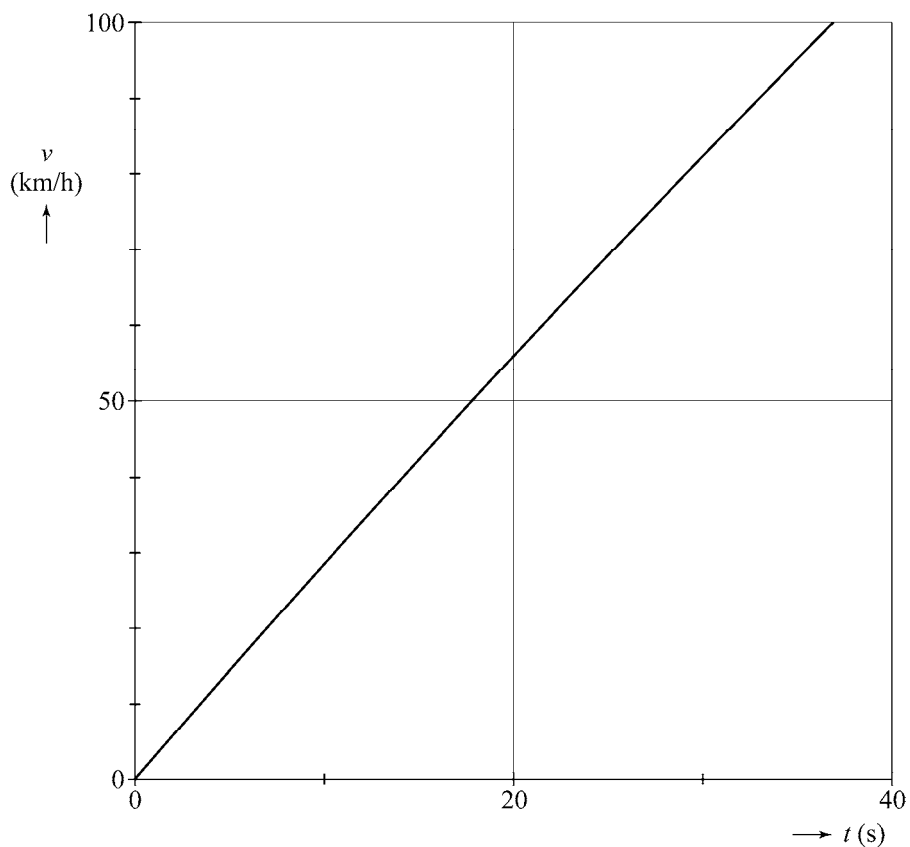
De actieradius van de Superbus is de afstand die hij bij gemiddeld energieverbruik kan afleggen als zijn accu's helemaal gevuld zijn.

De Superbus heeft 324 accu's; in elke accu kan 0,74 kWh energie worden opgeslagen. De bus verbruikt gemiddeld 0,83 kWh per kilometer.

- 3p **7** Bereken de actieradius van de Superbus. Neem daarbij aan dat alle opgeslagen energie wordt verbruikt.

uitwerkbijlage

1 en 2



ruimte voor een berekening:

.....

.....

.....

.....

.....

Opgave 2 Buis van Rubens

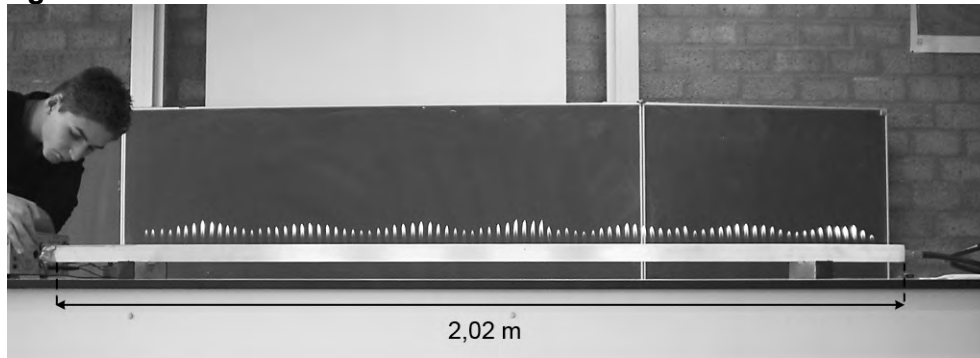
Marc wil staande geluidsgolven zichtbaar maken met behulp van een buis van Rubens. Dit is een metalen buis waarin aan de bovenkant gaatjes zijn geboord. Het ene uiteinde van de buis is afgesloten met een luidspreker en het andere uiteinde van de buis is op de aardgasleiding aangesloten. De luidspreker is verbonden met een toongenerator.

Nadat de buis geheel gevuld is met aardgas steekt hij het gas dat uit de gaatjes stroomt met een aansteker aan¹⁾. Alle vlammetjes zijn dan even hoog.

Marc zet de toongenerator aan en draait aan de frequentieknop.

Bij bepaalde frequenties ontstaat in de buis een staande geluidsgolf waardoor de vlammen niet meer allemaal even hoog staan. Zie de foto van figuur 1.

figuur 1

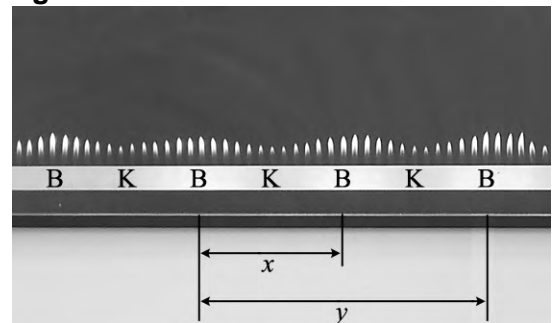


Op de plaatsen waar de vlammen een maximale lengte hebben, bevindt zich in de buis een buik (B). Op de plaatsen waar de vlammen een minimale lengte hebben, bevindt zich in de buis een knoop (K).

Zie figuur 2. Hierin zijn de afstanden x en y aangegeven.

- 1p 8 Welke van de afstanden, x of y , is gelijk aan één hele golflengte?

figuur 2



- 4p 9 Op het moment dat de foto genomen is, produceerde de luidspreker een toon van 890 Hz. De hele buis, zoals afgebeeld in figuur 1, is 2,02 m lang. Bepaal de voortplantingsnelheid van het geluid in aardgas.

noot 1 Om te voorkomen dat er in de buis een explosief mengsel van aardgas en zuurstof ontstaat, moet het gas pas worden aangestoken wanneer de hele buis gevuld is met aardgas.

Wanneer het gas een tijd gebrand heeft, verdwijnt het golfpatroon van de vlammetjes. Kennelijk treedt er dan geen resonantie meer op.

Door de frequentie van de toongenerator iets te veranderen, kan Marc weer hetzelfde golfpatroon als in figuur 1 terugkrijgen.

De voortplantingssnelheid van geluid neemt toe als de temperatuur stijgt.

4p **10** Beantwoord de volgende vragen:

- Geef een verklaring voor het verdwijnen van de resonantie.
- Moet Marc een grotere of juist een kleinere frequentie instellen om hetzelfde golfpatroon weer terug te krijgen? Licht je antwoord toe.

Opgave 3 Signaallamp

In een zogeheten signaallamp (zie figuur 1) zitten drie gekleurde LED's, een rode, een groene en een blauwe. De drie LED's kunnen tegelijk ingeschakeld worden; elke LED brandt dan op een spanning van 3,0 V. De spanning wordt geleverd door twee batterijen van elk 1,5 V. In de figuur op de uitwerkbijlage zijn de drie LED's en de twee batterijen schematisch weergegeven.

figuur 1



- 4p 11 Teken in de figuur op de uitwerkbijlage alle noodzakelijke verbindingdraden. Er hoeft geen schakelaar in de schakeling te worden opgenomen.

De elektrische energie van een batterij wordt vaak met de eenheid Wh (wattuur) aangegeven. In één volle batterij van de signaallamp is 4,8 Wh elektrische energie opgeslagen.

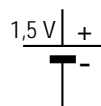
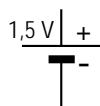
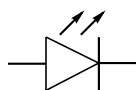
- 2p 12 Toon aan dat 1,0 Wh gelijk is aan 3,6 kJ.

Het elektrisch vermogen van één LED in de signaallamp is 60 mW. De twee batterijen zijn vol.

- 4p 13 Bereken hoe lang de drie LED's tegelijkertijd kunnen branden.

uitwerkbijlage

11



Opgave 4 Antistatische borstel

Sommige fotografen gebruiken een antistatische borstel om de lens van hun fotoestel stofvrij te maken. Zo'n borstel bevat een heel kleine hoeveelheid radioactief polonium-210. Het polonium-210 zendt alfadeeltjes uit.

figuur 1



3p 14 Geef de vervalvergelijking van polonium-210.

Er zitten stofdeeltjes op een lens omdat de lens door statische elektriciteit positief geladen kan zijn. De alfadeeltjes zorgen ervoor dat de lading op de lens verdwijnt.

2p 15 Leg dit uit.

Het polonium is verwerkt in zilverfolie dat weer bedekt is met een heel dun laagje goud. Het folie zit achter de gaten in de borstel boven de haren van de borstel. Zie figuur 1.

1p 16 Waarom moet het laagje goud heel dun zijn? Geef een natuurkundig argument.

De activiteit van het polonium-210 in de borstel moet bij de verkoop minimaal $9,0 \cdot 10^6$ Bq zijn. De borstels liggen vaak enige tijd in een magazijn. Bij de productie van de borstels wordt daar rekening meegehouden. Daarom heeft elke borstel bij de productie een activiteit van $7,2 \cdot 10^7$ Bq.

3p 17 Bepaal hoeveel tijd hierna de borstel nog verkocht mag worden.

Bij het verval van polonium-210 komt gemiddeld één keer per honderdduizend vervalreacties ook nog een γ -foton vrij. Werknemers die werken in een magazijn waar heel veel antistatische borstels zijn opgeslagen, ontvangen daardoor een extra stralingsdosis.

We veronderstellen nu het volgende:

- een werknemer absorbeert ieder seconde $1,2 \cdot 10^3$ γ -fotonen;
- ieder γ -foton heeft een energie van 0,80 MeV;
- de werknemer brengt per jaar 1000 uur in het magazijn door;
- de massa van de werknemer is 70 kg.

Voor de equivalente dosis (het dosisequivalent) die de werknemer ontvangt, geldt:

$$H = Q \frac{E}{m}$$

Hierin is:

- H de equivalente dosis (in Sv);
- Q de weegfactor (kwaliteitsfactor); $Q = 1$ voor een γ -foton;
- E de energie die de werknemer absorbeert (in J);
- m de massa van de werknemer (in kg).

- 5p **18** Bereken de equivalente dosis die de werknemer per jaar ontvangt door deze γ -fotonen en ga na of daardoor de stralingsbeschermingsnormen overschreden worden. Gebruik voor je antwoord ook de gegevens uit tabel 27G uit Binas.

Opgave 5 De maan

Op 20 juli 1969 heeft Neil Armstrong als eerste mens een voet op de maan gezet. Zijn collega, Edwin Aldrin, volgde tien minuten later. Op verzoek van wetenschappers plaatsten zij daar retroreflectoren (zie figuur 1).

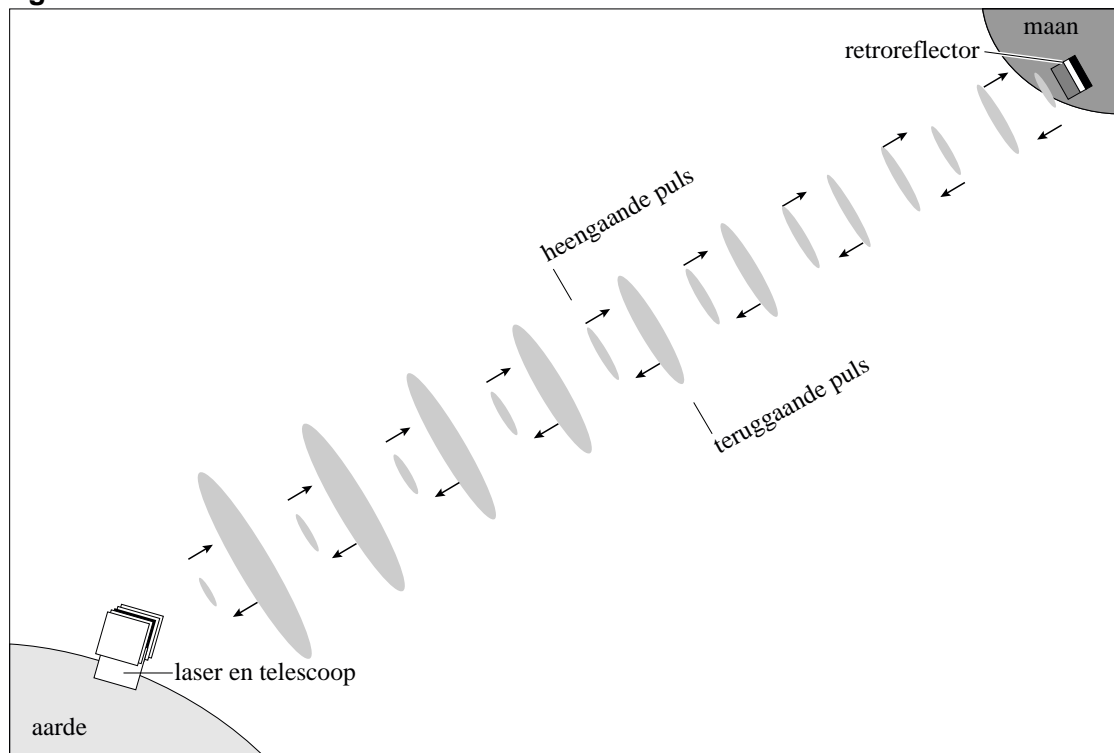
Vanuit het McDonalds Observatorium in Texas wordt laserlicht op die reflectoren gericht. Een deel van het laserlicht wordt door de reflectoren teruggekaatst en door de telescoop van het Observatorium weer opgevangen. In figuur 2 is dit schematisch weergegeven.

In deze figuur is te zien dat het laserlicht in pulsen wordt uitgezonden. De pulsen divergeren zowel op de heenweg als op de terugweg. Door de tijd te meten die een laserpuls onderweg is geweest, kan men nauwkeurig de afstand van de aarde tot de maan berekenen.

figuur 1



figuur 2

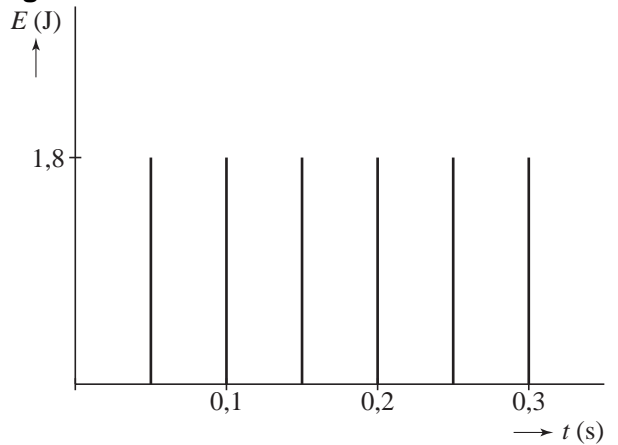


Deze opgave bestaat uit drie delen: de laser, de reflectie en de metingen.

I de laser

In figuur 3 is de energie van de laserpulsen uitgezet als functie van de tijd. Een laserpuls heeft een energie van 1,8 J.

figuur 3



- 2p **19** Bepaal de frequentie waarmee de laserpulsen worden uitgezonden.

Het piekvermogen van de laser is het (constante) vermogen van de laser tijdens het uitzenden van een laserpuls.

Een laserpuls duurt $9,0 \cdot 10^{-11}$ s.

- 2p **20** Bereken het piekvermogen van de laser.

Tijdens een meting staat de laser een paar seconde aan.

- 2p **21** Bereken het gemiddelde vermogen van de laser.

De energie van een foton van het laserlicht is $3,74 \cdot 10^{-19}$ J.

- 2p **22** Bereken het aantal fotonen in één laserpuls.

Piloten van overvliegende vliegtuigen kunnen de laserstraal zien.

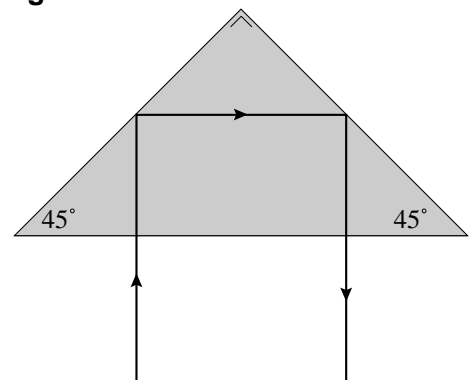
- 2p **23** Welke golflengte kan het laserlicht dan hebben?

- A $5,3 \cdot 10^{-6}$ m
- B $5,3 \cdot 10^{-7}$ m
- C $5,3 \cdot 10^{-8}$ m
- D $5,3 \cdot 10^{-9}$ m

II de reflectie

Een retroreflector kaatst het licht terug in de richting waar het vandaan komt. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van prisma's. Zie figuur 4.

figuur 4



- 2p **24** Voor de grenshoek g van het materiaal van zo'n prisma geldt:

- A g is kleiner dan 45°
- B g is gelijk aan 45°
- C g is groter dan 45°

Een laserpuls wordt op weg naar de maan steeds breder. Als de puls op de maan aankomt, is de diameter 7,0 km. Deze puls raakt een retroreflector met een oppervlakte van $0,42 \text{ m}^2$.

- 3p **25** Bereken hoeveel procent van de uitgezonden fotonen in deze puls op deze retroreflector terecht komt.

III de metingen

Uit een meting blijkt dat er 2,5 s zit tussen het uitzenden en ontvangen van een laserpuls.

- 3p **26** Bereken de afstand tussen de laser en de reflector.

Tegenwoordig kan de tijdsduur die een laserpuls onderweg is, heel nauwkeurig gemeten worden. Deze meting heeft een onnauwkeurigheid van circa 10 picoseconde.

- 2p **27** Hoe groot is dan de onnauwkeurigheid in de afstand van de aarde tot de maan?
- A enkele millimeters
 - B enkele centimeters
 - C enkele decimeters
 - D enkele meters
 - E enkele kilometers
 - F honderden kilometers

Uit de metingen is gebleken dat de maan zich langzaam van de aarde verwijdert.

- 2p **28** De gravitatiekracht van de aarde op de maan was vroeger:
- A kleiner
 - B even groot
 - C groter

Voor de beweging van de maan om de aarde geldt de derde wet van Kepler:

$$\frac{T^2}{r^3} = \text{constant}$$

Hierin is:

- r de gemiddelde baanstraal;
- T de omlooptijd.

- 2p **29** De omlooptijd van de maan om de aarde was vroeger:
- A kleiner
 - B even groot
 - C groter