

**1. Een auto.**

Een auto heeft een constante snelheid van 30 km/h. Op een horizontale weg ondervindt hij een rolwrijving van 100 N en een luchtweerstand van 60 N.

- Welke energieomzetting vindt er plaats bij deze constante snelheid?
- Bereken de arbeid die de stuwkracht van de auto na 100 km heeft verricht.
- Bereken het vermogen (van de stuwkracht) bij deze snelheid.

Bij een constante snelheid van 90 km/h heeft de auto 1 liter per 14 km nodig. 1 liter benzine bevat  $33 \cdot 10^6$  J energie.

- Toon aan dat het aan de auto toegevoerde vermogen  $59 \cdot 10^3$  W is.
- Bij constant 90 km/h is volgens de fabrikant het nuttig vermogen 15 kW. Bereken het rendement van de motor.
- Op de evenaar valt 'smiddags (afkomstig van de zon) 1,4 kW zonlicht op  $1 \text{ m}^2$ . Zonnecellen hebben een rendement van 8%. Leg uit of deze auto (nu met elektromotor) onder die omstandigheden met zonnecellen op zijn dak kan rijden.

**2. Een voetbal.**

Je geeft een bal van 0,50 kg die stil op grond ligt een trap zodat hij met een boog door de lucht vliegt. Op zijn hoogste punt (6,0 m) heeft hij een snelheid van 4,0 m/s. Verwaarloos de wrijving.

- Bereken de totale energie van de bal.
- Bereken met behulp van a. de snelheid van de bal waarmee hij de grond verliet.
- Beredeneer hoeveel arbeid je hebt verricht.

**3. Superbus 2009-2 Opgave 4**

Op de TU Delft wordt 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.

Van het optrekken van de

bus is een ( $v$ - $t$ )-diagram ook een ( $F$ , $t$ )-diagram gemaakt. Zie figuur 2 en 3.

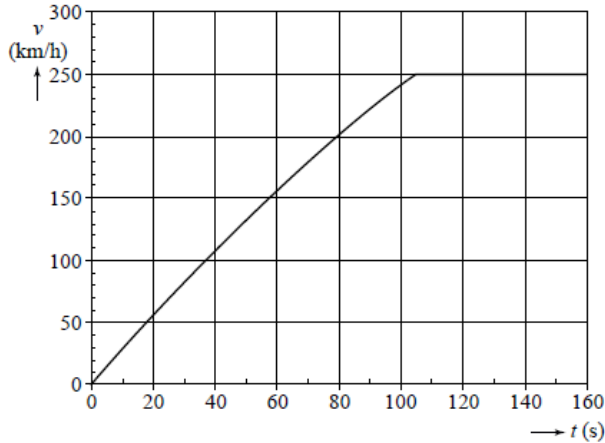
Hierin is  $F_{\text{motor}}$  de kracht waarmee de motor de bus aandrijft en  $F_{\text{res}}$  de resulterende kracht op de bus. Tussen  $t = 0$  en  $t = 10$  s is  $F_{\text{res}}$  constant. De waarde van  $F_{\text{res}}$  is af te lezen in het ( $F$ , $t$ )-diagram.

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

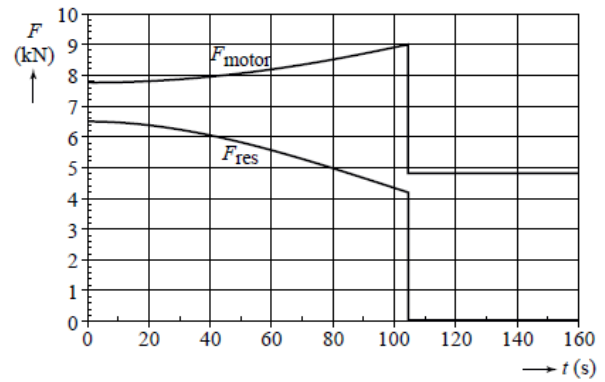
Voor de Superbus geldt:  $F_{w,\text{rol}} = 1,3 \cdot 10^3$  N.

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

figuur 2



figuur 3



Na  $t = 105$  s is de motorkracht constant.

**b.** Bepaal het vermogen dat de motor dan levert.

De Superbus is zo ontworpen dat hij zo weinig mogelijk luchtweerstand ondervindt. Voor de luchtweeringskracht  $F_{w,lucht}$  geldt de volgende formule:

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

Hierin is:

- $c_w$  de luchtweeringscoëfficiënt;
- $\rho$  de dichtheid van de lucht (in  $\text{kg/m}^3$ );
- $A$  de frontale oppervlakte van de bus (in  $\text{m}^2$ );
- $v$  de snelheid van de superbus (in  $\text{m/s}$ ).

De Superbus is 2,50 m breed en 1,70 m hoog.

De dichtheid van de lucht is  $1,2 \text{ kg/m}^3$ .

**c.** Bepaal de luchtweeringscoëfficiënt van de Superbus.

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.

**d.** Bereken de actieradius van de Superbus. Neem daarbij aan dat alle opgeslagen energie wordt verbruikt.

----- Einde -----

- 1a.** Chemische energie wordt omgezet in warmte. (Niet in kinetische energie want dan zou de snelheid toe moeten nemen)
- b.** De snelheid is constant dus  $F_{\text{motor}} = F_w = 100 + 60 = 160 \text{ N}$   
 $W = F_{\text{motor}} \cdot s = 160 \cdot 100 \cdot 10^3 = \underline{1,6 \cdot 10^7 \text{ J}}$
- c.** Geg.:  $v = 30 \text{ km/h} = 30 \cdot 10^3 \text{ m} / 3600 \text{ s} = 8,33 \text{ m/s}$ .  
 $F_{\text{motor}} = 160 \text{ N}$  (zie b).  
Gevr.: Vermogen P.  
Opl.:  $P = F_{\text{motor}} \cdot v = 160 \cdot 8,33 = 1333 \text{ W} = \underline{1,3 \text{ kW}}$
- d.** De snelheid is  $90 \text{ km/h} = 90.000 \text{ m} / 3600 \text{ s} = 25 \text{ m/s}$ .  
Over 14 km doet hij ( $s = v \cdot t$  dus)  $t = s/v = 14.000 / 25 = 560 \text{ s}$ .  
In die tijd wordt er 1 liter dus  $33 \cdot 10^6 \text{ J}$  omgezet.  
 $\rightarrow P = W/t$  of  $\Delta E/t = 33 \cdot 10^6 \text{ J} / 560 \text{ s} = 5,9 \cdot 10^4 \text{ J/s} = \underline{59 \text{ kW}}$ .
- e.** Het rendement is  $W_{\text{uit}}/E_{\text{in}} \cdot 100\%$  (BINAS) =  $P_{\text{uit}}/P_{\text{in}} \cdot 100\% = 15 \text{ kW} / 59 \text{ kW} \cdot 100\% = \underline{25\%}$
- f.**  $1 \text{ m}^2$  ontvangt van de zon  $1,4 \text{ kW}$ . Daaruit maakt de zonnecel  $0,08 \cdot 1,4 = 0,112 \text{ kW}$  elektrisch vermogen.  
Er is  $59 \text{ kW}$  nodig.  
De zonnecellen moeten dus een oppervlakte hebben van  $59 / 0,112 = 527 \text{ m}^2$   
Een auto heeft echt geen oppervlakte van  $527 \text{ m}^2$  dus het kan niet.

- 2a.** Bereken de totale energie in het hoogste punt want in dat punt heb je genoeg gegevens.  
 $E_{\text{totaal}} = E_z + E_k + E_{\text{warmte}} = m \cdot g \cdot h + 1/2 \cdot m \cdot v^2 + 0$  (geen wrijving) =  $0,50 \cdot 9,8 \cdot 6,0 + 1/2 \cdot 0,50 \cdot 4,0^2 = 29,4 + 4,0 = 33,4 = \underline{33 \text{ J}}$ .  
N.B.:  $E_{\text{totaal}}$  in het begin (meteen na het wegtrappen) kun je niet berekenen omdat je in dat punt de snelheid niet weet.

- 2b.**  $E_{\text{onder}} = E_{\text{boven}}$   
 $(E_z + E_k)_{\text{onder}} = (E_z + E_k + E_{\text{warmte}})_{\text{boven}}$   
In dit geval is  $E_{z,\text{onder}} = 0$  want  $h = 0$  en  $E_{\text{warmte, boven}} = 0$  want er is geen wrijving.  
 $0 + 1/2 \cdot m \cdot v_{\text{onder}}^2 = 33,4 \text{ J}$  (zie a)  
 $0 + 1/2 \cdot 0,50 \cdot v_{\text{onder}}^2 = 33,4$   
 $0 + 0,25 \cdot v_{\text{onder}}^2 = 33,4$   
 $v_{\text{onder}} = 11,6 = \underline{12 \text{ m/s}}$
- c.** De verrichte arbeid is omgezet in energie dus je hebt  $\underline{33 \text{ J}}$  arbeid verricht.

- 3a.**  $F_{\text{res}} = F_{\text{motor}} - F_{w,\text{rol}} - F_{w,\text{lucht}}$   
Als de auto weg rijdt is de snelheid (bijn)  $0 \text{ m/s}$  en is er dus geen luchtweerstand.  
Aflezen in figuur 3:  $F_{\text{res}} = 6,5 \text{ kN}$  en  $F_{\text{motor}} = 7,8 \text{ kN}$ .  
Dus  $F_{w,\text{rol}} = 7,8 - 6,5 = \underline{1,3 \text{ kN}}$
- 3b.** Geg.:  $F_{\text{motor}} = 4,8 \cdot 10^3 \text{ N}$  en  $v = 250 \text{ km/h} = 69,4 \text{ m/s}$ . Gevr.: P  
Opl.:  $P = F \cdot v = 4,8 \cdot 10^3 \cdot 69,4 = \underline{3,3 \cdot 10^5 \text{ W}}$
- 3c.** Als de snelheid constant is (na  $105 \text{ s}$  volgens figuur 2) dan is  $F_{\text{res}} = 0$   
dus  $F_{\text{motor}} = F_{w,\text{lucht}} + F_{w,\text{rol}}$   
 $> F_{\text{motor}} = 4,8 \text{ kN}$  en  $F_{w,\text{rol}} = 1,3 \text{ kN}$  dus  $F_{w,\text{lucht}} = 3,5 \text{ kN} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ N}$

$$> A = l \cdot b = 2,50 \cdot 1,70 = 4,255 \text{ m}^2$$

$$> \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$> v = 69,4 \text{ m/s (aflezen na 105 s in figuur 2)}$$

Invullen in de formule:

$$3,5 \cdot 10^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 4,255 \cdot C_w \cdot 69,4^2$$

$$\text{Uitkomst: } C_w = \underline{\underline{0,28}}$$

$$3d. \text{ De energie in 324 accu's is } 324 \cdot 0,74 = 240 \text{ kWh}$$

Voor 1 km is nodig: 0,83 kWh

$$\text{Actieradius} = 240/0,83 = 289 = \underline{\underline{2,9 \cdot 10^2 \text{ km}}}$$