

Het Amerikaanse 'Global Positioning System' (GPS) is een radionavigatiesysteem bestaande uit 24 satellieten die in zes verschillende cirkelbanen op een constante hoogte boven het aardoppervlak draaien. In figuur 1 is een van die satellieten met 6 zonnepanelen weergegeven.

Elke satelliet zendt continu een unieke code van signalen uit.

**figuur 1**



Drie zonnepanelen hebben samen een lengte van 6,5 m. De zonnestraling die op de zonnepanelen valt heeft een intensiteit van  $1,4 \cdot 10^3 \text{ W m}^{-2}$ . De gebruikte zonnepanelen hebben een rendement van 12%.

De gegeven intensiteit van de zonnestraling kan berekend worden met behulp van gegevens uit een tabellenboek.

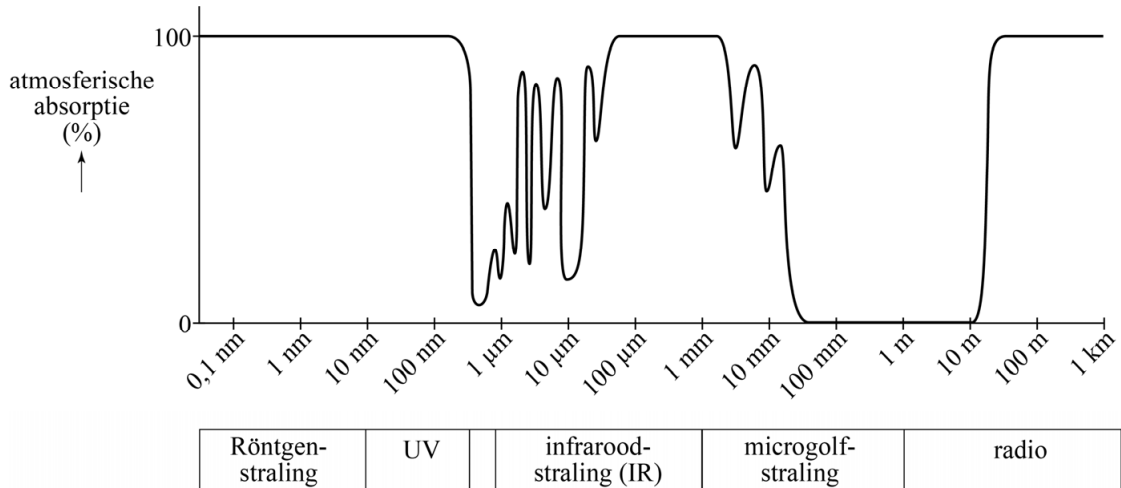
- 3p **13** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan welke formule daarvoor gebruikt moet worden.
  - Geef aan welke gegevens daarbij ingevuld moeten worden.
- 4p **14** Bepaal het maximale elektrisch vermogen dat de zonnepanelen van een GPS-satelliet kunnen leveren. Maak daartoe eerst een beredeneerde schatting van de oppervlakte van de zonnepanelen.

GPS-satellieten cirkelen op een hoogte van  $2,018 \cdot 10^7$  m.

- 4p 15 Bereken de omlooptijd  $T$  van een satelliet.

De atmosfeer absorbeert een deel van de invallende elektromagnetische straling, afhankelijk van de golflengte. Dit is weergegeven in figuur 2.

figuur 2



De satellieten zenden hun codes uit met behulp van elektromagnetische golven uit de zogenaamde L-band. Voor de L-band geldt:  
 $1 \text{ GHz} < f < 2 \text{ GHz}$ .

- 3p 16 Laat met berekeningen zien dat atmosferische absorptie geen belemmering is voor communicatie in de L-band.

Een ontvangapparaat op aarde (bijvoorbeeld in een auto) kan uit de ontvangen code de tijdsduur berekenen die het signaal erover gedaan heeft om van de satelliet naar het ontvangapparaat te komen. In een bepaald geval levert dit een tijd:  $t = 8,03644762 \cdot 10^{-2}$  s. Hieruit berekent het ontvangapparaat heel nauwkeurig de afstand tot de satelliet. Hieronder staan een aantal ordes van grootte van die nauwkeurigheid.

- a  $10^2$  m
- b  $10^0$  m
- c  $10^{-2}$  m
- d  $10^{-4}$  m

- 3p 17 Welke waarde is de goede? Licht dit toe met een berekening.