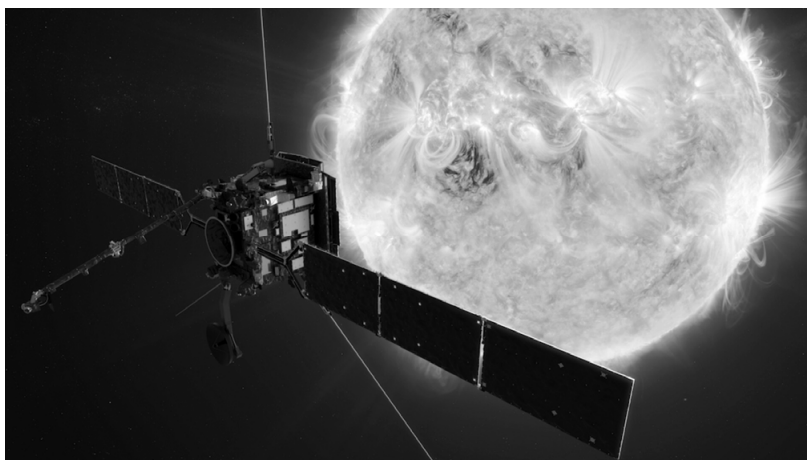


Solar Orbiter

In februari 2020 werd de satelliet Solar Orbiter gelanceerd. Zie figuur 1.

figuur 1



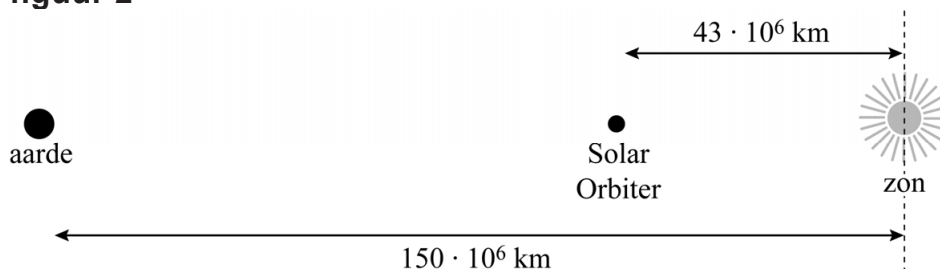
Deze satelliet gaat op relatief kleine afstand van de zon metingen doen aan het oppervlak van de zon.

Als Solar Orbiter dichterbij de zon komt, zal hij door de zon fors worden opgewarmd.

- 1p **6** Geef aan welke vorm van warmtetransport plaatsvindt tussen de zon en Solar Orbiter.

Solar Orbiter nadert de zon tot een kleinste afstand van $43 \cdot 10^6$ km (gemeten vanaf het middelpunt van de zon). Zie schematisch en niet op schaal in figuur 2.

figuur 2



De intensiteit I is het invallend vermogen van het zonlicht per m^2 bestraald oppervlak. Dit verandert met de afstand tot de zon volgens een omgekeerd kwadratisch evenredig verband:

$$I = k \cdot \frac{1}{r^2} \quad (1)$$

Hierin is:

- k een constante;
- r de afstand tot het middelpunt van de zon.

Op het aardoppervlak is I in de orde van grootte van 10^3 W m^{-2} .

Om Solar Orbiter te beschermen tegen een te grote intensiteit van het zonlicht is een hitteschild ontworpen. De ontwerpers hebben hierover een regel opgenomen in het programma van eisen. Zie figuur 3.

figuur 3

Programma van eisen
Het hitteschild moet minimaal een intensiteit in de orde van grootte van $\dots \text{W m}^{-2}$ kunnen weerstaan.

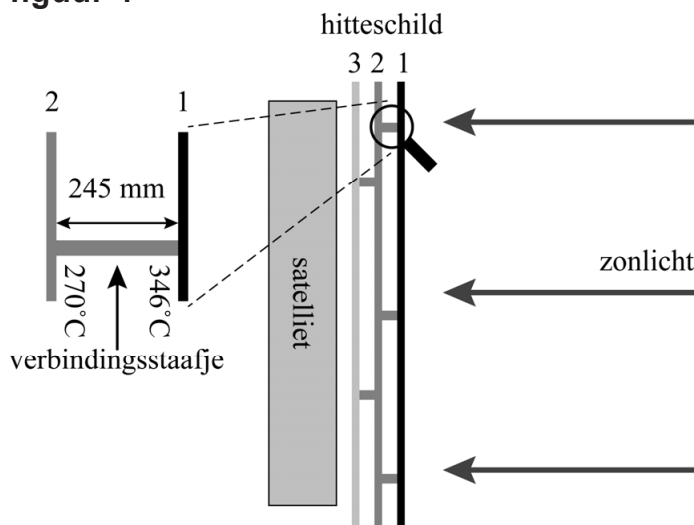
Op de puntjes in figuur 3 staat één van de volgende ordes van grootte: 10^2 , 10^4 , 10^6 of 10^8 .

- 3p 7 Leg met figuur 2 en een berekening met formule (1) uit welke orde van grootte in de ontwerpeis staat.

Het hitteschild bestaat uit drie reflecterende lagen. De afstand tussen laag 1 en laag 2 is 245 mm. De lagen zijn van elkaar gescheiden door titanium verbindingsstaafjes in vacuüm.

In figuur 4 is een deel van het hitteschild schematisch en niet op schaal weergegeven. In deze figuur staan ook de verwachte temperaturen van laag 1 en laag 2 dicht bij de zon.

figuur 4



De warmtegeleidingscoëfficiënt van titanium is $21,9 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Er zijn 12 gelijke verbindingsstaafjes aangebracht tussen laag 1 en laag 2.

Een ontwerpeis voor het hitteschild is dat de warmtestroom door alle verbindingsstaafjes tussen laag 1 en laag 2 samen maximaal 15 W mag zijn.

- 4p 8 Bereken de oppervlakte van de dwarsdoorsnede die een staafje maximaal mag hebben om aan deze ontwerpeis te voldoen. Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

- 3p 9 De kleinste afstand tussen Solar Orbiter en de zon is $43 \cdot 10^6$ km .
Bereken de versnelling die Solar Orbiter op deze afstand ondervindt als gevolg van de gravitatiekracht van de zon.

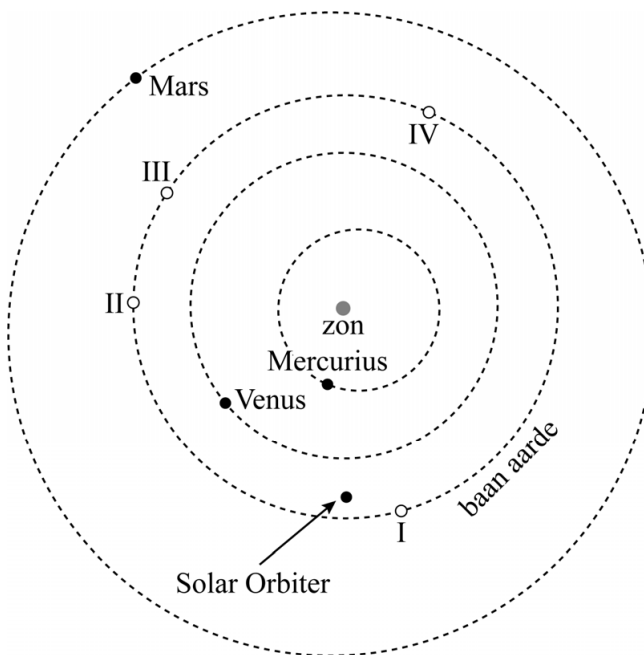
Op 18 november 2020 maakte Solar Orbiter een foto. Zie figuur 5. Hierop zijn Venus, Mars en de aarde (Earth) te zien.

figuur 5



In figuur 6 zijn schematisch de posities van de zon, Mercurius, Venus, Mars en Solar Orbiter op deze datum te zien.

figuur 6

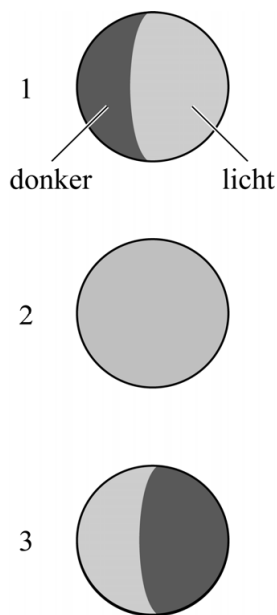


In figuur 6 is ook de baan van de aarde getekend. Er zijn vier posities (I t/m IV) aangegeven.

- 1p 10 Welke positie in figuur 6 komt overeen met de positie van de aarde op het tijdstip van de foto in figuur 5?
- A positie I
 - B positie II
 - C positie III
 - D positie IV

Net zoals de maan vanaf de aarde gezien maanfasen heeft, heeft Venus vanaf Solar Orbiter gezien ook fasen. In figuur 7 zijn drie mogelijke fasen van Venus afgebeeld.

figuur 7



- 2p 11 Leg met behulp van figuur 6 uit welke fase (1, 2 of 3) het best overeenkomt met de fase zoals gezien vanaf Solar Orbiter op 18 november 2020.