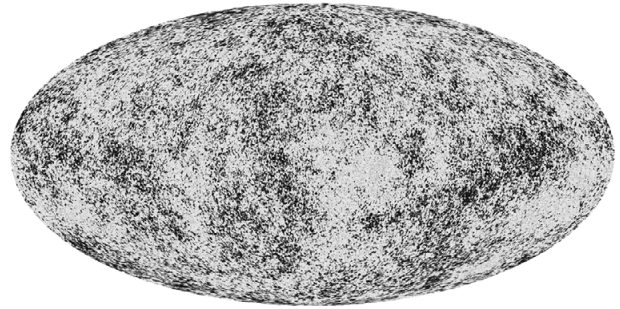


Planck

Kosmische achtergrondstraling is de straling die in het jonge heelal als warmtestraling ontstond. De meest gedetailleerde kaart van de kosmische achtergrondstraling laat intensiteitsverschillen van slechts 0,001% zien (zie figuur 1). De beelden konden verzameld worden dankzij de Planck-satelliet van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA. De kosmische achtergrondstraling wordt nu waargenomen als microgolfstraling.

figuur 1

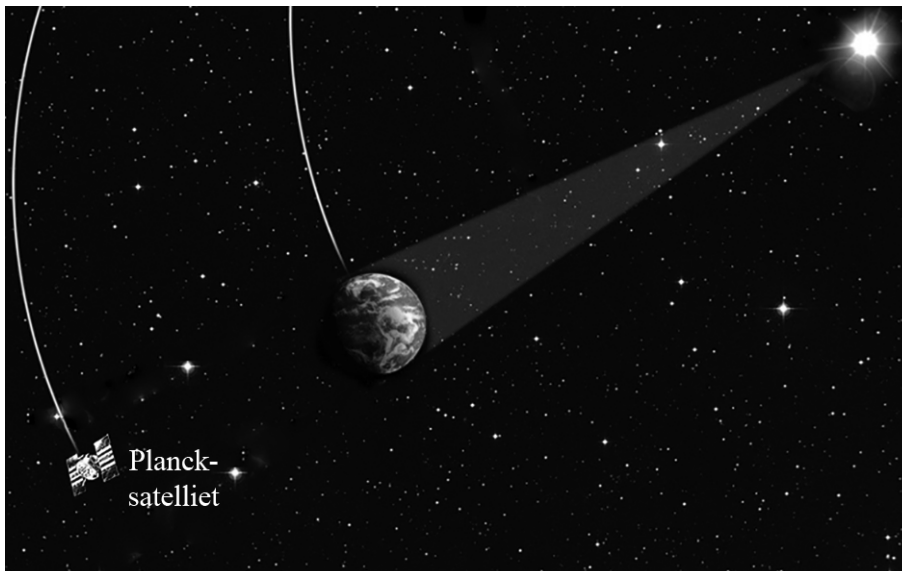


De opnamen voor de kaart van figuur 1 kunnen vanwege de aardatmosfeer niet vanaf het aardoppervlak gemaakt zijn.

1p 1 Geef hiervoor een reden.

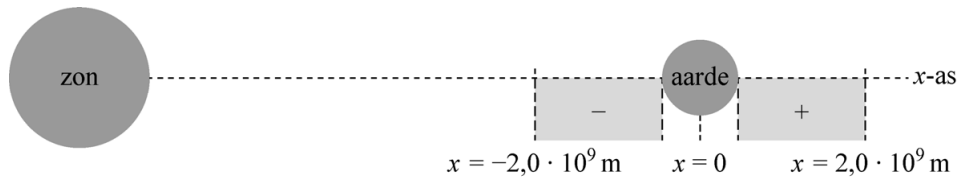
De Planck-satelliet draait rondjes om de zon. Hij heeft zijn metingen verricht vanuit een speciaal punt in de ruimte: het Lagrangepunt L_2 . Het Lagrangepunt L_2 ligt in het verlengde van de verbindingslijn van de zon naar de aarde en in dit punt is de omlooptijd van de satelliet gelijk aan die van de aarde. Zie figuur 2.

figuur 2



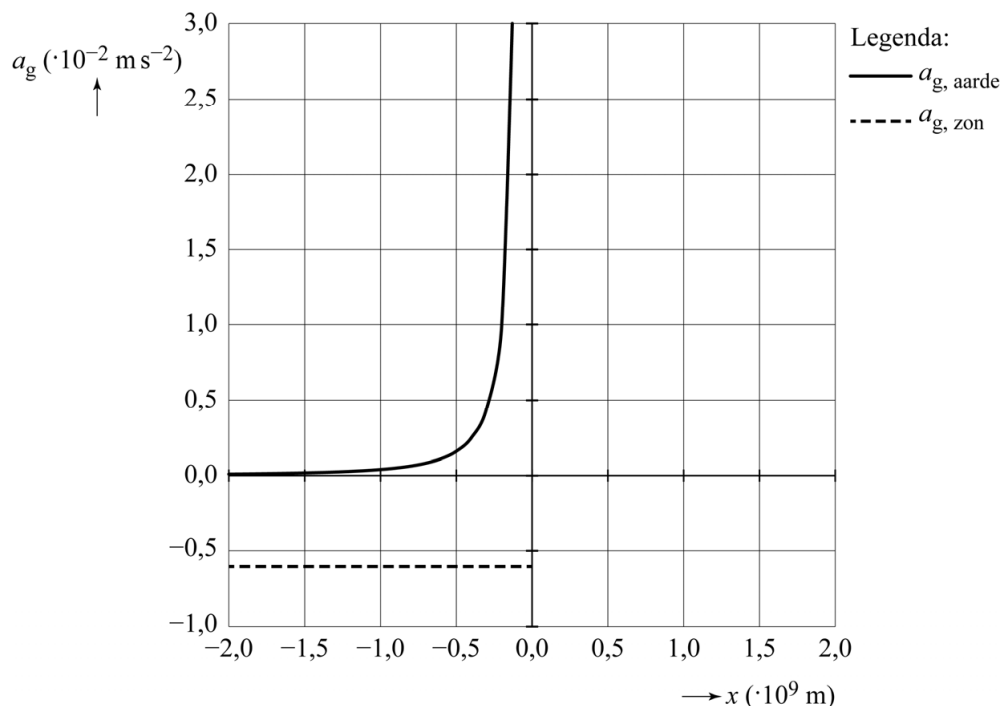
Thijs voert een modelstudie uit om te bepalen op welke afstand van de aarde het Lagrange punt L_2 zich bevindt. In zijn model is de x -as de verbindinglijn van de zon naar de aarde. Thijs beperkt zich in zijn onderzoek tot het gebied op de x -as waarvoor geldt dat de afstand $|x|$ tot het middelpunt van de aarde kleiner is dan $2,0 \cdot 10^9$ m en groter dan of gelijk aan de straal van de aarde. Zie figuur 3. Deze figuur is niet op schaal. In zijn model definieert Thijs de richting naar rechts in de figuur als positief. Hoewel het Lagrange punt L_2 rechts van de aarde ligt, bekijkt Thijs dus ook wat er gebeurt bij negatieve waarden van x .

figuur 3



Thijs berekent met zijn model hoe de gravitatieversnelling ten gevolge van de zon, $a_{g, \text{zon}}$, en die ten gevolge van de aarde, $a_{g, \text{aarde}}$, afhangen van x (zie figuur 4).

figuur 4



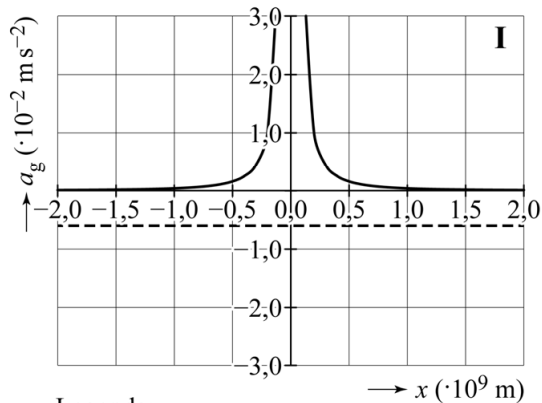
Thijs heeft ervoor gezorgd dat zijn model zo goed mogelijk aan de werkelijkheid voldoet.

- 2p **2** Beantwoord de volgende twee vragen:
- Bij welke $|x|$ wordt de waarde van $a_{g, \text{aarde}}$ maximaal in het model?
 - Geef de grootte van deze maximale waarde van $a_{g, \text{aarde}}$.

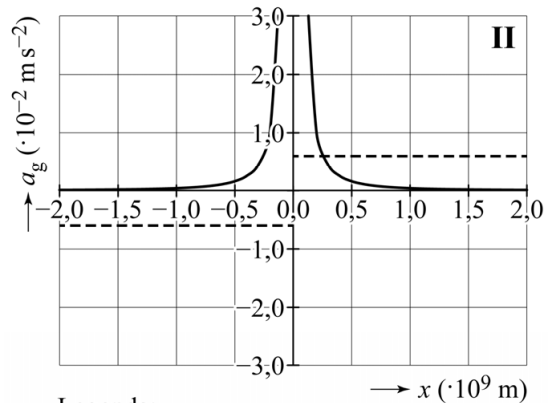
Van de modelwaarden van $a_{g, \text{zon}}$ en $a_{g, \text{aarde}}$ zijn in figuur 4 alleen de grafieklijnen bij negatieve waarden van x weergegeven. In figuur 5 zijn vier mogelijkheden gegeven van hoe de gehele grafiek, tot $x = 2,0 \cdot 10^9 \text{ m}$, kan lopen.

- 3p **3** Leg uit welke van de vier grafieken (I, II, III of IV) de situatie juist weergeeft.

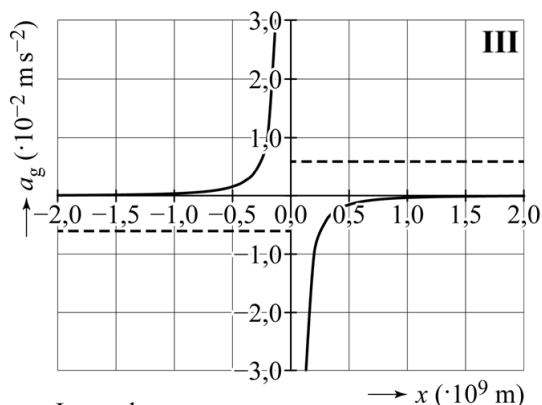
figuur 5



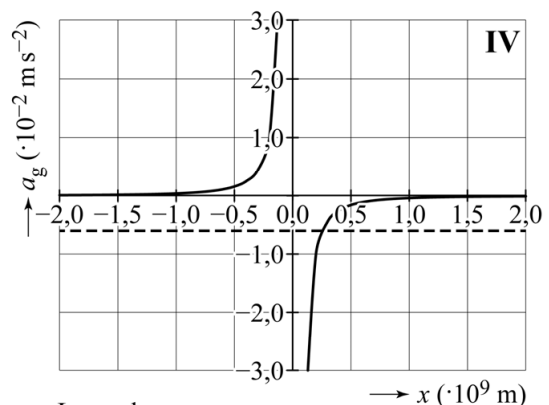
Legenda:
 — $a_{g, \text{aarde}}$
 - - - $a_{g, \text{zon}}$



Legenda:
 — $a_{g, \text{aarde}}$
 - - - $a_{g, \text{zon}}$



Legenda:
 — $a_{g, \text{aarde}}$
 - - - $a_{g, \text{zon}}$



Legenda:
 — $a_{g, \text{aarde}}$
 - - - $a_{g, \text{zon}}$

Als een voorwerp een cirkelbeweging om een hemellichaam beschrijft, geldt de volgende formule:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r}{a}} \quad (1)$$

Hierin is:

- T de omlooptijd om het hemellichaam in s
- r de baanstraal in m
- a de grootte van de gravitatieversnelling ten gevolge van het hemellichaam in m s^{-2}

4p **4** Leid formule (1) af gebruikmakend van formules uit een tabellenboek.

De Planck-satelliet in het Lagrangepunt L_2 ondervindt zowel een gravitatiekracht van de zon als een gravitatiekracht van de aarde. Als gevolg daarvan luidt de formule voor de omlooptijd van de satelliet als volgt:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r}{a_{\text{g, res}}}} \quad (2)$$

Hierin is:

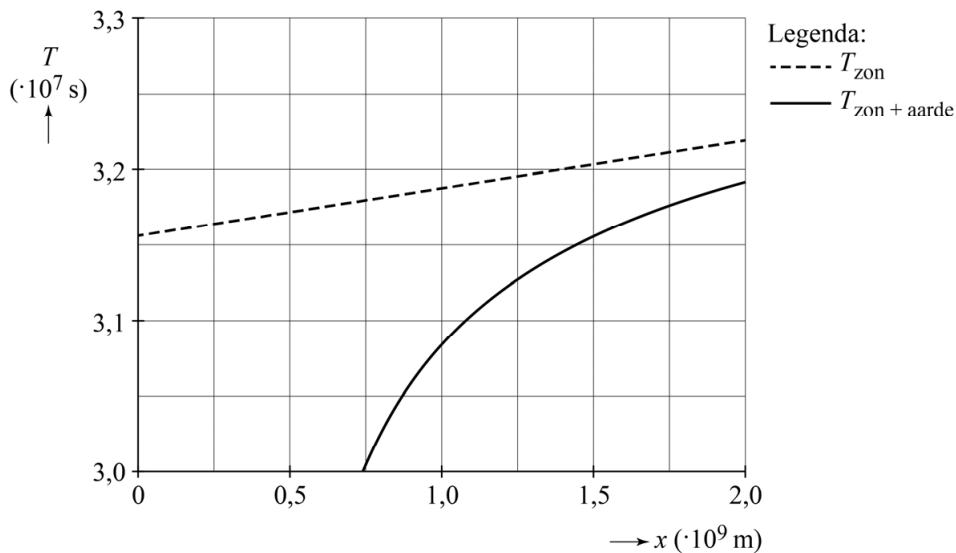
- T de omlooptijd om de zon in s
- r de baanstraal in m
- $a_{\text{g, res}}$ de grootte van de gravitatieversnelling ten gevolge van de resulterende gravitatiekracht in m s^{-2}

De baanstraal van de Planck-satelliet in het Lagrangepunt L_2 is groter dan de baanstraal van de aarde. Toch is de omlooptijd T van de Planck-satelliet gelijk aan die van de aarde.

2p **5** Leg dat uit met behulp van formule (2).

Om te bepalen op welke afstand van de aarde het Lagrangepunt L_2 zich bevindt, berekent Thijs met zijn model bij verschillende waarden van x de omlooptijd T om de zon van een voorwerp dat zich bevindt op de verbindinglijn van de zon naar de aarde. Hij beperkt zich tot alleen de positieve waarden van x . Zijn resultaten zijn weergegeven in figuur 6. Figuur 6 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 6



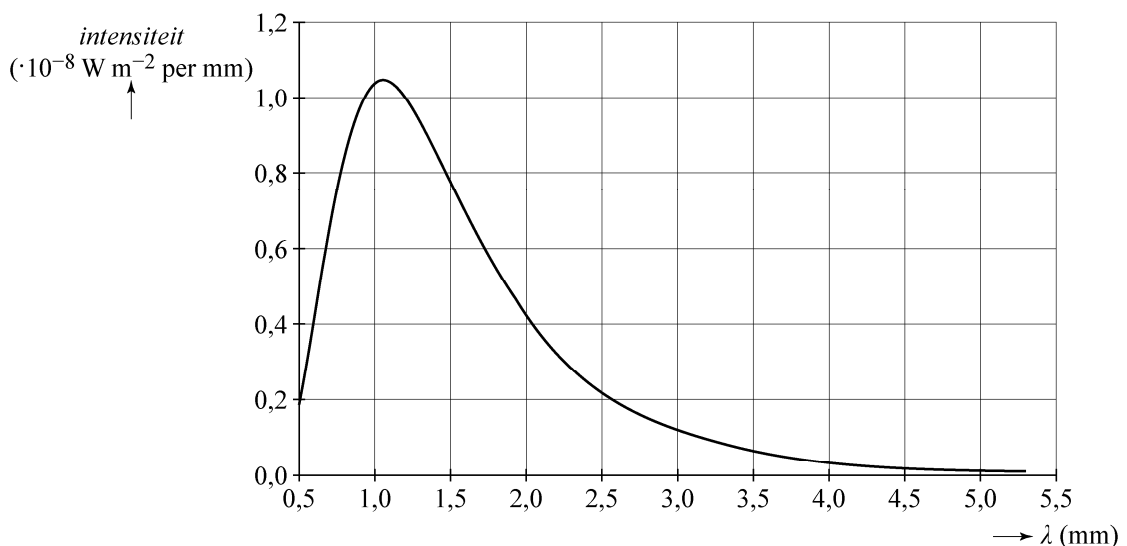
T_{zon} is de berekende omlooptijd als alleen de zon aanwezig zou zijn.

$T_{\text{zon} + \text{aarde}}$ is de berekende omlooptijd als er rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van zowel de zon als de aarde.

- 3p **6** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de afstand van het Lagrangepunt L_2 tot het midden van de aarde.

De Planck-satelliet verrichtte metingen vanuit het Lagrangepunt L_2 . In figuur 7 staat de stralingskromme van de kosmische achtergrondstraling die de satelliet heeft gemeten.

figuur 7



De temperatuur van de kosmische achtergrondstraling is gedefinieerd als de temperatuur van een voorwerp met de stralingskromme van figuur 7.

- 3p **7** Bepaal de temperatuur van de kosmische achtergrondstraling.