

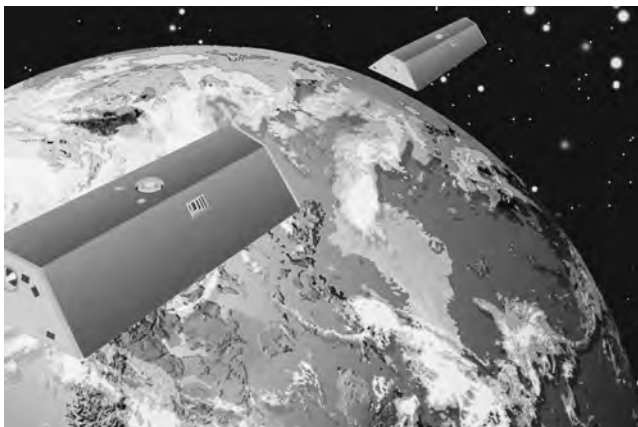
## Opgave 2 GRACE

Lees het volgende artikel.

### De valversnelling is niet overal gelijk.

De valversnelling is niet overal op aarde precies gelijk. Dit kan een gevolg zijn van de draaiing en de afplatting van de aarde, maar ook van specifieke eigenschappen van de aardkorst. Bergen, zware gesteenten of olievelden veroorzaken **permanente** afwijkingen in de plaatselijke zwaartekracht. Aardverschuivingen, getijdenwerkingen en het smelten van poolkappen leveren daarentegen **tijdelijke** afwijkingen op. Om dit alles te kunnen meten, zijn twee identieke satellieten gelanceerd: GRACE A en GRACE B. Zie figuur 1.

figuur 1



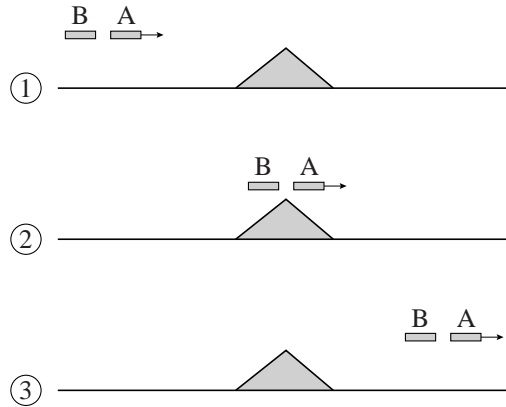
De twee satellieten draaien achter elkaar aan om de aarde op een hoogte van 485 km met een onderlinge afstand van 220 km. Kleine afwijkingen in de gravitatiekracht beïnvloeden de onderlinge afstand tussen de satellieten.

De satellieten leggen per etmaal ongeveer 15 rondjes om de aarde af.

- 4p 6 Toon dit aan.  
Hint: Bereken daartoe eerst de omlooptijd van de satellieten.

We bekijken de situatie waarin de twee satellieten A en B na elkaar over een grote berg gaan, zoals aangegeven in figuur 2.

**figuur 2**



Hierbij verandert de onderlinge afstand AB.

- 2p **7** Leg uit dat de onderlinge afstand AB:
- eerst groter wordt;
  - uiteindelijk de oorspronkelijke waarde heeft.

Om de verandering in de onderlinge afstand AB zo nauwkeurig mogelijk te bepalen, communiceren de satellieten met niet-gemoduleerde radiosignalen.

A ontvangt een signaal van B en vergelijkt dat met een eigen referentiesignaal van dezelfde frequentie. Als de afstand AB niet verandert, is er een constant faseverschil tussen de twee signalen. Als de afstand AB groter wordt, ontstaat een extra faseverschil  $\Delta\varphi$  tussen het ontvangen signaal en het referentiesignaal.

De frequentie van de gebruikte radiosignalen bedraagt 32,7 GHz.

- 4p **8** Bereken de grootte van het verschil in afstand AB dat een extra faseverschil geeft van  $\Delta\varphi = 0,015$ .

- 2p **9** Leg uit dat men voor dit doel **geen** gebruik kan maken van frequentiemodulatie.

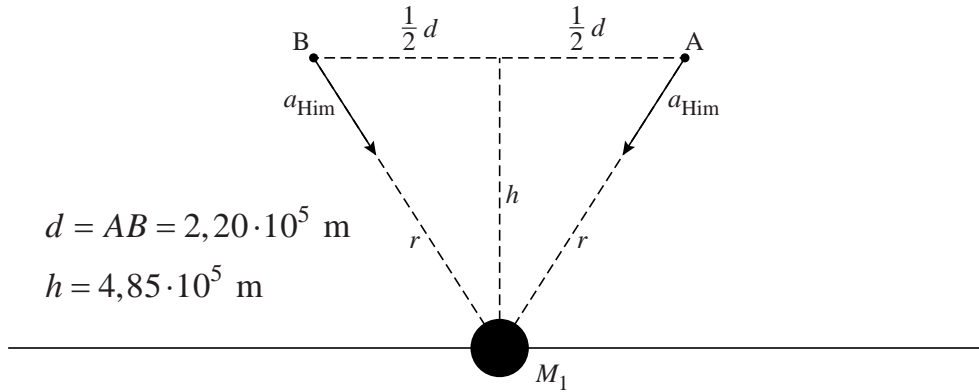
De frequentie van de radiosignalen wordt bepaald door een zogenaamd trilkristal. Er bestaan ook trilkristallen met een frequentie van ongeveer 10 MHz.

Deze trilkristallen zijn **niet** geschikt om het verschil in afstand AB met grote nauwkeurigheid te bepalen.

- 2p **10** Leg uit waarom niet.

Op een gegeven moment bewegen de twee GRACE satellieten over de Himalaya. Zie figuur 3. De Himalaya wordt hierin aangegeven als een massa  $M_1$ . In de getekende positie ondervinden beide satellieten elk een (zeer kleine) extra versnelling  $a_{\text{Him}}$  door de gravitatiekracht van  $M_1$ .

**figuur 3**

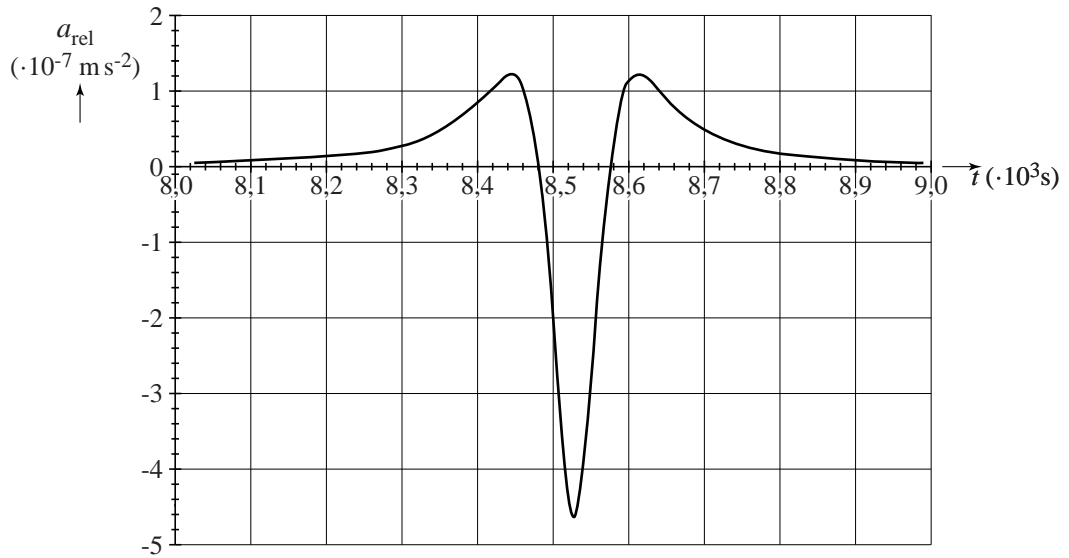


Voor de grootte van de onderlinge versnelling geldt:  $a_{\text{rel}} = GM_1 \frac{d}{r^3}$ .

- 5p 11 Voer de volgende opdrachten uit voor de gegeven situatie:
- Leg uit dat de onderlinge versnelling alleen door de horizontale componenten van  $a_{\text{Him}}$  bepaald wordt.
  - Bereedeneer op grond van de vectorrichtingen of de twee satellieten op dit moment naar elkaar toe of van elkaar af versneld worden.
  - Leid af dat geldt:  $a_{\text{rel}} = GM_1 \frac{d}{r^3}$ .

In figuur 4 is de onderlinge versnelling  $a_{\text{rel}}$  tijdens de beweging over de Himalaya weergegeven als functie van de tijd.

**figuur 4**



3p 12 Bepaal op grond van figuur 4 de massa  $M_1$ .