

De zonsverduistering van 1919

1. Schaalmodel

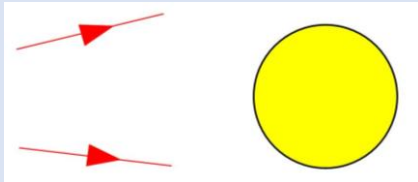
2p2. Leg uit waarom Eddington dat alleen kon waarnemen tijdens een volledige zonsverduistering.

Voorbeeld van een antwoord:

Het licht afkomstig van sterren die ver weg staan is zeer zwak ten opzichte van het licht dat de zon uitstraalt. Tijdens een zonsverduistering wordt het zonlicht echter geblokkeerd en zal het licht van andere sterren (veel) beter zichtbaar zijn.

- inzicht dat het licht afkomstig van sterren die ver weg staan veel zwakker is ten opzichte van het zonlicht
- conclusie

In figuur 3 zijn de lichtstralen wederom deels weergegeven. Wanneer je de kegel met daarop de zon en de lichtstralen van bovenaf bekijkt dan kun je zien wat het effect van de gekromde ruimtetijd is op het verloop van de lichtstralen. Het lijkt alsof de lichtstralen afbuigen en dat terwijl je de lichtstralen als rechte lijnen hebt getekend.



Figuur 3

1p3. Teken het verdere verloop van de afgebogen lichtstralen in figuur 3 op de uitwerkbijlage.

Voorbeeld van een antwoord:

Van bovenaf gezien buigen de lichtstralen een beetje naar de zon toe.

2p4. Leg met behulp van het papieren schaalmodel en figuur 3 op de uitwerkbijlage uit dat je (tijdens een zonsverduistering) toch het licht van sterren kunt waarnemen die zich normaal gesproken 'achter' de zon bevinden.

Voorbeeld van een antwoord:

Vanwege de kromming (van het papier) wordt het licht afkomstig van een ster die zich achter de zon bevindt, zodanig afgebogen, dat het toch zichtbaar is vanaf de aarde. Voor een waarnemer op aarde lijkt het dat de ster zich op een andere plek bevindt dan eigenlijk het geval.

- inzicht dat onder invloed van de zon, lichtstralen worden afgebogen
- inzicht dat dit betekent dat een ster die zich 'achter' de zon bevindt, toch zichtbaar kan zijn voor een waarnemer op aarde.

2. Rekenopgave

Tijdens de totale zonsverduistering van 1919, maakte Eddington een foto van de zon (zie figuur 4). Op de foto was de verduisterde zon te zien, maar ook de sterren die zich deels achter de zon bevonden.

Na analyse bleek dat de sterren zich op een andere positie bevonden dan verwacht. Volgens de algemene relativiteitstheorie werd het licht van de sterren afgebogen doordat de ruimtetijd rondom de zon gekromd was. De buigingshoek $\Delta\alpha$ kan worden berekend met behulp van de volgende formule:

$$\Delta\alpha = \frac{4 \cdot G \cdot M}{d \cdot c^2} \quad (1)$$

4p5. Toon met behulp van een berekening aan dat de buigingshoek voor een lichtstraal die net langs de zon afscheert gelijk is aan $1,75''$ (1,75 boogseconden).

Voorbeeld van een antwoord:

Voor een lichtstraal die net langs de zon afscheert, geldt dat $d = R_{\text{zon}}$.

De buigingshoek is dan $\Delta\alpha = \frac{4 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 1,989 \cdot 10^{30}}{6,96 \cdot 10^8 \cdot (2,998 \cdot 10^8)^2} = 8,47 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$.

Dat komt overeen met $8,47 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{360}{2\pi} \cdot 60 \cdot 60 = 1,75 \text{ boogseconden}$.

- opzoeken c, G, M
- inzicht dat $d = R_{\text{zon}}$ en opzoeken R_{zon}
- omrekenen van rad naar boogseconden
- completeren

Een alternatieve notatie voor formule (1) is de volgende:

$$\Delta\alpha = 1,75'' \cdot \frac{R_{\text{ster}}}{d} \quad (2)$$

In deze formule is $\Delta\alpha$ wederom de buigingshoek, maar nu uitgedrukt in boogseconden. Verder is R_{ster} de straal van de ster (in m) en d is de loodrechte afstand tussen de lichtstraal en het massamiddelpunt van de ster (in m).

2p6. Leid formule (2) af op basis van formule (1). Je kunt bij deze opgave gebruik maken van het feit dat $\Delta\alpha$ en d omgekeerd evenredig zijn.

Voorbeeld van een antwoord:

Wanneer $d = R_{\text{zon}}$ dan is $\Delta\alpha = 1,75''$. Omdat $\Delta\alpha$ en d omgekeerd evenredig zijn geldt het volgende:

$\Delta\alpha(d = 2R_{\text{zon}}) = \frac{1}{2} \cdot 1,75''$ en $\Delta\alpha(d = 3R_{\text{zon}}) = \frac{1}{3} \cdot 1,75''$. Dit komt overeen met $\Delta\alpha = 1,75'' \frac{R_{\text{zon}}}{d}$.

- inzicht dat $\Delta\alpha(d = R_{\text{zon}}) = 1,75''$ en dat geldt dat $\Delta\alpha(d = 2R_{\text{zon}}) = \frac{1}{2} \cdot 1,75''$
- conclusie