

# Wordt licht afgebogen door de zwaartekracht?

Stel je voor: na een jarenlange training sta je op de loopplank naar de raket die je als eerste mens naar Mars zal brengen. Het is een heldere ochtend en de volle maan is nog boven je aan de hemel te zien. Er zit genoeg brandstof in de raket om aan de zwaartekracht van de aarde te ontsnappen. Maar hoe zit het met de zwaartekracht van de maan?

Natuurlijk is de raket niet recht op de maan gericht, dus je hoeft niet bang te zijn om op het verkeerde hemellichaam tot stilstand te komen. Maar de maan kan een moedige astronaut ook op andere manieren in de problemen brengen. Volgens de wetten van Newton trekken alle massa's elkaar aan. Een raket die langs de maan beweegt, wordt afgebogen door de kracht die de maan uitoefent. Als de raket dicht langs de maan scheert, is deze kracht groter. Een toeristische omweg vlak langs de maankraters zou er dus zomaar voor kunnen zorgen dat je Mars gaat missen.



Afbeelding 1. De MAVEN-missie op weg naar Mars. Foto: NASA/Bill Ingalls.

**Maar wacht eens: als je minder avontuurlijk aangelegd bent en vanaf de aarde door een telescoop naar Mars kijkt, merk je weinig van de nabijheid van de maan. Toch is 'zien' niets anders dan 'licht opvangen', en ook dat licht heeft een ruimtereis afgelegd. Wordt het licht niet, net als een raket, tijdens de reis tussen Mars en ons door de maan afgebogen?**

Om deze vraag te beantwoorden moeten we ons mengen in een van de grootste ruzies in de natuurkunde. In de tijd van Newton, en nog lang daarna, was men het er niet over eens of licht als een deeltje of als een golf door de ruimte beweegt. Hoewel we tegenwoordig weten we dat de waarheid in deze kwestie in het midden ligt, zoals [elders op deze site](#) te lezen is, volgen we hier de beschrijving van licht als deeltje met een bepaalde massa. Zulke deeltjes kunnen afgebogen worden door zware objecten.

De grootte van dit effect werd in 1801 voor het eerst uitgerekend door de Duitse wetenschapper Johann Georg von Soldner, die daar zelfs niet eens de massa van zo'n lichtdeeltje voor hoefde te weten. Net zoals een veer zonder luchtweerstand even snel zou vallen als een hamer, blijkt dat de hoek van afbuiging niet afhangt van de massa van het lichtdeeltje.

**Filmpje: Hammer vs Feather - Physics on the Moon. Op de maan is er geen luchtweerstand, dus valt een veer even snel als een hamer. Beelden: NASA.**

Aangezien we uit het dagelijks leven weten dat licht heel snel beweegt, zal deze afbuiging meestal vrij klein zijn. Zo blijkt dat we niet hoeven te verwachten dat licht van bijvoorbeeld Mars merkbaar door de maan wordt afgebogen. De zon is echter veel zwaarder dan de maan, en kan licht afbuigen met een hoek die we zouden kunnen zien, als het licht heel dicht langs de zon zou gaan. Makkelijk te meten is dat natuurlijk niet: de zon geeft zo veel licht dat de omliggende sterren voor ons onzichtbaar zijn!

Destijds heeft voor zover bekend dan ook niemand geprobeerd om de afbuiging van licht

door de zon te meten. Dit idee werd echter veel later weer belangrijk, toen Albert Einstein nadacht over manieren om zijn algemene relativiteitstheorie te testen. Zoals [elders op deze site](#) te lezen is, beschrijft deze theorie de aantrekking door massa op een fundamenteel andere manier dan die van Newton dat deed. Volgens Einstein oefent een zware massa geen kracht uit op andere deeltjes, maar kromt hij de ruimte waarin deze deeltjes bewegen. Zijn berekening leidt zo op een heel andere manier tot een hoek van afbuiging langs de zon. De hoek die Einstein vond is precies twee keer zo groot is als de uitkomst van Newton's wetten.

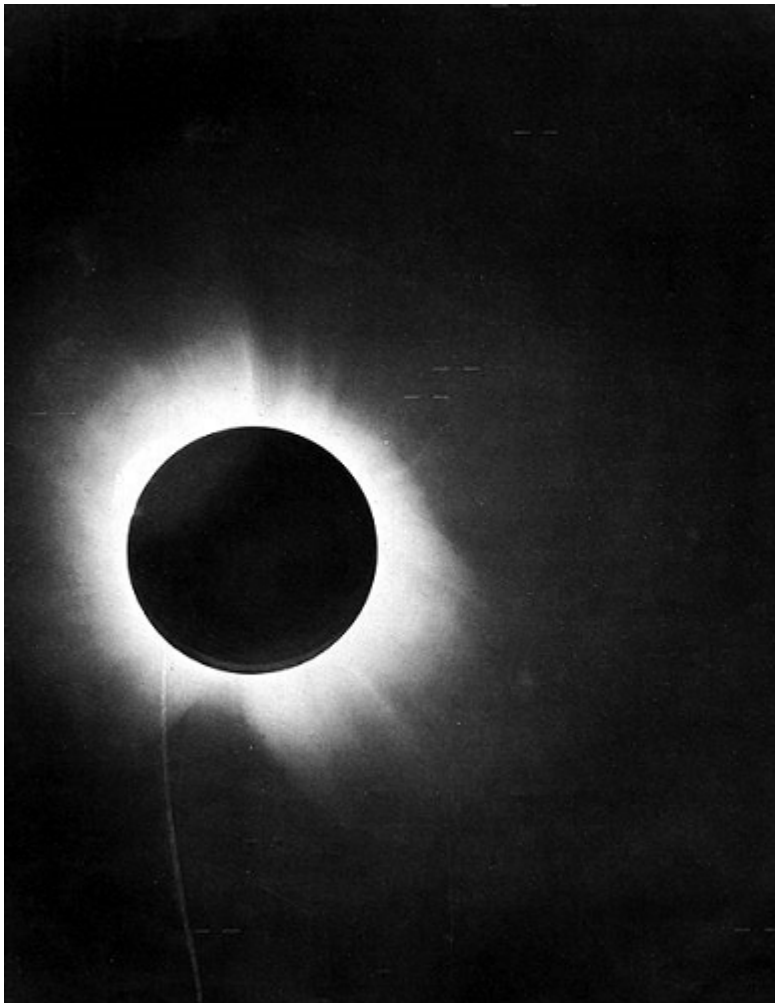


**Afbeelding 2. Arthur Eddington (1882-1944).**Afbeelding: George Grantham Bain Collection, Library of Congress Prints and Photographs Division Washington, D.C.

In de lente van 1919, vier jaar nadat Einstein zijn voorspellingen had gepubliceerd, vertrok onder leiding van Arthur Eddington een expeditie naar het kleine, haast onbewoonde eiland Príncipe aan de westkust van Afrika. Toen tijdens de volledige zonsverduistering van 29 mei dat jaar de maan voor de zon schoof, waren de sterren vlak naast de zon bij hoge uitzondering te zien. Eddington wilde dit moment gebruiken om de positie van deze sterren te bepalen.

Op de foto's die tijdens deze ongewone duisternis in alle haast werden geschoten, bleek dat deze sterren te zien waren op een plaats die alleen verklaard kon worden met Einsteins afbuiging. Dit was voor Eddington reden genoeg om de algemene relativiteitstheorie als verbetering op de wetten van Newton aan te nemen. Deze conclusie, op 10 november op de voorpagina van de New York Times, was het begin van Einsteins wereldberoemdheid en de

brede acceptatie van zijn grootse theorie.



## LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

Men of Science More or Less  
Agog Over Results of Eclipse  
Observations.

## EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

Stars Not Where They Seemed  
or Were Calculated to be,  
but Nobody Need Worry.

## A BOOK FOR 12 WISE MEN

No More in All the World Could  
Comprehend It, Said Einstein When  
His Daring Publishers Accepted It.

**Afbeelding 3. De resultaten van Eddingtons expeditie. Een van de foto's van Eddington's expeditie en de kop van 10 november in de New York Times. Foto: F. W. Dyson, A. S. Eddington, and C. Davidson.**

*Afbeelding blokkenschema: 'Mister Galileo was correct' - NASA.*