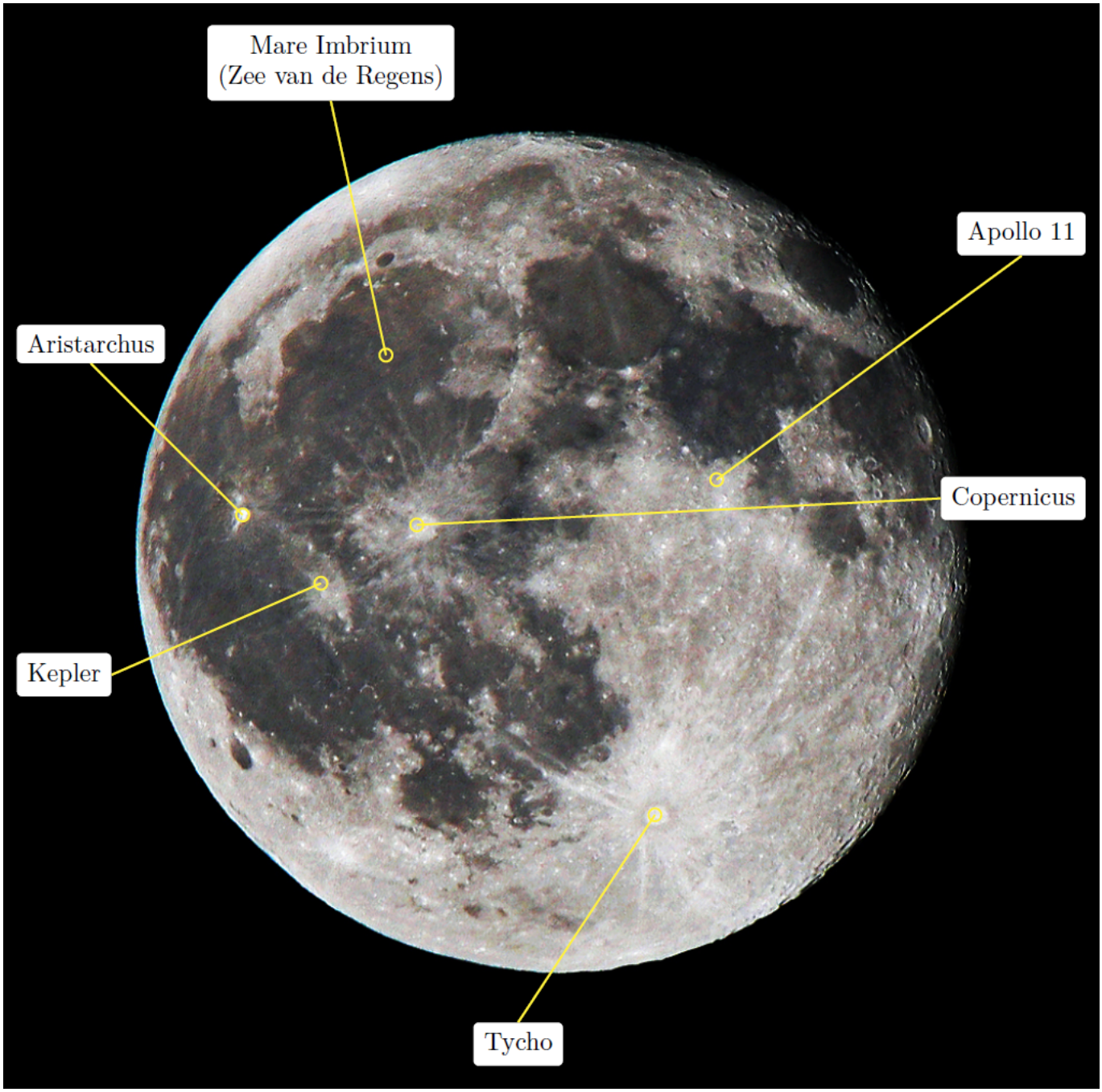
De donkere kant van de maan

De maan is voor de mensheid van grote waarde. Zo zorgt zij voor eb en vloed, waardoor wij te voet de Waddenzee kunnen doorkruisen, en vormt zij ’s nachts een bron van licht. De maan is het enige hemellichaam naast de aarde dat ooit een mens herbergde en zij zorgt bovendien voor zonsverduisteringen, die een belangrijke hint vormden bij het oplossen van het raadsel van de werking van ons zonnestelsel. Toch kent de maan ook een duistere zijde die wij vanaf de aarde nooit kunnen zien. In dit artikel leg ik je uit waarom de donkere kant van de maan natuurkundigen en één moraalfilosoof eeuwenlang hoofdbrekens bezorgde.

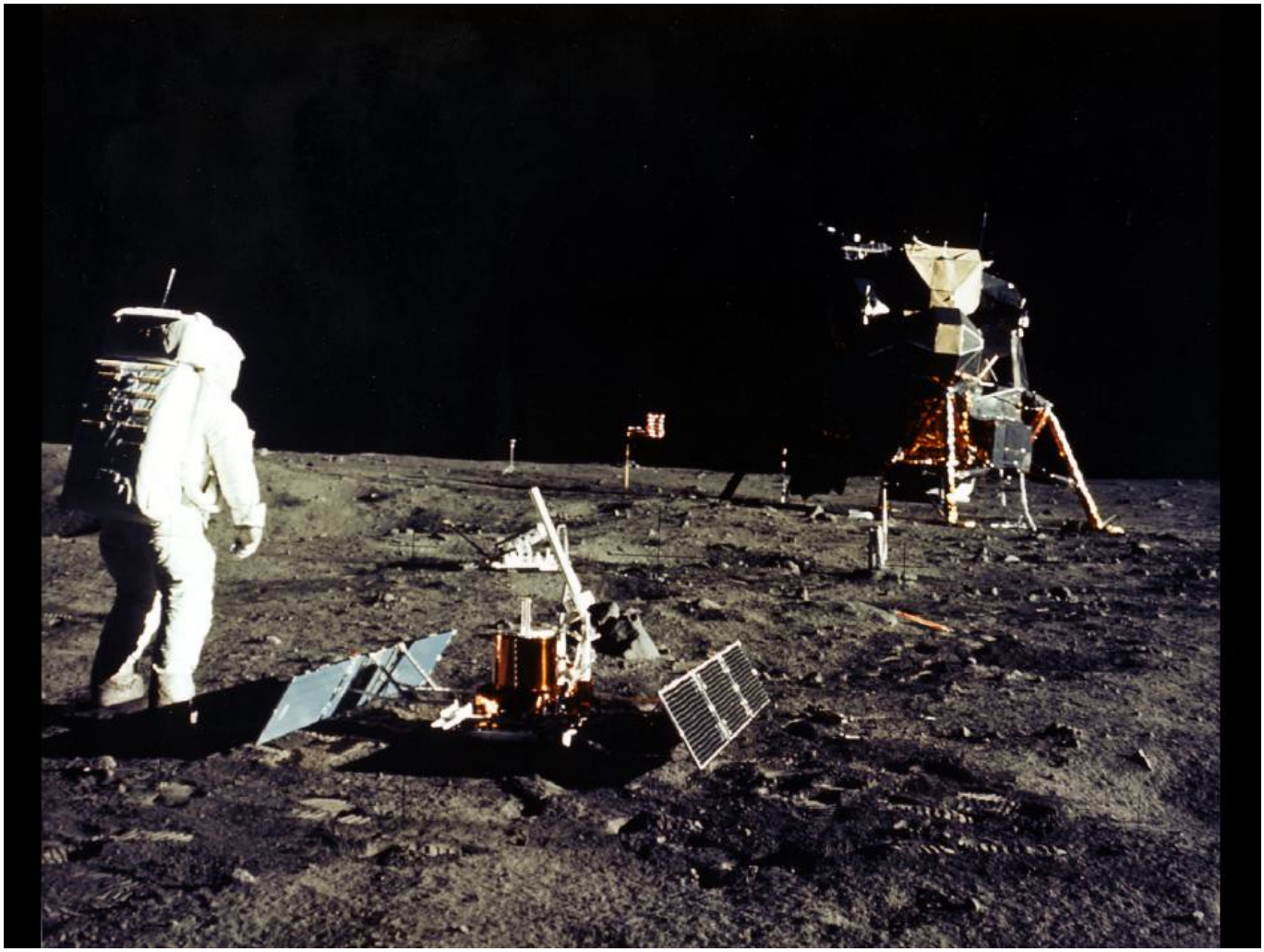


Afbeelding 1. De lichte kant van de maan. De bijna volle maan, op 18 augustus 2008 gefotografeerd vanuit Denemarken. Aangegeven zijn enkele karakteristieke plekken die in de tekst worden besproken. Foto: Peter Freiman (bewerkt), via Wikimedia Commons.

Als je ’s nachts naar buiten gaat en eens goed met een verrekijker of telescoop naar de maan kijkt, dan kun je een aantal karakteristieke plekken herkennen die ook in afbeelding 1 te zien zijn. Je kunt bijvoorbeeld de krater Tycho zien, het witte stipje onderaan waar de lichte stralen samenkomen. Je kunt ook de basaltvlakte Mare Imbrium (Zee van de Regens) herkennen aan haar donkere, bijna ronde vorm en de bergketens langs een deel van haar

rand. Onder Mare Imbrium liggen – van links naar rechts – de kraters Aristarchus, Kepler en Copernicus. Ten slotte kun je ook het gebied herkennen waar Neil Armstrong vanuit de Apollo 11 in 1969 voor het eerst een voet op de maan zette.

Kijk je de volgende avond weer naar de maan, dan zie je vrijwel hetzelfde landschap. Alleen de belichting is veranderd. Oftewel: de maan heeft een kant die je van de aarde kunt zien, en een kant die je niet kunt zien, respectievelijk de voorkant en de “donkere” achterkant; die laatste ontvangt overigens ook zonlicht. Deze eenzijdigheid van ons beeld van de maan is al lang bekend. Zo beargumenteerde Aristoteles dat de hemellichamen niet zelf rollen wanneer ze langs de hemelsferen bewegen omdat de maan altijd één gezicht toont. Omdat volgens Aristoteles de maan slechts één van de planeten is die rond de aarde draait, gold dat ook voor de rest van die hemellichamen.



Afbeelding 2. Buzz Aldrin op de maan. Buzz Aldrin op de voorkant van de maan tijdens de Apollo 11-missie (1969). Foto: Neil Armstrong/NASA, via Flickr.

Na de middeleeuwen werd het heliocentrisme dankzij Copernicus omarmd en vervolgens formuleerde Johannes Kepler wetten die de baan van planeten rond de zon beschreven, waarna Isaac Newton de algemene bewegingswetten en een zwaartekrachtswet ontwikkelde die de wetten van Kepler, evenals tal van andere bewegingen van massieve objecten, konden verklaren. Ook het vraagstuk van de eenzijdigheid van de maan was Newton niet onbekend.

Newton poogt deze eenzijdigheid te verklaren door erop te wijzen dat de maan verantwoordelijk is voor de getijden op aarde, iets wat al voor de middeleeuwen bekend was. De getijdenwerking vervormt een bolvormige oceaan tot een langwerpige vorm, waardoor het op sommige plekken vloed is en op andere eb. Newton begreep hoe zwaartekracht werkt en begreep dus ook dat deze niet-bolvormigheid een manier is om de zwaartekrachtsenergie van de oceaan te verlagen. Als de maanse materie een vloeibaarheid zou kennen die lijkt op het water van onze zeeën en oceanen, dan zou deze een vergelijkbare niet-bolvormigheid moeten vertonen, en vervolgens zou het energetisch het meest gunstig zijn voor de maan als ze steeds hetzelfde gezicht aan de aarde zou tonen, want dan hoeft de maan zich niet te vervormen om deze energetisch gunstige oriëntatie te blijven aannemen.

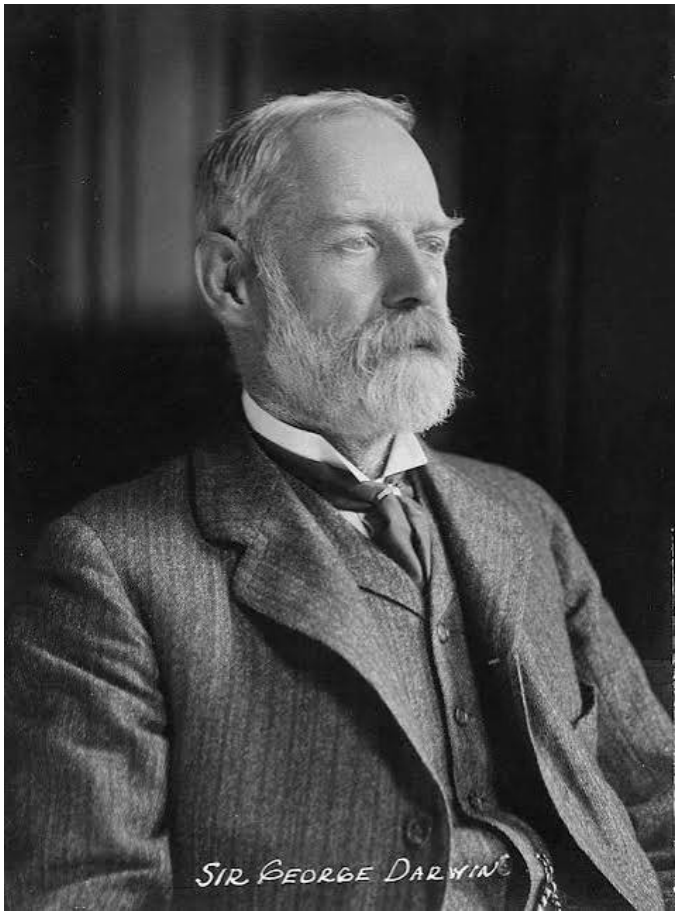


Afbeelding 3. Immanuel Kant (1724–1804). Schilderij: Johann Gottlieb Becker (1768), via Store norske leksikon.

De verklaring van Newton is juist, maar niet volledig bevredigend. Heliocentrisme stelt immers dat de aarde om de zon draait zoals de maan om de aarde draait, maar waarom is er dan niet één kant van de aarde die altijd licht is en één die donker is? In tegenstelling tot de “donkere” kant van de maan zou deze donkere kant van de aarde echt donker zijn. Het antwoord op de vraag liet lang op zich wachten.

Een poging tot het geven van een antwoord werd in 1754 gedaan door de Pruisische filosoof Immanuel Kant, bekend van de categorische imperatief, die stelt dat je alleen moet handelen volgens regels waarvan je kunt willen dat iedereen ze volgt. Kant verklaarde het proces van het eenzijdig worden van de maan door net als Newton ervan uit te gaan dat de maan vervormd wordt door de aarde zoals de maan het water op aarde vervormt. Hij stelde dat deze vervorming ertoe leidt dat de aarde de maan in haar draaiing om haar eigen as af kan remmen. Na Newton heeft ook Kant het bij het rechte eind, maar eigenlijk is Kants redenering niet werkelijk een verbetering ten opzichte van de verklaring die Newton eerder al gaf, omdat Kant niet goed uitlegt hoe dat afremmen in zijn werk gaat, en Newton ook wel begreep dat er een bepaald afremmingsproces nodig is om zijn energetisch gunstige toestand te bereiken, zoals de appel ook eerst moest dalen eer hij op zijn hoofd viel.

Hoe kan het dat ruim zestig jaar na Newton de grote wis- en natuurkundigen van de achttiende eeuw toekeken, terwijl Kant, die natuurkunde op een even niet-exacte wijze behandelde als zijn morele filosofie, zich stukbeet op dit probleem?



Afbeelding 4. George Darwin (1845-1912). Bron: PICRYL.



Afbeelding 5. Koffie. Wanneer melk bij koffie geschonken wordt,

is die melk eerst ongelijk verdeeld. Vervolgens vindt een onomkeerbaar proces plaats waarbij de melk zich steeds gelijker verdeelt. Via Wikimedia Commons.

Om de eenzijdigheid van de maan te verklaren, was een nieuw soort natuurkunde nodig, die pas in de negentiende eeuw ontwikkeld werd. Deze natuurkunde hield zich bezig met processen die *onomkeerbaar* zijn. Om te begrijpen wat onomkeerbaarheid is, hoef je alleen maar melk door de koffie te roeren. Hoe lang je ook blijft roeren, de melk verzamelt zich nooit vanzelf weer op de plek waar je haar inschonk. Dit is hoe onomkeerbaarheid zich manifesteert wanneer vloeistoffen mengen. Voor de beschrijving van de stroming van vloeistoffen is *viscositeit* de vloeistofeigenschap die voor onomkeerbaarheid zorgt. Viscositeit zorgt er namelijk voor dat snelheidsverschillen in een vloeistof worden afgezwakt, waardoor stroming laminair, oftewel gelaagd wordt, in plaats van in alle richtingen op wijzend. Viscositeit werd in 1822 door Claude-Louis Navier onderdeel gemaakt van vloeistofvergelijkingen die we tegenwoordig als de Navier-Stokesvergelijkingen kennen. In onsamendrukbare vorm zijn deze gegeven door

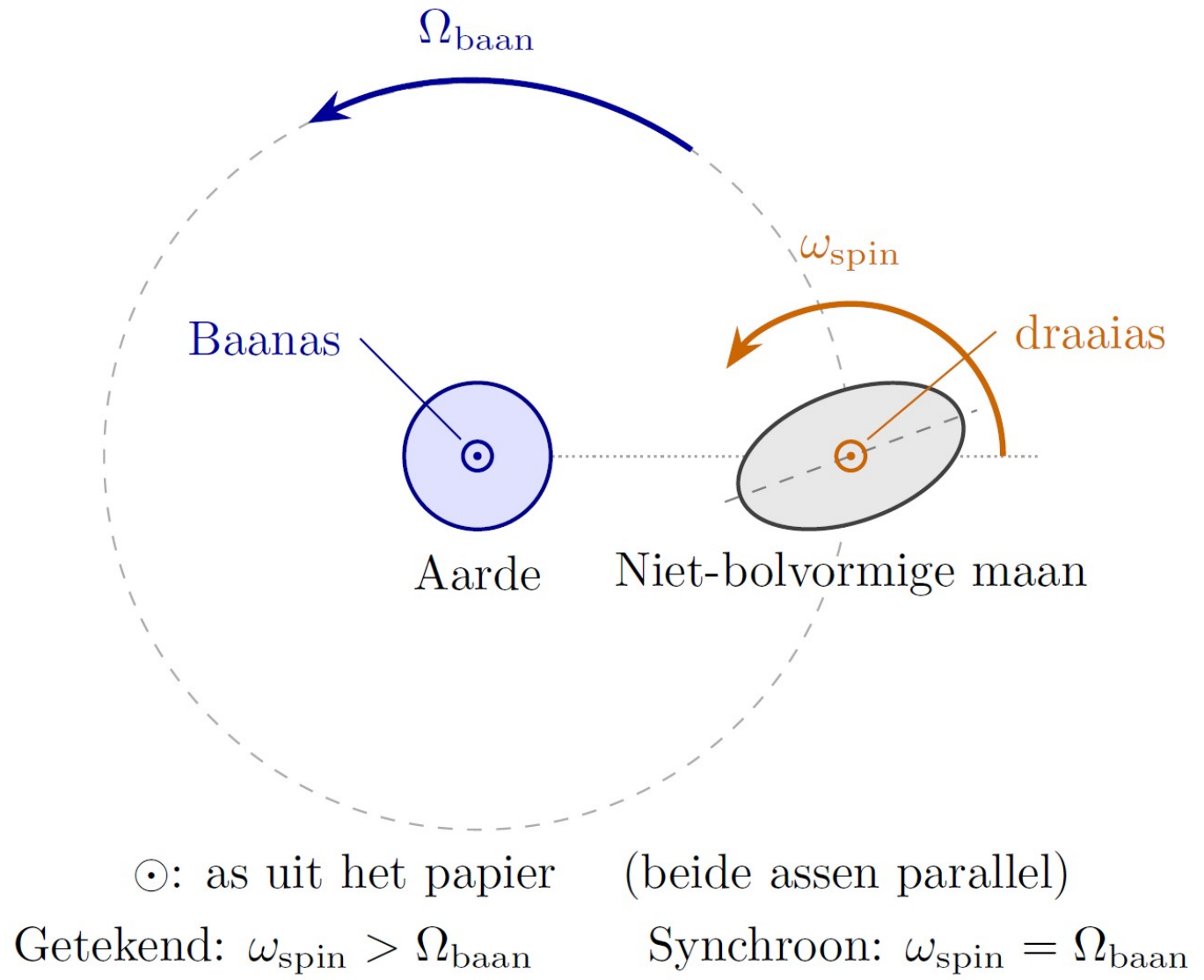
$$\rho \frac{D\boldsymbol{u}}{Dt} = -\nabla p + \eta \nabla^2 \boldsymbol{u}, \qquad \nabla \cdot \boldsymbol{u} = 0$$

Hierbij is $\boldsymbol{u}$ de vloeistofsnelheid, p de druk, ρ de dichtheid en η de viscositeit. Zoals in het hierboven gelinkte artikel in meer detail werd uitgelegd beschrijven de afgeleides met hoofdletters D en de ∇-symbolen diverse afgeleiden van de vloeistofsnelheid.

In 1879 paste George Darwin, zoon van de grondlegger van de evolutionaire biologie Charles Darwin, de Navier-Stokesvergelijkingen toe bij het probleem van de eenzijdigheid van de maan. In een notendop deed hij dit als volgt. Toegepast op de maan beschrijft zijn model haar als een onsamendrukbare, viskeuze bol die onderhevig is aan de zwaartekracht van de aarde. Omdat zwaartekracht volgens de omgekeerde kwadratenwet afhangt van de afstand tussen twee massieve objecten en kleiner wordt bij grotere afstanden, en ieder stukje maan als een massief object gezien kan worden dat zich op ieder moment op een andere afstand bevindt, heeft deze kracht op de maan een ruimtelijke afhankelijkheid die de maan niet-bolvormig maakt. In het met de maan meedraaiende stelsel heeft deze getijdenkracht

bovendien een tijdsafhankelijkheid, bepaald door het verschil tussen de hoeksnelheid van de draaiing van de maan om haar eigen as en die van haar draaiing om de aarde (afbeelding 6).

George Darwin berekende hoe deze periodieke en ruimte-afhankelijke kracht de onsamendrukbare en viskeuze vloeistof beïnvloedde, waarbij ook het zwaartekrachtsveld van de maan zelf in acht genomen werd, en na dit opgelost te hebben, berekende hij de *torsie*, oftewel het krachtmoment, die de maan ervaart. In het hier gebruikte model met een cirkelbaan en parallelle rotatieassen verdwijnt dit krachtmoment bij synchronisatie van de twee draaisnelheden. Dit krachtmoment beschrijft dus het onomkeerbare proces waarvan Newton en Kant alleen het eindstadium kenden, alhoewel een Kant-adept zal beweren dat Kant dit wrijvingsproces in gedachten had toen hij het over het remmingsproces had dat de aarde bij de maan teweegbracht.



Afbeelding 6. Getijdenvervorming. Schematisch bovenaanzicht van een cirkelbaan. De

maan draait om haar eigen as met hoeksnelheid ω_{spin} en om de aarde met hoeksnelheid Ω_{baan}, beide tegen de klok in. Voor een sneller draaiende maan loopt de getijdenvervorming voor op de baan van de maan rond de aarde; de aarde oefent daardoor een remmende torsie uit.

Uit het krachtmoment dat Darwin vond kan een omgekeerde tijd Γ, oftewel een snelheid, herleid worden die zegt hoe snel het proces verloopt waarbij de maan vanuit de aarde bezien eenzijdig gemaakt wordt. Deze omgekeerde tijd schaalt als

$$\Gamma \propto \frac{\eta}{\rho R_{\text{maan}}^2} \left(\frac{M_\text{aarde}}{M_{\text{maan}}} \right)^2 \left(\frac{R_{\text{maan}}}{R_{\text{baan}}} \right)^6$$

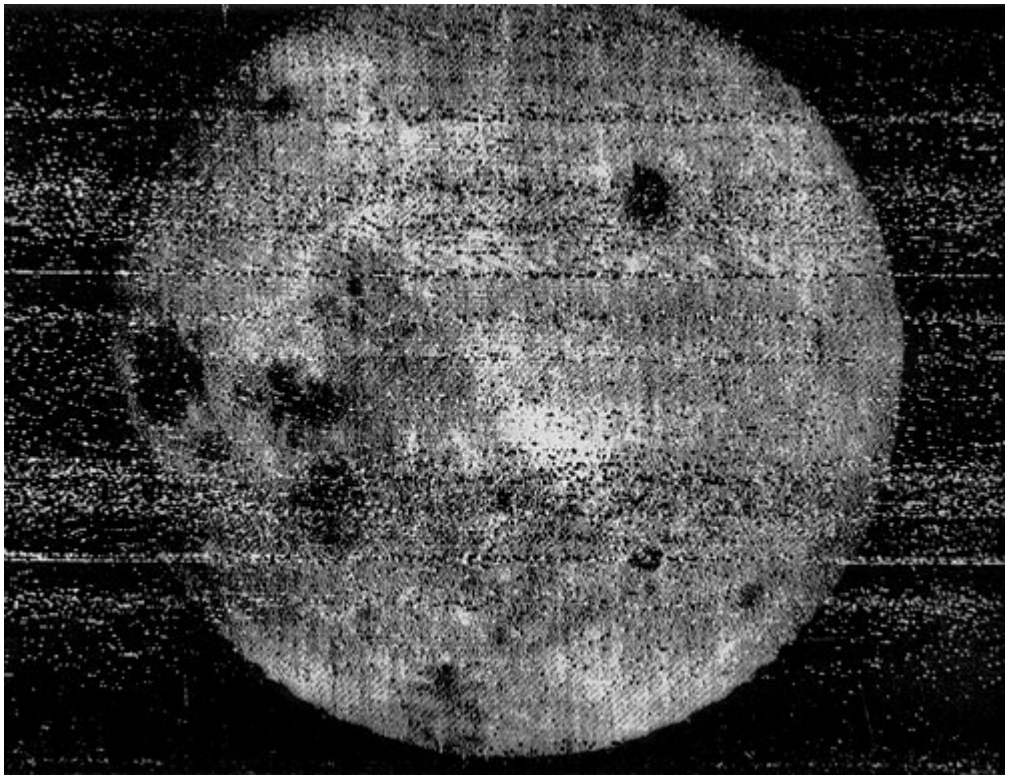
Hier is η de viscositeit, ρ de dichtheid en M de massa. R_{baan} en R_{maan} zijn respectievelijk de straal van de baan van de maan rond de aarde en de straal van de maan zelf. Een aantal dingen valt op aan deze formule. Allereerst gaat Γ naar nul als η naar nul gaat. De viscositeit is in dit model immers de bron van de onomkeerbaarheid: zonder viscositeit kan het onomkeerbare proces van synchronisatie niet plaatsvinden. Verder komt de massa van het aantrekkende lichaam kwadratisch voor in de teller, terwijl de afstand tot dat lichaam tot de zesde macht in de noemer staat. Dat helpt te begrijpen waarom de maan slechts één gezicht toont aan de aarde, terwijl de aarde niet slechts één gezicht toont aan de zon. De zon is weliswaar veel zwaarder dan de aarde, maar de afstand tussen de aarde en de zon is zoveel groter dan die tussen de maan en de aarde dat het verschil in afstand hier zwaarder weegt. Bovendien stond de maan vroeger nog dichter bij de aarde.

Toch is de getijdenwrijving waarmee de zon en maan de draaisnelheid van de aarde beïnvloeden niet volledig verwaarloosbaar. Samen verlengen ze het etmaal met naar schatting 2,3 milliseconden per eeuw. Dit effect concurreert met andere processen die de etmaalduur beïnvloeden. Wanneer ijskappen op de noordpool smelten, verplaatst hun massa zich verder van de rotatieas. Ook verandert de aarde nog langzaam van vorm sinds het verdwijnen van de grote ijskappen na de laatste ijstijd, een verschijnsel dat bekendstaat als *post-glacial rebound*. Beide processen veranderen het traagheidsmoment van de aarde. Net als een kunstschaatster die haar armen spreidt, gaat de aarde langzamer draaien wanneer haar traagheidsmoment toeneemt (zie afbeelding 7).



Afbeelding 7. Een kunstschaatster. Wanneer een kunstschaatster tijdens een pirouette haar armen spreidt, neemt haar traagheidsmoment toe. Door behoud van hoekimpuls draait zij dan langzamer. Op dezelfde wijze wordt de dag langer wanneer massa op aarde zich verder van de rotatieas verplaatst. Foto van Yuna Kim, via Flickr.

Nadat het werk van George Darwin en zijn navolgers had aangetoond dat in de tijd van de dinosauriërs al slechts één kant van de maan zichtbaar was (toen een groot deel van de door zijn vader ontdekte natuurlijke selectie zich nog moest voltrekken), had de Sovjet-Unie in 1959 de primeur om met haar ruimtemissie Loena III de donkere kant van de maan in beeld te brengen. Zo maakten wij voor het eerst kennis met de vlakte Mare Moscoviense, de ‘Zee van Moskou’, en met kraters die namen kregen als Tsiolkovski, Lomonosov en Jules Verne. Geen mens heeft ooit voet gezet op de donkere kant van de maan, en misschien is dat niet zonder reden. Als je vanaf de donkere kant van de maan naar de hemel kijkt, is alles en iedereen waarnaar je terug zou willen aan het zicht onttrokken.



Afbeelding 8. De donkere kant van de maan. De eerste foto van de donkere kant van de maan, gemaakt door Loena 3 in 1959. Bron: OKB-1, via Wikimedia Commons.

Bronvermelding: Ik gebruikte Aristoteles' *De caelo* (boek II, hoofdstuk 8) over het vaste maangezicht en Newtons *Principia* (boek III, propositie 38) over de langgerekte vorm van de maan. De uitleg van de getijdenwrijving volgt George Darwins artikel On the Bodily Tides of Viscous and Semi-Elastic Spheroids, and on the Ocean Tides upon a Yielding Nucleus (1879). In zijn historische overzicht *The Tides* (§41, pp. 244-246) bespreekt Darwin ook Kants vermoeden dat de aarde de draaiing van de maan door getijdenwerking heeft afgeremd. De schatting dat getijdenwrijving het etmaal met 2,3 miliseconden per eeuw verlengt, komt uit *Measurement of the Earth's rotation: 720 BC to AD 2015* van Stephenson, Morrison en Hohenkerk (2016).