

Historische uitweiding

Galileo schreef in 1632 een dialoog waarin hij de juistheid van het copernicaanse wereldbeeld fysisch probeerde te bewijzen door middel van de socratische methode¹. Een van de tegenargumenten was dat een vallende steen niet volgens een loodlijn op het aardoppervlak zou neerkomen, wanneer de aarde zelf een rotatie uitvoerde.² Galileo haalde dit argument onderuit door gebruik te maken van het traagheidsbeginsel (anderen hadden dit ook geprobeerd via een 'slepende invloed' van de lucht, maar Galileo zag in dat dat niet voldoende was en erkent de ware fysische grondslag). De dialoog gaat tussen drie geleerden. Sagredo is de vriend van een niet nader genoemd auteur (Galileo), die zijn gesprekspartners inlicht over diens nieuwe theoriën. Salviati is de onbevooroordeelde geleerde die vooral zijn gezond verstand gebruikt, en dus de positie van de lezer verbeelddt. Simplicio is de wat simplistische schoolgeleerde (scholasticus), die het standpunt van Aristoteles weergeeft. Hier een fragment uit deze dialoog.

- SALVIATI U zegt: aangezien bij een stilliggend schip een [vallende] steen aan de voet van de mast neerkomt, bij een bewegend schip daarentegen op enige afstand van de voet, kan men daaruit omgekeerd besluiten dat wanneer de steen aan de voet neervalt, het schip in rust is; en ook, dat wanneer het op enige afstand neerkomt, dat het schip dan beweegt. Aangezien datgene wat voor een schip geldt ook voor de hele Aarde moet gelden, volgt hieruit dat uit het neervallen van de steen aan de voet van de toren noodzakelijk tot de onbeweeglijkheid van de Aarde mag besloten worden. Is dat niet uw bewijs?
- SIMPLICIO Ja, en op een zeer beknopte manier weergegeven, wat erg bijdraagt tot het goede begrip ervan.
- SALVIATI Zeg me nu: als een uit de top van de mast losgelaten steen ook bij een snel bewegend schip precies op die plaats neervalt, waar het ook bij een stilliggend schip zou neerkomen, welke waarde zouden dan deze valexperimenten hebben voor het bepalen van de beweging of rust van het schip?
- SIMPLICIO Helemaal geen waarde. Net zoals men uit de hartslag niet kan besluiten of iemand slaapt of wakker is, aangezien de hartslag op gelijke wijze klopt bij slapenden of wakenden.
- SALVIATI Zeer goed. Hebt u ooit het experiment met het schip uitgevoerd?
- SIMPLICIO Dat heb ik niet gedaan, maar ik denk wel dat de auteurs die ik daarnet genoemd heb, het zeer zorgvuldig hebben gecontroleerd. Bovendien ligt de oorzaak van het onderscheid zo voor de hand, dat hier nauwelijks enige ruimte voor twijfel overblijft.
- SALVIATI Dat bepaalde auteurs het experiment mogelijk vermelden, zonder het zelf te hebben uitgevoerd, daarvan bent u zelf het beste bewijs. Want zonder het experiment te hebben uitgevoerd, noemt u het zeker en vertrouwt u op het woord van anderen. Net zo hebben mogelijk – nee wel zeker – ook die auteurs gehandeld, namelijk zich op hun voorgangers beroepen, zonder dat men ooit op een getuigenis is gestoten van iemand die het experiment werkelijk had uitgevoerd. Want iedereen die het uitvoert, zal vinden dat precies het tegenovergestelde plaatsvindt van datgene wat men in de boeken leest. Men zal namelijk tot het inzicht komen, dat de steen steeds op dezelfde plaats van het schip neervalt, of dat nu in rust is of in beweging met een willekeurige snelheid. En vermits de Aarde en het schip dezelfde verschijnselen moeten vertonen, zo mag men uit de loodrechte val van de steen en de inslag aan de voet van de toren niets besluiten over de beweging of de rust van de Aarde.
- SIMPLICIO Als u mij niet het experiment als leidraad had aangewezen, dan zou onze discussie nog niet zo snel afgelopen zijn. Want dit probleem lijkt mij voor de menselijke rede zo moeilijk toegankelijk dat niemand hierin met enige geloofwaardigheid licht kan zien.
- SALVIATI En toch wil ik precies dat beweren.
- SIMPLICIO U heeft dus niet eens honderd, zelfs niet één experiment uitgevoerd en toch bent u reeds zeker van het resultaat? Ik hou vast aan mijn ongelof en mijn aanvankelijke overtuiging, namelijk dat de voornaamste auteurs die het experiment vermelden, het ook uitgevoerd hebben en met de door hen aangegeven resultaten.
- SALVIATI Ik ben zonder experiment zeker dat het experiment zó zal gebeuren zoals ik zeg, want het kan niet anders. Ja, meer nog, ik beweer zelfs dat u ook weet dat het resultaat niet anders kan zijn, al meent u of doet u zich voor het niet te weten. Ik versta echter de techniek om met hersens om te gaan zo meesterlijk, dat ik u zelfs tegen uw zin zal doen bekennen. [...]
- SIMPLICIO Ik zal uw vragen beantwoorden naar best vermogen, want ik ben zeker dat ik niet in moeilijkheden zal komen. Want van dingen waarvan ik weet dat ze niet waar zijn, kan ik toch moeilijk enige kennis hebben, aangezien kennis enkel kan bestaan over ware en niet over onware dingen.
- SALVIATI Ik wil niet dat u mij iets antwoordt waarvan u niet zeker bent. Zeg me dan: als u een vlak oppervlak neemt, zo glad als een spiegel en gemaakt van een hard materiaal zoals staal, dat niet horizontaal is, maar een beetje hellend, en u legt daarop een perfect ronde kogel uit een zware, zeer harde stof, bijvoorbeeld brons, wat zal volgens u deze kogel, volledig aan zichzelf overgelaten, doen? Meent u niet, net als ik, dat hij gewoon ter plaatse zal blijven liggen?
- SIMPLICIO En het vlak is hellend?
- SALVIATI Inderdaad, die onderstelling heb ik gemaakt.

¹Van Dale: waarbij men de denkbeelden uit de geest van de leerling zelf ontwikkelt, terwijl men hem door gepaste vragen allengs zo ver brengt, dat hij het begrip, dat men hem duidelijk wil maken, zelf vindt.

²De aarde zou immers onder de steen wegdraaien.

Historische uitweiding

- SIMPLICIO Ik geloof helemaal niet dat hij blijft liggen; in tegendeel, ik ben heel zeker dat hij uit zichzelf naar beneden zal rollen.
- SALVIATI Let wel wat u zegt, Signor Simplicio; ik ben er namelijk van overtuigd dat de kogel overal zal blijven liggen, waar u hem ook legt.
- SIMPLICIO Als u zich op zulke opvattingen vertrouwt, dan sta ik er niet meer versteld van dat u tot valse resultaten komt.
- SALVIATI U houdt het dus voor zeker dat de kogel vanzelf naar beneden zal rollen?
- SIMPLICIO Wat een vraag!
- SALVIATI En u vertrouwt hierop, niet omdat ik het u geleerd zou hebben – ik heb immers getracht u het tegendeel te laten beweren – maar helemaal uit uzelf, door toedoen van gezond verstand?
- SIMPLICIO Nu begrijp ik uw traukje; u hebt slechts zo gepraat om mij uit mijn schelp te lokken, zoals men zegt, niet omdat u zelf daar zo over dacht.
- SALVIATI Inderdaad. Hoe lang en met welke snelheid zal nu die kogel naar beneden rollen? Let op dat ik het hier heb om een volkomen ronde kogel en een perfect glad oppervlak, zodat alle uitwendige en toevallige hindernissen worden uitgesloten. Zelfs vraag ik u ook abstractie te maken van de luchtweerstand en van alle andere weerstanden, voor zover die zouden aanwezig zijn.
- SIMPLICIO Ik heb alles goed verstaan. Op uw vraag antwoord ik: de kogel zal oneindig lang blijven rollen, zo lang het hellend vlak doorloopt, en wel in een eenparig versnelde beweging. Want zoals de natuur van zware lichamen het voorschrijft: vires acquirunt eundo. Daarbij zal de snelheid des te groter zijn, naarmate de helling van het vlak groter is.
- SALVIATI Als men nu echter wil dat de kogel op het zelfde vlak naar boven beweegt, zal hij dat in de werkelijkheid ook doen?
- SIMPLICIO Niet uit zichzelf; wel als men hem met geweld naar boven schuift of stoot.
- SALVIATI En als de kogel nu met een zekere impuls naar boven wordt gestoten, wat zal dan zijn beweging zijn?
- SIMPLICIO De beweging zou steeds langzamer worden, omdat zij tegennatuurlijk is. Verder zal zij langer of korter duren afhankelijk van de kracht van de stoot of de grootte van de helling.
- SALVIATI U hebt nu, zo lijkt mij, het gedrag van een bewegend lichaam op twee verschillende vlakken geschetst. Op het hellend vlak, zegt u, beweegt het zware lichaam zich spontaan naar beneden met een eenparig versnelde beweging en om hem daar in rust te houden, moet men een kracht aanwenden; bij een stijgende helling is daarentegen een kracht nodig om hem vooruit te drijven en ook om hem vast te houden. De meegegeven hoeveelheid beweging, zegt u verder, vermindert in dit geval voortdurend en verdwijnt tenslotte geheel. Verder stelt u nog dat in beide gevallen de helling van het vlak van belang is; namelijk dat enerzijds een grotere helling ook een grotere snelheid met zich mee brengt en anderzijds een bewegend lichaam op een stijgende helling des te langer blijft bewegen naarmate de helling minder steil is. Zeg me nu wat met het lichaam zou gebeuren op een horizontaal oppervlak, dat niet daalt en niet stijgt.
- SIMPLICIO Hier moet ik toch even over het antwoord nadenken. Aangezien er geen neerwaartse helling is, is er ook geen natuurlijke neiging tot bewegen; aangezien er verder ook geen opwaartse helling is, kan er ook geen weerstand tegen de beweging aanwezig zijn. Het lichaam moet dan onverschillig blijven tussen de neiging tot bewegen en de weerstand tegen die beweging. Het moet dan, volgens mij, van nature uit in rust blijven. – Maar hoe vergeetachtig ben ik toch! Nog niet zo lang geleden heeft Signor Sagredo me reeds uitgelegd dat dit precies het geval moet zijn.
- SALVIATI Dat is ook mijn mening, in de onderstelling dat men de kogel rustig neerlegt. Als men hem echter met een impuls in een bepaalde richting wegstoot, wat zal dan gebeuren?
- SIMPLICIO Het lichaam zal dan in die richting bewegen.
- SALVIATI Maar welke beweging, een eenparig versnelde beweging, zoals in het geval van een neerwaartse helling, of een eenparig vertraagde, zoals bij de opwaartse helling?
- SIMPLICIO Ik kan geen oorzaak voor een versnelling of een vertraging ontdekken, aangezien er geen neerwaartse of opwaartse helling is.
- SALVIATI Goed. Als er echter geen oorzaak voor een vertraging is, dan zal er zeker geen oorzaak zijn om het lichaam geheel tot stilstand te brengen. Hoe ver zal het lichaam dan blijven bewegen?
- SIMPLICIO Zolang de uitgebreidheid van het horizontale vlak het toelaat.
- SALVIATI Als dit vlak onbegrensd zou zijn, dan zou de beweging van het lichaam evenzo onbegrensd zijn. Dus eeuwig?
- SIMPLICIO Zo lijkt het me wel, tenminste als het lichaam van een bestendig materiaal is gemaakt.
- SALVIATI Dat nemen we inderdaad aan, zoals we reeds gezegd hebben; alle toevallige en uitwendige hindernissen werden verwijderd en de vergankelijkheid van het voorwerp is ook zo'n toevallige hindernis. Zeg mij nu: wat is volgens u de reden waarom die kogel op een dalende helling spontaan, op een stijgende helling slechts dwangmatig beweegt?
- SIMPLICIO De reden daarvan is dat de natuurlijke neiging van een zwaar lichaam erop gericht is zich naar het middelpunt van de aarde te bewegen, terwijl de opwaartse beweging naar de grenzen van het universum slechts met geweld kan plaats vinden. Het afhellend vlak maakt een nadering van het middelpunt mogelijk, het stijgende vlak echter de verwijdering.
- SALVIATI Een vlak dat dus niet afhelt of stijgt, moet dus in al zijn delen even ver verwijderd zijn van het middelpunt. Bestaan dergelijke vlakken in de wereld?
- SIMPLICIO Zo zijn er heel veel, bijvoorbeeld het aardoppervlak als het tenminste perfect glad zou zijn, en niet ruw en bergachtig, zoals het in werkelijkheid is. Maar neem bijvoorbeeld het wateroppervlak, zolang het water rustig en kalm is.

Historische uitweiding

- SALVIATI Een schip dat op een kalme zee vaart is dus zo een van de lichamen die zich voortbewegen op een horizontaal vlak, zoals we besproken hebben. Het zal dan ook, na wegnemen van alle toevallige en uitwendige hindernissen, voortdurend en onveranderd blijven voortbewegen met zijn eenmaal meegedeelde beginsnelheid.
- SIMPLICIO Zo moet het zijn, lijkt me.
- SALVIATI Nu, wat betreft de steen in de top van de mast. Beweegt die ook niet, gedragen door het schip, op een cirkelvormige baan rondom het middelpunt van de Aarde? Met andere woorden, heeft die steen geen beweging die, afgezien van uitwendige hindernissen, onuitwisbaar blijft voortbestaan? En is die beweging niet net zo snel als die van het schip?
- SIMPLICIO Dat is allemaal juist. En dan?
- SALVIATI Trek nu zelf het besluit uit het voorgaande, aangezien u alle premissen kent.
- SIMPLICIO U bedoelt met het besluit, dat de steen, die beweegt met een onuitwisbare gedwongen beweging, deze beweging niet verliest [tijdens de val], maar het schip blijft volgen en tenslotte op dezelfde plek zal neerkomen als wanneer het schip stil ligt. En ik ook zeg dat dit het geval moet zijn als er geen uitwendige oorzaken zijn die de beweging van de losgelaten steen verstoren.

Het traagheidsbeginsel had bij Galilei nog geen universele status. Het ging slechts om een eigenschap van bewegingen van zware lichamen op een concentrische baan omheen het middelpunt van de aarde. Hier een fragment uit Descartes' natuurkundeleerboek *Principia Philosophiae* (uitgegeven bij Elsevier te Leiden, 1644). Descartes was een rationalist, d.w.z. dat hij de fundamentele natuurwetten baseerde op helder en 'onbetwifelbare' ideeën in zijn geest, of bijvoorbeeld in de afwezigheid van redenen om iets anders aan te nemen. ('Waarom zou God ons misleiden door ons verkeerde ideeën te laten denken?'). Descartes gaat iets verder dan Galilei, bij hem is het beginsel een algemene natuurwet, die niet enkel beperkt is tot zware voorwerpen onder invloed van de zwaartekracht, maar die inherent is aan het verschijnsel beweging.

De eerste wet der natuur: dat elk voorwerp blijft in die staat waarin het zich bevindt, zolang niets het verandert. Uit het feit dat ook God niet aan verandering onderhevig is, en dat Hij altijd op dezelfde wijze handelt, kunnen we kennis verwerven van bepaalde regels, die ik noem de wetten van de natuur, en die de oorzaken zijn van de verschillende bewegingen die we in alle lichamen waarnemen; belangrijk genoeg dus om hier te vermelden. De eerste is dat elk voorwerp voor zover mogelijk in dezelfde toestand blijft en die toestand slechts verandert door de interactie met andere. Zo zien we elke dag dat een vierkant voorwerp vierkant blijft, indien niets de vorm ervan wijzigt; en dat, als het voorwerp in rust is, het niet uit zichzelf begint te bewegen. Maar eenmaal het begonnen is te bewegen, hebben we ook geen enkele reden om te denken dat het ooit op eigen kracht zal ophouden te bewegen, zolang het niets ontmoet dat zijn beweging tegenhoudt of stopt. Zodat als een lichaam eenmaal begint te bewegen, wij moeten besluiten dat het steeds verder zal blijven bewegen, en dat het nooit uit zichzelf zal stoppen. Omdat we echter op een aarde leven die zodanig is opgebouwd dat alle bewegingen in onze omgeving vrij snel tot stilstand komen, en vaak door oorzaken die we met onze zintuigen niet kunnen waarnemen, oordelen we van jongs af aan dat de bewegingen die zo tot stilstand komen, dat uit zichzelf doen en hebben we nog steeds de neiging dat te geloven van alle bewegingen in de wereld, namelijk dat ze vanzelf tot stilstand komen en naar stilstand neigen, omdat we menen dat daarvan veelvuldige waarnemingen hebben gedaan. Nochtans is dat een verkeerd vooroordeel, dat duidelijk ingaat tegen de wetten van de natuur, want de rust is tegengesteld aan de beweging en niets zal door eigen instinct geneigd zijn tot zijn natuurlijk tegengestelde, of tot de vernietiging van zichzelf. [...]

De tweede wet van de natuur: dat elk bewegend lichaam zijn beweging zal trachten voort te zetten volgens een rechte lijn. De tweede wet die ik in de natuur opmerk, is dat elk deel van de materie op zich genomen nooit ernaar streeft zijn beweging verder te zetten volgens een gebogen baan, maar volgens een rechte lijn, hoewel vele lichamen kunnen gedwongen zijn af te buigen omdat ze andere lichamen op hun weg ontmoeten. [...] Deze wet, zoals de voorgaande, hangt af van het feit dat God onveranderlijk is, en dat hij de beweging van de materie behoudt door een eenvoudige handeling [namelijk van ogenblik tot ogenblik]. En hoewel de beweging zich niet voltrekt in een [ondeelbaar] ogenblik, toch is het duidelijk dat elk bewegend lichaam een richting aanhoudt volgens een rechte lijn en niet volgens een cirkelvormige. [...]

Waarin bestaat de kracht van een lichaam om te handelen of te weerstaan. De kracht waarmee een lichaam inwerkt op een ander of de inwerking van dat andere lichaam weerstaat, ligt enkel hierin, dat elk ding voor zover mogelijk volhardt in de toestand waarin het zich bevindt, overeenkomstig de eerste wet. Zodat een lichaam dat verbonden is met een ander voorwerp een zekere kracht bezit om te verhinderen dat het ervan gescheiden wordt; en dat, wanneer het ervan gescheiden is, het een zekere kracht bezit om te verhinderen dat het ermee verbonden wordt. Ook, wanneer het in rust is, bezit het kracht om in rust te blijven en om te weerstaan aan alles wat het zou doen veranderen. Net als elk bewegend lichaam een kracht heeft om te blijven bewegen met dezelfde snelheid en in dezelfde richting. Men kan de grootte van deze kracht inschatten door de grootte van het voorwerp waarin ze huist, en van het oppervlak volgens hetwelk een voorwerp van een ander wordt gescheiden, en ook door de snelheid en de manier waarop botsende lichamen elkaar ontmoeten.

De vruchtbaarheid van het traagheidsbeginsel komt pas goed tot uiting in het werk van Christiaan Huygens (1629-1695). Voor Huygens is het beginsel een algemeen aanvaard axioma waaruit de relativiteit van inertiale stelsels kan afgeleid worden. Huygens ziet hierin een middel om de wetten van elastische botsing af te leiden, wat rond het midden van de zeventiende eeuw een nog helemaal onopgelost probleem was. Descartes had met zijn traagheidsbeginsel een aantal botsingswetten geformuleerd die echter duidelijk fout

Historische uitweiding

waren, o.a. omdat de verschillende regels bij grensgevallen niet in elkaar overgingen. Huygens werkte op dit probleem vermoedelijk al in 1656, maar publiceerde pas in 1669 een kort verslag van zijn resultaten in de *Philosophical Transactions* – zonder enig bewijs. Pas na zijn dood werd het hele traktaat in zijn postuum *Opuscula varia* (Leiden, 1703) openbaar gemaakt. Het geldt nog steeds als één der mooiste teksten van de vroege fysica. De volgende tekst is de aanvang van het traktaat.

- Axioma 1 Een eenmaal bewogen lichaam zet, wanneer niets het belet, zijn beweging standvastig voort met dezelfde snelheid en in rechte lijn.
- Axioma 2 Wat ook de oorzaak mag zijn van de botsing van twee harde lichamen, wij nemen de volgende stelling aan: wanneer twee gelijke lichamen met gelijke snelheden uit tegenovergestelde richtingen direct op elkaar stoten, wordt elk van beide met dezelfde snelheid als die waarmee het aankwam, teruggeworpen. De botsing wordt direct genoemd, wanneer op dezelfde rechte die de zwaartepunten verbindt, zowel de beweging als de botsing plaatsvindt.
- Axioma 3 De beweging van lichamen, de gelijkheid of ongelijkheid van snelheden, moet men relatief opvatten, met betrekking op andere lichamen die men als in rust beschouwt, ook als deze misschien met andere een gemeenschappelijke beweging hebben. Wanneer dan twee lichamen op elkaar botsen, dragen zij op elkaar, ook als ze samen in nog een andere gemeenschappelijke, eenparige beweging meegevoerd worden, slechts dezelfde impuls over als in het geval de gemeenschappelijke beweging niet aanwezig was. Zo stellen wij bijvoorbeeld dat wanneer iemand, die op een schip zit dat met een eenparige snelheid vaart, twee gelijke kogels met gelijke snelheid op elkaar laat botsen – let wel met betrekking tot zichzelf en de delen van het schip – dat beide ook met gelijke snelheid zullen teruggestoten worden opnieuw met betrekking tot het schip, precies zoals wanneer het schip stilligt of wanneer hij dezelfde kogels met gelijke snelheid liet botsen op het vasteland.

De tekst van Huygens werd zoals gezegd pas in 1703 bekend. In 1687 had Isaac Newton (1642-1727) intussen zijn 'klassieke' formulering van de traagheidswet gegeven in *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (De wiskundige beginselen der natuurlunde, 1687). Maar is die formulering wel zo klassiek?

Tekst 4

- Definitie III De *vis insita* of inherente kracht van de materie, is het vermogen om te weerstaan, waardoor elk lichaam, voor zover het kan, zijn huidige toestand tracht te behouden, of het nu in rust is, of in uniforme, rechtlijnige beweging. Deze kracht is steeds evenredig met het lichaam waartoe ze behoort en verschilt in niets van de inactiviteit [inertie] van de massa, maar zoals wij die opvatten. Een lichaam zal omwille van de inertie van de materie, niet gemakkelijk uit zijn rusttoestand worden gebracht. Daarom mag de *vis insita* ook zeer toepasselijk inertie- [*vis inertiae*] of inactiviteitskracht worden genoemd. Maar een lichaam kan enkel deze kracht uitoefenen wanneer een andere kracht op het lichaam wordt uitgeoefend die tracht haar toestand te veranderen. De werking van de inertiekracht kan zowel weerstand als impuls worden genoemd; 'weerstand' als het lichaam dat zijn toestand wil behouden, zich verzet tegen een uitwendige kracht; 'impuls' wanneer het lichaam, door weerstand biedt aan de uitwendige kracht van een ander lichaam, tracht de toestand van het andere lichaam te veranderen. Weerstand wordt gewoonlijk gebruikt voor lichamen in rust en impuls voor lichamen in beweging; maar beweging en rust, zoals ze gewoonlijk worden opgevat, zijn slechts relatief onderscheiden. En evenmin zijn die lichamen die gewoonlijk als in rust worden beschouwd, ook werkelijk in rust. [...]
- Wet I Elk lichaam blijft in de toestand van rust of gelijkvormige rechtlijnige beweging, tenzij het gedwongen wordt die toestand te veranderen door krachten die erop worden uitgeoefend. Projectielen vervolgen hun beweging, in zover zij niet vertraagd worden door de weerstand van de lucht, of naar beneden gehaald worden door de zwaartekracht. Een tol, waarvan de delen door hun cohesie voortdurend van de rechtlijnige beweging worden afgebogen, zal zijn rotatie niet stopzetten, tenzij door de weerstand van de lucht. De grotere lichamen van planeten en kometen, die minder weerstand ontmoeten in vrije ruimtes, behouden hun bewegingen zowel rechtlijnig als cirkelvormig voor een veel langere tijd.

Vragen

Oefening 1.

1. Simplicio vertegenwoordigt in de tekst het standpunt van de scholastieke geleerden. Duid aan hoe Galilei hen portretteert.

Uitwerking: Galilei portretteert hen als geleerden die de voor die tijd gangbare wetenschappelijke ideeën aanhangen. Een van die ideeën is het bewijs van het niet-roteren van de aarde. Omdat een steen aan de voet van een toren neervalt kan de aarde niet bewegen. Moest de aarde bewegen, dan zou immers tijdens het vallen de aarde onder de steen zijn verschoven en zou de steen op enige afstand van de toren terecht moeten komen. Galilei laat Simplicio deze misvatting bevestigen aan het begin van de dialoog waardoor Simplicio dus een scholastieke geleerde vertolkt. Ook het niet uitvoeren van experimenten als toetssteen van wetenschappelijke theorieën is eigen aan de tijdsgeest op dat moment. Het louter menselijk redeneren en de autoriteit van voorgangers wordt als nodig en voldoende beschouwd om een ware kijk op de werkelijkheid te kunnen hebben. Galilei laat bovenaan pagina 34 Simplicio dit idee beamen wanneer Salviati het beschrijft. Naast de twee hierboven genoemde misvattingen die de scholastieke geleerden volgens Galilei hebben, schetst hij hen wel als redelijke wezens. Zij beschikken over voldoende intellect om de eigenlijke waarheid wel te

Historische uitweiding

kennen. Anders zou hij immers niet via de socratische methode en dus ook het redeneren hen tot de juiste conclusie kunnen leiden. Aan het einde van de dialoog is het immers Simplicio die de juiste wetmatigheid (in de ogen van Galilei) geeft.

2. Wat is de rol van het experiment bij Galilei?

Uitwerking: Het experiment moet volgens Galilei dienen als rechter om te bepalen welke wetmatigheden de eigenlijke zijn. Simplicio zegt immers bovenaan pagina 34 dat zonder het experiment de eigenlijke uitkomst niet zomaar zal kunnen worden gevonden. Dit idee over de manier waarop aan wetenschap moet worden gedaan, is revolutionair in de wetenschappelijke evolutie. Vóór Galilei stelde men zich namelijk nadat men zich via bepaalde argumenten had laten overtuigen, geen verdere vragen over de waarheid van ideeën.

3. Waarin verschilt Galilei's traagheidsbegrip van het moderne?

Uitwerking: Galilei's traagheidsbegrip verschilt in enkele opzichten van het moderne zoals we dat kennen onder de vorm van de eerste wet van Newton. Ten eerste is bij Galilei deze wetmatigheid gebonden aan de aardse context. Het op een rechte lijn bewegen is voor Galilei het bewegen op een cirkelvormige lijn die als middelpunt het middelpunt van de aarde heeft. Dit blijkt uit de zin die Salviati zegt op pagina 36: *'Een vlak dat dus niet afhelt of stijgt, moet dus in al zijn delen even ver verwijderd zijn van het middelpunt.'* Ten tweede spreekt Galilei nog niet over het strakker omlijnde en abstracte begrip *kracht* dat een beweging zal tegenwerken. Het gaat hier over *toevallige en uitwendige hindernissen* zoals bijvoorbeeld een ruw oppervlak of vergankelijkheid. Als laatste heeft het traagheidsbegrip nog geen axiomatisch statuut bij Galilei. Voor Galilei is de traagheid een wetmatigheid van de natuur die zonder meer juist en waar is. Voor ons is het traagheidsbegrip een *beginsel dat we aannemen als waar*. Het is een *basishypothese* die we waar veronderstellen voor zolang verschijnselen ermee overeenkomen en voor zolang ze niet wordt tegengesproken door waarnemingen.

4. Galilei voert hier twee nieuwe analyse-technieken in: (1) redeneren vanuit een 'ideaal' geval, dat in de werkelijkheid niet voorkomt; (2) de 'continuïteit' van de natuurwetten, zodat men uit de studie van bekende verschijnselen iets kan afleiden van niet onderzochte gevallen. Duid deze twee technieken aan in Galilei's betoog.

Uitwerking: De eerste analyse-techniek vinden we terug in de redeneringen over een kogel die volkomen rond is en een oppervlak dat perfect glad en oneindig lang is (p35 bovenaan). Zo worden immers de in de realiteit aanwezige hindernissen als niet-bestaande verondersteld. De tweede analyse-techniek vinden we terug waar de conclusies van de redeneringen over de kogel en hellende vlakken worden toegepast op een vallende steen langs de mast van een schip (p36; *'Nu, wat betreft de steen in de top van de mast. ...'*) en vervolgens op een steen die van een toren valt (begin van de dialoog).

5. Waarop steunt Descartes' bewijs van de wet van de traagheid. Waarin is het beter dan dat van Galilei, waar is het minder goed?

Uitwerking: De waarheid van de wetmatigheid steunt op het feit dat God niet aan verandering onderhevig is, dat Hij altijd op dezelfde manier handelt en dat (omdat God almachtig en goed is en ons dus juiste redeneringen moet kunnen laten maken) wij door helder te redeneren de wetmatigheden die God in de natuur heeft gelegd, kunnen vinden. Bij Descartes gaat het niet langer over een cirkelvormige beweging maar over een rechtlijnige beweging. De wetmatigheid is zodoende niet meer verbonden met de aarde maar algemeen geldig. Hij beschouwt het ook als een wetmatigheid die de oorzaak is van de verschillende bewegingen. De wetmatigheid krijgt meer een verklarend principe. De toevoeging van het verzetten van lichamen tegen het samenkomen en van elkaar loskomen is minder goed omdat het een bijkomende wet suggereert.

6. Hoe beoordeelt Descartes de zintuiglijke waarneming met betrekking tot zekere en ware kennis?

Uitwerking: Voor Descartes kunnen de zintuigen ons bedriegen. Doordat we immers verschillende keren hebben waargenomen dat voorwerpen tot stilstand komen, concluderen we valselijk dat voorwerpen dit uit zichzelf doen. Het is dus maar door zuiver te redeneren (en enkel door te redeneren) dat we tot de waarheid kunnen komen.

7. Vergelijk de formulering van Huygens en Newton.

Historische uitweiding

8. Wat is er van de *vis insita* geworden in de huidige natuurkunde?
9. Vergelijk de voorbeelden die Galilei, Descartes, Huygens en Newton geven om het traagheidsbeginsel te onderbouwen. Welke zijn het beste gekozen?
10. Vergelijk de aanpak van Galilei, Descartes, Huygens en Newton.