

Filosofie van de wetenschap

De Copernicaanse Revolutie: Hf. 1 - 8

Inleiding

1: De structuur van een theorie

1.1: Het kunstmatige karakter van een theorie * Natuurlijk en kunstmatig zien * Natuurlijk en kunstmatig denken * De 3 werelden van Popper
1.2: Het logische karakter van een theorie * Deductie * Partieel-geordend * Ware beweringen * Drie logische relaties
1.3: Begrippen en beweringen: * Definities * Identiteit; klassebegrip * Eigenschappen * Beweringen
1.4: De context * intensive (betekenis) en extensie (omvang) * Theorie: afhankelijkheid en autonomie * Logisch-empirisme en historisch-relativisme * De historische context
1.5: De realiteit van begrippen * Idealisme, Plato * Realisme, Aristoteles * Nominalisme, Ockham * Essentiële en accidentele eigenschappen * natuurwetten
1.6: Primaire en secundaire eigenschappen * Ontologie: atomisme of ruimtelijkheid * Epistemologie: meetbaarheid * Relaties; operationele definities

2: Verklaring en voorspelling

2.1: Fysica en astronomie in de oudheid en de Middeleeuwen * Fysica; de drie ongelijkheden * Ptolemaios * Fysica en astronomie * De dubbele waarheid * Copernicus
2.2: Voorspelling * Symmetrie * Locale beweging * Empirische generalisaties, Kepler's wetten
2.3: Verklaring * Intrinsiek * Onomkeerbaar * Effectief * Popper's falsificatie
2.4: De retrograde beweging * Retrograde beweging en oppositie * Verklaringen en coincidenties * De kwetsbaarheid van Copernicus' theorie * Voorspelling en verschijnselen
2.5: De afmetingen van het zonnestelsel * Het systeem van Tycho Brahe * De macht van een theorie * Verklaringen en kwetsbaarheid * Kepler's verklaring van het Copernicaanse stelsel
2.6: De eenvoud het Copernicaanse stelsel * Copernicus' theorie niet veel eenvoudiger dan die van Ptolemaios * Copernicus' theorie gecompliceerder dan die van Ptolemaios * Instrumentalisten kiezen voor Ptolemaios

3: Verklaringsprincipes

3.1: De harmonie der sferen * Pythagoras en de getallen * Plato en de ruimte * Aristoteles en de natuurlijke beweging * De gedwongen beweging en de impetustheorie
3.2: Verklaring en verandering in de Aristotelische filosofie * Vorm en verandering * Potentie en actualisering * Vier soorten verandering * De vier elementen * De vier paradoxen van Zeno
3.3: Galilei en de beweging * Beweging als toestand * Verklaring van de beweging door de beweging * Galilei's instrumentalisme * De valwet * Galilei's obsessie met de cirkelbeweging * Aardbeweging en de getijden
3.4: Cartesiaanse fysica * Materie en ruimte * De botsing * Rust en beweging * De planeetbeweging en zwaarte.
3.5: De afvalligheid van Kepler * Astronomie Nova * De zon in het centrum * Kracht als verklaringprincipe * Het magnetisme * Kracht en druk als statische begrippen
3.6: Newton's mechanica * De trage kracht * De uitwendige kracht * Actie en reactie * Kracht-materie * Kracht als relatie * Behoudswetten * Beweging en kracht als onafhankelijke verklaringprincipes

4: Het oplossen van problemen

4.1: De structuur van wetenschappelijke revoluties * Paradigma's * Normale wetenschap * Crisis * Revolutie * Het leerboek * Kritiek
4.2: De functies van een bewering en een theorie * Algemene en bijzondere beweringen * De functies van beweringen * Input-output schema
4.3: Normale wetenschap * Het oplossen van problemen * De theorie-afhankelijkheid van problemen * Anomalieën * Christiaan Huygens * Het doel van de wetenschap * Het zoeken van een probleem bij een oplossing
4.4: Het genereren van problemen * De parallax * De aardbeweging * Het centrum van het heelal * De botsing * Newton * Bevestiging van een theorie * Interne en externe problemen
4.5: De wereldbeschouwing * Het ontologische aspect * De bronnen van de kennis * Bewijsvoering * Ruimte en tijd

5: Hypothesen en axioma's

5.1: Over de hypothesen van dit werk * Osiander * Kepler * Galilei * De hypothesen van Copernicus en Tycho * Copernicus' theorie

5.2: Twijfel en zekerheid: Descartes * Het licht * De emancipatie van de wetenschap * Heldere en welonderscheiden begrippen * Descartes' hypothesen * De waarschijnlijkheid van begrippen en het begrip waarschijnlijkheid

5.3: Hypotheses non fingo * Queries * Hypotheses non fingo * Wat is er tegen hypothesen?

5.4: Axioma's * Aristoteles' eisen voor axioma's * Kritiek * Moderne eisen voor axioma's

6: De geloofwaardigheid van een theorie

6.1: Het newerk van theorieën * De ongeloofwaardigheid van Copernicus' theorie * De aanvaarding van het Copernicanisme * Crises * De uniekheid van de Copernicaanse revolutie

6.2: De herleiding van de ene theorie tot de andere * De Newtoniaanse synthese * Logica versus fysica * Fysica versus logica * Het correspondentieprincipe

6.3: Het toetsen van theorieën * Falsificatie * Weerlegging * Het redden van de theorie * Popper en Galilei over Copernicus

6.4: de subjectiviteit van een toets * Waarneming als test voor een theorie * De ene theorie vergeleken met de andere * Empirisme

6.5: Waarneming en experiment * Ervaring * Verbeelding * Waarneming * Experiment

6.6: Objectiviteit * De objectiviteit van gegevens * De objectiviteit van een meting * Reproduceerbaarheid * De objectieve gelding van natuurwetten * Onpartijdigheid

7: Heuristiek

7.1: Inductie * Patroonherkenning * Kepler en Newton * Inductie, deductie * Naïef inductivisme

7.2: De methode v.d. successieve approximatie * Lakatos' methodologie van wetenschappelijke onderzoeksprogramma's * Newton's onderzoeksprogramma * Modellen * Falsificatie * De concurrentie * Het Copernicaanse onderzoeksprogramma

7.3: De methode van de analogie * Specificatie en abstractie * Analyse en synthese * Onherleidbare verklaringsprincipes * Analogie * Referentiekader

7.4: De methode van de mathematisering * De omgekeerde-kwadraatwet * De massa's * Generalisatie * Deductivistische kritiek * Trage- en zware massa

7.5: De functie van de techniek * De waarneming van Tycho Brahe * De telescoop * De heuristische waarde van nauwkeurige metingen * Methodenpluralisme

8: Wetenschap en samenleving

8.1: Communicatie * Is wetenschap taal? * Didactiek * Polemieken * Galilei's polemieken * Galilei's Dialoog en Discorsi * Popularisatie * Wetenschap als taal van de natuurkunde

8.2: De organisatie van de wetenschap * De achteruitgang van de universiteiten * De instituten * De academies * De kritische functie van de wetenschappelijke gemeenschap

8.3: De emancipatie van de wetenschap * Interne en externe wetenschapsgeschiedenis * De kerk en de natuurwetenschappen * Galilei en de kerk * Conclusie

8.4: De verantwoordelijkheid van de wetenschapper * Verantwoordelijkheid niet versluieren * De beperktheid van de wetenschap * Het publieke karakter van de wetenschap * De wetenschap als deskundige * Natuurwetenschap en techniek * En toch beweegt zij zich

Inleiding

Copernicus publiceerde zijn boek “Revolutio-nibus ...” pas op zijn sterfbed (1543), hij voorzag problemen. Zijn doel was terug te keren naar de zuivere ideeën van Plato, zijn doel was dus niet revolutionair. Tot 1600 waren er nauwelijks volgelingen, na 1600 werd het boek overstreden, en het bleef dat tot aan Newton’s “Principia ...” (1687). De periode 1543-1687 wordt beschouwd als de eerste wetenschappelijke revolutie, waarbij Aristoteles’ ideeën werden vervangen door die van wat nu natuurwetenschap is. Hier wordt deze omwenteling filosofisch bekeken, met name de structuur en functie van theorieën.

Hf. 1: De structuur van een theorie

1.1: Het kunstmatige karakter van een theorie

Niet-theoretisch denken gaat over de relatie tussen de mens (subject) en het onderwerp (object), theoretisch denken schuift daar een theorie als instrument tussen. * Natuurlijk en kunstmatig zien Natuurlijk zien is zien zoals dieren (en mensen) dat doen, direct kijken naar voorwerpen. Kunstmatig zien kunnen alleen mensen, het is kijken naar afbeeldingen (telescoop, microscoop, foto’s, tv), Kunstmatig zien heeft geschiedenis, natuurlijk zien niet. * Natuurlijk en kunstmatig denken Natuurlijk denken gaat over concrete gebeurtenissen en relaties, en is logisch. Theoretisch denken maakt gebruik van het hulpmiddel theorie, en heeft i.t.t. natuurlijk denken geschiedenis, die begon bij de oude Grieken. Theoretisch denken vergroot het denkvermogen en verkleint het aandachtsveld door gebruik te maken van theorieën. Dit geldt ook voor het kunstmatige zien, een microscoop vergroot het beeld, maar het beeldveld wordt kleiner, en andere zintuigen worden uitgeschakeld. Voor theorieën geldt iets dergelijks, het schakelt andere ervaringswijzen (als voelen) uit; daarnaast gaat theorieën vaak tegen natuurlijke ervaringen in. * De drie werelden van Karl Popper De indelingen in subject, object en theorie lijkt op die van Popper in de fysische wereld, de mentale wereld, de ideeën wereld. Maar i.t.t. wat Popper denkt is deze indeling niet uitputtend, er zijn b.v., niet-logische subjecten, niet-logische objecten, kunstproducten die geen theorieën zijn. Popper is wellicht de belangrijkste wetenschapsfilosoof van na 1950, en is een overgangsfiguur tussen het logisch empirisme / positivisme en de ‘nieuwe filosofie’ van na 1960, van resp. Russel, Wittgenstein, Carnap, Nagel,

Reichenbach, Hempel en Kuhn, Hanson, Toulmin, Feyerabend, Lakatos, Laudan.

1.2: Het logische karakter van een theorie

Logica heeft te maken met onderscheid maken, o.a. tussen waarheid of onwaarheid van beweringen. Binnen een zekere context kan een bewering niet en waar en onwaar zien. Wel kan een bewering waar zijn in een bepaalde context en onwaar in een andere. * Deductie Een theorie is een deductief-geordende verzameling beweringen, waarbij beweringen via logica uit elkaar worden afgeleid. Een bewering behoort tot een theorie slechts dan als deze betrokken is bij het deductieve proces in de theorie. * Partieel - geordend In elke theorie komen onafhankelijke axioma’s, vooronderstellingen, data die niet uit elkaar kunnen worden afgeleid, maar die nodig zijn om andere beweringen af te leiden. * Ware beweringen Het is een noodzakelijke eis om alleen ware beweringen in de theorie toe te laten. Maar stellingen of gegevens waarvan we weten dat ze niet waar zijn kunnen in een theorie worden opgenomen (zoals de stelling dat de aarde punt- of bolvormig is). De beweringen zijn dus waarin een context, de context van de mensen die de theorie willen gebruiken, waar binnen dan logische beweringen kunnen worden afgeleid. Maar geen theorie is ooit in staat enige bewering ultimatief te bewijzen. Beweringen kunnen dan ook slechts relatief waar zijn, t.o.v. andere beweringen. * Drie logische relaties Een: de subject-object relatie: een theorie wordt gemaakt door logische subjecten, heeft een logische structuur, maar gaat over een niet-logisch object. Twee: subject-subject relatie: in een debat moeten de deelnemers het eens zijn over de uitgangspunten en de bewijsvoering, anders in geen discussie mogelijk. Drie: wet-subject relaties: bij het gebruik van een theorie in men gebonden aan de wetten van de logica.

1.3: Begrippen en beweringen

Begrippen, beweringen en theorieën hebben twee kanten: een logische/formele en een niet-logische / inhoudelijke / empirische / zinvolle. * Definities Elk nieuw begrip in een theorie moet gedefinieerd worden, dit gebeurt buiten de theorie waarin het begrip gebruikt gaat worden. Vaak gebeurt dit definiëren niet expliciet of achteraf. Begrippen verhelderen hoort bij het verbeteren van de theorie. * Identiteit Begrippen kunnen individueel of algemeen zijn, de laatste geeft in feite een klasse / soort aan. Men kan in een theorie niet de identiteit van dingen veranderen zonder problemen. * Klassebegrif Een voorbeeld van een klasse: planeten. Klassen kunnen ook

over gebeurtenissen gaan: zoals de vier klassen van verandering (van Aristoteles). Klasse begrippen moeten onderscheidt aanbrengen: dingen, gebeurtenissen of relaties horen tot een bepaalde klasse of niet. * Eigenschappen Eigenschappen gaan over verschillende dingen of gebeurtenissen die toch iets gemeen hebben, ze dienen om te onderscheiden. Eigenschappen worden vaak met bijvoeglijke voornaamwoorden aangegeven, klassen met zelfstandige naamwoorden. *

Beweringen In een bewering worden begrippen van elkaar onderscheiden en met elkaar verbonden. In een theorie gebeurt dat met beweringen. Het onderzoek naar het waarheidsgehalte van beide is het gebied van de extensionele logica.

1.4: De context

De waarheid van beweringen hangt af van de context. Ook de eigenschappen die men dingen toekent hangen af van de gebruikte theorie. Zo maakte Aristoteles een scherp onderscheidt tussen hemel- en aardse lichamen, terwijl Copernicus en Galilei dit onderscheid bestreden. *

Intensie (betekenis) en extensie (omvang)

Intensie en extensie van klassebegrippen hangen af van de gebruikte theorie. Voor-Copernicus waren planeten dwaalsterren, waarvan men er 7 kende. Copernicus zag planeten als een lichaam dat om de zon draait, en erkende er maar 6. Na Copernicus werd het zinvol van planetenstelsel te spreken. Het ontdekken van manen rond Jupiter door Galilei in 1609 versterkte de status van het planetenstelsel en de Copernicaanse theorie. *

Theorie-afhankelijkheid en autonomie Begrippen zijn deels theorie-afhankelijk, deels autonoom.

Zo verschilt de definitie van het begrip planeet in de verschillende theorieën, maar er zijn ook overeenkomsten. * Logisch-empirisme en historisch-relativisme Het logisch-empirisme stelt dat beweringen en begrippen onafhankelijk zijn van elke theorie. Deze hoop op betrouwbare uitspraken op basis van waarnemingen alleen, dus zonder enige theorie, is onhoudbaar gebleken. Zo worden waarnemingen altijd geïnterpreteerd m.b.v. theoretische aannames. De historisch-relativisten slaan door naar de andere kant, ze stellen dat elke bewering volstrekt bepaald is door een theorie. Volgens de laatsten kan men theorieën dan ook niet vergelijken, is discussie tussen aanhangers van verschillende theorieën niet mogelijk. Galilei dacht daar anders over, in zijn boeken wordt gediscussieerd tussen aanhangers van verschillende theorieën. * De historische context In de geschiedenis van de wetenschap kan de betekenis van een begrip sterk veranderen. Zoals het begrip fysisch. In de

renaissance viel hier alles onder buiten de menselijke geest. Later betekende het wisselwerking door kracht of energie of beweging. De moderne fysica is dan ook beperkter dan de oude, nu valt er slecht een deel van de natuur onder. In de 17^e eeuwse verreed b.v. Galilei het woord fysisch, en wilde zich distantiëren van het (Aristoteliaan- se) begrip fysisch, terwijl het moderne begrip fysisch nog niet bestond.

1.5: De realiteit van begrippen

Over de niet-logische aspecten van begrippen en theorieën. * Idealisme – Plato Volgens Plato wordt het 'wezen' van de dingen bepaald door ideeën, die aan het concrete vooraf gaan (ante re). Dit is wiskundig georiënteerd. Voor deze idealisten heeft waarneming weinig waarde, is bedrieglijk. Dit Platonisme, via Archimedes, van wie in 1543 onbekende werken in het Latijn verschenen, had veel invloed op Copernicus, Kepler, Benedetti en Galilei, met name door de gedachte-experimenten en de idealisering van de werkelijkheid. * Realisme – Aristoteles Volgens Aristoteles vormen vorm en materie een eenheid in concrete dingen, de vormen zijn in het zijnde (in re). Waarneming is daarom naast ratio belangrijk, de realisten zijn biologisch georiënteerd.

Waarneming vult aan waar denken te kort schiet. * Nominalisme – Ockham De nominalisten

kwamen in opstand tegen de vormen en ideeën, die rationeel zouden moeten zijn. God is niet aan ratio gebonden in de schepping. Extreme nominalisten stellen dat er geen universalia bestaan, maar dat deze door mensen bedacht worden. Volgens hen bestaat er alleen denken en individuele, concrete dingen, en die gaan vooraf aan het denken (post re). Waarnemingen zijn daarom voor nominalisten zeer belangrijk, de ideeën en vormen zijn slechts namen. * Essentiële en accidentele eigenschappen Volgens Aristoteles geven essentiële eigenschappen het wezen van een individu aan, accidentele eigenschappen onderscheiden twee individuen van dezelfde soort van elkaar. In het Copernicanisme kreeg essentieel een andere betekenis, uiteindelijk verdwijnt bij Newton het begrip uit de theorie. Voor hem zijn universele eigenschappen van de materie niet logisch of de aard van de materie, maar worden ze aangenomen op grond van een met waarnemingen gestaafde theorie. * Natuurwetten De meeste Middeleeuwers waren realisten. De nominalistische kritiek op het realisme, gebaseerd op de almacht van God, oefende via de Reformatie invloed uit op de natuurwetenschappen. De meeste nominalisten gingen er van uit dat God natuurwetten heeft geschapen en zich,

a.g.v. zijn verbod met de mensen, aan die wetten houdt, maar ze ook anders had kunnen maken. In dit gematigde nominalisme is waarneming nog belangrijker dan in het extreme nominalisme. De enige bron van kennis lag in de waarneming, maar de willekeur in onze naamgeving maakt kennis wankel, maar God's belofte garandeerde een blijvende waarde aan de gevonden natuurwetten – zo dachten Kepler en Newton erover, God laat de natuurwetten onveranderlijk, onderzoekbaar door de mens.

1.6: Primaire en secundaire eigenschappen

Het 17^e eeuwse mechanistische wereldbeeld verving de essentiële en accidentele eigenschappen door primaire en secundaire, resp. met betrekking op de natuur buiten de mens en de mens met zijn zintuigen. Het onderscheid heeft ook te maken met zijnsleer / ontologie en kennisleer / epistemologie. * Ontologie: atomisme of ruimtelijkheid Aristoteles bestreed het atomisme, o.a. omdat het tot vacuüm en atheïsme leidde. Pas in de 17^e eeuw kreeg het atomisme ingang. Descartes bleef er tegen, hij erkende alleen uitgebreidheid als primaire kwaliteit van de materie, daar alle ruimte materie is in vacuüm onmogelijk, alle andere eigenschappen zijn secundair en te herleiden tot relatieve positie en beweging van materie. O.a. het Platonisme accepteerde Benedetti en Galilei het vacuüm wel, o.a. als een ideale toestand voor de bestudering van de vrije val. Torricelli en Pascal zochten experimenteel naar het vacuüm. Gassendi, Boyle en Newton accepteerden het atomisme en het vacuüm, stelden dat alleen de eigenschappen van de atomen primair zijn, en alle secundaire eigenschappen daarop moeten worden teruggevoerd. Descartes' ideeën werden verder uitgewerkt tot veldentheorie, algemene relativiteitstheorie. Maar ook de atoomtheorieën kregen een stevige basis. De dualiteit van golven en deeltjes toont de unificatie van beide gezichtspunten. * Epistemologie: meetbaarheid Primaire eigenschappen worden verondersteld onafhankelijk van de zintuigen te bestaan, de secundaire niet. Newton specificeerde dit verder, primaire / manifeste kwaliteiten kunnen gemeten worden, occulte niet. Volgens Descartes kunnen occulte eigenschappen logischerwijze niet bestaan. Daarom accepteerde Newton de ondenkbare werking op afstand omdat ze gemeten kon worden, maar Descartes niet. Het Copernicanisme stimuleerde het meten: ging van kwantitatief naar kwalitatief; van denken in klassenbegrippen naar denken in relaties. * Relaties Het Aristotelianisme kende vooral binaire tegenstellingen (groot-klein, etc.), de Copernicanen vervingen deze door relaties

(groter dan-kleiner dan, etc.). Daarom legden de Copernicanen de nadruk op meten, verlegden de aandacht van de aard der dingen naar kwantitatieve vergelijkende metingen, waarbij de rol van de zintuigen zo veel mogelijk werd teruggedrongen. * Operationele definities Dit heeft gevolgen voor de gehanteerde definities. Bij Aristoteles gingen definitief over de aard der dingen, bij de Copernicanen over meetbare grootheden / operationele grootheden. * Het begrip 'massa' In "Principia ..." definieert Newton een nieuw begrip: massa, het produkt van massa en dichtheid. Hij onderscheidt massa van gewicht. Massa is daarin een echte eigenschap van een voorwerp, onafhankelijk van zijn plaats, een maat voor de hoeveelheid materie en de traagheid van het voorwerp. Hij maakte overigens geen onderscheid tussen trage en zware massa. Dichtheid was daarvoor al een bekend begrip, en onafhankelijk te meten met de door Galilei uitgevonden hydrostatische balans. Newton kende ook Galilei's werk over de wrijving en opwaartse kracht in water en lucht, en gebruikte het om Descartes' theorie over de planeetbeweging te weerleggen. Newton definieerde massa als operationeel, als product van dichtheid en volume. Maar zijn atomisme bracht hem er toe te stellen dat in dichtere stoffen de atomen dichter bij een opgepakt zitten.

Hf. 2: Verklaring en voorspelling

2.1: Fysica en astronomie in de Oudheid en de Middeleeuwen

Geeft een theorie een afbeelding van de werkelijkheid. Realisten zeggen van wel, nominalisten / instrumentalisten van niet, voor de laatsten lossen theorieën alleen problemen op. Deze tegenstelling is niet-juist, en zou niet over theorieën maar over beweringen moeten gaan. Sommige beweringen zijn realistisch bedoeld, andere hypothetisch. Verder verschillen de realisten en nominalisten van mening over de vraag: zijn theorieën alleen beschrijvend of ook verklarend? * Fysica De antieke en middeleeuwse filosofen waren realisten op het vlak van de fysica: de hemellichamen werden als volmaakt gezien en bewogen in eenparige cirkelbewegingen. , terwijl aardse voorwerpen rechthoekig (omhoog of omlaag) bewogen. * De drie ongelijkheden Er waren echter problemen met de planeetbewegingen: de seizoenen zouden even lang moeten zijn, maar zijn het niet; de vijf planeten vertonen retrograde bewegingen; de helderheid van planeten varieert etc. * Ptolemaios Het homocentrische (aarde in

het centrum) systeem van Eudoxos en Aristoteles kon de retrograde beweging kwalitatief beschrijven. Het werk om de verschijnselen te redden werd vooral gedaan door Ptolemaios in “Almagest”, daarin gebruikt het drie technieken: het excenter (het middelpunt waarom de hemellichamen draaien is niet precies het midden van de aarde); deferent en epicykel (rond de aarde draait een cirkel, op die cirkel zit een bijcirkel die ook weer draait, daarop zit de planeet); vereffeningspunt (een punt dat even ver van het middelpunt van de aarde als van het cirkelmiddelpunt ligt, de planeten bewegen alleen eenparig t.o.v. het vereffeningspunt). * Fysica en astronomie Ptolemaios spreekt niet over bollen, maar over cirkels; beoogt de planeetbeweging te beschrijven, maar niet te verklaren, zijn theorie is dus niet-realistisch. In de “Hypotheses Planetarum” geeft hij een fysische verklaring voor de hemelbeweging. De fysica moest dus realistische verklaringen geven; de astronomie en astrologie beschrijvingen van de hemellichaambeweging; er was dus een taakverdeling. * De dubbele waarheid De taakverdeling tussen fysica en astronomie kreeg in de 12/13^e eeuw een ander accent toen herontdekte werken van Aristoteles, Ptolemaios e.a. bekend werden, en die opvattingen bevatten die niet-christelijk waren. Vooral Thomas van Aquino deed veel werk om de Aristoteliaanse filosofie en de kerkelijke leer te synthetiseren, deze werd de officiële leer van de kerk en de universiteiten. Buridanus, Oresme en Cusanus bespreken de planeetbeweging om de zon als beschrijvend, maar niet-realistisch, volgens de kerk staat de aarde namelijk stil. Een tijd lang kon de dubbele waarheid dienen om allerlei opvattingen te onderzoeken die strijdig waren met die van de kerk. Met de opkost van de Renaissance en Reformatie raakte deze leer in diskrediet. * Copernicus Copernicus keerde terug naar de ideeën van Plato, en wilde de scheiding tussen fysica en astronomie, ingevoerd door Aristoteles, ongedaan maken. Zijn stelstel wijkt af van Ptolemaios: de aarde draait om de eigen as; de aarde beweegt om de stilstaande zon; ook de planeten doen dat; de maan draait om de aarde, dus zijn er twee centra (de zon en de aarde); het vereffeningspunt werd verworpen. Hij kon de retrograde beweging verklaren, maar de andere problemen (eerder genoemd) alleen met vergelijkbare aannames als Ptolemaios. Strikt genomen draait volgens Copernicus de aarde en de planeten niet om de zon, maar om een punt in de buurt van de zon, maar de zon staat wel stil.

Daarmee is zijn stelsel in tegenspraak met Ptolemaios’ astronomie en Aristoteles’ fysica.

2.2: Voorspellingen

In de antieke en middeleeuwse visie moest de astronomie bewegingen aan de hemel beschrijven, die dan gebruikt werden voor de kalender, navigatie of astrologie. Het deductieve karakter van een theorie maakt voorspellingen mogelijk. * Symmetrie De voorspellingen werken voor de toekomst, maar ook achteruit naar het verleden. Ook is er symmetrie van tijd en plaats, als je de ene weet kan je de andere berekenen. * De locale beweging Als de beweging van een planeet verbinden met de tijd dan kan je de positie van die planeet op elk moment aangeven. De theorie van Ptolemaios’ “Almagest” voldeed daar aan. De theorie over de kogelbaan van Galilei is een ander voorbeeld van zo’n theorie. * Empirische generalisaties, de wetten van Kepler Wetten die voorspellingen mogelijk maken berusten niet op bewijs, maar op generalisatie van waarnemingen. Een voorbeeld van zulke wetten zijn de drie wetten van Kepler, die hij vond op basis van de nauwkeurige observaties van Tycho Brahe. De drie wetten vormen geen samenhangende theorie, pas Newton slaagde er in de drie wetten te verbinden. Wel kon men voor Newton m.b.v. de wetten van Kepler de posities van hemellichamen nauwkeuriger bepalen dan met de stelsels van Copernicus en Ptolemaios. De wetten luiden: de baan van een planeet is een ellips met de zon in een van de brandpunten; een planeet doorloopt in gelijke tijden gelijke oppervlakte gemeten vanuit de zon; de derde macht van de helft van de lange as van de ellips van een planeet gedeeld door het kwadraat van de omlooptijd van die planeet geeft voor alle planeten dezelfde waarde. De laatste wet bleek ook te gelden voor de manen van Jupiter en Saturnus. De waarde R^3/T^2 is in de 3 gevallen verschillend, Newton toonde dat dit met de zwaarte v.h. centrale lichaam heeft te maken.

2.3: Verklaring

Kepler trachtte zijn wetten te verklaren, maar dat lukte niet. Net als Galilei, Copernicus, Newton wilde Kepler beschrijven en verklaren. Dit hoofdstuk: niet-fysische oorzaak-gevolg relaties * Intrinsiek Kepler’s 3^e wet: $R^3/T^2 = c$ doet vermoeden dat er een causale relatie bestaat tussen R en T, al kon Kepler die niet vinden. * Onomkeerbaar Dit houdt in dat in de verklaring oorzaak en gevolg niet te verwisselen zijn, niet-symmetrisch zijn. Coïncidenties (zoals bij de wetten van Kepler zijn wel symmetrisch). * Effectief Een verklaring moet scherp onderscheiden tussen wat wel en wat niet kan

gebeuren. De 3^e wet van Kepler is bij Kepler een coincidentie, het is $R^3/T^2 = c$, maar het had ook $R^5/T^3 = c$ kunnen zijn. Een verklaring is pas effectief als deze uitlegt waarom $R^3/T^2 = c$ juist is en waarom het niet anders kan zijn. * Popper's falsificatie principe Popper wijst theorieën, zoals de psychoanalyse en het Marxisme, die alles kunnen verklaren af. Maar dat geldt ook voor het atomisme, dat hij wel accepteert. Volgens Popper moet een theorie te falsifiëren, te weerleggen, zijn, pas als dat niet lukt is het een sterke theorie. Falsificatie is een demarcatieprincipe, een grens tussen empirische en niet-empirische uitspraken.

2.4: De retrograde beweging

Copernicus volgde Plateau, en niet Aristoteles, in zijn verwerping van het onderscheid tussen beschrijven en verklaren. Bij hem speelt de cirkelbeweging een veel grotere rol dan bij Ptolemaios: de beweging rond de zon, de rotatie om de eigen as. * Retrograde beweging en oppositie Bij Ptolemaios is het een coincidentie dat de retrograde beweging steeds optreedt als de aarde, de zon en de planeet in kwestie ongeveer op een lijn staan (oppositie). Hij geeft deze beweging weer met een draagcirkel en een bijcirkel. Als beschrijving werkt dit goed, het heeft niet de pretentie te verklaren, en maakt ook de genoemde coincidentie niet duidelijk. * Verklaring van de coincidenties In de theorie van Copernicus moesten de retrograde beweging en de oppositie samenvallen. Ook nam hij aan de hoe dichter de planeet bij de zon staat hoe hoger zijn snelheid moet zijn. * De kwetsbaarheid van Copernicus' theorie Copernicus theorie verklaart het tegelijk optreden van retrograde beweging en oppositie, en is kwetsbaarder (falsifieerbare) dan die van Ptolemaios die niet-verklaarde. Ook is de theorie van Copernicus irreversibel: de oppositie verklaart de retrograde beweging, anders om niet. Copernicus verklaart dat de schijnbare teruggaan- (retrograde) beweging van uit eenparige, ideale, reële cirkelbewegingen (a la Plato). * Voorspelling van de verschijnselen Een nieuwe theorie moet verschijnselen verklaren, maar ook nieuwe voorspellen. Dat laatste viel tegen voor de theorie van Copernicus. Zijn theorie voorspelde de parallax van de sterren, maar deze was niet waarneembaar in zijn tijd, pas in 1828 werd deze ontdekt. Daarom beweerde Copernicus dat de sterren zo ver weg staan dat de parallax onmeetbaar is. Een verklaring mag niet op coincidenties berusten, maar moet een causaal verband aantonen.

2.5: De afmetingen van het zonnestelsel

De overgang van het geocentrische wereldbeeld van Aristoteles en Ptolemaios naar het heliocentrische wereldbeeld van Copernicus is meer dan alleen een verschuiving van het centrum van het coördinatensysteem. Het belangrijkste is, bij Copernicus beweegt de aarde, en bij Aristoteles en Ptolemaios niet. * Het systeem van Tycho Brahe Tycho Brahe verwierp het systeem van Copernicus: vanwege het niet zichtbaar zijn van enige ster-parallax; het niet merkbaar zijn van de beweging van de aarde; omdat de bijbel zegt dat de aarde stil staat. Volgens Tycho Brahe draaiden de 5 planeten om de zon, en de zon en de maan om de aarde. * De macht van een theorie Het systeem van Copernicus en die van Tycho konden beiden uit de afmeting van de retrograde beweging de afstand planeet-zon bepalen. In het systeem van Ptolemaios kan dat niet, hij kan alleen de volgorde van de planeten bepalen van de buitenplaneten. De theorieën van Tycho en Copernicus zijn dus machtiger dan die van Ptolemaios. * Verklaringen en kwetsbaarheid Copernicus kon de afmetingen van de planeetbanen wel uitrekenen, maar niet verklaren, dat maakt zo'n theorie kwetsbaarder. Ptolemaios zegt niets over wat te verifiëren of falsifiëren is over de planeetbaanafmetingen. * Kepler's verklaring van het Copernicaanse stelsel In "Mysterium Cosmographicum" (1594) probeert Kepler te verklaren waarom er 6 planeten zijn, en de grootte van de planeetbanen. Hij construeerde bollen in en om de 5 regelmatige veelvlakken. Het verklaart waarom er 6 planeten (verbonden met die bollen) zijn. Maar de gevonden waarden voor de afmetingen van de planeetbanen kloppen niet. Ook kan Kepler de omlooptijden niet verklaren. Tycho Brahe en andere astronomen verwierpen deze speculaties, maar Tycho na, Kepler wel in deinst om waarnemingsgegevens uit te werken.

2.6: De eenvoud het Copernicaanse stelsel

Volgens Mach en de logisch-empiristen beschrijven het systeem van Copernicus en dat van Ptolemaios de planeetbanen even goed. Het eenvoudigste systeem moet van deze instrumentalisten de voorkeur krijgen. * Copernicus' theorie niet veel eenvoudiger dan die van Ptolemaios Copernicus beweerde dat Ptolemaios 80 cirkels nodig had voor zijn beschrijving, maar 40 voldeed. Zelf beweerde hij 34 cirkels nodig te hebben, maar het waren er 48. De bewering van Copernicus dat zijn systeem eenvoudiger is dan dat van Ptolemaios is dus niet juist. * Copernicus' theorie gecompliceerd dan die van Ptolemaios Bij Copernicus: moeten alle planeetwaarneming gedaan vanaf de aarde moeten worden

omgerekend t.o.v. de zon; is de retrograde beweging ingewikelder; moet de dubbele beweging van de aarde aangetoond worden. * Instrumentalisten kiezen voor Ptolemaios Kepler en Galilei wilden meer dan beschrijving, namelijk verklaarend vermogen; de moeilijkheden van de Copernicaanse theorie stimuleerde hen. Tycho, de Jezuïeten (instrumentalisten) kozen voor Ptolemaios.

Hf 3: Verklaringsprincipes

3.1: De harmonie der sferen

Copernicus wilde, i.t.t. Ptolemaios, niet alleen beschrijven, maar ook verklaren. Ook voerde hij 2 nieuwe verklaringsprincipes in: beweging en wisselwerking (kracht). Eerst kijken we naar oudere verklaringsprincipes. * Pythagoras en de getallen Pythagoras trachtte de wereld te beschrijven m.b.v. rationale getallen, verhoudingsgetallen. Zo bracht men muziek intervallen in verband met snaarlengten. Voorts kenden de Pythagoreers bijzonderde waarde toe aan bepaalde getallen, b.v. 10, en meenden dat er 10 hemellichamen moesten zijn en introduceerden daarom het centrale hemelse vuur en de tegen-aarde. De stralen van de planeetbanen trachtten ze in verband te brengen met de verhoudingen tussen muziektonen (harmonie der sferen). Ze bewezen dat er naast de kubus nog 4 andere regelmatige vierplakken zien. Hun ideeën inspireerden Kepler. * Plato en de ruimte Hij meende dat de hemellichamen uit een 5^e elementen, naast aarde, water, lucht en vuur, de ether bestond, die weer verbonden werden met de 5 regelmatige veelvlakken. Pythagoras legde de nadruk op getalsverhoudingen, Plato op ruimtelijke relaties. Dit was het gevolg van een crisis rond de zgn. stelling van Pythagoras. Bewezen werd dat de lengte van de lange zijde van een rechthoekige driehoek waarvan de rechthoekzijden beide 1 zijn niet kan worden geschreven als een verhouding van twee gehele getallen (later werden zulke getallen irrationele getallen genoemd). * Aristoteles en de natuurlijke beweging Aristoteles brengt de vier-elementenleer in verband met de kosmologie van de Pythagoreers. De kosmos zou bestaan uit bollen. Centraal bevindt zich in het ondermaanse het zware element aarde, daarboven (steeds lichter) water, lucht en vuur. Dan volgt de maansfeer, de ongrens van de hemelse ruimte. Volgens Aristoteles is alles in het hemelse volmaakt, en in het ondermaanse onvolmaakt; onnatuurlijke bewegingen treft men dan ook slechts in het ondermaanse aan. Maar zelfs de natuurlijke beweging is het gevolg van een onnatuurlijke toestand die

ongedaan moet worden gemaakt. * De gedwongen beweging en de impetustheorie Volgens Aristoteles zijn natuurlijke beweging te verklaren uit interne oorzaken: zo valt een voorwerp, omdat het zijn aard is zwaar te zijn. Alleen voor tegen-natuurlijke krachten zijn volgens Aristoteles krachten nodig, waarbij de beweging evenredig zou zijn met de kracht en omgekeerd evenredig met de weerstand. Een probleem was hoe b.v. een pijl kon blijven bewegen nadat hij de boog verlaten had. Een oplossing was de impetustheorie (13/14^e eeuw), die stelde dat een uitwendig kracht kan worden overgedragen aan een voorwerp, zodat deze dan een inwendige kracht krijgt, die verklaart dan het voortduren van de beweging tot deze inwendige motor (impetus) op is. Volgens Aristoteles kan een voorwerp niet tegelijkertijd een natuurlijke en een onnatuurlijke beweging volgen. Het impetus-begrip werd later omgewerkt tot het impuls-begrip; daarbij werd het van de oorzaak van een beweging tot een maat voor de beweging.

3.2: Verklaring en verandering in de Aristotelische filosofie

In de antieke en middeleeuwse filosofie moest beweging zelf verklaard worden (net als alle veranderingen). Parmenidus had op logische gronden bewezen dat verandering onmogelijk is, Aristoteles vonden dus dat niet inzichtelijk was (verandering) verklaard moet worden. * Vorm en verandering Volgens Aristoteles blijven bij elke veranderingen toch 2 zaken onveranderd: materie en vorm. Elk individu is een combinatie van vorm en materie, de individuen kunnen veranderen, de vorm en de materie niet. * Potentie en actualisering Voor een verandering is ook potentie nodig, zo heeft een ei de potentie om een kip te worden, maar niet om een paard te worden. Ook is actualisering nodig, het ei moet bebroed worden anders komt het niet uit. Deze verklaringen zijn heel anders dan die van Copernicus over de samenhang tussen de retrograde beweging, oppositie en helderheid van planeten. Aristoteles zou Copernicus' verklaringen niet accepteren, en andersom. * Vier soorten verandering Volgens Aristoteles zijn er vier soorten verandering, in afnemende belangrijkheid: van wezen; van kwaliteit; van kwantiteit; van plaats. Daarnaast kan elke verandering of natuurlijk of tegen-natuurlijk plaatsvinden. * De vier elementen Aristoteles onderscheidde in het ondermaanse 4 elementen, verbonden met de tegenstellingen natdroog en warm-koud en 2 natuurlijke bewegingen. In het hemelse was er slechts 1 element en 1 natuurlijke beweging (cirkelvormig). De vier-

elementenleer bleef toonaangevend in de medische en psychologische theorieën tot in de 19^e eeuw, in de scheikunde tot de 18^e. De meeste Copernicanen waren atomisten, dat legt de nadruk op de centrale rol van de locale beweging (de verandering van plaats), meer nog dan op de atomen als bouwstenen van de materie. * De vier paradoxen van Zeno Zeno toonde met paradoxen de onmogelijkheid van beweging aan. Plato accepteerde dat, voor hem waren alleen ideeën reëel. Aristoteles trachtte aan te tonen dat Zeno ongelijk heeft, dat beweging bestaat. De Copernicanen accepteerden de argumenten van Zeno in die zin dat ze beweging voor reëel hielden en voor niet verklaarbaar met getallen, ze verhieven beweging tot onverklaarbaar verklaringssprincipe.

3.3: Galilei en de beweging

Kenmerk van het Copernicaanse systeem is niet dat de zon in het centrum staat, maar dat de aarde beweegt. Tycho Brahe kwam daarom met een compromis, echte Copernicanen probeerden de problemen op te lossen, met name Galilei. * Beweging als toestand Bij Copernicus is beweging een toestand die verklaren kan maar niet verklaard hoeft te worden. Bij Aristoteles is het andersom. In werkelijkheid vond de overgang tussen deze twee visies geleidelijk plaats. * Verklaring van de beweging door de beweging In Galilei's "Discorsi" (1638) komen 2 geïdealiseerde (à la Plato) natuurlijke bewegingen voor, waarvoor volgens Galilei geen kracht nodig is als oorzaak: de eenparige cirkelbeweging; de valbeweging met constante versnelling. Deze 2 bewegingen kunnen in elkaar overgang of zelfs tegelijkertijd plaatsvinden, iets wat voor Aristoteles ondenkbaar was. Galilei verklaart er de dubbele aardebeweging en kogelbanen mee. * Galilei's instrumentalisme Galilei's bewuste beslissing om af te zien van fysieke verklaringen wordt vaak voor positivisme / instrumentalisme gehouden. Galilei was geen instrumentalist, hij streed tegen degenen die het Copernicanisme zo opvatten, maar gebruikte beweging als verklaringssprincipe. * De valwet Eerst vermoede Galilei dat de valsnelheid van voorwerpen afhangt van de dichtheid van het voorwerp en de dichtheid van het medium waarin het valt. Later verwierp hij de invloed van de dichtheid van het voorwerp. Later stelde hij dat de snelheid bij een val evenredig is met de afgelegde weg, later corrigeerde hij dat tot evenredig met de tijd, te minste in vacuüm. In plaats van ruimte wordt tijd nu de belangrijkste grootheid. * Galilei's obsessie met de cirkelbeweging Buridanus kwam al dicht bij het traagheidsbegrip voor cirkelbewegingen, Galilei sloot

daarbij aan. Hij bracht de horizontale eenparige beweging en de eenparig versnelde verticale beweging met cirkels in verband. Hij wees Kepler's ontdekking van de niet-eenparige, niet-cirkelbeweging van de planeten af. * Aardebeweging en de getijden In "Dialogo" (1632) weerlegt Galilei zo veel mogelijk bezwaren tegen de dubbele beweging van de aarde, en probeert hij verschijnselen te vinden die alleen door de aardbeweging verklaard kunnen worden. Newton toonde aan dat Kepler's verklaring van de getijden en niet die van Galilei de juiste was. Pas in 1851 toonde Foucault met zijn slingerproef onomstotelijk aan dat de aarde beweegt.

3.4: Cartesiaanse fysica

Descartes droeg bij aan programma om beweging te verklaren met beweging: door zijn traagheidswet en zijn botsingsproblemen. Descartes trachtte Aristoteles' verklaringssprincipe te vervangen d.m.v. een mechanistisch, kinematisch verklaringsschema. Inhoudelijk had dat weinig succes, maar het stimuleerde het Copernicanisme wel. Beeckman onderscheidde 2 soorten traagheid: eenparige rechtlijnig en rotatie van een zwaar lichaam om de eigen as. Descartes en Newton namen de eerste over, de tweede diende te worden verklaard. * Materie en ruimte Plato beïnvloedde Copernicus, Galilei en Descartes sterk, dit uit zich in de nadruk op ruimte en meetkunde. Descartes schreef een cruciaal meetkundig werk, "Geometrie" (1637). Descartes identificeert ruimte en materie, in die visie kan een vacuüm niet bestaan. Volgens Descartes zijn ruimte en materie (wikskundig) oneindig deelbaar, maar hij laat open of het fysisch ook zo is. * De botsing Voor Aristoteles was de vraag hoe men een beweging kan veranderen niet mogelijk. De invoering van het traagheidsprincipe resulteert in de introductie van deze vraag in de fysica door Descartes. Als beweging en bewegingsveranderingen alleen kunnen worden verklaard door beweging dan moeten bewegingsveranderingen veroorzaakt worden door botsingen. Descartes definieert de hoeveelheid beweging (impuls), later verbeterd door Newton en Huygens. Descartes stelt dat de hoeveelheid beweging onveranderlijk is, maar bij botsingen een hoeveelheid beweging kan worden overgedragen van het ene naar het andere voorwerp. Dan komt hij met 7 botsingswetten in vacuüm, 6 zijn er onjuist, wat Descartes verklaart door te stellen dat vacuüm niet kan bestaan. * Rust en beweging Descartes stelt dat er een absoluut verschil is tussen beweging en rust. Galilei ontkende dat, rust is beweging met snelheid nul, beweging en rust zijn dus niet-absoluut, maar

relatief. Descartes stelt dat in feite dat beweging (door verwisseling van plaats in wervels) relatief is, maar dat het niet-bestaan van beweging ruimte absoluut is. * De planeetbeweging en zwaarte Descartes was in staat de beweging van de planeten te verklaren uit die van de zon om zijn eigen as, die beweging sleurt de omringende materie met zich mee in het rond. Ook zwaarte wordt door Descartes/Huygens verklaard door wervelbeweging van de ruimte-materie rondom voorwerpen.

3.5: De afvalligheid van Kepler

Rheticus, Copernicus enige leerling, schreef "Narratio Prima" (1539-40) waarin het systeem van Copernicus eenvoudiger werd weergegeven. Kepler herdrukte het in "Mysterium Cosmographicum" (1596). Daarna schreef hij nog veel meer over sterrekunde en optica. * Astronomie Nova Hij doorbrak het idee dat planeten in cirkels bewegen, mede omdat hij zijn oplossing voortdurend controleerde. * De zon in het centrum Het stelsel van Kepler was werkelijk heliocentrisch, de zon stond in het midden, bij Copernicus stond de zon niet precies in het centrum cirkels die de planeetbanen beschrijven. * Kracht als verklaringssprincipe Kepler toonde aan dat de planeetbanen ellipsvormig zijn, veel Copernicanen accepteerden deze conclusie niet (Galilei, Descartes, Huygens). Kepler voelde wel aan dat iets de planeten aandreef, Newton toonde 80 jaar later aan dat dit de zwaartekracht is. * Het magnetisme Gilbert bracht de magnetische werking van de aarde in verband met de draaiing van de aarde om de eigen as. Kepler vermoedde daarop dat de kracht van de zon op de planeten magnetisch is. Galilei wees dat af, hij wilde beweging verklaren met beweging en niet met iets anders. * Kracht en druk als statische begrippen Kepler en Newton introduceerden kracht als verklaringssprincipe voor bewegingsveranderingen. Archimedes, Benedetti, Stevin, Galilei, Torricelli, Huygens, Mersenne werkten met krachten in statische situaties. Torricelli toonde het bestaan van vacuüm aan, Pascal stuwde de hydrostatica op in "Traitez de l'equilibre ..." (1663).

3.6: Newton's mechanica

Newton volgde de lijn van Kepler, meer dan de Platonistische lijn van Galilei, Descartes en Huygens. Newton nam van Kepler over: zijn respect voor waarnemingen; de drie wetten van Kepler; het begrip kracht als verklarend principe onafhankelijk van beweging. De andere Copernicanen wilden alleen spreken over kracht als gevolg, niet als oorzaak, van beweging. * De trage kracht Het krachtbegrip was in Newton's tijd nog niet scherp

omlijnt, hij noemt zaken kracht die we nu niet meer als krachten zien. * De uitwendige kracht De uitwerking van een uitwendige kracht is omgekeerd evenredig met de massa (die weerstand biedt). Newton bekijkt het geval waarin de krachtwerking kort is: de stoot (kracht x tijd) is daarbij gelijk aan de bewegingsverandering impuls (massa x snelheid). Dit is de 2^e wet van Newton. Newton, als Huygens, stelt dat kracht een grootte heeft en een richting. In feit volgt uit stoot = impuls ook de wet kracht = massa x versnelling, die Newton nergens expliciet geeft. * Actie en reactie De 3^e wet van Newton luidt: actiekracht = - reactiekracht, d.w.z. deze 2 krachten zijn even groot, maar tegengesteld gericht. Deze 3^e (grond)wet scheidt de mechanica van Newton van die van Descartes en Leibniz. * Kracht-materie dualisme Ook Newton had moeite om te accepteren dat materie niet louter passief was, zoals men altijd had gedacht. Maar in de gravitatie-theorie is de materie de bron van de zwaartekracht. Later kwam daarbij de materie als bron van elektrische, magnetische en warmtekrachten. * Kracht als relatie In de Newtonse mechanica is de kracht een relatie tussen 2 lichamen, die niet tot iets anders kan worden teruggebracht in de verklaring. Descartes en Leibniz hadden resp. de begrippen hoeveelheid beweging (massa x snelheid) en vis viva (massa x snelheid²) ontwikkeld, die beide IN het voorwerp zetelden, en niet in een relatie tussen voorwerpen. De Newtoniaan d'Alembert toonde aan dat de eerste de tijdsintegraal is van de kracht en de tweede de ruimtelijke integraal is van de kracht, en dat de kracht dus boven de andere twee begrippen staat. * Behoudswetten Na Newton werd aangetoond dat de wetten van behoud van impuls en van impulsmoment kunnen worden afgeleid uit de 3^e wet van Newton. Hetzelfde geldt voor de wet van behoud van energie (Helmholtz, 1847). Voor alle terugleidingen geldt dat men de krachten moeten terugbrengen tot centrale krachten tussen puntmassa's. Sinds Maxwell en Einstein is de wet van behoud van energie boven de 3^e wet van Newton gesteld, de prioriteit dus omgekeerd. * Beweging en kracht als onafhankelijke verklaringssprincipes De grootste breuk tussen Copernicus en Newton is dat kracht beweging gaat verklaren en niet alle beweging met andere beweging te verklaren is. Galilei en Descartes hadden getracht alle beweging met alleen beweging te verklaren, Newton toonde aan dat een 2^e verklaringssprincipe nodig is, kracht. Dit is van zeer grote betekenis geweest.

Hf. 4: Het oplossen van problemen

4.1: De structuur van wetenschappelijke revoluties

Theorieën hebben functies: verhelderen, definiëren, voorspellen, verklaren, oplossen van problemen. Ze hebben ook een structuur: daarvoor kijken we naar soorten beweringen, op basis van Kuhn “The Structure of Scientific Revolutions” (1962). * Paradigma's Als een nieuw veld van onderzoek wordt ontsloten begint dat met een ongeordende oriëntatiefase, vaak zijn er verschillende ‘scholen’. Deze wordt afgesloten met het verschijnen van een gezaghebbend paradigma. * Normale wetenschap Dan volgt een fase waarin problemen opgelost worden aan de hand van het door iedereen aangenomen paradigma. De theorie van Kuhn is dus sociologisch van aard. * Crisis Als er steeds meer problemen komen die niet volgens het paradigma kunnen worden opgelost dan ontstaat een crisis, het wordt dan tijd voor een nieuw paradigma. * Revolutie De overgang naar een nieuw paradigma heeft een irrationeel karakter, het is het gevolg van een vertrouwenscrisis, en het nieuwe paradigma staat, volgens Kuhn, niet dichter bij de waarheid dan het oude. * Het leerboek Na aanvaarding van een paradigma zijn leerboeken inhoudelijk niet meer verschillend, ze bevatten ‘de juiste leer’, alternatieven waar of niet genoemd of afgewezen. * Kritiek Het is de vraag of Kuhn het onderscheid tussen een pre-paradigmafase en de normale wetenschapfase niet overdrijft. Paradigma's bestaan soms lange tijd naast elkaar, en een oriëntatiefase wordt niet altijd afgesloten met de formulering van een paradigma.

4.2: De functies van een bewering en een theorie

Beweringen hebben verschillende functies. * Algemene en bijzondere beweringen We moeten een onderscheid maken tussen wetten en feiten. * De functies van beweringen Definities introduceren begrippen in de theorie. Axioma's zijn wetten die in de theorie niet bewezen worden, een theorie kan verschillende varianten hebben met verschillende axioma's. Vooronderstellingen zijn wetten die aan andere theorieën ontleend worden, ook hier van kunnen verschillende varianten bestaan. Gegevens zijn feiten die van buiten de theorie zelf komen, en ook die gegevens kunnen verschillen in varianten van de theorie. Theorema's zijn wetten die binnen de theorie afgeleid worden. Hypothesen lijken op theorema's, alleen wordt hun waarheid niet zo maar aangenomen. Problemen zijn beweringen waarvan moet wor-

den uitgezocht of ze binnen de theorie bewezen kunnen worden. * Input-output schema's Een theorie heeft doorgaans een vaste kern van vooronderstellingen, gegevens en problemen die kenmerkend zijn voor de theorie. Die vormen de input van de theorie, de oplossingen de output.

4.3: Normale wetenschap

In de fase van de normale wetenschap, en onderwijsituaties, worden de funderende axioma's van een theorie niet in twijfel getrokken. * Het oplossen van problemen Normale wetenschap is niet ontkritisch, al worden de grondslagen niet in vraaggesteld, binnen de theorie kunnen er allerlei ontwikkelingen en aanpassingen plaatsvinden als die nodig zijn om problemen op te lossen. Studenten worden getraind om oplossingen binnen de theorie te vinden, pas daarna om zelf eigen problemen te vinden en die op te lossen. * De theorie-afhankelijkheid van een probleem Een theorie wordt gekarakteriseerd door zijn axioma's een onderzoeksveld door zijn problemen. In feite stelt Kuhn dat onderzoekers die niet volgens hetzelfde paradigma werken niet met elkaar kunnen discussieren, maar “De Dialoog” van Galilei weerlegt dat idee. Zo konden Copernicanen en Ptolemaïanen wel degelijk met elkaar van gedachten wisselen. * Anomalieën Binnen een theorie kunnen er problemen zijn die niet opgelost kunnen worden, terwijl een concurrerende theorie dat wel kan, voor de eerste theorie is zo'n probleem een anomalie. * Christiaan Huygens Wellicht is Huygens het prototype van de normale wetenschapper van Kuhn, geen revolutionair, maar wel iemand die vele problemen oploste in de wiskunde, de astronomie, de natuurkunde, de bouw van klokken, etc. Hij hechtte veel belang aan experimenten doen en bouwde zelf veel van zijn eigen instrumenten. I.t.t. wat Kuhn beweert over normale wetenschappers is bij Huygens het aanhangen van een bepaald paradigma niet karakteristiek, wat karakteristiek is het oplossen van problemen en het kritisch staan tegenover ideeën. * Het doel van de wetenschap Wetenschap beoefenen en theoretisch denken is niet identiek, ook buiten de wetenschap bestaan er theorieën. Theorieën hebben zelf geen doelen, maar worden wel gebruikt om doelen te bereiken. Het doel van de wetenschap is niet problemen oplossen, maar om wetmatigheden in de natuur te vinden en deze als axioma's te formuleren, die dan in theorieën gebruikt kunnen worden. Naast theoretisch denken hoort ook experimenteren, waarnemen, rekenen, opgraven, ontleden, literatuuronderzoek bij wetenschappelijk werk. De wetenschap onderzoekt het wetmatige, maar kan dit alleen

door onderzoek te doen aan individuen; al is het onderzoeksmateriaal vaak geïdealiseerd, later kan dit dan in minder-ideale situaties worden toegepast, en nieuwe problemen te genereren. Deze manier van wetenschap bedrijven ontstond in de 17^e eeuw: het richten op natuurwetten en het steekproefsgewijs benaderen van de werkelijkheid. * Het zoeken van een probleem bij een oplossing Dit zijn vragen van het type: waarom is een ijsbeer wit, wit is blijkbaar de oplossing van een nog nog te formuleren probleem.

4.4: Het genereren van problemen

Een functie moet oude problemen oplossen en nieuwe op te lossen problemen genereren. * De parallax Volgens de theorie van Copernicus moeten alle sterren een schijnbare beweging vertonen, deze werd pas in 1838 gemeten. Dat was een probleem voor de Copernicanen. * De aardbeweging Vooral Galilei heeft veel moeite gedaan om problemen met de aardbeweging op te lossen. * Het centrum van het heelal Doordat bij Copernicus de aarde niet meer in het centrum staat ontstaan er de situatie dat de valbeweging nieuw verklaart moet worden. Volgens Aristoteles wordt deze verklaard doordat beneden de natuurlijke plaats voor zware lichamen is. Er waren overigens veel natuurkundigen in die tijd die naar een andere dan de Aristoteliaanse fysica zochten. * De botsing Descartes accepteerde maar een vorm van fysische interactie: botsingen. Wallis, Wren en Huygens losten tal van botsingsproblemen op. * Newton Newton ontwikkelde de theorie dat een planeetbaan te maken heeft met het omgekeerdraait van de afstand. Het genereerde nieuwe problemen. Waaromheen beweegt een planeet, om de zon of om een gemeenschappelijk massamiddelpunt? Is de zwaartekracht afhankelijk van de straal van een voorwerp? Hebben de zon en de maan invloed op de getijden? Heeft de zon invloed op de beweging van de maan? Behalve het laatste probleem lostte Newton alles op in "Principia ...". * Bevestiging van de theorie? Een theorie genereert nieuwe problemen: stimuleert tot nieuwe experimenten, die de theorie kunnen bevestigen (niet bewijzen). * Interne en externe problemen Een theorie moet ook problemen kunnen oplossen die het niet zelf heeft gegeneerd, maar die voortkomen uit de praktijk.

4.5: De wereldbeschouwing

De vooronderstellingen van een theorie worden ten dele gevormd door andere theorieën en door levensbeschouwing. * Het ontologisch aspect Het ontologisch aspect geeft aan hoe de wereld er uit ziet. Het Aristoteliaanse beeld was flink verschillend van het Copernicaanse. In het

Aristoteliaanse beeld had de aarde de laagste, niet de hoogste, in het centrum van het heelal. Het Copernicaanse beeld plaatste de aarde in de hemel. Aristoteles en Descartes wezen het vacuüm af, Galilei voerde het in zijn denkexperimenten op, Torricelli onderzocht of het vacuüm experimenteel kan bestaan. Later gevolgd door Boyle, Pascal, Guericke. Newton gebruikte het vacuüm om de planeten wrijvingsloos te kunnen laten draaien. * De bronnen van de kennis In de Middeleeuwen speelde de autoriteit van de antieke schrijvers een grote rol, evenals die van de kerk en de Bijbel. De vorm van gezag werd steeds geringer gedurende de Copernicaanse Revolutie. Ook op het vlak van de kennis speelt dus de wereldbeschouwing een rol. * Bewijsvoering In de Oudheid en de Middeleeuwen hechtte men veel belang aan redeneringen, maar Descartes en veel 20^e eeuwse filosofen ook. Kepler, Galilei, Boyle en Newton werken meer uit van gezondverstand en wiskundige analyse dan van uit logica, met daarnaast waarnemingen en experimenten als controle. Ook in andere opzichten speelt de wereldbeschouwing mee als men het over bewijs heeft. Huygens lost botsingsproblemen op door een beroep te doen op de relativiteit van de beweging. Aristoteles zou dat niet accepteren, hij accepteerde alleen absolute bewegingen. * Ruimte en tijd Bij Aristoteles was de ruimte eindig en de tijd oneindig. Zijn christelijke volgelingen hadden problemen met dat laatste. De Copernicanen gingen langzaam ook de ruimte als oneindig zien. Volgens Aristoteles is de plaats van een voorwerp zijn onmiddellijke omgeving en beweging absoluut, voor Newton worden plaatsen bepaald in een coördinatenstelsel en is beweging relatief. Elders houdt Newton toch vast aan absolute ruimte en absolute tijd op religieuze gronden. Bij Aristoteles is de tijd de maat voor de verandering, zonder verandering geen tijd. Newton vindt beweging geen verandering, tijdmeting wordt in verband gebracht met rechtlijnige eenparige beweging. Newton dacht dat eenparige rechtlijnige bewegingen niet in absolute zin vast te stellen zijn, maar rotatiebewegingen wel. Ook de slingerproef van Foucault stelde de rotatie van de aarde absoluut vast, dus zonder verwijzing naar een coördinatenstelsel. Leibniz stelde tegenover Newton dat tijd en ruimte alleen maar relaties zijn, waarin hij later werd nagevolgd door Mach, die weer Einstein beïnvloedde. Maar Mach's stelling dat ook de rotatiebeweging relatief is, is onbewezen door experimenten.

Hf 5: Hypothesen en axioma's

5.1: Over de hypothesen van dit werk

Hypothesen hangen van de theorie af, in tegenstelling tot veronderstellingen die van buiten af de theorie inkomen (zoals wiskunde stellingen) en zonder meer geaccepteerd worden. * Osiander In het voorwoord tot het boek van Copernicus benadert Osiander de theorie instrumentalistisch, Copernicus deed dat zelf niet. M.a.w. Osiander maakt wel en Copernicus niet een verschil tussen de axioma's en de hypothesen in de theorie. * Kepler Kepler toonde aan dat Osiander de schrijver van het genoemde anonieme voorwoord was. Kepler toonde in "Astronomium Nova" aan dat de opvattingen van Ptolemaïos, Copernicus en Tycho Brahe alle onjuist waren en die van hemzelf correct. Hij prefereerde echter het stelsel van Copernicus boven dat van Ptolemaïos omdat de eerste meer verklaarde dan de tweede. Het heersende idee was toen dat hypothesen in de astronomie niet en axioma's in de fysica wel waar moesten zijn. Kepler ging er van uit dat in beide gebieden ze waar moeten zijn. Net als Newton wijst Kepler de al te logische aanpak af, en zocht naar natuurwetten. Die natuurwetten hoeven van Kepler en Newton niet direct inzichtelijk te zijn, voor Descartes en Galilei was dat wel een eis. * Galilei Osiander's instrumentalistische visie had een sterk punt, hij toonde aan dat als Copernicus of Ptolemaïos bewegingen echt bestonden Venus' helderheid sterk zou moeten variëren, wat niet waargenomen werd. Pas Galilei toonde aan dat Osiander ongelijk had, omdat deze er van uit ging dat Venus zelf licht geeft, terwijl deze slechts zonlicht reflecteert, wat de geringe helderheidsverandering van Venus verklaart. Galilei wees de instrumentalistische interpretatie af, al wilde de Kerk hem deze laten accepteren. In de "Dialoog" (1632) beweert hij de instrumentalistische interpretatie te verdedigen, maar verdedigt in feite de realistische. Overigens worden de stelsels van Copernicus en Ptolemaïos door Galilei sterk vereenvoudigd in dit werk weergegeven, en viel daardoor meer het homocentrische systeem van Aristoteles aan dan Ptolemaïos. Copernicus kon dit niet, omdat zijn systeem vol zat met excenters en epicykels die wel instrumentalistisch geïnterpreteerd moesten worden. Daarom kon Copernicus ook weinig inbrengen tegen het genoemde voorwoord van Osiander ook al was het er mee oneens. * De hypothesen van Copernicus en Tycho Verder over het verschil hypothesen – axioma's. Afgezien van details kan het systeem van Ptolemaïos worden teruggebracht tot twee

cirkels per planeet, waarmee men de beweging van de planeet kan beschrijven, inclusief het retrograde deel. Copernicus gaat nu keuzen maken: voor de buitenplaneten de epicykel even groot als de baan van de aarde om de zon; voor de binnenplaneten de deferent even groot als de baan van de aarde om de zon. Dit is een hypothese die past binnen het systeem van Ptolemaïos, waardoor in feite de zon in het middelpunt van het geheel komt te staan. Tycho verving deze hypothese deels door een andere: hij nam (ook) voor de buitenplaneten de deferent even groot als de baan van de zon om de aarde en de epicykel met de zon als middelpunt. Beide hypothesen zijn instrumentalistisch, niet-realistisch bedoeld, en in feite slechts interessante varianten van het Ptolemeïsche stelsel. * Copernicus' nieuwe theorie Copernicus wilde niet alleen de bewegingen van de hemellichamen beschrijven, maar ze ook fysisch verklaren. Daarom voerde hij een nieuw axioma in: alle planeten (inclusief de aarde) bewegen om de zon die stilstaat. I.t.t. bovengenoemde hypothesen is het voor de theorie van Copernicus cruciaal dat het axioma waar is, anders valt de hele theorie. Een axioma wordt voor waar aangenomen en bepaalt de hele theorie, een hypothese wordt als mogelijkheid aangenomen maar is niet cruciaal voor de theorie.

5.2: Twijfel en zekerheid: Descartes

Descartes en Leibniz worden nu meer als filosoof dan als natuurwetenschapper gezien, maar in de 17^e eeuw bestond dat onderscheid nog niet. Descartes was in feite een vermomde Copernicaan. Hij schreef een Copernicaans werk "Le Monde" maar schrok er voor terug het te publiceren en tegen de kerk in te gaan. Hij verklaarde beweging van de aarde om de zon door aan te nemen dat de aarde meegesleurd wordt door een wervel die om de zon beweegt, maar dat t.o.v. die wervel de aarde stil staat. * Het licht In "Le Monde" geeft Decartes zijn methode, en past die toe op de meetkunde, devatmosferische verschijnselen en het licht. Vrijwel alle Copernicanen hielden zich bezig met licht, omdat voor waarnemingen aan de hemellichamen men geheel op telescopen was toegewezen. Daarnaast verwierpen ze het onderscheid tussen de hemelse en de aarde verschijnselen dat Plato en Aristoteles hadden gemaakt. Licht, dat blijkbaar zowel in het onder- als het bovenmaanse voorkomt, was voor de Aristoteliaanse fysica daarom problematisch, maar niet voor de Copernicanen. * De emancipatie van de wetenschap Descartes ontwierp als eerste een geheel nieuwe, niet-Griekse, filosofie, en is de grote grondlegger van de moderne filosofie. Hij

staat ook aan het begin van de scheiding tussen filosofie en vakwetenschap. Deze scheiding wordt afgesloten door Kant rond 1800. * Heldere en wel onderscheiden begrippen Descartes voert de twijfel als methode in. Via reductio vindt hij echter inzichten waarvan de waarheid vaststaat. * Descartes' hypothesen Deze hypothesen van Descartes kunnen niet altijd de gecompliceerde werkelijkheid verklaren, in zulk geval verzint hij hypothesen om alsnog te verklaren, zelfs al weet hij dat de hypothesen niet waar zijn. Hier weer een vergelijkbaar onderscheid tussen verklaren en beschrijven, resp. onderwerp van de metafysica en de fysica. De fysici lieten Descartes metafysica links liggen en gingen de eigen fysica niet alleen als beschrijvend, maar ook als verklarend zien. * De waarschijnlijkheid van begrippen, en het begrip waarschijnlijkheid De Cartesiaanse rationalistische filosofie is vooral bestreden door Pascal, Boyle, Newton, Huygens. In de discussie kwam men tot het moderne waarschijnlijkheidsbegrip. Al in de Middeleeuwen maakten men het onderscheid tussen beweringen die zeker waar zijn en beweringen die hoogstens waarschijnlijk zijn. De Copernicanen verwierpen dit onderscheid. Pas daarna kon men aandacht geven aan de waarschijnlijkheid van gebeurtenissen, b.v. in kansspelen en bij verzekeringskwesties. Fermat, Pascal, Huyens e.a. hielden zich daarmee bezig in de 17^e eeuw. De logisch-positivisten van de 20^e eeuw trachtten tot verschillende graden van zekerheid over gebeurtenissen te komen op basis van waarnemingen – verifiëren. Popper wees dit af, wetenschap moet proberen te falsifiëren. Popper en de positivisten menen beide dat hypothesen niet afgeleid worden, maar verzonnen. In die zin staan ze dicht bij Descartes dan bij Newton.

5.3: *Hypotheses non fingo*

Newton stelt in zijn "Opticks" (1704) dat hij geen hypothesen verzint, maar is niet duidelijk over wat hypothesen zijn. Newton meende al in 1672 dat zijn werk over lichtbreking in prisma's zonder hypothesen was gedaan, en de conclusies onweerlegbaar uit de experimenten voortkwamen. Maar Huygens en Hooke meenden dat Newton wel hypothesen had gebruikt, en deze door andere zouden kunnen worden vervangen. Newton reageerde boos, en weigerde nog iets over optica te publiceren zolang Hooke leefde. * Queries In de 2^e druk van "Optics" (1713) en de 3^e druk van "Principia" (1726) vermijdt Newton het woord hypothesen waar hij kan. Als appendix aan "Optics" neemt Newton een reeks queries (problemen) op die vol met hypothesen met verbeeldingskracht. * Hypotheses non fingo Deze uit-

spraak komt uit de 3^e druk van "Principia" (1726). * Wat is er tegen hypothesen? Newton accepteert alleen hypothesen die men in verband kan brengen met verschijnselen en het leidt tot nieuwe experimenten en waarnemingen. Hij wijst hypothesen af: die niet tot metingen leiden; die pretenderen evidente waarheden te bevatten (Descartes), het gaat Newton er b.v. om hoe gravitatie werkt, niet om wat het is; die een dubbele waarheid invoeren, dus alleen maar beschrijven en niet verklaren; die pretenderen definitief te zijn. Het is allemaal nogal subtiel, in de praktijk ging het vaak minder subtiel er aan toe.

5.4: *Axioma's*

Newton introduceerde een methode van verklaren die verstrekkende gevolgen had. De Cartesianen en Aristotelianen zagen verklaren als het herleiden van het onbekende tot het bekende. Newton en de natuurwetenschap na hen verklaarde het waarneembare uit het niet-waarneembare. * Aristoteles' eisen voor axioma's Volgens Aristoteles moeten axioma's: waar zijn; onbewijsbaar zijn; inzichtelijk zijn. * Kritiek De moderne wetenschap heeft die drie eisen verlaten, mede omdat men theorieën anders ziet. Nu zijn er vele, niet maar een, theorie, die relatief autonoom zijn, maar toch ook onderling afhankelijk. Axioma's hoeven slechts waar te zijn binnen de theorie, en buiten de theorie plausibel maar niet strikt genomen waar. Axioma's zijn onbewijsbaar binnen een theorie, maar te bewijzen in een andere. Axioma's zijn bijna nooit inzichtelijk in de moderne wetenschap, eerder andersom, het accepteren van niet-inzichtelijke axioma's is vaak de eerste stap richting een doorbraak. Descartes en in mindere mate Galilei, Huygens en Leibniz accepteerden niet-inzichtelijke axioma's niet, Kepler en Newton wel, de moderne wetenschap volgt de weg van Kepler en Newton. De moderne wetenschap is dus niet-deductief, heeft verklaren vanuit inzichtelijke axioma's opgegeven. Ze is inductief geworden, het natuur-wetmatige wordt gevonden door analyse van waarnemingen. * Moderne eisen voor axioma's Deze gaan over axioma-stelsels: in een theorie mogen deze niet met elkaar in strijd zijn; ze moeten onafhankelijk van elkaar zijn; ze moeten volledig zijn. De laatste stelling is nieuw. Overigens bewijs Godel in 1931 dat geen axiomastelsel en volledig en zonder contradicties kan zijn, dat speelt in de praktijk van de natuurwetenschap niet zo'n grote rol, omdat geen theorie claimt de fysische werkelijkheid volledig te beschrijven en te verklaren.

Hf 6: De geloofwaardigheid van een theorie

6.1: Het netwerk van theorieën

Dit hoofdstuk gaat over de relaties tussen theorieën. De vooronderstellingen van theorieën zijn zelf vaak theorieën, voor Newton's zwaartekrachttheorie zijn dat b.v. de wiskunde en de mechanica, en daarnaast optica. Problemen komen vaak voort uit andere theorieën, oplossingen kunnen gebruikt worden in nog weer andere theorieën. De samenhang met andere theorieën vergroot de geloofwaardigheid van een theorie. * De ongeloofwaardigheid van Copernicus' theorie Een reden waarom Copernicus aanvankelijk weinig volgers had was dat zijn theorie in strijd was met het geheel van de Aristotelische filosofie., en later met de Bijbel. * De aanvaarding van het Copernicanisme Aanvankelijk volgden alleen zij die toch aan de Aristotelische wetenschap twijfelden Copernicus. De filosofie van Descartes wierp zich als een alternatief voor die van Aristoteles op, waar Copernicus, Galilei en Kepler nog zich wendden tot het Platonisme en/of het Pythagorisme. Het was echter Newton die een synthese van alle anti-Aristotelische stromingen gaf, Deze synthese is niet zo zeer filosofisch als wel vakwetenschappelijk, een emancipatie van de wetenschap t.o.v. de filosofie. * Crisis Kuhn zegt dat er een crisis in de wetenschap is als met het oude paradigma steeds meer kwesties niet kunnen worden opgelost, een nieuw paradigma is dan nodig, zoals het nieuwe paradigma van Copernicus of dat van Newton. Maar in Copernicus' tijd was men tevreden met de theorie van Ptolemaïos, in de tijd van Newton was men tevreden met Descartes' filosofie, er was geen crisis. Het is dus eerder zo dat het verschijnen van een nieuw paradigma een crisis veroorzaakt, omdat de nieuwe theorie strijdig met de aanvaarde. Zeker als de aanvaarde theorie ingebed is in de algemene wereldbeschouwing kan deze crisis diepgaand zijn. De crisis komt er pas als enige wetenschappers het nieuwe paradigma aanvaarden, niet als het geformuleerd was, dus de crisis rond Copernicus kwam pas na 1600 en niet al in 1543. Iets vergelijkbaars geldt voor de theorieën die Kepler en Newton formuleerden over de niet-eeenparige ellipsbeweging van de planeten en de zwaartekracht. Newton's theorie leidde ook tot een crisis in de wiskunde door de invoering van de integraal- en differentiaalrekening. * De uniekheid van de Copernicaanse revolutie Toen het Copernicanisme overwonnen had waren zeer vele vooronderstellingen gewijzigd, een revolutie. Er werd gebroken met het statische en logische karakter van de oude wetenschap, ze werd dynamisch en

historisch van aard, nog steeds. Na Copernicus is geen vergelijkbare breuk meer opgetreden.

6.2: Het herleiden van de ene theorie tot de andere

In de wetenschap kan een oude theorie tot een grensgeval van een nieuwe worden, c.q. worden geabsorbeert – in de filosofie niet. * De Newtoniaanse synthese Newton neemt in zijn werk de wetten van Kepler voor de planeetbeweging, Galilei's theorie over de projectielbeweging en nog veel meer op, en komt tot een synthese. Hetzelfde doet hij op het vlak van de optica. Het is een voltooiing van de Copernicaanse revolutie, de start van het Newtonisme. * Logica versus fysica Sommige filosofen betwijfelen de synthese van Newton, omdat dat deze in strijd zou zijn met de wetten van Galilei en Kepler. Dit komt omdat filosofen letten op de logische relatie tussen verschillende theorieën, en tegenstrijdigheden constateert. Maar natuurkundige constateren dat er naast de tegenstrijdigheden vooral overeenkomsten zijn. De argumenten van een fysicus zijn niet alleen logisch van aard. * Fysica versus logica De argumenten van een fysicus zijn altijd voorlopig en benaderend, en dus voor verbetering vatbaar. In die zin is voor fysici de de synthese van Newton niet in, maar verklaart, relatieveert en verdiept de synthese van Newton het werk van Galilei en Kepler. Het werk van Galilei en Kepler ging over bijzondere gevallen, was tot op zekere hoogte juist, en brengt hun werk met elkaar in verband en met een reeks nieuwe verschijnselen. De synthese van Newton leverde allerlei nieuwe ideeën op die vervolgens experimenteel en met waarnemingen konden worden getoetst. * Het correspondentieprincipe Het werk van Galilei is dus niet zo zeer weerlegd als opgenomen door Newton. Maar de verhouding tussen oude en nieuwe theorieën is niet altijd van deze aard, de zwaartekrachttheorie van Newton en de werveltheorien van Descartes botsen, omdat hun axioma's te ver van elkaar afwijken om overbrugt te worden in een synthese. Niels Bohr pastte het idee van een synthese toe op zijn eigen tijd. Volgens Bohr nam de quantummechanica de klassieke mechanica in zich op zonder conflict, zoals Newton's werk dat deed met Galilei en Kepler.

6.3: Het toetsen van theorieën

Het inductivisme meent dat natuurwetten worden gevonden uit waarnemingen – F. Bacon. Hume, Popper en andere deductivisten menen dat deductie de enige manier is om beweringen af te leiden, dit op basis van een stoutmoedige veronderstelling. Het logisch-empirisme is een variant van het inductivisme, en stelt dat theoretische uitspraken

kunnen worden geverifieerd met waarnemingsuitspraken die zonder enige theorie verkregen worden. * Falsificatie Volgens Popper kunnen algemene beweringen alleen gefalsificeerd worden, en moet de wetenschap falsifieerbare theorieën opstellen. Als een theorie gefalsificeerd is, moet men hem niet proberen te redden, volgens Popper, maar een nieuwe opstellen. * Weerlegging Als men zich strikt houdt aan dit falsificatienisme dan zullen wel alle empirische generalisaties weerlegt worden. Men mag er vanuit gaan dat de afwijkingen die men vindt een falsificatie betekenen als ze een patroon vormen, dus een andere algemene uitspraak opleveren dan de eerder aangenomen empirische generalisatie. * Het redden van een theorie Popper is het in feite me eens dat voor het weerleggen van een algemene uitspraak een 'basic statement' nodig is, maar dat is ook weer een algemene uitspraak die we dan moeten zoeken te falsifiëren, waardoor de eerdere stellingen ge-niet-falsificeerd wordt. Popper lost probleem dit niet op. * Popper en Galilei over Copernicus Popper prijst Galilei omdat deze Copernicus volgt. Maar Tycho Brahe en de Jezuïeten hadden Copernicus' theorie al weerlegt – de voorspelde, maar niet-waarneembare sterparallax. Volgens Popper hadden Copernicus en Galilei, die geen antwoord hadden op deze kwestie, de Copernicaanse theorie moeten loslaten, wat ze niet deden, ze probeerden de theorie te redden. Het zou een verarming zijn als ze de eis van Popper hadden opgevolgd, de wetenschap heeft conservatieven en progressieven nodig.

6.4: de subjectiviteit van een toets

Een toets kan getoetst worden door zijn resultaten te vergelijken met onafhankelijk van elders verkregen beweringen. * Waarnemingen als test voor een theorie Zo kunnen b.v. berekeningen over de positie van een planeet worden vergeleken met waarnemingen van die planeet. Er moet dan wel een zekere overeenstemming tussen de waarnemingen en de theorie bestaan over wat nu bekeken en berekend wordt. * De ene theorie vergelijken met de andere Als er twee concurrerende theorieën zijn dan kiest men voor de ene of de andere, b.v. op basis van verankering met andere theorieën of op basis van probleem-generend vermogen. * Empirisme Popper en de empiristen menen dat het toetsen van theorieën strikt objectief is. Maar het al of niet aanvaarden van een toets heeft ook subjectieve kanten. De theorie en de toets bevatten altijd beide idealisaties en onnauwkeurigheden, dat is onvermijdelijk. Strikt genomen is dan het testen van een theorie daarom onmogelijk. * De consequenties van een negatief

toetsresultaat Als de oplossingen die een theorie geeft niet passen met onafhankelijk verkregen beweringen is voor Popper de kous af, de theorie moet worden opgegeven. Als de theorie in kwestie al lang bestaat en veel problemen heeft opgelost gebeurt dat opgeven niet zo maar. Eerst wordt gekeken of de toets zelf geen fouten maakte, of de onafhankelijk verkregen beweringen wel kloppen, of de vooronderstellingen in de theorie wel juist waren, of die vooronderstellingen wel juist toegepast zijn, etc. Als dit alles niets oplevert worden in de regel ad-hoc hypothesen opgesteld om de theorie te redden. Zelfs als dat niet helpt wordt de theorie niet opgegeven, tenzij er een alternatief is. Maar ook de overgang naar een alternatief is niet een strikt objectief gebeuren, zoals men kan zien aan de overgang van de theorie van Ptolemaios naar die van Copernicus of die van de Cartesiaanse fysica naar de Newtoniaanse.

6.5: Waarneming en experiment

Gegevens spelen zowel een rol als input en als output van een theorie, en ook in het ontwerpen van theorieën. * Ervaring Ervaring is het proces van het opslaan van gegevens in ons geheugen, theorieën doen daar vaak een beroep op: in de vorm van common sense. De filosofie van zowel Aristoteles als Descartes is grotendeels gebaseerd op een beroep op dit gezonde verstand, dat zowel zintuigelijk (waarnemingen) als inzichtelijk (logisch) moet zijn. Filosofie haalt voor hen, en voor Plato, naar boven wat sluimerend al in de ervaring aanwezig is. * Verbeelding De verbeelding bouwt voort op ervaring maar gaat daar bovenuit. Theorieën zijn vaak door vereenvoudiging voortgebrachte versies van de ervaring. Zo is het afleiden van een verband uit een grafiek gebaseerd op de ervaring dat afwijkingen van dat verband veroorzaakt zijn door meetfouten. * Waarneming Het verschil tussen ervaring en waarneming is dat de laatste bewust, aandachtelijk en gericht is en beperkt tot een segment van de theoretisch begrepen werkelijkheid. Dat wil zeggen dat de theorie de aandacht gaat leiden. De prijs is dat we door te focussen op een deel van de werkelijkheid het contact met de rest ervan verliezen, zeker als we ook nog instrumenten gebruiken, er treedt dan fragmentatie van de werkelijkheid op. Daarom speelde bij Aristoteles waarneming geen grote rol, behalve in de biologie en de astronomie. Een specifieke vorm van waarneming is meten, m.b.v. instrumenten en schalen. Ook het aanbrengen van correcties van metingen berust op een theorie. Als zo'n theorie ontbreekt worden de waarnemingen onbetrouwbaar. Zo

verwierpen velen de astronomische ontdekkingen die Galilei met de telescoop deed, omdat de werking van de telescoop niet begrepen werd, terwijl telescopen tal van afwijkingen veroorzaakten. Waarnemingen en theorie zijn dus sterk met elkaar verbonden. * Experiment Waarnemingen grijpen niet in op de werkelijkheid, experimenten wel, ze veranderen de werkelijkheid. Experimenten idealiseren, schakelen uitwendige invloeden zo veel mogelijk uit. Ook de interpretatie is sterk geïdealiseerd, men kiest welke details men wel of niet weglaat. In de Oudheid en Middeleeuwen speelden waarnemingen een kleine rol, maar werden experimenten afgewezen. Alleen medici en alchemisten deden experimenten met praktische doelen. Het kunstmatige van experimenten maakte deze verdacht als kennisbron. Het kunstmatige werd niet als deel van de fysica gezien, maar als deel van de mechanica = het ambacht. Daarom kwam de Middeleeuwse techniek wel tot bloei, maar de wetenschap niet. In de 17^e eeuw werden experimenten wel geaccepteerd door degenen die een mechanicistisch beeld aanhingen, maar er was nog geen eensluitende visie op de verhouding experiment-theorie. Bij F. Bacon heeft het experiment een heuristische functie, het helpt bij het vinden van een theorie. Bij Galilei heeft het experiment de rol om gegevens te leveren voor het testen van de theorie. Bij Descartes, die meer een rationalist is, moet het experiment inputgegevens leveren voor de theorie. Filosofen verwerpen de ideeën van Descartes, accepteren die van Galilei, negeren die van Descartes, wetenschappers passen ze alle 3 toe.

6.6: Objectiviteit

Waarnemingen en experimenten moeten altijd geïnterpreteerd worden, er is geen automatische – mechanische relatie tussen theorie en waarneming of experiment. * De objectiviteit van gegevens De gegevens moeten objectief zijn. De logisch-empiristen meenden dat men waarnemingsresultaten volledig onafhankelijk van enige theorie kan verkrijgen. Moderne filosofen beweren het andere uiterste: elk waarnemingsresultaat is volledig door de theorie bepaald. De tussenpositie is die van de meeste wetenschappers. Waarnemingen hebben een zekere autonomie, net als andere beweringen. Maar ze moeten wel steeds onderzocht worden op theoretische vooronderstellingen. Waarnemingsresultaten kunnen door iedereen gebruikt worden wie dat wil, zo is er een taakverdeling ontstaan tussen experimentele en theoretische fysici. Theorieën kunnen het beste getest worden naarmate ze meer verweven zijn met andere theorieën. * De objectiviteit van

een meting De objectiviteit van metingen kan groter zijn dan die van waarnemingen, maar vereist zowel instrumenten als een sociale organisatie van afspraken. Deze sociale organisatie ontbrak in de Middeleeuwen, zo had elke stad zijn eigen gewichten en maten. * Reproduceerbaarheid De wetenschap heeft een criterium voor de objectiviteit van experimenten, deze moeten reproduceerbaar zijn, onafhankelijk van exterene relaties van tijd, plaats en beweging. Binnen het experiment mogen de interacties wel afhangen van de verstreken tijd, de relatieve plaats en beweging. De klassieke en middeleeuwse theorieën gaven alles zijn natuurlijke (absolute) plaats en hadden geen belangstelling voor relativiteit. Galilei voerde het relativiteitsbegrip in, Huygens ontwikkelde het verder, Leibniz stelde als eerste dat ruimte en plaats relaties aangeven. * De objectieve gelding van natuurwetten De natuurwetenschap gaat er vanuit dat natuurwetten voor iedereen, altijd en overal gelden. De Copernicaanse revolutie stond aan de grondslag van deze ideeën over natuurwetten. * Onpartijdigheid Door de oprichting van tijdschriften en academisch ontstond er een grondslag voor een inter-wetenschappelijk stelsel van objectiviteit, in de zin van onpartijdigheid.

Hf. 7: Heuristiek

7.1: Inductie

Hoe worden theorieën gevonden? Volgens Aristoteles ontspringen deze aan de ervaring, en ziet het verstand hun evidentie in. F. Bacon legt de bron van alle kennis in waarneming en experiment, door inductie worden de gegevens gegeneraliseerd. Descartes meent dat wetten uit principes worden afgeleid. Alle drie worden deze meningen nu verworpen, omdat de naar volstrekt zekere kennis streven. Popper zoekt de bron van wetten vooral in de verbeelding. * Patroonherkenning Inductie is gebaseerd op herkennen van patronen in waarnemingsresultaten, waarbij kennis van eerdere situaties sterk meespeelt. Deze methode is niet onfeilbaar, zelfs niet als de metingen steeds herhaald worden. Popper meent dat het andersom werkt, eerst veronderstelt men een bepaalde wet, die men dan probeert te falsifiëren door metingen te doen. Volgens Popper valt alleen het pogen tot generaliseren en falsifiëren onder rationele wetenschap, alles wat er aan vooraf gaat niet. * Kepler en Newton Popper doet alsof Kepler eerst zijn wetten verzong, en daarna pas metingen er bij haalde. In werkelijkheid probeerde hij de metingen en de theorie van Copernicus

met elkaar te verzoenen, maar dat mislukte. Hij stelde een nieuwe theorie op, op basis van patroonherkenning: de planeten bewegen in een niet-eenparige ellipsvormige baan om de zon. Hij gebruikte wel een stoutmoedige veronderstelling, dat de banen in verband te brengen zijn met de Platonische lichamen. Hoewel dat gefalsificeerd werd gaf hij het idee nooit op. Popper noemt ook Newton's zwaartekrachtwet een stoutmoedige veronderstelling, maar Newton stelde zelf dat hij zijn wet had ontdekt op basis van het bestuderen van de verschijnselen i.t.t. Hooke die met dezelfde wet kwam door 'raden'. * Inductie en deductie De wetten van Kepler zijn empirische generalisaties, gevonden op basis van inductie, patroonherkenning. Copernicus, Ptolemaïos gingen uit van vooronderstellingen die voortkwamen uit een filosofie, Newton van mathematische analyse – beide deductie. Beide behoren tot de logica, al wijzen Popper c.s. de inductie af. * Naïef inductivisme Naïeve inductivisten denken dat ze empirische generalisaties kunnen maken zonder theoretische vooronderstellingen te maken, maar dat is onjuist. Maar ook empirische generalisaties hebben een zekere autonomie t.o.v. hun theoretische achtergrond. Kepler's wetten staan in feite los van de planeetbeweging-theorieën van Ptolemaïos, Copernicus en Brahe.

7.2: De methode van de successieve approximatie Heuristiek behoorde tot voor kort niet tot de wetenschapsfilosofie. De logisch-empiristen en Popper rekenden alleen de 'context of justification', maar niet de 'context of discovery' tot het terrein van de filosofie. Nieuwere filosofen denken er anders over: Kuhn, Hanson, Feyerabend, Lakatos, Laudan. * Lakatos' methodologie van wetenschappelijke onderzoeksprogramma's Lakatos probeerde de visie van Popper en Kuhn te synthetiseren, en probeerde een criterium te vinden om te kiezen tussen verschillende onderzoeksprogramma's, geen theorie maar een reeks van theorieën met een harde kern. Elk onderzoeksprogramma heeft zelfs een negatieve heuristiek, hoe men de harde kern moet verdedigen, maar ook een positieve heuristiek, hoe men nieuwe problemen kan vinden en oplossen. Lakatos gaat er vanuit, i.t.t. Kuhn, dat er meestal in een fase van normale wetenschap meerdere programma's tegelijk actief zijn. Een programma is progressief als vooral gebruik wordt gemaakt van positieve heuristiek, degeneratief als het vooral gebruik maakt van negatieve heuristiek. * Newton's onderzoeksprogramma Lakatos heeft het researchprogramma van Newton bestudeerd. Hij komt tot de conclusie dat er Newton een reeks

van theorieën, of liever modellen, opstelde om een centraal probleem aan te vatten: de bewegingen binnen het zonstelsel verklaren. Daarbinnen varieren de vooronderstellingen en de problemen, maar blijft een harde kern steeds behouden: de gravitatiewet, de 3 bewegingswetten, de zwaartekracht als de drijvende kracht. * Modellen De functie van modellen is om een oplosbaar probleem te formuleren, om zo de theorie te testen op wat er mee mogelijk is. Dan vervangt men het door een ingewikkelder model, dat meer problemen moet kunnen oplossen, etc. Deze methode heet: successieve approximatie: een reeks modellen die de werkelijkheid steeds dichterbij moet benaderen. * Falsificatie Lakatos' stelt terecht dat het weinig zin heeft een model te falsifiëren, als men het invoert weet men al dat het feilbaar is. Wel moet het model passen bij de in de theorie aangenomen axioma's, en ook zo goed mogelijk bij de reeds bekende empirische generalisaties. * De concurrentie Lakatos moet aantonen dat de Newtoniaanse concurrent: het Cartesiaanse programma degenererde, dat is nogal moeilijk, dit programma hield zich met andere zaken bezig dan het Newtoniaanse: resp. starre lichamen / hydrodynamica en zwaartekracht / planeetbewegingen. Zinvoller is het twee achtereenvolgende programma's te vergelijken: het Copernicaanse en het Newtoniaanse. * Het Copernicaanse onderzoeksprogramma Bij dit programma was het eerste model meteen ook het laatste. Toen er problemen kwamen moesten er ad hoc hypothesen e.d. worden ingevoerd om de zaak te redden, het programma degenererde. In Galilei's "Dialog" (1632) heeft Galilei het alleen over het eerste model, niet over het 'redden'. Ook Kepler kwam niet verder met het Copernicaanse model en gaf het op, waarop Galilei c.s. hem negeerden. Pas Newton ontwikkelde een nieuw programma, waarbij hij ook ontwikkelingen vanuit de mechanica in zijn synthese opnam.

7.3: De methode van de analogie

Er bestaat ook een methode die omgekeerd werkt vergeleken met de methode van de successieve approximatie. * Specificatie en abstractie De reeks van modellen die in de studie van de structuur van de materie wordt gebruikt werkt steeds meer specificerend. De te benaderen structuur wordt steeds beter benaderd, maar het model kan steeds minder breed worden toegepast. Als we naar algemene wetten zoeken gaat het precies andersom, dan wordt steeds meer afgezien van bijzondere omstandigheden, steeds meer gezocht naar algemeen-geldende relaties. * Analyse en synthese Het onderzoek naar de structuur van de

materie werkt met synthese: steeds meer bijzonderheden uit allerlei takken van wetenschap worden er in verwerkt. Het zoeken naar algemene wetten werkt met analyse, wordt steeds abstracter. * Onherleidbare verklaringsprincipes Er is * nog niet een zo'n principe gevonden, vandaar dat er met meerdere gewerkt wordt. Het numerieke aspect (Pythagoras - alles bestaat uit getallen); het ruimtelijke aspect (Plato); de beweging (Copernicanen); de wisselwerking (Newton). Deze principes zijn abstract, en kunnen geen concrete structuren definiëren, tenzij er er gespecificeerd wordt. * Analogie Het zoeken van analogieën wordt vaak gebruikt als men algemene wetten zoekt in concrete situaties. Zo gebruikt Galilei het voorbeeld van het lopen op varend schip om aan te tonen dat men van de beweging van de aarde niets merkt maar dat die toch bestaat. Ook de bewegingswetten van Newton kunnen niet experimenteel bewezen worden, maar ze werken in zeer veel (analoge) situaties en worden daarom aanvaard. Deze analogiemethode vereist meer fantasie dan de methode van de successieve approximatie, en is moeilijker te traceren. * Referentiekader Het krachtbegrip is niet alleen een analogie, die het mogelijk maakt overeenkomstige wijze te spreken over zwaarte, magnetisme, electriciteit. Het krachtsbegrip maakt het ook mogelijk deze verschijnselen kwantitatief met elkaar te vergelijken. Getallen, maar ook ruimte en tijd geven een referentiekader voor de gebeurtenissen. Synthese en analyse, specificatie en abstractie vullen elkaar aan – net als het onderzoek naar de structuur van de materie en het zoeken naar natuurwetten dat doen.

7.4: De methode van de mathematisering

De Copernicanen brachten de mechanica in verband met de wiskunde. Noch Popper, noch Lakatos besteden aandacht aan het feit dat Newton de natuurkundige zwaartekrachttheorie langs wiskundige weg vond. * De omgekeerde-kwadraatwet Newton nam aan dat er maar een kracht in het zonnestelsel werkte: de zwaartekracht, en dat deze naar het centrum gericht is (afgeleid uit Kepler's 2^e wet), en dat de banen van de planeten vele vormen kunnen hebben (cirkels, ellipsen). M.b.v. de 3^e wet van Kepler en Huygens formule voor de centripetale versnelling toont Newton aan dat de centripetale versnelling omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de straal van de baan. * De massa's Vervolgens toont Newton aan, o.a. met de 2^e bewegingswet ($F=ma$) en de 1^e bewegingswet (actie = -reactie) dat de kracht waarmee de zon en een planeet elkaar aantrekken evenredig is met de massa van de zon, evenredig

is met de massa van de planeet, en omgekeerd evenredig is met het kwadraat van hun afstand. * Generalisatie Vervolgens generaliseert Newton deze wet, gevonden voor geïdealiseerde gevallen, tot alle soorten van zwaartekrachtbewegingen. Volgens Lakatos is alleen het proces van generalisatie dat volgt na de ontdekking logisch en rationeel. Maar Newton ontdekt zijn wetten wel degelijk op logische wijze, zij het niet volgens de successieve approximatie methode die tot Lakatos tot standaardmethode is verheven. * Deductieve kritiek Ook de deductivisten kritiseren Newton's afleiding van boven, omdat hij uitgaat van idealisering. Dit is niet erg serieus, ook de successieve approximatie methode doet dat. * Trage-en zware massa Het is een fabel dat Newton een onderscheid zou hebben gemaakt tussen trage- en zware massa. Wel onderscheidde hij massa en gewicht. Deze fabel is opgekomen nadat de omgekeerde kwadratenwet varianten kreeg voor de electriciteit en het magnetisme. Daarbij ziet men lading en poolsterkte als de bron van electriciteit en magnetisme, en ging men massa als bron van zwaarte zien, hoewel dat ingaat tegen de afleiding van de zwaartekrachtwet.

7.5: De functie van de techniek

De wiskunde fundeert de natuurwetenschap, beide profiteren daarvan. In de 17^e eeuwen waren wetenschappers vaak op beide terreinen actief. De natuurkunde fundeert weer de scheikunde. De toepassing vind de natuurkunde in de techniek, maar pas in de 17^e eeuw vinden ze elkaar. * De waarnemingen van Tycho Brahe Men kan geen wiskunde toepassen in de natuurkunde als er geen te meten grootheden geformuleerd zijn. Tycho Brahe verbeterde de astronomische meetmethoden, hij richtte een model-observatorium op, en was een bekwaam organisator en waarnemer. Zijn metingen waren zowel nauwkeurig als systematischer dan voorheen. * De telescoop Galilei vond de telescoop niet uit, maar gebruikte hem wel als eerste om de hemel te bestuderen. Hij werd daarin gevolgd door Huygens, Cassini, Campani e.a. Verbeteringen waren o.a. de micrometer en de kruisdraden, plus betere klokken – Huygens. * De heuristische waarde van nauwkeurige metingen Kepler en Newton zouden nooit hun wetten hebben gevonden zonder de nauwkeurige metingen van Tycho. Newton en Galilei deden zelf ook metingen: aan slingers resp. hellende vlakken. Romer en Huygens maten de lichtsnelheid, Pascal meette de luchtdruk met barometers. Richter mat als eerste dat het gewicht van een massa niet overal op aarde hetzelfde is. * Methodenpluralisme Aangevoerd is dat de

eenzijdige methoden van de logisch-empiristen en Popper voor het vinden van wetten en theorieën pover zijn. Feyerabend wees er op dat wetenschappers van allerlei methoden gebruiken, hij sprak zelfs van anarchie, maar was niet duidelijk over het doel van de wetenschap. Van anarchie is geen sprake, maar wel van meerdere methoden: analyse en synthese zijn complementair, evenals de wiskundige en technische methoden. De opvattingen van Popper, Lakatos e.a. gaan er vanuit dat wetenschap een lineair proces is, maar in werkelijkheid is dat niet zo. De wetenschap gebruikt zoals gezegd meerdere methoden. Er zijn er vaak meerdere onderzoeksprogramma's die afwisselend progressief en degererend kunnen zijn, net naar gelang welk verschijnsel wordt onderzocht. Het lijkt er op dat geen verklaringsprincipe en geen heuristische methode zalig makend is, en men ze alle moet kennen en gebruiken.

Hf 8: Wetenschap en samenleving

8.1: Communicatie

Taal speelt een belangrijke rol in theoretisch met elkaar omgaan. * *Is wetenschap taal?* Uitlegkunde, heuristiek, is een talige bezigheid. De logisch-positivisten vonden dat de wetenschap een eigen taal moest ontwikkelen, een formele taal. Naast een logische taal, zou er een empirische taal en een theoretische taal moeten zijn. Veel discussies gaan erover of men theoretische taal kan baseren op waarnemingstaal. Nu kijken we er naar hoe de taal in de 17^e eeuwse wetenschap functioneerde. * *Didaktiek* De functie van een theorie is debat, maar men moet het eens zijn over de uitgangspunten anders is de discussie onmogelijk. De taal heeft als functie om helderheid te geven, maar taal-helderheid is niet hetzelfde als argumentatie. Vaak duurt het zeer lang voor een theorie maximaal helder is geworden, zoals Newton's mechanica of het begrip kracht. Om theorieën voor verschillende mensen zijn vaak verschillende manieren nodig. Theorieën moeten ook geoefend worden, voor een groot deel komt dat neer op taalbeheersing. In de Middeleeuwen was argumenteren gelijk aan autoriteiten citeren. In de 17^e eeuw verandert dit, Galilei argumenteert met nieuwe argumenten, deels ontleend aan waarnemingen en experimenten, deels aan het gezond verstand. Experimenten ondersteunen daarbij het betoog net zo goed als heldere taal. * *Polemiek* Taal heeft een functie, ook als men het niet met elkaar eens is. Tegenwoordig staat de polemiek niet meer zo op de voorgrond, maar in de 17^e eeuw was dat wel zo. In de polemiek worden zaken

vaak veel eenvoudiger voorgesteld dan het in werkelijkheid is, en worden de standpunten en bedoelingen van de ander in twijfel gesteld. Zo bevat het eerste gedeelte van Copernicus' "De Revolutionibus" veel propaganda. Newton zet zich in "Principia" heftig af tegen Descartes' werveltheorie en tegen het feit dat Descartes zegt dat men fysica wiskundig moet bedrijven, maar dat volgens Newton niet doet. * *Galilei's polemiek* Galilei tracht regelmatig de standpunten en argumentatiemethoden van zijn tegenstanders belachelijk te maken. Tycho had aangetoond dat kometen zich op grotere afstand dan de maan van de aarde af bevinden. Galilei gebruikte dat om Aristoteles idee dat de hemelen onveranderlijk zijn aan te vallen. Het optreden van een aantal nova versterkte het idee dat Aristoteles ongelijk had. Vervolgens botste Galilei (rond 1618) met de Jezuiten-astronomen, die Tycho's systeem overnamen, terwijl Galilei Copernicus' systeem aanhing. Galilei liet daarop een geschrift verschijnen onder de naam van een leerling, maar dit werd ontmaskerd. Veel later schreef hij opnieuw over de kwestie, in "Il Saffiatiore" (1623), op zo'n manier dat hij vijanden maakte van de Jezuiten. * *Galilei's Dialoog en Discorsi* Op advies van zijn vriend, die paus was, schreef Galilei "Dialoog" (1632). Afsproken was daarin de systemen van Ptolemaios en Copernicus onpartijdig uiteen te zetten. Galilei deed dat niet helemaal, drie van de vier personen in het boek kiezen de kant van Copernicus. De keuze van de naam voor de verdediger van Aristoteles (en niet Ptolemaios), Simplicius, gaf ook problemen. Ook werd een concluderende uitspraak van de paus, die Galilei zou opnemen, in de mond van de steeds verliezende Simplicius gelegd. Tycho werd al helemaal niet vermeld, tot ergernis van de Jezuiten. Het boek is dus propaganda, ook al beweert Galilei van niet. De "Discorsi" is minder propagandistisch, gaat dan ook niet over astronomie, maar over mechanica. * *Popularisatie* Wetenschappelijke communicatie vindt plaats op 3 niveau's: tussen specialisten; tussen specialisten en niet-specialisten; tussen wetenschappers en niet-wetenschappers. Als het middelste niveau niet goed functioneert dan dreigt er stagnatie te gaan optreden. In de 17^e eeuw verandert de communicatie. Op hoogste niveau blijft die plaatsvinden in het latijn en d.m.v. boeken en brieven, maar veel meer dan eerst. Op het middenniveau is er een nieuwigheid, het wetenschappelijke tijdschrift. Op derde niveau werden er populaire werken geschreven door vooral Galilei en Stevin en verder wetenschappers van het 2^e garnituur. *

Wiskunde als taal van de natuurkunde De uitspraak dat de wiskunde de taal van de natuur is in feite Platonistisch. In feite zit de wiskunde intrinsiek deel van de natuurwetenschap, in de vorm van vooronderstellingen. Het invoeren van algebraïsche tekens, decimale getallen en formules toont hoe belangrijk taalgebruik kan zijn.

8.2: De organisatie van de wetenschap

In de Middeleeuwen bestond er alleen de universiteit als wetenschappelijke gemeenschap. * De achteruitgang van de universiteiten De Copernicaanse revolutie speelde zich voor een belangrijk deel buiten de universiteit af, het waren bolwerken van Aristotelisch conservatisme. Als de leiders van de Copernicaanse revolutie al aan de universiteit verbonden waren, deden ze hun beste werk in de regel daarbuiten. * De instituten Het oudste wetenschappelijke instituut is het observatorium van Tycho Brahe, eerst in Denemarken, later in Duitsland. In deze observatoria werd behalve aan astronomie ook al alchemie gewerkt. Dergelijke observatoria verschenen ook in Parijs (Cassini, Romer) en Greenwich (Flamsteed, Halley). * De academies De academies hadden als doel wetenschappelijke informatie te verspreiden, en waren anti-Aristotelisch. Voorbeelden: Academia de Lincei (Rome, 1603, o.a. Galilei); Royal Society (London, 1660, Boyle, Hooke, Newton); Academies des Sciences (Parijs, o.a. Huygens). Er zaten ook financiële redenen achter de oprichting: waarnemen en experimenteren werd te duur voor individuen. * De kritische functie van de wetenschappelijke gemeenschap Ook in de wetenschap moeten subjectieve beslissingen worden genomen: over in hoeverre de betrouwbaarheid van de gegevens, de relevantie van de problemen, de oplossing van de problemen, de voldoendeheid van het bewijs, de te volgen heuristische, etc. bevredigend is. Deels neemt elke wetenschapper die zelf, deels worden die gedaan door b.v. de tijdschrift-redacties, instellingen die subsidies moet geven, etc.

8.3: De emancipatie van de wetenschap

Eerder hadden we al over de emancipatie van de wetenschap t.o.v. de wijsbegeerte, nu over die t.o.v. de kerk en de staat. De staat oefende in de Middeleeuwen en 16/17^e eeuw weinig invloed op de wetenschap uit, dat komt pas in de 19/20^e eeuw. * Interne en externe wetenschapsgeschiedenis De aanhangers van de interne wetenschapsgeschiedenis menen dat de geschiedenis van de wetenschap onafhankelijk is van de rest van de geschiedenis, en dat alleen moeten letten op de rationale elementen. De aanhangers van de externe wetenschapsgeschiedenis menen dat de weten-

schap onderdeel is van het maatschappelijk proces en social-economisch factoren belangrijk of zelfs doorslaggevend zijn. De waarheid ligt ergens in het midden, de maatschappij beïnvloedt de wetenschap, maar theorieën genereren hun eigen problemen en geven de wetenschap een interne dynamiek. Ook oefent de wetenschap invloed terug uit op de maatschappij, vooral in onze tijd is er dus sprake van een wisselwerking. In de Middeleeuwen was dat anders, pogingen van Marxisten om de opkomst van de Copernicaanse revolutie te verklaren met de opkomst van het bourgeois-kapitalisme of de reformatie zijn niet overtuigend. Bij de opkomst van de natuurwetenschap waren vier sociale groepen betrokken: de hoogleraren aan de universiteit, vrijwel steeds in de conservatieve en tegenwerkende rol; de humanisten, die de taal wilden hervormen, en het antieke erfgoed zuiveren van Middeleeuwse zaken, zij waren zowel anti-Aristoteliaans als anti-wetenschappelijk; kunstenaars-ingenieurs, zij probeerden los van de wetenschap eerst de kunst en later de techniek op intellectueel peil te brengen, zij waren niet-universitair, schreven in de volkstaal en droegen bij aan de wetenschap; de theologen, zij proberen via de macht van de kerk de wetenschap te beïnvloeden. * De kerk en de natuurwetenschap Het christelijk geloof beïnvloedde de middeleeuwse wetenschap, maar de kerk oefenden toen weinig directe invloed op de wetenschap uit. Ook in de 16^e en 17^e eeuw was er een behoorlijke tolerantie zowel in de protestante als de katholieke landen voor de wetenschappers, meer dan voor anderen. Het was zelfs mogelijk dat protestante wetenschappers in dienst waren van katholieke heersers of andersom. Ook de hervormers Luther en Calvijn lieten zich zelden of niet uit over wetenschappelijke kwesties, zoals de controverse over het Copernicaanse stelsel. De protestantse theologen van die tijd gingen er van uit dat de Bijbel zich niet leent voor het verschaffen van gegevens over wetenschappelijke theorieën, geschreven is voor gewone mensen en daarom aansluit bij de dagelijkse ervaring – zoals Calvijn benadrukte. De reformatie gaf veel meer gezag aan de Bijbel dan de katholieken tot dan toe hadden gedaan, want bij hen speelde het gezag van de traditie – kerk – een zeer grote rol. Om de reformatie de wint uit de zeilen te nemen gingen in de contra-reformatie de Jezuïeten meer gezag aan de Bijbel toekennen, ook op het vlak van wetenschappelijke theorieën. Galilei viel Aristoteles aan, die deel uit maakte van de katholieke traditie, en een strikte interpretatie van de Bijbel, en kwam daardoor in conflict met de kerk.

Daarnaast interpreteerde Galilei zelf de Bijbel, wat protestants was, terwijl de katholieke kerk het interpreteren van de Bijbel als haar monopolie zag. * *Galilei en de kerk* Voor 1610 manifesteerde Galilei zich niet als Copernicaan. De Jezuitische kardinaal Bellarminus stelde dat het toegestaan was om de beweging van de aarde als hypothese te onderzoeken, maar niet om haar voor waar aan te nemen, omdat, aantoonde, in de Bijbel staat en de kerkvaders schreven dat de aarde stil staat. Galilei reageerde met het stellen dat de Bijbel niet pretendeert wetenschappelijke uitspaken te doen, en zich aanpast aan het bevattingsvermogen van haar lezers. Dus claimt hij de prioriteit van de wetenschap boven de theologie als het over de natuur gaat. Zo kwam Galilei zeer ver van het idee van de dubbele waarheid (Aquino) te staan en zeer dicht bij Calvin. De Inquisitie door Foscarini, die een pro-Copernicus boek had geschreven, aan te pakken, maar liet Galilei buiten schot, hij kreeg slechts een mondelinge waarschuwing van Bellarminus. Daarna, het bovenstaande vond plaats in 1616, hield Galilei zich lang koest, verschool zich achter een leerling, en keerde zich pas in 1623 openlijk tegen de Jezuiten in "Il Saggiatore". Ook in 1623 werd zijn vriend Barnberini paus, en deze moedigde hem aan een dialoog te schrijven over de systemen van Copernicus en Ptolemaïes. Het had een onpartijdig boek moeten worden, maar Galilei koos partij voor Copernicus. Aanvankelijk werd het boek toegelaten, met een nieuwe titel, maar later alsnog verboden. Vervolgens werd Galilei veroordeeld, mede omdat de paus persoonlijk gegriefd was. * *Conclusie* Galilei was geen martelaar, huisarrest was de straf. Zelf was hij zeer oncontactisch geweest in zijn uitlatingen. Veel gevolgen had het niet, de protestanten en de meeste katholieken trokken zich niets aan van de veroordeling van het Copernicanisme, alleen de Jezuiten hadden een probleem, zoals Descartes die besloot zijn Copernicaanse boek "Le Monde" in te trekken. De katholieke kerk staat sindsdien bekend als een vijand van de wetenschap, vooral in de 19^e eeuw is dat door antiklerikalen sterk aangezet. Maar helemaal terecht is dit niet, in het algemeen stond de kerk positief tegenover de wetenschap, de uitzonderingen zijn de houding t.o.v. Galilei en t.o.v. de evolutietheorie.

8.4: verantwoordelijkheid v.d. wetenschapper

** Verantwoordelijkheid niet versluieren*

Verantwoordelijkheid kan alleen gedragen worden door individuen of door instituten (zoals de staat). De wetenschap is geen van beide, en de wetenschappelijke verenigingen ook niet. Door

de wetenschap verantwoordelijkheid toe te schuiven blijven de werkelijk verantwoordelijken buiten schot. Hetzelfde geldt voor het de schuld geven aan: het kapitaal, de economie, de communisten, de maatschappij. * *De beperktheid van de wetenschap* Wetenschap is niet almachtig, en moet zich beperken tot het ontsluiten van wetmatigheden, die echter steeds moeten worden getoetst aan het individuele, maat dat kan niet meer zijn dan een steekproef. * *Het publieke karakter van de wetenschap* De output van de wetenschap zijn wetmatigheden, die beschikbaar moeten zijn voor iedereen. Een wetenschapper moet publiceren als dat kan, maar anderen hebben daar ook een stem in. De wetenschapper is er niet verantwoordelijk voor wat er met de gepubliceerde kennis gedaan wordt door anderen. Degenen die het eventueel misbruiken verschuilen zich achter de wetenschap, die overal verantwoordelijk voor wordt gemaakt. * *De wetenschap als deskundige* Ook wetenschappers zijn mensen en niet alleenmaar-wetenschapper, en heeft dezelfde verantwoordelijkheid als anderen. Verder wordt er voortdurend advies gevraagd aan wetenschappers, een wetenschapper zoekt kennis, een deskundige wordt heeft kennis waarmee hij anderen kan helpen. Vaak worden deze twee zaken door elkaar gehaald, wetenschappers zijn niet perse deskundige en andersom. De wetenschapper van tegenwoordig is een specialist, een deskundige moet ook oog hebben voor het algemene. Deskundigen moeten daarom minder specialist zijn en meer-algemeen dan wetenschappers dat moeten zijn. * *Natuurwetenschap en techniek* De techniek is tegenwoordig een toepassing van de wetenschap geworden, en ze wil concrete problemen oplossen, maar de wetenschap wil algemene wetmatigheden vinden. De steun die regeringen geven aan de wetenschap wordt veelal gemotiveerd door e.v.t. toepassingen. Maar de wetenschap is ook een algemene menselijke culturele activiteit. * *En toch beweegt zij zich* Galilei moest als straf zijn Copernicaanse opvattingen herroepen. Dat dit slechts afgedwongen en schijnheilig is, dat is Galilei niet aan te rekenen. Zijn "Dialoog" verdedigt het Copernicanisme, maar zijn "Discorsi" is minstens zo belangrijk. De "Discorsi" bevat Galilei's opvattingen over de mechanica. Beide werken circuleerden in de wetenschappelijke wereld. Met name op basis van "Discorsi" kon Newton (in 1687) de Copernicaanse Revolutie voltooiën, daar het een mechanica bevatte die ontbrak bij Copernicus c.s.

Samenvatting: Richard (1984 / 2009)