



UNIVERSITEIT GENT

FACULTEIT LETTEREN EN

WIJSBEGEERTE

ACADEMIEJAAR 2006-2007

Het antropisch principe in de kosmologie

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van:

licentiaat in de Wijsbegeerte

Mathieu Beirlaen

Onder leiding van

Prof. dr. Philip Van Loocke

Woord vooraf

Ik maak hier graag van de gelegenheid gebruik om mijn promotor, Prof. dr. Philip Van Looke, te bedanken voor de mogelijkheid om dit onderwerp te bestuderen en voor het verlenen van het nodige studiemateriaal.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	i
Inhoudsopgave	ii
Lijst van gebruikte afkortingen.....	iv
Lijst van gebruikte figuren	iv
0. Introductie: constanten in de natuur en kosmische toevalligheden	1
1. Het antropisch principe: formuleringen en terminologie.....	7
1.1. Selectie-effecten en het antropisch principe bij Brandon Carter.....	7
1.2. Fine-tuning of fijnafstemming.....	10
1.3. De termen ‘antropisch’ en ‘principe’	11
1.4. Verschillende versies van het principe	12
2. Teleologie, designargumenten en het antropisch principe: een korte geschiedenis.	17
2.1. Van de antieken tot de modernen	17
2.1.1. De antieken	18
2.1.2. De middeleeuwen	20
2.1.3. Een tijd van ontdekkingen	21
2.1.4. De mechanische wereld	22
2.1.5. Kritische ontwikkelingen.....	24
2.1.6. Design na Darwin?	26
2.2. Van designargumenten naar het antropisch principe	28
2.3. Teleologisch denken in de twintigste eeuw.....	29
2.3.1. Teleologie in de biologie	29
2.3.2. Henderson	31
2.3.3. Disteleologie en de Hittedood	32
2.3.4. Het antropisch principe en de richting van de tijd	33
2.3.5. Teleologie en de moderne ‘empirische’ theologie: F.R. Tennant.....	34
2.3.6. Grote Getallen	35
2.3.7. De hypothese van Dirac.....	36
2.3.8. Dicke en het ontstaan van het moderne antropisch principe.....	38
3. Het antropisch principe in de huidige wetenschappelijke context	41
3.1. Kwantummechanica	41
3.2. Inflatie	44
3.2.1. Het inflatiemodel.....	44

3.2.2.	Eeuwige inflatie	45
3.3.	Het multiversum	47
3.3.1.	Geen nieuw idee.....	47
3.3.2.	Types multiversum	48
3.3.3.	Kritiek op het multiversum	50
3.4.	Snaartheorie	53
3.5.	Het antropisch principe nu	56
3.5.1.	Brandon Carter	58
3.5.2.	Kwantummechanica, John Wheeler en het PAP	60
3.5.3.	De waarnemer als deelnemer bij Stephen Hawking.....	61
3.5.4.	Steven Weinberg	63
3.5.5.	Alexander Vilenkin en Andrei Linde.....	65
3.5.6.	Leonard Susskind.....	67
3.6.	Een onzekere blik op de toekomst.....	69
3.7.	Conclusie bij dit hoofdstuk	72
4.	Argumenten tegen het antropisch principe	73
4.1.	Algemene kritieken op het antropisch principe	73
4.1.1.	Teleologie en religie	73
4.1.2.	Tautologie	77
4.1.3.	Het scheermes van Ockham	78
4.2.	De wetenschappelijke status van het antropisch principe	80
4.2.1.	Livio en Rees	81
4.2.2.	Lee Smolins kritiek.....	82
4.2.3.	Smolin vs. Susskind: de discussie op Edge.org	86
4.2.4.	Smolin en het falsificatiecriterium	88
4.3.	Onze menselijke conditie en het nut van het antropisch principe	89
	Algemeen besluit.....	93
	Referenties	v
	Geraadpleegde websites	ix

Lijst van gebruikte afkortingen

DM	Donkere materie
FAP	Final Anthropic Principle
LNH	Large Numbers Hypothesis
MAP	Minimal Anthropic Principle
PAP	Participatory Anthropic Principle
SAP	Strong Anthropic Principle
WAP	Weak Anthropic Principle

Lijst van gebruikte figuren

Figuur 1: tweespleten experiment	42
Figuur 2: interferentiepatroon	43
Figuur 3: verschillende pocketuniversa	46
Figuur 4: de kosmische ouroboros.....	90

0. Introductie: constanten in de natuur en kosmische toevalligheden

The universe knew we were coming.

FREEMAN DYSON

(citaat uit (Rees, 1998, p. 241))

In de twintigste eeuw onderging ons beeld van het universum een ware revolutie. Verscheidene theorieën en ontdekkingen in de kosmologie, zoals Einsteins algemene en speciale relativiteitstheorie en Hubbles ontdekking van de expansie van het universum, hadden een enorme impact op het wetenschappelijke wereldbeeld van de mens. Moderne telescopen, ruimtevaart en nieuwe onderzoekstechnieken stelden ons in staat onze kosmische horizonthorizonten stapsgewijs te verleggen en verschaften ons nieuwe inzichten in de wetten van de natuur.

Tegelijk hiermee rees het besef dat het universum waarin wij leven een gigantische ruimte is waarin allerlei extreme fysische fenomenen het allesbehalve evident doen lijken dat wij, mensen, er spontaan in konden ontstaan. Integendeel zelfs, aan enkele fundamentele eigenschappen van dit universum mag nauwelijks iets veranderd worden, of ons verdere bestaan wordt ermee gehypothekeerd. Natuurconstanten hebben vaak zeer precieze waarden waarvan (bijna) niet mag afgeweken worden opdat de evolutie van levende wezens mogelijk zou zijn. In zijn boek 'Just Six Numbers' bespreekt de Britse astronoom Martin Rees zes van deze constanten (Rees, 1998):

- ϵ (epsilon): waterstof, de brandstof van onze zon, zet 0,007 % van haar massa om in energie wanneer ze fuseert tot helium in de kern van een ster. Was de waarde van ϵ 0,006 in plaats van 0,007, dan zou de fusie tot helium niet door kunnen gaan omdat de tussenstap via deuterium niet stabiel genoeg zou zijn. Was de waarde van ϵ 0,008, dan zou alle waterstof reeds kort na de big bang geconverteerd zijn in helium. Er zou geen waterstof meer overblijven om sterren mee te vormen.
- N: de sterkte van de elektromagnetische kracht gedeeld door de sterkte van de zwaartekracht. De waarde van N, namelijk 10^{36} , geeft aan hoe zwak de zwaartekracht wel is. Was deze nog zwakker, dan zou in de sterren de zeer hoge temperatuur die nodig is voor kernfusie zich niet kunnen ontwikkelen. Was de zwaartekracht slechts een beetje sterker, dan zouden sterren juist te snel

opwarmen, waardoor ze ook te snel opgebrand zouden zijn zodat de evolutie van levende wezens op zijn beurt onmogelijk wordt.

- [illegible]

ruimte kunnen we ons wezens voorstellen, laten we ze Flatlanders¹ noemen. Wanneer we ons nu een spijsverteringsstelsel voorstellen bij een Flatlander, dan merken we dat dit stelsel het wezen in twee zou opsplitsen. De evolutie van leven zoals wij dat opvatten wordt op deze manier ook in een tweedimensionale ruimte onmogelijk. Hoe zit het dan met vierdimensionale ruimtes? Ook hier moeten we vaststellen dat leven niet zal kunnen ontstaan, daar in een vierdimensionale ruimte planeten nooit in een stabiele baan rond een ster als de zon kunnen draaien. Het feit dat we in een driedimensionale ruimte leven, kan aldus gezien worden als een bijzondere eigenschap van ons universum.

In tenminste vier van de zes gevallen gaat het hier om natuurconstanten waarvan de waarde nog niet verklaard werd². In deze gevallen spreken we van fine-tuning of fijnafstemming (zie ook sectie 1.2.). We kunnen ons makkelijk werelden voorstellen waarin deze constanten andere waarden aannemen en waarin bijgevolg de evolutie van levende wezens onmogelijk wordt (Barrow, 2002). Het lijkt alsof de waarden van de constanten als bij toeval *juist* zijn. Daarom worden ze soms kosmische toevalligheden genoemd (Kaku, 2004).

Naast de specifieke waarden van verscheidene natuurconstanten in het universum, zijn ook de grootte van de aarde en haar plaats in het melkwegstelsel van zeer groot belang voor de mogelijkheid tot evolutie van levende wezens op onze planeet. Hogere levensvormen kunnen lang niet overal in dit universum ontstaan. Wanneer wetenschappers het hierover hebben, duikt vaak de term 'Goldilocks zone' (Goudlokje-zone) op ((Kaku, 2004, p. 241), (Davies, 2006)). Net zoals Goudlokje alleen dan tevreden is wanneer pudding noch te warm, noch te koud heeft, zo kunnen alleen dan levende wezens evolueren op een planeet wanneer allerlei omstandigheden precies goed zitten. Ik geef enkele voorbeelden van dergelijke omstandigheden die opgesomd zijn in (Van Looke, 2006):

- de aarde mocht niet veel groter of kleiner zijn dan ze is. Op een aanzienlijk grotere planeet is ook de zwaartekracht groter, zodat het voor grotere, vlot bewegende wezens moeilijk wordt om te evolueren. Op een planeet die aanzienlijk kleiner is dan de aarde zal de zwaartekracht dan weer niet sterk genoeg zijn om een atmosfeer te behouden;

¹ Naar de roman 'Flatland' van Edwin Abbott uit 1884.

² De constante Q kan verklaard worden door de inflatietheorie (Van Looke, 2006, hfdst. V p. 55), en de constante D door de snaartheorie (Van Looke, 2006, hfdst. V p. 58). Het gaat hier echter nog niet om definitieve verklaringen.

- opdat DNA zou kunnen gevormd worden, is er een klimaat nodig dat honderden miljoenen jaren lang stabiel blijft. Het is de maan die hiervoor zorgt: onze relatief grote maan bewerkstelligt dat de rotatie-as van de aarde niet verschuift, en op deze manier bijvoorbeeld niet naar de zon wijst (want dan zou de ene helft van onze planeet constant beschenen worden door de zon, terwijl de andere helft eeuwig in het donker zou blijven);
- Jupiter zorgt ervoor dat onze planeet niet al te vaak met kometen wordt gebombardeerd. Jupiter doet door zijn grote massa dienst als een soort stofzuiger: de grote aantrekkingskracht van die planeet trekt de kometen aan die in het andere geval misschien op de aarde zouden storten;
- ten vierde moest de aarde rond een ster draaien die ongeveer de afstand tot het galactische centrum heeft van onze zon. Lag onze zon te dicht bij dit centrum, dan was de straling te sterk opdat leven mogelijk zou zijn. Lag ze te ver af van het centrum, dan zou de aarde zich in een gebied bevinden dat te weinig zware elementen bevat om levende wezens te doen evolueren;
- ten vijfde mag een planeet waarop leven kan ontstaan zich niet te ver van of te dicht bij haar ster bevinden, anders is het er te koud of te warm.

Is het werkelijk zo spectaculair dat onze aarde aan al deze voorwaarden voldoet? Hebben we nood aan een God om dit alles te verklaren? Met Pierre-Simon de Laplace zouden we op de laatste vraag kunnen antwoorden 'Je n'ai pas besoin de cette hypothèse'. Immers, we kunnen berekenen dat er in ons zichtbaar universum zo'n 10^{22} sterren zijn. Gezien dit enorme aantal lijkt het wel plausibel dat er tenminste rond één van deze vele sterren een planeet draait die voldoet aan die voorwaarden (Van Loocke, 2006, hoofdstuk 5).

Met de natuurconstanten is het echter anders gesteld. Deze lijken zo precies afgestemd in ons universum dat sommige auteurs en wetenschappers hieruit afleiden dat er een ontwerper moet bestaan, een Designer die ons universum zo schiep of afstemde dat intelligent leven er zich kon ontwikkelen. Vooral de waarde van de kosmologische constante doet dit vermoeden mee oprijzen. Naast deze constante en naast de andere waarden die Martin Rees gaf in 'Just Six Numbers' zijn er nog cijfers die aanleiding geven tot dergelijke vermoedens, zoals bijvoorbeeld de massa van het elektron, die net iets te klein is om met een proton tot een neutron te fuseren³. Moest het elektron iets meer wegen, dan was de fusie met een proton in het jonge universum wel mogelijk. In dit

³ Een proton is zo'n 1836 keer groter dan een elektron (Barrow, 2002).

laatste geval zouden waterstofkernen zich niet gevormd hebben, zodat sterren hun belangrijkste brandstof zouden missen (Van Loocke, 2006, hoofdstuk 5, p. 59).

Wat moeten wij nu maken van al deze feiten? Gaat het om toevalligheden? Moeten we een Schepper poneren om ze te verklaren, of is een naturalistische uitleg alsnog mogelijk?

Het volgende helpt om een beter inzicht te krijgen in het voeren van discussies rond dit soort vragen. Mensen zijn observatoren, toeschouwers van het universum waarin ze leven. Het is belangrijk dat we leren in te zien wat hierbij onze beperkingen zijn. We weten bitter weinig over de gigantische ruimte waarin onze planeet zich bevindt. Inmiddels hebben we achterhaald dat de positie waarin we ons bevinden een bevoordeelde positie is. We kunnen de ligging van de aarde in het heelal vergelijken met die van een oase in een woestijn: we leven op een zeldzame, vruchtbare, levensvatbare plaats. Zoals hierboven aangetoond werd, spelen bijzonder veel factoren een doorslaggevende rol in onze ontstaansgeschiedenis. Enerzijds zijn zowel de fijnafstemming van de natuurconstanten als de ligging van onze planeet zo wonderwel uitgebalanceerd dat we er haast spontaan méér achter zoeken en dat we ertoe geneigd zijn ons bestaan toe te schrijven aan een goddelijke macht. Anderzijds echter lijkt die verwondering triviaal. Immers, moest het hierboven geschetste plaatje niet zo perfect kloppen, dan zouden wij er ook niet zijn. Uit het feit dat er op dit eigenste moment mensen bestaan volgt logischerwijs dat voldaan is aan alle voorwaarden die daarvoor nodig zijn, hoe veeleisend en hoe precies die voorwaarden ook zijn. Dit laatste soort redeneringen noemen we ‘antropische’ redeneringen. Het zijn redeneringen die vertrekken vanuit ons bestaan, en vanuit dit vertrekpunt pogen verklaringen te geven voor fenomenen die zich voordoen in de wereld. “We gaan uit van de vaststelling dat er levende wezens als onszelf zijn, en we pogen daar conclusies uit te trekken met betrekking tot de aard van de kosmos” (Van Loocke, 2006, hfdst. V p. 52-53).

In 1974 formuleerde Brandon Carter voor het eerst het antropisch principe:

we must be prepared to take into account the fact that our location in the universe is necessarily privileged to the extent of being compatible with our existence as observers
(Carter, 1974, p. 291)

In het volgende hoofdstuk zal ik de formulering van dit principe van wat naderbij bekijken en verder verduidelijken. Het is ook belangrijk even in te gaan op enkele semantische aspecten ervan. Zowel ‘antropisch’ als ‘principe’ blijken soms wat ongelukkig gekozen termen, die reeds voor heel wat verwarring gezorgd hebben. *Het* antropisch principe bestaat bovendien niet: er werden meerdere versies van het principe geformuleerd, en ook deze zullen aan bod komen.

In hoofdstuk twee zal ik het ontstaan van het antropisch principe historisch kaderen. In een overzicht zal ik de ontwikkelingen geven die volgens John Barrow en Frank Tipler, auteurs van *The Anthropic Cosmological Principle*, van belang waren voor het ontstaan en de evolutie van antropische argumenten. The Anthropic Cosmological Principle werd voor het eerst gepubliceerd in 1986. Ik gebruik voor deze scriptie de heruitgave van het boek uit 1996. Naast deze evolutie bespreek ik ook de verwantschap van het antropisch principe met designargumenten.

In hoofdstuk drie zal het antropisch principe in zijn hedendaagse context geplaatst worden, namelijk die van het inflatiemodel van de kosmos en het multiversum. Ik geef een overzicht van de theorieën die belangrijk zijn voor het hedendaagse gebruik van het antropisch principe. Daarna zal het werk van onder andere Brandon Carter, Stephen Hawking en Leonard Susskind besproken worden. Na het lezen van dit hoofdstuk zou de lezer een goed begrip moeten hebben van enkele discussies in de hedendaagse kosmologie die te maken hebben met antropische redeneringen, zonder dat daarvoor al te veel wiskundige of fysische kennis nodig is.

In hoofdstuk vier tenslotte kom ik terug op de mogelijke problemen waarmee auteurs af te rekenen krijgen wanneer ze antropisch argumenteren. Na het lezen van het tweede en het derde hoofdstuk wordt het duidelijk hoe deze problemen ontstaan zijn, en op welke manier ze verwant zijn met concretere aspecten van de kosmologie vroeger en nu. Ik zal op het einde van dit hoofdstuk ook een besluit formuleren rond het gebruik en het nut van het antropisch principe.

1. Het antropisch principe: formuleringen en terminologie

1.1. Selectie-effecten en het antropisch principe bij Brandon Carter

De positie van de mens als waarnemer van het universum houdt beperkingen in. Een vaak voorkomende denkfout in (deductief) wetenschappelijk onderzoek is inductie. Wanneer astronomen bijvoorbeeld het heelal beschouwen, mogen ze niet zomaar besluiten dat in de ruimte enkel die structuren werkelijk bestaan die zij met hun telescopen kunnen waarnemen. Zij zullen immers slechts die lichamen waarnemen die helder genoeg schijnen opdat ze tot bij ons zichtbaar zijn. Daarnaast bestaan er nog lichamen die niet genoeg licht geven om tot bij ons gezien te kunnen worden en lichamen waarvan het licht dat ze uitschijnen ons nog niet bereikt heeft.

Een analoog voorbeeld is dat van de visser die vist met een net met mazen waar geen vissen aan kunnen ontsnappen die groter zijn dan bijvoorbeeld vijftien centimeter. Kleinere vissen zal hij bijgevolg niet vangen. Hieruit mag de visser niet concluderen dat alle vissen groter zijn dan vijftien centimeter. Kleinere vissen kunnen immers ontsnappen door de mazen van het net (Bostrom, 2002).

Uit dergelijke voorbeelden leiden onderzoekers een denkfout af die kan vermeden worden door een 'selectie-effect' in te voeren (Barrow & Tipler, 1996, p. 2). In de voorbeelden die hierboven gegeven werden, zouden de wetenschapper en de visser deze denkfout begaan door uit hun waarnemingen te veralgemenen dat wat zij vaststellen altijd het geval is. Ze kunnen deze fout vermijden door in te zien dat hun meetinstrumenten er voor zorgen dat ze slechts selectief waarnemen.

Een goede kennis van onze positie als waarnemer is dus nodig opdat we op een correcte wijze zouden kunnen nadenken over de fijnafstemming van ons universum. Het feit dat wij onze metingen steeds uitvoeren vanuit ons eigen zonnestelsel, kan voor een vertekend beeld zorgen van onze studieobjecten.

Het invoeren van een selectie-effect volstaat echter niet als oplossing voor ons probleem. Want ook al weten we dat we niet anders kunnen dan waarnemen dat we bestaan, hiermee is nog geen verklaring gegeven voor dat bestaan en voor de kosmische toevalligheden die ertoe leidden. Een toepasselijke analogie hieromtrent werd gegeven door de Canadese filosoof John Leslie. Beeld je in dat je op het punt staat geëxecuteerd te worden door een squadron van 50 soldaten. 50 kogels worden gelost, waarna je merkt dat je nog steeds leeft. Alle kogels misten dus hun doel. Deden ze dit niet, dan zou je nu

uiteraard niet beseffen dat je nog in leven bent. Niettemin zal je hier terecht verbijsterd over zijn en is de perplexiteit die je ervaart volkomen legitiem (Rees, 1998). Zo ook is het een feit dat intelligent leven ondanks de vele voorwaarden waaraan voldaan moet worden, kon evolueren op de aarde, en zo zijn we tevens oprecht verwonderd wanneer we daarover nadenken. Dat we niet anders kunnen dan vaststellen dat we leven en dat ons waarnemen steeds een selectief waarnemen is, doet hier niets van af.

Mensen gaan op verschillende manieren om met deze verwondering. De twee extreme posities die iemand kan innemen zijn 1) dit alles toeschrijven aan het werk van een godheid en 2) van mening zijn dat de waarden van de natuurconstanten en de plaats van onze aarde toevallig zo zijn dat het mogelijk werd voor ons om te evolueren. Deze laatste positie is verenigbaar met wat Barrow & Tipler het Copernicaanse principe noemen, namelijk dat we geen geprivilegieerde plaats innemen in het universum (Barrow & Tipler, 1996, p. 1).

Brandon Carter stelde het antropisch principe in oorsprong op als een compromis tussen wat hij het autocentrische en het kosmologische principe noemde (Carter, 2004, p. 2-3). Het autocentrische principe is precopernicaans en stelt dat wij als aardse waarnemers een bevoordeelde positie innemen in het centrum van het universum. Het kosmologische principe daarentegen komt in grote lijnen overeen met wat Barrow & Tipler het Copernicaanse principe noemen, namelijk dat het universum geen geprivilegieerd centrum heeft, dat het ongeveer overal gelijk is en dat het stukje universum waarin wij leven gezien kan worden als een typerend deeltje van het heelal.

Dit Copernicaanse principe wou Carter limiteren met zijn antropisch principe. Volgens Carter is onze positie in het universum een noodzakelijk bevoordeelde positie voorzover ze samengaat met ons bestaan. De verdienste van de Copernicaanse revolutie is dat ze de mensen uit hun waan haalde dat onze planeet een centrale ligging heeft, hun waan dat letterlijk alles rond hen draait. Dat we geen centrale plaats innemen in het universum houdt echter nog niet in dat de evolutie van intelligente levende wezens op de aarde op geen enkele wijze ‘speciaal’ zou zijn. Het Copernicaanse principe is een veralgemening en met veralgemeningen moeten we altijd op onze hoede zijn (Barrow & Tipler, 1996, p. 1). Het antropisch principe is dus niet zomaar een uiting van de postcopernicaanse gedachte dat we slechts in een willekeurig gekozen, typerend stukje leven van het universum. Het is tevens een hint in die zin dat het aangeeft dat er toch iets speciaals aan de hand is: onze aarde ligt niet centraal, maar bevindt zich wel op een locatie waar de omstandigheden zeer gunstig zijn voor de evolutie van levende wezens. Het principe

vormt een compromis tussen enerzijds het autocentrische principe dat zegt dat we door onze bevooroordeelde, centrale positie als aardbewoners niets kunnen afleiden over de niet-bevooroordeelde rest van het universum, en anderzijds het kosmologische (Copernicaanse) principe dat zegt dat de omstandigheden waarin wij ontstonden representatief zijn voor de rest van het universum en dat we dus vanuit onze positie ook beweringen kunnen doen over die hele rest (Carter, 2004, p. 2). We zijn noodzakelijk bevooroordeeld, want we bestaan.

Carter formuleerde het antropisch principe oorspronkelijk als een richtlijn om mogelijke fouten aan het daglicht te brengen. Wanneer we verklaringen willen vinden voor waarnemingen die eigenlijk meer een steekproef zijn, waarnemingen die niet representatief zijn voor een bepaald domein, is het essentieel om te weten of we die waarnemingen mogen vertrouwen. In Carters eigen woorden: "The anthropic principle provides guidelines for taking account of the kind of bias that arises from the observer's own particular situation in the world." (Carter, 2004, p. 2).

Het principe laat ons toe om, alleen al uit ons bestaan, enkele zaken af te leiden over ons universum. De meeste biochemici zijn het er over eens dat wat wij 'leven' noemen, opgebouwd is uit chemische elementen die complexer zijn dan waterstof en helium, en dat carbon de enig mogelijke basis is voor spontane generatie van leven (Barrow & Tipler, 1996, p. 3). Het proces van stellaire alchemie dat uiteindelijk tot dit op carbon gebaseerde leven leidde, moest op zich al meer dan tien miljard jaar duren (in een kortere tijdsspanne konden de zwaardere chemische elementen nodig voor de evolutie van leven niet geproduceerd worden). Daarom is het mogelijk om alleen al uit het bestaan van levende wezens af te leiden dat ons universum minstens tien miljard jaar oud is. Meer nog, als het universum minstens tien miljard jaar oud is, dan moet het ook minstens tien miljard lichtjaren groot zijn. Ook bij die enorme grootte hoeven we ons dus geen verdere vragen te stellen.

Het antropisch principe toont aan dat de door ons waargenomen structuur van het universum een serieuze beperking kent, namelijk de beperking dat wij die structuur waarnemen vanuit onze eigen positie als wezen dat ontstaan is in die structuur. We bemerken hier een nauwe verwantschap van het antropisch principe aan zelfrefererende argumenten uit de wiskunde en de computerwetenschappen. Gödels onvolledigheidsstelling bijvoorbeeld demonstreert dat een voldoende complex wiskundig systeem ware beweringen moet bevatten waarvan niet kan aangetoond worden dat ze waar zijn, en Turing toonde aan dat een computer zichzelf niet volledig kan begrijpen

(Barrow & Tipler, 1996, p. 4). Problemen met zelfreferentie en selectie-effecten doen zich voor omdat we nu eenmaal zelf deel uitmaken van ons studieobject.

De sleutel tot het oplossen van vele belangrijke vragen over de oorsprong van ons bestaan, ligt in het vinden van een verklaring voor de waarde van de mysterieuze verzameling natuurconstanten. Zoals hierboven aangegeven lijken de constanten Q en D (met respectievelijk de waarden 10^{-5} en 3) door moderne natuurwetenschappelijke theorieën verklaard te kunnen worden, maar voor de waarde van de andere kosmische constanten werd tot hiertoe geen treffelijke verklaring gegeven. De tegenwoordig talrijke discussies tussen astronomen, fysici en filosofen over het antropisch principe kunnen verhelderend werken bij het zoeken naar dergelijke oplossingen.

1.2. Fine-tuning of fijnafstemming

Het is belangrijk dat we goed weten waarover we het hebben wanneer we de term ‘fijnafstemming’ gebruiken. Quentin Smith geeft volgende definitie: “A certain set of values of initial conditions and physical constants of a universe are fine-tuned for intelligent life if and only if (a) each of the values of the initial conditions and physical constants in this set is a physically necessary condition for the evolution of intelligent life, (b) the values in this set are jointly sufficient for (‘give rise to’) the evolution of intelligent life, and (c) there is only an extremely small range of all physically possible values of the initial conditions and physical constants that meet conditions (a) and (b). If any value meets these three conditions, it is an anthropic coincidence” (Smith, 1992, p. 1). Fijnafstemming verwijst dus naar de veronderstelling dat er een verzameling parameters is (de verzameling fundamentele fysische constanten) waarvoor geldt dat als hun waarde slechts een klein beetje verschillend zou zijn van hun huidige waarde, er geen evolutie van levende wezens mogelijk zou zijn. In die verzameling zitten dan onder andere de natuurconstanten die ik in de inleiding vermeldde, samen met nog enkele andere dergelijke waarden. Dat deze constanten verklaard zouden moeten worden, daarover zijn de meeste onderzoekers het eens. Over de wijze waarop ze verklaard moeten worden daarentegen, heerst geen eensgezindheid. Nick Bostrom geeft twee mogelijkheden die vaak als tegenstrijdig beschouwd worden, maar elkaar in feite niet logisch uitsluiten (Bostrom, 2002, p. 12-13). Enerzijds kan je fijnafstemming verklaren door middel van een design hypothese. Door een agent te poneren (dit kan zowel een persoon, een ding als een mechanisme zijn) die de natuurconstanten zo afwoog ten opzichte van elkaar dat

ze aanleiding konden geven tot de evolutie van leven, is dan geen verder antwoord nodig op de vraag hoe het kon komen dat er nu op aarde mensen rondlopen. Anderzijds kunnen we fijnafstemming verklaren door wat Bostrom de ensemble hypothese noemt. Die gaat er van uit dat ons universum slechts een ontielig klein stukje is van de fysische totaliteit waar we deel van uit maken. Deze totaliteit is zodanig groot en gevarieerd dat we niet verwonderd hoeven te zijn dat een klein deeltje ervan levensvatbaar is. Een selectie-effect kan dan verklaren waarom we denken dat ons universum 'getuned' is. De gebruikelijke vorm die een ensemble hypothese aanneemt is die van een multiversum theorie, die stelt dat er zo veel universa zijn dat het normaal is dat in één of in enkele ervan levende wezens zich konden ontwikkelen. De ensemble hypothese wordt vaak aangevallen door critici. In hoofdstuk drie zal ik deze hypothese uitgebreid bespreken. Bekende voorstanders van de design hypothese zijn Richard Swinburne en William Lane Craig. Bekende voorstanders van de ensemble hypothese (en van de multiversum theorieën) zijn bijvoorbeeld Martin Rees en Leonard Susskind.

1.3. De termen 'antropisch' en 'principe'

Nu we weten wat het antropisch principe ongeveer inhoudt, is het eerst nodig even stil te staan bij het gebruik van de woorden 'antropisch' en 'principe'. Vaak worden deze termen immers als verwarrend ervaren, niet in het minst door onderzoekers zelf. Bovendien wordt deze kwestie bemoeilijkt door de verschillende versies die bestaan van het antropisch principe (zie volgende sectie).

Brandon Carter, die de term 'antropisch' introduceerde, is ook zelf niet helemaal tevreden met zijn woordkeuze: "In retrospect I am not sure that my choice of terminology was the most appropriate, but as it has now been widely adopted, it is too late to change" (Carter, 2004, p. 2). Ook voor mijn doeleinden zal ik zowel 'antropisch' als 'principe' blijven gebruiken, omdat deze termen nu eenmaal ingebed zijn in de discussie en nog steeds alom in gebruik zijn. Wel is het opletten geblazen voor velerlei mogelijke verwarringen. Een goed en duidelijk begrip is dus noodzakelijk.

De term 'antropisch' ('anthropic') is bij Carter van toepassing op *elke* intelligente waarnemer. Niet alleen menselijke aardbewoners voldoen hieraan, want anders zou het antropisch principe op hetzelfde neerkomen als het autocentrisch principe (Carter, 2004, p. 3). Ook eventuele buitenaardse wezens met bepaalde intellectuele capaciteiten kunnen dus vanuit hun bestaan bepaalde conclusies trekken met betrekking tot het

universum waarin ze leven. Noch wij mensen, noch andere intelligente wezens hoeven zich daarvoor in het centrum van hun universum te bevinden.

Ook met de term 'principe' is lang niet iedereen tevreden. Principes zijn vaak slechts veronderstellingen die niet ondersteund worden door enig bewijs, maar die niettemin als empirisch voorgesteld worden. Om dit soort calamiteiten te vermijden, gebruiken sommige auteurs de term 'principe' liever niet. Martin Rees bijvoorbeeld, houdt het bij 'antropisch redeneren' ('anthropic reasoning') (Rees, 1998, p. 243). Toch kunnen we er niet om heen dat de term 'antropisch principe' nog steeds overal gebruikt wordt, ook in meer recente artikels (zie bijvoorbeeld (Carter, 2004a), (Smolin, 2004), (Dorobantu, 2006)). Ook voor de verschillende versies ervan wordt telkens 'principe' gebruikt en het 700 pagina's dikke basiswerk bij uitstek over dit onderwerp van Barrow & Tipler heet 'The Anthropic Cosmological Principle' (Barrow & Tipler, 1996). Daarom zal ook ik in wat volgt zowel 'antropisch' als 'principe' blijven gebruiken. Wel moeten we dus op onze hoede zijn wat het gebruik van deze termen betreft.

1.4. Verschillende versies van het principe

Wat ik hierboven reeds vertelde over het antropisch principe, had eigenlijk vooral betrekking op de zwakkere versie ervan, het 'weak anthropic principle', kortweg WAP. Dit is de meest gebruikte vorm waarin het antropisch principe bestudeerd wordt. Wanneer auteurs het over het antropisch principe hebben zonder daarbij te vermelden over welke vorm ervan het gaat, hebben ze het eigenlijk over het WAP. Het zwak antropisch principe werd ook al door Carter geformuleerd, maar ik zal de formulering van Barrow & Tipler gebruiken. Deze laatste onderzoekers benadrukken dat het WAP op geen enkele wijze speculatief of controversieel is (Barrow & Tipler, 1996, p. 16). Het WAP drukt niets méér uit dan dat de eigenschappen van het universum die wij kunnen afleiden onderhevig zijn aan een selectie-effect omdat ze consistent moeten zijn met ons eigen bestaan en met onze eigen evolutie. Als een theorie bijvoorbeeld zou beweren dat ons universum slechts één miljoen jaar oud is, dan zouden we deze theorie vrijwel meteen kunnen verwerpen omdat we weten dat een universum veel meer tijd nodig heeft opdat levende wezens erin zouden kunnen evolueren. Barrow & Tipler formuleren het WAP als volgt:

WAP: The observed values of all physical and cosmological quantities are not equally probable but they take on values restricted by the requirement that there exist sites

where carbon-based life can evolve and by the requirement that the Universe be old enough for it to have already done so (Barrow & Tipler, 1996, p. 16).

Het WAP daagt ons uit die waarden te isoleren die noodzakelijk zijn voor ons bestaan. Geen enkele van de geobserveerde waarden van natuurconstanten in het universum is echter op zich voldoende voorwaarde voor ons bestaan. Dit wordt duidelijk wanneer we het niet-teleologische karakter van het mechanisme van natuurlijke selectie beschouwen (Barrow & Tipler, 1996, p. 16). Immers, wat ook de waarden van die constanten zijn, steeds zal natuurlijke selectie nodig zijn opdat diersoorten zich konden ontwikkelen.

Zoals hierboven reeds aangegeven, is het zwak antropisch principe een inperking van het Copernicaanse principe, omdat het WAP selectie-effecten toelaat: we moeten de Copernicaanse bescheidenheid ("onze locatie in dit universum is op geen enkele wijze bevoordeeld") niet te ver doordrijven, maar moeten aanvaarden dat wezens zoals wij het universum niet vanuit alle tijdsruimtepunten tegelijk kunnen aanschouwen. Ons perspectief is met andere woorden gebonden en in zekere zin 'speciaal' (Rees, 1998).

Het WAP valt goed te combineren met het idee van een multiversum. Een mogelijke verklaring voor het feit dat de natuurconstanten in ons universum op onze planeet leven toelaten, is dat er gigantisch veel universa zijn zodat het niet verwonderlijk is dat hier en daar leven mogelijk is. Ik ga hier meer uitgebreid op in in hoofdstuk drie.

Omdat sommige waarden van natuurconstanten wel heel fijn afgestemd moesten zijn opdat ons bestaan mogelijk werd, introduceerde Carter ook een sterkere, meer speculatieve variant van het antropisch principe. Barrow & Tipler geven volgende definitie voor het 'strong anthropic principle' (SAP):

SAP: The Universe must have those properties which allow life to develop within it at some stage in its history (Barrow & Tipler, 1996, p. 21).

Het sterk antropisch principe heeft een teleologische ondertoon. Het wordt dan ook vaak aangehaald in combinatie met het traditionele designargument en met religie. Het SAP valt bijvoorbeeld perfect te combineren met de claim dat het universum ontworpen is met als doel het doen bestaan van intelligente levende wezens.

In combinatie met de kwantumfysica leidde het SAP tot een andere variant van het antropisch principe, namelijk het Participatory Anthropic Principle (PAP) van John Wheeler:

PAP: Observers are necessary to bring the Universe into being (Barrow & Tipler, 1996, p. 22).

In de kwantummechanica wordt een scherp onderscheid gemaakt tussen de waarnemer en wat waargenomen wordt. De waarneming zelf van een fenomeen heeft gevolgen voor hoe het zich zal gedragen. In een twist die doet denken aan het idealisme van Berkeley gaan sommigen zo ver te stellen dat observaties nodig zijn om de wereld te doen 'bestaan' (Rees, 1998; Barrow & Tipler, 1996). Het is dit inzicht dat Wheeler gebruikte om zijn PAP te formuleren. Het PAP is minder antropocentrisch dan het SAP. Alle wezens die ergens kennis van kunnen hebben zijn in staat waarnemingen te doen. In principe is een waarnemer niets meer dan iets of iemand die in staat is informatie te registreren. Een fotografische plaat is dus net zo goed een observator als een mens.

Hoewel het PAP ons wat vreemd overkomt (het is op zijn zachtst gezegd wat bizar dat een volledig universum slechts zou kunnen bestaan wanneer er een observator in geëvolueerd is), is er op zich geen fatale evidentie tegen dit principe (Rees, 1998).

Een vierde en laatste versie van het antropisch principe die besproken wordt in (Barrow & Tipler, 1996), is het Final Anthropic Principle (FAP):

FAP: Intelligent information-processing must come into existence in the Universe, and, once it comes into existence, it will never die out (Barrow & Tipler, 1996, p. 23).

We zien onmiddellijk dat het hier gaat om een uitbreiding van het SAP en meer bepaald om een uitbreiding die door Barrow en Tipler ingevoerd werd omdat ze getest kan worden met behulp van de natuurwetten en de geobserveerde staat van het universum. Het is tevens een vrij aanvaardbare uitbreiding van het SAP. Immers, als er dan al een noodzakelijke reden is waarom informatieverwerkende wezens moesten ontstaan op onze planeet, dan is het moeilijk in te zien waarom deze wezens niet zouden moeten blijven bestaan. Het FAP is niet onschuldig. Het spreekt van 'informatieverwerking', en niet van 'leven', en verwijst impliciet naar een vrij radicaal toekomstbeeld dat doet denken aan het transhumanisme. Dat deze vermoedens terecht zijn, bewijst volgend citaat van John Barrow: "Clearly, if life is to endure forever it must ultimately change its basis from life as we know it. ... Thinking millions of years to the future we might also imagine that life will exist in forms that today would be called 'artificial'. Such forms might be little more than processors of information with a capacity to store information for future use" (Barrow, 2002, p. 170). Zowel het SAP als het FAP zijn zeer speculatief. Het zijn voornamelijk deze varianten van het antropisch principe die bij onderzoekers de neiging verwekken zich te distantiëren van elke uitdrukking waarin het woord 'antropisch' voorkomt. Op het FAP kom ik nog terug in sectie 3.6.

De vele discussies die gevoerd werden rond verschillende varianten van het antropisch principe veroorzaakten volgens Max Tegmark vooral veel verhitte gemoederen, maar brachten weinig licht. Dit zette Tegmark ertoe aan een eigen variant van het principe te formuleren waarvan hij meent dat bij zijn weten geen enkele auteur er niet mee akkoord gaat (Tegmark, 2003, p. 8):

MAP (Minimalistic Anthropic Principle): When testing fundamental theories with observational data, ignoring selection effects can give incorrect conclusions (Tegmark, 2003, p. 8).

Moesten we selectie-effecten negeren, dan zouden we bijvoorbeeld verrast moeten zijn dat onze aarde rond een ster draait die zo zwaar is als de zon. Het is echter zo dat, moest de massa M van de zon kleiner zijn dan $1,6 \times 10^{30}\text{kg}$ of groter dan $2,4 \times 10^{30}\text{kg}$, het op onze aarde respectievelijk kouder dan op Mars of warmer dan op Venus zou zijn. Dat onze zon zo veel weegt, is verklaarbaar door een selectie-effect: hoewel er zeer veel zonnestelsels zijn waarvan de centrale ster in grote mate varieert wat haar massa betreft, is het vanzelfsprekend dat wij ons in een zonnestelsel bevinden waarin de massa M van de centrale ster tussen $1,6 \times 10^{30}\text{kg}$ en $2,4 \times 10^{30}\text{kg}$ ligt, anders was onze planeet niet bewoonbaar (Tegmark, 2003, p. 7).

Het MAP heeft het voordeel dat iedereen er mee akkoord moet gaan, maar vertelt ons eigenlijk weinig nieuws. In de literatuur rond het antropisch principe vinden we dan ook bijna geen enkele verwijzing meer terug naar het minimalistische antropisch principe van Tegmark (ook in zijn artikel uit 2003 formuleerde Tegmark het MAP trouwens slechts terloops in zijn uiteenzetting over parallelle universa). Daarom zal ik er in wat volgt geen rekening meer mee houden.

Zoals vermeld zijn het SAP en het FAP zeer speculatief. Om er een wetenschappelijke discussie over te voeren, zijn ze dan ook minder geschikt. Het WAP is voor veel onderzoekers de enige variant van het antropisch principe die in aanmerking komt om volgens wetenschappelijke criteria overwogen te worden. Toch blijven veel auteurs in hun werk geen onderscheid maken tussen de verschillende versies van het antropisch principe. De meeste onder hen doen dit wellicht om de eenvoudige reden dat het WAP eigenlijk in alle varianten terug te vinden is. Het is de standaardvorm van het argument, van waaruit alle andere versies geformuleerd zijn en het is de minst controversiële vorm van het argument (naast misschien het MAP, maar dit laten we dus buiten beschouwing). Recentelijk kwam er ook weer meer belangstelling voor het PAP na de publicatie van een

artikel door Stephen Hawking en Thomas Hertog over antropische redeneringen. Meer hierover in sectie 3.5.3.

Hoe dan ook blijft het antropisch principe zelfs in de zwakste vorm onderwerp van verhitte discussies. Het argument kent zowel gerenommeerde voor- als gerenommeerde tegenstanders. Tegenstanders zullen vooral hameren op enerzijds de schijnbare tautologie en teleologie in het antropisch principe, en anderzijds op het vermeende onwetenschappelijke karakter ervan (zie hoofdstuk vier).

Bovendien storen sommigen zich er aan dat zelfs de zwakke versie van het principe op verschillende manieren geformuleerd werd. Een onoverkomelijk probleem vormt deze verscheidenheid aan formuleringen echter niet, daar allen het eens zijn over wat het zwak antropisch principe inhoudt. Steeds gaat het om het feit dat er op onze planeet intelligente levens rondlopen, namelijk wij mensen, en dat die wezens uit hun bestaan conclusies kunnen trekken met betrekking tot de kosmos waarin ze leven. Deze conclusies moeten met een korreltje zout genomen worden, want we hebben er alsnog geen idee van of ons universum het enige universum is. Het antropisch principe probeert een hulpmiddel te zijn bij dit afwegen en interpreteren van waarnemingen die we maken van het heelal.

Nu we weten wat het antropisch principe inhoudt, kunnen we verdergaan met de bespreking ervan. In het volgende hoofdstuk behandel ik de voorgeschiedenis van het antropisch principe aan de hand van het werk van Barrow en Tipler. Deze is nuttig omdat ze ons doet inzien dat het antropisch principe geen radicaal nieuw idee is. Bovendien laat ze toe te begrijpen waarom critici soms beweren dat het antropisch principe niet wetenschappelijk is omdat het door haar geschiedenis connecties heeft met religie en teleologie.

2. Teleologie, designargumenten en het antropisch principe: een korte geschiedenis

Het historische luik in dit hoofdstuk is in grote mate gebaseerd op de hoofdstukken twee, drie en vier in 'The Anthropic Cosmological Principle' (Barrow & Tipler, 1996, p. 27-288). Waar dit niet het geval is, zal ik het aangeven.

2.1. Van de antieken tot de modernen

Sinds de vroege morgen van ons bestaan, hebben wij mensen onze omgeving in ons voordeel gebruikt. We bewerkten de grond, gebruikten hemellichamen als oriëntatiepunten en de wind en de golven als krachtbron. Deze en nog veel meer gelijkaardige voordelen gaven mensen die op zoek waren naar zin en betekenis in hun leven reeds vroeg in ons bestaan de indruk dat alles voor hen geschapen werd. Religieuze en wetenschappelijke overtuigingen in die tijden voedden die indruk. Het hoeft ons dan ook niet te verrassen dat al heel vroeg in onze geschiedenis prille versies geformuleerd werden van wat wij nu het designargument noemen.

Barrow & Tipler plaatsen het antropisch principe dat nu zo druk ter discussie staat, in een lijn van argumentatie die in feite zeer traditioneel is. Daarmee willen ze aantonen dat het antropisch principe geen verzameling gedachten bevat die radicaal nieuw is. Het gaat daarentegen om gedachten die diep ingeworteld zijn in ons westers wereldbeeld.

We zullen hier meteen een onderscheid maken dat in feite pas vanaf de Renaissance van toepassing is. Waar voor de Antieken het wereldbeeld essentieel organisch was, zagen modernen de wereld veeleer als een 'clockwork watch-world': de wereld leek op een machine, het wereldbeeld was mechanisch. Deze ontwikkelingen leidden tot het onderscheid tussen teleologische en eutaxiologische designargumenten. Teleologische argumenten benadrukken dat de dingen geconstrueerd werden met een (gepland) doel. Eutaxiologische argumenten benadrukken (slechts) dat de orde in de natuur een oorzaak moet hebben, en wijzen enkel op de tegenwoordige harmonieuze compositie der dingen. Volgens deze laatste argumentatielijn kan de complexe constructie van bijvoorbeeld een uurwerk op zich geapprecieerd worden, zonder dat daarvoor een ultiem doel moet toegeschreven worden aan die constructie.

De sterkte van een teleologisch argument ligt in de schijnbare simpliciteit ervan. Probeer bijvoorbeeld maar eens te ontkennen dat ogen gemaakt zijn om mee te zien. Het is echter het eutaxiologische argument dat logisch simpeler is, en dat geen linguïstische subtiliteiten bevat. Omdat nu het op zich waarderen van een mathematische harmonie en schoonheid iets is wat enige wetenschappelijke kennis veronderstelt, is de eutaxiologische argumentatievorm minder verleidelijk voor het grote publiek.

Barrow & Tipler stellen dat het eutaxiologische argument het nauwst verwant is aan het zwak antropisch principe. Het teleologische designargument is analoog met het finale antropisch principe. Het sterk antropisch principe heeft iets gemeen met beide vormen van het designargument.

Het hierboven gemaakte onderscheid indachtig, kan ik nu beginnen met het aangekondigde historisch overzicht.

2.1.1. De antieken

Zowel Plato als Aristoteles beschouwen Anaxagoras van Clazomenae (500-428) als de eerste denker die de structurele harmonie en orde in de natuur zag als een ontworpen geheel, als een plan. Anaxagoras zocht naar een totaalverklaring voor de mysterieuze harmonie rondom hem, en vond die in de invloed van een kosmische 'Geest' ('Mind', nous). Zoals de menselijke geest het lichaam beïnvloedt en richt, zo ook oefent deze kosmische Geest een richtinggevende invloed uit op de natuur. De visie van Anaxagoras wordt door Aristoteles fel bekritiseerd omdat ze niet doelgericht is. Aristoteles meende dat alle fenomenen gericht zijn op een doel (telos). De onenigheid tussen deze filosofen is typerend voor het contrast tussen twee visies die in de loop van de geschiedenis steeds opnieuw zullen terugkeren.

Empedocles (492-435) en Parmenides (ca. 480) vullen Anaxagoras' visie verder aan met de wetenschappelijke kennis die toen beschikbaar was (Cirkovic, 2003). Socrates (470-399) en Plato (427-347) zullen reageren tegen deze trend om natuurlijke fenomenen op een puur materialistische manier te verklaren. Socrates geeft de eerste versie van een antropocentrisch designargument wanneer hij het heeft over het oog als het bewijs bij uitstek van de wijsheid van de goden, en prefereert net als Plato het beeld van het universum als teleologisch en organisch geordende structuur. Ook Diogenes (400-325) zag achter de natuurlijke fenomenen een teleologisch principe aan het werk. Zo was hij

verwonderd over de regelmatige cyclus van de seizoenen, en meende hij dat deze enkel te verklaren valt door een bovenmenselijk Intellect.

De vroegste tegenstanders van een teleologische visie waren Democritus (ca.450-ca.375) en Leucippus van Elea (ca.470-ca.410). Leucippus introduceerde het atomisme, dat verder ontwikkeld werd door Democritus. Het atomistische wereldbeeld van deze filosofen en hun begrip van oorzakelijkheid in de natuur was volledig tegengesteld aan dat van de teleologici. De enige oorzaken die ze toelieten waren botsingen van atomen.

De figuur uit de Oudheid die over ons onderwerp het meeste te vertellen had, was Aristoteles (384-322). Hij was de grootste en belangrijkste vertegenwoordiger van het teleologische wereldbeeld bij de Antieken en daarna. Zijn ideeën vermengden zich via de middeleeuwse scholastiek met het joods-christelijke gedachtegoed dat bijna tweeduizend jaar lang de basis vormde van het westerse denken. Aristotelische wetenschap was gebaseerd op de veronderstelling van een wereld die functioneert volgens een expliciet ontwerp, volgens een plan dus. Aristoteles stelde zich dan ook zeer kritisch op tegenover de presocratische natuurfilosofen die de structuur van de wereld veeleer zagen als het resultaat van een reeks toevalligheden. Hij beschreef de doelmatigheid in de natuur door middel van organische analogieën, die hij superieur achtte aan het mechanistisch paradigma. De kern van zijn verwerping van het atomisme van Leucippus en Democritus zit vervat in het idee dat een materiële oorzaak van iets niet volstaat om dat ding te kennen. Volgens de atomisten heb je iets verklaard wanneer je weet waarvan het gemaakt is. Aristoteles echter is hier lang niet mee tevreden. Hij poneert nog drie verdere oorzaken die je moet kennen opdat je ergens volledige kennis kan van hebben, namelijk een formele, een efficiënte en een finale oorzaak. De finale oorzaak van een ding is het doel waarvoor dat ding gemaakt is. Deze oorzaak biedt ons volgens Aristoteles veel meer inzicht dan de materiële oorzaak. De *causa finalis* is de gids die ons tot de ultieme betekenis der dingen leidt, die ligt in het telos ervan. Uit de finale oorzaak ontstond bij Aristoteles het idee van een intern perfectionerend principe of 'entelechie'. Hun entelechie leidt de dingen in de richting van hun einddoel. Met dit perfecte einde in zicht, zijn alle subcomponenten van een individueel object coherent georganiseerd.

Een grote verdienste van Aristoteles is dat hij dit alles ook uitgebreid documenteerde aan de hand van onderzoek. Hij observeerde planten en dieren en staaftte zijn filosofische bevindingen met voorbeelden uit de natuur. Bovendien is het aristotelische universum zeer dynamisch, wat voor een scherp contrast zorgde met het statische, eeuwige en onveranderlijke platoonse universum.

De grote contemporaine tegenhanger van de aristotelianen was de school van Epicurus van Samos (341-270). Epicurus was een atomist die beweerde dat de wereld vanuit een chaotische begintoestand evolueerde naar een meer geordende toestand door middel van regelmatige rotaties. Jammer genoeg staaften de epicureërs hun materialistische opvattingen niet met observaties, want Epicurus had zeer weinig achting voor wetenschappelijk onderzoek.

Lucretius Carus (99-55), een latere volgeling van Epicurus, was de laatste halte in een reeks pogingen het werk van Aristoteles kritisch te benaderen. Lucretius hield vast aan een puur materialistische doctrine, en meende dat teleologici als Aristoteles de kar voor het paard spanden door te stellen dat alles wat bestaat, geschapen werd om het te gebruiken. De teleologie van Aristoteles was echter veel beter verenigbaar met de christelijke en islamitische religies, en zou daardoor steeds verder stijgen in aanzien.

Nog ten tijde van Lucretius verdedigde Cicero (106-43) de teleologie van Aristoteles. Hij gaf zelfs het nu zo klassieke designargument gebaseerd op de analogie met het uurwerk. Cicero's argumenten zijn eerder eutaxiologisch dan teleologisch van karakter: ze zijn gebaseerd op de hier en nu aanwezige orde in de natuur, veeleer dan op een antropocentrisch ultiem doel.

Een laatste figuur die ik hier kort vermeld, en die de overgang belichaamt van het antieke naar het scholastieke denken, is Boëthius (470-525). Boëthius was een aristoteliaan die de doctrine van finale oorzaken verdedigde en die ervoor zorgde dat het teleologische argument veilig Noord-Europa bereikte, alwaar het een grote verspreiding zou kennen.

2.1.2. De middeleeuwen

In de Middeleeuwen had het teleologische argument zo goed als geen tegenstand. Zowat alle filosofie vertrok bij Aristoteles. Culminatiepunt van deze traditie was het werk van Thomas van Aquino (1225-1274). Thomas gebruikte een teleologisch designargument om het bestaan van God aan te tonen.

Wel kwam er enige reactie tegen het antropocentrisme van middeleeuwse filosofen. De mohammedaan Averroës van Cordoba (1126-1198) bijvoorbeeld vindt het onredelijk om te stellen dat de hele natuur uitsluitend bestaat ter ere en luxe van de mens. Ook de joodse filosoof Maimonides (1135-1204) kwam hiertegen in opstand en formuleerde een verwerping van het antropocentrisme gebaseerd op de enorme grootte van het universum.

Merkwaardig is dat Roger Bacon (1214-1294), een franciscaan die voorstander was van een meer experimentele, meer modern aandoende manier van wetenschapsbeoefening, dan weer geloofde dat de mens een eminente, centrale positie inneemt in het universum. De sterkte van zijn positie was dat dit antropocentrisme gepaard ging met een minder finalistische bijklank: wat Aristoteles finale oorzaken noemde, was voor Bacon pure metafysische speculatie.

Al bij al kunnen we de middeleeuwse filosofie dus aristotelisch noemen. Op enkele reacties na beheerste de aristotelische teleologie het middeleeuwse wereldbeeld.

2.1.3. Een tijd van ontdekkingen

Een belangrijke figuur in dit verhaal is Nicolaus Copernicus (1473-1543), al had zijn klassieker *De revolutionibus orbium celestium* zeer weinig invloed vóór de zeventiende eeuw. Het wereldbeeld van Copernicus was ondanks zijn heliocentrisme zeer antropocentrisch. Hij had bedenkingen bij het loslaten van de fysisch centrale positie van de mens. Hij verzekert dan ook dat deze ‘verplaatsing’ uiterst miniem is, gegeven de immense grootte van de kosmos. Copernicus gebruikt ook op verschillende plaatsen de aristotelische teleologie betreffende de noodzakelijke harmonie en orde in het universum voor zijn constructie van een nochtans mechanisch model. Zo meent hij dat hemellichamen in cirkels bewegen omdat dit de meest perfecte figuren zijn. Hoe dan ook zorgde Copernicus voor een omwenteling in het wereldbeeld van de mens, die echter pas in de zeventiende eeuw ten volle haar impact zou hebben.

Copernicus’ twee bekendste wetenschappelijke opvolgers hielden er diametraal tegenovergestelde ideeën op na als het aankwam op een antropocentrisch designmodel. Galileo (1564-1642) meende dat mensen die dachten dat de aarde voor hen gemaakt was, in een arrogante waan leefden en hun eigen soort veel te hoog achtten. Kepler (1571-1630) daarentegen was een overtuigd teleoloog die van mening was dat alles geschapen werd voor de mens. Hij was ervan overtuigd dat God het universum geschapen had overeenkomstig een perfect numerologisch of geometrisch principe.

Ondanks Keplers geloof in een ultiem doel voor de mensheid, hadden enkele van zijn tijdgenoten sterke bezwaren tegen elke teleologie. Montaigne (1533-1592) bijvoorbeeld pleitte tegen dergelijke argumenten omdat de meeste ervan te antropocentrisch waren om serieus genomen te worden. Hij parodieerde zelfs het verwaande zelfbeeld van de mens met een ornithocentrische teleologie.

Heviger protest tegen teleologische argumenten kwam er van Francis Bacon (1561-1626). Volgens Bacon moesten filosofie en theologie volledig van elkaar gescheiden worden. Hiermee reageerde hij tegen scholastieke syntheses van beide domeinen. Tevens was hij fel gericht tegen alle vormen van aristotelische wetenschap, en voorstander van het vroege atomisme. De vruchteloosheid van teleologische en finalistische verklaringen voor de mens en voor de wetenschap volgens Bacon, wordt mooi weergegeven in een bekend citaat van hem: "Inquiry into final causes is sterile, and, like a virgin consecrated to God, produces nothing" (Barrow & Tipler, 1996, p. 49). Finale oorzaken spelen volgens Bacon enkel een rol in de metafysica. We merken hier een trend op die ook nu nog blijft doorgalmen, namelijk dat 'serieuze' wetenschappers in hun onderzoek de 'ultieme' levensvragen moeten negeren.

Ondanks de felle kritiek van Bacon, kwam zijn tijdgenoot William Harvey (1578-1657) tot zijn monumentale ontdekking van de menselijke bloedsomloop door aan aristotelische wetenschap te doen. Harvey vroeg zich af hoe een ontwerper de menselijke bloedsomloop zou geschapen hebben en in succesvolle combinatie hiermee voerde hij experimenten uit. Daarmee werd hij de voorloper van een nieuw type teleoloog, namelijk die met een grote interesse in de observatie van de gedetailleerde complexiteit van de natuur.

René Descartes (1596-1650), een andere tijdgenoot van Bacon, moest dan weer niets hebben van finale oorzaken, want een dergelijk concept was volgens hem steeds verbonden met een antropocentrisch en subjectief wereldbeeld. Descartes ging nog verder dan Bacon door finale oorzaken zelfs uit het domein van de metafysica te bannen. Hij ontkende nergens dat de natuur het resultaat kan zijn van een ultiem en gepland ontwerp, maar meende dat het niet mogelijk was voor ons mensen om dit te achterhalen.

2.1.4. De mechanische wereld

De zeventiende eeuw kende een graduele overgang van een organisch naar een mechanisch wereldbeeld. Een nieuwe en voor ons verhaal interessantere vorm van het designargument werd hierdoor populair, vooral bij Britse fysici. De meest fervente supporter ervan was Robert Boyle (1627-1691). Boyle zocht naar specifieke voorbeelden en speciale toevalligheden in de natuur, die hij vervolgens bestempelde als excellente gevolgen van goddelijk vakmanschap. Zijn wereldbeeld was mechanisch en net als Descartes verwierp hij het aristotelianisme. Toch kende hij de mens een bevooroordeelde

plaats toe in de natuur. Hij meende dat tegenstanders van het antropocentrisme al even pretentiekus handelden als diegenen waartegen ze reageerden, door de mens juist geen bevooroordeelde plaats toe te kennen. Boyle verkoos boven alles het zoeken naar indicaties van design in details uit fauna en flora. Op die manier hoopte hij via inspectie van het binnenste van het mechanisme dat de wereld is, tot de kern te komen van de constructie, tot het doel waarvoor elk mechanisme gemaakt is.

In de biologie hield Aristoteles' organische wereldbeeld langer stand. De bioloog John Ray (1629-1704) bijvoorbeeld greep naar een vitalistische kracht om de constante ontwikkeling en ontplooiing van het toneel van de wereld te verklaren. Een sterke continentale opponent van dit soort pogingen om een finalistisch designprincipe te introduceren in de wetenschappen was Benedict de Spinoza (1632-1677). Zoals bij de antieken Lucretius beweerde dat Aristoteles de kar voor het paard spande, zo meende ook Spinoza dat zij die teleologisch redeneren oorzaken en gevolgen door elkaar halen. Spinoza gaat nog verder door theorieën die werken met finale oorzaken te zien als een vorm van wensvervulling: niet de natuur zoals ze is wordt onderzocht, maar de natuur zoals we wensen dat ze zou zijn.

Dergelijke metafysische en logische tegenwerpingen hadden echter weinig gehoor aan de overkant van het Kanaal, alwaar Isaac Newton (1642-1727) zijn steun betoog aan de antropocentrische teleologie. Newton was een overtuigd deïst. Zijn zo zorgvuldig en indrukwekkend beargumenteerde theorie werd de basis voor een hele stroom designargumenten gebaseerd op optische en gravitationele fenomenen.

Een overtuigd volgeling van Newton en groot voorstander van teleologische interpretaties van diens theorie, was Richard Bentley (1662-1742). Bentley had een zeer goede kennis van Newtons theoretische werk en beweerde dat design het best waargenomen kan worden in de elegante, wiskundige, algemene wetten. De hoeksteen van zijn argumentatie was Newtons theorie van de zwaartekracht, waaruit voor de eerste keer een (nog steeds) fundamentele natuurconstante afgeleid kon worden (de zwaartekracht). Deze constante gaf Newtons theorie haar universele karakter, en leek volgens Bentley te impliceren dat er iets absoluuts gaande is met het hele mechanisme van de wereld.

Newton en zijn volgelingen zien God niet langer als de finale oorzaak van de natuur zelf, zoals dat bij de scholastici wel nog het geval was. De rol van God wordt iets beperkter. Zijn taak ligt in het in stand houden van de natuurwetten en van de orde. God moet dus slechts ingrijpen wanneer iets verkeerd lijkt te lopen. De newtoniaan Samuel Clarke (1675-1729) bijvoorbeeld was zo'n occasionalist. Hij meende dat God constant

tussenkomen om aberraties in de orde van de natuur te corrigeren, zoals een horlogemaker nu en dan zijn horloge moet regelen en repareren. Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) was de grote opponent van Clarke. De positie van Clarke was volgens Leibniz oneerbiedig en incorrect omdat ze impliceerde of dat God niet voldoende kon voorzien wat er te gebeuren staat, of dat de wetten van de natuur en van de schepping op één of andere manier imperfect zijn.

Tegen het wereldbeeld van Leibniz werd dan weer gereageerd door François-Marie Arouet (1694-1778), die we beter kennen onder de schuilnaam Voltaire. Zijn opinie was dat een universum wijst op het bestaan van een God zoals een horloge wijst op het bestaan van een horlogemaker. Wel was Voltaire een harde tegenstander van elk antropocentrisch designargument.

2.1.5. Kritische ontwikkelingen

Giovanni Vico (1688-1744) was een christelijke teleoloog die geloofde dat het ultieme levensdoel ons enkel door openbaring duidelijk kan worden gemaakt. Veel belangrijker is het onderscheid dat hij maakte tussen de wereld zoals ze is en de wereld zoals ze door ons gekend kan worden. Om deze reden wordt Vico vaak beschouwd als een voorloper van Kant. Hij zag in dat mathematische modellen voor onze geest aanneembaar en coherent schijnen enkel en alleen omdat ze juist door die geest gemaakt zijn. Al ons onderzoek is met andere woorden antropocentrisch. We kunnen niet anders dan de menselijke rede en menselijke werktuigen gebruiken in ons leven. De link naar selectie-effecten en het antropisch principe is hier zeer duidelijk.

Een grondigere sceptische aanval op naïeve designargumenten, meer bepaald op de logische vorm ervan, kwam van David Hume (1711-1776). Hume noemde het designargument 'the religious hypothesis' en gaf drie principiële problemen ervan aan. Ten eerste is het onwetenschappelijk: er kan geen causale verklaring zijn voor de orde in de natuur omdat de uniciteit van de wereld alle gronden voor vergelijking wegneemt. Ten tweede kan het redeneren via analogieën nooit volstaan als rechtvaardiging voor een deductief bewijs. En tenslotte wordt door creationisten alle evidentie tegen hun hypothese genegeerd. Hume maakt redeneringen die hedendaagse kosmologen antropisch zouden noemen. Zo wijst hij op de tautologische natuur van designargumenten die het hebben over de harmonieuze relatie tussen de organen bij levende wezens: het is absurd om hieruit af te leiden dat levende wezens geschapen

moeten zijn door een godheid, want hoe zouden er ooit levende wezens kunnen bestaan moesten hun organen niet met elkaar in relatie staan? Hume wil het designargument niet zozeer verwerpen, maar wil aantonen dat het hier vragen betreft die gewoonweg niet zinvol zijn. Onze positie in het universum zorgt namelijk voor natuurlijke limieten met betrekking tot onze pogingen tot veralgemening.

Een ander groot filosoof die onderzoek deed naar doelmatigheid in de natuur, en die niet toevallig erkende dat hij juist door David Hume uit zijn 'dogmatische slaap' gewekt werd, is Immanuel Kant (1724-1804). Kant zag (onafhankelijk van Vico) de onherleidbare subjectiviteit in van onze observaties. Hij noemde het designargument het 'fysico-theologisch argument' en ging net zoals Hume in tegen de logische structuur ervan. Ook Kant meende dat de zuivere rede alleen noch ware, noch valse uitspraken kan doen betreffende een of andere 'Ontwerper'. Hij stelde dat onze observaties van orde en structuur in het universum onherroepelijk oprijzen omdat we nu eenmaal dergelijke concepten geïntroduceerd hebben in onze analyse en ervaring. Kants notie van teleologie werd in de negentiende eeuw zeer populair bij Duitse biologen. Hij meende dat ultieme biologische verklaringen een niet-mechanische causaliteit eisen, namelijk teleologie, waarbij elk deel van het geheel gelijktijdig oorzaak en gevolg is. Op deze manier overstijgt de deel-geheelrelatie elke mechanische causaliteit. Kant ging als het ware op zoek naar het plan in de organisatie van levende wezens, maar waarschuwde hierbij tegen een al te vitalistische opvatting hiervan. Die waarschuwing bleek later terecht, want vele van zijn volgelingen zagen verkeerdelijk een soort levenskracht aan het werk in de teleologie van Kant.

De kritiek van Kant, hoe scherp en belangrijk die ook was, had weinig invloed in Engeland, alwaar het designargument een grote populariteit kende. William Paley (1743-1805) maakte door zijn duidelijke, heldere schrijfstijl (die onder andere op Charles Darwin indruk zou maken) vele zielen warm voor het designargument. Hij bouwde zijn case voor design op de constitutie van natuurlijke zaken, veeleer dan op de ontwikkeling ervan. Zijn blik was volledig antropocentrisch. Paley gebruikte de analogie van de wereld als uurwerk, en zag de interne structuur van het oog als bewijs *par excellence* van design. Zijn boek 'Natural Theology' werd voor die tijd een bestseller. In dit werk besprak hij zowel voorbeelden van design bij dieren en planten, als voorbeelden van design in de kosmos (natuurwetten, hemelobjecten). De combinatie van enkele zeer intrigerende voorbeelden van ontwerp in de natuur, zowel op aarde als in het heelal, en de heldere argumentatietrانت van Paley in zijn 'Natural Theology' gaven hem veel aanzien. De

verklaring van het universum in termen van een antropocentrisch ontwerp leek in het predarwiniaanse Engeland de enige juiste. Dat de kritiek van bijvoorbeeld Hume niet serieus werd genomen, heeft grotendeels te maken met de afwezigheid van een plausibel alternatief.

2.1.6. Design na Darwin?

Charles Darwin (1809-1882) zou, hoewel op jonge leeftijd nog verrukt door Paleys 'Natural Theology', als eerste voor een dergelijk alternatief zorgen, althans voor de designargumenten met betrekking tot planten en dieren. De omwenteling die Darwin veroorzaakte is tweeledig. Enerzijds verloor hij de mens van zijn waan dat alles voor hem gemaakt is. Anderzijds maakte hij komaf met de natuurlijke teleologie en met de doctrine van finale oorzaken. De evolutieleer was al een tijdje in de maak, maar pas Darwins introductie van het mechanisme van natuurlijke selectie en zijn grote verzameling observaties en data konden mensen uiteindelijk doen inzien dat er met zowel het antropocentrisme als met de designhypothese iets scheelt.

Darwins leer viel echter met een beetje kundigheid te combineren met een teleologische visie. Dat bewees Asa Gray (1810-1888). Hij zag in de wereld een universele teleologie aan het werk die het mechanisme van natuurlijke selectie gebruikte om haar doel te bereiken. Ook John Fiske (1842-1901) geloofde niet dat natuurlijke selectie niet samen kon gaan met een teleologische visie, zolang die maar opgevat wordt op een schaal die groot genoeg is.

Door de revolutie die het werk van Darwin veroorzaakte, raakten de astronomische designargumenten gebaseerd op het samen aanwezig zijn van een aantal (schijnbaar) toevallige eigenschappen in ons zonnestelsel wat op de achtergrond, hoewel ze nochtans een substantieel deel uitmaakten van de argumentatie van Paley. Fysici concentreerden zich voornamelijk op het probleem van het ontstaan en de leeftijd van onze aarde. Darwins meest verwoede tegenstander op dit vlak was Lord Kelvin (1824-1907), die meende dat zijn geofysisch bewijsmateriaal erop wees dat de aarde nog niet lang genoeg bestond voor de mens om volgens natuurlijke selectie geëvolueerd te zijn. In zijn werk over dit onderwerp was het Kelvins bedoeling de ideeën van Darwin te verwerpen. Hij schatte de leeftijd van de aarde tussen 20 en 400 miljoen jaar, terwijl volgens darwinisten onze planeet al veel langer zou moeten hebben bestaan opdat evolutie via natuurlijke selectie mogelijk kon zijn. Het debat dat hierop volgde, leidde tot een

voorspelling afgeleid van een antropische redenering. Hoewel de voorspelling van Kelvin initieel weinig belangstelling kende, zagen zowel fysici als biologen geleidelijk aan het belang ervan in. Voornamelijk evolutiedeskundigen als Wallace en Huxley, en uiteindelijk zelfs Darwin zelf, hechtten allen belang aan Kelvins voorspelling en gaven toe dat de evolutie wel eens veel sneller zou kunnen verlopen zijn dan ze dachten. Wanneer op het einde van de negentiende eeuw een nieuwe reeks papers van fysici als Tait en King nog verder ging dan Kelvin in de beperking van de leeftijd van de aarde (Tait beperkte die tot 20 miljoen jaar) weigerden geologen en biologen echter verdere toegevingen te doen. De voor ons onderwerp belangrijkste reactie tegen deze voorspellingen van de leeftijd van hemelobjecten kwam van de Amerikaanse professor geologie Thomas C. Chamberlain. Hij maakte de redenering dat de toenmalige stand van kennis over het gedrag van materie niet voldoende was om voorspellingen te maken over de leeftijd van hemelobjecten en voorspelde dat bij de extreme condities in de kern van onze zon die thermonucleaire fusie veroorzaken van waterstof in helium, energie zou kunnen vrijkomen. Zo'n dertig jaar na de voorspelling van Chamberlain bleek dat deze energie de waarde ϵ is uit de inleiding. De antropische beperking die Chamberlain oplegde, leidde hem correct naar het besluit dat er nucleaire bronnen van energie zijn die in rekening moeten worden gebracht wanneer we de leeftijd van een hemelobject als de zon willen berekenen.

Reeds in de antieke samenleving kwam er kritiek op pogingen om de structuur van organische en anorganische fenomenen te verklaren op basis van teleologische en eutaxiologische designargumenten. Critici volgden hoofdzakelijk twee lijnen van argumentatie. Sommigen pleitten dat designargumenten ons niets zinnigs bijleren en dat ze oorzaken en gevolgen verwarren. Anderen meenden dat het om een kwestie gaat waar niets over gezegd kan worden, een kwestie die eeuwig onbeslist zal blijven. Slechts heel zelden werd door auteurs van geschriften over natuurlijke theologie of teleologische wetenschap gereageerd op deze kritieken. Een uitzondering hierop is het werk van Paul Janet (1823-1899). In zijn uiterst genuanceerde 'Causes finales' poogt hij mechanisme en finalisme te combineren. Beide vormen een juiste verklaring voor een fenomeen, maar dan elk binnen hun eigen referentiesfeer. Janet bediscussieert natuurlijke selectie en besluit dat dit mechanisme slechts werkt in de context van geforceerde broedexperimenten en dus niet in de vrije natuur.

Tot slot van deze sectie nog mijn favoriet designargument (ook de favoriet van Barrow & Tipler). Het werd geformuleerd door Bernardin de Saint-Pierre en gaat als volgt: honden hebben gewoonlijk twee contrasterende kleuren, één licht en één donker, zodat, waar ze

zich ook bevinden in huis, ze steeds onderscheiden kunnen worden van de meubelen, met wiens kleur ze niet verward kunnen worden (Barrow & Tipler, 1996, p. 92, mijn vertaling).

2.2. Van designargumenten naar het antropisch principe

Charles Darwin zorgde met zijn evolutieleer voor een wetenschappelijk alternatief voor designargumenten gebaseerd op eigenschappen van fauna en flora. Designargumenten zoals die geformuleerd werden door Paley zorgden voor orde in de wereld: levende wezens zijn niet het resultaat van willekeurige processen, maar zijn het product van een intelligente ontwerper. Vóór Darwin zijn evolutieleer publiceerde, was het creationisme dan ook de meest aannemelijke theorie om te verklaren hoe wij konden ontstaan (Weber, 2005a). De evidentie voor Darwins evolutieleer is echter overweldigend. Meteen na de publicatie van *On the Origin of Species* in 1859 ontstond een groots publiek debat. Steeds meer wetenschappers zagen in dat de mens afstamt van de aap. Hieruit mogen we echter niet besluiten dat het designargument na Darwins publicatie uit elk boek geschrapt moest worden. We herinneren ons dat Paley nog een andere klasse designargumenten geformuleerd heeft, namelijk die argumenten die vertrekken van de 'kosmische toevalligheden' en die gebaseerd zijn op de observatie van merkwaardige eigenschappen van ons universum. Deze klasse noemt Elliott Sober de kosmische designargumenten. Hij contrasteert ze met de organische designargumenten, die starten bij eigenschappen van organismen in de natuur hier op aarde (Sober, 2004). De evolutietheorie leert ons niets over het universum als geheel. Ze verklaart de evolutie van organismen beter dan organische designargumenten, maar is niet in conflict met kosmische designargumenten. Daarom mogen we niet stellen dat Darwins theorie komaf maakte met *elk* designargument.

De kaakslag die Darwin gaf aan het traditionele (organische) designargument leert ons volgens Barrow & Tipler twee zaken. Enerzijds speelden designargumenten een sleutelrol in die zin dat ze Darwin ertoe leidden zijn theorie te formuleren. Anderzijds moeten we vaststellen dat de designargumenten van vandaag, namelijk die gebaseerd op niet-biologische eigenschappen van ons universum, niet aan geloofwaardigheid moesten inboeten na de publicatie van *On the Origin of Species*. Het is deze laatste klasse designargumenten die in haar eutaxiologische vorm de verzameling bepaalt van de kosmische toevalligheden die aanleiding gaven tot de formulering van antropische

argumenten (Barrow & Tipler, 1996; Craig, 1988). Om beter in te zien hoe dit precies in zijn werk ging, wordt het historisch overzicht verder aangevuld met enkele ontwikkelingen die zich voordeden in de twintigste eeuw.

2.3. Teleologisch denken in de twintigste eeuw

Antropocentrische, teleologische en antropische redeneringen zijn nauw verwant aan elkaar. In het voorgaande overzicht werd duidelijk dat dit soort argumenten lang niet nieuw en revolutionair is. Barrow & Tipler stellen dat de antropische principes die nu geformuleerd worden, moderne manifestaties zijn van een tendens om designargumenten te formuleren rond succesvolle, contemporaine mathematische theorieën (Barrow & Tipler, 1996, p. 109).

2.3.1. Teleologie in de biologie

Ten tijde van Paley werd in de biologie vooral gebruik gemaakt van teleologische verklaringen. De darwiniaanse revolutie veranderde dit alles. Adaptaties bij levende wezens werden nu verklaard door het mechanisme van natuurlijke selectie. Gedetailleerd evolutionair onderzoek maakte komaf met teleologische en antropocentrische verklaringen. Er is geen doelmatig patroon herkenbaar in de evolutie der soorten. Men zag in dat mensen ertoe geneigd zijn zichzelf een belangrijkere plaats toe te kennen dan ze eigenlijk innemen, bijvoorbeeld door elke ontwikkeling in de evolutie die leidt naar meer menselijke eigenschappen, als een goede ontwikkeling te beschouwen. Evolutiebiologen onderzochten de hersenen bij mensen en dieren en kwamen tot de conclusie dat een relatief grote herseninhoud of de toename van de grootte van de hersenen het overleven van een bepaalde soort niet bevorderen. Meer nog, C.O. Lovejoy stelde vast dat intelligente wezens geen enkel a priori evolutionair voordeel hebben. Bovendien is de ontwikkeling van intelligentie iets heel zeldzaams. Zelfs in de lijn die afstamt van primaten, zijn mensen de enige echt intelligente soort. Lovejoy toonde aan hoe dit het resultaat is, niet van een evolutionaire trend, maar wel van een reeks hoogst eigen evolutionaire gebeurtenissen waarbij niet rechtstreeks met het mechanisme van natuurlijke selectie verbonden zaken meespelen zoals de manier van bewegen van tweevoetigen, ons dieet, spraak en intens gedrag in gemeenschap en als ouder. Bij de grote evolutionair Ernst Mayr vinden we gelijkaardige opvattingen terug. Zo stelde Mayr vast dat terwijl het zo complex in elkaar stekende oog op minstens veertig plaatsen

ontstaan is in de loop van de geschiedenis, intelligentie slechts éénmaal evolueerde. Er ontstond dan ook een grote consensus onder evolutiedeskundigen (Mayr, Ayala, Dobzhansky, Simpson, François,...) dat de mogelijkheid tot evolutie van intelligent leven zo onwaarschijnlijk klein is dat het extreem ongewoon zou zijn moest het zich ook elders in ons zichtbaar universum ontwikkeld hebben. Er is geen enkele aanwijzing voor het onafwendbaar zijn van de evolutie van intelligent leven, integendeel. Dit soort overwegingen leidde er dan ook toe dat biologen als Mayr zich vijandig gingen opstellen tegenover het concept teleologie in de biologie.

Teleologie maakt echter substantieel deel uit van de biologie: doelmatig gedrag is eigen aan elk levend wezen. In de terminologie van Ayala is de evolutie van de menselijke soort een vorm van niet-gedetermineerde natuurlijke teleologie. Dit soort teleologie doet zich voor wanneer het resultaat van een evolutie slechts één van de vele mogelijke uitkomsten is van het evolutionaire proces die konden ontstaan uit de beginstaat. Dat mensen geëvolueerd zijn is een feit, maar het is niet het doel van één of ander gericht systeem. Dit hoeft uiteraard niet in te houden dat we niet langer geïnteresseerd kunnen zijn in de gebeurtenissen die aanleiding gaven tot het ontstaan van onze soort, ook al is de geschiedenis die tot ons bestaan leidde een geschiedenis die bij de beginstaat hoogst onwaarschijnlijk leek. We kunnen hier de link maken naar bijvoorbeeld het domein van de politieke geschiedenis. Het was allesbehalve voorbestemd dat België Kongo zou koloniseren, maar het is niettemin interessant om de feiten te kennen die daar aanleiding toe gaven.

Hoe zit het dan met de toekomst? Als gedrag van levende wezens enigszins planmatig en gericht verloopt, kunnen we het dan voorspellen? We moeten deze vraag negatief beantwoorden, want ook hier kunnen factoren van omstandigheid plots een grote rol spelen. Zoals een schijnbaar klein detail er in het verleden toe kon leiden dat de mens niet evolueerde, zo kan ook een klein detail onze plannen veranderen, waardoor we onvoorspelbaar worden. Om de capaciteiten van het menselijke brein te simuleren met een computer, is reeds een drastische reductie nodig van de data. Maar dit is juist wat we doen als we een teleologische verklaring geven voor een fenomeen. In een teleologische verklaring wordt een selectie van de mogelijke data als voldoende beschouwd om er ons gedrag mee te voorspellen. Als we nu juist op deze manier ons brein willen simuleren, dan hebben we dus geen causale, maar een teleologische verklaring voor ons gedrag.

De teleologie, de doelmatigheid in het menselijke gedrag is er dus, maar kan onmogelijk op betrouwbare wijze voorspeld worden. Enkel het gedrag van een individu kan op korte termijn enigszins goed voorspeld worden en zelfs dan kan het nog gebeuren dat – door (onvoorziene) omstandigheden – de voorspelling verkeerd is. De evolutie op lange termijn van een biologische soort is dus grillig en compleet onvoorspelbaar. De mens heeft niet één allesoverheersende doelstelling en hem zo'n doelstelling opleggen zou rampzalige gevolgen hebben.

2.3.2. Henderson

Lawrence J. Henderson, prof. biochemie aan de universiteit van Harvard, publiceerde in 1913 en 1917 respectievelijk 'The Fitness of the Environment' en 'The Order of Nature'. Hoewel zijn werk niet echt grote impact had meteen na de publicatie ervan, zou het later door moderne biologen opgepikt worden en mee aan de basis liggen van de ontwikkeling van het antropisch principe gebaseerd op biochemische systemen.

Henderson ontdekte in de wetenschappelijke literatuur een aantal substanties waarvan de specifieke eigenschappen essentieel zijn voor het ontstaan van levende wezens. Vooral de chemische eigenschappen van waterstof, zuurstof en carbon zijn absoluut uniek. In zijn interpretatie van deze ontdekking ging Henderson uit van een moderne, wetenschappelijke aanpak. Waar zijn voorgangers de unieke eigenschappen van chemische stoffen zouden hebben toegeschreven aan een Ontwerper, zocht Henderson naar een causale naturalistische verklaring. Hij was darwinist en bleef agnostisch wat het bestaan betrof van een God of een Ontwerper. Toch was hij diep onder de indruk van wat hij aantrof, namelijk een reeks chemische elementen met zeer aparte eigenschappen die, moesten ze er niet zijn, nooit tot het ontstaan van de mensheid zouden kunnen geleid hebben. Zelf was Henderson zich niet bewust van het onderscheid dat Hicks in 1883 gemaakt had tussen teleologische en eutaxiologische orde. Hij gebruikte dan ook 'teleologisch' waar hij in feite 'eutaxiologisch' bedoelde. Om meer te weten te komen over de speciale en hoogst onwaarschijnlijke situatie waarin wij ons bevinden, moesten we volgens Henderson terug naar het ontstaan van ons universum, alwaar we kunnen leren hoe de chemische elementen ontstaan zijn. Aan het begin van de twintigste eeuw was hierover echter nog weinig geweten, dus was verder onderzoek niet mogelijk.

De 'speciale' chemische elementen worden verondersteld onveranderlijke, absolute eigenschappen te zijn van ons universum. Ook vandaag gaan we er nog vanuit dat deze

elementen door de natuurwetten vastgelegde en onveranderlijke eigenschappen hebben. Een meer betwifelbaar aspect van Hendersons argumentatie betreft de vraag of deze eigenschappen aan elkaar gerelateerd zijn. Henderson meende van niet, maar we kunnen er nooit zeker van zijn dat toekomstige ontwikkelingen in de fysica niet zullen aantonen dat verondersteld onafhankelijke eigenschappen toch iets met elkaar te maken hebben. Dit is een belangrijk argument tegen het poneren van verschillende zogenaamde antropische toevalligheden: het blijft steeds mogelijk dat in de toekomst wordt aangetoond dat het in feite niet om toevalligheden gaat, maar om zaken die causaal met elkaar verbonden zijn.

Henderson presenteerde in zijn werk het nog steeds krachtige argument dat de eigenschappen van de materie rondom ons op een fundamenteel teleologische wijze gezien kunnen worden als voorbereidingen op het ontstaan van levende wezens. Hij noemde ons universum in essentie 'biocentrisch'.

2.3.3. Disteleologie en de Hittedood

De moderne wetenschap vormt een groot probleem voor teleologische argumenten. De notie teleologie suggereert een zekere vooruitgang naar een doel dat we aan het bereiken zijn. In de 19^e eeuw ging dit inzicht gepaard met een groot optimisme. Zelfs Darwin, die de traditionele teleologie een vernietigende aanval toediende, kon het niet laten om neer te schrijven dat natuurlijke selectie elk menselijk wezen ten goede komt en dat de menselijke geest steeds meer neigt naar perfectie (Barrow & Tipler, 1996, p. 166). Pas nadat Darwin dit in 1859 formuleerde, raakten de disteleologische gevolgen bekend van de tweede wet van de thermodynamica, die nochtans al in 1854 ontdekt werden door von Helmholtz. Deze wet stelt dat interagerende systemen steeds naar een evenwicht zullen evolueren. Wanneer we bijvoorbeeld één emmer warm water en één emmer koud water in dezelfde kuip gieten, zal het water in de kuip noch warm, noch koud, maar lauw zijn. De temperatuur ervan is dus in evenwicht gebracht. Deze tendens naar het zoeken van een evenwicht noemen we entropie. Von Helmholtz zag in dat het universum al haar beschikbare energie aan het opgebruiken was en dat dus binnen een eindige tijd alle energie op zal zijn, wanneer het universum haar toestand van maximale entropie zal bereiken. Dit is de hittedood van het universum. Het universum werkt dus niet teleologisch, maar disteleologisch. De popularisering hiervan aan het eind van de negentiende eeuw had zeer negatieve gevolgen voor het heersende optimisme. Onder

andere Charles Darwin was diep bedroefd door de ontdekking van een mogelijke hittedood. William R. Inge maakte dan weer gebruik van het concept 'hittedood' om de christelijke traditie te verdedigen. Hij zag in de tweede wet van de thermodynamica de vernietiging van de moderne filosofie, die van de tijd een absolute waarde maakte en die vooruitgang als een kosmisch principe zag. Mensen zullen weer gedwongen worden zich te bekeren tot God, die volledig buiten het universum staat en die een eeuwig leven belooft dat niet onderhevig is aan de hittedood.

Precieze berekeningen van de tijd die onze aarde nog heeft voor ze haar hittedood bereikt, geven aan dat de mens nog zo'n 2×10^{20} jaren te gaan heeft als we evenveel energie blijven gebruiken als nu. Op korte termijn hoeven we ons hierover dus geen zorgen te maken. Bovendien gaan dergelijke voorspellingen uit van een ecologische visie. Daarnaast is er ook nog de economische visie die ons wereldsysteem veeleer ziet als een informatiestroom dan als een stroom van energie en materie. In deze visie wordt de hittedood pas bereikt wanneer de limiet bereikt is van het opslaan van informatie in ons brein. Voor een meer volledig overzicht van deze discussie verwijs ik naar (Barrow & Tipler, 1996, hoofdstuk 10).

2.3.4. Het antropisch principe en de richting van de tijd

Het grote probleem met de tweede wet van de thermodynamica is dat niemand kan verklaren waarom in fysische processen de entropie steeds toeneemt. Wanneer we twee ijsblokjes toevoegen aan een glas water op kamertemperatuur, zullen deze altijd smelten. Niemand heeft ooit het tegendeel waargenomen. De spontane neiging van systemen om naar een evenwichtstoestand te evolueren, hangt nauw samen met de richting van de tijd. De Oostenrijkse fysicus Ludwig Boltzmann (1844-1906) zocht naar een verklaring voor de tweede wet van de thermodynamica en voor de richting van de tijd. Gebruik makend van een antropische redenering vond hij twee mogelijke verklaringen. Boltzmann vroeg zich af waarom in ons universum de toestand van maximale entropie niet overal bereikt is. Waar dit wel het geval is, daar is het universum in thermisch evenwicht en bijgevolg 'dood'. Mede omdat in ons zonnestelsel het thermische evenwicht duidelijk nog niet bereikt is, is er op aarde leven mogelijk. Boltzmann was van mening dat het universum quasi overal de toestand van maximale entropie bereikt heeft, maar dat er hier en daar nog relatief kleine gebieden zijn waar de entropie nog laag is. Ons melkwegstelsel is zo'n gebied. Juist omdat de overweldigende meerderheid van alle

plaatsen in ons universum zich in een toestand van maximale entropie bevindt, is het ook zeer waarschijnlijk dat de weinige plaatsen in een toestand van lage entropie zullen evolueren naar een toestand van hogere entropie (Wald, 2006). Dit is een eerste verklaring voor de richting van de tijd als evolutie naar een toestand van hogere entropie, volgens welke we de tweede wet van de thermodynamica vaststellen omdat intelligente wezens zich enkel kunnen ontwikkelen in die regionen van ons universum waar de omstandigheden het toelaten voor de tweede wet om vastgesteld te kunnen worden. Boltzmann gaf de credits voor dit idee aan zijn assistent dr. Schuetz. Deze verklaring wordt de verklaring in termen van antropische fluctuaties genoemd. Daarnaast is er nog een tweede verklaring mogelijk voor de onwaarschijnlijke toestand van lage entropie waarin wij ons bevinden, namelijk de verklaring in termen van creatie van het universum. Die houdt in dat het universum op een bepaald moment simpelweg ‘gegeven’ werd in haar onwaarschijnlijke toestand van lage entropie. De interpretatie in termen van creatie werd dominant na de ontdekking dat het universum uitdijt.

Een argument tegen het antropische fluctuatiemodel is dat deze verklaring oneconomisch is. Het is volgens critici van deze interpretatie zinloos te beweren dat zo’n groot deel van het universum levenloos en dood moet zijn om te kunnen verklaren waarom een heel klein deeltje ervan levende wezens bevat. Boltzmanns antwoord op dit tegenargument is gevat: “... this objection I consider invalid. I remember only too well a person who absolutely refused to believe that the sun could be 20 million miles from Earth, on the grounds that it is inconceivable that there could be so much space filled with only aether and so little with life” (Barrow & Tipler, 1996, p. 175).

2.3.5. Teleologie en de moderne ‘empirische’ theologie: F.R. Tennant

De ‘empirische’ theologen, die de vraag stellen naar het doel van het universum en de plaats van de mens erin, zijn een uitstervende soort in de twintigste eeuw. Dit heeft uiteraard veel te maken met de darwiniaanse revolutie die komaf maakte met organische designargumenten in de stijl van Paley. De meeste moderne theologen proberen wetenschappelijke argumentatie zoveel mogelijk te vermijden. Dit hoeft echter niet: natuurlijke theologie die beroep doet op ‘aardse’ designargumenten is in de twintigste eeuw inderdaad nog moeilijk te verdedigen, maar kosmische designargumenten lijken meer dan ooit van toepassing. Dat wist ook de Britse theoloog F.R. Tennant, die in 1930 zijn ‘Philosophical Theology’ publiceerde, waarin hij de notie ‘kosmische teleologie’ in

detail ontwikkelde. Tennant ordende de gebeurtenissen in deze wereld in 'antropische categorieën'. Dit lijkt het eerste gebruik van de term 'antropisch' in moderne context (Barrow & Tipler, 1996, p. 181). Uit zijn ordening in categorieën leidt Tennant af dat onze wereld zo geselecteerd werd dat ze het bestaan toeliet van rationele wezens. Kosmische teleologie en een zekere mate van antropocentrisme gaan aldus samen. Tennant benadrukte dat zijn gebruik van 'antropisch' niet noodzakelijk betekent dat de mens als soort het ultieme doel is van de schepping. Hij bedoelde veeleer dat het universum antropocentrisch is in die zin dat het consistent is met het bestaan van rationele wezens.

2.3.6. Grote Getallen

De moderne vorm van het WAP is ontstaan uit pogingen om ons bestaan te linken met onveranderlijke eigenschappen van de structuur van het universum die noodzakelijk zijn voor het ontstaan van observatoren. De soms zeer eigenaardige waarden van deze van elkaar onafhankelijke eigenschappen lokten grote verbazing uit bij wetenschappers.

Aan het eind van de negentiende en in de eerste decennia van de twintigste eeuw werden enkele natuurconstanten ontdekt waarvan de waarde zo groot of klein is dat ze veel onderzoekers met diepe vragen achterlieten. Zo ontdekte Max Planck in 1899 de constante h (waarde: $6,62 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg /s}$) waarmee de grootte van kwanta beschreven kon worden, en schreef Arthur Eddington in 1923 dat er zo'n 10^{79} deeltjes zijn in het universum⁴. Deze enorme getallen werden al gauw onderwerp van numerologische speculatie bij kosmologen en fysici. Wat echter begon als spelerei gaf soms aanleiding tot een kettingreactie van verdere ontwikkelingen die uiteindelijk leidde tot de verklaring van de waarde van een constante. Zo bepaalden Weber en Kohlrausch in 1856 voor het eerst op experimentele wijze de verhouding tussen de waarden van de eenheden van elektrische en magnetische lading: $3,107 \times 10^{10} \text{ cm.s}^{-1}$. Een jaar later merkte Kirchhoff op dat deze waarde dicht bij de waarde van de lichtsnelheid lag. Dit 'numerologisch toeval' kwam ter ore van Riemann en Maxwell. Nog een jaar later leidde Riemann formeel de eenheid af van beide waarden, en in 1865 formuleerde Maxwell zijn wetten voor het elektromagnetisme.

De grote koning van de numerologische speculatie in de twintigste eeuw was Arthur Stanley Eddington (1882-1944). Eddingtons programma bestond uit het exact bepalen

⁴ Eddington berekende dit getal met een enorme precisie: hij meende dat er exact 15 747 724 136 275 002 577 605 653 961 181 555 468 044 717 914 527 116 709 366 231 425 076 185 631 031 296 protonen zijn in het universum, en evenveel elektronen (Barrow & Tipler, 1996, p. 219).

en vervolgens verklaren van de waarden van fundamentele natuurconstanten. Whittaker beschreef het principe waardoor Eddington zich laat leiden in zijn aanpak als volgt: “All the quantitative propositions of physics, that is, the exact values of the pure numbers that are constants of science, may be deduced by logical reasoning from qualitative assertions without making any use of quantitative data derived from observation” (Barrow & Tipler, 1996, p. 224).

Eddington begon aan de constructie van een model van het universum vertrekkend van een verzameling fysische constanten: de zwaartekrachtsconstante (G), de lichtsnelheid (c), de massa's van elektronen en protonen (m_e en m_N), de lading van het elektron (e) en de constante van Planck (h). Door de waarden van deze getallen te combineren en te bewerken met nog twee parameters (het aantal deeltjes in het universum N (10^{79}) en Einsteins kosmologische constante (Λ)), bekam hij een aantal nummers die rond drie getallen gecentreerd lagen: 1, 10^{40} en 10^{80} . Enkele ad hoc constructies die het werk van Eddington beter deden overeenstemmen met de experimentele waarden die berekend werden en het feit dat het om puur theoretische numerologische speculaties ging, schaadden de geloofwaardigheid van zijn werk en gaven Eddington de reputatie een mysticus en een excentriekeling te zijn. Zijn werk valt inderdaad soms makkelijk te bekritisieren, maar het is vooral interessant omwille van de visie van een onderliggende eenheid in de natuur die ervan uitgaat. Eddington had een grote invloed op de kosmologie in de twintigste eeuw, omdat hij de aandacht vestigde op de alomtegenwoordigheid van grote, dimensieloze getallen in de fysica. Vele andere onderzoekers raakten via het werk van Eddington geïntrigeerd door deze getallen, wat hen ertoe aanzette zelf op zoek te gaan naar een verklaring voor hun waarden.

2.3.7. De hypothese van Dirac

Eén van die onderzoekers was Paul Dirac. Zijn verklaring voor de grootte van de getallen in het werk van Eddington, steunde op een nogal radicale veronderstelling. Dirac meende immers dat één van de traditionele natuurconstanten (namelijk de zwaartekrachtsconstante G) in feite geen natuurconstante is, omdat ze varieert in de loop der tijden (Leslie, 1992). Beschouwen we volgende twee typische ‘grote getallen’:

$$N_1 = \text{leeftijd van het universum (t}_0\text{) uitgedrukt in atoomeenheden} \approx 6 \times 10^{39}$$

$$N_2 = \frac{\text{elektrische kracht tussen proton en elektron}}{\text{zwaartekracht tussen proton en elektron}} \approx 2,3 \times 10^{39}$$

Dirac was van mening dat deze getallen aan elkaar gelijk zijn (tot op één orde van magnitude) als gevolg van een nog niet ontdekte natuurwet. Om deze gedachte meer formeel uit te drukken, stelde hij de Large Numbers Hypothesis op:

LNH: Any two of the very large dimensionless numbers occurring in Nature are connected by a simple mathematical relation, in which the coefficients are of the order of magnitude unity (Barrow & Tipler, 1996, p. 232).

De belangrijkste vernieuwing in de verzameling natuurconstanten van Dirac was dat hij in zijn vergelijkingen een tijdsafhankelijke variabele introduceerde, namelijk de leeftijd van het universum (Hubble leeftijd). Als gevolg hiervan moest elk getal van de orde $\sim 10^{40}$ dat volgens LNH verbonden is met N_1 , tijdsafhankelijk zijn. Het grote voordeel van deze hypothese is dat de grootte van deze getallen verklaard wordt door deze tijdsafhankelijkheid: de getallen zijn zo groot omdat ons universum oud is.

Algauw werd echter duidelijk dat uit LNH op zich niet volgt dat één natuurconstante tijdsafhankelijk moet zijn. Als we in N_1 t_0 vervangen door t_{max} , de tijd die het universum nodig heeft om uit te dijen tot haar maximumvolume, bevat N_1 niet langer een tijdsafhankelijke natuurconstante. t_{max} is immers onveranderlijk, op welk tijdstip we het universum ook waarnemen. We mogen t_0 door t_{max} vervangen omdat beide getallen hoogstens één orde van magnitude van elkaar verschillen, zodat de waarde van N_1 ongeveer gelijk blijft en zodat dus nog steeds $N_1 \approx N_2$. LNH enerzijds en het door de tijden heen variabel zijn van natuurconstanten zijn dus twee verschillende zaken.

Een ander punt van kritiek op het werk van Dirac is dat de leeftijd van het universum een lokaal gegeven is. De Hubble leeftijd van een universum is dus afhankelijk van de plaats in dat universum van waarop je de leeftijd vaststelt, onder andere omdat het universum niet overal dezelfde dichtheid heeft. Om van de leeftijd van ons universum een fundamentele natuurconstante te maken en aldus een oplossing te hebben voor dit probleem, zou je dus een soort ruimtelijk gemiddelde Hubble leeftijd moeten berekenen en die als fundamenteel beschouwen. Deze oplossing is omslachtig en in de praktijk erg moeilijk realiseerbaar.

Ondanks deze kritieken zorgde het werk van Dirac voor heel wat opschudding. De richting die hij ingeslagen had, leidde tot een reeks ongewone en testbare voorspellingen. Zo leidde ze onrechtstreeks tot de conclusie dat Einsteins kosmologische constante (Λ) (zie inleiding) moest verdwijnen.

Het was George Gamow die opmerkte dat het in de theorie van Dirac niet noodzakelijk de zwaartekracht moet zijn die kan variëren. De theorie kan bijvoorbeeld ook correct

geïnterpreteerd worden door G constant te houden, maar door de elektronlading te laten variëren. Ook andere astrofysici gingen suggereren dat verschillende kwantiteiten die normaal als constant beschouwd werden, konden variëren afhankelijk van de tijd. Nochtans was de introductie van een tijdsafhankelijke natuurconstante niet zó revolutionair meer in 1937. Al in 1874 beweerden Tait en Lord Kelvin bijvoorbeeld een regelmatige, systematische afname vast te stellen van de lichtsnelheid en zoals Dirac ook zelf aangaf, was de suggestie dat G varieert in de loop der tijden verwant met de gravitatie-theorie van Milne uit 1935 (zie (Milne, 1935)).

Het grote probleem met deze en andere suggesties betreffende door de tijden heen variërende natuurconstanten, is dat het soms heel moeilijk is om experimenten op te zetten om de hypothesen te testen. Om variaties te kunnen meten in het gedrag van een waarde, moet je minstens twee onafhankelijke standaarden hebben waaraan je ze kan testen. Pas dan is het resultaat betrouwbaar. Het is dus geen makkelijke opdracht om in de praktijk variaties te zoeken in dimensieloze waarden. Een simpel voorbeeld geeft reeds aan welke problemen zich hierbij stellen. Een staande klok meet de tijd aan de hand van de frequentie waarmee de pendule zich beweegt doorheen het gravitatieveld van de aarde. Deze frequentie wordt mee bepaald door de massa en de straal van de aarde, die beide onderhevig zijn aan zeer minieme onvoorspelbare veranderingen en aan fundamentele natuurconstanten zoals G . Dit is niet het geval bij een elektrische klok, die de huiselijke A.C. stroomtoevoer gebruikt als 'pendule'. Hoewel bij deze klok de frequentie redelijk constant is, is ze niettemin onderhevig aan kleine, niet determineerbare fluctuaties. Zowel de staande als de elektrische klok zijn dus onderhevig aan parameters die geen fundamentele natuurconstanten zijn. Beiden zullen van tijd tot tijd en van plaats tot plaats verschillend functioneren en een van elkaar verschillend uur weergeven. Dit maakt hen nutteloos als mogelijke standaarden voor het weergeven van één tijdseenheid. Een standaard voor de tijd mag enkel van fundamentele natuurconstanten afhankelijk zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer als 'pendule' zeer fijne transities gebruikt worden in caesium atomen.

2.3.8. Dicke en het ontstaan van het moderne antropisch principe

De interesse in kosmische toevalligheden gekoppeld aan de grote dimensieloze getallen van Eddington en Dirac, samen met de mogelijkheid van tijdsafhankelijke variaties in natuurconstanten, fungeerden als katalysator in de ontwikkeling van een nieuw kosmologisch perspectief. Men zag in dat modellen als dat van Dirac (met een

fluctuerende gravitatieconstante) dramatische gevolgen kunnen hebben voor de evolutie van de mens hier op aarde. Een grotere of kleinere zwaartekracht zouden immers deze evolutie onmogelijk gemaakt kunnen hebben. Na het lezen van Diracs werk beseften verschillende wetenschappers dat ons eigen bestaan een relevante overweging is in het beslissen welke theorieën over de kosmos correct zijn. Dit gezichtspunt zou kosmologen rechtstreeks naar de moderne vorm van het antropisch principe leiden.

In 1957 merkte Robert Dicke het verband op tussen biologische factoren en de kosmische toevalligheden waarin de ‘grote getallen’ een rol spelen. Hij realiseerde zich dat de getallen van Eddington en Dirac en hun schijnbaar toevallige waarden gebonden zijn aan biologische factoren, wat hem ertoe aanzette op zoek te gaan naar het type universum waarvan verwacht kon worden dat het observatoren zou voortbrengen. Het resultaat hiervan werd in 1961 gepubliceerd op een meer coherente manier die erop gericht was de kosmische toevalligheden te verklaren. Dicke argumenteerde dat enkel in universa die ruwweg zo oud zijn als de levenstijd van een gemiddelde ster, toeschouwers kunnen evolueren. Enkel deze universa zijn oud genoeg om de productie van zwaardere elementen zoals carbon toe te laten, maar niet te oud zodat er nog genoeg hete, stabiele sterren overblijven om fotochemische processen op planeten te voeden. Omdat wij erin geëvolueerd zijn, moet ons universum dus ongeveer deze leeftijd hebben, wat deels verklaart waarom Diracs ‘toevalligheid’ $N_1 \approx N_2$ geldt. Deze toevalligheid is geen hypothese betreffende variërende natuurconstanten, maar een voorwaarde voor ons bestaan. Wel is het zo dat Dicks argument niet verklaart waarom de waarden van N_1 en N_2 zo groot zijn. Hiervoor is verder onderzoek nodig.

Ongeveer tegelijkertijd met Dicke maakte ook Whitrow een antropische redenering. Whitrow meende dat we niet geïntimideerd moeten zijn door de grootte van het universum. In plaats daarvan moeten we inzien dat het universum zo groot moet zijn opdat wij erin konden ontstaan. De bijdragen van Dicke en Whitrow vormen de eerste moderne voorbeelden van het gebruik van het WAP: de observatie van bepaalde a priori opmerkelijke eigenschappen van de structuur van het universum is noodzakelijk voor ons bestaan.

Wanneer we deze opmerkelijke eigenschappen beschouwen vanuit een andere invalshoek, namelijk die van de meer traditionele designargumenten, zien we opnieuw hoe dergelijke redeneringen voor Carter de aanleiding vormden om zijn SAP te formuleren. In zijn ogen wijzen de kosmische ‘toevalligheden’ van Eddington en Dirac erop dat er méér aan de hand is: het universum moest levende wezens baren, het is

speciaal geschapen om de evolutie van leven te ondersteunen. Het grote probleem met dit soort SAP-redeneringen is dat het ad hoc constructies zijn. We maken vergelijkende a posteriori beweringen over een universum dat in feite per definitie *uniek* is. De teleologische structuur van het SAP maakt het eerder tot een mystiek dan tot een wetenschappelijk principe.

Een mogelijke oplossing voor dit probleem is de introductie van een ensemble van universa. Als we stellen dat er nog andere universa bestaan, dan kunnen we ons universum daarmee vergelijken. Dit zou ons enige verheldering kunnen opleveren met betrekking tot de merkwaardige eigenschappen van ons universum. Ik zal deze oplossing in het volgende hoofdstuk in meer detail bespreken.

Eén van de vroege geïnteresseerden in de vele werelden van het antropisch principe, was Fred Hoyle. Zijn interesse voor dit onderwerp werd gewekt wanneer hij enkele vreemde toevalligheden ontdekte in de nucleaire resonantieniveaus van biologische elementen. Een reeks scherpe pieken of resonanties in de productie-effectiviteit van bepaalde nucleï ontstaat wanneer de interactie-energie verandert. Deze pieken geven aan wanneer nucleaire reacties maximaal efficiënt zijn en dus in de beste omstandigheden kunnen gebeuren. Hoyle voorspelde dat wanneer in een ster helium verbrand wordt, deze reactie (samen met de tussenstap via het element beryllium) maximaal efficiënt moet zijn. Als dit niet het geval zou zijn, dan zou er in het universum niet genoeg carbon aanwezig zijn om de evolutie van op carbon gebaseerde levende wezens zoals wij toe te laten. Niet lang na deze antropische voorspelling werd de hypothese experimenteel bevestigd. Hoyle realiseerde zich dat een opmerkelijke keten van toevalligheden – de ongewoon lange stabiliteit van beryllium en een maximaal efficiënt resonantieniveau van C^{12} in de reactie waarbij helium verbrand wordt – mee de basis uitmaakt van ons bestaan en een mooi voorbeeld vormt van fijnafstemming in ons universum. De antropische redenering van Hoyle is een natuurlijke opvolger van de voorbeelden van Henderson. Hoyle koos ervoor de toevalligheden die hij ontdekt had niet als absoluut te beschouwen. Hij was veeleer voorstander van de idee dat de zogenaamde ‘natuurconstanten’ in feite ruimtelijke variaties kennen.

3. Het antropisch principe in de huidige wetenschappelijke context

Ons universum lijkt in bepaalde opzichten voor ons ‘geschapen’. De waarden van wetten en constanten in de natuur bevinden zich allen precies in die nauwe marge die de evolutie toelaat van intelligente wezens. In dit hoofdstuk zal ik ingaan op hoe onderzoekers van vandaag dit gegeven proberen te verklaren. Ik zal eerst vier belangrijke ontwikkelingen uit de twintigste eeuw schetsen die bijdroegen tot de formulering van en tot de belangstelling voor het antropisch principe: kwantummechanica, inflatie, het multiversum en snaartheorie. Daarna sluiten we aan waar het vorige hoofdstuk eindigde, en volgt er een meer concreet overzicht van het werk van enkele van de meest voornamelijk wetenschappers van de afgelopen jaren die recentelijk interesse vertoonden voor het antropisch principe als selectieprincipe in het multiversum. Ik beëindig dit hoofdstuk met een korte blik op de toekomst.

3.1. Kwantummechanica

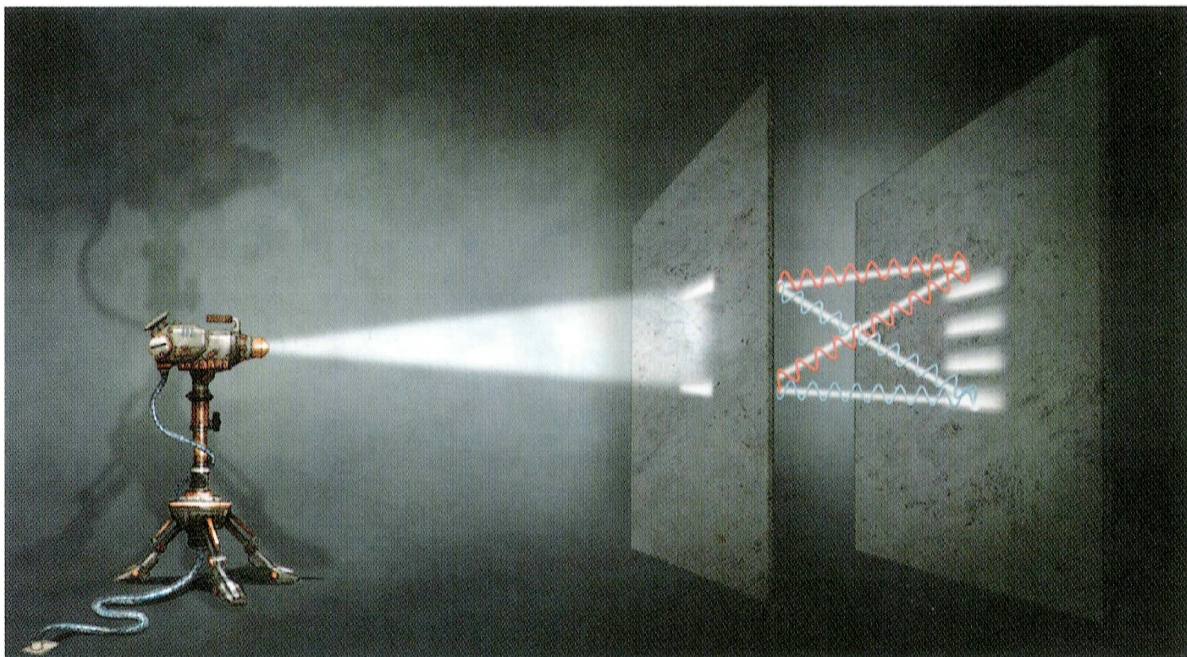
Deze sectie is in grote mate gebaseerd op (Hawking & Mlodinov, 2005). Waar dit niet het geval is, wordt het aangegeven.

Een eerste belangrijke wetenschappelijke ontwikkeling die relevant is bij de bespreking van het antropisch principe is het ontstaan van de wetenschap die Heisenberg, Schrödinger en Dirac in de jaren twintig van de vorige eeuw ‘kwantummechanica’ doopten. In deze theorie hebben deeltjes geen eigen positie en snelheid. Ze hebben enkel een kwantumtoestand, die een combinatie is van positie en snelheid. De kwantummechanica maakte een eind aan de hoop dat ons universum werkt volgens volstrekt gedetermineerde en door ons waarneembare natuurwetten. Dit werd duidelijk toen in 1926 Werner Heisenberg zijn onzekerheidsprincipe formuleerde. Het onzekerheidsprincipe legt beperkingen op aan ons vermogen om via wetenschappelijke wetten toekomstige gebeurtenissen te voorspellen. Om de plaats en de snelheid van een deeltje te meten, wordt het met licht beschoten. Wanneer we echter fotonen (lichtdeeltjes) afschieten op een deeltje, worden de positie en de snelheid van dit deeltje daardoor beïnvloed. Hoe nauwkeuriger we de plaats en de snelheid van een deeltje willen meten, hoe meer we het moeten beschijnen (zoals het ook makkelijker wordt om een boek te lezen naarmate je meer licht kan schijnen op de letters). Maar hoe meer we het beschijnen, hoe meer we de plaats en de snelheid van dit deeltje wijzigen. Met andere

woorden: hoe nauwkeuriger we onze meting willen uitvoeren, hoe onnauwkeuriger ze zal uitvallen. Meer bepaald is het zo dat als we bijvoorbeeld de snelheid dubbel zo precies willen meten, de onzekerheid met betrekking tot de positie van het deeltje dubbel zo groot wordt en omgekeerd.

Een gevolg van deze onafwendbare onzekerheid die zich voordoet op het niveau van de kleinste deeltjes in ons universum is dat de kwantummechanica voor een waarneming niet één enkel definitief resultaat voorspelt, maar meerdere mogelijke uitkomsten met elk hun eigen waarschijnlijkheidsgraad. Deeltjes gedragen zich onvoorspelbaar.

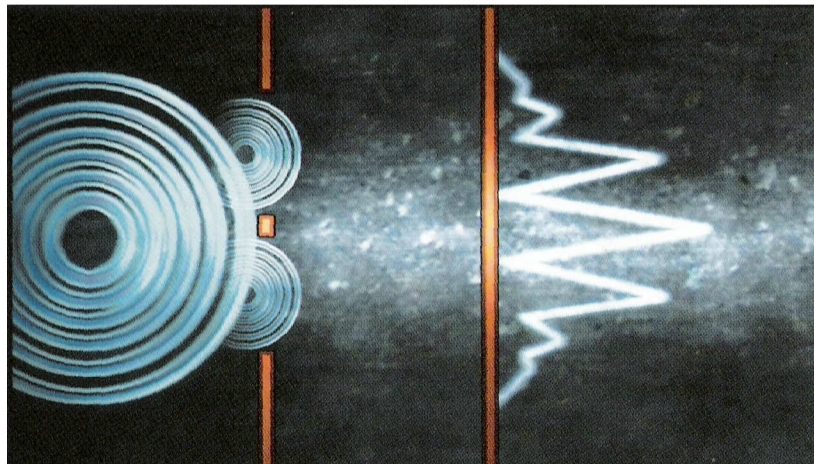
Een ander gevolg van het onzekerheidsprincipe is dat deeltjes zich soms als golven gedragen. Dit komt omdat de wiskunde van de kwantummechanica de werkelijkheid niet langer beschrijft in termen van golven of in termen van deeltjes. Afhankelijk van het gestelde doel kunnen golven als deeltjes of deeltjes als golven beschouwd worden. Een beroemd voorbeeld hiervan is het dubbele spleten experiment van Thomas Young aan het begin van de 19^e eeuw. De opstelling van dit experiment wordt weergegeven in figuur 1 (Hawking & Mlodinov, 2005, p. 130).



Figuur 1: tweespleten experiment

Wanneer lichtdeeltjes afgestuurd worden op een wand met twee spleten met daarachter een andere wand, zien we op die achterste wand niet het verwachte patroon (namelijk twee lichtspleten). In plaats daarvan bemerken we een patroon dat typisch is voor golven, namelijk een interferentiepatroon ((zie figuur 2 (Hawking & Mlodinov, 2005, p. 131)). Hetzelfde doet zich voor wanneer we in plaats van fotonen elektronen afvuren. Wanneer

deze deeltjes door slechts één spleet geschoten worden, zien we dat zich op de achterste wand een patroon aftekent dat de vorm van die spleet aanneemt. We verwachten dat, wanneer we elektronen door de twee spleten afschieten, zich op de achterste wand twee spleten zullen aftekenen. Niets is minder waar: opnieuw zien we een interferentiepatroon dat typisch is voor golven. Zelfs wanneer elektronen één per één afgeschoten worden, zien we hetzelfde interferentiepatroon.



Figuur 2: interferentiepatroon

Het lijkt alsof een deeltje op één of andere manier met zichzelf interfereert en door beide spleten tegelijk gaat. Merkw aardig genoeg verdwijnt dit patroon wanneer we dit experimenteel proberen na te gaan: bij zo'n observatie stellen we vast dat het deeltje maar door één spleet gaat en dat het zich niet langer als een golf gedraagt (Van Loocke, 2005, hoofdstuk 3).

Het is voor het doel van deze scriptie belangrijk in te zien dat in de kwantummechanica het klassieke deterministische wereldbeeld niet langer opgaat. In plaats van te werken met wetenschappelijke exactheid moeten onderzoekers op het niveau van de kleinste materiedeeltjes werken met waarschijnlijkheden. Bovendien is het zo dat in de kwantummechanica de waarnemer een essentiële rol speelt: je kan een deeltje niet waarnemen zonder dat je daarbij de kwantumstaat van dat deeltje beïnvloedt.

Hoe moeten we dit alles nu interpreteren? Richard Feynmann ging er in zijn padintegraalmethode van uit dat een deeltje niet slechts één geschiedenis of pad in de ruimtetijd heeft, maar dat het deeltje via *elk* mogelijk pad van A naar B reist. Ook Everett stelde dat elk elektron zich constant opsplijst om elk pad te volgen dat ook maar enige waarschijnlijkheidsgraad heeft (Leslie, 1983). De waarschijnlijkheid waarmee een bepaald pad gevolgd wordt, vind je door de som van alle paden te maken en door te kijken welke paden elkaar opheffen zoals ook twee golven elkaar opheffen wanneer hun

cycli tegenovergesteld zijn aan elkaar. Er zullen echter steeds nog verschillende paden zijn die het deeltje kan volgen. Daarom zijn we nooit zeker hoe deeltjes zich precies bewegen. Wanneer we ze niet waarnemen, gedragen ze zich dan ook alsof ze alle mogelijke bewegingen effectief uitvoeren. Deze vaststelling gaf de aanleiding tot enkele vreemd aandoende (maar wetenschappelijk onweerlegbare) interpretaties van het multiversum waarin elke mogelijke handeling daadwerkelijk gesteld wordt. In de vele werelden interpretatie van Everett bijvoorbeeld is elke mogelijke handeling ook ergens een feitelijke handeling.

3.2. Inflatie

3.2.1. Het inflatiemodel

Tegenwoordig kunnen we effectief zien hoe een deel van de kosmische geschiedenis zich voor onze telescopen ontplooit. Licht dat jonge sterrenstelsels miljarden jaren geleden verspreidden, komt nu bij ons terecht. Wat we zoal kunnen zien, wordt echter beperkt door een horizon: de maximale afstand die licht dat ons bereikt, kon overbruggen sinds de big bang (13,7 miljard jaar geleden). Wanneer we nu met een geavanceerde telescoop heel diep het universum in kijken in een bepaalde richting en daarna hetzelfde doen in de tegenovergestelde richting bemerken we dat ons universum er in beide richtingen ongeveer hetzelfde uitziet. Nochtans zien we (wanneer we ver genoeg kijken) twee gebieden die op geen enkele manier in causaal contact kunnen staan met elkaar (omdat om van gebied A naar gebied B te kunnen reizen het licht al langer dan 13,7 miljard jaar onderweg zou moeten zijn, wat onmogelijk is). Hoe komt het dan dat ons universum er zo uniform uitziet?

De inflatietheorie verklaart zowel de uniformiteit als de vlakke geometrie van het universum. Het idee achter de theorie is simpel: amper een fractie van een seconde na de big bang onderging het universum een enorme expansie, die volgens Alan Guth tenminste van de factor 10^{25} moet zijn geweest. Dit houdt in dat het universum quasi onmiddellijk van ongeveer de grootte van een proton expandeerde tot de grootte van een pompelmoes (Davies, 2006). Door de enorme inflatie werden alle onregelmatigheden die het universum ervoor bevatte volledig uitgestretcht, zoals ook bij het opblazen van een ballon de rimpels verdwijnen. Dit verklaart waarom de waarde Q (de onregelmatigheden in het universum, zie inleiding) zo klein is (10^{-5}) en dus waarom het universum zo uniform is. Inflatie verklaart ook waarom de ruimte vlak is. Stel u een gebogen oppervlak voor dat

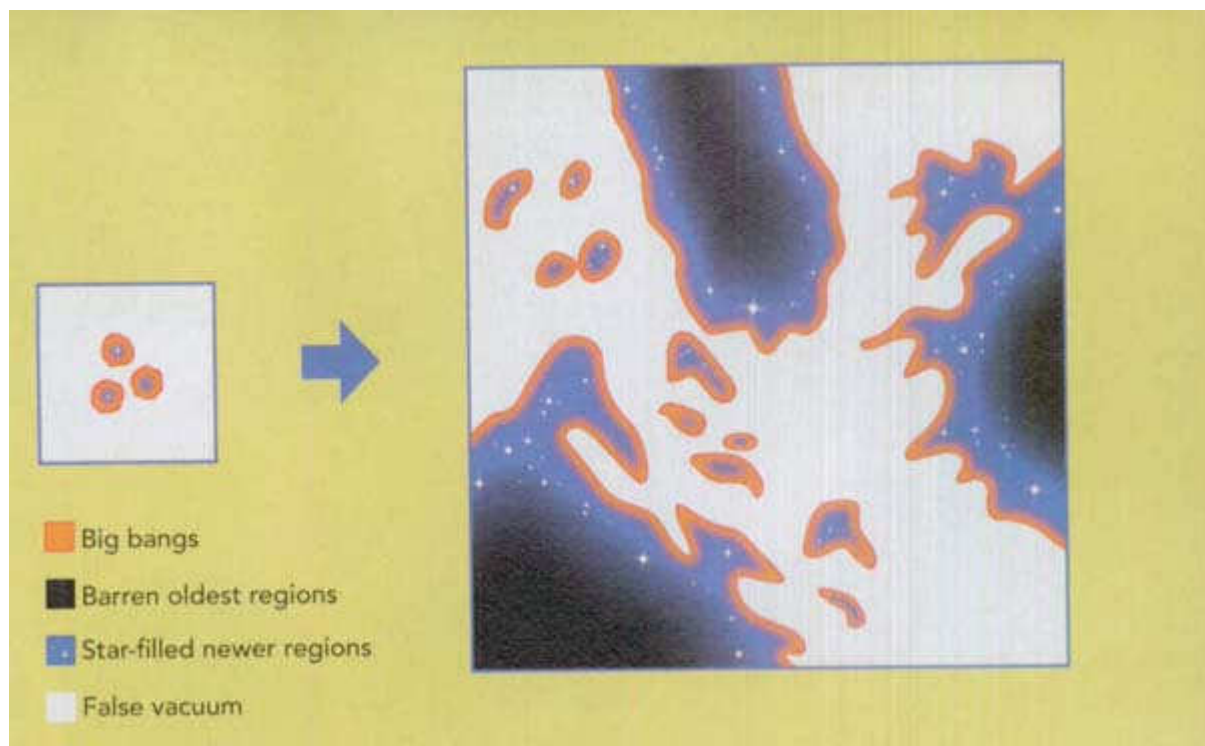
plots met een enorme factor gaat uitdijen. De curve in dit oppervlak zal steeds verder gereduceerd worden naarmate de uitdijning toeneemt. Laat de factor waarmee de expansie zich voltrekt groot genoeg zijn (10^{25} is groot genoeg) en de (gebogen) oppervlakte die je waarneemt valt niet langer te onderscheiden van een vlak oppervlak. De inflatietheorie verklaart enkele fijnafstemmingen, maar hoe verklaren we inflatie? In 1980 suggereerde Alan Guth dat er in het vroege universum materie was die voor een sterke antizwaartekracht zorgde. De theorie van Guth zelf was niet veel meer dan een speculatieve hypothese, maar werd al gauw door talloze andere fysici verder ontwikkeld (Vilenkin, 2006). Inflatie wordt momenteel ondersteund door heel wat evidentie en is een hoeksteen geworden van de moderne kosmologie. De theorie stelt dat – héél kort na de big bang – het universum zich in de toestand van vals vacuüm bevond. Een vals vacuüm is niet leeg, maar heeft een zeer hoge energie (vandaar de term ‘vals’) en is daarom onstabiel. Het wordt gekenmerkt door een sterke antizwaartekracht. Deze kracht zorgde ervoor dat het universum als het ware opblies wanneer het zich een fractie van een seconde na de big bang in zo’n onstabiele staat van vals vacuüm bevond. De kosmologische constante (λ , zie inleiding) is slechts groot genoeg om het volume van het universum te verdubbelen over een periode van tientallen miljarden jaren (Susskind, 2005). Ter vergelijking: tijdens de periode van inflatie (die in realistische modellen slechts 10^{-35} seconde duurt (Linde, 2003)) vergrootte het volume van het universum met een factor 10^{50} (Guth & Kaiser, 2005; Van Looke, 2005, hoofdstuk V).

3.2.2. Eeuwige inflatie

Andrei Linde en Alex Vilenkin merkten op dat er ook plaatsen zijn waar de inflatie blijft toenemen in plaats van op te houden (Davies, 2006). Hoewel deze plaatsen zeldzaam zijn, creëren ze enorme hoeveelheden lege ruimte omdat ze exponentieel uitdijen aan hoge snelheid. Deze regio’s zullen dan ook de kosmos volledig domineren in termen van fysisch volume. Als we volgens deze theorie als buitenstaander naar het universum kijken, dan zouden we grote lege regio’s zien waar inflatie nog steeds aan de gang is, afgewisseld met vele kleinere regio’s waar inflatie opgehouden is en waar het universum uitdijt aan ‘normale’ snelheid (zoals bij ons). Linde toonde aan dat het inflatiemodel voorspelt dat het verval van het vals vacuüm geen eenmalig feit is (Van Looke, 2005, hoofdstuk V, p. 43). Elke keer dit gebeurt, ontstaat een nieuw pocketuniversum uit een big bang. Ons pocketuniversum is de zone in de ruimte voor zover haar eigenschappen

dezelfde zijn als die van het deel van het universum dat we op dit moment kunnen observeren. Deze zone kan vele malen groter zijn dan het deel ervan dat we op dit moment kunnen waarnemen (Davies, 2006). Omdat pocketuniversa van elkaar gescheiden zijn door zones waarin de inflatie nog aan de gang is, neemt de ruimte ertussen voortdurend toe.

De verdere uitwerking van het inflatiemodel door onder andere Linde en Vilenkin had radicale gevolgen voor het beeld dat kosmologen hebben van ons universum. De big bang verliest haar centrale status als eenmalige gebeurtenis in de kosmische geschiedenis. In plaats hiervan komt het plaatje van een universum dat er van buitenaf uit ziet als een multitude van eilanduniversa (Vilenkin, 2006). Deze ontwikkelingen worden voorgesteld in figuur 3 (Vilenkin, 2006, p. 45):



Figuur 3: verschillende pocketuniversa

Elk door oranje lijnen omringd vlak op deze figuur stelt een big bang voor die ontstond nadat het onstabiele valse vacuüm verviel. Op plaatsen waar dit vacuüm niet verviel, blijft de lege ruimte exponentieel uitdijen (de witte ruimte op de figuur), zodat het onmogelijk wordt voor twee pocketuniversa (eilanduniversa in de terminologie van Vilenkin) om contact met elkaar te hebben. Op plaatsen waar het vacuüm vervalt, worden in de witte ruimte nieuwe pocketuniversa gecreëerd tussen de al bestaande pocketuniversa. Het vacuüm kan echter ook binnen zo'n pocketuniversum opnieuw vervallen zodat binnen een pocketuniversum een nieuw universum ontstaat (Van Looke, 2005, hoofdstuk V).

Terwijl volgens Alan Guth de big bang begrensd was door een singulariteit, is er volgens Linde geen begin: inflatie heeft altijd bestaan en genereert op volstrekt willekeurige basis pocketuniversa waar het vacuüm vervalst. Dit idee heet eeuwige of chaotische inflatie (Linde, 2005). Belangrijk is dat in dit model het universum bestaat uit verscheidene enorme domeinen waarin de eigenschappen van elementaire deeltjes van elkaar verschillen, evenals de natuurwetten die er heersen. Zelfs het aantal dimensies varieert tussen verschillende universa (Linde, 2003). De eigenschappen die een pocketuniversum heeft, zijn afhankelijk van de kwantumstaat van het vacuüm op het moment dat dit vacuüm verviel en dat de inflatiefase intrad. Het model van eeuwige inflatie is een grote stap in de richting van de justificatie van het antropisch principe (Linde, 2003).

Bovenstaande theorie is een voorbeeld van een multiversumtheorie. Steeds meer kosmologen nemen aan dat het volume waarin wij leven dat zich uitstrekt tot aan onze kosmische horizon, slechts een heel klein stukje is van ons pocketuniversum, dat op zijn beurt weer een heel klein stukje is van een werkelijk onvoorstelbaar groot multiversum (Susskind, 2005).

3.3. Het multiversum

3.3.1. Geen nieuw idee

De gedachte dat er meerdere universa bestaan is nog steeds controversieel. Nochtans wordt de mogelijkheid dat er naast de onze nog andere werelden bestaan al eeuwenlang in overweging genomen. Reeds in de vijfde eeuw voor Christus beweerde Parmenides dat een vele-werelden interpretatie van de natuur noodzakelijk is. Het subjectieve element in onze perceptie en ons begrip is niet uniek. Om de verschillende subjectieve elementen elk hun plaats te geven in de natuur suggereerde Parmenides dat ze zich in verschillende werelden bevinden. De overeenkomst met de vele-werelden interpretatie van de kwantummechanica is hier duidelijk. Ook Democritus en Empedocles beweerden dat er meer dan één wereld bestaat (Barrow & Tipler, 1996).

In de 13^e eeuw ging Duns Scotus nog een stapje verder met zijn begrip 'synchronische contingentie'. Scotus beweerde dat er op één 'tijdsmoment' meerdere 'natuurmomenten' kunnen zijn: op hetzelfde moment zijn er verschillende reële handelingen mogelijk die zich voordoen in verschillende werelden. Bij het begin van de wereld koos God ervoor om uit een oneindig aantal mogelijke universa één universum te actualiseren. Scotus wordt

vaak onterecht vergeten als voorvader van de moderne multiversum theorieën (Kenny, 2005).

De meest gekende pionier van het multiversum is Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). Leibniz combineerde mechanisme met theocentrische doelmatigheid. Hij argumenteerde dat er vele mogelijke consistente werelden zijn en dat God voor deze wereld koos omdat ze de meest perfecte is van allen. We bevinden ons in de beste der mogelijke werelden. Goddelijke voorzienigheid zorgt ervoor dat alles in de wereld consistent en in harmonie blijft, ook al gaat het om zaken die niet causaal met elkaar in contact staan (Jespers, 1991).

3.3.2. Types multiversum

Eeuwige inflatie veranderde op een drastische manier de aard van onze kosmologie. Hoewel ze dezelfde zaken verklaart als andere versies van de inflatietheorie heeft ze een totaal verschillende conceptuele basis, namelijk de aanname van het bestaan van andere pocketuniversa. Dit heeft ingrijpende gevolgen voor de manier waarop nagedacht wordt over het universum. De inflatietheorie is echter niet de enige theorie die het bestaan van andere universa voorspelt. Max Tegmark geeft in zijn artikel 'Parallel universes' vier mogelijke multiversum scenario's (Tegmark, 2003):

- Niveau 1 multiversum.

Wanneer we aannemen dat de ruimte oneindig groot is en dat de verdeling van materie op grote schaal vrij uniform is zoals dat het geval is in het zichtbare deel van ons universum, dan moeten zelfs de meest onwaarschijnlijke gebeurtenissen wel *ergens* plaatsvinden. Er zijn dan immers oneindig veel andere bewoonde planeten, met daarop rondlopend oneindig veel mensen die er exact hetzelfde uitzien als u, met exact dezelfde naam en exact hetzelfde geheugen. In dit type multiversum is elke mogelijke gebeurtenis, elke mogelijkheid die zich voordoet in de kosmische geschiedenis, een feit. Dit is het meest eenvoudige multiversum model, en het komt overeen met alle observaties die tot nu toe verricht zijn (testbare voorspellingen van een eindig universum leverden nog geen succes op). Met een ruwe schatting suggereert Tegmark dat uw dichtste identieke kopie zich op zo'n 10^{290} m van ons bevindt.

- Niveau 2 multiversum.

Dit is het multiversum dat ik hierboven reeds besprak. Elk pocketuniversum wordt ook wel ‘bubbel’ genoemd. In elke bubbel kunnen het aantal dimensies en de waarden van fysische constanten verschillend zijn, wat bij het niveau 1 multiversum niet het geval was. Pocket universa worden van elkaar gescheiden door ruimte ertussen die aan inflatie onderhevig is. Hierdoor wordt het principieel onmogelijk om van één bubbel naar een andere te reizen. Het niveau 2 multiversum wordt ondersteund door de inflatietheorie en lost daardoor enkele anders merkwaardige fijnafstemmingen op.

- Niveau 3 multiversum.

Dit niveau is een kwantumsuperpositie van alle klassieke werelden. Telkens een kwantumeffect plaatsvindt dat lijkt te resulteren in een willekeurige uitkomst, voorspelt de kwantumtheorie dat in feite alle mogelijke uitkomsten zich ook effectief voordoen. De wereld splitst zich dan op in evenveel werelden als er mogelijke uitkomsten zijn. Op deze manier vertakt het multiversum steeds verder in allerlei universa zodat, zoals in het niveau 1 multiversum, elke mogelijke gebeurtenis zich ook effectief voordoet. Het verschil tussen niveau 1 en niveau 3 is dat op niveau 1 de verschillende mogelijke uitkomsten niet causaal verbonden zijn met elkaar. Als uitkomst A zich hier en nu voordoet, zal uitkomst B zich voordoen ergens ‘in a galaxy far, far away’ (Tegmark, 2003, p. 8) zonder dat A en B de verschillende takken zijn van één en dezelfde superpositie van mogelijkheden.

- Niveau 4 multiversum:

Dit type multiversum is een vorm van radicaal platonisme. Het betreft de idee van een mathematische democratie waarbij elk universum gelijk is aan een verzameling vergelijkingen. Elk van deze mathematische structuren bestaat ook werkelijk. De ware onderliggende wiskundige structuur van ons universum (als die bestaat) werd nog niet gevonden. Het niveau 4 multiversum rust dus op de veronderstellingen dat de fysische wereld een mathematische structuur is en dat alle andere mathematische structuren evenzeer werkelijk bestaan. Die andere mathematische structuren zullen ook andere fundamentele vergelijkingen kennen voor de fysica die er werkzaam is. Ik kom terug op dit type multiversum in sectie 4.1.3.

Met elk niveau stijgt de diversiteit die het multiversum toelaat. Welk niveau het meest realistisch is, zal de toekomst ons moeten uitwijzen. Betere metingen van de kosmische achtergrondstraling en van de verdeling van materie op grote schaal kunnen het niveau 1 en niveau 2 multiversum aan tests onderwerpen. Een geslaagde poging om een kwantumcomputer te bouwen die werkt volgens de principes van het niveau 3 multiversum, zou verdere evidentie vormen voor dit type. Op de mogelijkheid van een niveau 4 multiversum kan meer licht worden geworpen door een theorie die kwantummechanica en algemene relativiteit unificeert (Tegmark, 2003).

3.3.3. Kritiek op het multiversum

Het accepteren van het bestaan van een multiversum heeft drastische gevolgen voor ons beeld van de wereld en de kosmos. Multiversum theorieën kunnen heel veel verklaren, maar het is op zijn zachtst gezegd heel moeilijk om aan te tonen dat er naast ons universum nog andere universa zijn. Veel onderzoekers hebben dan ook kritiek op deze theorieën. Ik geef enkele belangrijke tegenwerpingen die Paul Davies opsomde in (Davies, 2004):

- multiversum modellen van de kosmos zijn niet wetenschappelijk.

Onze observatiemiddelen zijn gelimiteerd. De meeste regio's van ons universum zijn principieel gesloten voor ons, omdat hun licht ons nog niet kon bereiken. Dit sluit directe observatie en dus directe bevestiging van de multiversum hypothese uit;

Davies antwoordt op dit argument door te stellen dat het wel mogelijk is om de hypothese indirect te testen. Het multiversum is niet ontstaan uit veredelde speculatie, maar volgt uit zorgvuldig opgestelde kosmologische theorieën die wel empirisch getest kunnen worden. Een indirecte test kunnen we formuleren door de hypothese te combineren met een selectie-effect. Door bijvoorbeeld na te gaan hoe natuurconstanten in theorie zouden kunnen variëren in andere universa kunnen we nagaan hoe plausibel het is dat de constanten de 'juiste' waarde hebben in ons universum;

- multiversum modellen opstellen van de kosmos is aan slechte wetenschap doen. Sommige fysici argumenteren dat het de taak is van de wetenschapper om fundamentele verklaringen te geven voor fenomenen, zonder daarbij te verwijzen naar het bestaan van observatoren. Antropische argumenten voor het

multiversum worden door deze onderzoekers streng veroordeeld. Hiertegenover staat dat anderen dan weer argumenteren dat het gegeven onze huidige kennis van de fysica uiterst plausibel is om een multiversum theorie te accepteren (zie ook Susskind, 2005), en dat het incorporeren van selectie-effecten onvermijdelijk is;

- zogeheten ‘fijnafstemming’ is betekenisloos.

Intuïtief kunnen we aanvoelen dat sommige fysische parameters merkwaardig fijn afgestemd zijn voor de ontwikkeling van leven, maar kan dit gevoel ook wiskundig geduid worden? Betekent dit nog iets op een wetenschappelijk niveau? Er zal altijd een element van persoonlijke beoordeling blijven meespelen wanneer het er op aankomt de betekenis of de mate van verrassing te formuleren van een voorbeeld van fijnafstemming. Bovendien valt het soms moeilijk te voorspellen of leven al dan niet mogelijk is in een universum met andere (combinaties van) waarden van natuurconstanten;

- namaakuniversa.

Kunnen we aan universa die nooit waargenomen zullen worden dezelfde ontologische status toekennen als aan ons universum? Wat wordt precies bedoeld met ‘waarnemen’? Deze vragen hangen nauw samen met het PAP dat ik verderop in dit hoofdstuk bespreek (3.5.2. en 3.5.3.). Als we het mogelijk achten observerende en zelfs bewuste wezens te maken (sommige voorstanders van AI menen dat dit in de nabije toekomst mogelijk zal worden), dan zullen deze wezens hun gesimuleerde universum niet kunnen onderscheiden van de realiteit. Wanneer we echter dergelijke namaakuniversa toelaten in het multiversum, dan impliceert dit dat ook ons universum zo’n namaakuniversum kan zijn. Bovendien wordt het dan zinloos om aan te nemen dat onze fysica ook geldig is in regio’s die we niet kunnen waarnemen. Immers, er is geen enkele reden waarom het gesimuleerde systeem waarin we leven zich ook buiten deze waarneembare zone consistent gedraagt;

- criteria voor de definitie van ‘universum’.

In de meeste multiversum theorieën zijn universa gedefinieerd in termen van fysische wetten en initiële voorwaarden. Deze definities zijn opgesteld voor en door wiskundigen en fysici. Het lijkt zeer hoogmoedig om te veronderstellen dat de ultieme aard van de realiteit gefundeerd is op menselijke fysica uit de twintigste eeuw.

Nog een veel voorkomende kritiek tegen de hypothese van het multiversum is dat het niet nodig is te stellen dat er meerdere universa zijn. De hypothese schaadt volgens critici een van de meest fundamentele regels van de wetenschap, namelijk het scheermes van Ockham. Tegmark antwoordt hierop door te verdedigen dat het eenvoudiger is om aan te nemen dat alles bestaat, dan om aan te nemen dat bepaalde zaken bestaan en andere dan weer niet (Tegmark, 2003). Ik behandel deze kritiek meer uitgebreid in sectie 4.1.3. Enkele van deze argumenten komen nauw overeen met argumenten die aangebracht worden tegen het antropisch principe. Ik kom hier in meer detail op terug in hoofdstuk vier.

Net als Tegmark stelt ook Davies dat de multiversum hypothese testbaar is (Davies, 2004). Harde positivisten weigeren echter nog steeds om argumenten die selectie-effecten of het antropisch principe betreffen in overweging te nemen, maar misschien vormen zo'n verklaringen in combinatie met een multiversum theorie wel de enige weg naar een goede verklaring voor fijnafstemming in ons universum. Voor theoretische fysici die op zoek zijn naar een unieke, ultieme theorie lijkt het multiversum een goedkope oplossing. Multiversum theorieën impliceren selectie-effecten en een zekere willekeur. Deze staan in schril contrast met de mathematische, kwantitatieve precisie waar bijvoorbeeld snaartheoretici naar op zoek zijn om alle wetten in ons universum samen te brengen in één harmonieuze theorie. Hoe dan ook doen multiversum theorieën serieuze filosofische vragen oprijzen over de natuur van de werkelijkheid en over de natuur van observaties en van ons bewustzijn. Ze geven het antropisch principe een veel minder triviale indruk: wanneer we veronderstellen dat de wetten en constanten in de natuur niet zo absoluut zijn als we dachten, dan heeft het meer zin de vraag te stellen naar een verklaring voor de fijnafstemming en de waarden van deze wetten en constanten. Hoe intrigerend de gedachte ook is van een theorie waarin geen enkele parameter nog vrij en veranderlijk is, het blijft zo dat een dergelijke theorie als ze correct is de 'mensvriendelijkheid' van het universum op geen enkele wijze zou verklaren. Het zou dan gaan om een unieke theorie die slechts toevallig de ontwikkeling toelaat van leven en van bewustzijn (Davies, 2006).

Fysici staan vaak vijandig tegenover het concept multiversum omdat het hen lijkt te wijzen op een limiet van de fysica. Wetenschappers willen boven alles een unieke, consistente verzameling vergelijkingen ontdekken die alle natuurconstanten determineert. Er is echter geen enkele reden om aan te nemen dat de fysische realiteit volgens de voorkeur van deze onderzoekers gestructureerd is (Livio & Rees, 2005). Het

antropisch principe en het multiversum zijn concepten die fysici dwingen om na te denken over wat wetenschap is. Moet een mogelijke verklaring voor een fenomeen ook mathematisch 'schoon' zijn? Welke rol is weggelegd voor selectie-effecten? Mag wetenschap gebaseerd zijn op speculaties? Aan de basis van wetenschappelijke experimenten ligt vaak een speculatief idee of een contra-intuïtief gedachte-experiment ten grondslag. Een mooi voorbeeld hiervan is wat Einstein zijn gelukkigste gedachte ooit noemde: iemand die zich in een gesloten container bevindt die aan een constante snelheid accelereert, zal exact hetzelfde voelen als wanneer hij of zij onderhevig is aan de werking van een gravitatieveld. Deze persoon kan met andere woorden onmogelijk weten of de container onderhevig is aan een versnelling of aan gravitatie. Of: zwaartekracht en versnelling komen op hetzelfde neer. Deze speculatie lag aan de basis van de algemene relativiteitstheorie (Van Loocke, 2006).

Op een conferentie voor fysici in Stanford vertelde Martin Rees dat hij voldoende vertrouwen had in het bestaan van een multiversum om er het leven van zijn hond op te verwedden. Andrei Linde zou er zelfs zijn leven op verwedden. Steven Weinberg antwoordt gevat op deze boude beweringen: hij heeft net genoeg vertrouwen in het multiversum om er de levens van zowel Andrei Linde als de hond van Martin Rees op te verwedden (Weinberg, 2005).

3.4. Snaartheorie

Voor deze sectie baseerde ik me op (Susskind, 2005). Waar dit niet het geval is, geef ik het aan.

Snaartheorie vormt een technisch kader waarbinnen antropisch redeneren mogelijk wordt. Het is een uiterst gecompliceerde wiskundige theorie die ontstaan is als poging om een verklaring te zoeken voor de manier waarop het standaardmodel van de fysica tot stand kwam. Het standaardmodel van de deeltjesfysica is de verzameling van alle deeltjes en krachten die aan het werk zijn in ons universum. In 1968 brak de Italiaanse fysicus Gabriele Veneziano met de klassieke aanpak die bestond uit het beschrijven en proberen te observeren van deze deeltjes. In plaats daarvan wou hij het hoe en waarom van het standaardmodel achterhalen. Veneziano kwam met een formule die beschreef wat er gebeurt wanneer twee hadronen met elkaar botsen. Hadronen zijn de deeltjes bestaand uit quarks, antiquarks en gluons die beschreven worden door de kwantumchromodynamica. De formule van Veneziano ziet eruit alsof ze iets te maken

heeft met de wiskundige eigenschappen van harmonische oscillatoren (veren, snaren) op het niveau van de kwantummechanica. De gelijkenis was treffend: de formule van Veneziano beschreef twee botsende snaren. Hadronen gedragen zich als rekbare snaren met quarks aan het uiteinde.

Snaartheorie beschrijft de werking van de wereld op het niveau van de allerkleinste deeltjes. De natuurlijke eenheid van lengte, Planck lengte, bedraagt 10^{-33}cm . Een hadron is zo'n 10^{-13}cm groot. Zoals gezegd ontstond de theorie als een tweede theorie die het gedrag van hadronen beschreef, naast de kwantumchromodynamica. De oorspronkelijke versies van de snaartheorie uit de jaren '70 zorgden echter voor enkele serieuze problemen. Het meest bizarre gevolg van de theorie was dat haar wiskunde slechts consistent kon uitgewerkt worden wanneer er exact negen ruimtelijke dimensies en één tijdsdimensie waren. Enkel indien dit het geval was, konden de wilde, oncontroleerbare kwantumfluctuaties op het niveau van snaren onder controle gehouden worden. Een ander probleem was dat snaartheorie niet de natuurkrachten voorspelde die verwacht werden. De krachten waartoe snaartheorie aanleiding gaf, werkten niet over de korte afstanden tussen deeltjes in een atoomkern, maar over relatief lange afstanden zoals dat bij elektrische krachten en zwaartekracht het geval is. Snaartheorie als theorie van hadronen was niet flexibel genoeg om de werking van kernkrachten te beschrijven.

Maar wat als we snaartheorie nu eens zouden dwingen niet alleen hadronen, maar ineens de hele werkelijkheid te beschrijven? Wonderwel lukte het om hiermee het probleem van de natuurkrachten op te lossen. Wanneer we er van uitgaan dat de hele werkelijkheid in termen van snaren beschreven kan worden, dan kunnen we de vier natuurkrachten (zwaartekracht, elektromagnetisme, zwakke en sterke kernkracht) beschrijven binnen het kader van één overkoepelende theorie. Bovendien lost deze nieuwe interpretatie ook het probleem van de dimensionaliteit op. De zes extra dimensies uit de oude snaartheorie zijn in de nieuwe theorie niet langer een bizar neveneffect, maar vormen de sleutel tot de verklaring voor de diversiteit aan deeltjes.

In Einsteins algemene relativiteitstheorie kan een ruimte *compact* zijn: een extra dimensie kan als het ware opgerold worden in een kleine, compacte ruimte. Dit proces wordt *compactificatie* genoemd. Stel u voor dat onze aarde krimpt. Ze wordt kleiner en kleiner tot ze nauwelijks te onderscheiden valt van een puntje. Wanneer ze klein genoeg is, zullen we niet langer zien of het om een twee- of een driedimensionaal object gaat. Onze driedimensionale planeet wordt een stip waarin we niet langer dimensies kunnen onderscheiden. Theodor Kaluza, een tijdgenoot van Einstein, ontdekte dat als we een

dimensie toevoegen aan de 3+1 dimensies die we nu kennen, de geometrie van de ruimte ons zou toelaten zwaartekracht en elektromagnetisme te verenigen binnen één theorie. De Zweed Oskar Klein voegde eraan toe dat zo'n extra dimensie opgerold kan worden in een kleine compacte ruimte. Snaartheoretici vielen terug op de ideeën van Kaluza en Klein wanneer ze ontdekten dat hun theorie zes extra ruimtelijke dimensies eiste: rol deze nieuwe dimensies op en gebruik ze om de interne machinerie van elementaire deeltjes mee te verklaren. Op deze manier werden de negen ruimtelijke dimensies van de snaartheorie veeleer een zegen dan een vloek: ze zijn essentieel om de complexe eigenschappen van deeltjes te begrijpen. Zo legt de schaal van compactificatie de massa en de elektrische lading van deeltjes vast, ook al is die schaal veel te klein om daadwerkelijk te kunnen zien wat er zoal op gebeurt. Er zijn miljoenen mogelijke manieren waarop snaartheorie het oprollen van de zes extra dimensies toelaat, telkens in andere zogenaamde Calabi Yau-oppervlakten. Elke Calabi Yau-oppervlakte stelt een manier voor waarop de zes dimensies gecompactificeerd kunnen worden. Visueel kunnen we ons nauwelijks extra dimensies voorstellen⁵, maar wiskundig gezien is het niet zo moeilijk om dit te doen, al worden de berekeningen zeer ingewikkeld wanneer het om zes dimensies gaat.

Een zeer welkome ontdekking die het werk van de mathematici die werkten rond snaartheorie aanzienlijk verminderde, was het idee van supersymmetrie. Supersymmetrie stelt dat deeltjes in het standaardmodel in paren komen: voor elk deeltje bestaat er een antideeltje (voor elk boson bestaat er een fermion en omgekeerd). Het is een zeer krachtig werktuig dat het mogelijk maakte de wiskundige consistentie van snaartheorie te bevestigen. De incorporatie van supersymmetrie in snaartheorie werd *supersnaartheorie* genoemd. In ons universum heerst gelukkig geen perfecte symmetrie, want als er precies evenveel deeltjes als antideeltjes zouden zijn, dan zouden deze elkaar volledig annihileren en zou er geen materie bestaan.

(Super)snaartheorie is heel speculatief. Het gaat om deeltjes die te klein zijn om waar te nemen, het gaat in tegen onze intuïties (denk maar aan de negen dimensies) en er zijn vrij veel verschillende versies van. Wat moeten we hiermee aanvangen? Een belangrijk argument voor de theorie is dat in elke versie ervan gravitons voorkomen: de lichtste deeltjes die gesloten snaren (ringen) vormen. Gravitons zorgen voor de zwaartekracht. Waar kwantummechanica slechts consistent is wanneer geen rekening gehouden wordt

⁵ Op <http://www.tenthdimension.com/medialinks.php> vindt u een mooie poging hiertoe van Rob Bryanton.

met zwaartekracht, is snaartheorie slechts consistent als de zwaartekracht er een essentieel deel van uitmaakt.

In 1995 werd duidelijk dat de verschillende versies van de snaartheorie eigenlijk allemaal deel uitmaken van één theorie: de theorie die Ed Witten M-theorie noemde. M-theorie werkt met tien ruimtelijke dimensies in plaats van negen. Hierdoor worden snaren *membranen*. De wiskunde in M-theorie is verschrikkelijk moeilijk (nog veel moeilijker dan in snaartheorie). Het onderscheid tussen snaartheorie en M-theorie is vaak onduidelijk. Susskind houdt het hierop: snaartheorie werkt met tien dimensies (negentien ruimtelijke, één tijdsdimensie) terwijl M-theorie met elf dimensies werkt (tien ruimtelijke, één tijdsdimensie).

Fysici gingen meer en meer inzien dat de werkelijkheid bestaat uit een enorm divers *Landschap* dat zijn complexiteit ontleent aan de piepkleine, opgerolde zes of zeven dimensies. In het Landschap bevinden zich zeer exotische elementen (voorbeelden zijn het D-braan, de flux en de kegelvormige singulariteit; voor meer uitleg zie (Susskind, 2005, hoofdstuk tien)). Tot voor kort gingen snaartheoretici er van uit dat er een of ander mathematisch principe zou gevonden worden dat alle mogelijke Calabi Yau-oppervlakten behalve één zou elimineren. Deze hoop bleek ijdel: de theorie zelf vraagt niet om uniciteit, maar om diversiteit. De vele verschillende versies van de oorspronkelijke snaartheorie zijn allen mogelijkheden binnen het enorme Landschap. Snaartheorie heeft 10^{500} mogelijke oplossingen! Dit getal is zo immens groot dat er geen enkele manier is om het grafisch voor te stellen. Elke van deze oplossingen representeert een vallei in het Landschap. Elke vallei heeft een verschillende vacuümenergie.

3.5. Het antropisch principe nu

We zijn nu op het punt aanbeland waar de hierboven besproken ontwikkelingen en theorieën samenkomen. Kwantummechanica speelt een rol binnen elke theorie die het over elementaire deeltjes heeft, zoals de snaartheorie. Snaartheorie voorspelt een Landschap vol valleien waarin de vacuümenergie hoog genoeg kan zijn om een periode van inflatie te doen ontstaan. In zo'n vallei in het Landschap waar het vacuüm vervalt ontstaat een nieuw pocketuniversum dat volledig afgesloten is van andere pocketuniversa (Susskind, 2005). Kwantummechanica, inflatie, het multiversum en snaartheorie lijken in bepaalde opzichten zeer goed samen te werken. Het is hier niet mijn bedoeling om te verkondigen dat we niet ver meer af zijn van een grote unificerende

theorie die alle wetenschappelijke ontwikkelingen van de laatste eeuw meteen onder één noemer brengt en verklaart. Dit is nog lang niet het geval. Wel kunnen we uit 3.1., 3.2., 3.3. en 3.4. een belangrijke tendens waarnemen. Wetenschappers die bezig zijn met kwantummechanica, met inflatie, met het multiversum of met snaartheorie zien in dat deze wetenschappelijke ontwikkelingen ons veeleer op diversiteit dan op uniciteit wijzen. Het multiversum, het Landschap en eeuwige inflatie vormen een sterk theoretisch kader waarbinnen nadenken over meerdere universa en variërende natuurconstanten door de nieuwste wetenschappelijke ontwikkelingen ondersteund wordt.

Het gaat hier om vrij nieuwe en soms speculatief lijkende ideeën, maar de evidentie voor deze theorieën is niet gering. Hoewel ze zich afspelen op schalen die we niet langer kunnen observeren (te klein in het geval van elementaire deeltjes, te groot of te ver in het geval van andere universa), kunnen we indirect testbare voorspellingen maken om deze theorieën te verifiëren. In het geval van kwantummechanica lukt dit vrij aardig (kwantummechanica is op dit moment een algemeen aanvaarde, goed gedocumenteerde theorie), in het geval van het multiversum is dit zoals gezegd moeilijker. Dat de ideeën die besproken werden vaak contra-intuïtief zijn, vormt op zich geen bezwaar. Einsteins relativiteitstheorie is voor velen nog steeds sterk contra-intuïtief maar werkt perfect, anders zou GPS in onze auto niet naar behoren functioneren.

Het loont in ieder geval de moeite om verder te zoeken naar een verklaring voor het feit dat wij hier op deze planeet rondlopen. Dat er steeds meer aandacht wordt besteed aan theorieën die evidentie bieden voor een multiversum model heeft er voor gezorgd dat er ook meer en meer interesse kwam voor het antropisch principe, zelfs bij zeer positivistisch ingestelde wetenschappers. We zijn nu in staat opnieuw aan te sluiten waar hoofdstuk twee eindigde, namelijk bij de precieze formulering van het antropisch principe. De rest van dit hoofdstuk zal ik besteden aan het werk van enkele van de meest voornamste wetenschappers en denkers van dit moment die al dan niet recentelijk in de ban raakten van het antropisch principe. Het werk van John Barrow en van Frank Tipler zal ik hier niet rechtstreeks meer aanhalen, omdat het reeds de basis vormde voor het tweede hoofdstuk. Wel zal ik het nog gebruiken in sectie 3.6. Het hierboven gegeven overzicht van de voornaamste hedendaagse theorieën uit fysica en kosmologie was noodzakelijk om het werk van deze onderzoekers te kaderen en te begrijpen.

3.5.1. Brandon Carter

In het multiversum fungeert het (zwak) antropisch principe voornamelijk als een passief selectieprincipe, als een statistische procedure die determineert welke universa levensvatbaar zijn. Wanneer Brandon Carter het antropisch principe echter voor de eerste keer formuleerde, nam hij ook al meteen het SAP in beschouwing. Hij achtte het zeker nuttig om aan de hand van het SAP de limieten van fundamentele natuurconstanten te verkennen (Carter, 1974). In het multiversum fungeert leven (al dan niet in combinatie met bewustzijn) volgens het SAP als een actief selectieprincipe: het stelt dat er geen universa bestaan zonder leven en observatoren. Het geflirt met teleologie van Carter werd door fysici niet in dank afgenomen. Voor hen is teleologie een voorbeeld van overdeterminatie: elk systeem is reeds causaal gedetermineerd door de basiswetten van de fysica, waardoor er geen ruimte meer overblijft voor een teleologisch principe (Davies, 2006). Nochtans geven waarden als die van de kosmologische constante de indruk dat er iets meer aan de hand is. Momenteel gaan wetenschappers er van uit dat de waarde van deze constante veroorzaakt wordt door de dichtheid van de enorme hoeveelheid donkere energie in ons universum, die zorgt voor een repulsie⁶. Was deze repulsie iets groter, dan zouden sterrenstelsels zich nooit hebben kunnen vormen en zouden er geen mensen zijn. De waarde van de kosmologische constante wordt vaak aangehaald ter verdediging van het sterk antropisch principe (Carter, 2004a).

De inflatietheorie werd pas in de jaren tachtig geformuleerd, na de formulering van het antropisch principe. Carter dacht toen hij het antropisch principe formuleerde wel al na over de mogelijkheid van meerdere universa (Carter, 1974). Het is zijn SAP dat in combinatie met de vele-werelden interpretatie van de kwantummechanica de theoretische fundering biedt voor vele-werelden kosmologieën (Carter, 1974; Smith, 1985). Carter beschreef hoe men het SAP kan gebruiken om te voorspellen of een bepaalde eigenschap van ons universum ook noodzakelijk of typerend is voor eventuele andere universa waarin levende wezens zich konden ontwikkelen. Ook Barrow en Tipler formuleerden een vele-werelden interpretatie van het SAP: 'An ensemble of other different universes is necessary for the existence of our Universe' (Barrow & Tipler, 1996, p. 22). Het multiversum en het antropisch principe werden dus al van in het begin met elkaar verbonden.

⁶ Je zou hier eerder het omgekeerde verwachten: normaal gezien zorgt extra materie (want donkere energie kan via $E=mc^2$ omgezet worden in materie) voor een sterkere zwaartekracht. De zwaartekracht is echter ook bepaald door druk, die tegengesteld is aan energiedichtheid. Het is deze druk die het teken van de zwaartekracht verandert en die ervoor zorgt dat meer materie niet leidt tot contractie, maar tot repulsie (Vilenkin, 2004).

Hoe langer fysici en kosmologen vruchteloos blijven zoeken naar een verklaring voor de fijnafstemming van ons universum, hoe meer van hen het multiversum en het antropisch principe in overweging nemen. Hoewel het idee vrij speculatief blijft en niet van een unieke mathematische schoonheid is, vormt de mogelijkheid van een antropische selectie van ons universum uit het multiversum een plausibele verklaring voor de waarde van fundamentele natuurconstanten. Als er talloze universa zijn waarin deze constanten telkens andere (willekeurige) waarden aannemen, dan volstaat als verklaring voor ons bestaan het feit dat wij slechts konden evolueren in een universum waarin de waarden van de constanten de ontwikkeling van bewuste levende wezens toelieten.

Het SAP is zeer speculatief en wordt vaak gebruikt voor godsdienstige doeleinden. Wetenschappelijke evidentie voor het SAP is er niet. Toch moesten we het hier nog even aanhalen omwille van de historische rol die het speelde. Het SAP gaf in combinatie met de kwantummechanica immers aanleiding tot de formulering van het PAP van John Wheeler (zie 3.5.2.).

Meer recent interesseerde Carter zich in een antropische interpretatie van de kwantummechanica. Ontevreden met de verschillende interpretaties van de theorie, probeerde hij objectief en subjectief te verzoenen (Carter, 2003). Carter is niet langer tevreden met de Kopenhaagse interpretatie en de vele-werelden interpretatie van de kwantummechanica. Het probleem met de kwantummechanica, dat pas volledig duidelijk werd in een kosmologische context, betreft de vraag hoe we op een objectieve manier kunnen omgaan met de waarnemer in een probabilistische theorie van een subjectieve natuur. Carter stelt voor dit probleem op te lossen door een antropische abstractie te maken die een onderscheid maakt tussen verschillende types waarnemers. Een meer verfijnde versie van het antropisch principe (die Carter het *micro-antropisch principe* noemt (Carter, 2004b)) is nodig om een coherente interpretatie van de kwantummechanica toe te laten. Kwantumeffecten waarnemen is een subjectief proces, en dit moet weerspiegeld worden in de vergelijkingen die de waarschijnlijkheidsgraad van een gebeurtenis proberen te kwantificeren. Waar in de vele-werelden interpretatie elke mogelijke gebeurtenis ook effectief plaatsvindt, voert Carter in navolging van Page een antropische selectiefactor in: enkel die mogelijke gebeurtenissen die zich afspelen op plaatsen waar een waarnemer aanwezig is, doen zich ook effectief voor (Page, 1996; Carter, 2004b). Hoe strenger een waarnemer gedefinieerd wordt, hoe minder gebeurtenissen zullen plaatsvinden volgens dit idee.

Het werk van Carter werd recent enigszins overschaduwd door een andere poging het antropisch principe een plaats te geven binnen de kwantummechanica. 's Werelds beroemdste nog levende fysicus Stephen Hawking schreef samen met Thomas Hertog een artikel over kwantummechanica en het antropisch principe. Deze auteurs bouwden verder op het werk van John Wheeler, een andere wetenschapper die een eigen versie formuleerde van het antropisch principe.

3.5.2. Kwantummechanica, John Wheeler en het PAP

John Wheeler zag in dat er in de kwantummechanica geen fundamenteel bezwaar is tegen het idee dat het mogelijk is voor gebeurtenissen om eerdere gebeurtenissen te beïnvloeden (Davies, 2006). De rol die observaties spelen in de kwantummechanica verschilt danig van die in de klassieke fysica en laat toe de toeschouwer opnieuw een belangrijke rol te verlenen in dit universum. Experimenten lijken te bevestigen dat deeltjes werkelijk op een of andere wijze afwezig zijn wanneer ze niet waargenomen worden. Dit leidde Wheeler tot de formulering van het PAP: Observers are necessary to bring the Universe into being (Barrow & Tipler, 1996, p. 22).

Wheeler zag waarnemers als actieve deelnemers in het vormen van de fysische realiteit. Hij introduceerde de mogelijkheid van waarnemers vandaag en in de toekomst om de realiteit van het verleden te scheppen en noemde waarnemers liever *participanten* (Susskind, 2005). Dit zorgt voor een merkwaardige temporele cirkel. In de woorden van Wheeler: 'Physics gives rise to observer-participancy; observer-participancy gives rise to information; information gives rise to physics' (Wheeler, 1989, p. 354). Op deze manier kwam Wheeler tot een model van een universum dat zichzelf verklaart in een causale cirkelbeweging. Het grote voordeel van zo'n model is dat je niet steeds opnieuw kan zoeken naar een 'diepere verklaring'. Wie bijvoorbeeld in een klassiek model stelt dat God het universum schiep, kan niet verklaren waar God vandaan kwam. In het model van Wheeler komen we uiteindelijk terug uit bij onszelf wanneer we op zoek gaan naar de ultieme verklaring voor ons bestaan. Er bestaan geen eerste oorzaken meer. Toch laat ook Wheelers universum veel vragen onbeantwoord. Zo verklaart het nog steeds niet echt waarom wij bestaan en waarom de causale cirkel is zoals hij is (Davies, 2006).

De ideeën van John Wheeler zijn zeer intrigerend. Hij baseerde zich op de Kopenhaagse interpretatie van de kwantummechanica, een interpretatie waarin de waarnemer een grote rol speelt, om zijn model te construeren. Dit model gaf de wereldvermaarde

astrofysicus Stephen Hawking de nodige inspiratie om samen met Thomas Hertog (CERN, Genève) een geheel andere aanpak te formuleren om aan kosmologie te doen (Hawking & Hertog, 2006). Dat een wetenschapper met een dergelijke status het multiversum en het antropisch principe in overweging neemt, geeft eens te meer aan dat meer en meer onderzoekers interesse tonen voor deze ideeën.

3.5.3. De waarnemer als deelnemer bij Stephen Hawking

Traditioneel wordt aan wetenschap gedaan door in een experimentele situatie na te gaan hoe een bepaalde beginstaat evolueert naar een uiteindelijke, latere (meetbare) staat. Een dergelijke aanpak werkt bottom-up. Hawking en Hertog betwijfelen echter of deze traditionele manier van werken ook in de kosmologie vruchtbaar is. Daar ligt het verleden immers niet in dezelfde mate ‘achter’ ons: met geavanceerde telescopen kunnen we letterlijk in het verleden kijken. De geschiedenis van ons universum bevindt zich overal rondom ons. Bovendien hebben we geen controle over de beginstaat van het universum (terwijl we dit wel hebben wanneer we een laboratoriumexperiment opzetten) en is dit het enige universum dat we kunnen waarnemen. Het is dus niet mogelijk data die we met de klassieke aanpak bekomen te vergelijken met data uit andere universa. We weten niet eens of er andere universa bestaan. Daarom verliezen we door deze traditionele manier van werken elk uitzicht op een mogelijk antwoord op de vraag waarom ons universum is zoals het is.

Hoe moet het dan wel? Hawking en Hertog kiezen – in het spoor van John Wheeler – voor een aanpak die verder bouwt op de beginselen van (de Kopenhaagse interpretatie van) de kwantummechanica, gecombineerd met inzichten uit de snaartheorie. Het centrale idee achter hun model van het universum is het spel tussen de fundamentele natuurwetten enerzijds en de willekeurigheid van kwantumfluctuaties anderzijds. Ze gaan niet uit van één enkele geschiedenis van ons universum, maar van de kwantumsom van vele geschiedenissen: het universum heeft niet één geschiedenis, maar elke mogelijke geschiedenis, met telkens haar eigen waarschijnlijkheid. Dit inzicht wordt gekaderd binnen een top-down benadering van kosmologie waarin de geschiedenis van het universum afhangt van de gestelde vragen ernaar, of meer bepaald, van de beperkingen die ingevoerd worden in de vergelijking die de waarschijnlijkheidsgraad berekent dat een bepaald type universum zich kon voordoen. De huidige staat van het universum is onafhankelijk van haar oorspronkelijke staat. De oorspronkelijke staat is aan geen enkele

voorwaarde onderhevig. Pas na verloop van tijd ontstonden er uit die staat andere universa die mee de grenzen en specifieke eigenschappen van ons huidige universum vormden. Dit gebeurde door kwantumfluctuaties en door selectie-effecten. De top-down aanpak stelt dat we vertrekkende van de huidige omstandigheden kunnen nagaan welke mogelijkheden met welke waarschijnlijkheidsgraad gekozen konden worden uit een eerdere staat van ons universum. Hier introduceren Hawking en Hertog een antropisch element in hun berekeningen: enkel die mogelijkheden die het ontstaan van intelligent leven toelaten, kunnen gekozen worden. Op deze manier bekomen we een beperkte subklasse van mogelijke universa waarin levende wezens zich kunnen ontwikkelen. Wel is top-down kosmologie breder dan antropisch redeneren omdat het meer selectie-effecten in overweging neemt dan alleen die die aanleiding gaven tot ons bestaan. Er wordt ook een waarschijnlijkheidsgraad toegekend aan die eigenschappen die geen aanleiding gaven tot de ontwikkeling van levende wezens, maar die wel aanwezig zijn in het universum dat we op dit moment waarnemen.

In een bottom-up kosmologie worden initiële condities gespecificeerd, waarna nagegaan wordt hoe deze condities voorwaarts in de tijd evolueren naar de klassieke staat van ons universum. Fijnafstemming is hier niets meer dan een postulaat en kan dus niet verklaard worden. In een top-down kosmologie daarentegen kan het antropisch principe geïmplementeerd worden via het selecteren van die mogelijke geschiedenissen van het universum waarin leven kon ontstaan. 'Anthropic reasoning within the top down approach is reasonably well-defined, and useful to the extent that it provides a qualitative understanding for the origin of certain late time conditions that one finds are needed in top down cosmology' (Hawking & Hertog, 2006, p. 14-15). Een top-down kosmologie leidt tot een geheel ander beeld van de wereld en tot een geheel andere relatie tussen oorzaak en gevolg. De aanpak vertrekt van het universum zoals het nu is en gaat na welke van de mogelijke geschiedenissen van dit universum het meest waarschijnlijk zijn. Dit gaat lijnrecht in tegen de traditionele bottom-up manier om aan kosmologie te doen, waarbij vertrokken wordt van een mogelijke beginstaat van het universum die onafhankelijk is van elke waarnemer.

Het artikel van Hawking en Hertog is niet alleen belangrijk omdat het illustreert hoe steeds meer grote denkers geïnteresseerd raken in het werken met selectie-effecten en het antropisch principe. Het incorporeert tevens het antropisch principe in een wetenschappelijk model dat waarschijnlijkheden berekent en dat testbare voorspellingen doet.

3.5.4. Steven Weinberg

In de geschiedenis van de wetenschap komen keerpunten voor waarop ontdekkingen gedaan worden over de aard van wetenschap zelf. Deze ontdekkingen kunnen leiden tot veranderingen in wat beschouwd wordt als een acceptabele theorie. In 1905 was de speciale relativiteitstheorie het begin van de algemene aanvaarding van symmetrieprincipes in de wetenschap (Weinberg, 2005). Kort daarna ontstond een nieuwe wetenschap, de kwantummechanica, waarin – zoals hierboven uitgelegd werd – de waarnemer eveneens een zeer belangrijke rol speelt. Steven Weinberg stelt dat we ons op een nieuw keerpunt kunnen bevinden (Weinberg, 2005). Fysici vragen zich meer dan ooit af wat we als een legitiem fundament kunnen beschouwen voor een wetenschappelijke theorie. Als natuurconstanten kunnen variëren, dan worden de waarden ervan die wij waarnemen aan voorwaarden onderworpen omdat ze ons bestaan moeten toelaten. Weinberg geeft toe dat het een ontgoocheling zou zijn moest het invoeren van een antropisch selectie-effect de enige oplossing zijn voor het probleem van de waarden van de constanten in de natuur. Maar hoe graag we deze waarden ook deductief zouden willen berekenen uit wiskundige principes, antropische redeneringen zouden wel eens de enige haalbare verklaringen kunnen zijn (Weinberg, 2000). Weinberg voegt er nog aan toe dat we in het verleden reeds met vergelijkbare ontgoochelingen moesten leren leven. Ook Kepler faalde toen hij via een geometrisch principe poogde de afstanden van de planeten tot onze zon te verantwoorden. Deze afstanden zijn willekeurig. Met acht planeten in ons zonnestelsel en met nog een heel groot aantal andere planeten die rond andere sterren draaien, wordt het echter mogelijk een antropische verklaring te bieden voor de ‘juiste’ afstand waarop onze planeet zich van de zon bevindt: er zijn nu eenmaal heel veel planeten die rond een ster draaien, dus het is normaal dat af en toe een planeet zich op de juiste afstand van haar ster zal bevinden voor de ontwikkeling van levende wezens. Dat wij ons op zo’n planeet bevinden spreekt voor zich, want als dit niet het geval zou zijn konden wij niet bestaan.

Weinberg gebruikte een antropische redenering voor het voorspellen van de energie van het vacuüm. De antropische bovengrens van deze waarde wordt bepaald door de snelheid waaraan sterrenstelsels zich kunnen vormen. Als deze te groot zou blijken, dan zouden wij hier niet zijn. De waarschijnlijkheidsgraad die aangeeft hoe groot de kans is dat wij ons in een universum bevinden waarin de dichtheid van de energie van het vacuüm groot genoeg is om haar huidige waarde te verantwoorden, schat Weinberg op ofwel 5% ofwel 12% (Weinberg, 2000). Deze waarde lijkt wat aan de lage kant, maar is

volgens Weinberg groot genoeg om antropisch verklaard te worden. Wel waarschuwt Weinberg nog voor het overmatige gebruik van antropische verklaringen. Hij is van mening dat we zeer voorzichtig moeten zijn met deze verklaringen. Ze mogen niet speculatief of onderling afhankelijk worden. We moeten bovenal wetenschappelijk te werk blijven gaan bij het bepalen van antropische boven- en ondergrenzen voor de waarden van natuurconstanten (Weinberg, 2000).

Weinbergs geschriften verraden dat hij zelf geen unanieme voorstander is van het gebruik van het antropisch principe. Toch was hij een van de eersten die het principe serieus nam. De reden hiervoor was de vaststelling dat de kosmologische constante bestaat en dat ze ongelooflijk fijn afgestemd lijkt: was ze iets groter of iets kleiner dan 10^{-120} , dan liepen wij hier niet rond. In (Weinberg, 1987) suggereerde Weinberg het ondenkbare: misschien is de reden waarom λ zo klein is simpelweg het feit dat, moest λ iets groter zijn, wij hier niet zouden rondlopen (Susskind, 2005). Het werk van Weinberg werd eerst genegeerd, maar observaties gaven hem gelijk: de waarde van de kosmologische constante is niet gelijk aan nul, maar is – volledig in overeenstemming met de voorspelling van Weinberg – zeer klein en zorgt voor een minieme gravitationele repulsie die de ontwikkeling van levende wezens toelaat. Voor deze vaststelling is er nog steeds geen verklaring. Meer dan elke andere fijnafstemming leidt de waarde van λ sommigen ertoe de besluiten dat het universum ontworpen moet zijn (Susskind, 2005).

Meer recent toonde Weinberg interesse voor het multiversum in combinatie met snaartheorie. Hoe groter het aantal plausibele waarden voor fysische parameters die mogelijk gemaakt worden door het snaarlandschap, hoe meer snaartheorie het gebruik van antropische redeneringen legitimeert (Weinberg, 2005). Zolang het bereik van de waarden van constanten binnen antropische grenzen kleiner is dan het bereik van alle mogelijke waarden van die constanten binnen de snaartheorie, is antropisch redeneren mogelijk. Dan kan immers voorspeld en bepaald worden welke van alle mogelijke waarden in ons universum de ontwikkeling van levende wezens toelaten en welke niet. Een andere grote snaartheoreticus die schreef over het antropisch principe is Leonard Susskind. Vooraleer ik zijn werk bespreek, behandel ik echter nog de geschriften van twee fysici die na Weinbergs antropische voorspelling uit 1987 interesse gingen vertonen voor het antropisch principe, namelijk Vilenkin en Linde.

3.5.5. Alexander Vilenkin en Andrei Linde

In wetenschap is alles wat niet expliciet weerlegd kan worden, toegestaan. Zo ook het idee dat natuurconstanten kunnen variëren. Eeuwige inflatie (zie sectie 3.2.2.) biedt een theoretische basis hiervoor. Vilenkin en Linde zijn twee grote namen achter deze theorie die stelt dat hoe groter de kwantumfluctuaties zijn in het vals vacuüm, hoe groter de diversiteit is aan mogelijke natuurwetten (Linde, 2003). Elk deel van het universum waarin de natuurconstanten andere waarden hebben dan in andere delen, is zo groot dat het als een apart universum gezien kan worden. De verschillende delen van deze structuur beïnvloeden op geen enkele wijze wat er gebeurt in andere delen (Linde, 2003). Eeuwige inflatie vormt aldus een uitstekend argument ter verdediging van het antropisch principe.

Vilenkin stelt dat, om kwantitatieve resultaten te bekomen, een antropisch wereldbeeld een multiversum veronderstelt. Sinds de ontwikkeling van inflatietheorieën hebben we een goed verdedigbare multiversum theorie (Vilenkin, 2004). De waarden van natuurconstanten in verschillende (pocket)universa zijn noodzakelijk willekeurig en verschillend van elkaar vanwege de kwantumfluctuaties die ze ondergingen tijdens de inflatiefase. Vilenkin stelt met nadruk dat inflatie en het multiversum hand in hand gaan: “Inflationary cosmology gives a specific realization of the multiverse ensemble, and makes it essentially inevitable” (Vilenkin, 2004, p. 1). Hetzelfde geldt voor kwantummechanica en het multiversum: “When quantum mechanics is applied to the entire universe, we are inevitably lead to the concept of an ensemble of universes” (Vilenkin, 1995, p. 10). Wie zich niet comfortabel voelt bij de gedachte aan een multiversum, kan dit ensemble van universa zien als een mathematische constructie, zoals ook in de kwantummechanica de verschillende mogelijke oplossingen meestal als louter wiskundig beschouwd worden. In elk geval worden waarschijnlijkheden berekend *alsof* alle universa echt bestaan. Het is volgens Vilenkin het makkelijkst om aan te nemen dat het ook werkelijk zo is (Vilenkin, 1995).

Binnen de verzameling van alle volgens de theorie mogelijke universa, fungeert het antropisch principe als selectieprincipe. Vilenkin formuleert een eigen versie van het antropisch principe dat vooral de probabilistische, statistische aspecten van antropisch redeneren benadrukt. Hij noemt het zijn *principle of mediocrity*. Dit principe veronderstelt dat onze civilisatie (de aardse beschaving) een *typische* beschaving is in het meta-universum en dat wij op aarde *typische* waarnemers zijn die observeren wat het grote merendeel van de waarnemers in het meta-universum zou observeren (Vilenkin, 1999a).

De voorspellingen die het principle of mediocrity maakt zijn niet gegarandeerd correct. Ze zijn enkel statistisch accuraat: gegeven een groot aantal voorspellingen zullen slechts enkele ervan verkeerd zijn. In deze enkele gevallen zal het gaan om *speciale* condities en dus zaken die niet typisch zijn voor onze civilisatie (Vilenkin, 1995). Kwantitatief kan het principle of mediocrity uitgedrukt worden als de aanname dat de natuurwetten en – constanten die wij waarnemen in die mate typisch zijn voor alle civilisaties in alle universa dat in 95% van de gevallen die andere waarnemers hetzelfde observeren als wij⁷. Wanneer dit niet geldt voor een bepaalde waarde die wij opmeten, dan kan dit gezien worden als evidentie tegen het principle of mediocrity (Vilenkin, 2004).

Vilenkin gaat in zijn toepassingen van het antropisch principe uiterst wetenschappelijk te werk. Niet alleen maakt hij het principe kwantificeerbaar, hij wijst ook voortdurend op de voorspellende kracht en de testbaarheid ervan. Zo schreef hij al dan niet in samenwerking met andere auteurs reeds zes artikels waarvan de titel begint met '(testable) anthropic prediction(s) for...'⁸. Volgens Vilenkin is de slechte reputatie van het antropisch principe onverdiend en is het principe essentieel voor het afleiden van observeerbare voorspellingen (Vilenkin, 1999b). Antropische redeneringen kunnen ons heel wat bijleren over ons universum. De prijs die we er in Vilenkins werk voor moeten betalen, is de automatische aanname dat op de aarde waarnemers rondlopen die typisch zijn voor waarnemers in alle civilisaties in het multiversum.

Vilenkin en Linde schreven (samen met Garriga) een artikel over antropische voorspellingen met betrekking tot de energie van het vacuüm (een probleem dat overeenkomt met het probleem van de kosmologische constante, aangezien de energie van het vacuüm mee voor de uitdijing of de voor contractie van het universum zorgt) (Garriga, Linde & Vilenkin, 2004). Ze verkenden welke mogelijke waarden deze energie kan aannemen en welke van deze mogelijkheden de ontwikkeling van levende wezens toelaten door een antropische selectie te maken. Hun voorspellingen worden bevestigd door data van de WMAP-satelliet, die tot taak heeft de verdeling van de kosmische achtergrondstraling in kaart te brengen. Antropische selectie-effecten lijken een goede verklaring te bieden voor de vaststelling dat ons universum op dit moment aan een lage snelheid uitdijt, ook al zijn exacte schattingen van deze snelheid nog steeds vrij ruw. De auteurs kijken vol spanning uit naar nieuwe en betere schattingen. Bovendien wordt het

⁷ 95% is de zekerheidsgraad waar wetenschappers in de meeste gevallen naar streven wanneer ze aan experimenteel onderzoek doen (Weber, 2005a).

⁸ (Garriga & Vilenkin, 2003), (Pogosian, Tegmark & Vilenkin, 2004), (Vilenkin, 2004), (Pogosian, Tegmark & Vilenkin, 2005), (Garriga & Vilenkin, 2006), (Pogosian & Vilenkin, 2007).

antropisch selectieprincipe ondersteund door recent werk van snaartheoretici. Snaartheorie laat het bestaan toe van vele mogelijke waarden voor de energie van het vacuüm, waaronder die waarden die ons ontstaan toelieten (Garriga, Linde & Vilenkin, 2004).

Andrei Linde neemt een open, maar gematigde houding aan ten opzichte van het antropisch principe. Hij stelt dat we moeten blijven zoeken naar een meer eenvoudige fysische oplossing voor de fijnafstemming van ons universum. Bij gebrek aan zo'n oplossing echter is het zeker ook nuttig het antropisch principe en het multiversum in overweging te nemen. De kans bestaat dat het antropisch principe veeleer werkt als een pijnstillertje in plaats van het volledige probleem te genezen, maar het helpt ons niettemin om te leren begrijpen hoe ingewikkelde en fundamentele problemen over onze kosmos in elkaar zitten (Linde, 2003). We mogen niet te bang zijn voor de eventueel contra-intuïtieve gevolgen van een bepaalde theorie, zolang die theorie in overeenstemming is met de huidige stand van de wetenschappen. Linde ziet John Wheeler als een lichtend voorbeeld op dit vlak en gaat problemen rond bewustzijn en selectie-effecten niet zomaar uit de weg. Kwantummechanica en inflatie zijn alomtegenwoordig in zijn wereldbeeld: "Without inflation, our universe would be ugly. Without quantum, our universe would be empty" (Linde, 2003, p. 30).

Linde was de eerste kosmoloog die de inflatietheorie aanhaalde om het probleem van de kosmologische constante te proberen op te lossen, daarbij gebruik makend van het antropisch principe (Linde, 1984). Velen zouden hem volgen in die aanpak. Steven Weinberg bijvoorbeeld ontdekte in 1987 dat de vorming van sterrenstelsels zich enkel kon voordoen op het moment dat de kosmologische constante nog niet dominant was over de energiedichtheid van het universum (Weinberg, 1987). Zonder de inflatietheorie te gebruiken zou hij niet tot deze conclusie gekomen zijn.

3.5.6. Leonard Susskind

Susskind is een snaartheoreticus die het antropisch principe verdedigt binnen het snaarlandschap. Hij is oprecht verwonderd over de vele schijnbare fijnafstemmingen in ons universum, maar benadrukt dat het antropisch principe correct gebruikt kan worden binnen een volledig wetenschappelijke context. Wat hem ertoe leidde het antropisch principe in overweging te nemen, is niet het probleem van de kosmologische constante, maar de ommekeer die zich in de jaren negentig voordeed binnen snaartheorie: in plaats

Momenteel is Leonard Susskind misschien wel de belangrijkste advocaat van het antropisch principe in de discussie rond de wetenschappelijkheid ervan. Susskind is bovenal wetenschapper en pragmatist. Filosofische objecties tegen antropische redeneringen zijn pas van secundair belang (Susskind, 2005). Het lijkt voor hem geen twijfel dat ondanks de controverse de discussie rond het antropisch principe ons veel kan leren over onze positie in de kosmos. In hoofdstuk vier kom ik hier uitgebreid op terug

68

wanneer het gaat over het dispuut tussen Susskind en Smolin over de wetenschappelijkheid van het antropisch principe (zie secties 4.2.2. en 4.2.3.).

3.6. Een onzekere blik op de toekomst

De meest speculatieve variant van het antropisch principe is zonder twijfel het FAP, dat stelt dat intelligente informatieverwerkende wezens moeten bestaan en dat, eens ze bestaan, ze nooit zullen uitsterven. We kunnen deze stelling enigszins onderzoeken door na te gaan hoe ons universum zich zal gedragen in de toekomst. Als blijkt dat het voor levende wezens onmogelijk zal worden om te blijven bestaan in de verre toekomst, dan kunnen we het FAP verwerpen. In het laatste hoofdstuk van *The Anthropic Cosmological Principle* gaan Barrow en Tipler hier dieper op in (Barrow & Tipler, 1996, hoofdstuk 10). Hieronder vat ik de belangrijkste zaken hieruit samen. Waar ik andere bronnen gebruikt heb, geef ik het aan.

Eerst gaan Barrow en Tipler na hoe onze ruimtelijke omgeving er ongeveer uit zal zien in de toekomst. Bepaalde eigenschappen van ons universum kunnen we gezien de wetten van de fysica niet veranderen, zoals de open- of geslotenheid ervan en de snelheid waarmee het expandeert of terug inkrimpt. Op andere kenmerkendheden van ons universum kunnen intelligente wezens dan wel weer een impact hebben. De berekeningen van Barrow en Tipler wijzen erop dat over tijdsschalen groter dan 10^{20} jaar, intelligent leven een belangrijke rol kan spelen in elke analyse van het gedrag van onze kosmos.

Binnen 10^{12} jaar zullen sterren ophouden met levende wezens van energie te voorzien. Dit hoeft echter geen fataal bezwaar te zijn tegen het verder bestaan van leven: we zullen onze energie dan elders vandaan moeten halen. Een meer fundamenteel probleem stelt zich wanneer protonen van het toneel verdwijnen. De leeftijd van een proton wordt op zo'n 10^{31} jaar geschat. Dit heeft tot gevolg dat na 10^{34} jaar alle op atomen gebaseerd leven zoals we dat nu kennen, onmogelijk wordt. Materie wordt omgezet in energie. Het door materie gedomineerde universum dat we nu kennen, zal dan enkel nog straling bevatten. De enige materie die na 10^{34} jaar nog overblijft, vormt een elektron-positron plasma. Daarnaast zullen ook nog enkele zwarte gaten bestaan. De allergrootste zwarte gaten (met de massa van een supercluster) zullen pas verdwijnen na 10^{117} jaar. Het is echter zo dat – als intelligent leven hier überhaupt nog mogelijk is – tegen dan onze soort plaats zal hebben gemaakt voor een geheel andere soort. Hoe deze soort zal

functioneren weten we uiteraard niet precies, maar Barrow en Tipler geven reeds een hint. In hun formulering van het FAP hebben ze het over *informatieverwerkende* wezens. Ze beschouwen een menselijk wezen als een softwareprogramma dat (enkel) werkt binnen de hardware van het menselijk lichaam. Data worden gecodeerd en opgeslagen in DNA-moleculen en zenuwcellen. Barrow stelt dat in de verre toekomst levende wezens een vorm zullen aannemen die we nu artificieel zouden noemen (Barrow, 2002, hoofdstuk 8). Dit stelt enkele problemen voor de toekomst van intelligent leven. “The basic problem of physical eschatology is to determine if the forms of matter which will exist in the far future can be used as construction materials for computers that can run complex programs, if there is sufficient energy in the future environment to run the programs, and if there are any other barriers to running a program” (Barrow & Tipler, 1996, p. 659). In deze visie wordt alles wat mensen doen (niet alleen hun denken), beschouwd als informatieverwerking. Als het FAP geldt, dan moet het totale aantal te verwerken informatie oneindig zijn. Immers, enkel als er in de toekomst een oneindig aantal gedachten mogelijk is, is het redelijk te veronderstellen dat intelligent leven *voor altijd* kan bestaan. Bovendien moeten steeds nieuwe gedachten mogelijk zijn. Er is een bovenlimiet voor de hoeveelheid informatie die ons zichtbare universum kan bevatten.

Seth Lloyd berekende in (Lloyd, 2006) dat een computer die alle energie in ons zichtbaar universum zou gebruiken, aan zo’n 100000 googol (10^{105}) operaties per seconde kan presteren. Dit betekent dat in de loop van de 14 miljard jaar dat ons universum bestaat, deze supercomputer reeds zo’n 10000 miljard miljard googol (10^{122}) operaties zou kunnen gemaakt hebben. In hetzelfde boek berekende Lloyd dat een gewone computer (met een processor met een kloksnelheid van gemiddeld 1 gigahertz) tegenwoordig zo’n 10^{12} operaties per seconde aankan. Alle computers samen op onze planeet maakten in de periode tussen midden 2004 en eind 2005 in totaal zo’n 10^{28} operaties. Over de volledige geschiedenis van computatie op onze planeet (tot in 2006 op het ogenblik van de publicatie van het werk van Lloyd) hebben computers niet veel meer dan zo’n tweemaal dit aantal operaties gedaan (Lloyd, 2006).

We hebben dus nog een lange weg te gaan vooraleer we de door Lloyd berekende bovenlimiet van operaties bereiken. Er stelt zich hier echter een mogelijk probleem. Als het universum aan een steeds hogere snelheid uitdijt, dan zal de kwaliteit van de informatie die we verwerken er meer en meer op achteruitgaan. Het universum zal opgedeeld worden in kleine regio’s waartussen communicatie mogelijk blijft, maar uiteindelijk moet informatieverwerking tot een halt komen. Voor het FAP is het dus

noodzakelijk dat de expansiesnelheid van ons universum niet blijft stijgen (Barrow, 2002, hoofdstuk 8).

Als het FAP geldt, dan moet leven in de heel verre toekomst 'etherisch' worden. We moeten een zuinige levensvorm zien te worden die niet deels uit protonen is opgebouwd, maar volledig uit plasma dat bestaat uit resterende vrije deeltjes en uit positronium, exotische atomen die bestaan uit een elektron en een positron. Freeman Dyson was volgens Barrow en Tipler de eerste die suggereerde dat het in principe mogelijk is voor levende wezens om effectief te bestaan uit deze materie (zie Dyson, 1981).

Barrow & Tipler besluiten hun boek met het idee van een Omegapunt dat ergens ver weg in de toekomst ligt. Op dit punt heeft het leven controle verkregen over alle materie en alle krachten in alle logisch mogelijke universa. In elke ruimte van de kosmos is leven aanwezig. Levende wezens hebben een oneindige hoeveelheid informatie opgeslagen. Alle bits die gekend kunnen worden, zijn effectief gekend. "And this is the end" (Barrow & Tipler, 1996, p. 677).

De speculaties van Barrow en Tipler omtrent het FAP verraden een optimistisch toekomstbeeld. Dit vinden we helemaal niet terug bij Charles Seife, die het volgende stelt: "... there is only a finite time left before the last living creature in the visible universe will be snuffed out. The laws of information have sealed our fate, just as they have sealed the fate of the universe itself" (Seife, 2006, p. 1). Het is zeer moeilijk om exacte voorspellingen te maken met betrekking tot de manier waarop levende wezens eruit zullen zien binnen miljarden jaren. Niettemin leverde onderzoek naar leven in de toekomst reeds enkele interessante ideeën op. De meest opmerkelijke implicatie hiervan is dat leven in de verre toekomst in grote mate beïnvloed zal worden door de transformatie van materie in informatie. Het FAP geeft dit reeds aan. Nu al merken we dagelijks dat informatie en diensten steeds belangrijker worden. Informatie kan nu reeds opgeslagen worden op verschillende media. Het zal voor onze verre achterneven van groot belang zijn informatie te kunnen blijven opslaan op de media die voor hen beschikbaar zijn. Zolang dit mogelijk is, is leven mogelijk.

In principe is het mogelijk testbare voorspellingen te maken voor het FAP. Wanneer vastgesteld en bewezen wordt dat er ooit een einde moet komen aan het bestaan van leven in de kosmos, dan is het FAP weerlegd. We kunnen echter onmogelijk weten wat de verre toekomst ons zal brengen. Ongetwijfeld zal ons lichaam zich verder moeten aanpassen aan de omgeving, maar onze geschiedenis leert ons dat we hier zeer goed in zijn. Onderzoek naar wat er binnen miljoenen en miljarden jaren zal gebeuren in ons

universum is mogelijk, maar of intelligent leven dan nog zal bestaan, is een uiterst speculatieve claim die in de praktijk onvoorspelbaar is. Daarom zal ik het in het volgende hoofdstuk niet meer hebben over het FAP.

3.7. Conclusie bij dit hoofdstuk

In de afgelopen decennia is een nieuw discours ontstaan waarbinnen het antropisch principe niet langer geassocieerd wordt met teleologie en godsdienstige overwegingen, maar waarin het veeleer fungeert als selectieprincipe binnen een wetenschappelijk omlijnd kader van mogelijkheden. Het antropisch principe is dat wat bepaalt welke van de vele mogelijke waarden van wetten en constanten in de natuur de ontwikkeling van levende wezens toelaten. Inflatiekosmologie en wiskunde uit de snaartheorie zijn beiden compatibel met het idee van een multiversum en ook kwantummechanica leent zich tot interpretaties waarin gewerkt wordt met meerdere werelden. Nieuwe ontwikkelingen in de wetenschappen zorgden ervoor dat men niet langer met exacte waarden werkt, maar met mogelijkheden en waarschijnlijkheden. Dit alles leidde ertoe dat het antropisch principe door meer en meer onderzoekers serieus genomen wordt, niet langer als antropocentrische verklaring maar als statistisch principe. Voornamelijk wetenschappers zien in dat het tij aan het keren is: het antropisch principe in overweging nemen brengt je als wetenschapper niet langer in de problemen (Weinberg, 2000; Susskind, 2005; Vilenkin, 2006).

Momenteel is er belangstelling voor een iets sterkere variant van het antropisch principe, namelijk het PAP van John Wheeler. In deze variant wordt de waarnemer tot deelnemer verheven. De actuele interesse voor het PAP geeft aan dat wetenschappers meer en meer inzien dat selectie-effecten en beïnvloeding door observaties de interpretatie van bekomen resultaten ernstig in de war kunnen brengen.

We weten nu op welke manier het antropisch principe vandaag gebruikt wordt door onderzoekers en hoe het gegroeid is uit een eeuwenlange geschiedenis waarin het principe zich recentelijk onttrokken heeft aan religieuze bijklanken. In dit hoofdstuk liet ik alleen voorstanders van het antropisch principe aan het woord. In het laatste hoofdstuk zal ik de argumenten van tegenstanders weergeven, alsook de reacties erop.

4. Argumenten tegen het antropisch principe

In de vorige hoofdstukken schetste ik de historische context en het hedendaagse gebruik van het antropisch principe. De basis is nu gelegd voor een evaluatie. Er zijn in grote lijnen twee mogelijke verklaringen voor de fijnafstemming van ons universum. De eerste is die van het multiversum, waarin er zoveel verschillende werelden zijn met zoveel verschillende waarden voor natuurconstanten, dat in sommige van die werelden gunstige omstandigheden kunnen verwacht worden voor de ontwikkeling van levende wezens. De tweede mogelijke verklaring is die van de goddelijke Fijnafstemmer die de waarden voor natuurconstanten zo afstelde dat evolutie van levende wezens mogelijk werd in deze wereld (Leslie, 1986). De eerste verklaring wordt meer en meer aangehangen door wetenschappers, de tweede wordt veeleer aangehangen door gelovigen. Ik argumenteer in dit hoofdstuk dat we een duidelijk onderscheid moeten maken tussen deze verklaringen en ik ga dieper in op de verklaring die vanuit wetenschappelijk oogpunt het meest zinvol is, namelijk de eerste.

Eerst zal ik enkele algemene tegenwerpingen bespreken die het antropisch principe oproept bij de eerste aanblik ervan. Daarna overloop ik in detail een meer specifieke kritiek waartegen voorstanders van het antropisch principe zich moeten verdedigen en neem ik zelf een positie in met betrekking tot de toepasbaarheid van het antropisch principe.

4.1. Algemene kritieken op het antropisch principe

4.1.1. Teleologie en religie

Uit hoofdstuk twee weten we dat het antropisch principe ontstaan is uit de eutaxiologische variant van het designargument. Het voordeel van het benadrukken van die ontstaansgeschiedenis is dat het antropisch principe in een lange traditie van argumenten geplaatst kan worden die de radicale nieuwheid van het idee ontkracht. Het grote nadeel is dat die ontstaansgeschiedenis het antropisch principe onvermijdelijk in verband brengt met teleologie en religie. Het SAP stelt dat ons universum die eigenschappen moet hebben die de ontwikkeling van leven mogelijk maken. Leven kan geen toeval zijn. Religieus gezinde mensen gebruiken het SAP om te argumenteren dat het universum specifiek ontworpen is opdat wij erin zouden kunnen leven, ook al zegt het

SAP in feite niets over de creatie van het universum (Sharpe & Walgate, 2002). Hierdoor nemen weinig wetenschappers het SAP serieus.

Het SAP is uitgesproken teleologisch: het doet een beroep op doelmatigheid om te verklaren waarom zaken gebeuren zoals ze gebeuren (Roush, 2003). Het SAP heeft bovendien veel mee van een ad hoc constructie. Voorstanders ervan doen a posteriori beweringen over de waarschijnlijkheid van ons bestaan in een volgens hen uniek universum met enkele karakteristieke structurele eigenschappen (Barrow & Tipler, 1996, p. 248). De kritiek op het SAP is vanuit wetenschappelijk oogpunt terecht groot. Niettemin heeft het argument enige speculatieve kracht. In zekere zin biedt het SAP een verklaring voor de fijnafstemming van het universum: het zegt dat ons universum het bestaan van leven moet toelaten en vereist dat de waarden van fundamentele natuurkrachten binnen een nauwe marge liggen (Trefil, 1997). Het lijkt hierdoor alsof de mens er wel moest komen. Het gaat echter om pure speculaties: niets wijst erop dat dit daadwerkelijk het geval is. Daarom kan het SAP geen aanspraak maken op enige wetenschappelijke waarde (ook niet wanneer het geïnterpreteerd wordt binnen een multiversum theorie, want ook in deze interpretatie zal een niet wetenschappelijk verdedigbare doelmatigheid een rol blijven spelen). De waarde van het SAP is vooral historisch. Het SAP belichaamt de link tussen de oude designargumenten en het (zwak) antropisch principe zoals het aangehaald wordt in actuele discussies.

In het verdere verloop van deze evaluatie van het antropisch principe zal ik het SAP niet meer in overweging nemen, omdat het gebruik maakt van teleologie en omdat het daardoor gebruikt kan worden door gelovigen allerhande om het bestaan van een Goddelijk Plan in de natuur te verdedigen. Dat het noodzakelijk is dat er op een bepaald moment in de geschiedenis van ons universum levende wezens moeten bestaan, is een te speculatieve claim waar onze wetenschappen weinig mee kunnen aanvangen. Hoewel het SAP aanleiding gaf tot de formulering van het PAP door John Wheeler, is de claim die deze laatste maakt niet zo sterk. Wheeler legt veeleer de nadruk op het belang van de waarnemer in wetenschappelijk onderzoek. Hoewel ook van de definitie van het PAP een noodzaak uitgaat, volgt hier niet uit dat het universum zich *vanaf het ontstaan ervan* zou ontwikkelen dat er op een bepaald moment levende wezens in *moesten* bestaan. Bovendien is het PAP veel dieper ingebed in een wetenschappelijke theorie (namelijk kwantummechanica).

Een grote oorzaak van vele misverstanden rond het antropisch principe is ongetwijfeld het dooreenhalen van de verschillende versies ervan. Wanneer één auteur onder het

antropisch principe het SAP verstaat, terwijl een andere het over het WAP heeft, dan raken de connotaties die beide versies van het antropisch principe oproepen met elkaar verward. Dit kan tot verkeerde conclusies leiden met betrekking tot de betekenis van het WAP. De sleutel die aanleiding geeft tot alle speculatie rond het SAP ligt in de noodzakelijkheid die het woordje 'moet' impliceert in de definitie ervan (Sharpe & Walgate, 2002). Levende wezens *moeten* bestaan op een bepaald moment in de evolutie van ons universum. Deze noodzakelijkheid vinden we niet langer terug in de definitie van het WAP. Verwarring is er echter de oorzaak van dat sommige auteurs ook het WAP als mystiek of speculatief gaan beschouwen. Barrow & Tipler benadrukken het tegendeel. Meteen na hun definitie van het WAP stellen ze het volgende: "Again we should stress that this statement is in no way either speculative or controversial" (Barrow & Tipler, 1996, p. 16).

Het WAP kiest niet tussen design en toeval. Sober verwoordt dit als volgt: "The fact that the universe exists does not favor Design over Chance; after all, if the universe did not exist, we would not exist and so would not be able to observe that it does" (Sober, 2004, p. 18).

Uit hoofdstuk drie werd duidelijk dat het antropisch principe op een seculiere wijze gebruikt kan worden zonder beroep te moeten doen op al te speculatieve argumenten. Het WAP (zowel in de definitie van Carter als in die van Barrow & Tipler) werkt niet met doelmatigheid en heeft niets met religie te maken. De versies van het antropisch principe die de wetenschappers uit hoofdstuk drie in overweging nemen, zijn volkomen seculier. Ik pleit hier voor een onderscheid tussen religie en speculatie enerzijds en deze seculiere manieren van omgaan met het antropisch principe anderzijds. Wie meent dat het antropisch principe niet los kan gezien worden van religie en design in de natuur, die verwacht de verschillende varianten van het principe met elkaar.

Er lijkt iets speciaals aan de hand te zijn met ons universum. In hoofdstuk twee zagen we hoe men dit in het verleden probeerde te verklaren. Uit de talrijke pogingen die hiertoe ondernomen werden, ontstond het antropisch principe als een selectie-effect dat toegepast werd op onze kosmos. Het antropisch principe werd in het leven geroepen door Brandon Carter, een theoretisch fysicus. Door Barrow & Tipler, twee andere theoretische fysici, werd het in een lange traditie geplaatst van argumenten en discussies omtrent het al dan niet ontworpen zijn van ons universum. Sindsdien sleuren sommige wetenschappers aan de mouwen van het principe opdat ze het buiten het vertoog van religieuzen zouden kunnen houden. Tegelijkertijd echter duwen andere wetenschappers

het weer weg omdat het volgens hen niets met wetenschap te maken heeft. Een derde groep ziet dan weer heil in een lezing van *The Anthropic Cosmological Principle* (van Barrow & Tipler) die alsnog evidentie biedt voor het bestaan van een Schepper. Zo stelt William Craig dat het antropisch principe geenszins leidt tot de idee dat een Fijnafstemmer overbodig is. Kiezen voor een Designer is volgens deze filosoof minstens even rationeel als 'geloven' in een multiversum (Craig, 1988). In een antwoord op Craig valt Kyle Kelly de argumentatie van Craigs werk aan, die te veel afhangt van subjectieve of dubieuze aspecten zoals de mate waarin we verrast moeten zijn over de fijnafstemming en zoals het 'excessief grote aantal werelden' die een multiversum hypothese veronderstelt (Kelly, 1997).

Laat me er hier ook nog even op wijzen dat de tot nu toe ondernomen pogingen om op een 'wetenschappelijke' manier het bestaan van God aan te tonen geen van allen slaagden. Eén van de beste voorbeelden van zo'n gefaalde poging wordt gevormd door het nochans zeer populaire werk van William Paley (zie hoofdstuk twee). De ideeën van Paley werden finaal weerlegd door Darwins evolutietheorie, die onze menselijke biologie op een niet-teleologische wijze verklaart: "Natural selection, the blind, unconscious, automatic process which Darwin discovered, and which we now know is the explanation for the existence and apparently purposeful form of all life, has no purpose in mind. It has no mind and no mind's eye. It does not plan for the future. It has no vision, no foresight, no sight at all" (Dawkins, 1987, p. 5).

De ontstaansgeschiedenis en de sterke versie van het antropisch principe lenen zich goed tot het gebruik ervan binnen een betoog voor het bestaan van een Goddelijke Schepper. We moeten echter steeds opnieuw beseffen dat het antropisch principe bovenal een wetenschappelijk doel heeft. Het werd voor het eerst geformuleerd door een theoretisch fysicus die meende dat het antropisch principe ons iets zou kunnen bijleren over onze positie als waarnemers in dit universum. De belangrijkste vraag in deze scriptie is dan ook of dit punt van Brandon Carter gerechtvaardigd is. Speculatieve beschouwingen en godsdienstige overwegingen kunnen hierbij niet helpen. Daarom zal ik me in wat volgt concentreren op het nut dat het antropisch principe kan hebben binnen de wetenschap. Er bestaan theïstische interpretaties van, maar het antropisch principe zelf zegt in haar zwakkere vorm niets over het al dan niet bestaan van God. Zo hoort het ook begrepen te worden opdat wetenschappers er iets mee kunnen aanvangen.

4.1.2. Tautologie

Gesimplificeerde formuleringen van het zwak antropisch principe zoals 'leven bestaat slechts daar waar het kan bestaan' kunnen gereduceerd worden tot tautologieën. Wie het antropisch principe echter hiertoe herleidt, mist het hele punt ervan. Susskind gebruikt een analogie om dit duidelijk te maken. Hij stelt het 'cerebrothropic principle' voor: "The laws of biology require the existence of a creature with an extraordinarily unusual brain of about fourteen hundred cubic centimeters because without such a brain there would be no one to even ask what the laws of biology are" (Susskind, 2005, p. 196). Deze definitie is een verkorte versie van een veel langer en complexer verhaal. Eerst en vooral is het zo dat de wetten van de fysica en de chemie het bestaan van computerachtige systemen van neuronen toelaten die intelligentie kunnen vertonen. Dit is niet triviaal: als we alle mogelijke biologische ontwerpen voor een brein beschouwen, zullen slechts een klein aantal daarvan intelligentie mogelijk maken. Het verhaal vereist daarenboven nog een mechanisme dat deze ontwerpplannen in de werkelijkheid kan realiseren. Dit mechanisme is natuurlijke selectie. Willekeurige kopieerfouten hebben in combinatie met natuurlijke selectie tot gevolg dat er een veelheid aan levensvormen zal ontstaan, waarbinnen ook plaats is voor intelligente wezens. Dit antwoord dat het cerebrothropic principle biedt op de vraag 'waarom werd ik deze ochtend wakker met een groot brein?' is allesbehalve triviaal en tautologisch.

Op dezelfde manier is ook het antropisch principe slechts een simpele formulering van een veel complexer verhaal. Uiteraard is het zo dat de wetten van de fysica levende wezens toelaten, want anders zouden wij hier niet zijn om te vragen wat de wetten van de fysica zijn. Beschouwd echter als een korte formulering voor het bestaan van een ongelooflijk rijk en gevarieerd Landschap en van een mechanisme voor het bevolken daarvan met pocketuniversa, is het antropisch principe allesbehalve tautologisch. Het antropisch principe moet ingebed zijn in een breder verhaal opdat het zin krijgt. In dit breder verhaal spelen de theorieën uit hoofdstuk drie een belangrijke rol en vormt de combinatie ervan de basis voor een meer fundamentele verklaring van ons bestaan.

Ook Barrow & Tipler benadrukken dat het antropisch principe geen machteloze tautologische stelling is (Barrow & Tipler, 1996). Levende wezens kunnen zich immers niet overal in onze kosmos ontwikkelen. Een groot aantal parameters in de natuur hebben precies de juiste waarde voor het bestaan van wezens als wij. Dit is iets wat door wetenschap verklaard moet worden. Het bestaan van een groot ensemble van mogelijke werelden geeft zo'n verklaring in combinatie met de huidige stand van de kosmologie.

Wie het antropisch principe in beschouwing neemt, moet dan ook dit hele verhaal mee overwegen. Dan zal hij of zij inzien dat het antropisch principe veel meer is dan een simpele tautologie.

Hetzelfde vinden we terug bij Brandon Carter. Ook hij stelt dat een meer volledige bespreking van het antropisch principe tot niet-triviale voorspellingen leidt die weliswaar controversieel kunnen zijn, maar die niettemin rationeel zijn (Carter, 2004a). Het antropisch principe geeft een veelheid aan mogelijke omgevingen in onze kosmos, waarvan er minstens één de juiste leefomgeving vormt voor ons.

4.1.3. Het scheermes van Ockham

Het scheermes van Ockham stelt dat we niet meer entiteiten moeten postuleren dan nodig (Kenny, 2005). Toegepast op onze kosmos houdt dit in dat om de herkomst van ons eigen universum te verklaren, we ons niet hoeven in te laten met een theorie die naast ons universum nog vele andere universa veronderstelt. De kosmoloog Paul Steinhardt stelt het als volgt: “The Anthropic Principle makes an enormous number of assumptions – regarding the existence of multiple universes... Why do we need to postulate an infinite number of universes with all sorts of different properties just to explain one?” (Susskind, 2005, p. 304). Het antwoord op deze vraag is volgens Susskind dat we al die universa niet hoeven te postuleren, maar dat ze onafwendbare gevolgen zijn van testbare, conventionele principes in de algemene relativiteitstheorie en in de kwantummechanica. In hoofdstuk drie zagen we dat multiversum theorieën perfect plausibel zijn. Ze volgen als mogelijke oplossing uit recente fysische en mathematische theorieën zoals inflatietheorie en snaartheorie en hun verklarende kracht is zo groot dat het daarom alleen al de moeite loont om ze in beschouwing te nemen. Het scheermes van Ockham zet ons er (terecht) toe aan eerst die oplossingen te bekijken die het meest simpel en vanzelfsprekend zijn. Soms echter raakt een probleem op deze manier niet opgelost en worden we ertoe gedwongen een minder vanzelfsprekende oplossing te formuleren (Davies, 2006).

In 1978 haalde Shimony de kritiek van het scheermes van Ockham aan om te argumenteren tegen de vele werelden interpretatie van de kwantummechanica: “... the continuous evolution of the total quantum state is obtained by Everett at the price of an extreme violation of Ockham’s principle, the entities being entire universes” (Shimony, 1978, p. 3). Barrow & Tipler reageren op Shimony in een verdediging van de interpretatie

van Everett (Barrow & Tipler, 1986). In een klassieke (stochastische of Kopenhaagse) interpretatie van de kwantummechanica zal slechts één van de vele punten die oplossingen zijn van Einsteins vergelijkingen, ook werkelijk bestaan. Om de oplossingen van de golffunctie in dit model tot één oplossing te reduceren, moet een extra mechanisme gevonden worden. Dit is niet het geval in de vele werelden interpretatie. De vraag waarom dit universum bestaat en een ander mogelijk universum niet, vormt hier niet langer een probleem: alle universa bestaan.

Barrow & Tipler geven een belangrijk historisch voorbeeld dat de kritiek van het scheermes van Ockham weerlegt. Ten tijde van Galileo Galilei gebruikten filosofen Ockhams scheermes om te argumenteren tegen de theorie van Copernicus, die een aanzienlijk grotere ruimte veronderstelde dan volgens deze critici nodig was. “Indeed, philosophers in Galileo’s time used Occam’s principle to support the Ptolemaic and Tychonic systems against the Copernican system. For example, the philosopher Giovanni Agucchi argued in a letter to Galileo that one of the three most powerful arguments against the Copernican system was the existence of the vast useless void which the Copernican system required” (Barrow & Tipler, 1996, p. 496). Uiteraard had Copernicus gelijk, ook al voorspelde zijn theorie dat het universum heel wat groter was dan velen op dat moment dachten. Zo ook zou onze kosmos wel eens heel wat groter kunnen zijn dan velen momenteel denken.

In ‘Parallel Universes’, een paper uit 2003, maakte Max Tegmark een buitengewone veronderstelling: hij stelde werkelijk bestaan gelijk aan mathematisch bestaan (Tegmark, 2003) (zie ook het niveau 4 multiversum uit sectie 3.3.2.). John Wheeler vroeg zich af waarom juist die bepaalde vergelijkingen en geen andere aanleiding gaven tot het werkelijke bestaan van een universum. Tegmark antwoordde met “the idea of mathematical democracy, whereby universes governed by other equations are equally real” (Tegmark, 2003, p. 13). Elke mathematische structuur correspondeert met een parallel universum. Wiskundigen overal ter wereld werken met de vreemdste figuren en structuren (dodecaëders, fractalen, ...) alsof ze tot onze fysische realiteit behoren. Tegmark neemt aan dat dit – ergens ... – ook werkelijk het geval is. Een intuïtieve reactie tegen Tegmarks hypothese is dat het hier om een flagrante overtreding gaat van een ‘basisregel’ in de wetenschappen, namelijk het scheermes van Ockham. Tegmark wijst er echter op dat het in vele gevallen simpeler is aan te nemen dat *alles bestaat*. Dan hebben we immers geen mechanisme nodig dat selecteert welke structuren en objecten werkelijk zullen bestaan en welke slechts een wiskundig bestaan zullen leiden. Tegmarks

‘alles bestaat’ multiversum vermijdt op deze manier een anders onverklaarbare asymmetrie die ingebouwd is in het hart van onze realiteit.

Toch zijn er ook enkele problemen met deze multiversum theorie. Paul Davies somt er twee op in (Davies, 2006). Ten eerste is de notie ‘alles’ in de wiskunde ambigu door de mogelijkheid van zelfrefererende verzamelingen. Met betrekking tot dit soort verzamelingen bestaan er enkele welbekende paradoxen zoals Bertrand Russells kapperparadox¹⁰. Dergelijke paradoxen ontstaan omdat het niet mogelijk is wiskunde te definiëren louter in termen van wiskunde. Dit is wat Kurt Gödel aantoonde met zijn onvolledigheidsstellingen (zie bijvoorbeeld het boekje *Gödel’s Proof* van Ernest Nagel en James Newman uit 1958 (Nagel & Newman, 1958), dat reeds vele malen herdrukt werd). Een tweede probleem met het idee van Tegmark is dat het geformuleerd is in wiskundige termen. Als dan toch alles bestaat en alles kan, waarom is de natuur dan in se mathematisch? Wie besliste dit? We kunnen ons ook multiversum theorieën voorstellen die gedefinieerd zijn in ethische of esthetische termen.

Hoe dan ook werd uit het voorgaande duidelijk dat het scheermes van Ockham geen terechte kritiek is op theorieën waarin een multiversum gecombineerd wordt met het antropisch principe. Ockhams scheermes is een principe dat niet logisch gefundeerd is en dat geen doorslaggevend argument kan zijn in het achterhalen van de structuur van onze kosmos. Bovendien is deze kritiek in het verleden al onterecht gebleken.

4.2. De wetenschappelijke status van het antropisch principe

Hier bespreek ik enkele meer specifieke kritieken op het antropisch principe, meer bepaald met betrekking tot de status ervan in de wetenschap.

We laten in deze discussie de theologische variant van het antropisch principe buiten beschouwing. Het gaat hier om het antropisch principe zoals dat in hoofdstuk drie besproken werd, namelijk de zwakke variant ervan die wetenschappers dezer dagen gebruiken om voorspellingen mee te maken.

¹⁰ De kapper in een dorp scheert alle mannen die zichzelf niet scheren. Wie scheert dan de kapper? Als hij zichzelf scheert, behoort hij tot de verzameling mannen die zich niet door de kapper laten scheren, dus scheert hij zichzelf niet. Maar als hij zichzelf niet scheert, dan wordt hij geschoren door de kapper!

4.2.1. Livio en Rees

Mario Livio en Martin Rees zijn twee grote Europese astronomen die in 2005 het antropisch principe verdedigden in *Science Magazine* (Livio & Rees, 2005). Rees verkiest de term ‘antropisch redeneren’ boven ‘antropisch principe’ (Rees, 1998). In hun artikel in *Science* definiëren Livio en Rees antropische redeneringen als volgt: “The process of delineating and investigating the consequences of biophilic domains is what has become known as anthropic reasoning” (Livio & Rees, 2005, p. 1022). Ze geven twee voorname redenen waarom antropische redeneringen in combinatie met een multiversum theorie zo snel de bloeddruk doen stijgen bij sommige fysici. Ten eerste zijn antropische redeneringen volgens velen niet verenigbaar met de wetenschappelijke methode en horen ze thuis in het domein van de metafysica. Volgens deze onderzoekers is het zinloos om andere universa te poneren omdat we deze toch nooit zullen observeren. Livio en Rees wijzen er op dat er ook in traditionele kosmologische modellen een waarnemingshorizon bestaat. Meer nog: de uitdijning van ons universum heeft tot gevolg dat sterrenstelsels die achter deze horizon liggen, voor altijd onzichtbaar zullen blijven. Als dan toch sowieso een deel van ons universum voor ons gesloten blijft, is het dan nog zinvol om van multiversum theorieën te beweren dat ze onwetenschappelijk zijn omdat we nooit andere universa zullen waarnemen?

Een tweede reden waarom fysici zich vijandig opstellen tegenover antropische redeneringen is dat deze redeneringen een fundamentele limiet van de fysica lijken te impliceren. Deze tegenwerping is in de ogen van Livio en Rees puur psychologisch. Fysici willen boven alles een unieke en zelfconsistente verzameling vergelijkingen ontdekken die alle natuurconstanten determineert en die het recept geeft voor de big bang. Er is echter geen enkele reden om aan te nemen dat de fysische realiteit gestructureerd is volgens hun voorkeuren. Ook Kepler ging op zoek naar een elegante mathematische formule die ons zonnestelsel beschreef, maar hij faalde: de afstanden van planeten tot de zon zijn niet aan elkaar gerelateerd (zie ook 3.5.4.). Op dit moment hebben we geen enkele reden om één van de wetenschappelijke opties ter verklaring van ons universum uit te sluiten. Daarom moeten we een open geest behouden en alle wetenschappelijk verantwoorde opties in overweging nemen tot deze finaal weerlegd worden. Zolang we niet zeker weten in welk type universum of multiversum we leven, blijven antropische redeneringen verantwoord en plausibel.

4.2.2. Lee Smolins kritiek

In het lange artikel 'Scientific Alternatives to the Anthropic Principle' (Smolin, 2004) uit Lee Smolin zijn ongenoegen omtrent de aandacht die door wetenschappers geschonken wordt aan het antropisch principe. Hij noemt het antropisch principe onwetenschappelijk omdat het volgens hem een eigenschap mankeert die noodzakelijk is voor elke wetenschappelijke hypothese, namelijk falsifieerbaarheid. Smolin verwierpt het antropisch principe en stelt het alternatief van kosmische natuurlijke selectie voor. Hieronder geef ik de argumenten weer tegen het antropisch principe van Smolin en bespreek ik kort zijn voorstel van kosmische natuurlijke selectie.

Volgens Smolin is Karl Poppers criterium van falsifieerbaarheid (zie bijvoorbeeld (Popper, 1963)) de ethische imperatief die goede wetenschappers moeten volgen. Elke fundamentele theorie die serieus genomen wil worden, moet de mogelijkheid bieden om door een uitvoerbaar experiment weerlegd te kunnen worden.

Het antropisch principe voldoet volgens Smolin niet aan deze voorwaarde. De versie van het principe die Smolin bekritiseert is die gebaseerd op volgende twee premissen:

A: Er bestaat een zeer groot ensemble van universa, M . Deze universa zijn volledig of bijna volledig causaal gesloten voor elkaar. De parameters van het standaardmodel van de fysica en de kosmologie variëren over het ensemble. Aangezien het gaat om universa waartussen geen causaal contact mogelijk is, kunnen we in geen enkel ander universum dan in het onze observaties maken.

B: de distributie van parameters binnen M is in een bepaalde mate willekeurig en de parameters die geldig zijn binnen ons universum zijn zeldzaam¹¹.

Smolins claim is nu dat geen enkel experiment er in kan slagen **A** en **B** tegen te spreken. Om falsifieerbaar te worden, moet **B** vervangen worden door

B': Het is mogelijk om een mechanisme χ te poneren op basis waarvan M geconstrueerd werd en op basis waarvan men kan aantonen dat bijna elk universum in M een eigenschap W heeft met de volgende karakteristieken:

- W volgt niet uit een ons bekende natuurwet of observatie, zodat het consistent is met alle kennis die we hebben dat W vals kan zijn in ons universum,
- Er is een uitvoerbaar experiment dat zou kunnen aantonen dat W niet waar is in ons universum.

¹¹ Dit is wat beweerd wordt door voorstanders van een inbedding van het antropisch principe in snaartheorie (Van Loocke, 2005, hoofdstuk vijf).

Als hieraan voldaan is dan kunnen **A** en **B'** gefalsifieerd worden wanneer geobserveerd wordt dat **W** vals is in ons universum. Het grote probleem met **B** is volgens Smolin dat het ons niet in staat stelt experimenten op te stellen waarvan de juistheid nagegaan kan worden. Om een falsifieerbare voorspelling te doen, moet een multiversum theorie een ensemble **M** voortbrengen waarbinnen de productie van universa niet willekeurig gebeurt. Wanneer we een falsifieerbaar mechanisme veronderstellen dat voor de verdeling zorgt van waarden van natuurwetten en –constanten binnen universa, dan kunnen we experimenteel nagaan of dit mechanisme een juiste verklaring biedt voor de verdeling. Enkel zo kan aan goede wetenschap gedaan worden binnen een multiversum theorie.

Het is – ook voor Smolin – een feit dat ons universum merkwaardig levensvriendelijk is. De exacte waarden van zo'n 35 parameters uit de standaardmodellen van de fysica en de kosmologie leiden tot een complex geheel dat onze ontwikkeling mogelijk maakte. We mogen dit feit echter niet tot een principe verheffen volgens Smolin, want daaruit volgt een theorie die niet langer falsifieerbaar is. De observatie dat wij konden evolueren in dit universum moet verklaard worden door een mechanisme dat niets te maken heeft met ons bestaan.

Smolin geeft vervolgens twee voorbeelden van mechanismen die reeds voorgesteld werden door kosmologen. Het eerste mechanisme is dat van eeuwige inflatie (zie hoofdstuk drie). Volgens het tweede mechanisme ontstaan universa binnen zwarte gaten. Het ontstaan van een zwart gat door ineenstorting van materie tot een singulariteit kan aanleiding geven tot het ontstaan van een nieuwe regio tijdruimte. Dit proces wordt een *bounce* genoemd (Smolin, 2004, p. 14). We kunnen dan veronderstellen dat onze eigen big bang het resultaat is van zo'n ineenstorting in een ouder universum en dat elk zwart gat in ons universum aanleiding gaf tot het ontstaan van een nieuw universum.

Smolin verkiest het tweede boven het eerste mechanisme om volgende redenen:

- Hoewel inflatie als theorie vrij algemeen aanvaard wordt, kan men op dit moment nog niet kiezen tussen de vele verschillende modellen van inflatie die er bestaan. Modellen die werken met eeuwige inflatie hebben alsnog geen experimenteel bevestigde voordelen ten opzichte van 'gewone' inflatiemodellen,
- De fysische schaal waarop de vorming van zwarte gaten zich voordoet is algemeen gekend. De fysica van eeuwige inflatie daarentegen is werkzaam op een veel kleinere schaal. We hebben wel theorieën die deze fysica beschrijven, maar er werd nog geen experimentele evidentie gevonden in het voordeel van deze theorieën.

Omwille van de laatste reden zal een theorie die werkt met eeuwige inflatie volgens Smolin niet falsifieerbaar zijn. De schaal waarop binnen zo'n theorie gewerkt wordt, is zo klein dat ze verwaarloosbaar wordt wanneer we het hebben over de creatie van universa. De productie van universa binnen eeuwige inflatie zal daarom steeds willekeurig verlopen voor ons beperkte waarnemingsvermogen. Deze willekeur maakt de theorie onwetenschappelijk (er is geen mechanisme χ).

Net zoals er twee mechanismen zijn om de productie van universa te verklaren, zijn er volgens Smolin twee manieren waarop men kan proberen om voorspellingen te maken uit multiversum modellen. Deze zijn het antropisch principe en kosmologische natuurlijke selectie.

Eerst geeft Smolin enkele welbekende 'toepassingen' van het antropisch principe en weerlegt deze één voor één. Hoyle beweerde dat er carbon moet bestaan opdat leven mogelijk zou zijn (zie 2.3.8.). Smolin noemt Hoyles redenering correct, maar vindt dat die laatste in zijn argument geen gebruik maakt van het antropisch principe. Hoyle stelde dat carbon zich slechts kan vormen in sterren wanneer er een zekere resonantie is in de kern van carbonatomen. Zijn these werd bevestigd. Volgens Smolin heeft deze redenering echter niets te maken met het bestaan van levende wezens. De eerste stap ervan, namelijk dat carbon essentieel is voor de ontwikkeling van leven, staat los van de verklaring voor hoe carbonatomen zich konden vormen mits de juiste resonantie in de atoomkernen. Het gaat hier volgens Smolin om een rechtstreekse deductie die gemaakt werd uit observaties, niet om een antropisch argument.

Smolin bespreekt ook het principle of mediocrity van Vilenkin (zie 3.5.5.), dat stelt dat onze civilisatie typisch is voor de verzameling van alle civilisaties. Deze stelling is op zich al vrij dubieus, daar we geen enkele betrouwbare kennis hebben over de voorwaarden waaronder civilisaties kunnen ontstaan. We kunnen bijgevolg ook niet weten of we typisch of atypisch zijn. Smolin illustreert dit door als hypothese aan te nemen dat er ongeveer evenveel mensen vóór ons geleefd hebben als er mensen zullen leven na ons. Dit leidt hij af uit een vroegere veronderstelling, namelijk dat wij typische waarnemers zijn. Het is echter onmogelijk om na te gaan hoeveel mensen nog zullen leven na ons en bijgevolg is het onmogelijk om na te gaan of wij al dan niet typische waarnemers zijn. Smolin besluit dat het principle of mediocrity te ambigu is om bruikbaar te zijn.

Na de voorspelling van Hoyle en het principle of mediocrity analyseert Smolin de voorspelling van de waarde van de kosmologische constante door Weinberg. Deze voorspelling wordt, net zoals die van Hoyle, volgens Smolin onterecht gezien als een

succesvolle toepassing van het antropisch principe. Weinberg beweerde dat de kans op het vinden van een kosmologische constante met een waarde van 0,7 of minder ofwel 5% ofwel 12% is, afhankelijk van de gemaakte technische veronderstellingen (zie ook hoofdstuk drie). Op zich heeft deze vaststelling echter niets met het bestaan van mensen te maken: enkel de waarde van de kosmologische constante wordt voorspeld, niet het ontstaan van levende wezens. De logische structuur van het argument blijft dezelfde als we selectie-effecten en ons bestaan eruit weglaten, zoals dat ook het geval was bij het argument van Hoyle. We hebben hier met andere woorden opnieuw niet te maken met een antropisch argument, maar met een rechtstreekse deductie uit een observatie.

Uit het bovenstaande werd duidelijk dat het antropisch principe (in combinatie met eeuwige inflatie) voor Smolin geen verklaring biedt voor ons bestaan. Het alternatief dat hij voorstelt is het mechanisme van kosmische natuurlijke selectie (in combinatie met het zwarte gaten reproductiescenario dat Smolin verkiest boven eeuwige inflatie). Dit alternatief maakt geen gebruik van willekeur bij het reproduceren van universa. Zoals dat het geval is in biologische natuurlijke selectie, werkt ook kosmische natuurlijke selectie met kleine 'adaptaties': "de natuurconstanten in elk dochteruniversum zijn steeds kleine variaties van deze van haar moederuniversum" (Van Looke, 2005, hoofdstuk vijf, p. 64). Universa die veel zwarte gaten aanmaken, zullen in het multiversum meer voorkomen dan andere universa. Deze universa produceren immers meer nakomelingen die op hun beurt veel zwarte gaten zullen aanmaken (want de verschillen tussen deze nakomelingen en hun moederuniversum zijn slechts klein, zoals ook bij biologische natuurlijke selectie adaptaties slechts kleine wijzigingen zijn).

Smolins alternatief heeft twee grote voordelen: het werkt met welbegrepen fysica en het doet testbare voorspellingen. Zo stelt de theorie van kosmologische natuurlijke selectie dat de bovenlimiet voor de massa van neutronensterren 1,6 zonnemassa's bedraagt. Toekomstige observaties kunnen deze bewering makkelijk weerleggen.

Smolins artikel geeft blijk van een zeer strikte opvatting van wetenschap. Hij noemt elk vertrouwen in het antropisch principe "a sign that a theory is in deep trouble, and a great risk of venturing outside the bounds of science" (Smolin, 2004, p. 38) en vindt het gebruik ervan zelfs destructief voor de wetenschap: "to the extent that the Anthropic Principle is espoused to justify continued interest in unfalsifiable theories, it may play a destructive role in the progress of science" (Smolin, 2004, p. 37).

4.2.3. Smolin vs. Susskind: de discussie op Edge.org

Leonard Susskind reageerde op de kritiek van Smolin in een e-mail die hij rondstuurde naar andere onderzoekers. Door Edge.org, een website die onderzoek naar en discussie over intellectuele, filosofische en artistieke onderwerpen promoot, werd gevraagd aan Smolin en Susskind om hun discussie op deze website verder te zetten en voor iedereen toegankelijk te maken. Smolin en Susskind verdedigden zich tegenover elkaar in enkele teksten en schreven daarna nog elk een laatste brief. Het resultaat is beschikbaar op http://www.edge.org/3rd_culture/smolin_susskind04/smolin_susskind.html. Hieronder vat ik het antwoord van Susskind samen op de kritiek van Smolin.

Volgens Smolin is goede wetenschap binnen een multiversum theorie mogelijk, maar dan enkel en alleen als er geen gebruik gemaakt wordt van het antropisch principe. Susskind reageert door te benadrukken dat het antropisch principe wel degelijk falsifieerbaar is. Hij herhaalt het argument van Weinberg en stelt dat het wel degelijk testbare voorspellingen maakt. Weinberg voorspelde dat als het antropisch principe geldig is, de kosmologische constante niet gelijk kan zijn aan nul. Zijn voorspelling kwam uit: de kosmologische constante is heel klein, maar groter dan nul. Ook andere auteurs halen het argument van Weinberg aan als een succesvolle voorspelling met behulp van het antropisch principe (zie bijvoorbeeld (Arkani-Hamed & Dimopoulos, 2005), (Davies, 2006), (Garriga & Vilenkin, 2006)).

Susskind geeft voorbeelden van andere succesvolle theorieën waarvan eerder beweerd werd dat ze niet falsifieerbaar zijn, zoals de inflatietheorie en de theorie over quarks. Ook van de evolutietheorie werd honderd jaar geleden nog beweerd dat ze niet falsifieerbaar was. Susskind gaat verder met een reductio ad absurdum van Smolins positie: “There are people who argue that the world was created 6000 years ago with all the geological formations, isotope abundances, dinosaur bones, in place. Almost all scientists will point the accusing finger and say "Not falsifiable!" I'm sure that Smolin would agree with them and so would I. But so is the opposite—that the universe was not created this way—unfalsifiable. In fact that is exactly what creationists do say. By the rigid criterion of falsifiability "creation-science" and science-science are equally unscientific. The absurdity of this position will, I hope not be lost on the reader” (Susskind, http://www.edge.org/3rd_culture/smolin_susskind04/smolin_susskind.html).

Wat goede wetenschap is, moet volgens Susskind bepaald worden door de wetenschappers zelf en niet door filosofen die vanuit hun luie zetel een verzameling abstracte regels opstellen waaraan voldaan zou moeten worden: “Let's not put the cart

before the horse. Science is the horse that pulls the cart of philosophy” (Susskind, idem). Wie beweerde dat de theorie over quarks, inflatietheorie en Darwins evolutietheorie niet falsifieerbaar zijn, onderschatte de menselijke vindingrijkheid. Het duurde slechts enkele jaren vooraleer quarks door de gemeenschap van wetenschappers als reële deeltjes beschouwd werden en zo’n twintig jaar na de ontwikkeling van de eerste inflatietheorie bezorgden satellieten ons doorslaggevende evidentie voor deze theorie. Vaak is het zo dat wie beweert dat een theorie niet testbaar is, in feite de verbeelding niet heeft om een test op te stellen voor die theorie. Susskinds voornaamste argument is dus dat het antropisch principe indirect wel degelijk testbaar is: als we inventief genoeg te werk gaan, zullen we experimenten kunnen opstellen en/of observaties kunnen maken die het antropisch principe verder ondersteunen (zie ook (Davies, 2006)). Een voorbeeld hiervan is de voorspelling van de waarde van de kosmologische constante door Weinberg.

Volgens Susskind is eeuwige inflatie het mechanisme dat zorgt voor de reproductie van universa. Smolin bekritiseert terecht het idee van Susskind dat het proces van eeuwige inflatie kan vergeleken worden met reproductie zoals die vaak gevisualiseerd wordt in de vorm van een stamboom (Smolin, 2004). Veel meer dan een kleine terechtwijzing houdt dit echter niet in: enkel de metafoor van Susskind is verkeerd gekozen, de theorie van eeuwige inflatie blijft overeind. Smolins alternatief, kosmische natuurlijke selectie, is een theorie waarin geen beroep gedaan wordt op het antropisch principe. Dit betekent uiteraard niet dat de theorie vrij is van problemen. Zo kunnen de waarden van natuurconstanten in universa volgens Smolin slechts in minieme mate verschillen van de waarden van die constanten in hun moederuniversum, zoals ook bij natuurlijke selectie bij planten en dieren adaptaties steeds nauwelijks merkbaar zijn binnen een bestek van slechts enkele generaties. Dit is in strijd met wat we op dit moment weten over zwarte gaten. Susskind stelt heel duidelijk dat onderzoek uit het laatste decennium uitwijst dat er *geen* informatie overgedragen kan worden van het universum waarin het zwart gat ontstond naar het nieuwe universum binnenin het zwart gat. Informatie over het moederuniversum kan onmogelijk de enorm gewelddadige singulariteit in het centrum van een zwart gat overleven.

4.2.4. Smolin en het falsificatiecriterium

De discussie tussen Smolin en Susskind werd nog niet definitief beslist. Ik verdedig hier een verantwoord gebruik van het antropisch principe, maar wil de kritiek van Lee Smolin zeker niet als volledig onterecht afdoen. Smolins pleidooi voor een strengere wetenschapsopvatting ontnuchtert wetenschappers die al te makkelijk aannemen wat hen voorgeschoteld wordt. Over het antropisch principe wordt heel veel geschreven. Lang niet alles daarvan is correct en zinvol. De discussie tussen beide fysici maakt ook duidelijk dat het – zelfs voor theoretici – soms heel moeilijk is om alles te begrijpen wat er in een artikel gezegd wordt. De lichtjes verschillende specialisaties van Smolin en Susskind zorgen er reeds voor dat ze niet alles begrijpen uit elkaars teksten. Daarom is het belangrijk om kritisch te blijven en om het nut van het antropisch principe ten allen tijde te blijven overwegen.

De discussie werpt bovenal licht op de vraag wat wetenschap precies kan inhouden. Karl Poppers criterium van falsifieerbaarheid werd al meermaals betwist (zie bijvoorbeeld O'Hear, 1989) omdat het heel streng is. De voorspellingen van Hoyle en Weinberg zijn zonder meer nuttig. Als we met grote zekerheid kunnen voorspellen dat de waarde van een natuurconstante slechts binnen een bepaalde welberekende marge kan variëren opdat leven mogelijk is, dan hebben we te maken met een krachtig antropisch argument. Dat de waarde van deze constante tot stand kwam via willekeurige kwantumfluctuaties in een vals vacuüm, is een plausibele verklaring die aandacht verdient. Gezien wat men nu weet over het gedrag van zwarte gaten, maakte Susskind in zijn antwoord op Smolin duidelijk dat de theorie van kosmische natuurlijke selectie die werkt met kleine adaptaties die zich voordoen in zwarte gaten, weinig waarschijnlijk is omdat het er sterk op lijkt dat universa geen informatie aan elkaar kunnen doorgeven via een zwart gat. Als uit verder onderzoek blijkt dat dit altijd het geval is, dan is dit argument fataal voor Smolins theorie van kosmische natuurlijke selectie.

Ik ben geneigd Smolin te volgen in zijn kritiek op het principe of mediocrity van Vilenkin, maar niet in zijn algemene kritiek op het antropisch principe. Zijn opvatting van wetenschap is te streng. Te veel aannemelijke en nog niet weerlegde theorieën vallen hierdoor uit de boot. Moritz Schlick stelde dat verificatie wel feitelijk, maar niet logisch onmogelijk mag zijn (Weber, 2005b, p. 100): “De realiteit van de meest subtiële ‘onzichtbare dingen’ gepostuleerd door wetenschappers is in principe even verifieerbaar als de realiteit van een boom of een ster” (Weber, 2005b, p. 102). Antropische selectie van universa uit een multiversum is (nog) niet feitelijk testbaar, maar daarom is het niet

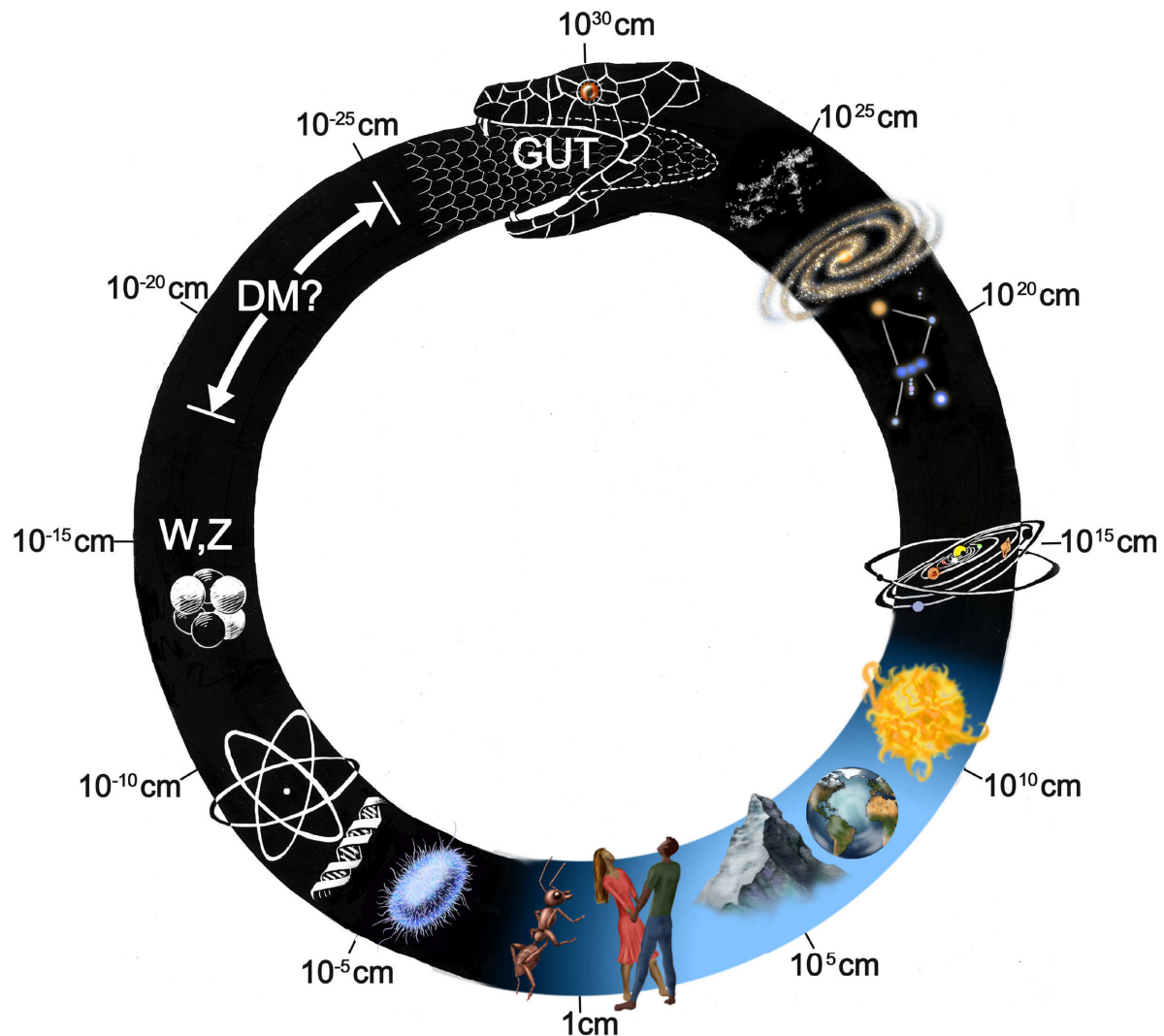
logisch onverifieerbaar. Puur logisch gezien gaat het om een aannemelijke theorie, en het is belangrijk dat we alle verantwoorde opties voor het verklaren van ons bestaan en van ons universum blijven overwegen. Beeld u even in dat u leeft in een tijd waarin ruimtereizen nog niet mogelijk is. In deze tijd zou de uitspraak ‘er is een 3000 meter hoge berg aan de achterzijde van de maan’ volgens Popper onwetenschappelijk zijn, want niet falsifieerbaar. Schlick daarentegen beschouwde zo’n uitspraak wel als zinvol omdat ze in principe verifieerbaar is (Weber, 2005b, p. 127). Het falsificatiecriterium van Popper dat Smolin gebruikt om het antropisch principe te verwerpen, staat ter discussie. Problemen met het antropisch principe worden vermeden door dit criterium te vervangen door bijvoorbeeld het criterium dat Moritz Schlick hanteert voor wetenschappelijkheid. We zien eens te meer hoe het al dan niet wetenschappelijke karakter van het antropisch principe valt of staat met de manier waarop ‘wetenschappelijk’ opgevat wordt.

Ik pleit hier voor het gebruik van een wetenschappelijk verantwoorde versie van het antropisch principe, maar wil hiervan niet de enige mogelijke verklaring maken. In ‘Life of the Cosmos’ zegt Lee Smolin het volgende over antropisch redeneren: “To argue this way is not to reason, it is simply to give up looking for a rational explanation. Had this kind of reasoning been applied to biology, the principle of natural selection would never have been found” (Smolin, 1997, p. 45). Ik ben het uiteraard niet eens met Smolin, maar hij wijst er wel terecht op dat we ons niet blind mogen staren op één mogelijke verklaring. Dit zou ons immers kunnen beletten de juiste oplossing te zien. We moeten – zolang het niet definitief weerlegd wordt – het antropisch principe in overweging blijven nemen *naast* de andere mogelijke theorieën die geformuleerd werden en worden om onze positie in het universum te verklaren.

4.3. Onze menselijke conditie en het nut van het antropisch principe

In de loop van de twintigste eeuw werd duidelijk dat een al te positivistische wetenschappelijke instelling haar grenzen kent. Onze realiteit is voor interpretatie vatbaar. Hoewel het wetenschappelijke discours nog steeds vasthoudt aan haar strenge eisen en haar mathematisch deductieve en elegante theorieën, sloop twijfel haar rangen binnen. In enkele van haar domeinen werd exactheid vervangen door waarschijnlijkheid. Op de allerkleinste schalen kunnen meetapparaten niet langer waarnemen zonder zelf die waarneming te verstoren. Op de allergrootste schalen verhindert een fundamentele waarnemingshorizon ons om nog dieper de kosmos in te kijken. Zowel deeltjesfysici als

kosmologen stoten dagelijks op de grenzen van ons observatievermogen. In hun boek 'The View from the Center of the Universe' plaatsten Joel Primack en Nancy Abrams al deze kosmische schalen op de volgende figuur: de kosmische ouroboros¹² (<http://viewfromthecenter.com/files/images/uroboros-color.jpg>):



© 2006 Abrams and Primack, Inc.

Figuur 4: de kosmische ouroboros

De maximum schaal die we kunnen waarnemen, is die van onze kosmische horizon (10^{28}cm). De minimum schaal is de Planck schaal (10^{-33}cm) (Primack & Abrams, 2006). Op deze figuur zien we duidelijk dat ons waarnemingsvermogen beperkt is. Wat zich bijvoorbeeld afspeelt op een schaal van 10^{-25}cm , kunnen we niet direct waarnemen. Er

¹² Het woord 'ouroboros' betekent staarteter in het Grieks. Een ouroboros is een afbeelding van een slang of een draak die in haar eigen staart bijt. De figuur symboliseert het cyclische karakter van de natuur.

wordt verondersteld dat zich in de zone tussen 10^{-17}cm en 10^{-25}cm de deeltjes bevinden die verantwoordelijk zijn voor de donkere materie (DM op de figuur). Wij mensen bevinden ons centraal beneden op de figuur, in de enige zone waarin bewuste levende wezens zich konden ontwikkelen. Kleinere wezens zijn niet voldoende complex hiervoor, terwijl veel grotere wezens zouden lijden onder een te trage communicatie, omdat informatie in zo'n wezens een te lange weg zou moeten afleggen (Primack & Abrams, 2006).

Onze beperkingen enerzijds en onze plaats op de kosmische ouroboros anderzijds zijn het onderwerp van enkele diepe levensvragen. Niet toevallig is het serpent op de figuur een beeld uit de mythologie (Primack & Abrams, 2006). Wat moeten we hiermee? Wat betekent het dat wij hier rondlopen als gevolg van een reeks kosmische toevalligheden? Wat is ons statuut als waarnemer?

Van Immanuel Kant wordt vaak gezegd dat hij de grenzen van ons denken blootlegde. Hij ontblootte het transcendentale subject dat verplicht is binnen de vormen van ruimte en tijd te blijven. Analooq hieraan kan nu van de fysica gezegd worden dat ze de grenzen van ons waarnemen heeft ontbloot. Het statuut van het subject staat opnieuw ter discussie. Niet alleen zijn we ruimtelijke en tijdelijke wezens, bovendien zijn zowel de ruimte als de tijd begrensd voor ons. Dit is wat de discussie rond het antropisch principe ons duidelijk maakt, en dit is ook een reden waarom onderzoekers weigeren zich in te laten met het antropisch principe. Het is voor wetenschappers frustrerend te moeten vaststellen dat het voor sommige nieuwe theorieën zeer moeilijk is om na te gaan hoe ze weerlegd zouden kunnen worden. Dit is echter geen reden om die theorieën meteen af te schrijven. De mens is een creatief wezen dat zich uitstekend kan redden uit benarde situaties. We zullen moeten leren leven met de limieten die ons opgedrongen worden, maar dit belet ons niet om binnen deze limieten te zoeken naar aanwijzingen van wat daarbuiten ligt. Als die aanwijzingen doen uitschijnen dat er naast ons universum nog talrijke andere universa bestaan, dan moeten we multiversum theorieën in overweging nemen.

Het standpunt vanuit de derde persoon moet worden verlaten. Mensen hebben beperkingen. Wetenschappers kunnen niet voor God spelen, maar moeten noodzakelijkerwijs een positie innemen die contingent en typisch menselijk is. Dit is in mijn ogen wat de discussie rond het antropisch principe ons duidelijk maakt. Het antropisch principe is enerzijds nuttig omdat het ons erop wijst dat we rekening moeten houden met onze eigen positie in het universum wanneer we aan onderzoek doen, en anderzijds omdat het ons in staat stelt bepaalde conclusies te trekken met betrekking tot

het bereik waarbinnen een waarde van een natuurconstante zich kan bevinden. Immers, als de waarde van een natuurconstante buiten het antropisch voorspelde bereik ligt, dan was de evolutie van levende wezens op aarde niet mogelijk.

In dit hoofdstuk argumenteerde ik dat het antropisch principe geen tautologie is, dat het in een seculiere context gebruikt kan worden en dat het de tot hiertoe gegeven kritieken erop overleeft. Binnen een zeer strenge wetenschapsopvatting wordt het moeilijk om vast te houden aan een antropische selectie van universa uit het multiversum, maar critici die pleiten voor zo'n strenge aanpak negeerden ooit de inflatietheorie en de quarktheorie om dezelfde reden, namelijk dat deze theorieën niet falsifieerbaar zouden zijn (zie 4.2.3.). Bovendien kan zelfs binnen een dergelijke stringente wetenschapsopvatting niet ontkend worden dat het motief dat ten grondslag ligt aan de redeneringen van Hoyle en Weinberg, antropisch is: deze onderzoekers gingen vanuit hun menselijke positie op zoek naar hoe het is kunnen komen dat wij rondwandelen op deze planeet in dit universum.

De discussie rond het antropisch principe is nog lang niet ten einde. Het debat dwingt wetenschappers na te denken over wat wetenschap voor ons hoort te zijn. Daarom alleen al is dit debat vruchtbaar. Het stimuleert ons ertoe een oplossing te zoeken op een zeer belangrijke vraag: hoe kunnen we verklaren dat de waarden van natuurconstanten in ons universum zo afgestemd lijken dat ze ons bestaan toelieten? Het is inmiddels duidelijk dat we een fout zouden begaan door antropische selectie af te schrijven als mogelijk antwoord op deze vraag. Het was mijn bedoeling in deze scriptie om het antropisch principe (en dan vooral de zwakkere vorm ervan zoals die door wetenschappers van vandaag gebruikt wordt) te duiden en vervolgens te verdedigen tegen kritieken. Het zou echter verkeerd zijn om van antropische selectie uit een multiversum het enige antwoord te maken op de hierboven gestelde vraag. Zolang we geen verklaring hebben voor de exacte waarde van bepaalde natuurconstanten in ons universum, biedt het antropisch principe ons niet *de* mogelijke, maar *een* mogelijke verklaring.

Algemeen besluit

In de loop van de twintigste eeuw werd grote vooruitgang geboekt in de kosmologie en in de fysica. Denken we maar aan het werk van Einstein of aan de formulering van de kwantummechanica. Ons universum openbaarde zich aan ons, zonder echter haar diepste geheimen prijs te geven. De natuurconstanten die werkzaam zijn in de tijdruimte nemen soms heel specifieke waarden aan. Moesten sommige van deze waarden in zeer minieme mate verschillen, dan werd het onmogelijk voor op carbon gebaseerde levende wezens zoals wij om zich te ontwikkelen op deze planeet. In de introductie gaf ik enkele voorbeelden van dergelijke fijn afgestemde natuurconstanten (namelijk de constanten ϵ , N , Ω , λ , Q en D). Daarnaast is ook de plaats van onze aarde in het universum in zekere zin 'speciaal': de afstanden van onze planeet tot de zon, de maan, Jupiter en het galactisch centrum zijn 'juist' in die zin dat ze zich allen binnen die marges bevinden die het mogelijk maken voor levende wezens om te evolueren op deze planeet. Wat moeten we nu aanvangen met deze merkwaardige verzameling kosmische toevalligheden? Welke betekenis kunnen we hierachter zoeken?

Het antropisch principe helpt ons om na te denken over onze positie in de kosmos. Selectie-effecten kunnen mee verklaren waarom we op deze planeet rondlopen en waarom de waarden van natuurconstanten in ons universum ons bestaan toelaten: was dit alles niet het geval, dan zouden wij hier niet zijn om het vast te stellen. Na de formulering van het WAP en het SAP door Brandon Carter in 1974 werden verschillende andere versies van het antropisch principe geformuleerd (met als voornaamste het PAP en het FAP). Wanneer auteurs het hebben over *het* antropisch principe, hebben ze het meestal over de zwakste vorm ervan. 'Antropisch principe' is geen onschuldige term. Sommige wetenschappers (zoals Martin Rees) verkiezen in plaats hiervan de term 'antropisch redeneren'. Ook Brandon Carter zelf is niet helemaal gelukkig met de term die hij gekozen heeft. Deze term is momenteel echter nog steeds dominant en beter ingebed in de discussie dan elke alternatieve benaming, dus heb ik ervoor gekozen de term te blijven gebruiken.

Het antropisch principe kent volgens John Barrow en Frank Tipler een lange ontstaansgeschiedenis, die ik besprak in hoofdstuk twee. In de oudheid en de middeleeuwen was de aristotelische teleologie dominant. In de marge hiervan echter werd ook kritiek geleverd op Aristoteles' idee van doelmatigheid (bijvoorbeeld door de atomisten). Na de middeleeuwen kwam een mechanisch wereldbeeld langzaam in de

plaats van het aristotelische, organische wereldbeeld. Hierdoor moesten teleologische designargumenten aan belang inboeten ten voordele van eutaxiologische designargumenten. Deze laatste argumenten wijzen slechts op de tegenwoordige harmonieuze compositie der dingen, die op zich geapprecieerd kan worden zonder dat daarbij een doel moet worden toegeschreven aan de dingen.

Met de publicatie van Darwins evolutietheorie kregen zowel de designhypothese als het heersende antropocentrisme (ondanks de kritieken erop van filosofische zwaargewichten als Hume en Kant) een kaakslag te verwerken. In de leer van Darwin spelen noch God, noch de mens de centrale rol. Deze is weggelegd voor het mechanisme van natuurlijke selectie. Niet zo lang na de publicatie van *On The Origin of Species* besepte men bovendien dat ons universum wel eens ten onder zou kunnen gaan in een hittedood. De disteleologische gevolgen van deze wetenschappelijke ontwikkelingen leken komaf te maken met elke teleologische visie op de natuur. Eén klasse van designargumenten werd hierbij echter gedeeltelijk over het hoofd gezien, namelijk die klasse die Elliott Sober de kosmische designargumenten noemt. Dit zijn designargumenten die vertrekken van kosmische toevalligheden en die gebaseerd zijn op observaties van merkwaardige eigenschappen van ons universum. Voorbeelden hiervan werden reeds door Paley gegeven, maar raakten – net zoals alle andere designargumenten – in onmin nadat Darwin zijn theorie publiceerde.

In de loop van de twintigste eeuw werden kosmische designargumenten herontdekt. A. S. Eddington vestigde de aandacht van onderzoekers op de aanwezigheid van enkele grote dimensieloze getallen in de fysica. Geïntregeerd door het werk van Eddington zocht Paul Dirac naar een verklaring voor deze waarden. Dirac suggereerde dat het wel eens zou kunnen dat natuurconstanten (in zijn theorie: de zwaartekracht) niet altijd en overal dezelfde waarde aannemen. Robert Dicke combineerde de inzichten van Eddington en Dirac met enkele biologische factoren en ging op zoek naar het type universum waarvan verwacht kon worden dat het observatoren zou voortbrengen. Hij kwam tot de (antropische) vaststelling dat dit enkel mogelijk is in een universum dat ongeveer de leeftijd heeft van het onze.

Deze feiten vormden de rechtstreekse aanleiding tot de formulering van het WAP en het SAP door Brandon Carter. Het WAP is een late en seculiere uitloper van het eutaxiologische designargument uit de zeventiende eeuw, terwijl het SAP veel meer gemeen heeft met het teleologische designargument (Barrow & Tipler, 1996).

Enkele nieuwe wetenschappelijke ontwikkelingen in de twintigste eeuw zorgden voor een kader waarbinnen het WAP geïnterpreteerd kan worden. Ik besprak deze ontwikkelingen uitgebreid in hoofdstuk drie. Uit de kwantummechanica werd duidelijk dat we op de allerkleinste schalen geen exacte waarnemingen meer kunnen verrichten zonder daarbij onze observatie te storen. Daarom moet hier gewerkt worden met waarschijnlijkheden. Belangrijk is dat in de kwantummechanica (net zoals bij het antropisch principe) de waarnemer een zeer belangrijke rol speelt. Dit gaf aanleiding tot de formulering van het PAP, dat stelt dat waarnemers noodzakelijk zijn opdat het universum zou bestaan.

Een andere plausibele theorie die past binnen een wetenschappelijk kader voor het antropisch principe, is eeuwige inflatie. De (gewone) inflatietheorie is inmiddels algemeen aanvaard: een fractie van een seconde na de big bang onderging ons universum een enorme expansie. De snelheid waarmee deze expansie plaatsvond is hoog genoeg om de vlakheid en de uniformiteit van ons universum te verklaren. Andrei Linde stelde vast dat het verval van het vacuüm geen eenmalig feit hoeft te zijn. In de theorie van eeuwige inflatie gebeurt dit voortdurend, waardoor er telkens opnieuw pocketuniversa ontstaan die causaal gesloten zijn voor elkaar. Het bestaan van vele pocketuniversa met telkens verschillende waarden voor de natuurconstanten die erin gelden, vormt samen met het antropisch principe een mogelijke verklaring voor de waarden die natuurconstanten aannemen in ons universum: er zijn vele universa met allen verschillende waarden voor natuurconstanten, maar wij kunnen slechts vaststellen dat we leven in een universum met natuurconstanten die levende wezens toelaten. Namen de natuurconstanten in ons universum lichtjes andere waarden aan, dan zouden wij hier niet zijn om dit vast te stellen. We kunnen niet anders dan waarnemen dat we in een universum leven waarin de waarden die natuurconstanten aannemen ons bestaan toelaten. Het eeuwige inflatiemodel is een voorbeeld van een multiversum theorie. Dit soort theorieën wint steeds meer aan geloofwaardigheid bij fysici en kosmologen, al is er ook nog heel wat tegenstand. Paul Davies en Max Tegmark stellen dat multiversum theorieën (indirect) testbaar zijn. Het is aan ons om in de nabije toekomst een experiment op te zetten dat nagaat of er slechts één universum bestaat of niet. Op het argument van critici dat het overbodig is een multiversum te poneren om ons universum te verklaren, antwoordt Tegmark dat het eenvoudiger is om te stellen dat alles bestaat dan om te stellen dat bijvoorbeeld enkel ons universum (met haar zeer specifieke waarden voor wetten en constanten in de natuur) bestaat. Hoe het ook zij, op dit moment hebben we nog niet genoeg evidentie om één oplossing te discrimineren.

Nieuwe mogelijke evidentie voor een multiversum kwam er na de ontwikkeling van de snaartheorie. Voor Leonard Susskind gaf deze theorie de doorslag voor zijn 'geloof' in een multiversum. Snaartheorie is een wiskundig zeer complexe theorie die een enorm Landschap van mogelijkheden biedt. Elke van het gigantische aantal valleien in dit Landschap heeft een verschillende vacuümenergie die kan vervallen en die aanleiding kan geven tot het ontstaan van een nieuw (pocket)universum.

We merken hoe relatief recente wetenschappelijke ontwikkelingen ons dwingen een nieuwe aanpak te beschouwen. Deze ontwikkelingen wijzen veeleer op diversiteit dan op uniciteit. In het licht hiervan zou het dan ook discriminerend zijn moesten we het multiversum niet in overweging nemen. Vele toonaangevende fysici en kosmologen (Carter, Davies, Hawking, Linde, Rees, Susskind, Vilenkin, Weinberg, ...) zijn het er over eens dat de combinatie WAP – multiversum meer aandacht verdient. Antropische selectie-effecten binnen een multiversum vormen een plausibele verklaring voor de waarden die natuurwetten en –constanten aannemen in ons universum.

In het laatste hoofdstuk van deze scriptie liet ik de tegenstanders van deze aanpak aan het woord. Het SAP liet ik buiten beschouwing omdat het uitgesproken teleologisch is. Het WAP echter heeft niets met teleologie of religie te maken. Omdat het WAP als schijnbaar simpel principe ingebed is in een veel breder wetenschappelijk verhaal (namelijk het verhaal dat ik in hoofdstuk drie vertelde) is het fout te stellen dat het hier om een tautologie gaat. Een andere vaak geformuleerde kritiek op dit verhaal is dat het zou gaan om een overtreding van de wet van Ockham, die stelt dat je niet meer entiteiten hoeft te poneren dan nodig. Het zogenaamde scheermes van Ockham is echter niet logisch sluitend en kan geen doorslaggevend argument zijn wanneer het gaat om het kennen van de structuur van onze kosmos. Deze kritiek bleek tevens in het verleden niet altijd correct. Zo werd hij verkeerdelijk toegepast op het (correcte) beeld van ons universum dat Nicolaus Copernicus beschreef in de zestiende eeuw.

Van de meer wetenschappelijke kritieken op het antropisch principe is die van Lee Smolin het belangrijkste. Smolin gebruikt het falsificatieprincipe van Karl Popper om aan te tonen dat het antropisch principe niet wetenschappelijk is, in tegenstelling tot zijn alternatief van kosmische natuurlijke selectie. Susskind reageerde hierop door de absurditeiten aan te halen die een al te strenge toepassing van het falsificatiecriterium met zich meebrengt. Bovendien is kosmische natuurlijke selectie niet langer in overeenstemming met de nieuwste data die de werking van zwarte gaten beschrijven. Smolin meent terecht dat we moeten opletten wanneer we het antropisch principe

toepassen. Volgens zijn strenge criteria echter vallen enkele nochtans plausible en aanneembare theorieën buiten het domein van de wetenschap omdat ze niet falsifieerbaar zouden zijn.

In mijn ogen biedt het WAP ons in combinatie met een multiversum theorie een niet-teleologische, niet-religieuze en plausible verklaring voor de fijnafstemmingen in ons universum. Het WAP op zich is geen bevredigende verklaring, maar kan dat wel worden wanneer het gecombineerd wordt met de wetenschappelijke ontdekkingen uit hoofdstuk drie. Gezien de grote onzekerheid die nog steeds heerst in het domein van de fysica en de kosmologie, kunnen we op dit moment nog geen al te gedurfde uitspraken doen betreffende de aard van onze kosmos. Persoonlijke psychologische overwegingen kunnen bovendien geen rol spelen in het innemen van een positie in deze discussie. Dat het antropisch principe ons wijst op onze limieten als in tijdruimte beperkte wezens, kan dan ook geen overtuigend argument zijn om het antropisch principe af te wijzen.

Ik zie op dit moment drie redenen waarom we het antropisch principe in de kosmologie moeten blijven overwegen naast de minder controversiële theorieën die in deze discipline gevormd werden en worden:

1. Het antropisch principe verhindert ons een bepaald type fouten te maken wanneer we onze positie in de kosmos beschouwen: we moeten er steeds rekening mee houden dat de waarnemingen die we doen, verstoord kunnen worden door onopgemerkte selectie-effecten.
2. In combinatie met het idee van een multiversum biedt het antropisch principe een plausible verklaring voor de waarden die natuurconstanten aannemen in ons universum.
3. Alleen al door de discussie errond, verspreidt het antropisch principe binnen de wetenschap een hernieuwd bewustzijn van de problemen die onze positie als binnen dit universum geëvolueerde waarnemers met zich meebrengt. Tevens brengt dit principe het probleem van de merkwaardig fijn afgestemde natuurconstanten in ons universum extra in de aandacht.

Referenties

ARKANI-HAMED, NIMA & DIMOPOULOS, SAVAS, 2005, 'Supersymmetric Unification without Low Energy Supersymmetry and Signatures for Fine-Tuning at the LHC', in Journal of High Energy Physics (Vol.6, no.73).

BARROW, JOHN D. & TIPLER, FRANK, 1996, 'The Anthropic Cosmological Principle' (Oxford University Press).

BARROW, JOHN D., 2002, 'The Constants of Nature' (Pantheon Books, New York).

BOSTROM, NICK, 2002, 'Anthropic Bias : Observation Selection Effects in Science and Philosophy' (Routledge).

CARTER, BRANDON, 1974, 'Large Number Coincidences and the Anthropic Principle', in Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data, ed. M. S. Longair (Boston: D. Reidel).

CARTER, BRANDON, 2003, 'Anthropic Interpretation of Quantum Theory' (<[arXiv:hep-th/0403008v1](#)>).

CARTER, BRANDON, 2004a, 'Anthropic Principle in Cosmology' (<[arXiv:gr-qc/0606117v1](#)>).

CARTER, BRANDON, 2004b, 'Micro-Anthropic Principle for Quantum Theory' (<[arXiv:quant-ph/0503113v1](#)>).

CIRKOVIC, MILAN, 2003, 'Ancient Origins of a Modern Anthropic Cosmological Argument', in Astronomical and Astrophysical Transactions (Vol. 22, p. 879 - 886).

CRAIG, WILLIAM LANE, 1988, 'Barrow and Tipler on the Anthropic Principle vs. Divine Design', in The British Journal for the Philosophy of Science (Vol. 39, p. 389 - 395).

DAVIES, PAUL, 2004, 'Multiverse Cosmological Models', in Modern Physics Letters A (Vol. 19, p. 727 - 744).

DAVIES, PAUL, 2006, 'The Goldilocks Enigma' (Penguin Books).

DAWKINS, RICHARD, 1987, 'The Blind Watchmaker: Why the Evidence of Evolution Reveals a Universe without Design' (New York, W.W. Norton).

DOROBANTU, VASILE, 2006, 'Do We Really Need the Anthropic Principle?' (<[arXiv:physics/0603105v1](#)>).

DYSON, FREEMAN, 1981, 'Life in the Universe', niet-gepubliceerde lezing gegeven op Darwin College, Cambridge op 10 november 1981.

GARRIGA, JAUME; LINDE, ANDREI & VILENKIN, ALEX, 2004, 'Dark Energy Equation of State and Anthropic Selection', in Physical Review D (Vol. 69, no. 6).

GARRIGA, JAUME & VILENKIN, ALEX, 2003, 'Testable Anthropic Predictions for Dark Energy', in *Physical Review D* (Vol. 67, no. 4).

GARRIGA, JAUME & VILENKIN, ALEX, 2006, 'Anthropic Prediction for Lambda and the Q Catastrophe', in *Progress of Theoretical Physics* (Vol. 163, p. 245 - 257).

GUTH, ALAN & KAISER, DAVID, 2005, 'Inflationary Cosmology: Exploring the Universe from the Smallest to the Largest Scales', in *Science* (Vol. 307, p. 884 - 890).

HAWKING, STEPHEN, 1988, 'A Brief History of Time' (Bantam Press).

HAWKING, STEPHEN & HERTOOG, THOMAS, 2006, 'Populating the Landscape: A Top Down Approach', in *Physical Review D* (Vol. 73, no. 12).

HAWKING, STEPHEN & MLODINOV, LEONARD, 2005, 'Een korte geschiedenis van de tijd' (Uitgeverij Bert Bakker).

JESPEERS, F.P.M., 1991, 'Monadologie of De beginselen van de Wijsbegeerte' (ingeleid, vertaald en geannoteerd door Dr. F.P.M. Jespers) (Kok Agora, Kampen).

KAKU, MICHIO, 2004, 'Parallel Worlds' (Doubleday).

KELLY, KYLE, 1997, 'Is the Weak Anthropic Principle Compatible With Divine Design?'
URL: < http://www.infidels.org/library/modern/kyle_kelly/wap.html > (13/03/2007).

KENNY, ANTHONY, 2005, 'Medieval Philosophy' (Volume 2 in de reeks 'A New History of Western Philosophy') (Oxford University Press).

LESLIE, JOHN, 1983, 'Observership in Cosmology: The Anthropic Principle', in *Mind* (Vol. 92, no. 368, p. 573 - 579).

LESLIE, JOHN, 1986, 'Anthropic Explanations in Cosmology', in *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association (PSA)* (1986, p. 87 - 95).

LESLIE, JOHN, 1992, 'Time and the Anthropic Principle', in *Mind* (Vol. 101, no. 403, p. 521 - 540).

LINDE, ANDREI, 1984, 'The Inflationary Universe', in *Reports on Progress in Physics* (Vol. 47, p. 925 - 986).

LINDE, ANDREI, 2003, 'Inflation, Quantum Cosmology and the Anthropic Principle', in *Science and Ultimate Reality: From Quantum to Cosmos* (ter ere van John Wheelers 90^{ste} verjaardag), ed. J.D. Barrow, P.C.W. Davies & C.L. Harper (Cambridge University Press).

LINDE, ANDREI, 2005, 'Prospects of Inflation', in *Physica Scripta* (Vol. 117, p. 40 - 48).

LIVIO, MARIO & REES, MARTIN, 2005, 'Anthropic Reasoning', in *Science* (Vol. 309, p. 1022 - 1023).

LLOYD, SETH, 2006, 'Programming the Universe' (Alfred A. Knopf, New York).

MILNE, EDWARD ARTHUR, 1935, 'Relativity, Gravitation and World Structure' (Clarendon, Oxford).

NAGEL, ERNEST & NEWMAN, JAMES, 1958, 'Gödel's Proof' (New York University Press).

O'HEAR, ANTHONY, 1989, 'An Introduction to the Philosophy of Science' (Oxford University Press).

PAGE, D., 1996, 'Sensible Quantum Mechanics: Are Probabilities Only in the Mind?', in *International Journal of Modern Physics D* (Vol. 5, No. 6, p. 583 - 596).

POGOSIAN, LEVON; TEGMARK, MAX & VILENKIN, ALEX, 2004, 'Anthropic Predictions for Vacuum Energy and Neutrino Masses', in *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* (Vol. 7, no. 5).

POGOSIAN, LEVON; TEGMARK, MAX & VILENKIN, ALEX, 2005, 'Anthropic Predictions for Neutrino Masses', in *Physical Review D* (Vol. 71, no. 10).

POGOSIAN, LEVON & VILENKIN, ALEX, 2007, 'Anthropic Predictions for Vacuum Energy and Neutrino Masses in the Light of WMAP-3', in *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* (Vol. 1, no. 25).

POPPER, KARL, 1963, 'Conjectures and Refutations' (Routledge, London).

PRIMACK, JOEL & ABRAMS, NANCY, 2006, 'The View from the Center of the Universe' (Riverhead Books).

REES, MARTIN, 1998, 'Before the Beginning' (Perseus Books).

REES, MARTIN, 1999, *Just Six Numbers* (Weidenfeld & Nicolson).

ROUSH, SHERRILYN, 2003, 'Copernicus, Kant and the Anthropic Cosmological Principles', in *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* (Vol. 32, p. 5 - 35).

SEIFE, CHARLES, 2006, 'Decoding the Universe' (Viking).

SHARPE, KEVIN & WALGATE, JONATHAN, 2002, 'The Anthropic Principle: Life in the Universe', in *Zygon* (Vol. 37, no. 4).

SHIMONY, ABNER, 1978, 'Metaphysical Problems in the Foundations of Quantum Mechanics', in *International Philosophical Quarterly* (Vol. 18, no. 1, p. 2 - 27).

SMITH, QUENTIN, 1985, 'The Anthropic Principle and Many-Worlds Cosmologies', in *Australasian Journal of Philosophy* (Vol. 63, p. 336 - 348).

SMITH, QUENTIN, 1992, 'The Anthropic Coincidences, Evil and the Disconfirmation of Theism', in *Religious Studies* (Vol. 28, p. 347 - 350).

SMOLIN, LEE, 1997, 'Life of the Cosmos' (Oxford University Press).

SMOLIN, LEE, 2004, 'Scientific Alternatives to the Anthropic Principle' (<[arXiv:hep-th/0407213v3](https://arxiv.org/abs/hep-th/0407213v3)>).

SOBER, ELLIOTT, 2004, 'The Design Argument', in Blackwell Guide to Philosophy of Religion, ed. William Mann (Blackwell Publishing).

SUSSKIND, LEONARD, 2003, 'The Anthropic Landscape of String Theory' (<[arXiv:hep-th/0302219v1](https://arxiv.org/abs/hep-th/0302219v1)>).

SUSSKIND, LEONARD, 2004, 'Supersymmetry Breaking in the Anthropic Landscape' (<[arXiv:hep-th/0405189v3](https://arxiv.org/abs/hep-th/0405189v3)>).

SUSSKIND, LEONARD, 2005, 'The Cosmic Landscape', (Little, Brown and Company).

TEGMARK, MAX, 2003, 'Parallel Universes', in Science and Ultimate Reality: From Quantum to Cosmos (ter ere van John Wheelers 90^{ste} verjaardag), ed. J.D. Barrow, P.C.W. Davies & C.L. Harper (Cambridge University Press).

TREFIL, JAMES, 1997, 'Was the universe designed for life?', in Astronomy (Vol. 25, juni 1997).

VAN LOOCKE, PHILIP, 2006, Ongepubliceerde cursustekst Universiteit Gent.

VILENKIN, ALEX, 1995, 'Quantum Cosmology and the Constants of Nature' (<[arXiv:gr-qc/9512031v1](https://arxiv.org/abs/gr-qc/9512031v1)>).

VILENKIN, ALEX, 1999a, 'The Density Parameter and the Anthropic Principle', in Physical Review D (Vol. 60, no. 2).

VILENKIN, ALEX, 1999b, 'Open Universes, Inflation and the Anthropic Principle', in International Journal of Theoretical Physics (Vol. 38, p. 3135 - 3145).

VILENKIN, ALEX, 2004, 'Anthropic Predictions: the case of the cosmological constant' (<[arXiv:astro-ph/0407586v1](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0407586v1)>).

VILENKIN, ALEX, 2006, 'Beyond the Big Bang', in Natural History (vol. 115, p. 42 - 47).

WALD, ROBERT, 2006, 'The Arrow of Time and the Initial Conditions of the Universe', in Studies in History and Philosophy of Modern Physics (Vol. 37, p. 394 - 398).

WEBER, ERIK, 2005a, Cursustekst bij het vak 'Wetenschapsfilosofie I', Universiteit Gent (Gent, Academia Press).

WEBER, ERIK, 2005b, 'Kenni ontrafeld' (Garant, Antwerpen - Apeldoorn).

WEINBERG, STEVEN, 1987, 'Anthropic Bound on the Cosmological Constant', in Physical Review Letters (Vol. 59, No. 22, p. 2607 - 2610).

WEINBERG, STEVEN, 2000, 'The Cosmological Constant Problems' (<[arXiv:astro-ph/0005265v1](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0005265v1)>).

WEINBERG, STEVEN, 2005, 'Living in the Multiverse' (<[arXiv:hep-th/0511037v1](http://arxiv.org/abs/hep-th/0511037v1)>).

WHEELER, JOHN, 1989, 'Information, physics, quantum: the search for links', in Proc. 3rd Int. Symp. Foundations of Quantum Mechanics (Tokyo, 1989, p. 354 - 368).

Geraadpleegde websites

p. 60: Rob Bryanton over de tien dimensies (2006):

<<http://www.tenthdimension.com/medialinks.php>>

(bezocht op 11/4/2007).

p. 91: discussie tussen Smolin en Susskind op Edge.org (2004):

<http://www.edge.org/3rd_culture/smolin_susskind04/smolin_susskind.html>

(bezocht op 21/3/2007).

p. 95: de kosmische ouroboros van Primack en Abrams (2006):

<<http://viewfromthecenter.com/files/images/uroboros-color.jpg>>

(bezocht op 7/4/2007).