

Wim Lintzen

Cursus

De grote vragen van de Kosmos

Deel 2

De methode van de wetenschap

Cursus grote vragen Kosmos

INDELING CURSUS

1. De inventaris van het heelal
2. De methode van de wetenschap
3. Het nieuwe paradigma van de kosmologie
4. Vele heelallen of één heelal?
Of een heelal dat zichzelf verklaart?

Cursus grote vragen Kosmos

Deel 2 van de cursus:

DE METHODE VAN DE WETENSCHAP

- Met als onderwerpen:
 1. Filosofie van de wetenschap
 2. De hypothetisch-deductieve methode
 3. Toepassing op de theorie van Newton
 4. Kritische kanttekeningen

Cursus grote vragen Kosmos

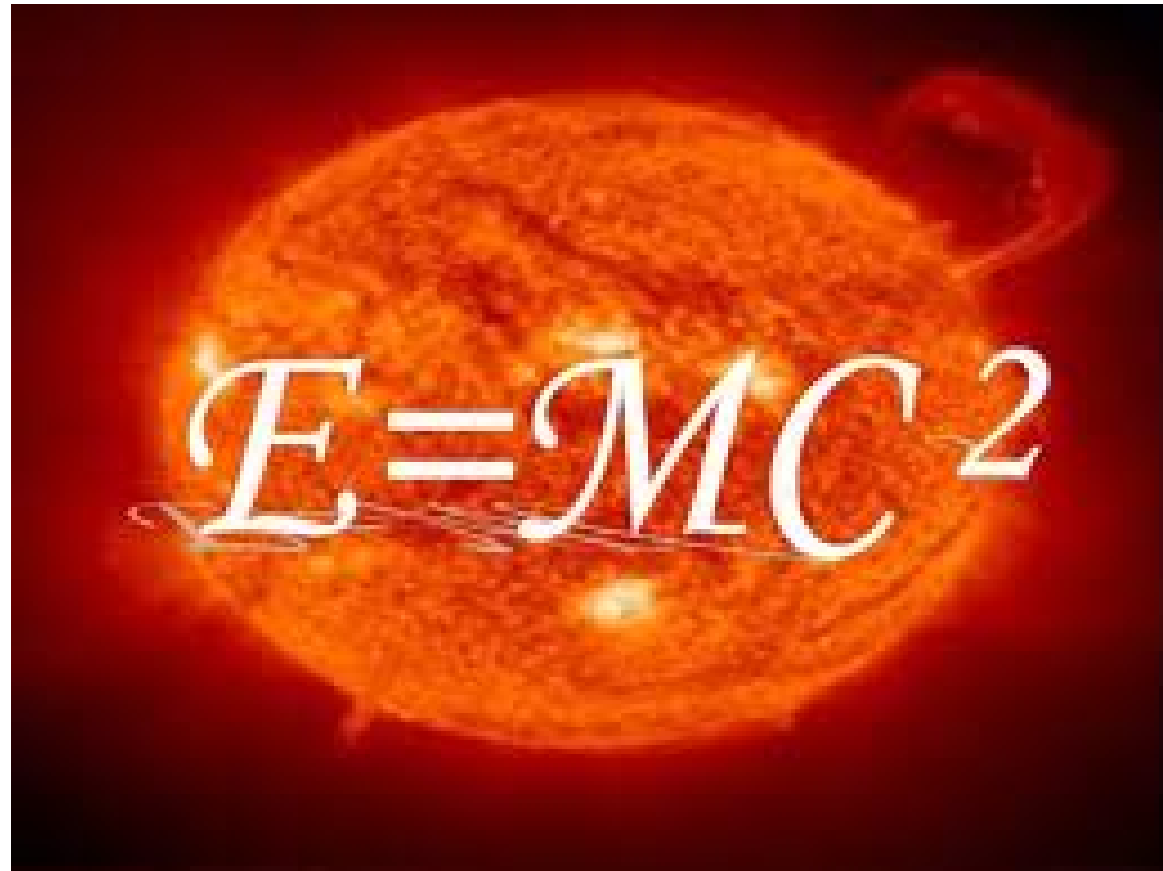
1. FILOSOFIE VAN DE WETENSCHAP

- **Wetenschap** houdt zich bezig met *kennis* vergaren via een effectieve *methode*
- **Filosofie van de wetenschap** gaat na wat kennis is en hoe de wetenschap aan kennis komt
- Filosofie is een *meta-wetenschap*; zij onderzoekt kritisch de pijlers waarop wetenschap is gebouwd
- Twee centrale pijlers voor *wetenschap* zijn: **waarneming** en **theorievorming**.

Waarneming



Theorie



Cursus grote vragen Kosmos

- **Wetenschap is kennis bestaande uit een geheel van feiten en theorieën**
- Feiten zijn gebaseerd op waarnemingen en experimenten
- Theorieën zijn gebaseerd op wetten, logica en wiskunde.
- Tussen de feiten en de theorieën bestaat een *voortdurende wisselwerking*.
- Dat is de **dynamiek van wetenschap**.

Cursus grote vragen Kosmos

- **De filosofie bestudeert de wetenschap op basis van kenleer en methodologie**
- Een belangrijke filosofische vraag is:
Welke **werkelijkheid** wordt er nu eigenlijk 'gekend'?
 - . Beschrijft wetenschap de werkelijkheid **zelf** (realisme) ?
 - . Of beschrijft wetenschap slechts een **model** van de werkelijkheid (positivisme)?

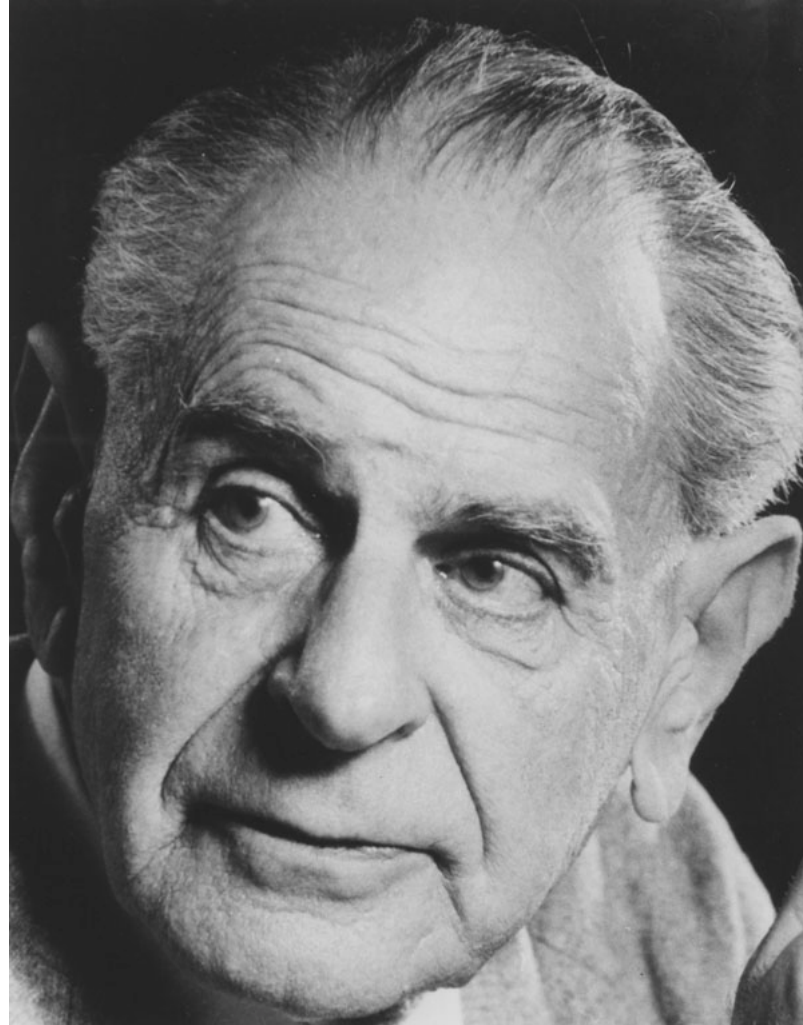
Cursus grote vragen Kosmos

- Voorzover de filosofie zich richt op de methoden van kennisvergaring in de wetenschap, luidt de vraag:
- **Hoe komt de wetenschap aan kennis?**
- Er zijn twee methoden in de wetenschap
- De *inductieve methode*, die kennis vergaart op basis van waarnemingen en feiten
- De *deductieve methode*, die kennis vergaart op basis van theorieën en natuurwetten

Cursus grote vragen Kosmos

- Wetenschappers hebben niet zoveel op met wetenschapsfilosofie
- Filosofen, zeggen ze, staan langs de kant; ze zijn de beste stuurlieders aan wal
- Wetenschap is vooral een kwestie van denken en doen; de praktijk is de beste leerschool
- Filosofen zijn niet bevoegd om te oordelen over de methode van de wetenschap
- **Maar is dat ook zo?**

Karl Popper en zijn falsificatie beginsel



Thomas Kuhn en zijn paradigma wisseling



Cursus grote vragen Kosmos

2. DE HYPOTHETISCH-DEDUCTIEVE METHODE

- Filosofen constateren: Het succes van de wetenschap is vooral te danken aan de hypothetisch-deductieve methode
- Centraal in deze methode staat het gebruik van *wetten en theorieën*
- Deze methode is zo succesvol, omdat zij wetenschappers via een totaalkader tot *nieuwe inzichten* leidt

Cursus grote vragen Kosmos

- De hypothetisch-deductieve methode werd ontwikkeld in de 17 de eeuw (Descartes, Huygens, Newton, Leibniz)
- Zij was een combinatie van vernuftig, helder, wiskundig denken en een uiterst exacte manier van waarnemen en experimenteren
- Uit deze **combinatie** is de moderne wetenschap ontstaan



Christiaan Huygens en zijn slinger uurwerk



Isaac Newton en zijn onderzoek naar het licht

Cursus grote vragen Kosmos

De hypothetisch-deductieve methode

Hoe werkt zij?

- **Deel A: de grote lijn**
- Men gaat uit van wetten en theorieën
- Daaruit worden logische conclusies afgeleid:
de hypothesen
- Deze hypothesen worden vervolgens getoetst aan de waarnemingen

Cursus grote vragen Kosmos

- **Deel B: de strategie**
- Afhankelijk van de toetsing wordt door ***'terugredeneren'*** een conclusie getrokken over de geldigheid van wetten en theorieën
- Als de hypothese klopt, is dat een onderbouwing of een (voorlopige) ***bevestiging*** van het theoretisch kader
- Als de hypothese niet klopt, dan verkeren de wetten en theorieën in problemen of zijn zelfs ***weerlegd (afh. van hun volledigheid)***

Cursus grote vragen Kosmos

- **Logica van redeneren**

A = theorie (incl. gevestigde feiten)

B = logische afleiding van hypothese uit A

Oftewel, logisch weergegeven: **A -> B**

Wetenschappers redeneren nu als volgt over 'waar':

- . Als geldt **A -> B**, d.w.z. *als afleiding van B **logisch correct is***, en als geldt **A**, d.w.z. *als theorie **waar is***, dan geldt **B**, d.w.z. *dan is hypothese **waar***
- . Deze redenering nodigt uit om de waarheid van een theorie te onderzoeken m.b.v. de hypothese.

Cursus grote vragen Kosmos

- Mogelijke redeneringen ***m.b.t. theorie A***:
 - . ***Ongeldig***: Als $A \rightarrow B$ en B waar is, dan geldt dat A waar is. Deze redenering klopt niet, maar het is wel de redenering die wetenschappers gebruiken bij het 'terugredeneren'!!!
 - . ***Geldig***: Als $A \rightarrow B$ en als B niet waar is, dan geldt dat A niet waar is. Deze redenering klopt en heeft dus kracht bij het 'terugredeneren'. Maar in de praktijk van het wetenschappelijk werk wordt niet gauw een theorie als onwaar 'opgegeven'!!!

Cursus grote vragen Kosmos

3. TOEPASSING OP DE THEORIE VAN NEWTON

- a. De theorie van Newton
- b. De hypothesen van Newton
- c. De waarnemingen van Newton

Cursus grote vragen Kosmos

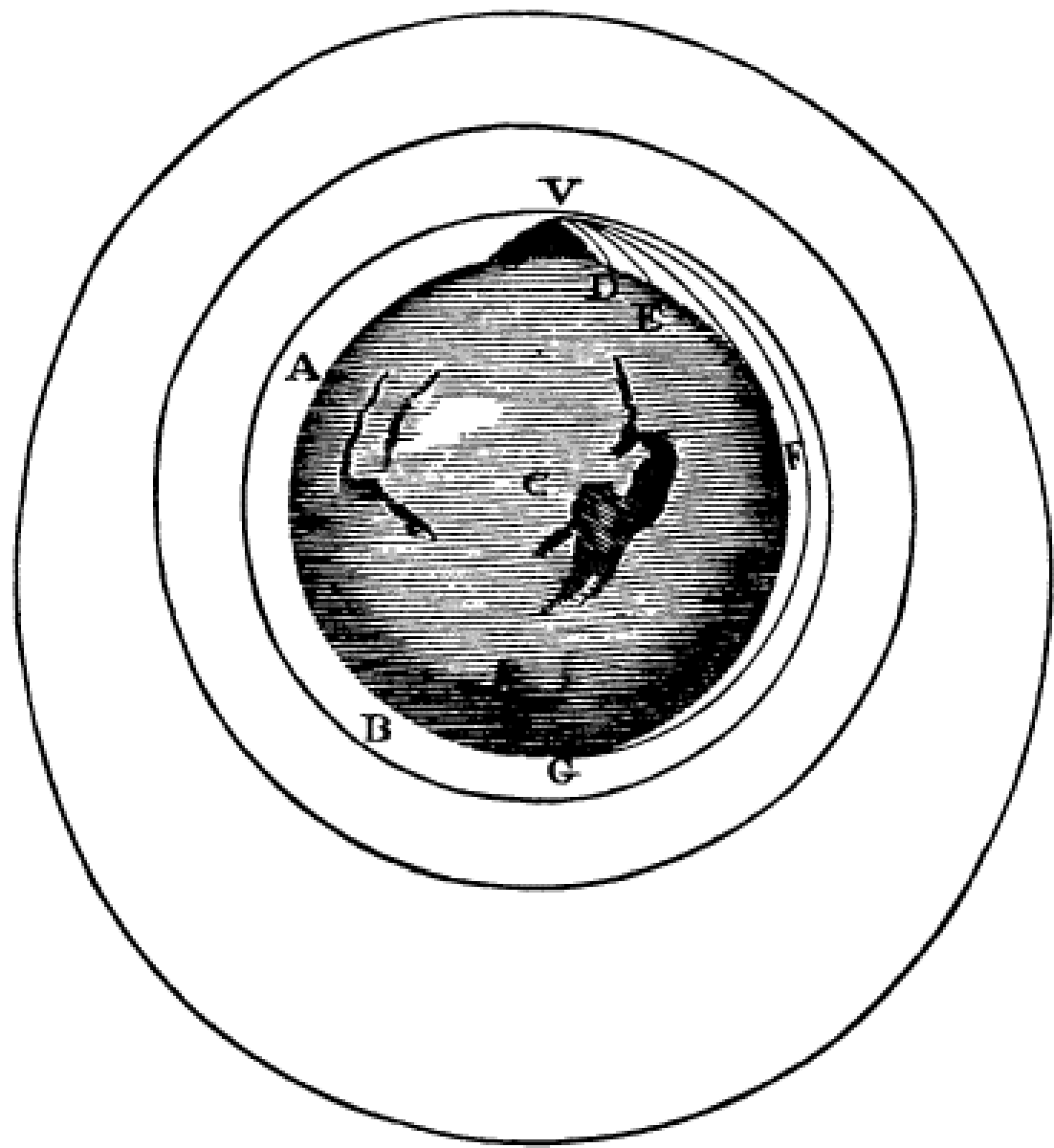
a. De theorie van Newton:

- De valwet van Galilei en de wetten van Kepler
- Drie basiswetten en de centrale wet van de zwaartekracht
- Logica en gewone wiskunde
- Differentiaal- en integraalrekening
- Tijd en ruimte zijn absoluut
- Werking zwaartekracht 'op afstand'

Cursus grote vragen Kosmos

*b. Enkele hypothesen van Newton, **logisch** afgeleid uit zijn theorie*

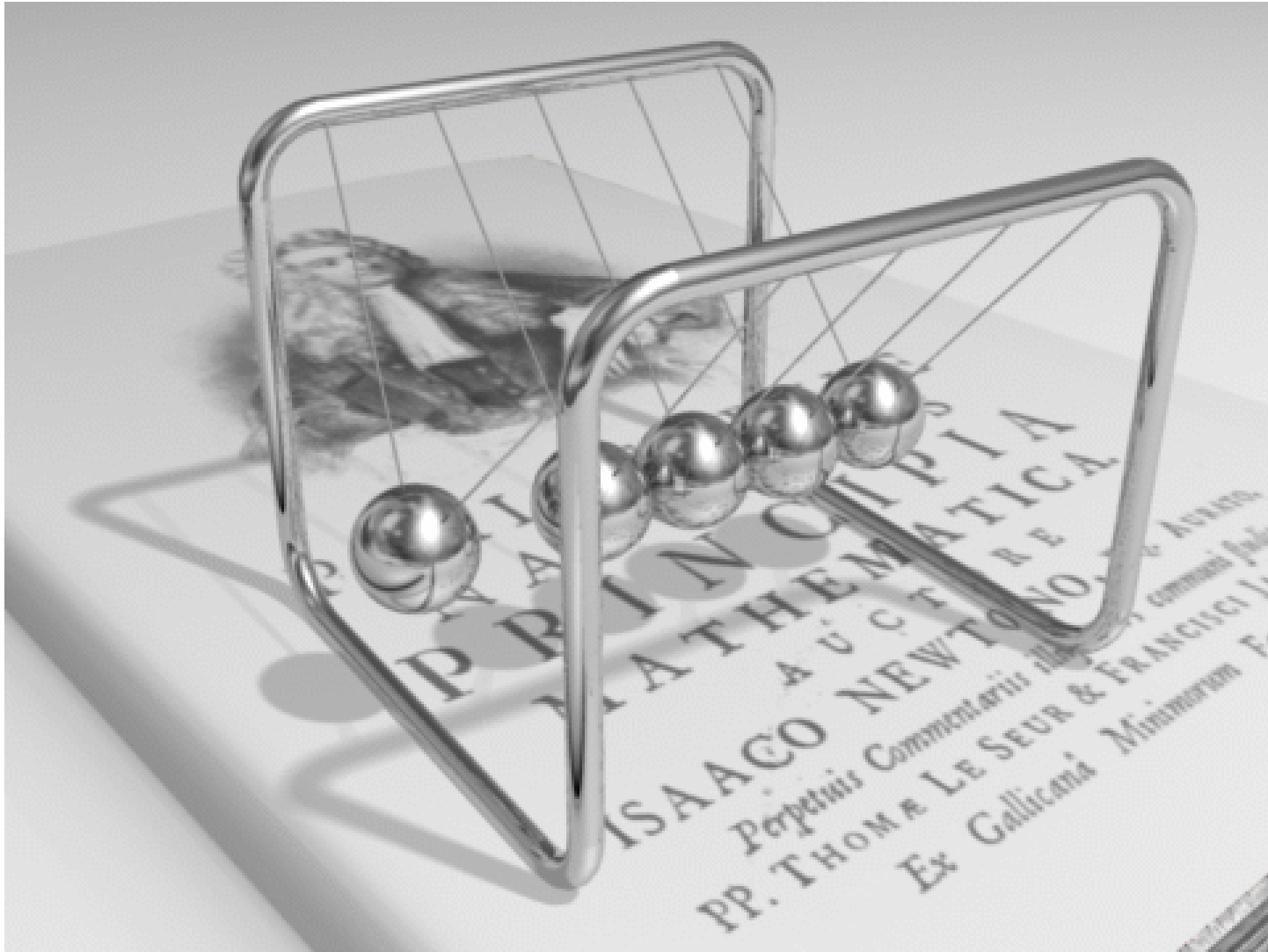
- De *valbeweging van de maan*
- Een exacte beschrijving van *kogelbanen*
- een exacte verklaring van de wet van Kepler betreffende de *ellipsvormige baan van planeten*
- Een exacte beschrijving van de *tolbeweging van de aarde* (de precessie van de aardas)
- een exacte verklaring van *eb en vloed*



Cursus grote vragen Kosmos

c. De waarnemingen van Newton

- Newton beschikte over een kleine, zelfgebouwde spiegeltelescoop
- Hij beschikte uiteraard over diverse metingen en tabellen van anderen
- Daarnaast deed Newton graag zelf diverse experimenten om tot exactere metingen te komen, zoals de meting aan de valversnelling met een speciale pendule



Cursus grote vragen Kosmos

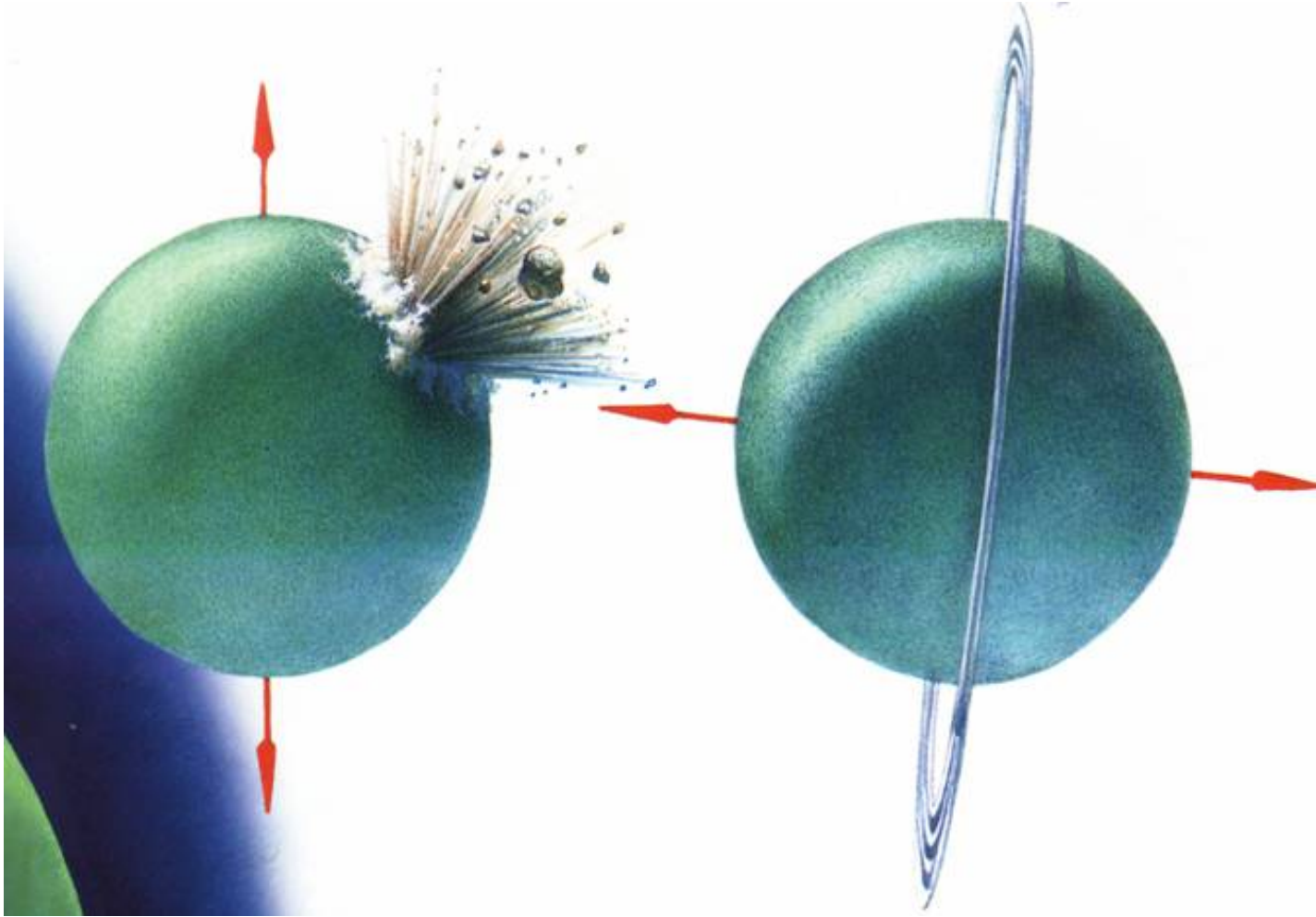
c. De waarnemingen van Newton (vervolg)

- Newton was vooral bezig met toetsing van het idee van de zwaartekracht; door deze kracht toe te passen op een appel, op kogels, op de maan, op de zon en haar planeten, op getijden en kometen, etc. kwam hij tot het besef dat de gravitatie-kracht een **universele kracht** is, die overal in het heelal werkt volgens de formule:
 - **$F(\text{gravitatie}) = G \times (M_1 \times M_2) / D^2$**

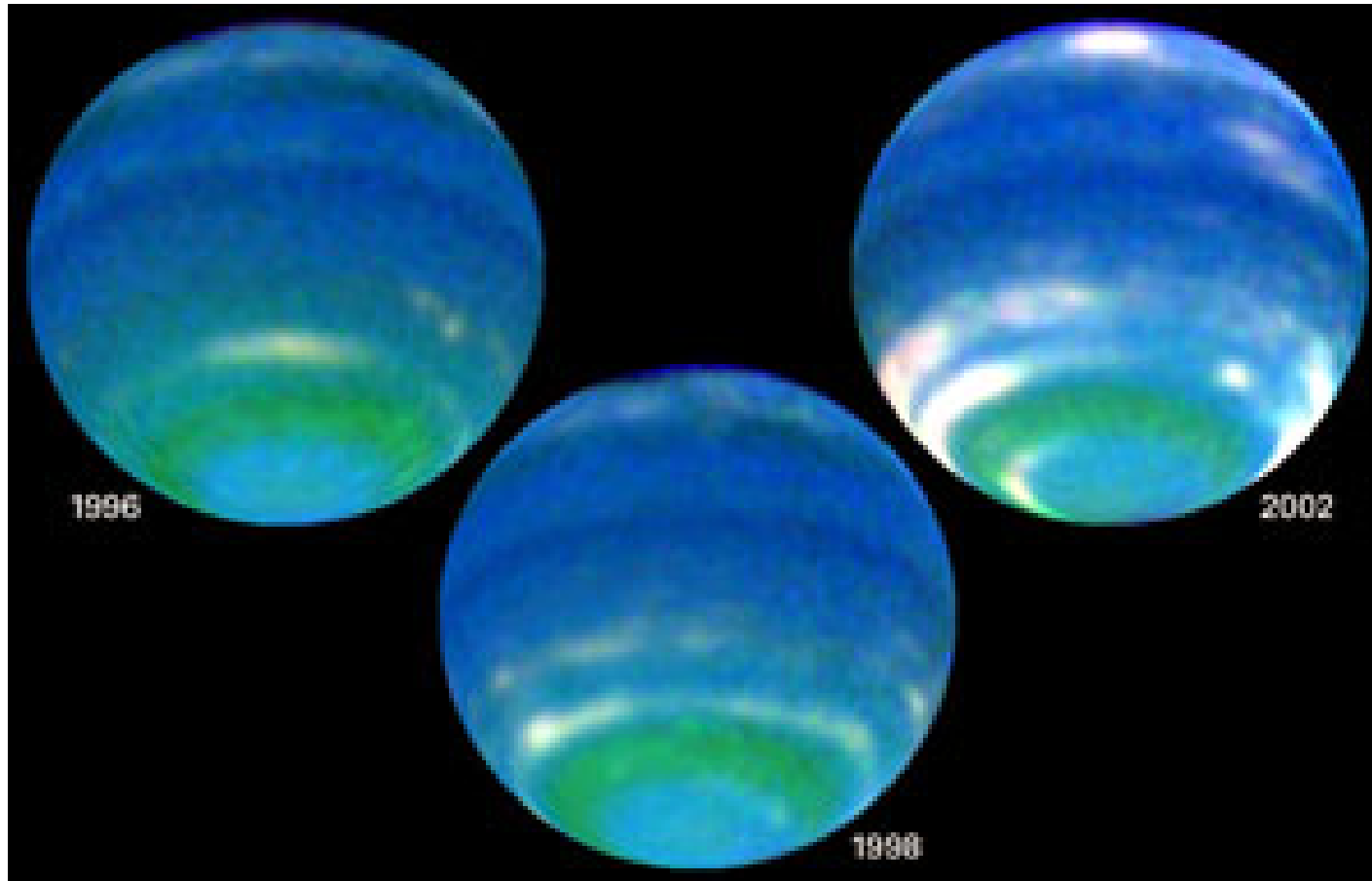
Cursus grote vragen Kosmos

- Maar wat de theorie van Newton in de loop van de tijd nog aantrekkelijker maakte, was dat zij *nieuwe verschijnselen* kon voorspellen
- Newton stierf in 1727
- In 1781 werd de planeet **Uranus** bij toeval ontdekt door Herschel
- Met behulp van de theorie van Newton werd een nieuwe planeet voorspeld en inderdaad ontdekt in 1846, namelijk **Neptunus**

Uranus



Neptunus



Cursus grote vragen Kosmos

Het verhaal van de achtste planeet Neptunus

- a) De baan van Uranus werd nauwkeurig gemeten en in kaart gebracht (40 jaar lang)
- b) Tevens werd de baan als hypothese berekend vanuit de theorie van Newton
- Wat bleek? De gemeten baan week af van de berekende baan! De waarneming (a) gold als juist, dus de hypothese (b) was onjuist. Was daarmee ook de theorie onjuist?

Cursus grote vragen Kosmos

- De berekende, hypothetische baan van Uranus kan fout zijn omdat niet alle 'omstandigheden' zijn meegenomen
- De theorie van Newton voorspelt dat een planeet in zijn baan verstoord kan worden door andere, naburige planeten
- Deze voorspelling kan in eerste instantie worden uitgewerkt in een nieuwe hypothese

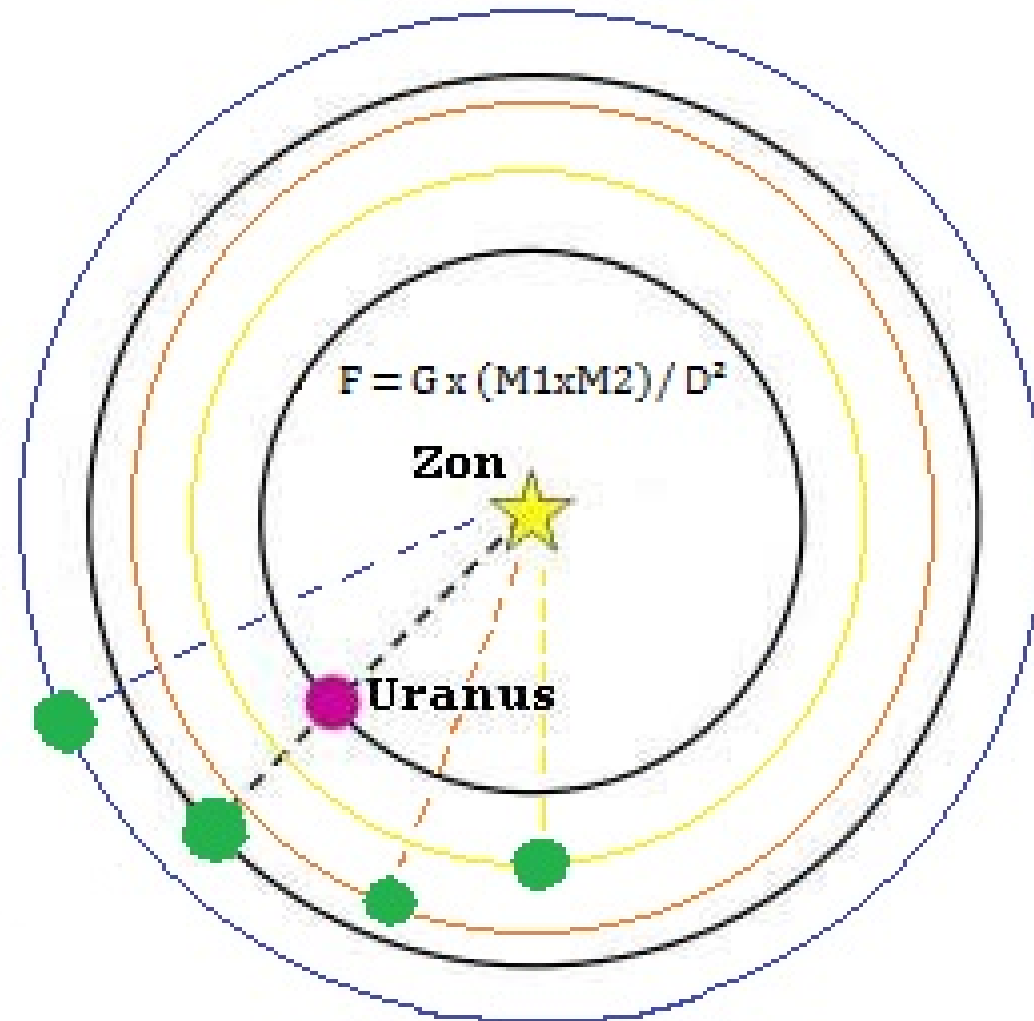
Cursus grote vragen Kosmos

- De nieuwe hypothese luidt: Als de theorie juist is, bestaat er een onbekende planeet met een onbekende massa en een onbekende baan die invloed heeft op de baan van Uranus
- Met behulp van de theorie kunnen alle mogelijke consequenties van deze hypothese worden bekeken
- Het is een kwestie van varianten doorrekenen

Cursus grote vragen Kosmos

- Mogelijke varianten:
- Het plaatsen van de onbekende planeet op verschillende afstanden van de zon
- De onbekende planeet verschillende massa's meegeven
- Het streven is om te komen tot een theoretische baan voor deze nieuwe planeet, die de verstoringen in de waargenomen baan van Uranus kan opheffen

Scenario's voor een onbekende planeet



Cursus grote vragen Kosmos

Het verhaal van de achtste planeet Neptunus
(vervolg)

- De theoretische baan van deze nieuwe planeet werd nu *als concrete voorspelling naar voren geschoven* door Le Verrier
- De uitkomsten werden in 1846 doorgestuurd naar het observatorium in Berlijn
- Daar deed de astronoom Galle observaties
- **En hij 'ontdekte' wat nog nooit iemand daarvoor had gezien: de planeet Neptunus**

Cursus grote vragen Kosmos

4. KRITISCHE KANTTEKENINGEN

- Wat leert het succesverhaal van de ontdekking van Neptunus ons over de theorie van Newton?
- Is deze theorie nu waar? Dat wil zeggen, klopt zij altijd en overal?
- Of is de theorie 'gered' door een toevallige samenloop van omstandigheden?

Cursus grote vragen Kosmos

- Let wel, de theorie van Newton is opgezet als een universele theorie, die geldt voor alle uithoeken van het heelal
- In eerste instantie is zij getoetst aan de situatie binnen ons zonnestelsel
- Maar geldt zij ook daarbuiten?
- De kracht van de theorie is de gravitatieformule die op alle massa's toepasbaar is

Cursus grote vragen Kosmos

- De zwakte echter van de theorie van Newton is dat zij logisch gezien **nooit definitief** kan worden **bevestigd**
- Hypothesen die uit de theorie zijn afgeleid kunnen haar ondersteunen, zoals bij de spectaculaire ontdekking van Neptunus
- Maar deze hypothesen maken de theorie nog niet 'waar'. **De theorie blijft altijd een risico**

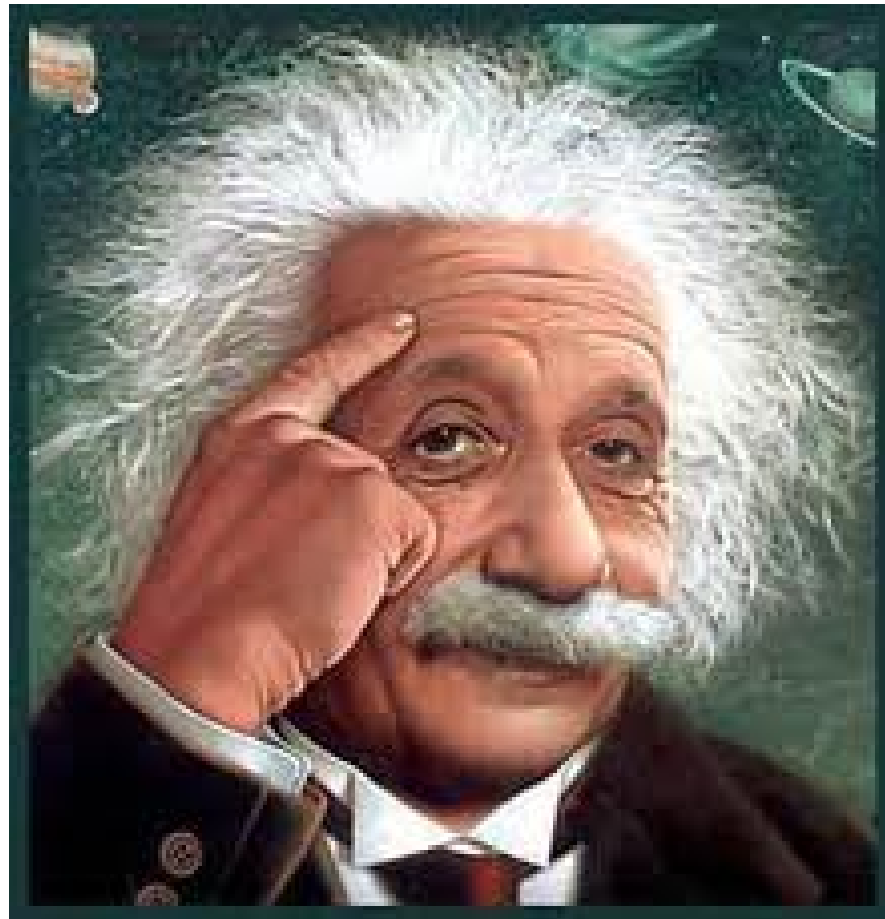
Cursus grote vragen Kosmos

- De theorie van Newton kan ondanks alle succesvolle hypothesen toch **onwaar** zijn.
- Dat wil zeggen, er kunnen elementen in die theorie zitten die haar uiteindelijk de das om doen. En dat bleek ook!
- Zo liet Einstein zien dat de theorie van Newton het mis heeft als het gaat om:
 - Ruimte en tijd
 - Werking op afstand

Cursus grote vragen Kosmos

- Thans geldt ***de algemene relativiteitstheorie van Einstein*** als een standaard-theorie
- Deze theorie beïnvloedt de theorie van de kosmologie aanzienlijk
- Men weet uit haar allerlei verrassende **nieuwe verschijnselen** af te leiden, zoals:
 - Zwarte gaten en een Big Bang
 - Donkere materie en donkere energie

Einstein, de grote bedenker van een magistrale
theorie over het heelal



Cursus grote vragen Kosmos

- Zwarte gaten en zijn inmiddels ‘waargenomen’ en een big bang lijkt zo goed als zeker
- Maar zijn donkere materie en donkere energie al ‘waargenomen’? Nog niet echt!
- We kunnen ze het beste beschouwen als *aantrekkelijke hypothesen*, die allerlei puzzels in de kosmologie oplossen *vanuit* de algemene relativiteitstheorie van Einstein
- Het zijn dus hypothesen die de theorie zouden kunnen verstevigen, maar **niet** bevestigen (!)

Cursus grote vragen Kosmos

- **Ook Einstein's theorie blijft altijd een risico**
- De kosmologen hebben al hun kaarten gezet op deze theorie en op de juistheid van haar hypothesen
- Het is hun ***het risico waard***, want het zou toch spectaculair zijn als donkere materie en donkere energie ook **echt bestaan**
- De volgende keer zullen we zien over welke aanwijzingen zij thans beschikken

Cursus grote vragen Kosmos

- Wat is de *aantrekkingskracht* van Einstein's theorie op de huidige kosmologie?
- Het is precies de situatie waarin de theorie van **Newton** eeuwenlang heeft verkeerd
- Einsteins theorie lijkt tot nog toe alle puzzels die voortdurend opduiken, te kunnen oplossen.
- Tegelijk is haar *wiskundige beschrijving* van de relatie tussen enerzijds **ruimte en tijd** en anderzijds **materie en energie** nog steeds een van de meest elegante en de meest juiste

Cursus grote vragen Kosmos

- Voor de kosmologie is **Einstein's theorie** vooral succesvol als het gaat om een beschrijving van:
 - *de zwaartekracht als een ruimtetijd kromming*
 - *de dynamiek van het heelal als geheel*
- Einstein paste zijn theorie toe op het heelal als geheel (1917); zijn beschrijving was echter **onjuist**. Hij kwam uit op een statisch heelal
- **Daarmee was echter de theorie niet onjuist!** Het bleek dat deze wiskundig zeer moeilijke theorie **mogelijkheden** in zich had die zelfs Einstein zouden verbazen

Een theorie levert soms verrassende uitkomsten

$$w = \frac{u+v}{1 + \frac{uv}{c^2}}$$

$$t' = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$E = mc^2 = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}$$