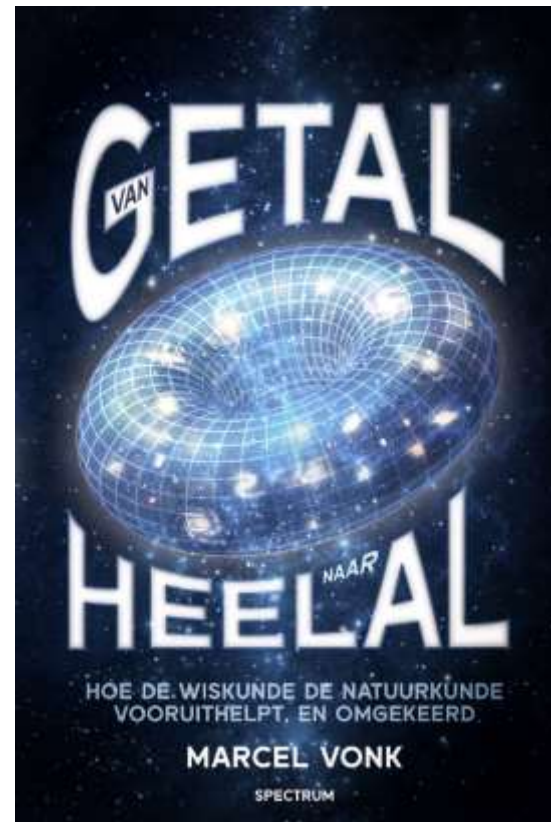


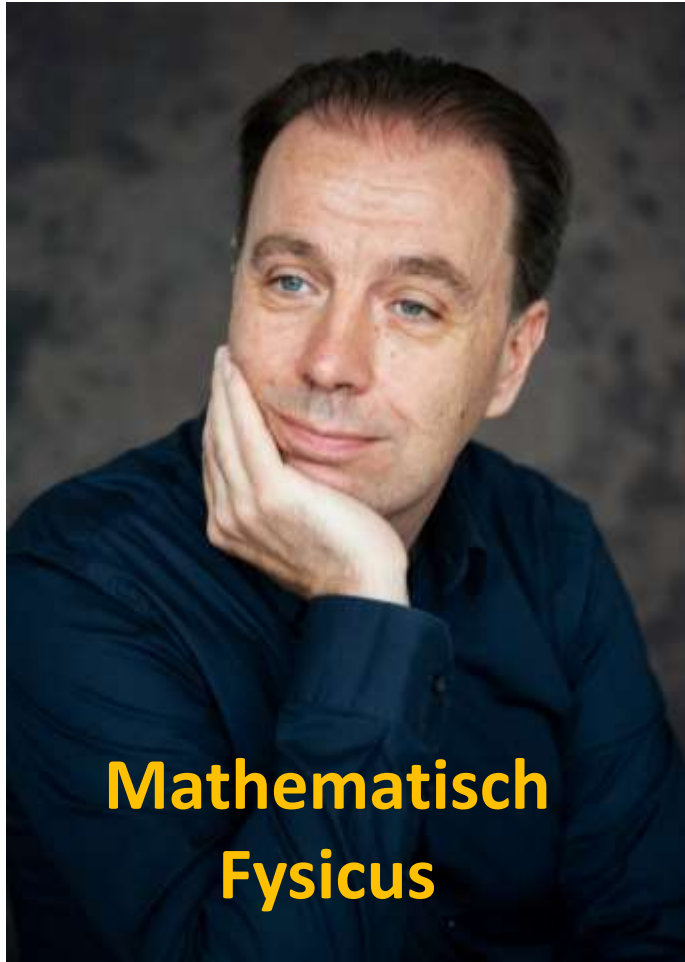
Van Getal naar Heelal

Hoe de wiskunde de natuurkunde vooruit helpt, en omgekeerd



Marcel Vonk (UvA)

Hoe het zo kwam...



“Wiskunde? Dat vond ik op school altijd zó moeilijk!”

“Ik kan helemaal niet goed rekenen!”

“Natuurkunde is toegepaste wiskunde”

“Wiskunde is een onderdeel van de natuurkunde”

“Wat doe je nou zoal de hele dag?”

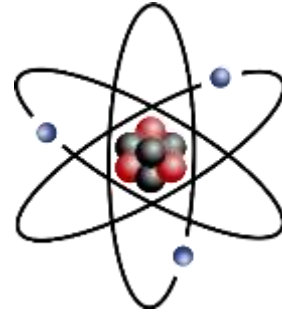
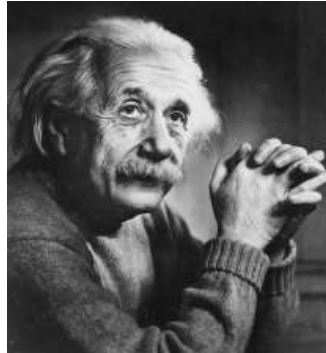
Topology in Physics



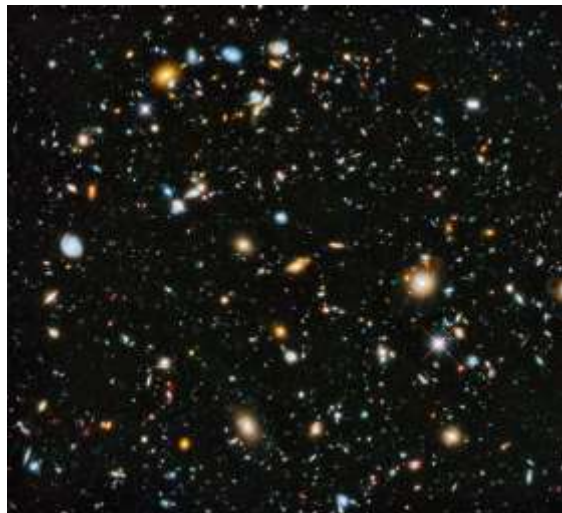
- Wis- en natuurkunde vullen elkaar aan
- Wis- en natuurkundigen spreken een andere taal
- **Wiskundigen:** rigourees; bewijzen
- **Natuurkundigen:** intuïtie; rekenen

Quantumzwaartekracht

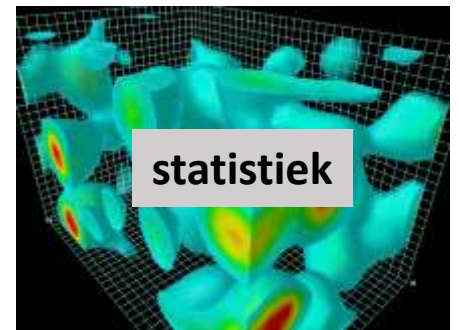
Mijn onderzoeksgebied, en een prachtig voorbeeld



“Sterrenkunde zonder sterren”: **lege ruimte** begrijpen is al moeilijk genoeg!



+



Een eenvoudig voorbeeld



- Natuurkunde is moeilijk – maar niet waarom je denkt!
- We lossen graag eerst een eenvoudig probleem op, en rekenen dan correcties uit.
- Gaat soms mis: hoeveel is bijvoorbeeld $1 + 2 + 4 + 8 + \dots$?

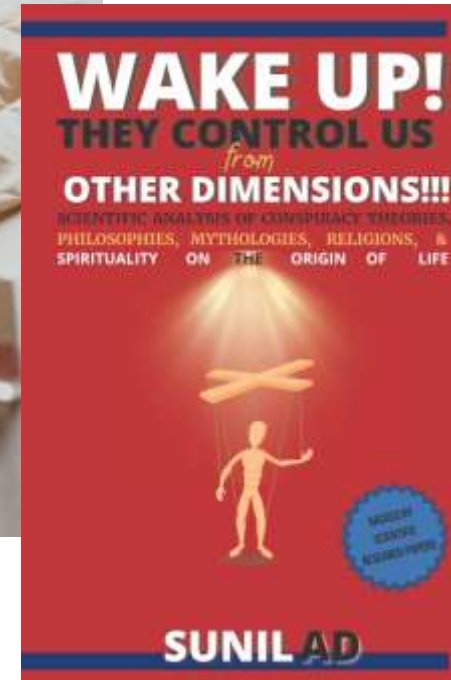
De wiskunde helpt



- Hoeveel is $1 + 1/2 + 1/4 + 1/8 + \dots$?
- Net zo: $1 + x + x^2 + x^3 + x^4 + \dots$ blijkt $1/(1-x)$ te zijn...
- ...als $x < 1$!
- Voor de hand ligt: $1 + 2 + 4 + 8 + \dots$ “=” $1/(1-2) = -1$
- Blijkt verrassend vaak te kloppen! (-> **resurgence**)

Dimensies

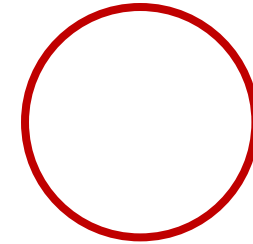
Wat zijn **dimensies** eigenlijk? Hoeveel zijn er?



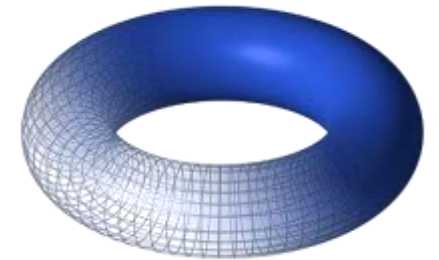
Dimensies en coördinaten

Aantal dimensies = aantal **coördinaten** dat nodig is.

1 dimensie:



2 dimensies:

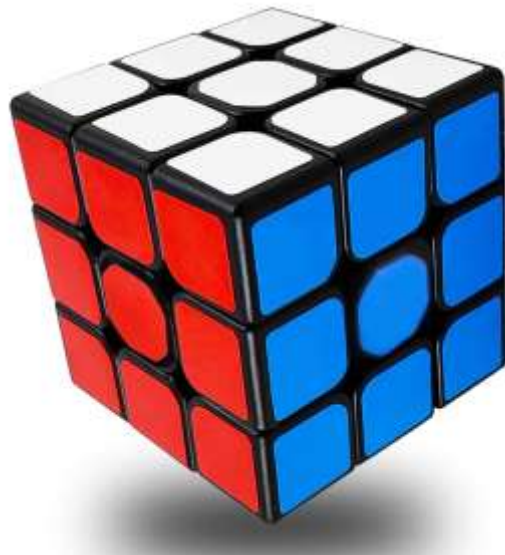


3 dimensies:



Andere dimensies

Dimensies hoeven niet **ruimtelijk** te zijn!

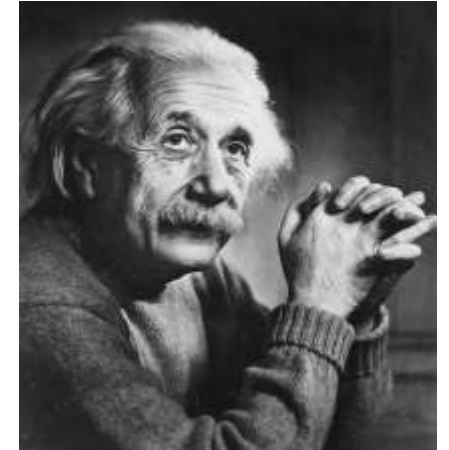


Positie:	3
Richting draai-as:	2
Draaiïng om as:	1
Totaal:	6

Hoeveel dimensies heeft de “toestandsruimte” van een kubus?

Relativiteit

Sinds Albert Einstein beschouwen we ruimte en tijd, oftewel **ruimtetijd**, als één geheel met 4 dimensies.

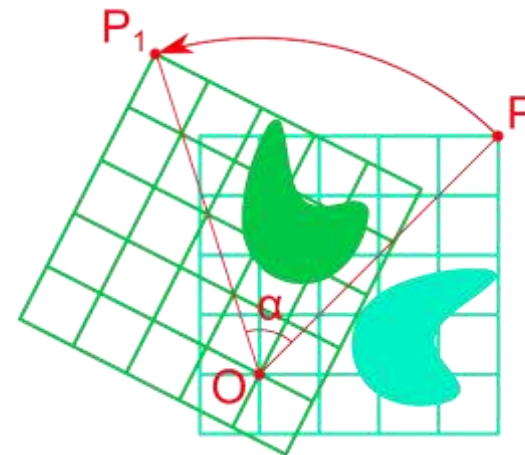


Inderdaad 4 coördinaten, maar er is meer aan de hand!

Ruimte:	3
Tijd:	1
Totaal:	4

De vier “richtingen” kunnen

- ...mengen
- ...krom zijn.



Kromming = kracht

Dat je “kromming” als “kracht” kunt ervaren weten we van kromme oppervlakken:



Algemene relativiteitstheorie

Ook de kromming van de ruimtetijd kunnen we meten, en er zijn zelfs technologische toepassingen!

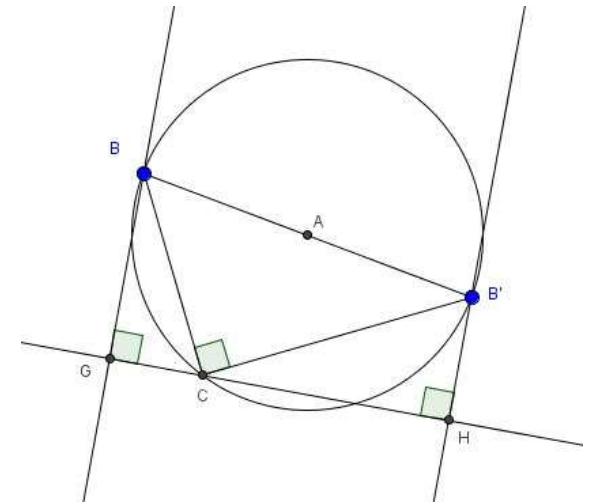


Meetkunde

De wiskunde van “kromme meetkunde” begint bij de wiskunde van **vlakke** meetkunde.

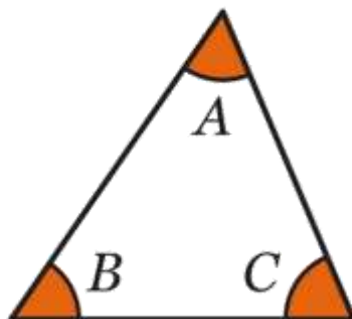
Euclides van Alexandrië, ca. 300 v.Chr.

In zijn “Elementen” presenteerde Euclides vijf **axioma's** voor de meetkunde.



Axioma's

1. Door twee punten gaat een rechte lijn.
2. Een lijn kan oneindig doorlopen.
3. Er is altijd een cirkel door één punt, met een tweede punt als middelpunt.
4. Alle rechte hoeken zijn aan elkaar gelijk.
5. Twee parallelle lijnen snijden elkaar nooit.

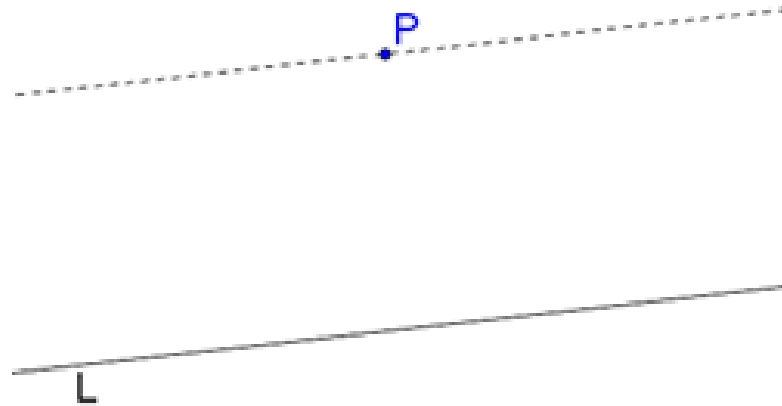


$$A + B + C = 180^\circ$$

Verrassend genoeg voldoende om van alles te bewijzen!

Het vijfde axioma

Twee parallelle lijnen snijden elkaar nooit.



Vraag: is dit axioma echt nodig, of kunnen we het **bewijzen**?

Eeuwenlang een openstaand vraagstuk!

Bernhard Riemann

- Geboren in 1826 in Breselenz, Duitsland
- Vanaf 1859 hoogleraar in Göttingen
- Veelzijdig wiskundige: integraal, Riemann-vermoeden, **meetkunde**
- Overleed 1866 aan tuberculose



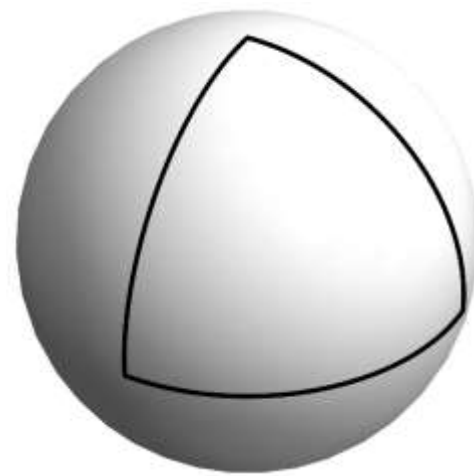
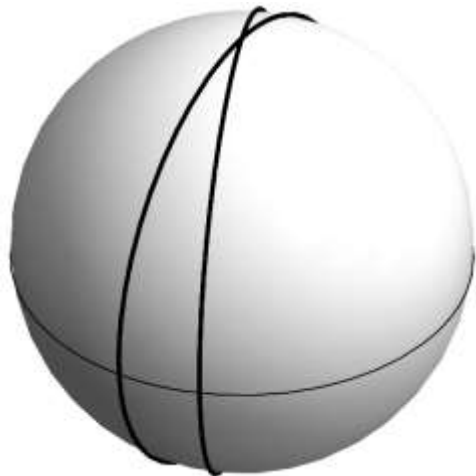
Habilitatiecollege, 1854:

Über die Hypothesen, welchen der Geometrie zugrunde liegen

Kromme meetkunde

Riemann liet in zijn lezing zien...

- ...dat het vijfde axioma niet **bewezen** kan worden,
- ...maar dat het wel **vervangen** kan worden!

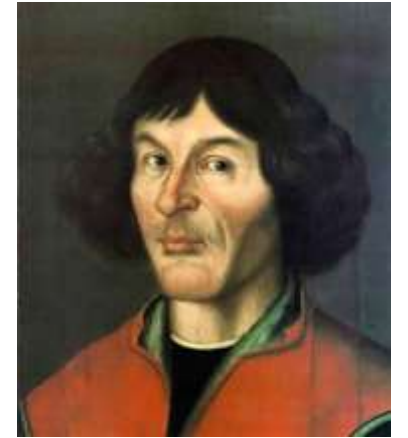
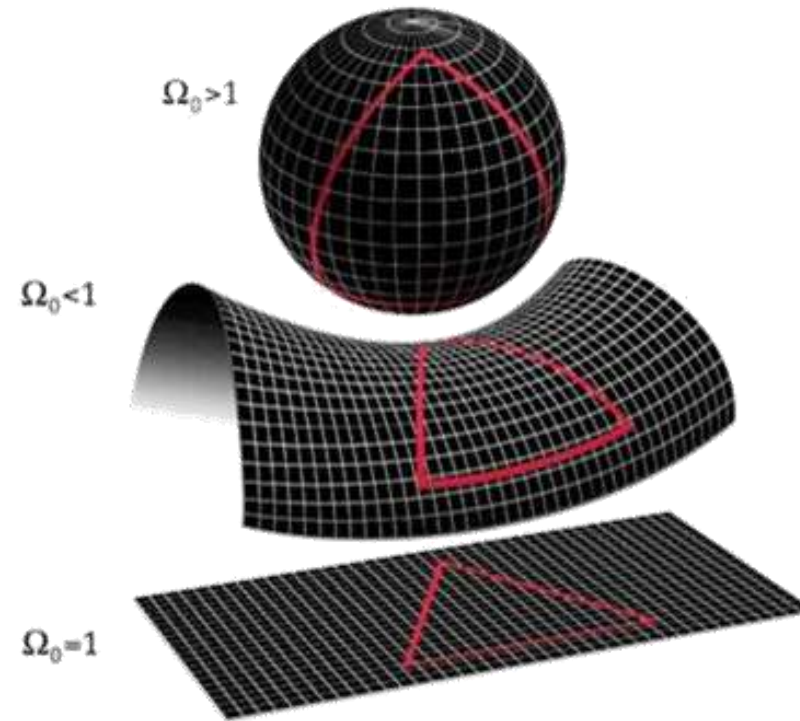


Riemannse meetkunde is meetkunde op **kromme** oppervlakken en in kromme ruimtes!

De kromming van het heelal

Onze ruimte is grofweg overal even vol, dus grofweg overal even krom.

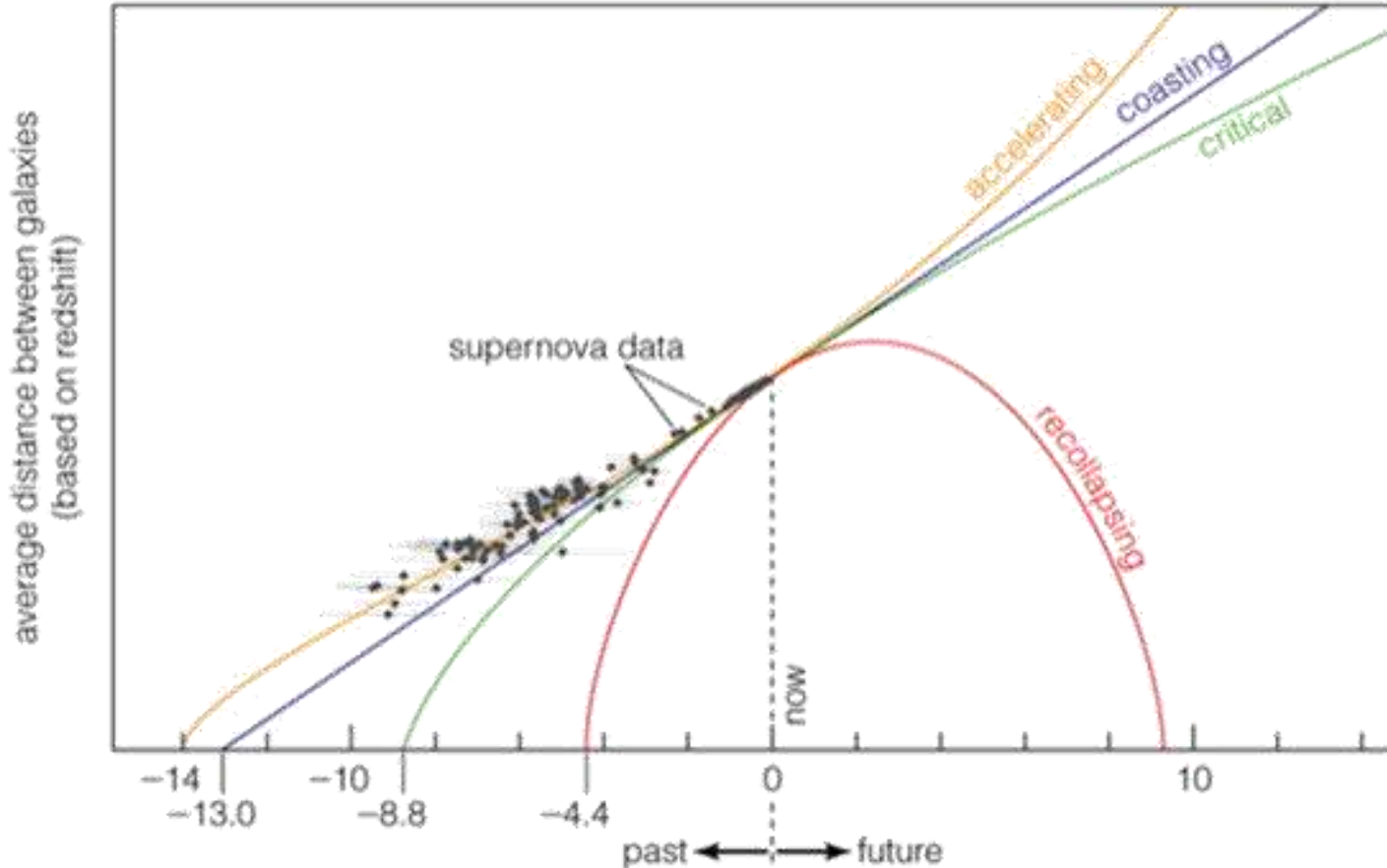
Drie mogelijkheden:



De ruimte is “saai”: vrijwel vlak! Hoe zit het met de **ruimtetijd**?

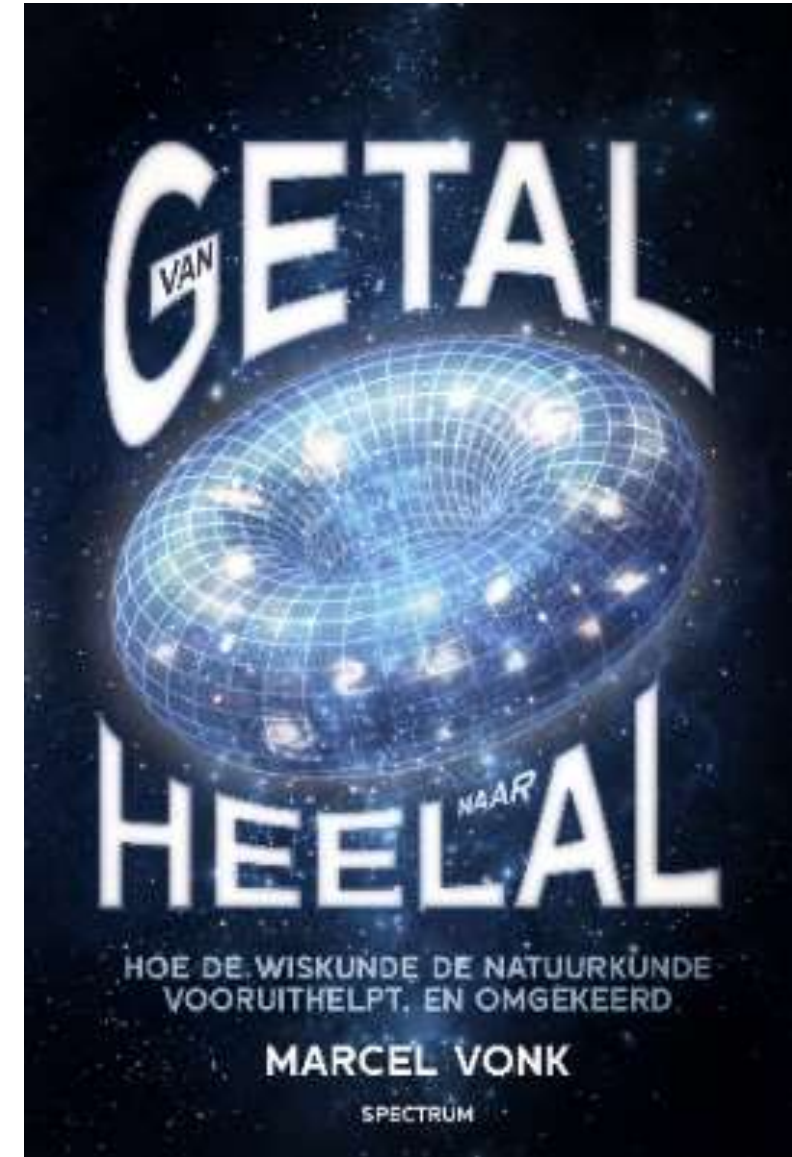
De Sitter-ruimte

Als we ook het tijdsverloop meenemen: wij leven bij goede benadering in een “positief gekromd” **de Sitter-heelal**.

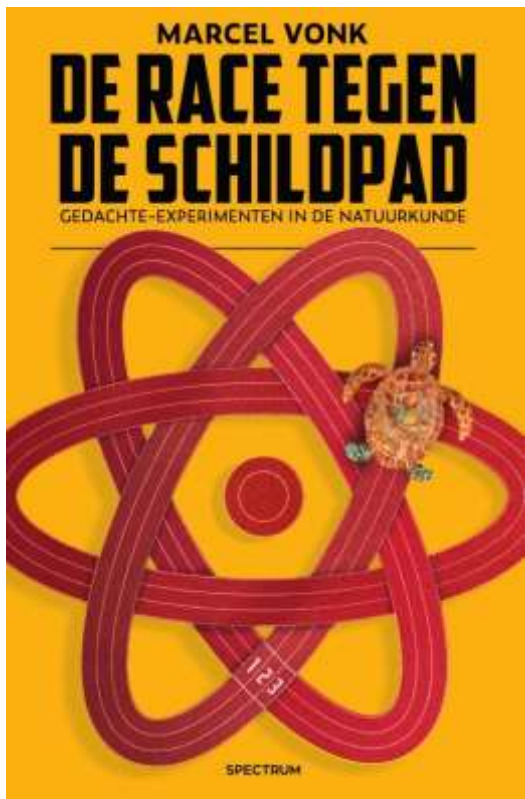


Wijze lessen

- Natuurkundige intuïtie helpt wiskundigen
 - Wat zijn de goede vragen?
 - Wat zou het antwoord kunnen zijn?
 - Welke structuren liggen daaronder?
- Wiskunde levert exacte resultaten
 - Welke rol spelen die in de natuur?
 - Hoe interpreteren we die?
 - Welke experimenten en metingen doen?



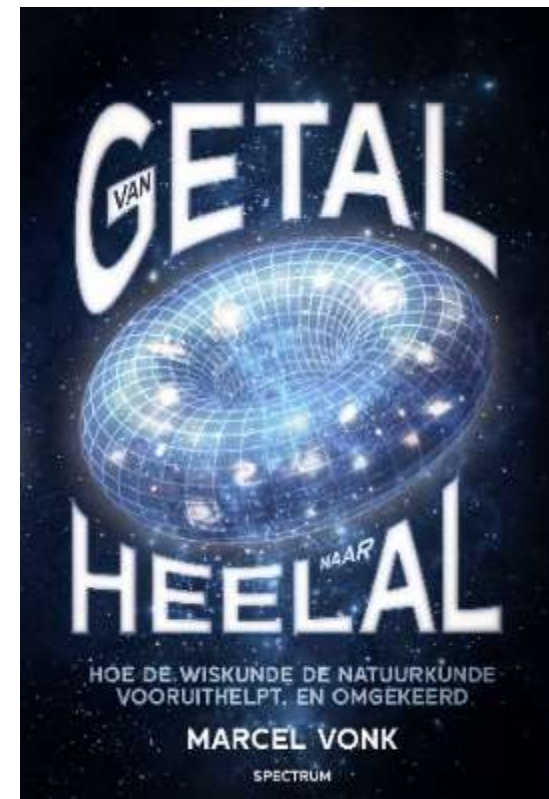
Voor de liefhebber...



€23,-

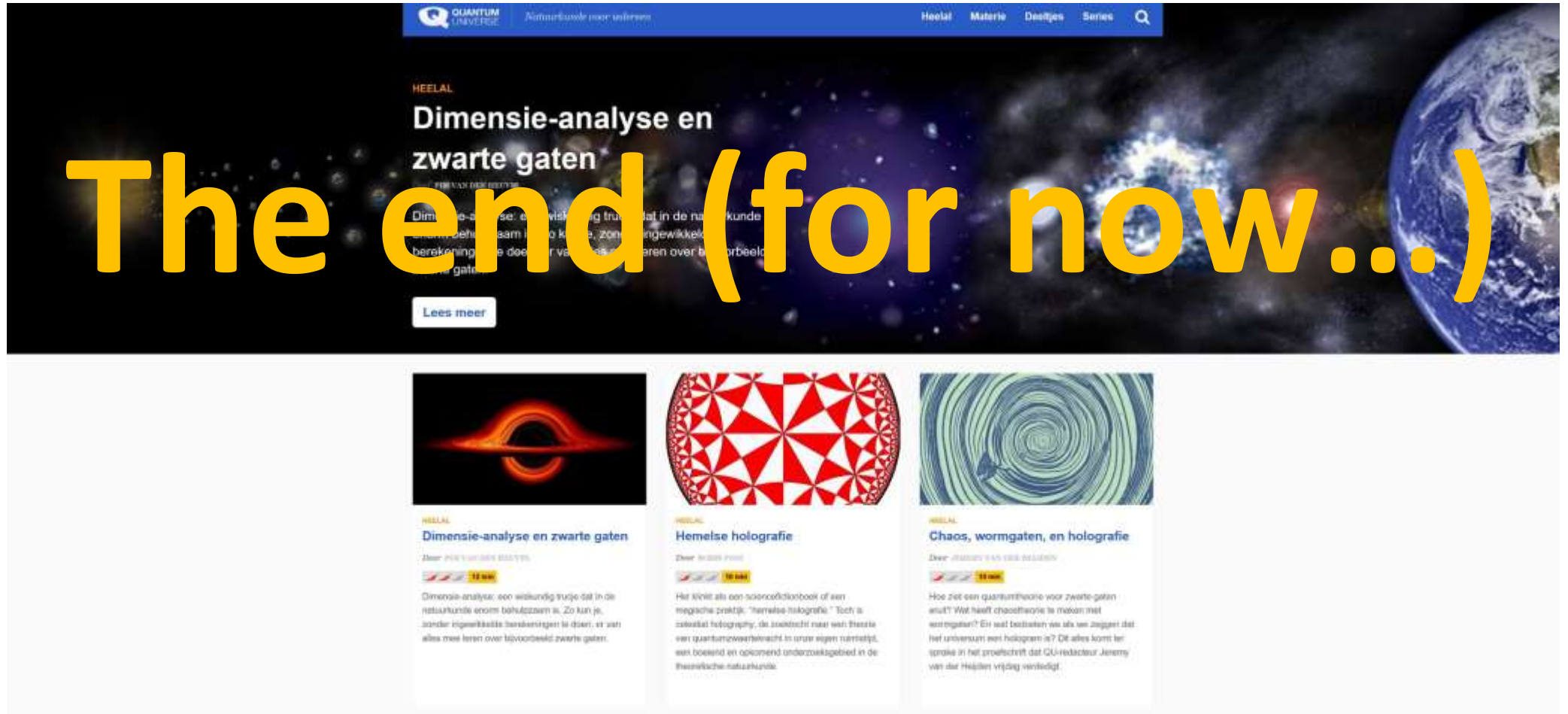


€25,-



€24,-

...en voor iedereen gratis:



The screenshot shows the Quantum Universe website interface. At the top, there is a navigation bar with the logo 'QUANTUM UNIVERSE' and the tagline 'Aantalwilde voor iedereen'. The main header area features a large image of Earth from space. Overlaid on this image is the text 'The end (for now...)' in large yellow font. Below the header, there are three article cards. The first card is titled 'Dimensie-analyse en zwarte gaten' and includes a 'Lees meer' button. The second card is titled 'Hemelse holografie' and the third is 'Chaos, wormgaten, en holografie'. Each card has a small image and a brief description.

HEELAL
Dimensie-analyse en
zwarte gaten

The end (for now...)

Lees meer

HEELAL
Dimensie-analyse en zwarte gaten
Door JACQUES VAN DER BEEK
13 min

HEELAL
Hemelse holografie
Door JACQUES VAN DER BEEK
16 min

HEELAL
Chaos, wormgaten, en holografie
Door JACQUES VAN DER BEEK
13 min

www.quantumuniverse.nl