

Het Quantum Universum

Cygnus Gymnasium

2014-2015

Wat gaan we doen?

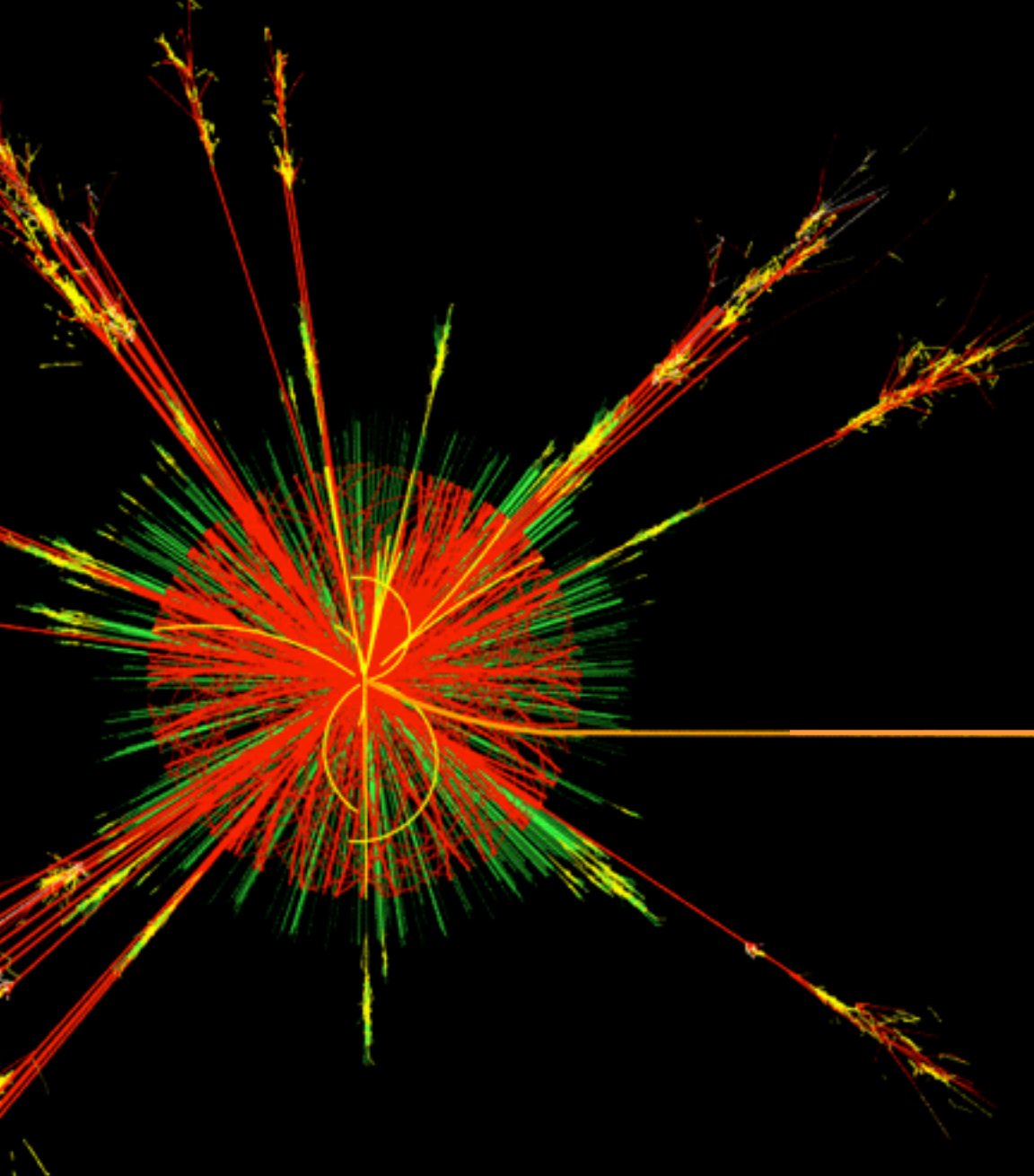
Fundamentele natuurkunde op de allerkleinste en de allergrootste schaal.

Groepsproject als eindopdracht:

- 1) Bedenk een fundamentele wetenschappelijk vraag waarop de wetenschap een antwoord op zou moeten vinden.
- 2) Bedenk wat zou er moeten gebeuren om een antwoord te krijgen.
- 3) Wat zouden mogelijke antwoorden kunnen zijn?

Werk hieraan gedurende de lessen.

Laatste les: “Mini-symposium” waarbij jullie je vraag presenteren.



Les 1 t/m 5



Wat hebben we tot dusver geleerd?

1: Een sterrenstelsel bevat 100 miljard sterren



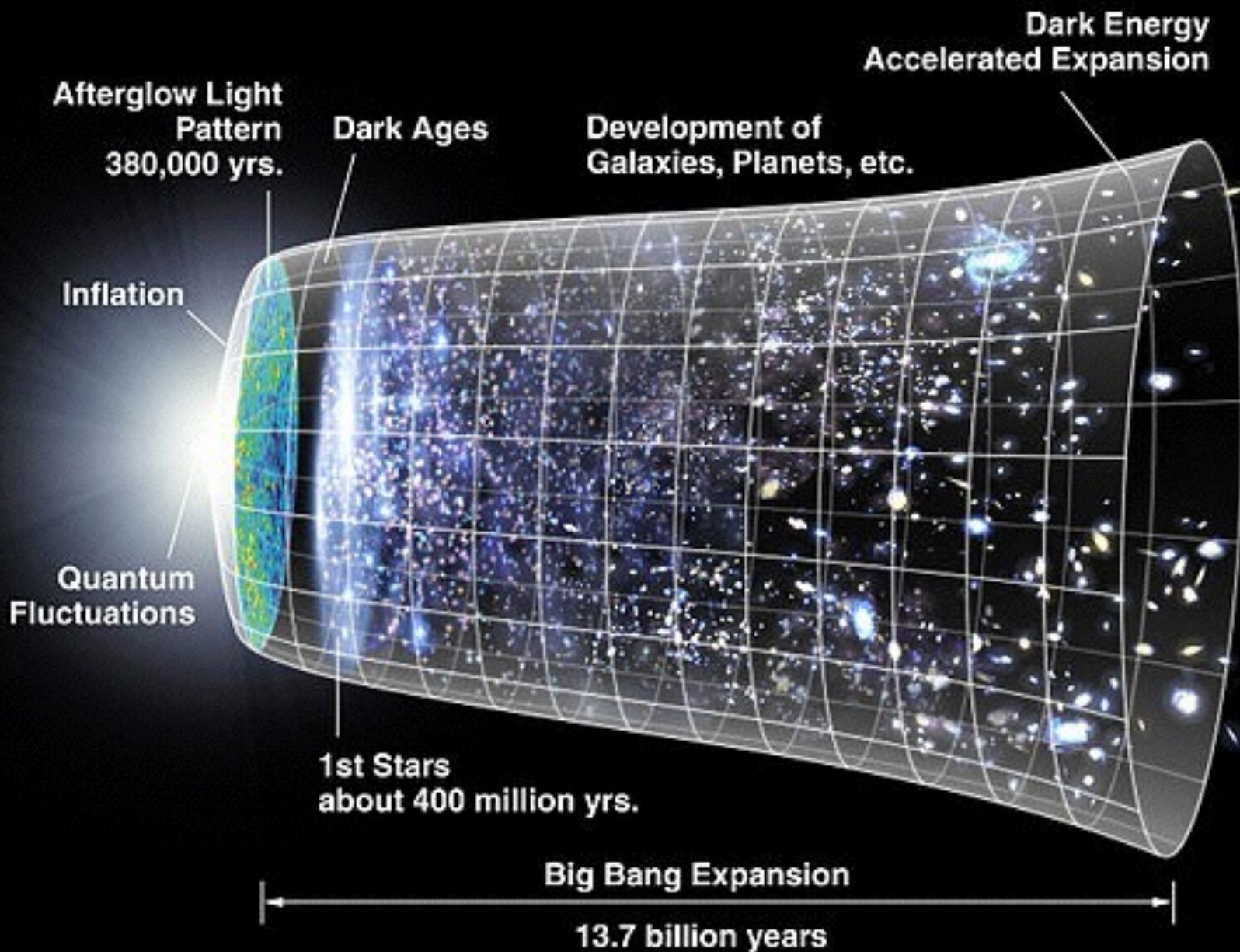
2: Er zijn 100 miljard sterrenstelsels,
maar het universum is vooral “leeg”



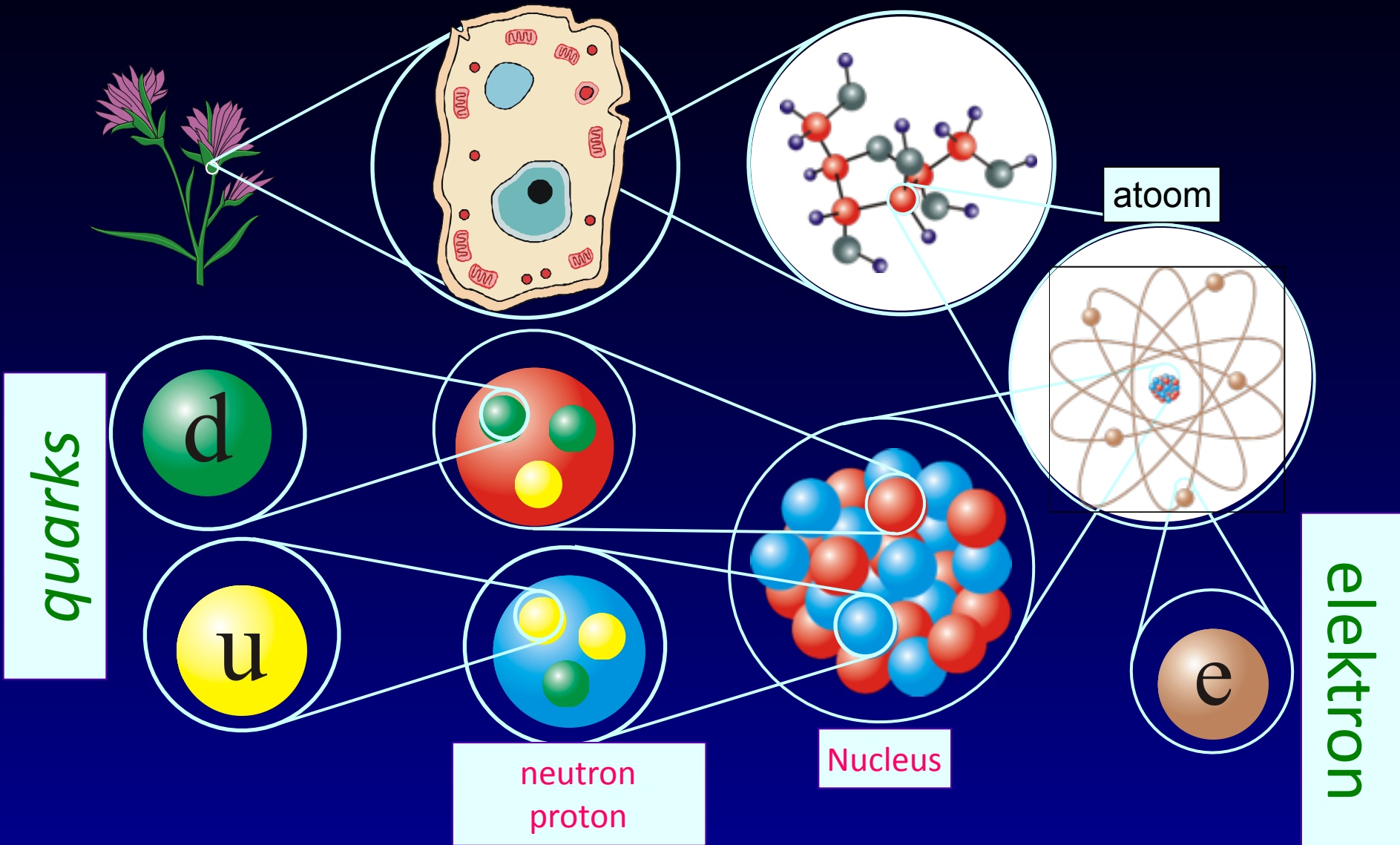
3: Wij gemaakt uit sterrenstof



4: Het heelal is 13.7 miljard jaar oud en dijt uit



5: Bouwstenen van gewone materie,
maar ook het atoom is vooral "leeg"

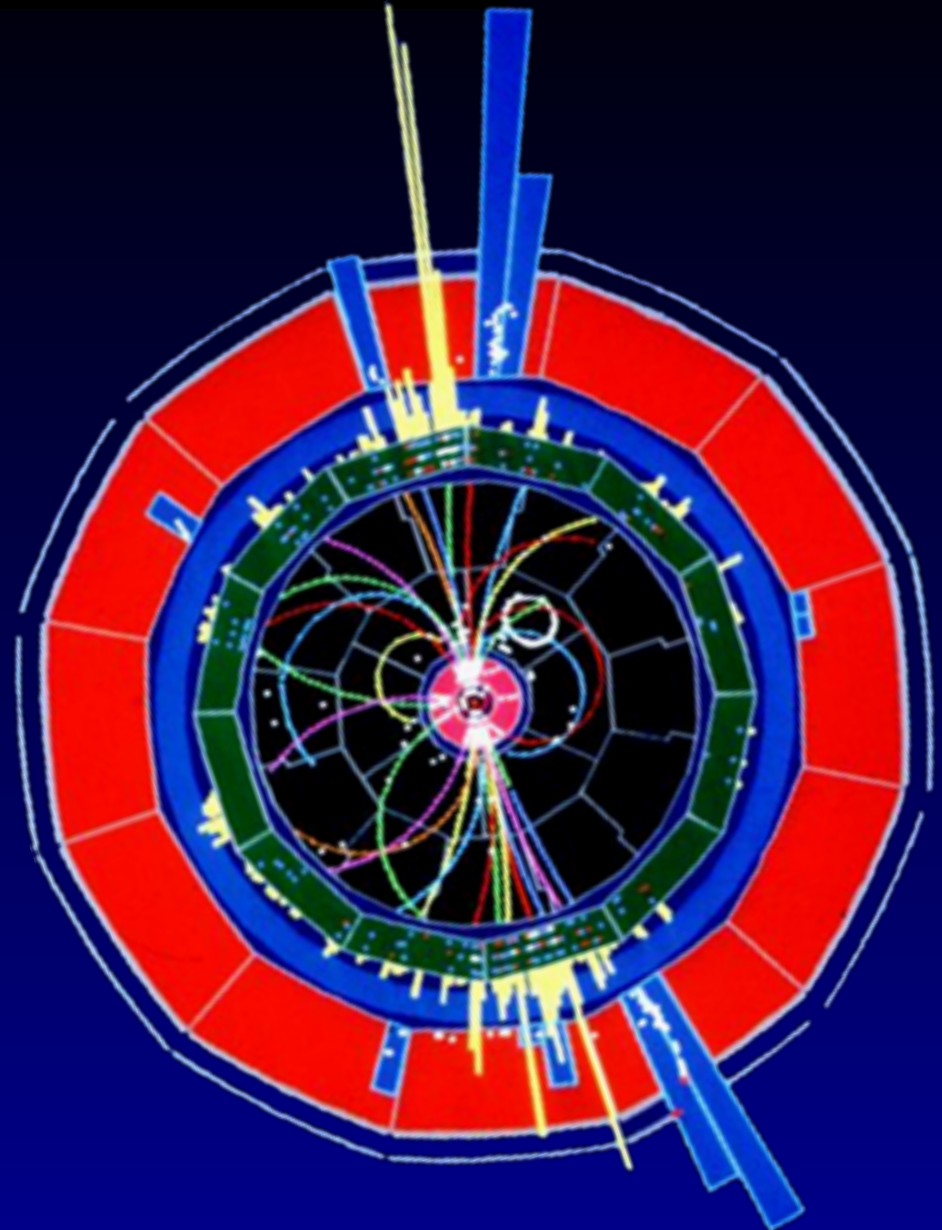


6: De Elementaire Deeltjes

Generatie:

	I	II	III	<u>Lading</u>
quarks	u (1976)	c (1976)	t (1995)	$+2/3 e$
	d (1976)	s (1947)	b (1978)	$-1/3 e$
leptons	e (1895)	μ (1936)	τ (1973)	$-1 e$
	ν_e (1956)	ν_μ (1963)	ν_τ (2000)	$0 e$

Materie





zwaarte
kracht



elektromagnetische
kracht

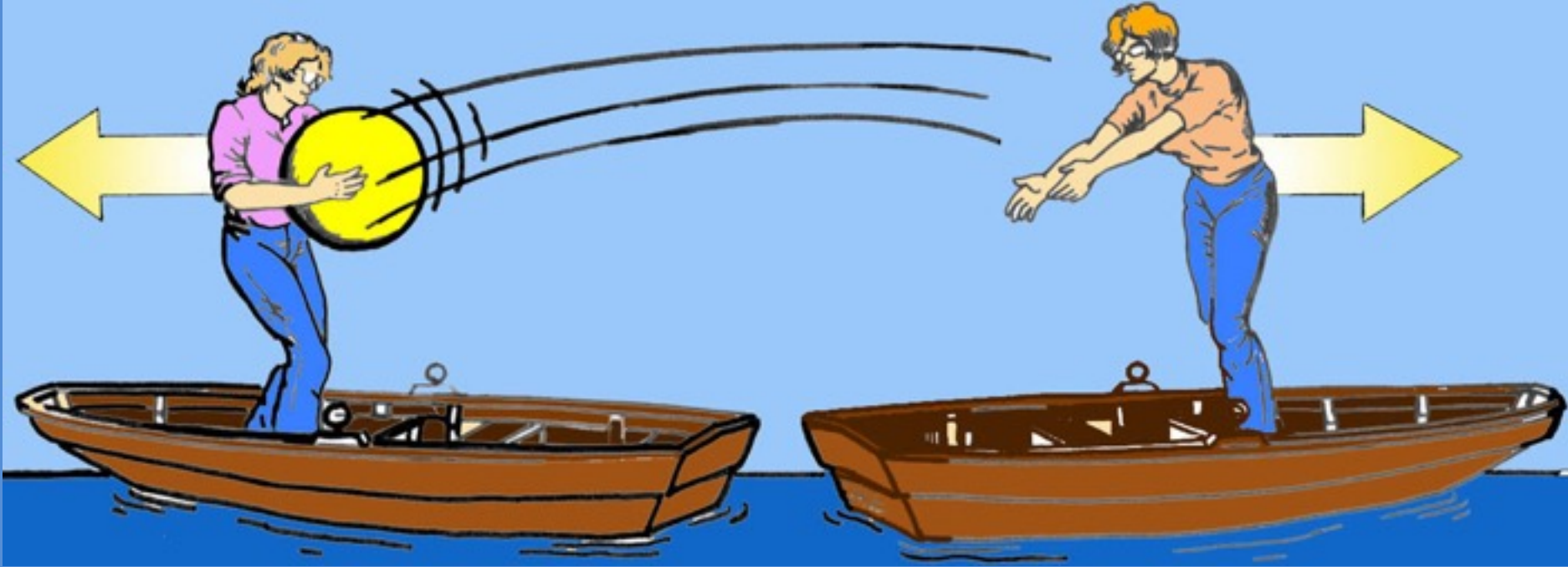


sterke
kernkracht



zwakke
kernkracht

7: Kracht = deeltjes uitwisseling!!

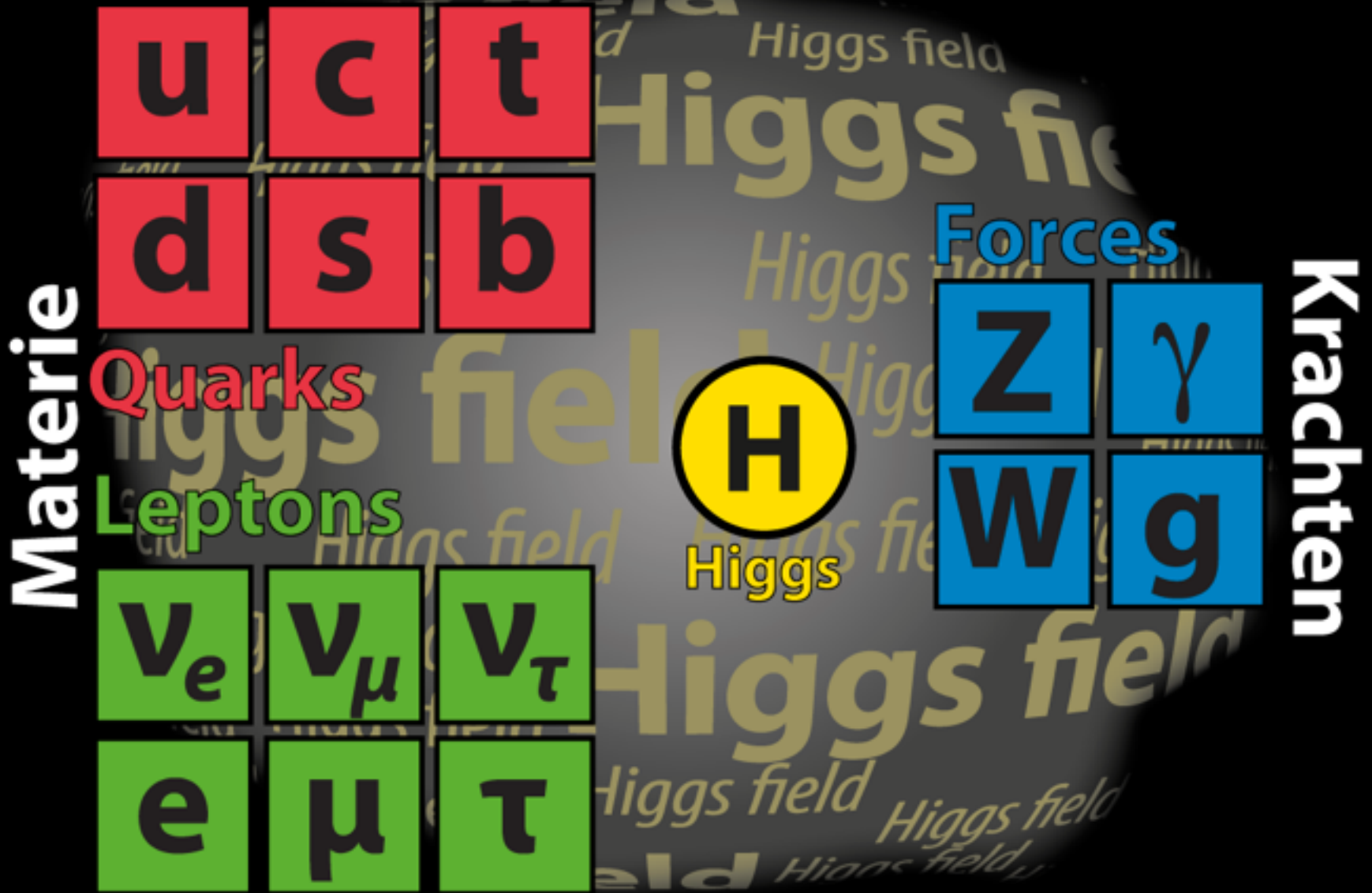


Wat er wordt uitgewisseld noemen we een “quantum” → Quantum Mechanica

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1) Electromagnetisme: Foton γ | 2) Sterke kernkracht: gluon |
| 3) Zwakke kernkracht: W^+, W^-, Z^0 | 4) Zwaartekracht: graviton ?? |

Het quantum van zwaartekracht is nooit aangetoond.

8: Standaard Model van Materie en Krachten



De elementaire deeltjes

Generatie:

	I	II	III	<u>Lading</u>
quarks	u	c	t	$+2/3 e$
	d	s	b	$-1/3 e$
leptons	e	μ	τ	$-1 e$
	ν_e	ν_μ	ν_τ	$0 e$

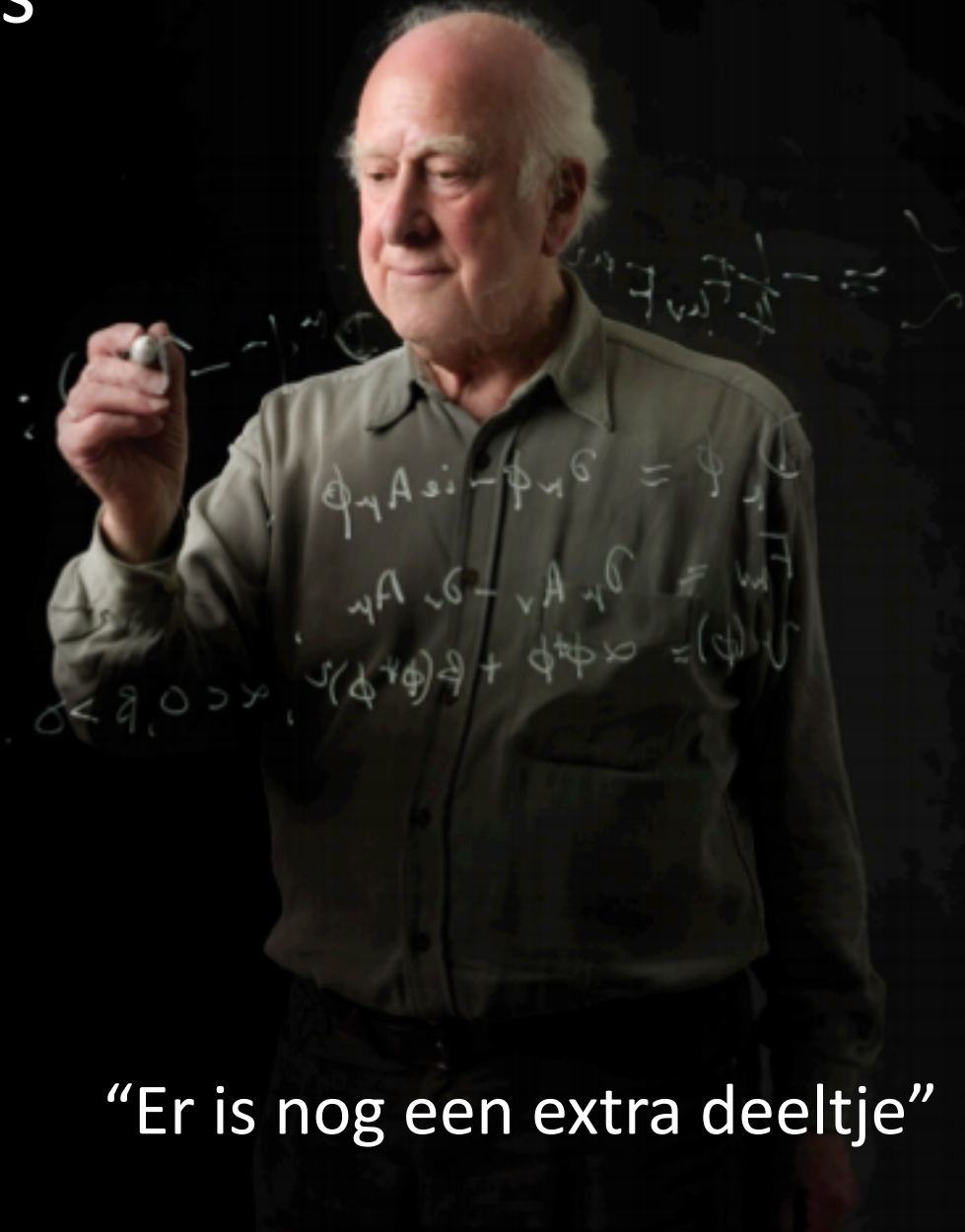
Materie

<u>Lading</u>	I	II	III
$-2/3 e$	\bar{u}	\bar{c}	\bar{t}
$+1/3 e$	\bar{d}	\bar{s}	\bar{b}
$+1 e$	e^-	μ^-	τ^-
$0 e$	$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_\tau$

Anti-materie

9: Massa begrijpen

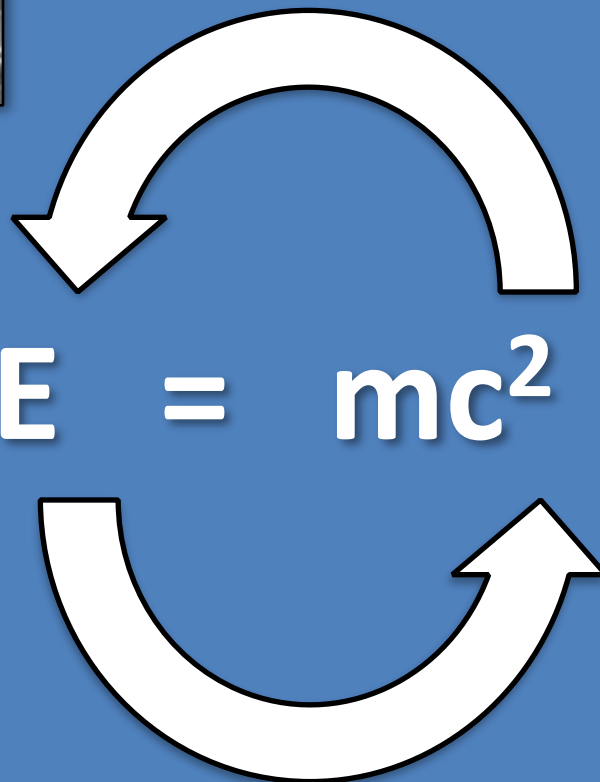
Peter Higgs



“Er is nog een extra deeltje”

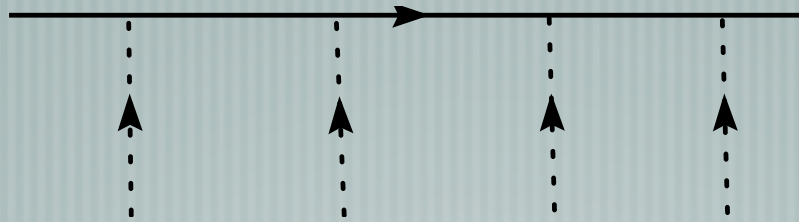


$$E = mc^2$$



Higgs veld en massa

In het heelal zou overal constant Higgs veld zijn.



Deeltjes die het Higgs veld voelen krijgen zo massa.

Gebroken symmetrie veroorzaakt massa!

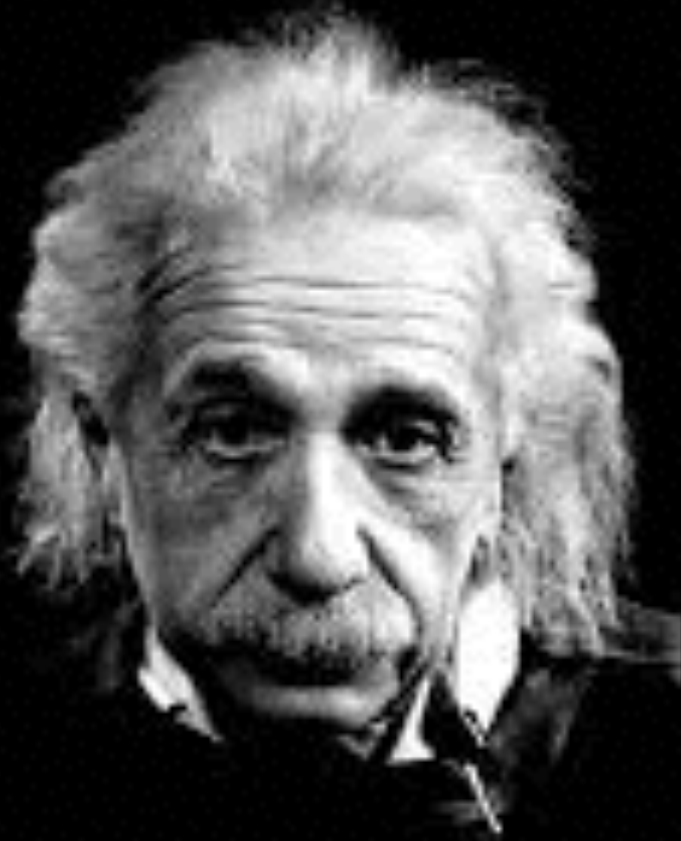


Higgs en supergeleiding

- ▶ De wiskunde van dit “Higgs mechanisme” is vrijwel hetzelfde als bij magnetische afstoting van supergeleider



Is het heelal een kosmische supergeleider?



5: Relativiteitstheorie. Zwarte Gat

Speciale en Algemene relativiteitstheorie

- Speciale (Einstein, 1905)
 - wat gebeurt er als je bijna met de lichtsnelheid gaat?
- Algemene (Einstein, 1917)
 - wat is zwaartekracht, eigenlijk?
- Golven van zwaartekracht, nieuws over heel lang geleden!

Speciale relativiteitstheorie

Quiz: als je reist met bijna de lichtsnelheid

- ▶ Gaat de tijd sneller voor jou dan voor de mensen op aarde (Ja/Nee)
- ▶ Ziet men jouw raket vanaf de aarde als (ingedrukt/uitgerekt)?
- ▶ Wordt je trage massa (van $F=ma$) (groter/kleiner/gelijk)?
- ▶ Zien voorwerpen die op je afkomen er (groener, blauwer, roder) uit.

Quiz: als je reist met bijna de lichtsnelheid

- ▶ Gaat de tijd sneller voor jou dan voor de mensen op aarde (Ja/Nee)
 - Langzamer.
- ▶ Ziet men jouw raket vanaf de aarde als (ingedrukt/uitgerekt)?
 - ingedrukt
- ▶ Wordt je trage massa (van $F=ma$) (groter/kleiner/gelijk)?
 - groter
$$m \rightarrow \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
- ▶ Zien voorwerpen die op je afkomen er (groener, blauwer, roder) uit.
 - Blauwer, door het Doppler Effect

Basis: Optellen van snelheden

- ▶ Bij “lage” snelheden

$$w = u + v$$

- ▶ Relativistisch

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

- ▶ Check: $u=0.9c$ en $v=0.8c$

- Lage snelheid: $w = 1.7c$
- Relativistisch: $w = 0.988372c$

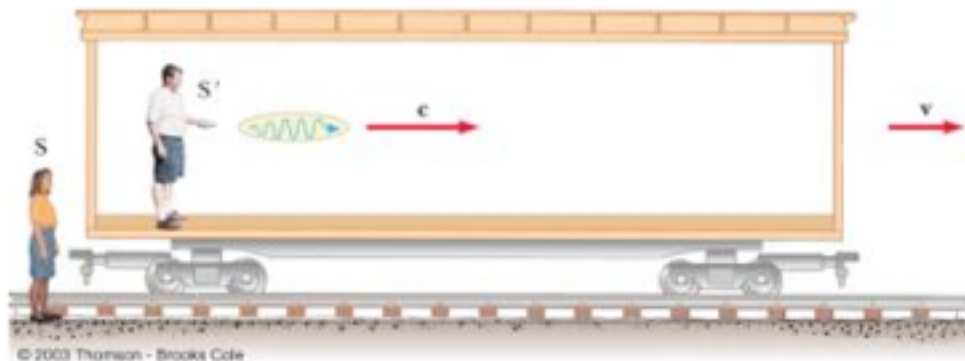
- ▶ Check: $u=c$ en $v=c$

Michelson en Morley (1887)

- ▶ Prachtige mislukking!!
- ▶ Ze wilden de “ether” aantonen, en dat er zoiets als absolute snelheid is.
- ▶ Het bleek: de snelheid van het licht is altijd constant!!

Speciale relativiteit. I

Bizar feit: de lichtsnelheid hang niet van hoe snel de zaklamp gaat



$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Gevolgen (Einstein):

- Snelbewegende klokken gaan langzamer
- Gelijktijdigheid is relatief
- $E = mc^2$, massa = hypergecondenseerde energie

$$t = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

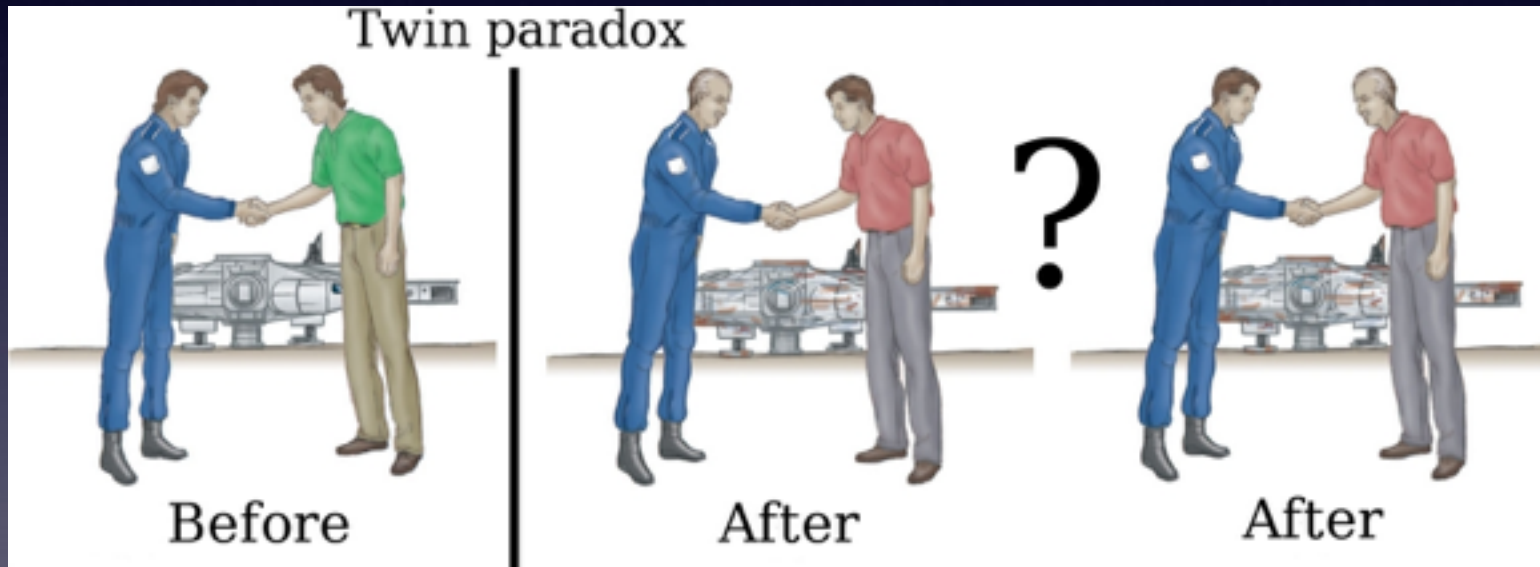
Een muon gemaakt boven in atmosfeer zou normaliter nooit zeeniveau halen. Dankzij factor 7 - 10 levensverlenging wel!

Tijdsvertraging

- ▶ Tijd gaat trager voor snelle dingen
- ▶ Muonen leven echter veel langer
- ▶ Je tweelingbroer, in een raket, kan 1000 jaar langer leven
- ▶ Nu even: Flash app van “lightclock”

Tweelingparadox

- ▶ Eentje blijft op aarde, eentje gaat de ruimte in. Wie is ouder bij terugkomst?



Speciale relativiteit

► Nog een bijproduct

$$E = mc^2$$

$$m = m_{rust} \times \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

► Regels

- Fysicawetten moet hetzelfde in verschillend inertiaalstelsels
- Lichtsnelheid is constant in alle inertiaalstelsels

Algemene relativiteitstheorie

GR (General Relativity)

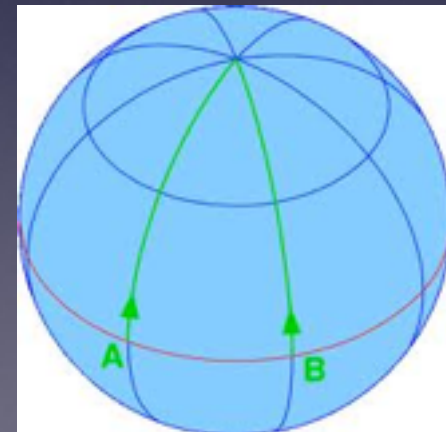
▶ Einstein's triomf in 1917, na jarenlang werken, en een heel nieuwe taal leren: differentiaalmeetkunde

▶ Meetkunde:

- lijnen, cirkels, krommen etc, getekend op het platte vlak
- twee parallelle lijnen blijven altijd parallel lopen

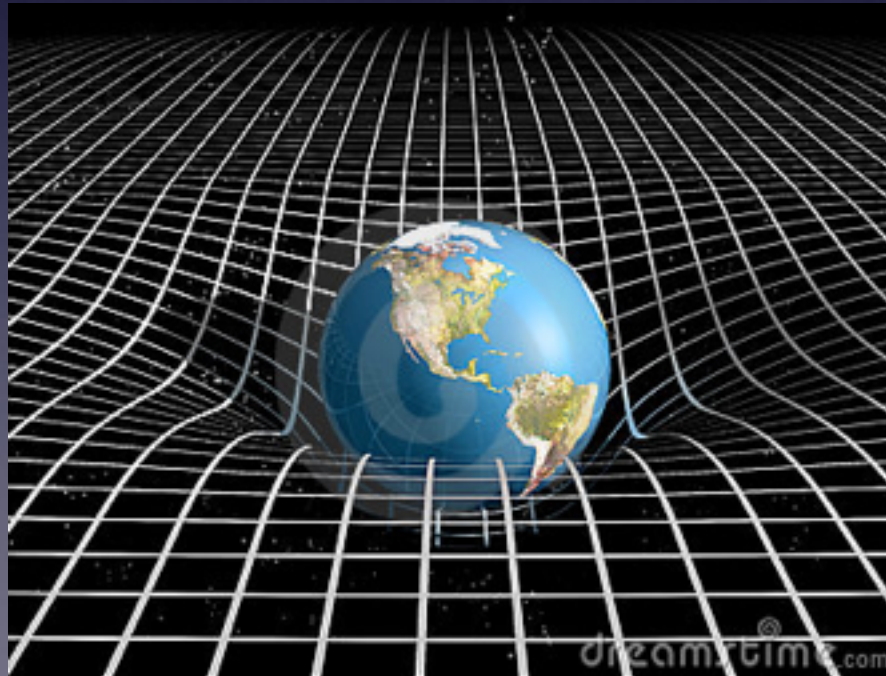
▶ Meetkunde:

- Niet noodzakelijk op gekromde ruimten
- Kracht?



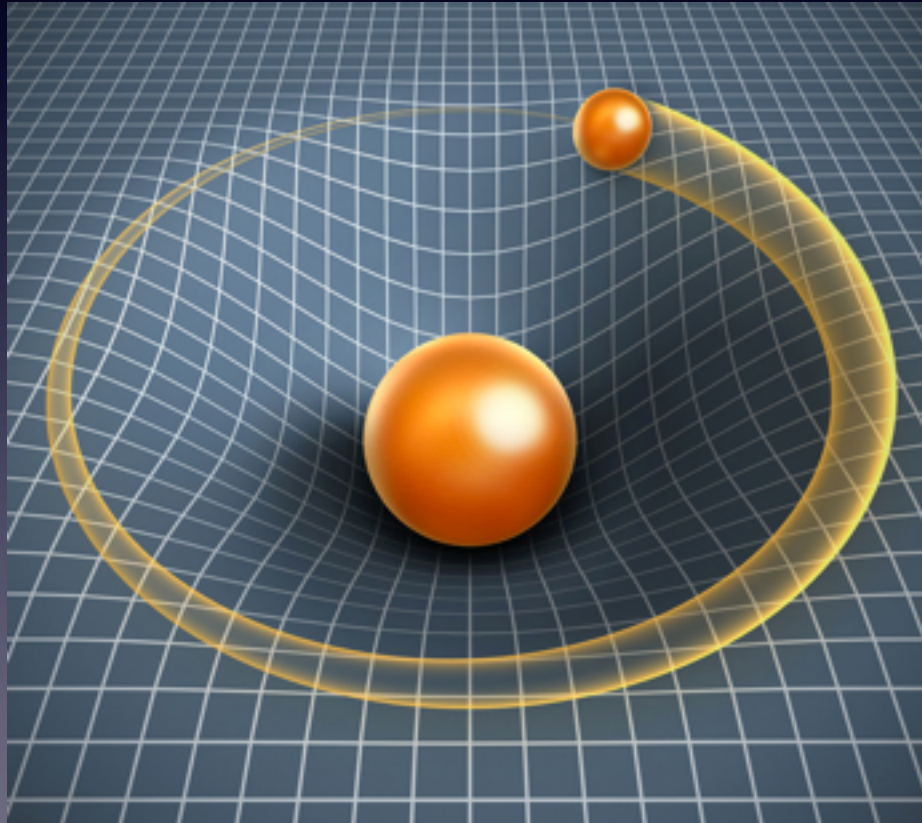
Wat is zwaartekracht?

- ▶ Je denkt er bijna niet meer over, het is zo gewoon (niet voor astronauten zoals Andre Kuipers)
- ▶ Uitwisseling van gravitonen? Misschien, nog nooit gezien.
- ▶ Einstein: vervorming van de ruimte !!



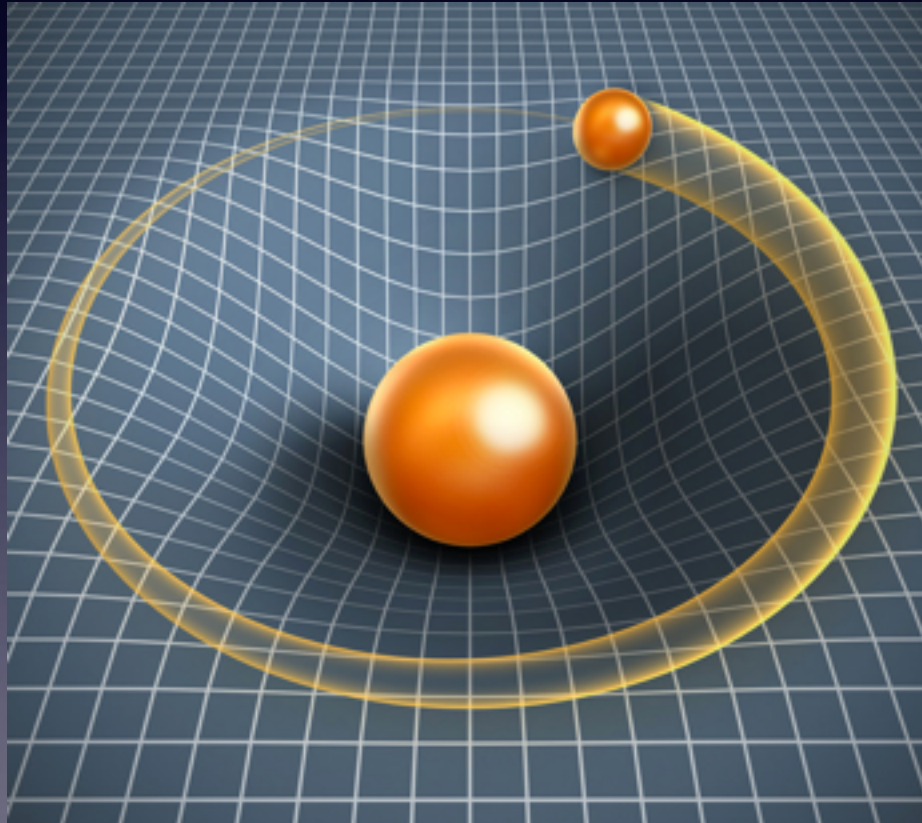
Wat is zwaartekracht?

- ▶ Vervorming van de ruimte veroorzaakt aantrekkingskracht



Wat is zwaartekracht?

- ▶ Metriek: $g_{\mu\nu}$ is vervormd



Wat is zwaartekracht?

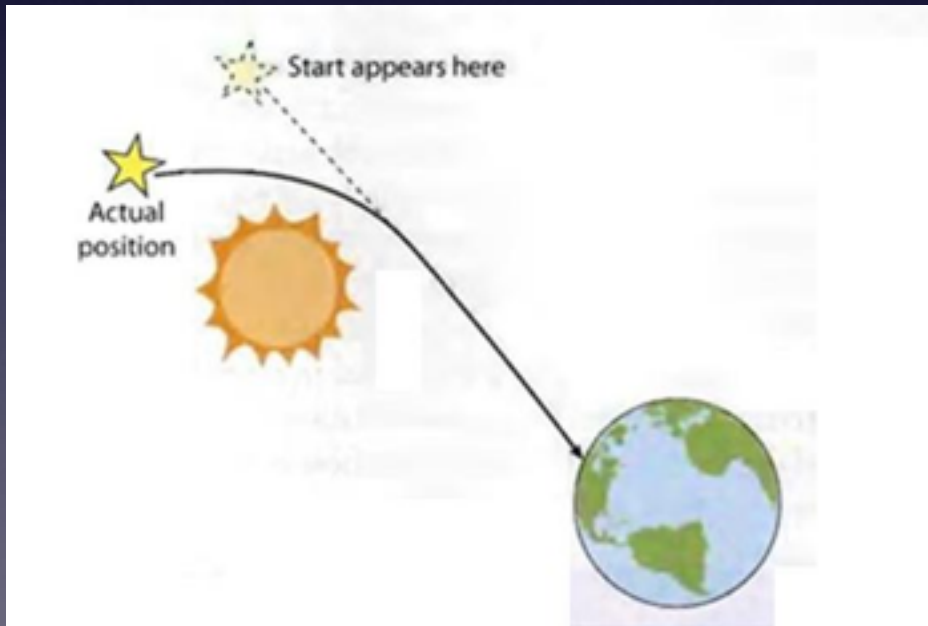
- ▶ Einstein vergelijking voor vervorming van de ruimte !!

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = T_{\mu\nu}$$

- ▶ Links: de ruimtetijd vervorming
- ▶ Rechts: de oorzaak (massa en/of energie)

Klopt het?

- ▶ Expeditie in 1919 naar totale zonsverduistering (Principe eiland, ter hoogte West-Africa)



LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS
Special Cable to THE NEW YORK TIMES.
New York Times 1857; Nov 10, 1919; ProQuest Historical Newspapers The New York Times (1851 - 2004)
p. 17

LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

Men of Science More or Less
Agog Over Results of Eclipse
Observations.

EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

Stars Not Where They Seemed
or Were Calculated to be,
but Nobody Need Worry.

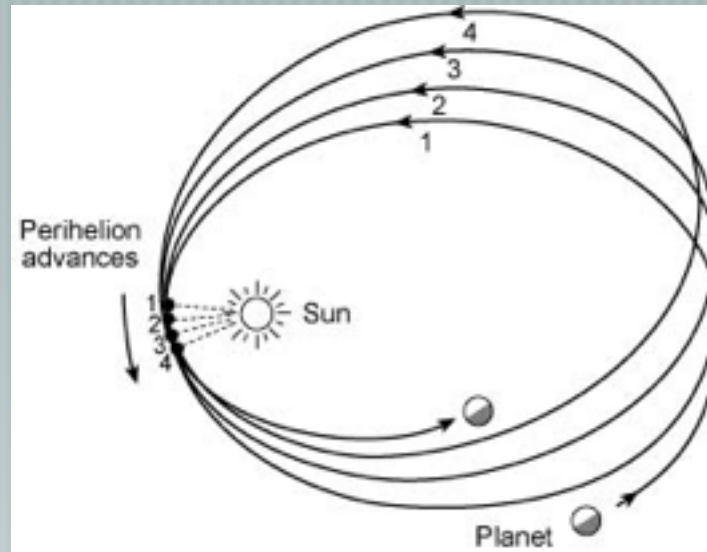
A BOOK FOR 12 WISE MEN

No More in All the World Could
Comprehend It, Said Einstein When
His Daring Publishers Accepted It.

New York Times headline of
November 10, 1919.

CLOSE X

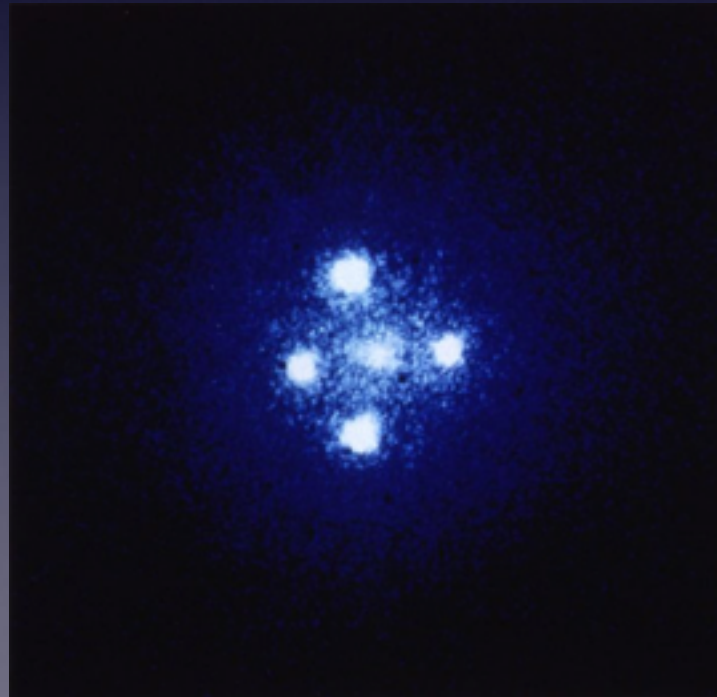
Test: perihelium van Mercurius



<i>Hoeveelheid boogsecond/eeuw</i>	<i>Oorzaak</i>
531.63 \pm 0.6 [4]	Gravitational tugs of the other planets
0.0254	Oblateness of the Sun (quadrupole moment)
42.98 \pm 0.0 [5]	General relativity
574.64 \pm 0.69	Total
574.10 \pm 0.6 [4]	Observed

Veel andere tests kloppen

- ▶ Belangrijk nu voor je mobieltje!
- ▶ Gekromde ruimte kan als lens werken:
- ▶ Gravitatie lenzen al veel gezien



Extreme zwaartekracht: zwarte gaten

- ▶ Afstand maat (metriek), Pythagoras

$$c^2 = a^2 + b^2$$

- ▶ Pad van deeltje met constante snelheid

$$x^2 - (vt)^2 = c$$

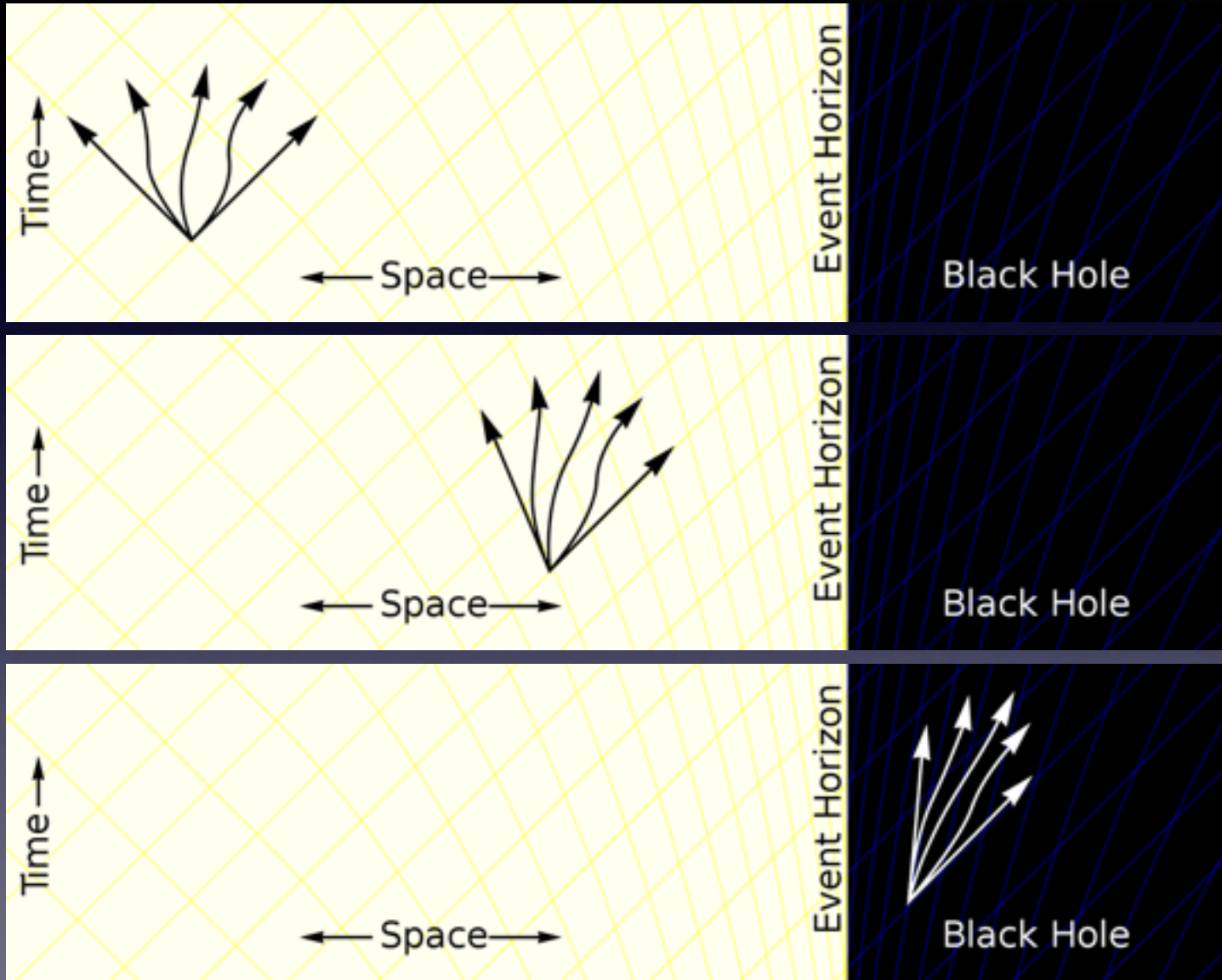
- ▶ Afstand maat in buurt van zwart gat

$$\frac{1}{1 - \frac{2Gm}{c^2x}}x^2 - c^2\left(1 - \frac{2Gm}{c^2x}\right)t^2 = c$$

- ▶ Zelfs licht kan niet ontsnappen (zwaartekracht werkt op energie want dat is hetzelfde als massa), voorbij de “horizon”

- ▶ Vele vragen hierover, en heel veel onderzoek

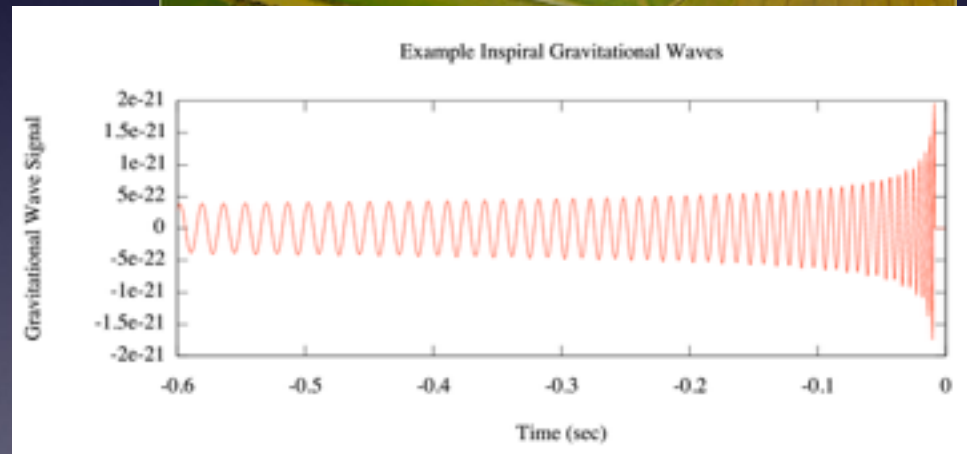
Deeltjes kunnen binnen de horizon niet ontsnappen



Zwaartekrachtsgolven zouden er ook moeten zijn



Detector: VIRGO (Italie)



- ▶ Passerende zwaartekracht golf verandert de lengte van 1 arm
- ▶ Geeft interferentie patroon, heel gevoelig

Vandaag

- Einstein's speciale relativiteit
 - Met grote snelheid zien ruimte en tijd er anders uit
- Einstein's algemene relativiteit
 - Zwaartekracht als gekromde ruimte
 - Golven van zwaartekracht, zwarte gaten
- Quantum zwaartekracht golfjes:
 - bron van (clusters van) sterrenstelsels