



De rare wereld van elementaire deeltjes en de open mysteries

Ivo van Vulpen (UvA/Nikhef)

28 november 2015 New Scientist

Relativiteitstheorie

Higgs boson

detectoren

Quantummechanica

Donkere
materie

Extra dimensies

Neutrino's

deeltjesversnellers



Oude Griek



Nieuwe Griek

WE SNAPPEN ER HELEMAAL NIKS VAN

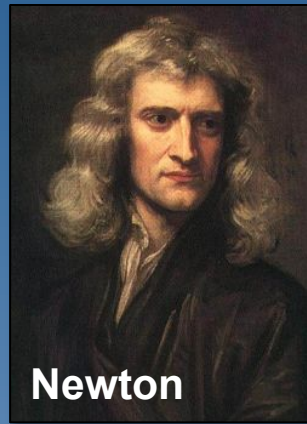
- 1) Hoe is de ruimte-tijd begonnen ?
- 2) Hoe groot is het heelal ?
- 3) Hoe zet het heelal uit ?
- 4) Wat is de donkere materie ?
- 5) Microscopische structuur ruimte-tijd ?



Van mechanica naar quantummechanica

Rare spelregels

Waarom valt een
appel naar beneden ?



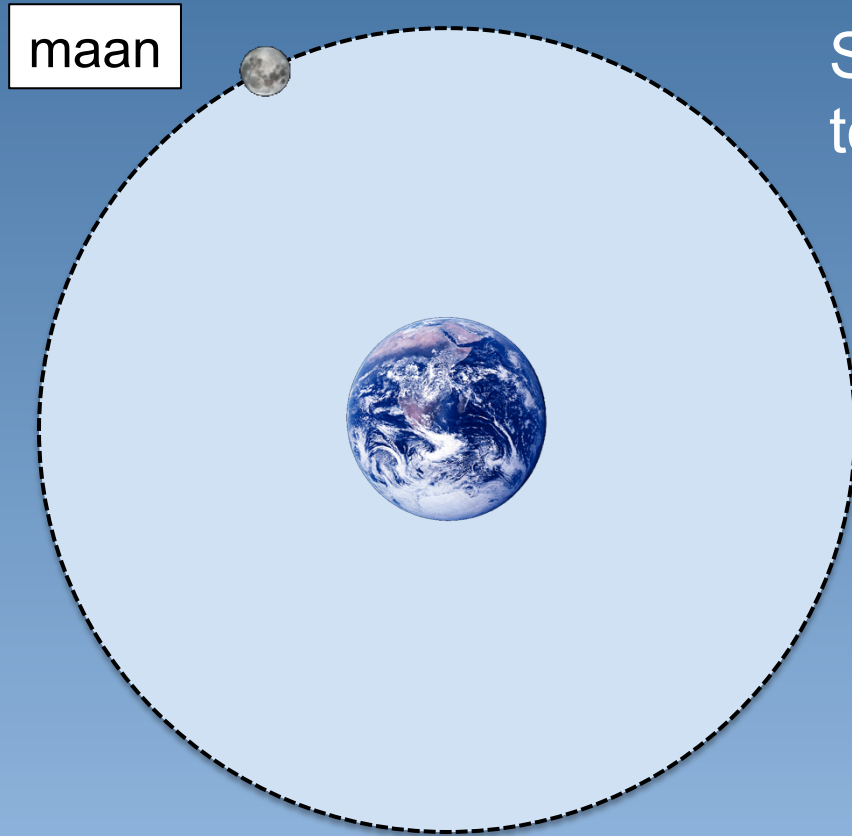
massa's trekken elkaar aan

$$F = G_N \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

*Maar **waarom** trekken twee
massa's elkaar dan aan ?*



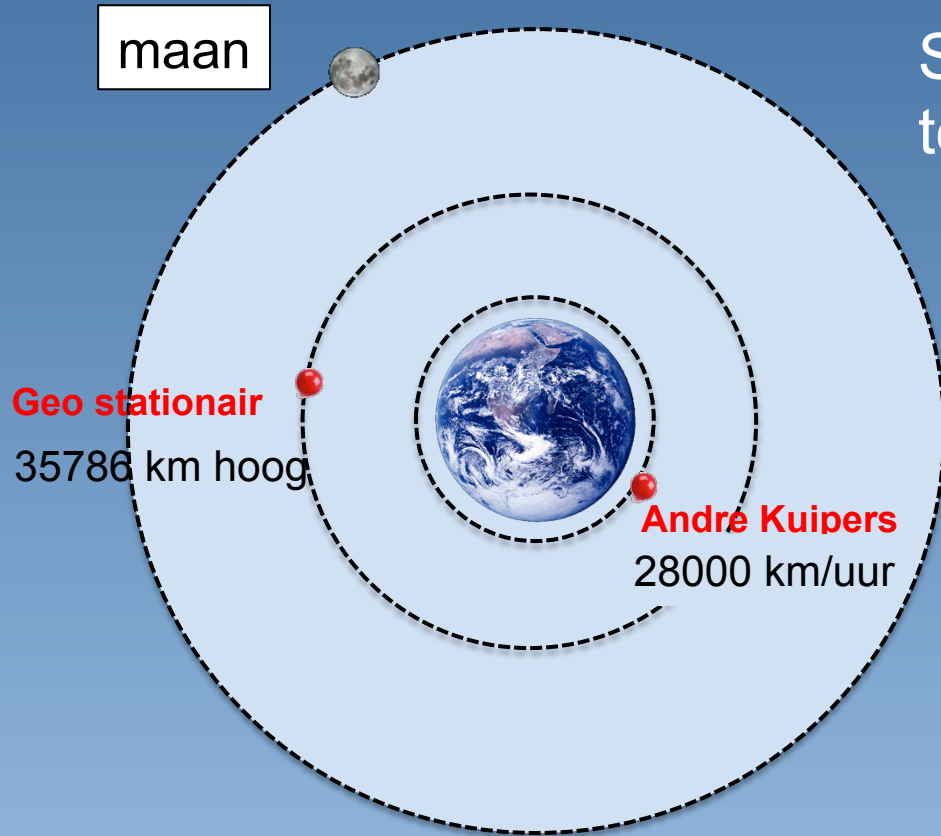
Zwaartekracht



Snelheid hangt af van de afstand tot de aarde

$$v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$$

Zwaartekracht



Snelheid hangt af van de afstand tot de aarde

$$v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$$

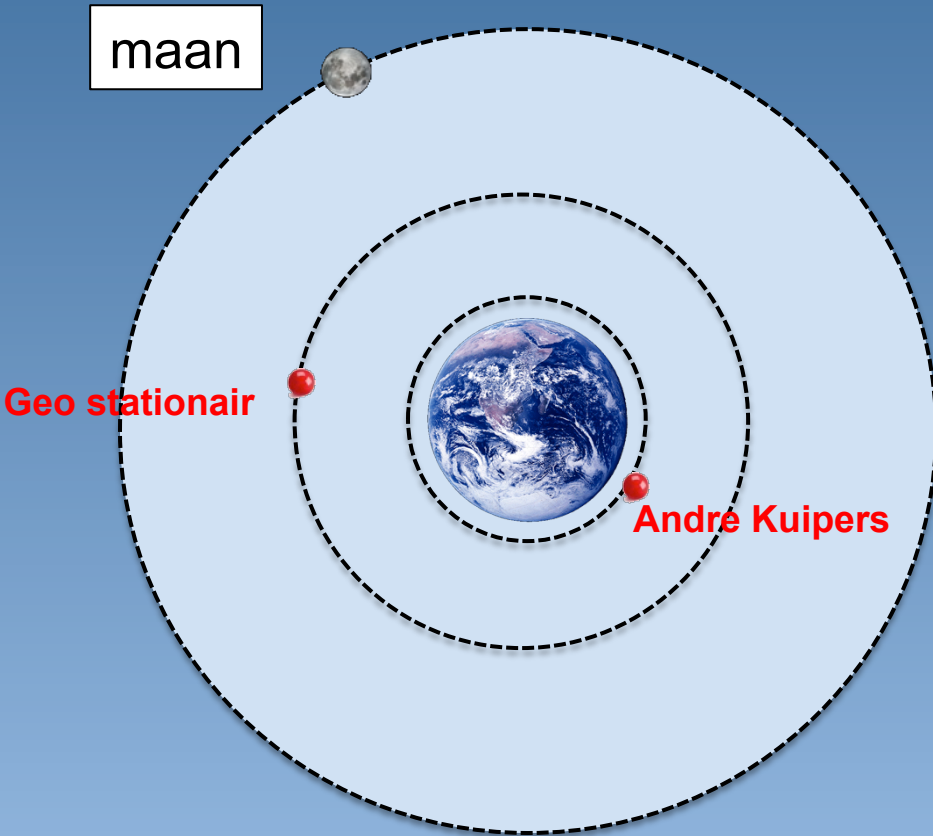
satelliet (pioneer/ISS)



$$\ddot{\mathbf{r}}_i = \sum_{j \neq i} \frac{\mu_j (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i)}{r_{ij}^3} \left(1 - \frac{2(\beta + \gamma)}{c^2} \sum_{k \neq i} \frac{\mu_k}{r_{ik}} - \frac{2\beta - 1}{c^2} \sum_{k \neq j} \frac{\mu_k}{r_{jk}} - \frac{3}{2c^2} \left[\frac{(\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i) \dot{\mathbf{r}}_j}{r_{ij}} \right]^2 + \frac{1}{2c^2} (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i) \ddot{\mathbf{r}}_j - \frac{2(1 + \gamma)}{c^2} \dot{\mathbf{r}}_i \dot{\mathbf{r}}_j + \right. \\ \left. + \gamma \left(\frac{v_i}{c} \right)^2 + (1 + \gamma) \left(\frac{v_j}{c} \right)^2 \right) + \frac{1}{c^2} \sum_{j \neq i} \frac{\mu_j}{r_{ij}^3} \left([\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j] \cdot [(2 + 2\gamma) \dot{\mathbf{r}}_i - (1 + 2\gamma) \dot{\mathbf{r}}_j] \right) (\dot{\mathbf{r}}_i - \dot{\mathbf{r}}_j) + \frac{3 + 4\gamma}{2c^2} \sum_{j \neq i} \frac{\mu_j \ddot{\mathbf{r}}_j}{r_{ij}} \quad (3)$$

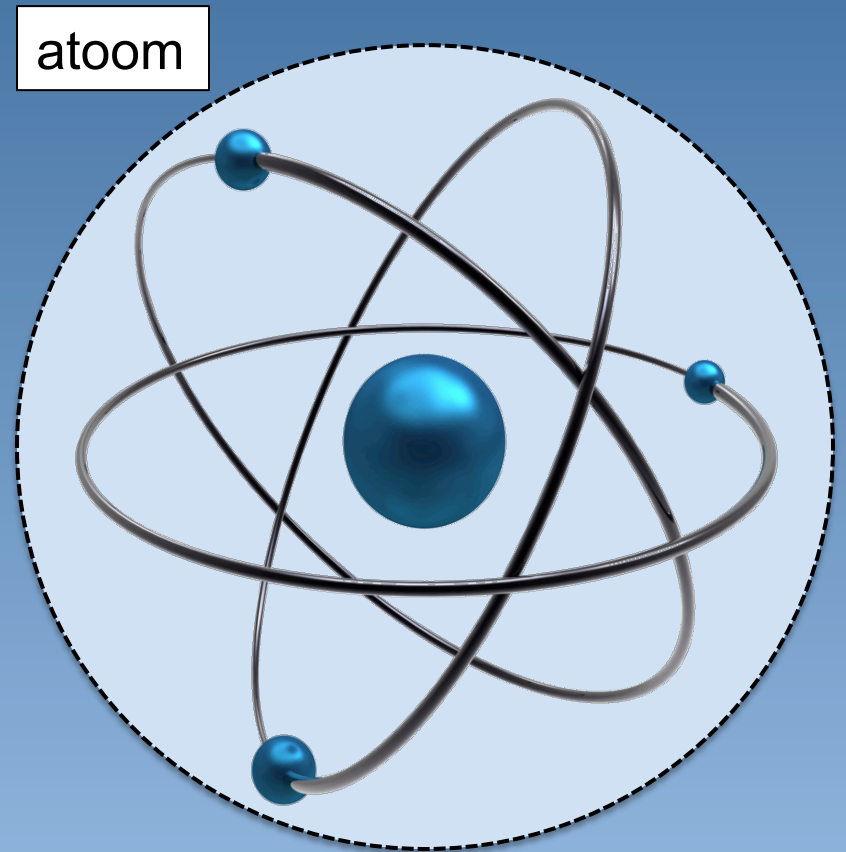
Gouden medaille en applaus, maar nog steeds geen idee waarom 2 massa's elkaar aantrekken

De grote wereld



400.000 kilometer

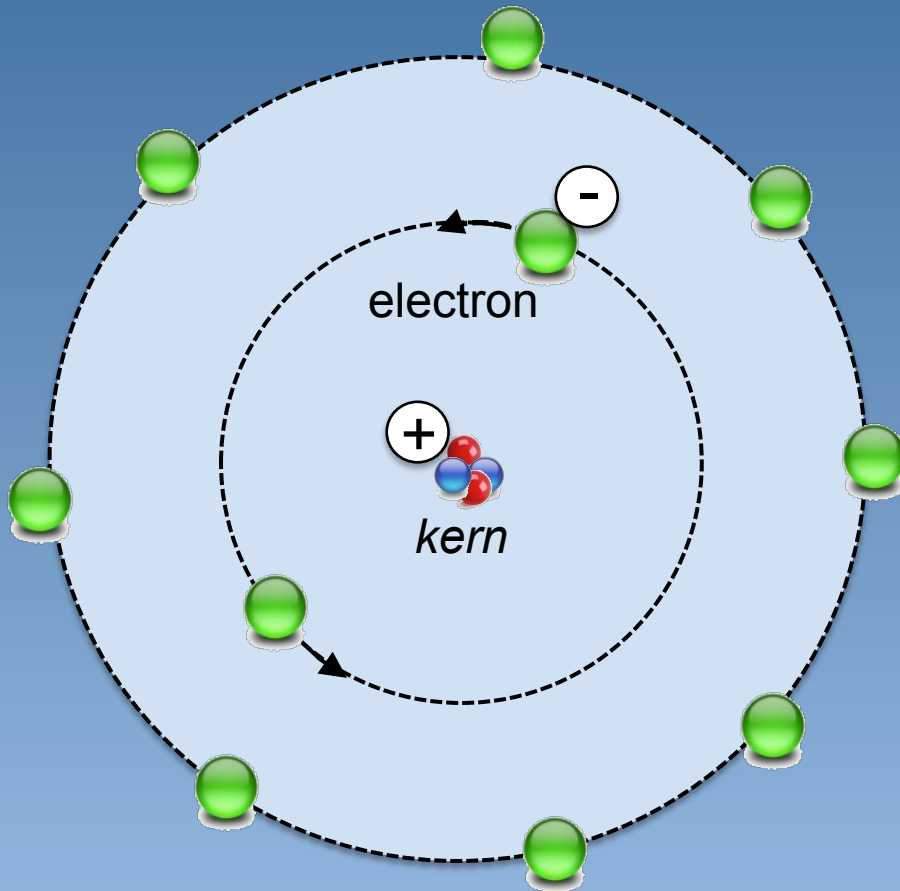
De kleine wereld



atoom

< 1 miljardste meter

De atoomwereld



onbegrepen observaties

- electronen vallen niet op de kern
- vaste banen (n)

$$r_n = 1, 4, 9, 16, \dots$$

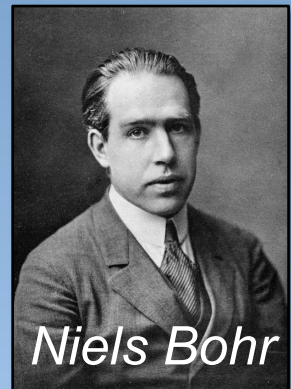
$$E_n = \frac{-13.6}{1}, \frac{-13.6}{4}, \frac{-13.6}{9}, \frac{-13.6}{16}, \dots$$

Nieuwe spelregel:

$$L = mvr = n\hbar$$

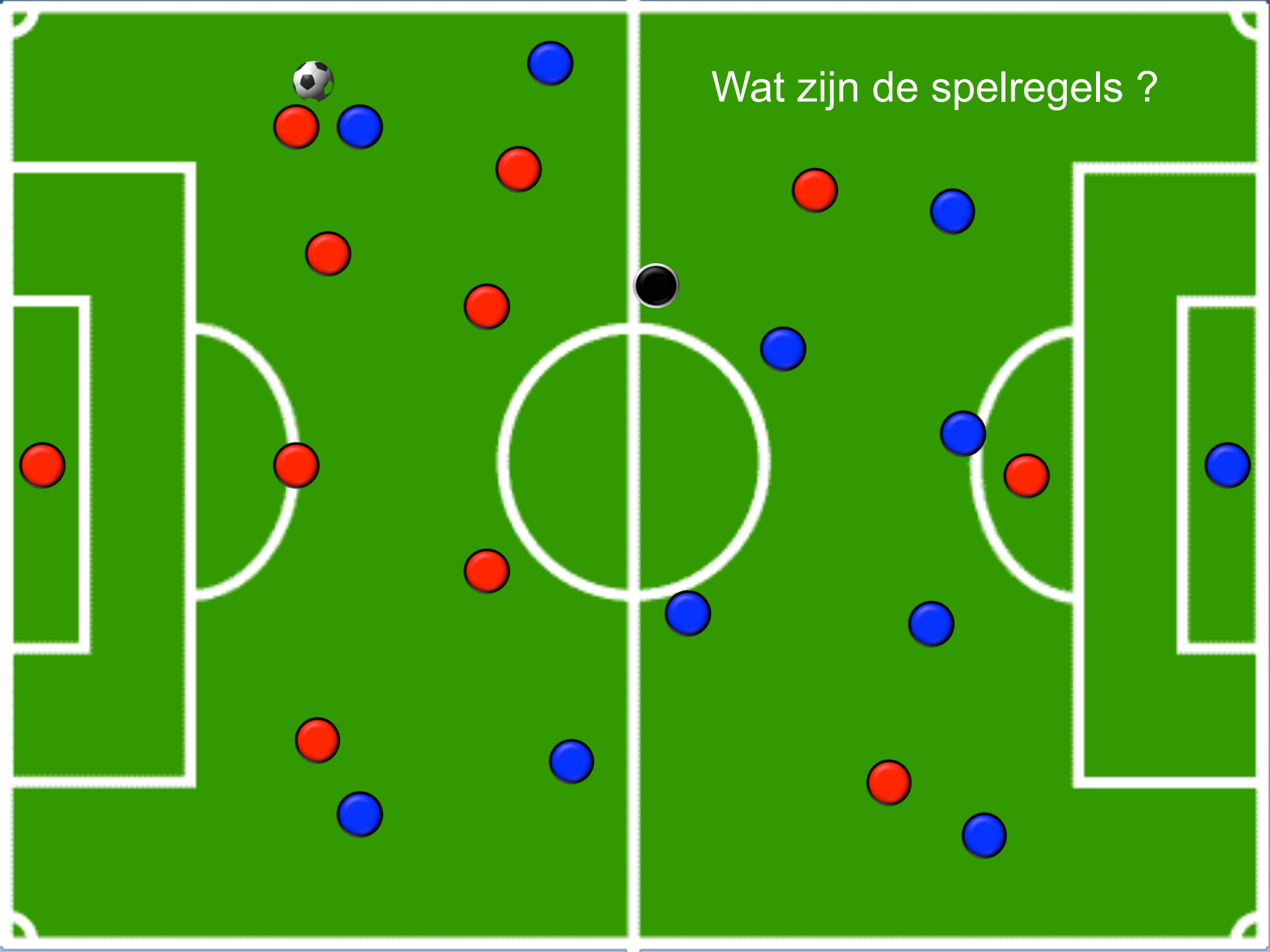
$$\hbar, 2\hbar, 3\hbar, \dots$$

Quantum-mechanica



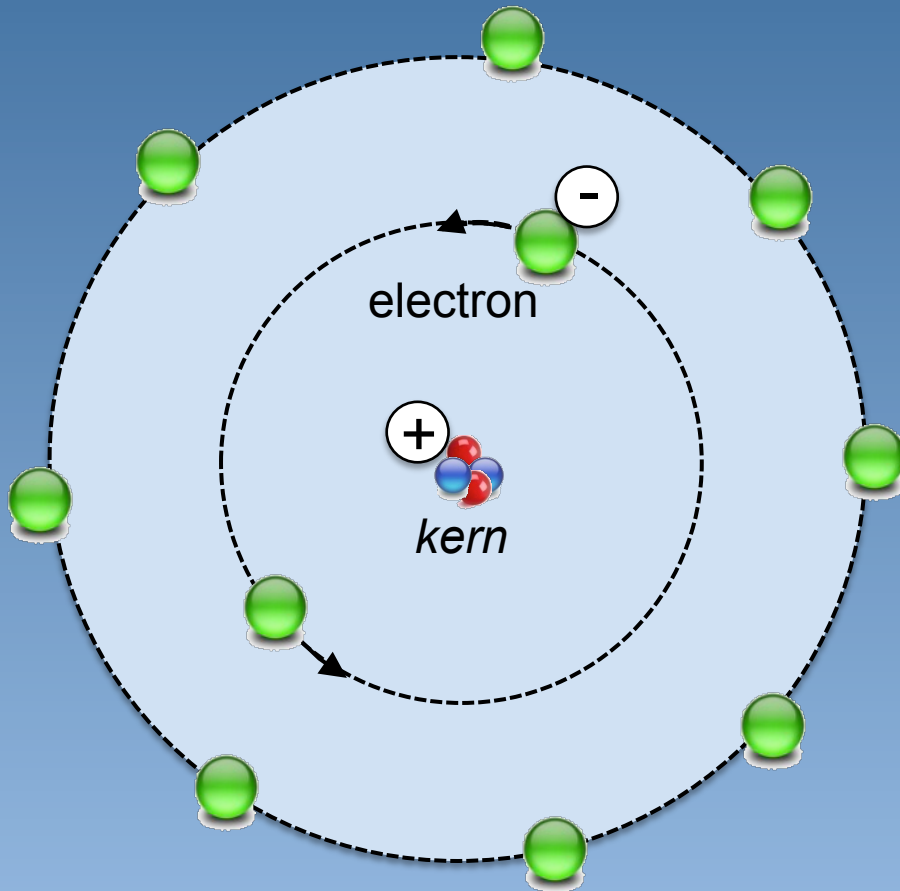
Niels Bohr

Wat zijn de spelregels ?



De atoomwereld

'voorspellingen'



- electronen vallen niet op de kern
- vaste banen (n)

$$r_n = \boxed{1} \quad 4, \quad 9, \quad 16, \dots$$

$$E_n = \frac{-13.6}{1}, \quad \frac{-13.6}{4}, \quad \frac{-13.6}{9}, \quad \boxed{-13.6}, \quad \dots$$

Afstand

$$r_1 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{e^2 m_e}$$

$$= 5.29177 \times 10^{-11} \text{ m}$$

Energie

$$E_1 = -\frac{e^4 m_e}{2(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2}$$

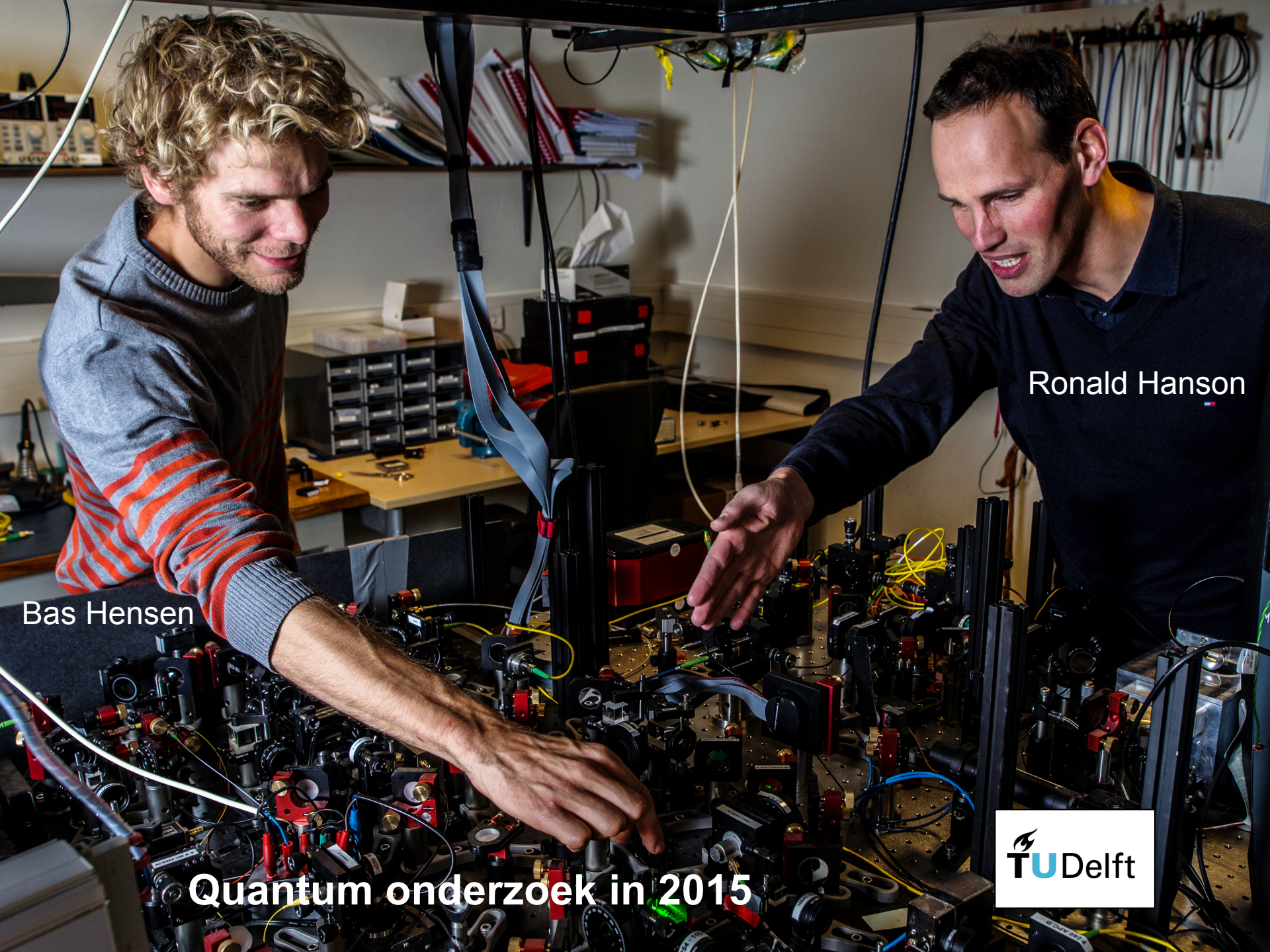
$$= -13.6 \text{ eV}$$

Quantummechanica

Deeltjes zijn op meerdere plekken tegelijk !



Gouden medaille en applaus, maar nog steeds geen idee waarom sommige grootheden gequantiseerd zijn.



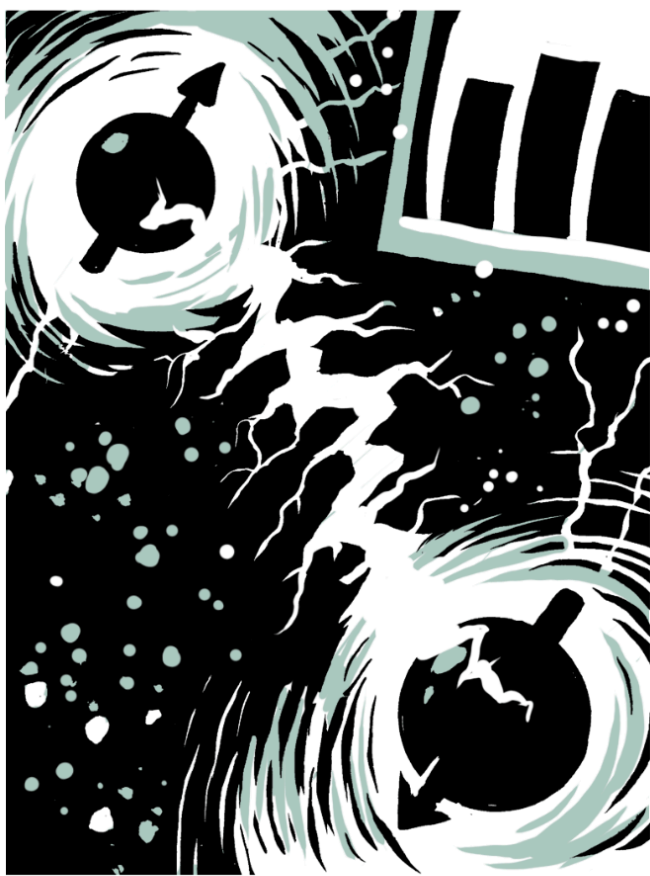
Bas Hensen

Ronald Hanson

Quantum onderzoek in 2015



Het spook van Einstein (Volkskrant)



HALF JULI IS HET ZOVER. NA DRIE WEKEN METEN STAAT VAST DAT DE QUANTUMDEELTJES ELKAAR OP KILOMETERS AFSTAND VOELEN, SNELLER DAN HET LICHT.

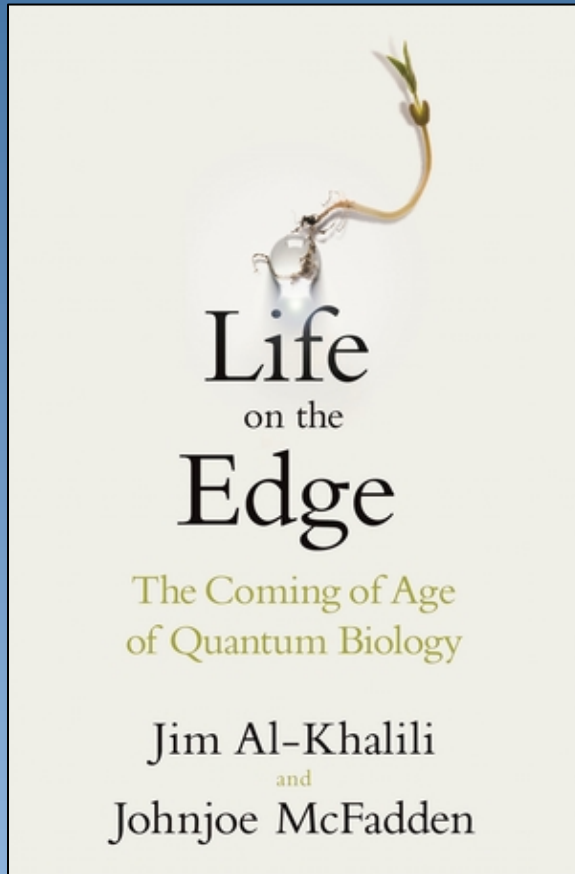


HET BEWIJS IS GELEVERD: HET SPOOK DAT *EINSTEIN* ZO VREESDE BESTAÁT.

Hoe kan informatie sneller reizen dan het licht ? Missen we iets ?



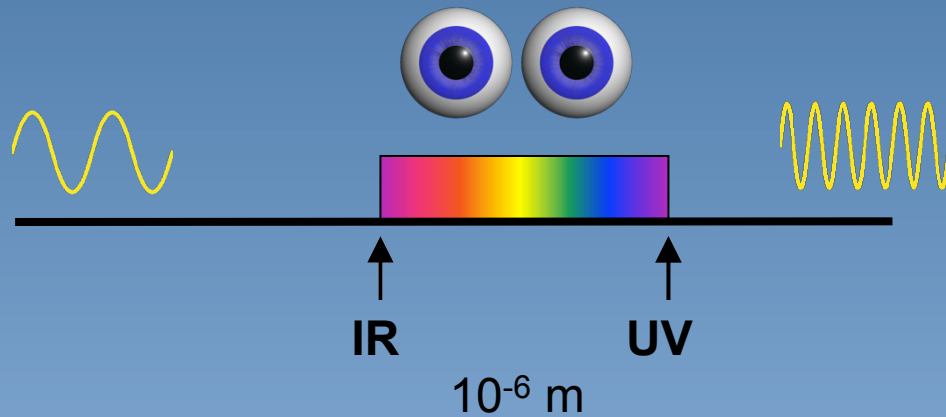
Quantummechanica is (misschien) overal



Hoe onderzoek je eigenlijk de wereld van het allerkleinste ?

Afketsende deeltjes en zelf deeltjes maken

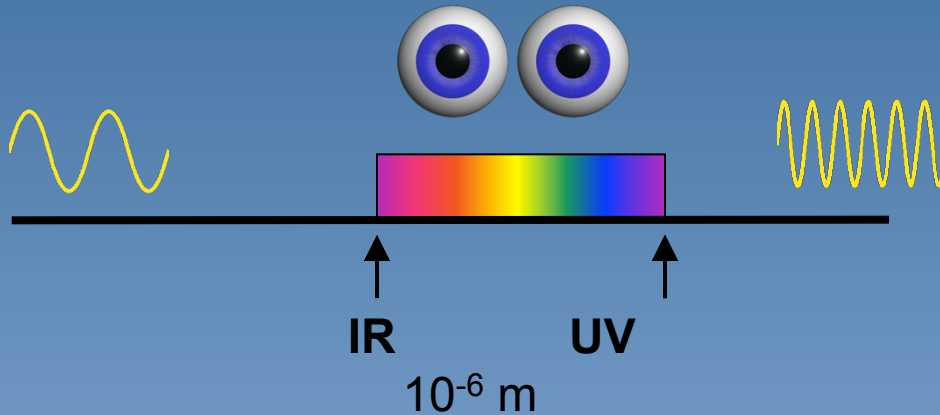
Hoe zien we de wereld om ons heen ?



Onze ogen zien afgeketste lichtdeeltjes: intensiteit en kleur

1] Kijken met licht

Licht verstrooit aan objecten die groter zijn dan zijn golflengte

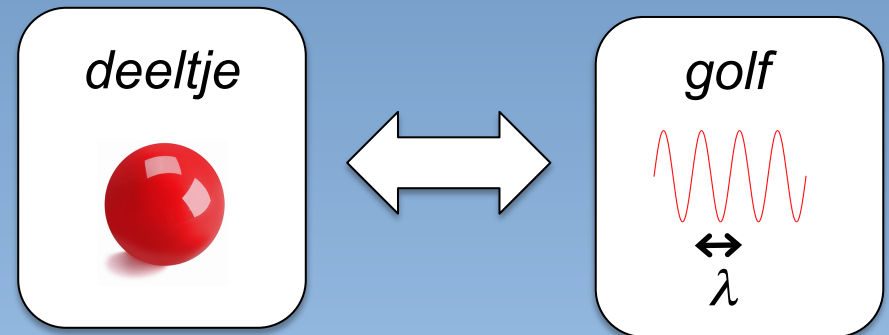


Met je oog kan je niks zien dat kleiner is dan 10⁻⁶ m

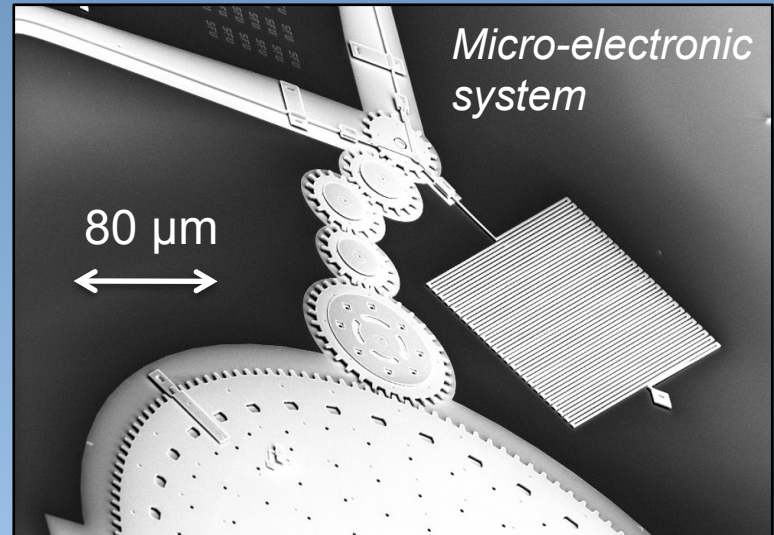
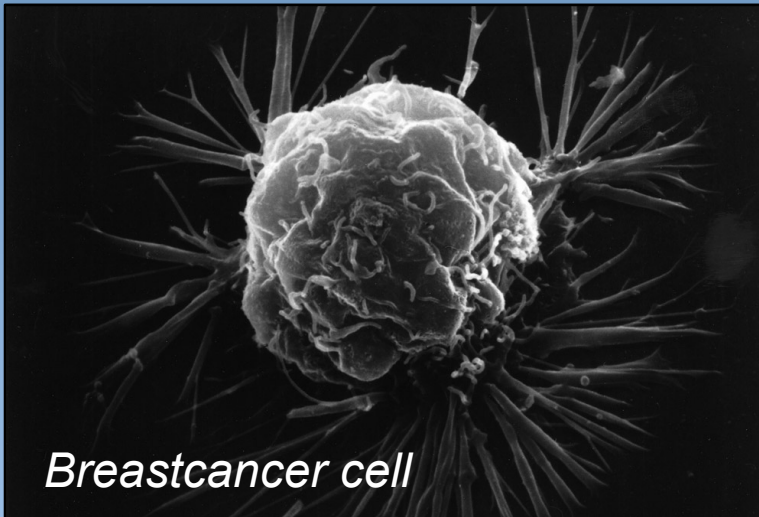
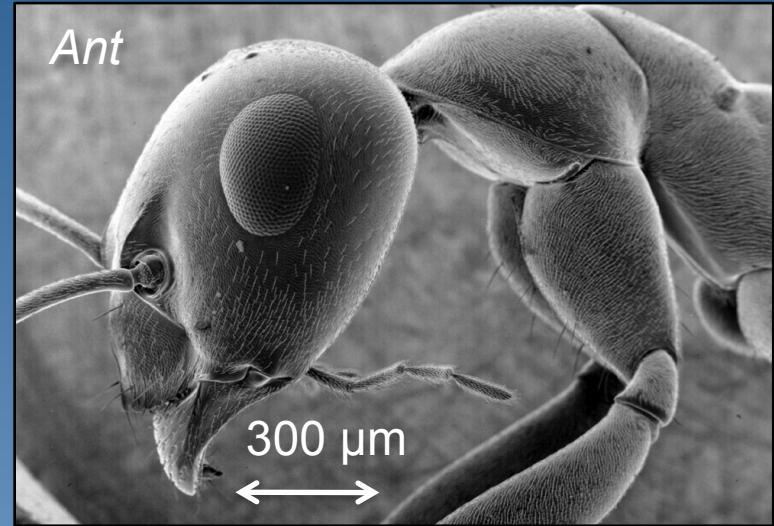
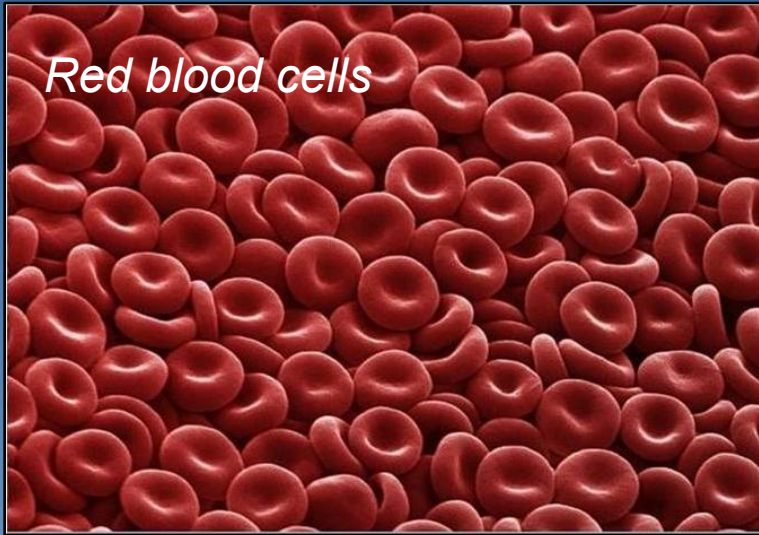
2] Kijken met deeltjes

Deeltjes zijn ook golven

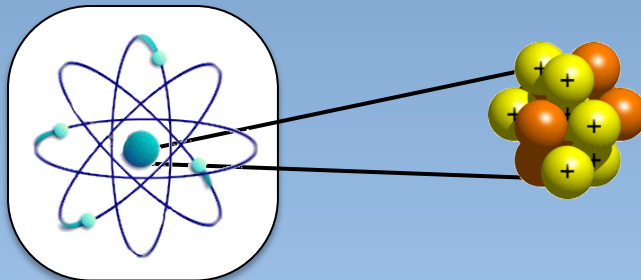
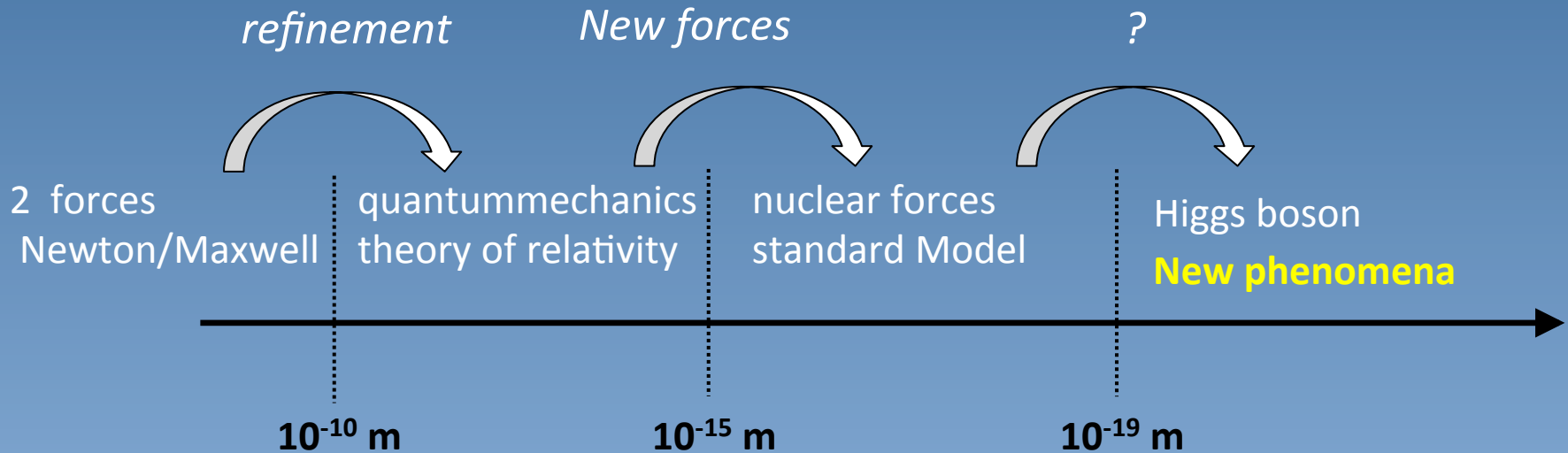
zichtbaar licht: 10⁻⁷ [m]
wereldrecord: 10⁻²⁰ [m]



Energie hoger \rightarrow λ kleiner

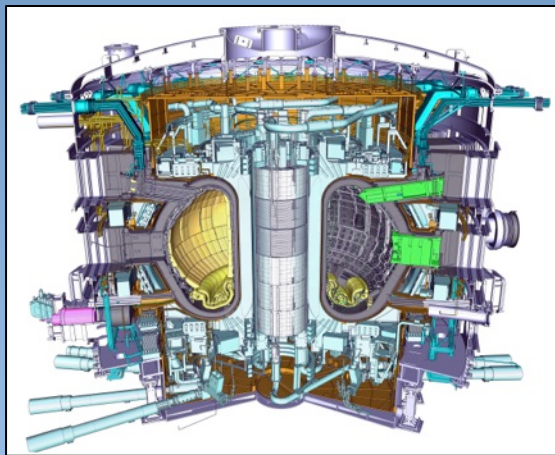
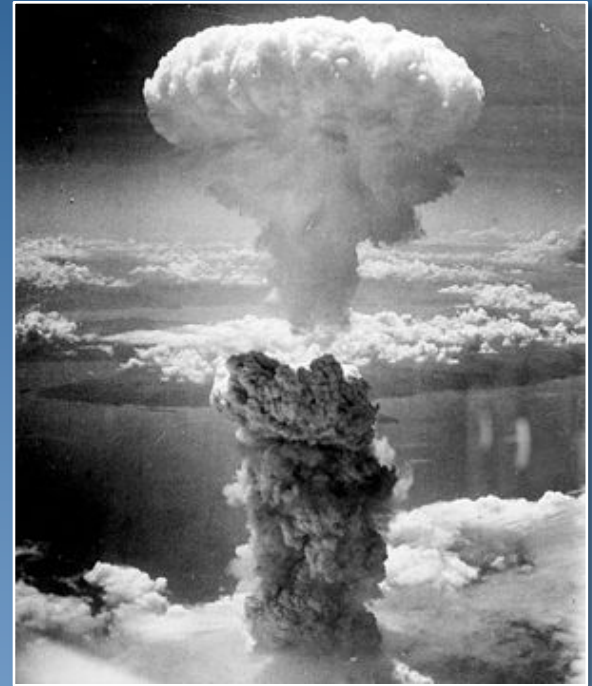


Honderd jaar fundamentele natuurkunde





Kernkrachten



ITER (fusieractor)



De elementaire deeltjes



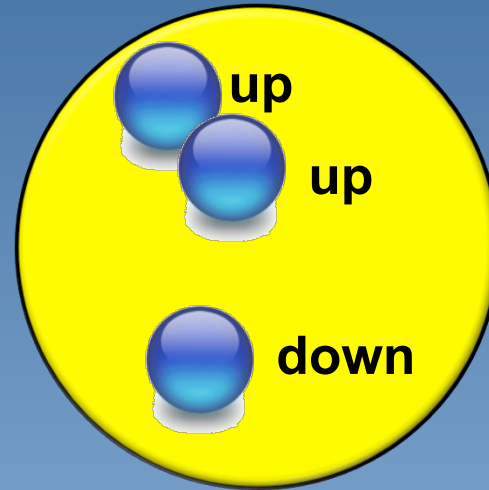
up-quark



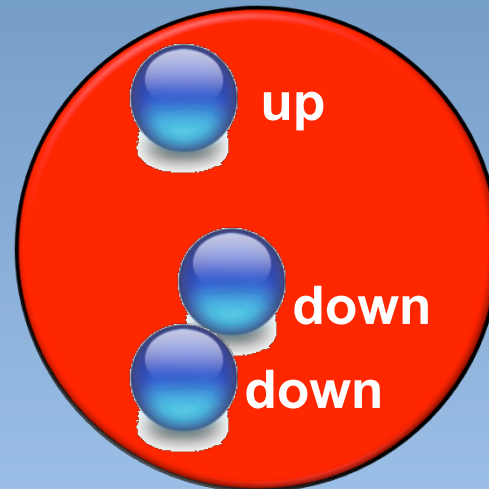
down-quark



elektron



Proton



Neutron

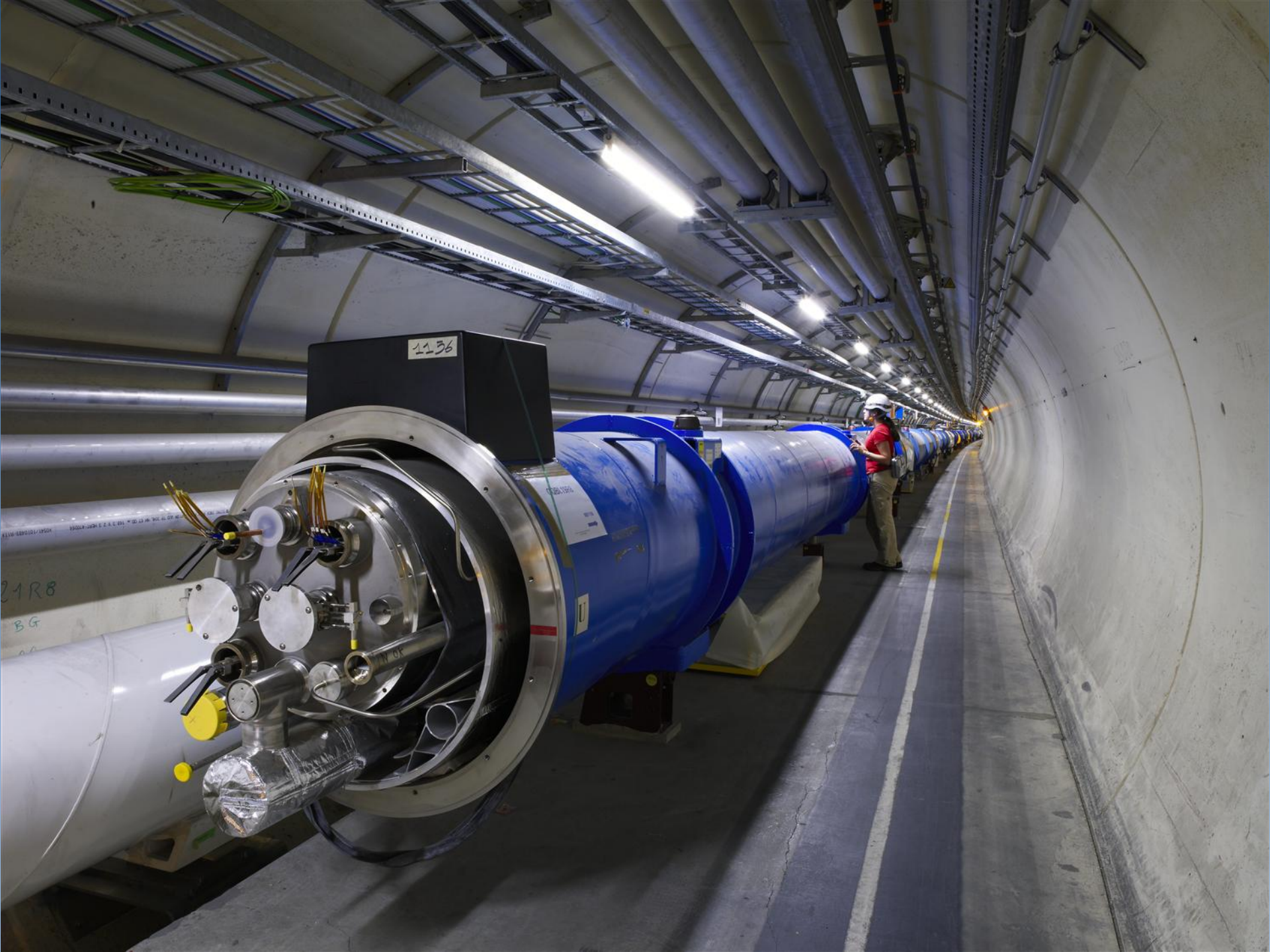
Standaard Model

*Er blijken meer deeltjes te zijn
... en die kan je zelf maken*



The Large Hadron Collider (LHC)
at CERN near Geneva

Wereldrecord 10^{-20} [m]

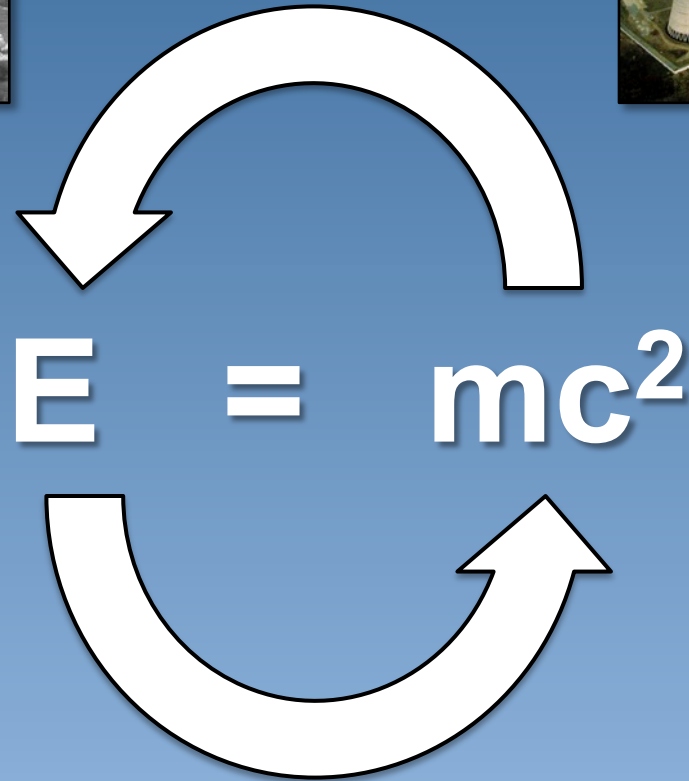


1136

21R8

BG

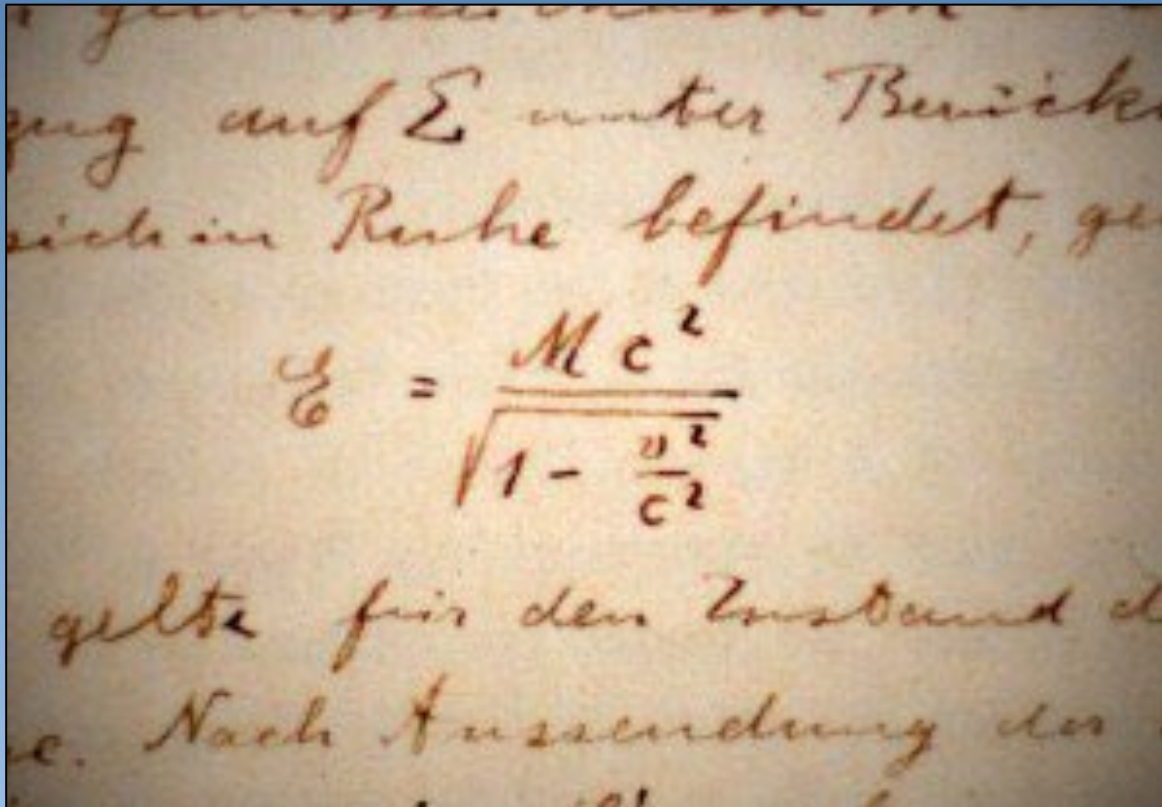
W 01

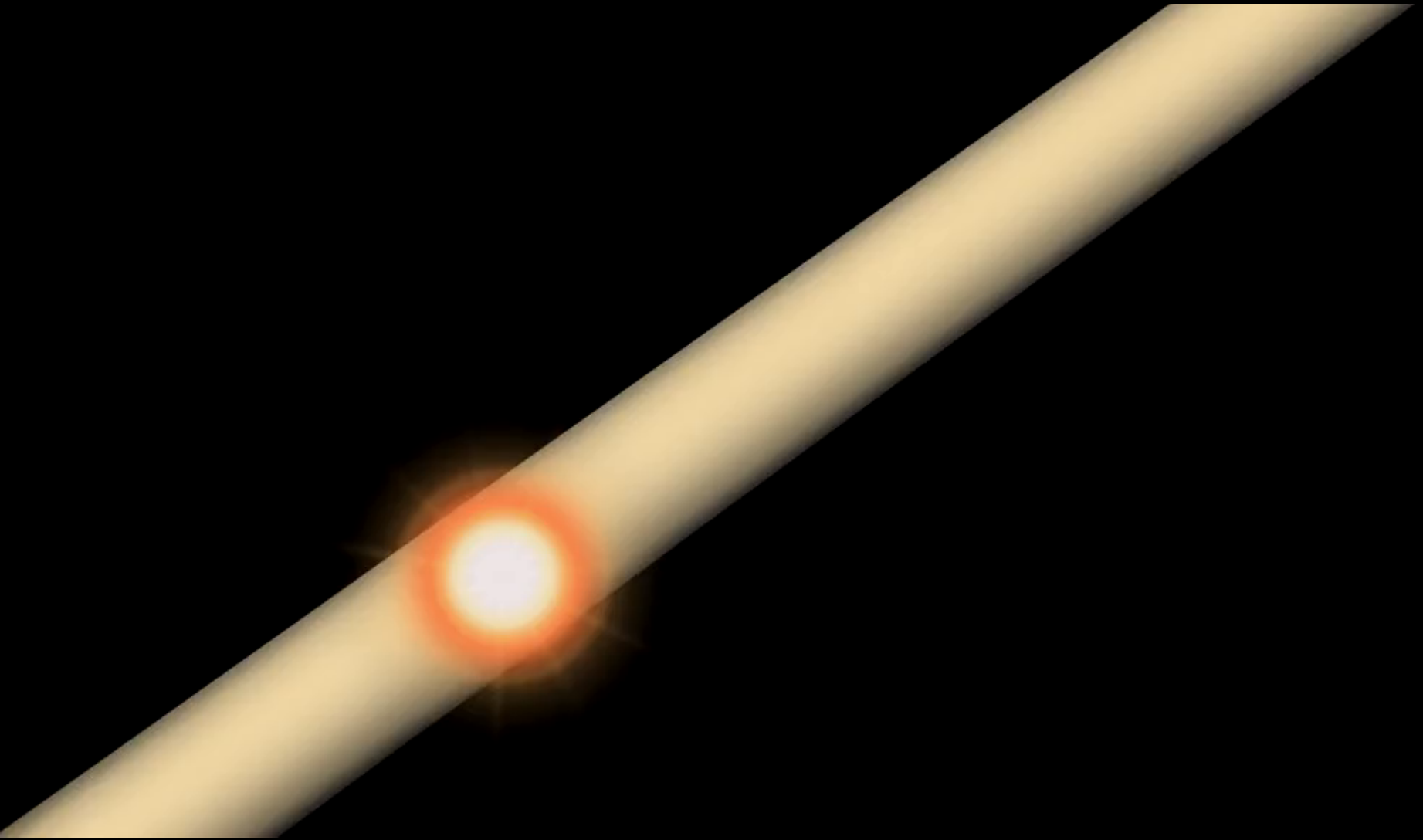


snelheid geeft ook energie

$$E = \gamma mc^2$$

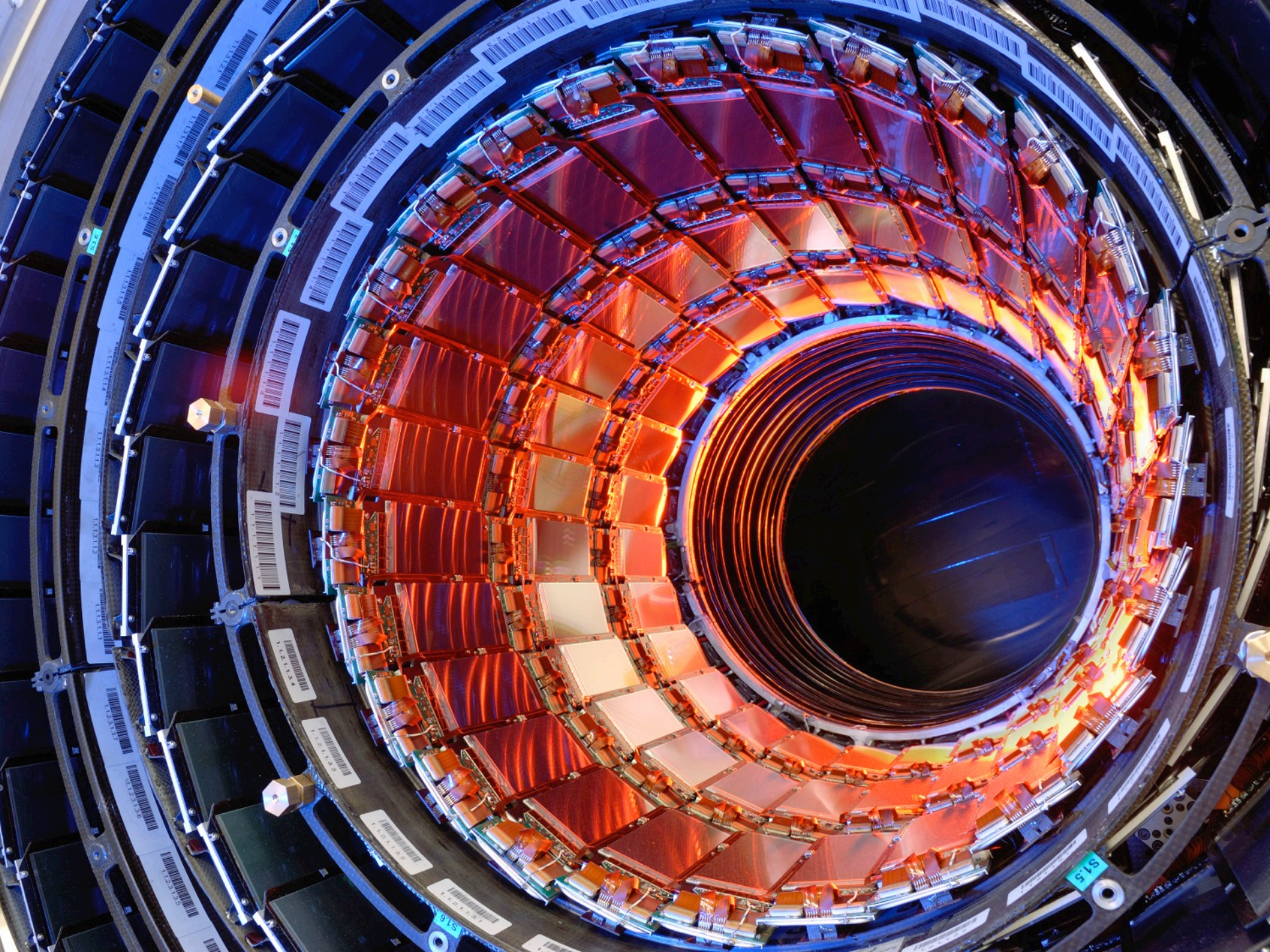
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$





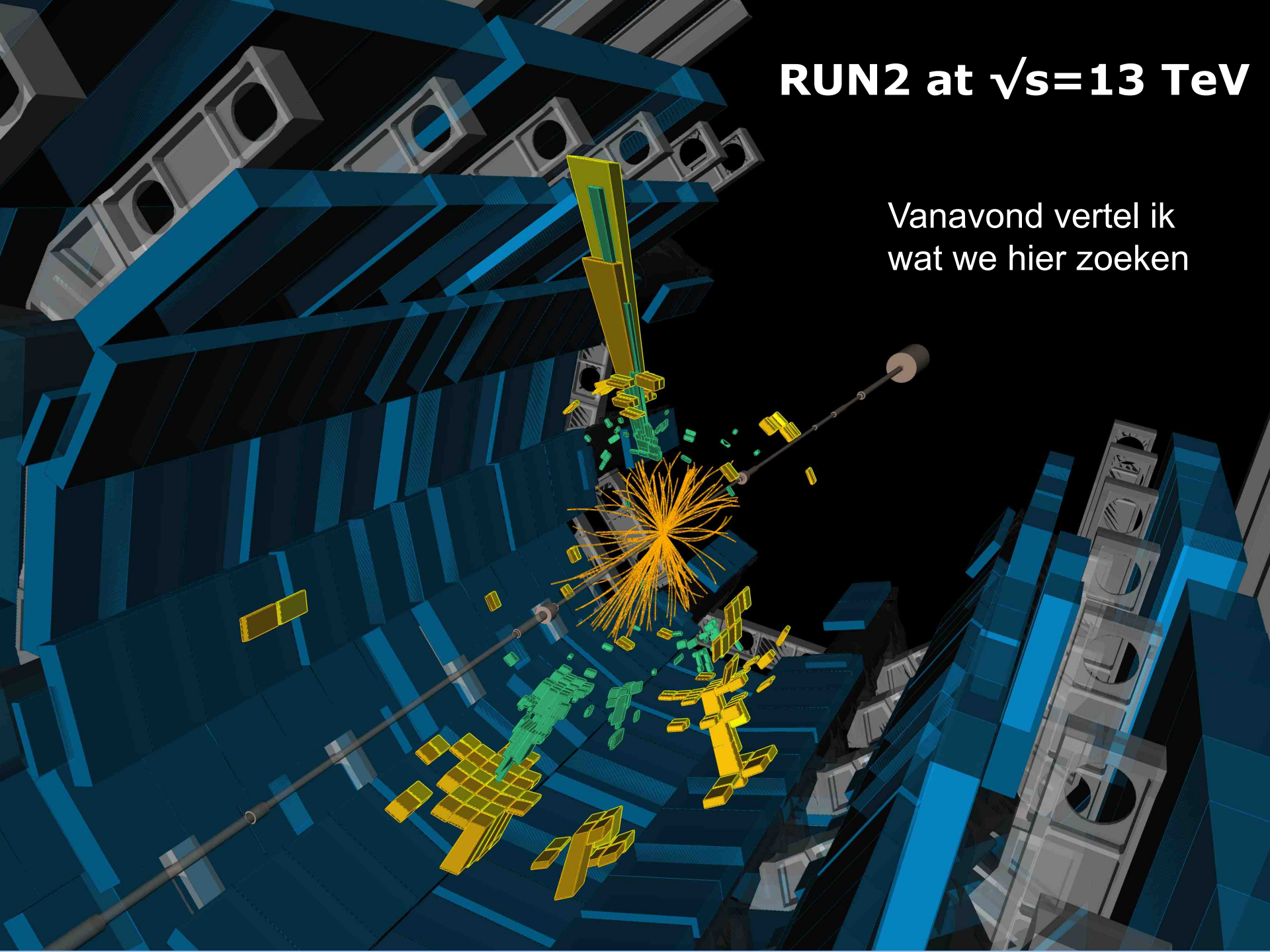
Zo groot als het paleis op de dam





RUN2 at $\sqrt{s}=13$ TeV













Vanavond vertel ik
wat we hier zoeken



STANDAARD MODEL

Top quark:
- weegt: 175.000 MeV
- leeft: 10^{-24} sec

Deeltjes

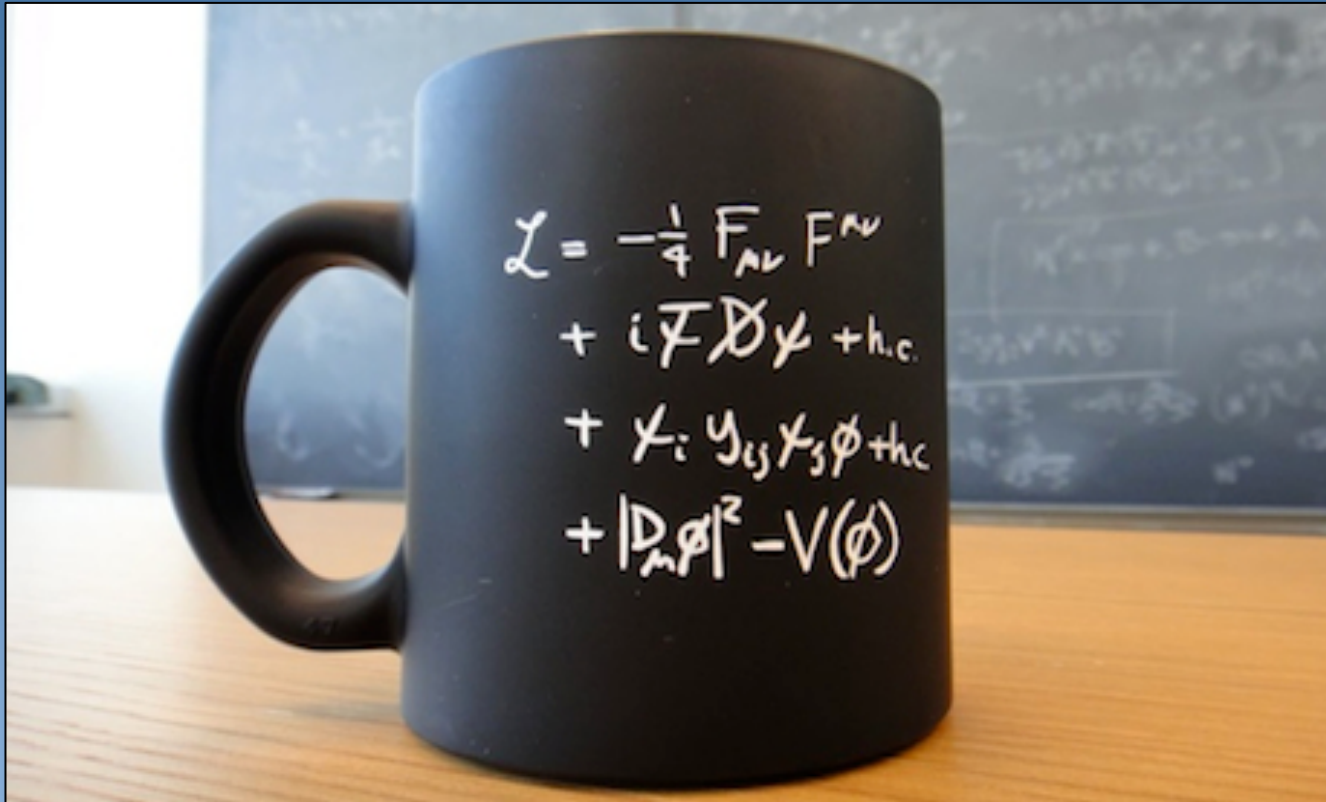
up-quark			
down-quark			
elektron			
neutrino			

Electron
- weegt: 0.5 MeV
- Leeft: forever

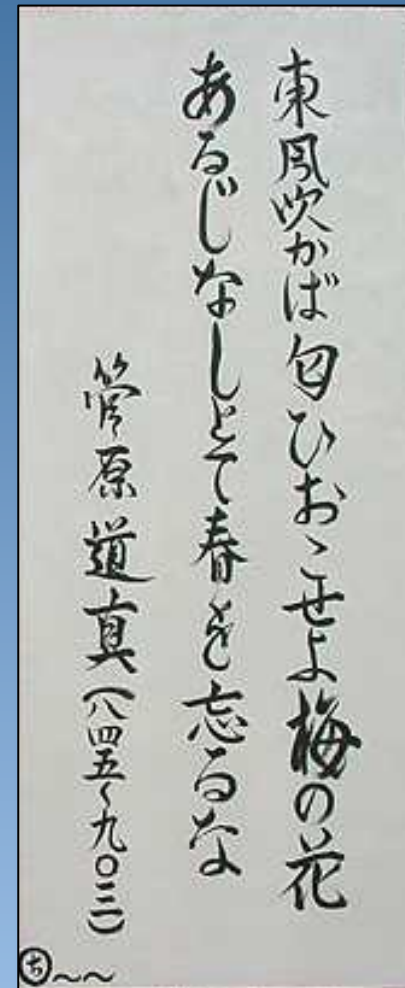
neutrino's
- Wegen: < 0.0000000001 MeV
- Leeft: onduidelijke vraag



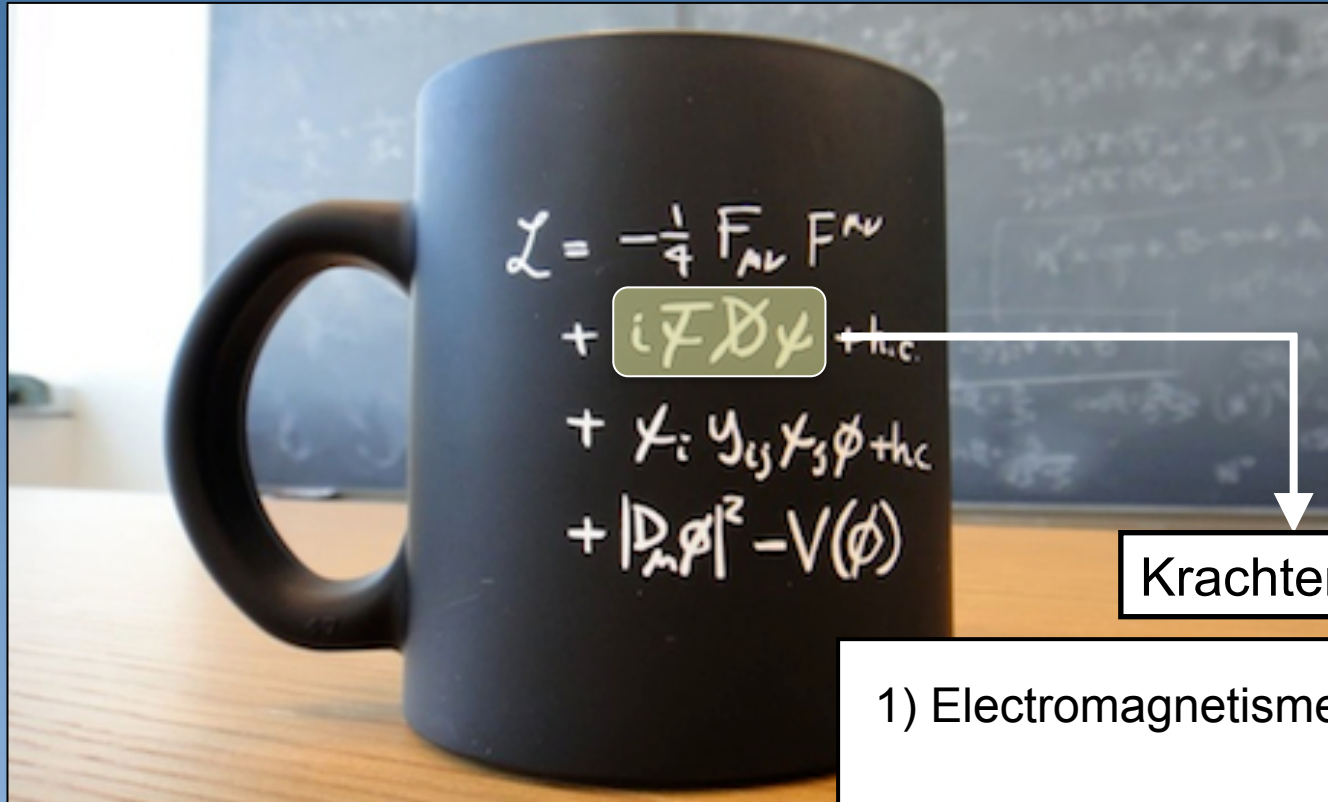
Standaard Model



Nieuwe taal ... nieuwe inzichten ?



Standaard Model



Krachten

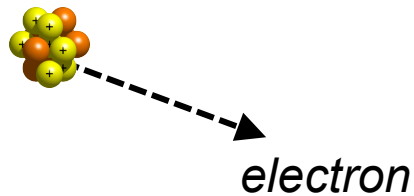
quantum

- 1) Electromagnetisme
- 2) Zwakke kernkracht
- 3) Sterke kernkracht

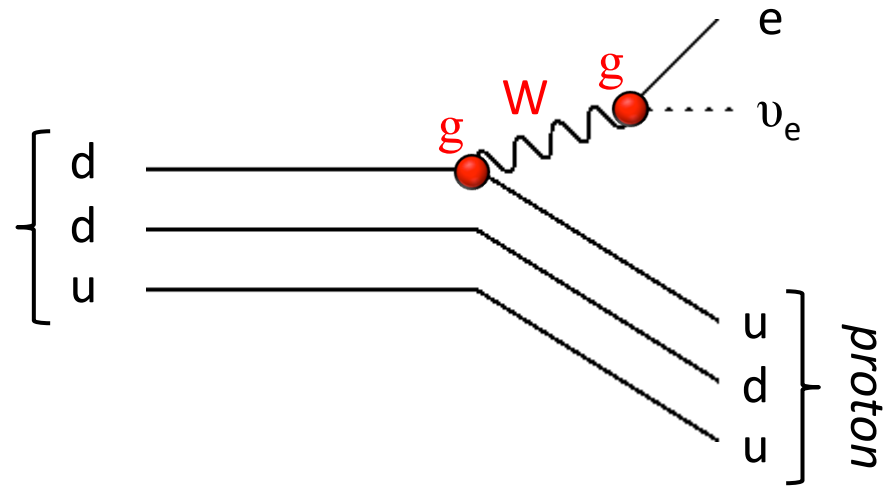
γ
 W^\pm, Z
gluonen

Radioactiviteit begrepen: beta-verval

Sommige atoomkernen produceren beta straling



Experimenteel



Fundamental proces

Neutrino's

Nobelprijs 2015

Neutrino's

Transgenders van de deeltjesdierentuin

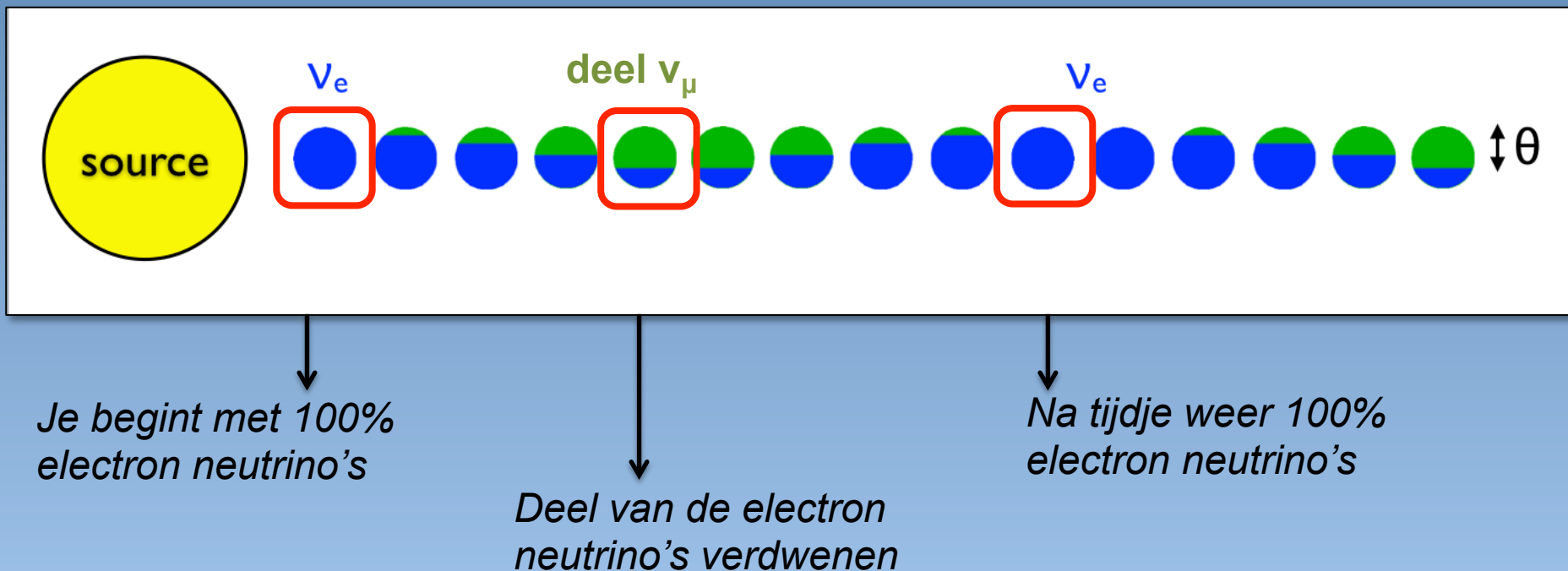
3 types die steeds in elkaar overgaan



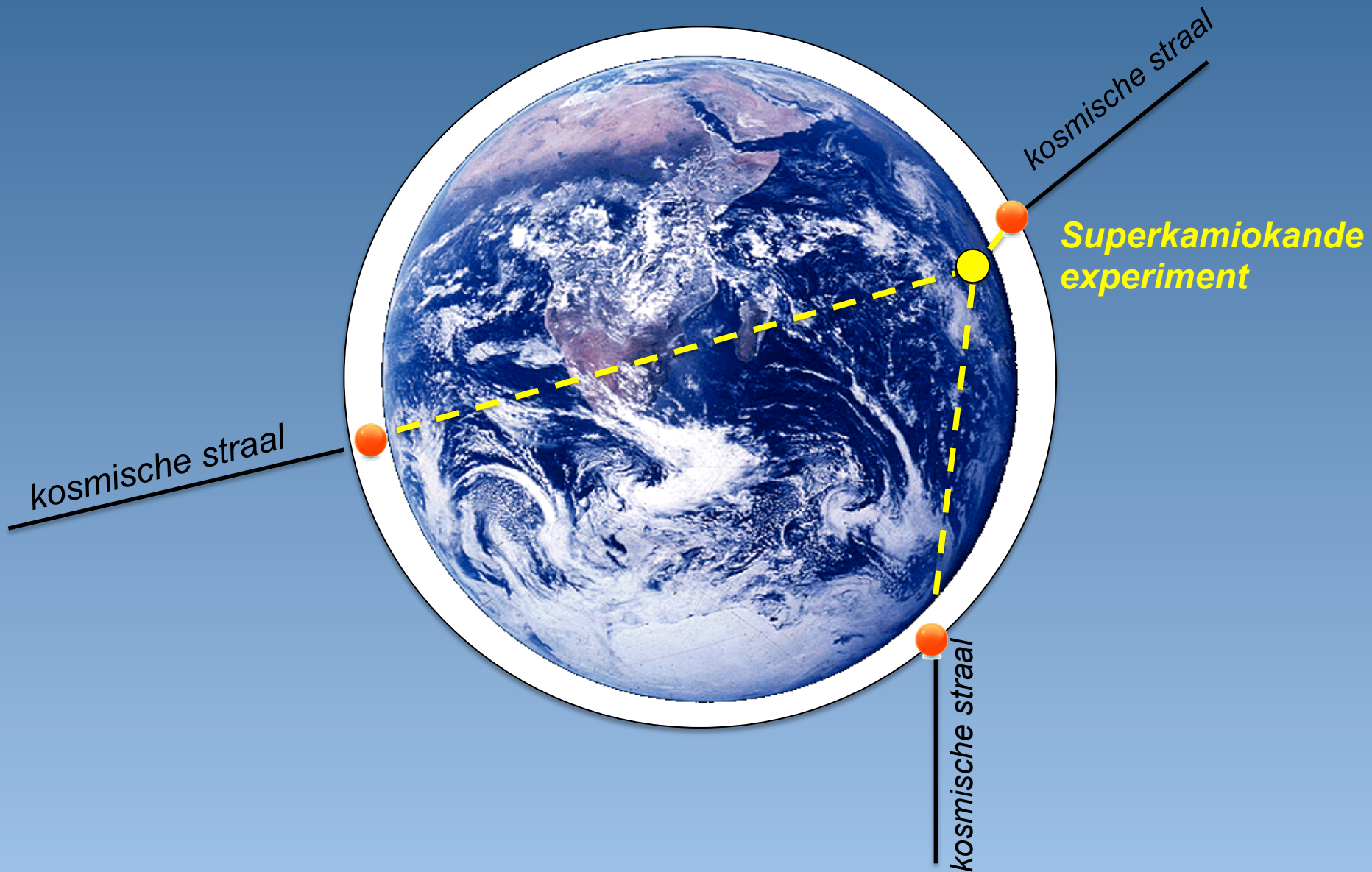
... **als** ze massa hebben

Neutrino types gaan in elkaar over ALS neutrino's massa hebben

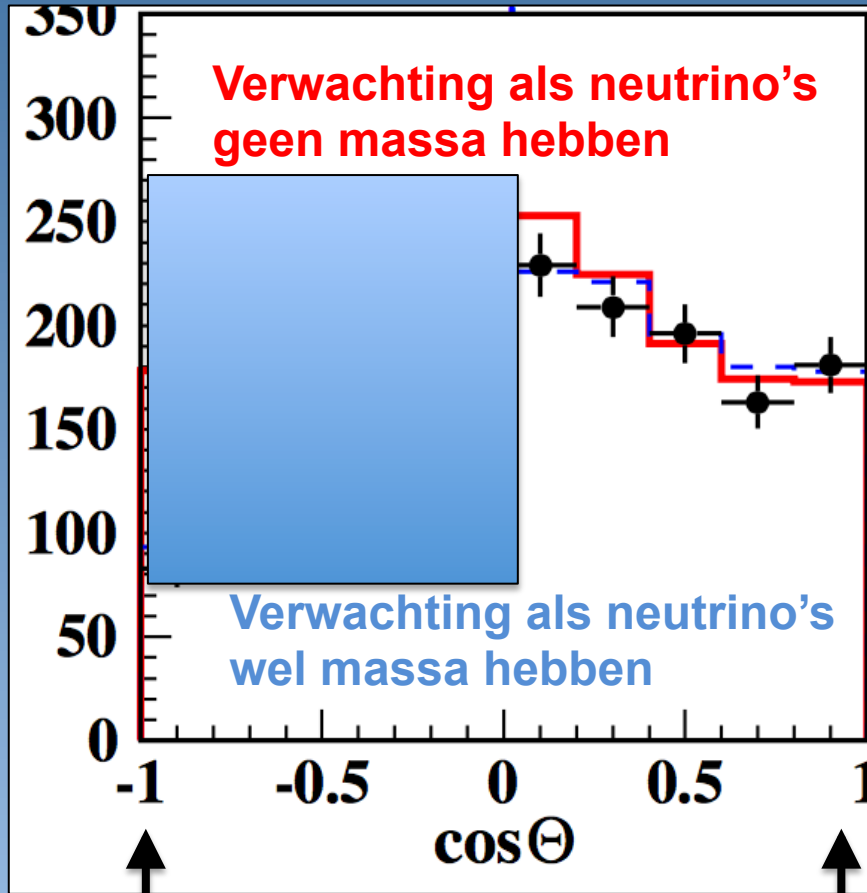
$$P(\nu_e \rightarrow \nu_x) = \sin^2 2\theta \sin^2 \left(\frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E} \right)$$



Neutrino's van type 1 worden gemaakt in de atmosfeer
Maakt het uit waar ze vandaan komen ?

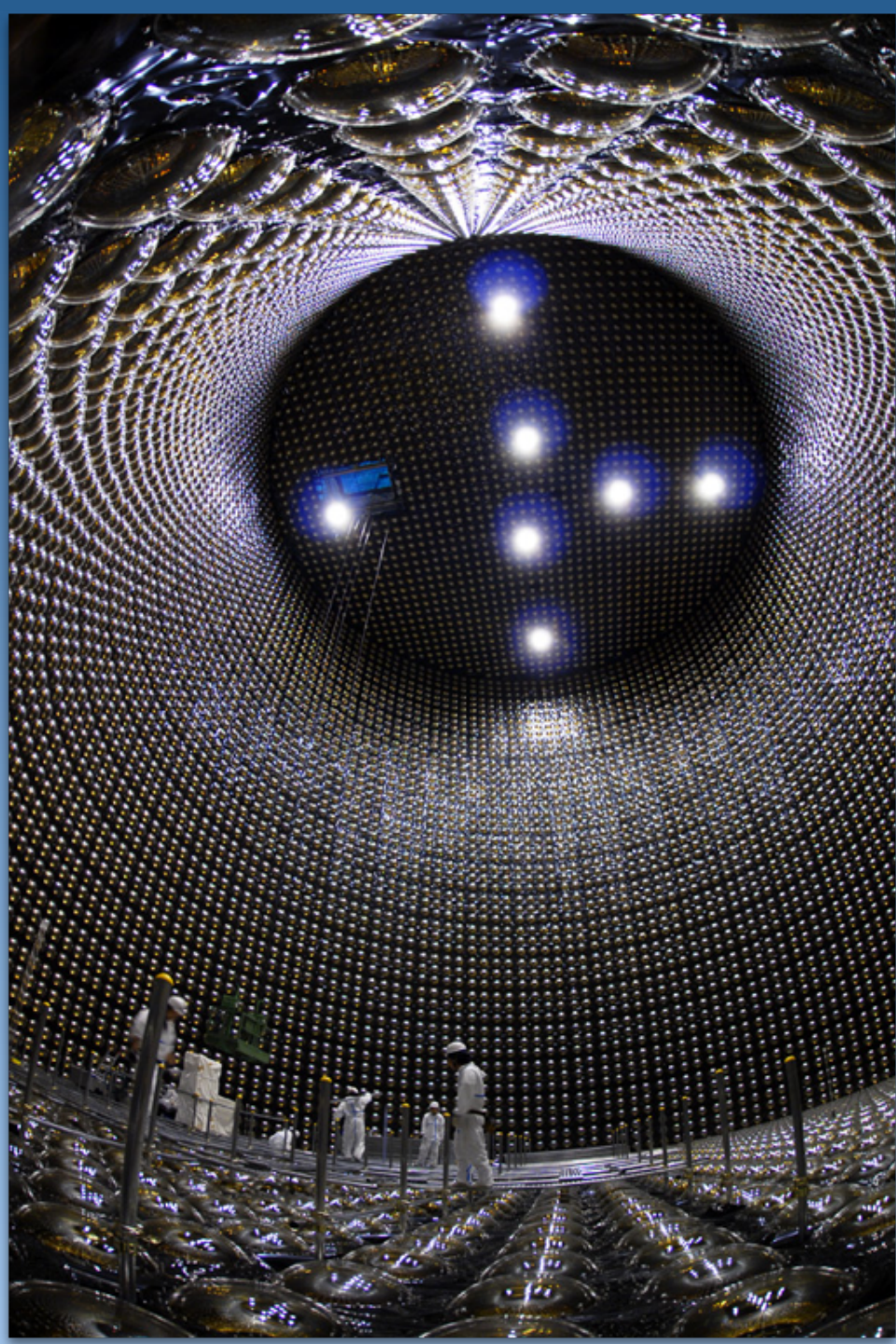


Super kamiokande



van beneden
grote afstand

van boven
kleine afstand

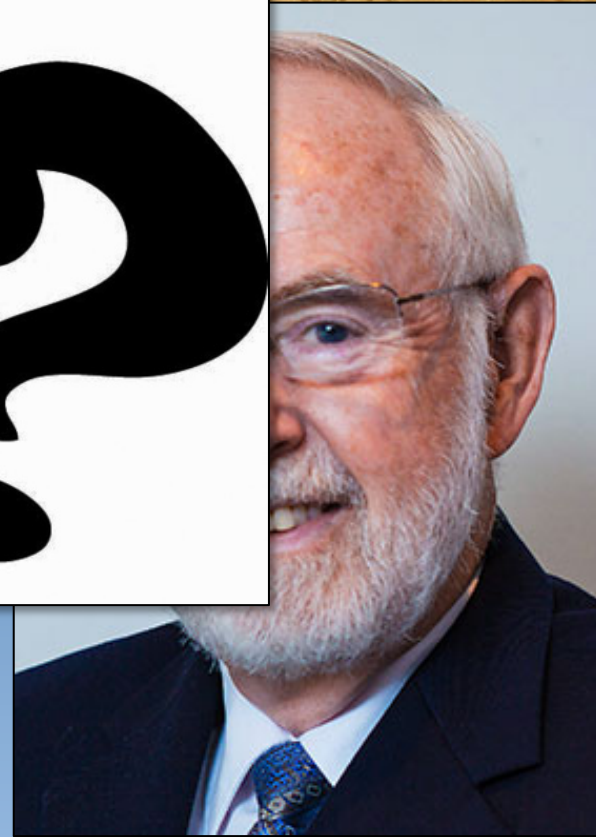


Nobelprijs Natuurkunde 2015

“Neutrino”



Takaaki Kajita

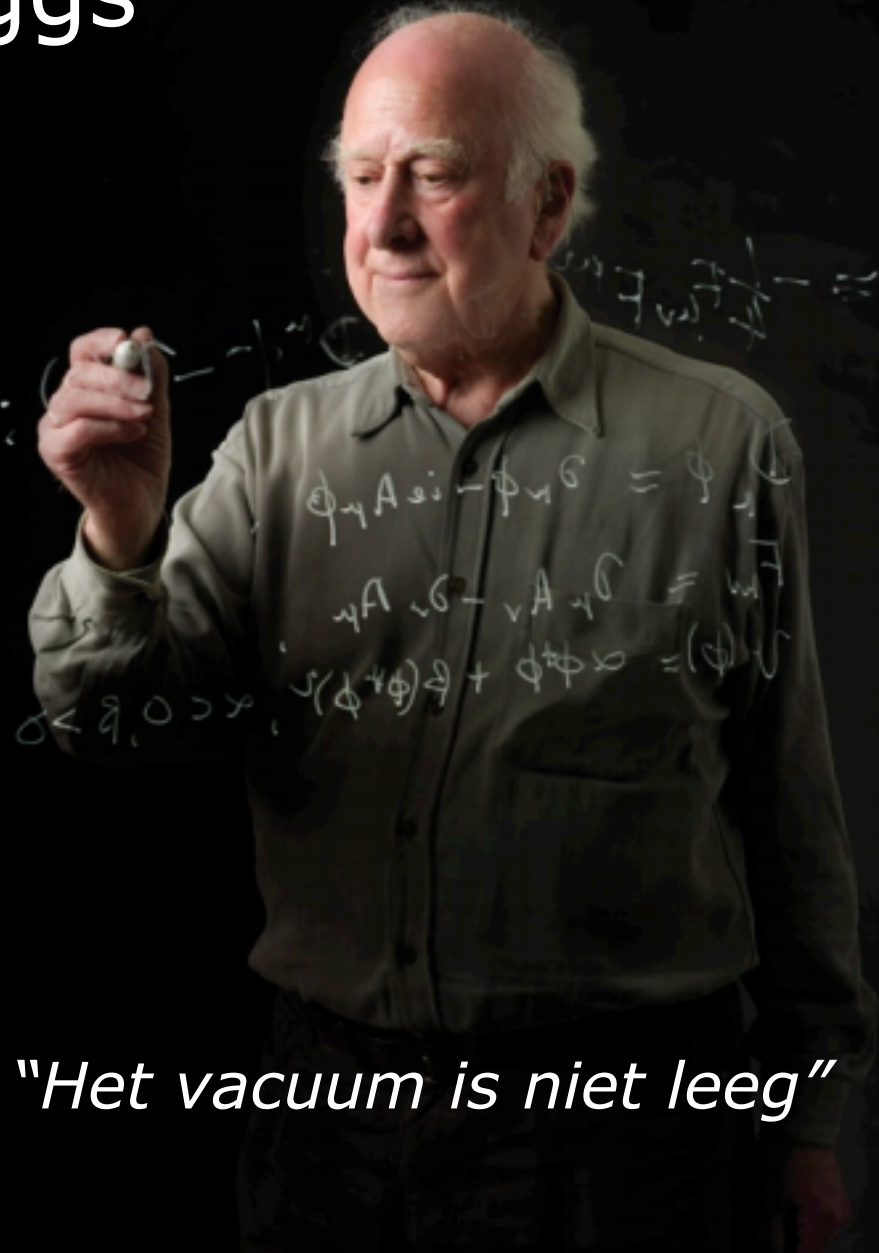


Arthur McDonald

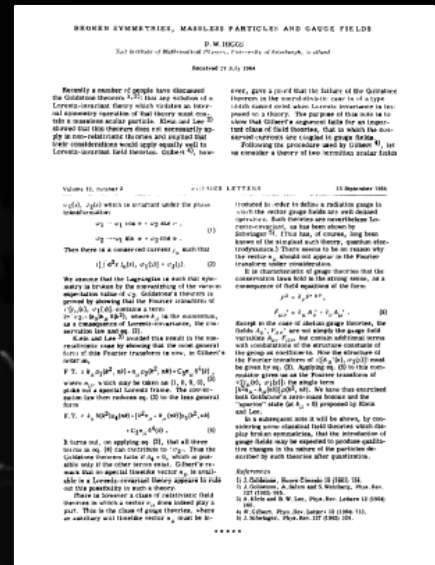
Higgs boson

Nobelprijs 2013

Peter Higgs

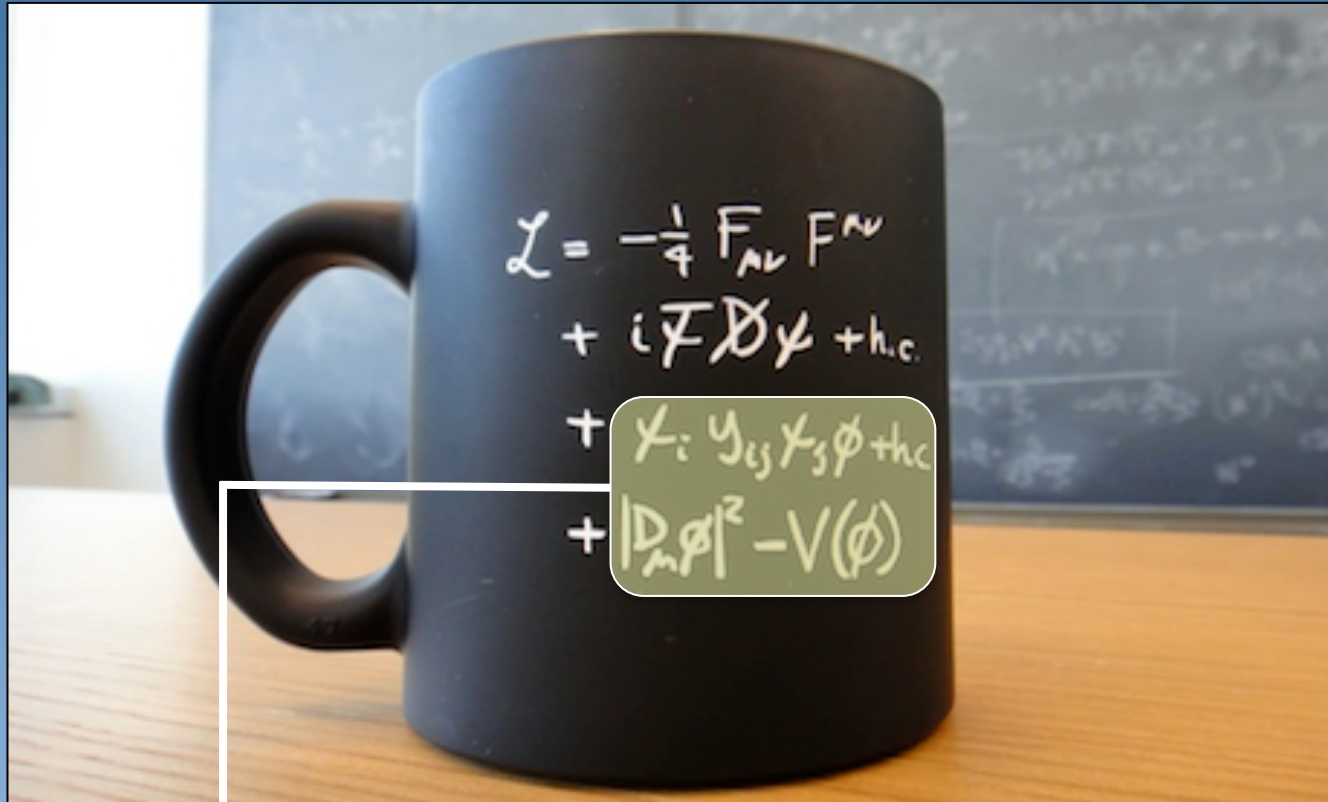


"Het vacuum is niet leeg"



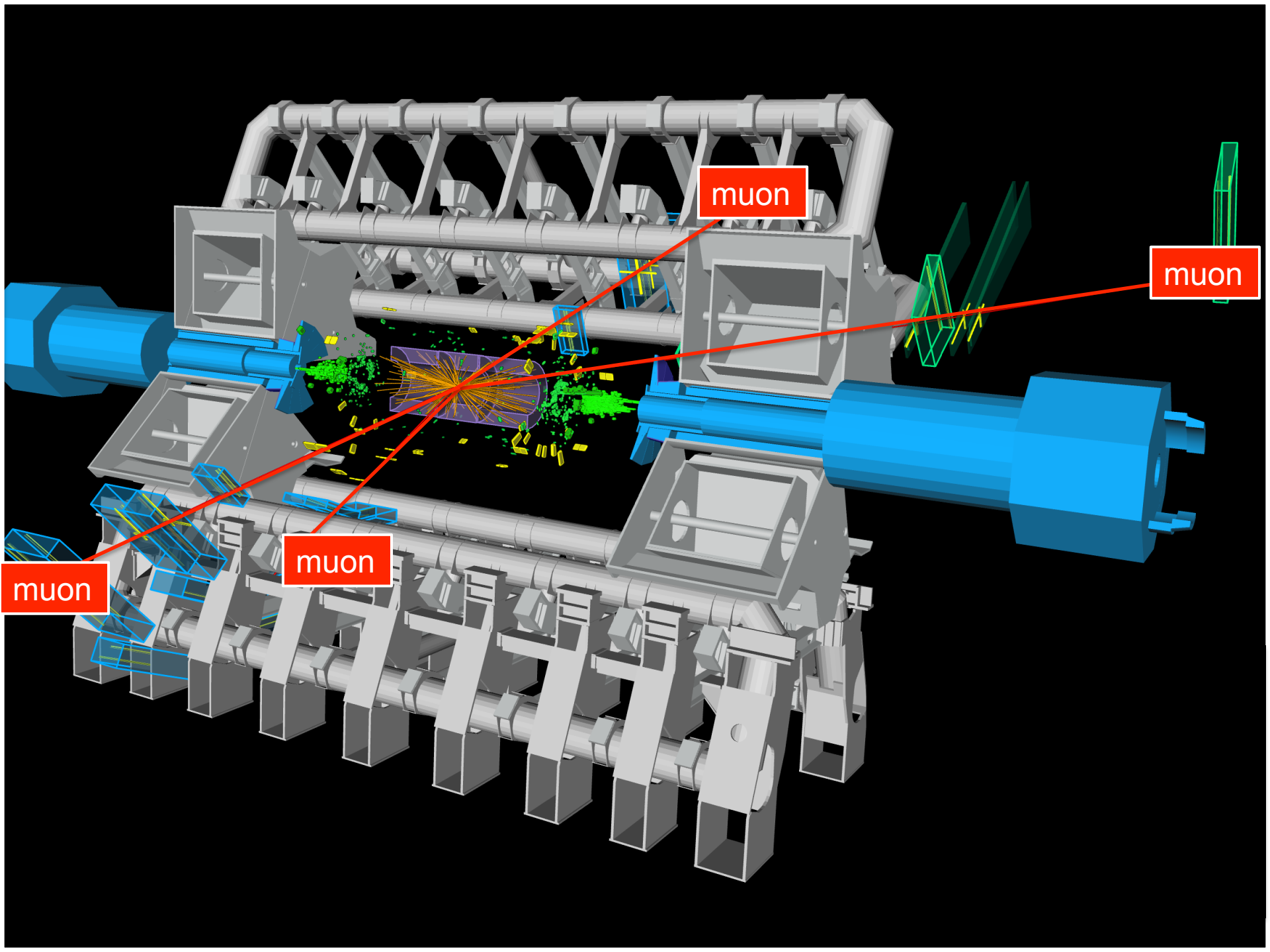
1964, 1 pagina

Standaard Model



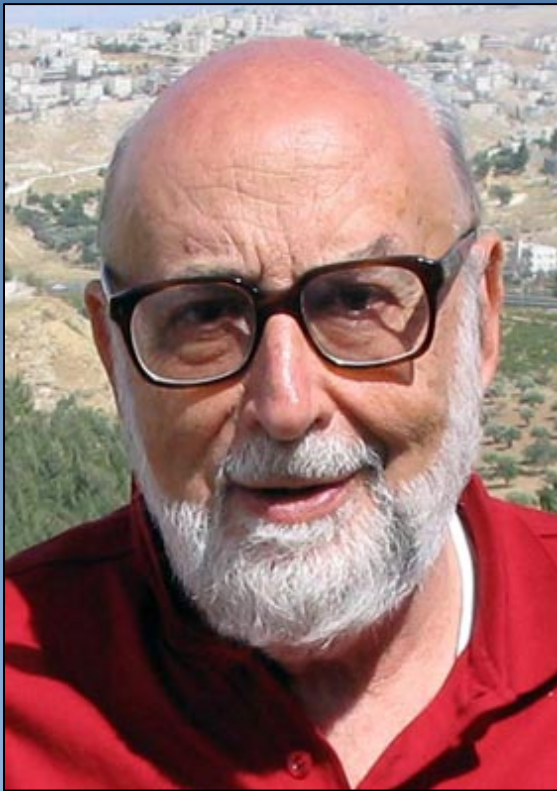
Higgs veld

Massa voor deeltjes

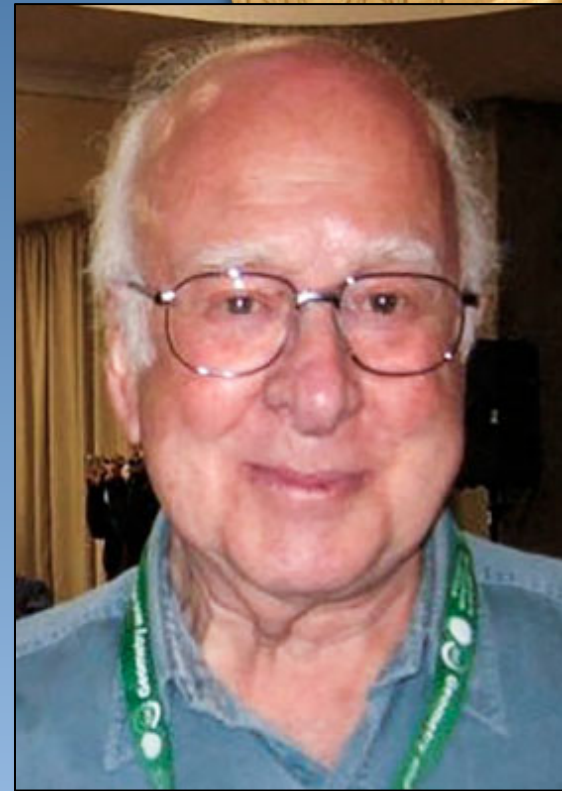


Nobelprijs Natuurkunde 2013

“Er is een Higgs-veld in het vacuüm”



François Englert



Peter Higgs

Onderzoek met eeuwigheidswaarde



An underwater photograph looking up towards the surface of the ocean. Sunlight filters through the water, creating a shimmering, dappled pattern of light and shadow on the surface. The water is a deep, clear blue, and the overall atmosphere is serene and ethereal.

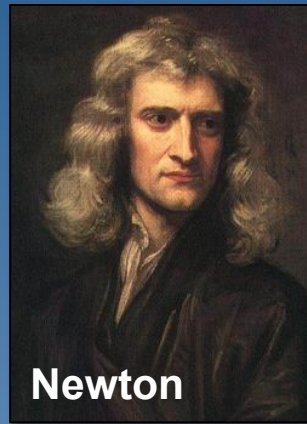
Elke m^3 ruimte zit vol met Higgs veld

zwaartekracht

De big picture klopt niet:

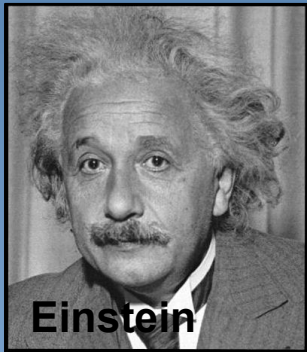
Waarom is het heelal groter dan een voetbal ?

Waarom valt een
appel naar beneden ?



massa's trekken elkaar aan

$$F = G_N \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



ruimte-tijd is gekromd

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G_N}{c^4} T_{\mu\nu}$$



∨

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

ALBERT EINSTEIN (1879-1955)



cosmologische constante

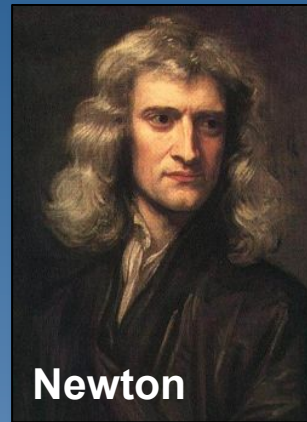
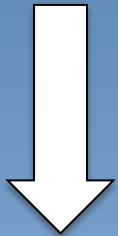


Deeltjes bewegen 'rechtdoor'



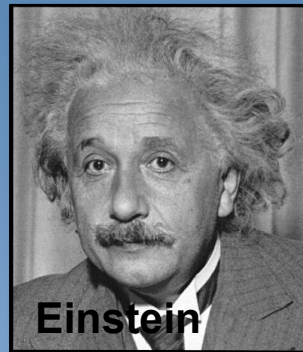
De ruimte zelf is echter niet 'recht'

Waarom valt een
appel naar beneden ?



massa's trekken elkaar aan

$$F = G_N \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



ruimte-tijd is gekromd

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G_N}{c^4} T_{\mu\nu}$$



Entropie (informatie) ?



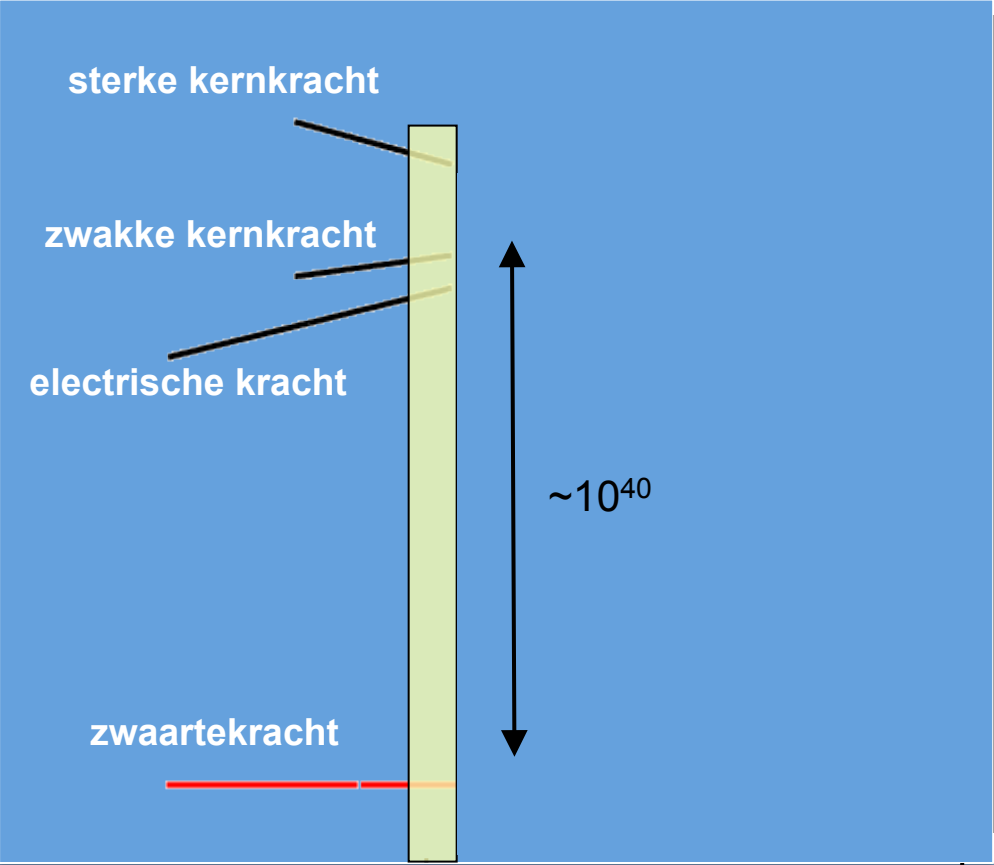
zwaartekracht

De small picture klopt niet:

Waarom is zwaartekracht zo zwak ?

De 3+1 natuurkrachten

↑ STERKTE



quantum gravitatie ?

→ ENERGIE

100 GeV (10^{-18} m)

10^{19} GeV (10^{-35} m)

extra dimensies

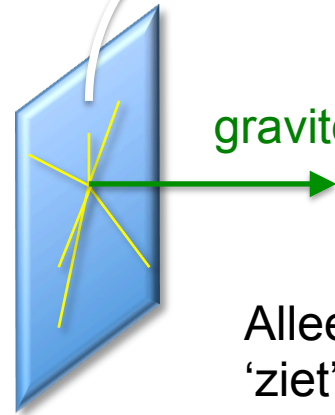
*Idee: zwaartekracht lekt weg in een extra ruimte-
dimensie die wij niet kunnen zien ?*

Extra ruimte dimensies

Mier op een vlak (schuin) tafelblad



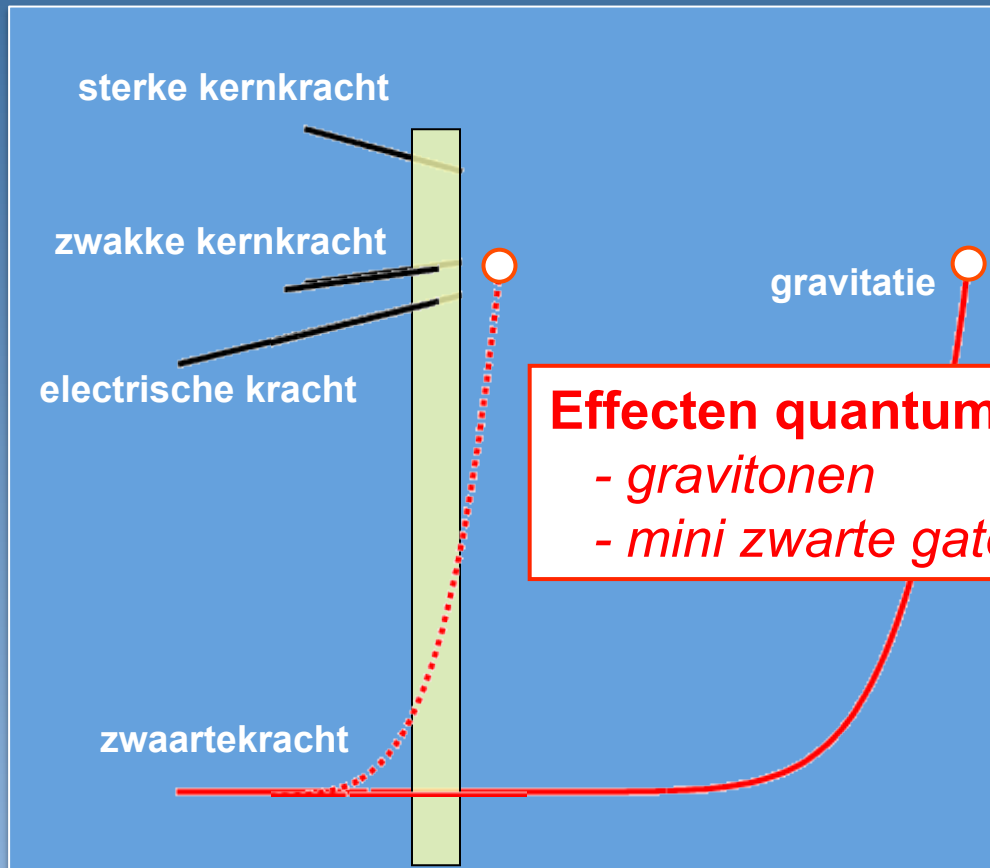
Jullie en ik zitten vastgeplakt op een 3-dimensionaal vlak



Alleen zwaartekracht
'ziet' de extra dimensie

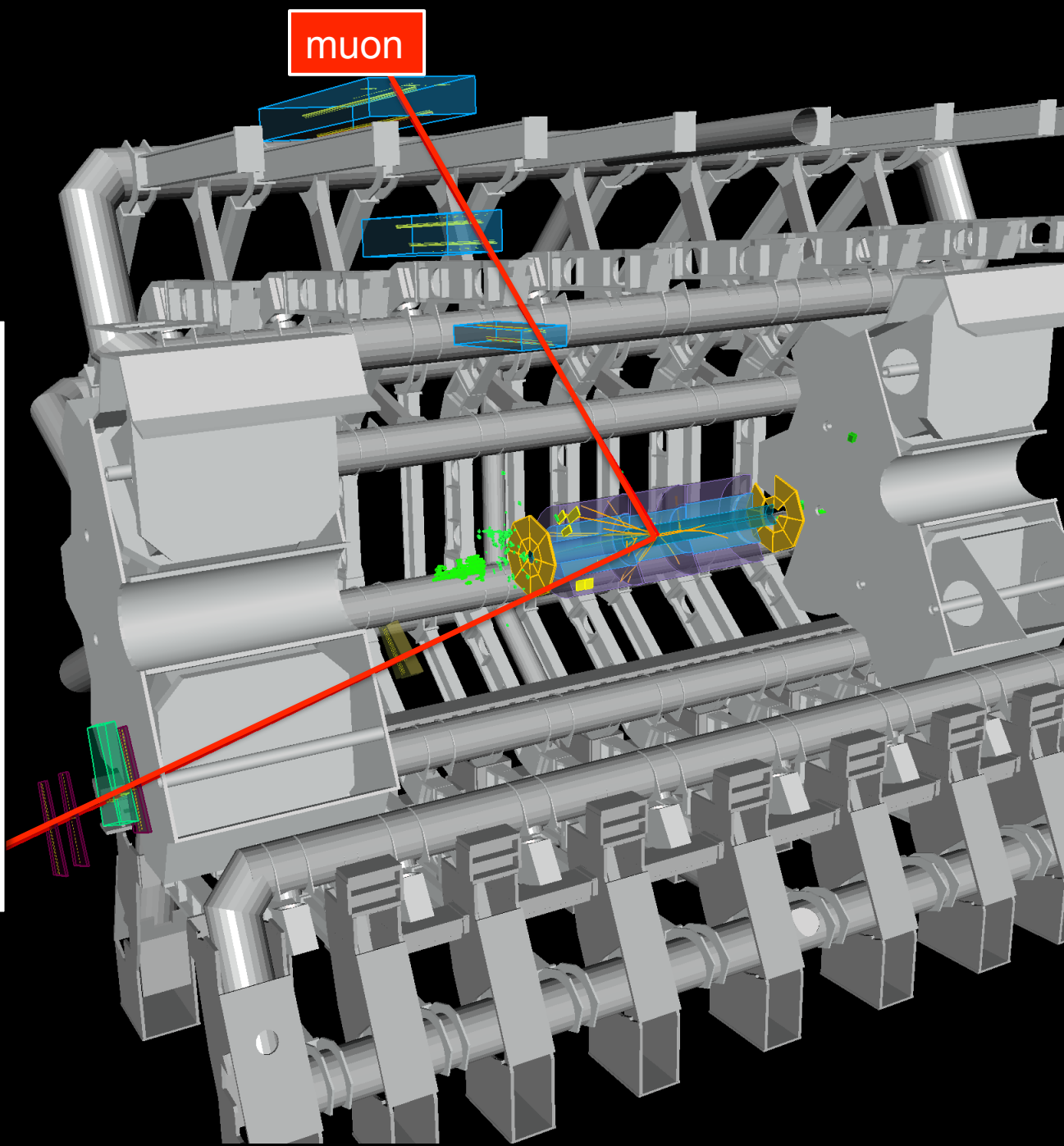
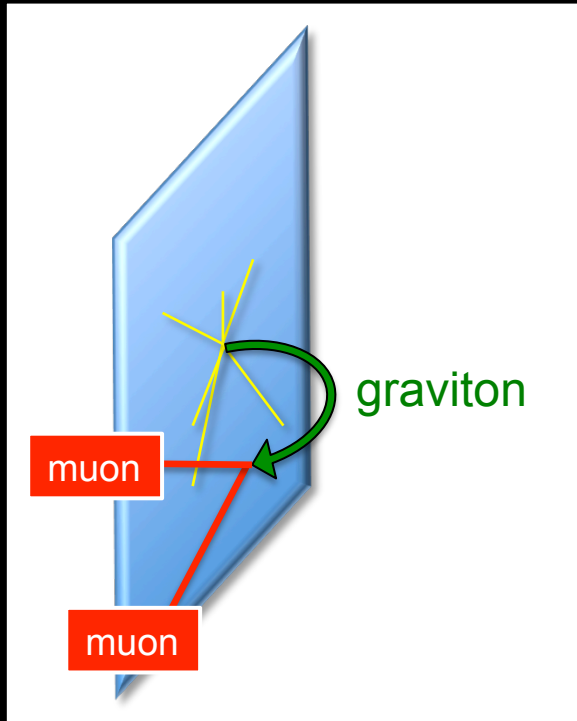
De 4 natuurkrachten

↑ STERKTE

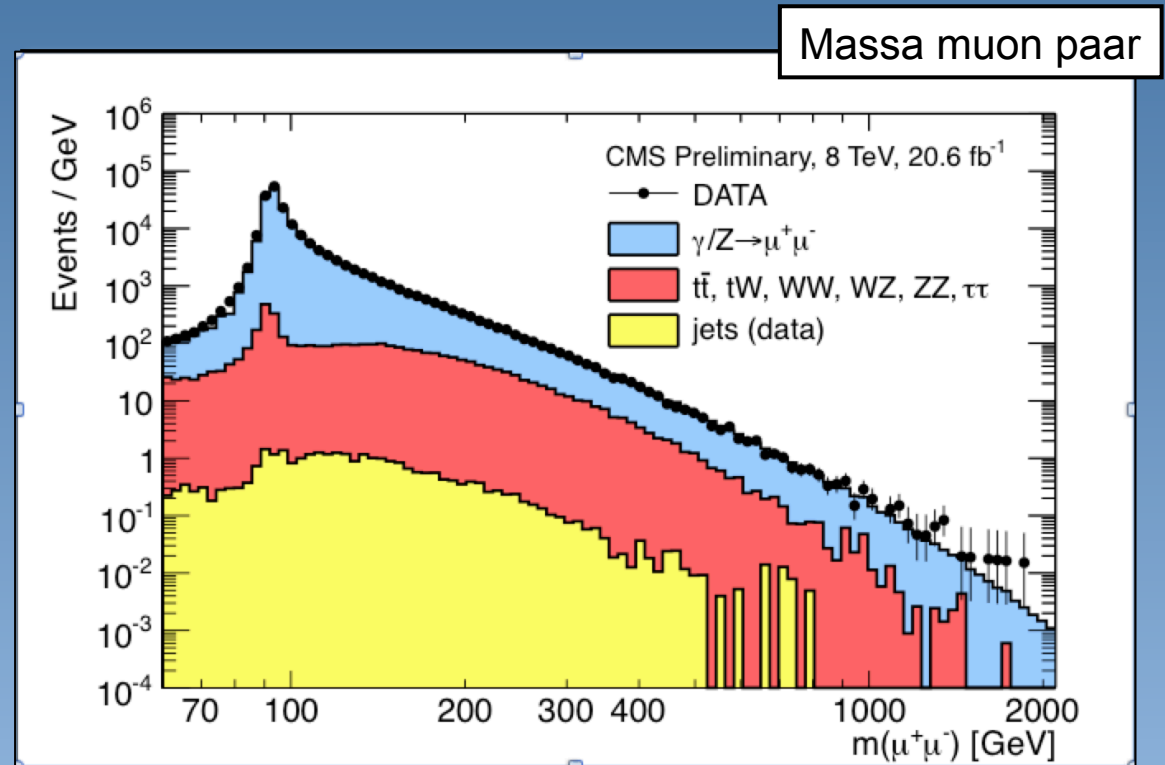
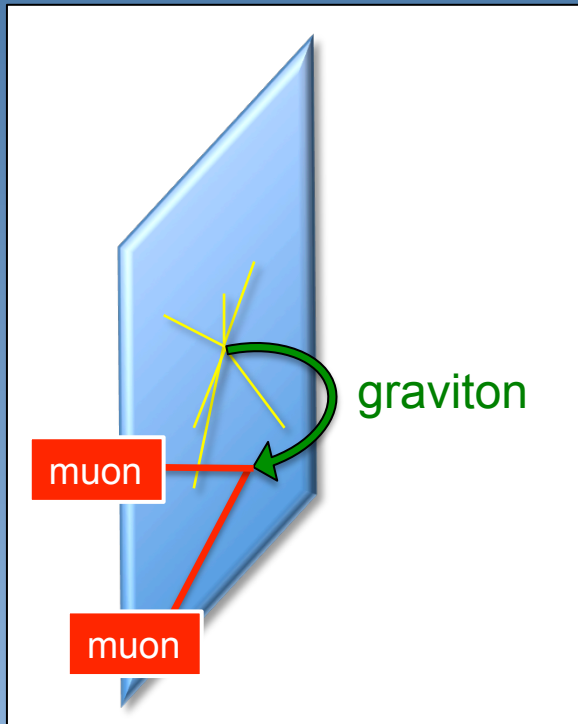


→ ENERGIE

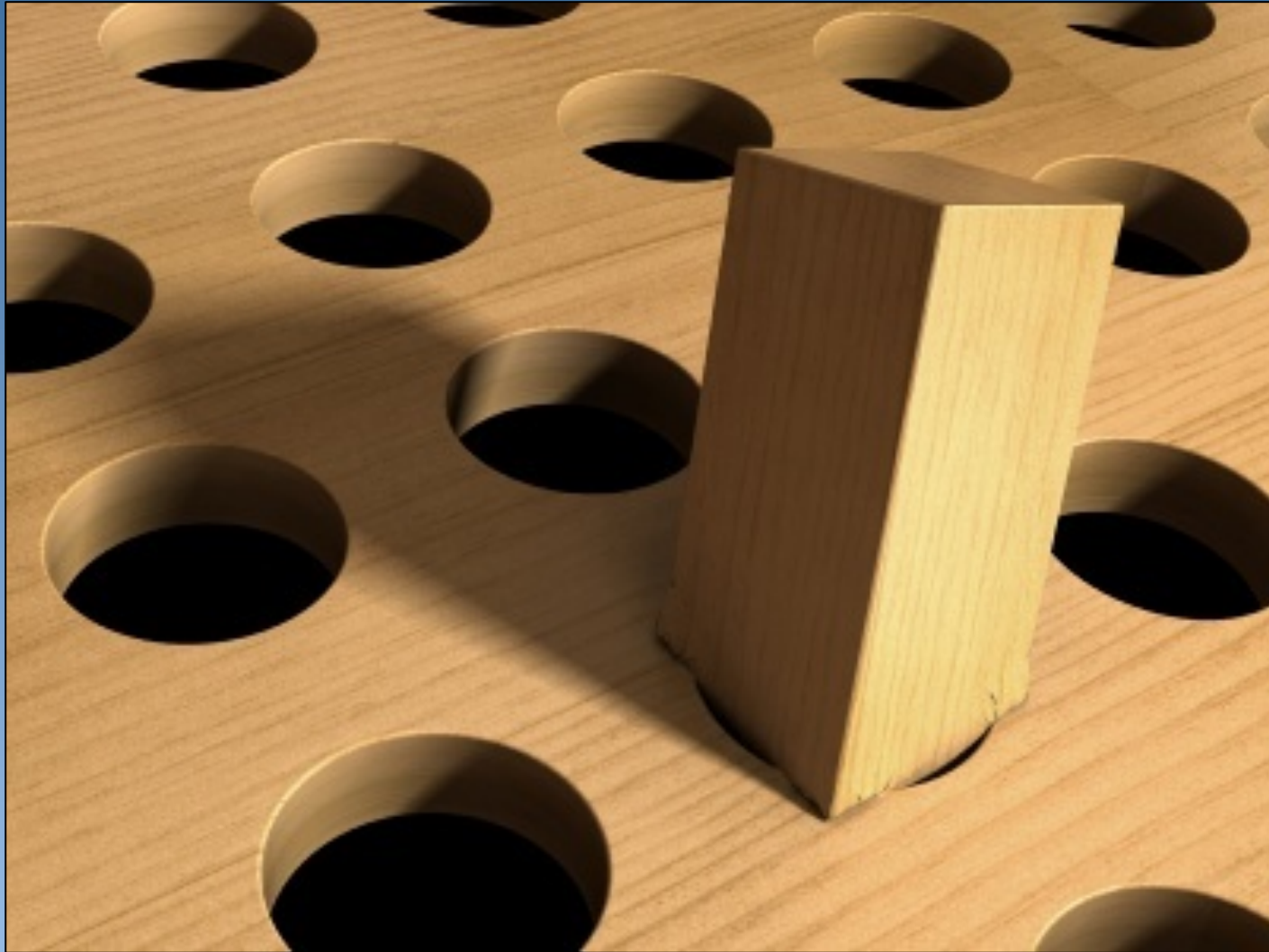
Large Hadron Collider



Aanwijzing gravitonen: massa-pieken



Nu wel doordringen in de extra dimensie ?





We snappen er niks van !

**Maar we hebben een trein (LHC)
... en goede zin. AVONTUUR!**

@IvovanVulpen