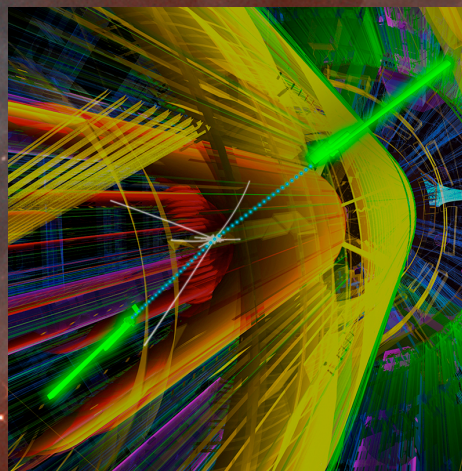
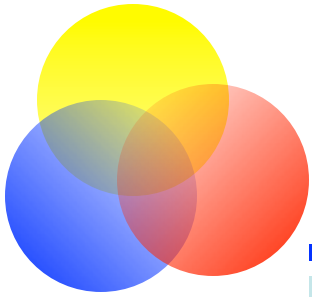


10 maart 2014

EEN ONTDEKKINGSREIS NAAR HET ALLERKLEINSTE EN ALLERGROOTSTE

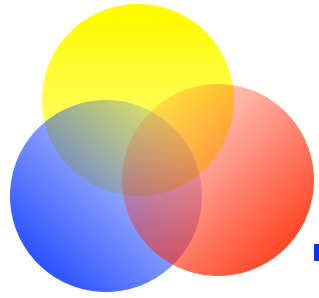
PUBLIC SCIENCE MET PIET MULDER,
JAN VAN DEN BERG EN SABRINA COTOGNO





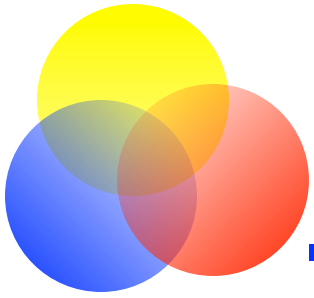
Inhoud

- Proloog
- De atomaire wereld
- De subatomaire wereld.
- De elementaire (?) deeltjes
- Hoe weten we dat allemaal?
- Antideeltjes
- Krachten in materie!
- Hoe werken krachtdeeltjes
- Het Higgs deeltje
- De geschiedenis van het heelal



Proloog





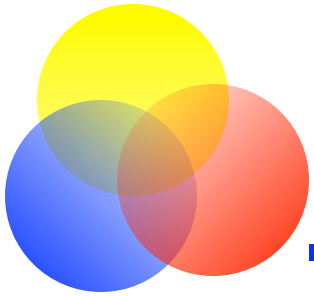
Quiz

1 miljard = 1 000 000 000 = 10^9

1 duizendste = 0.001 = 10^{-3}

- Hoeveel seconden heeft 1 jaar?
- 3×10^7 s
- Wat is de snelheid van het licht (m/s)?
- $300\,000\text{ km/s} = 3 \times 10^8\text{ m/s}$
(dus 1 lichtjaar $\sim 10^{16}$ m)
- Hoe groot is het heelal (m)?
- 15 miljard lichtjaar $\sim 1,5 \times 10^{26}$ m





Quiz

1 miljard = 1 000 000 000 = 10^9

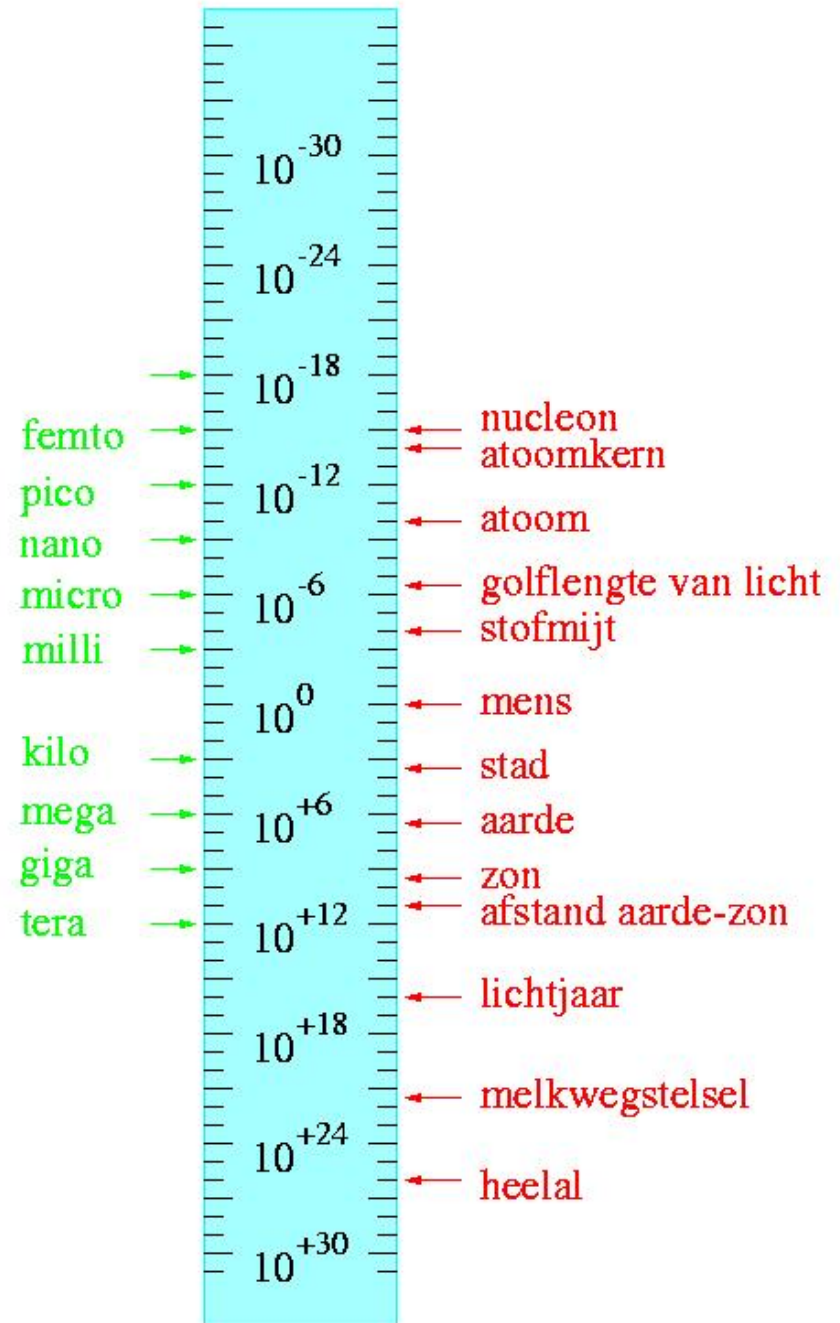
1 duizendste = 0.001 = 10^{-3}

- Hoeveel moleculen H_2O zitten er in een borrelglaasje?
- $N_{\text{avogadro}} \sim 6 \times 10^{23}$
- Hoe leeg is het heelal (atomen/ m^3)?
- minder dan 1 atoom/ m^3
(in schijf van melkweg $5/cm^3$)
- Hoeveel atomen bevat het heelal?
- ca 10^{79} atomen



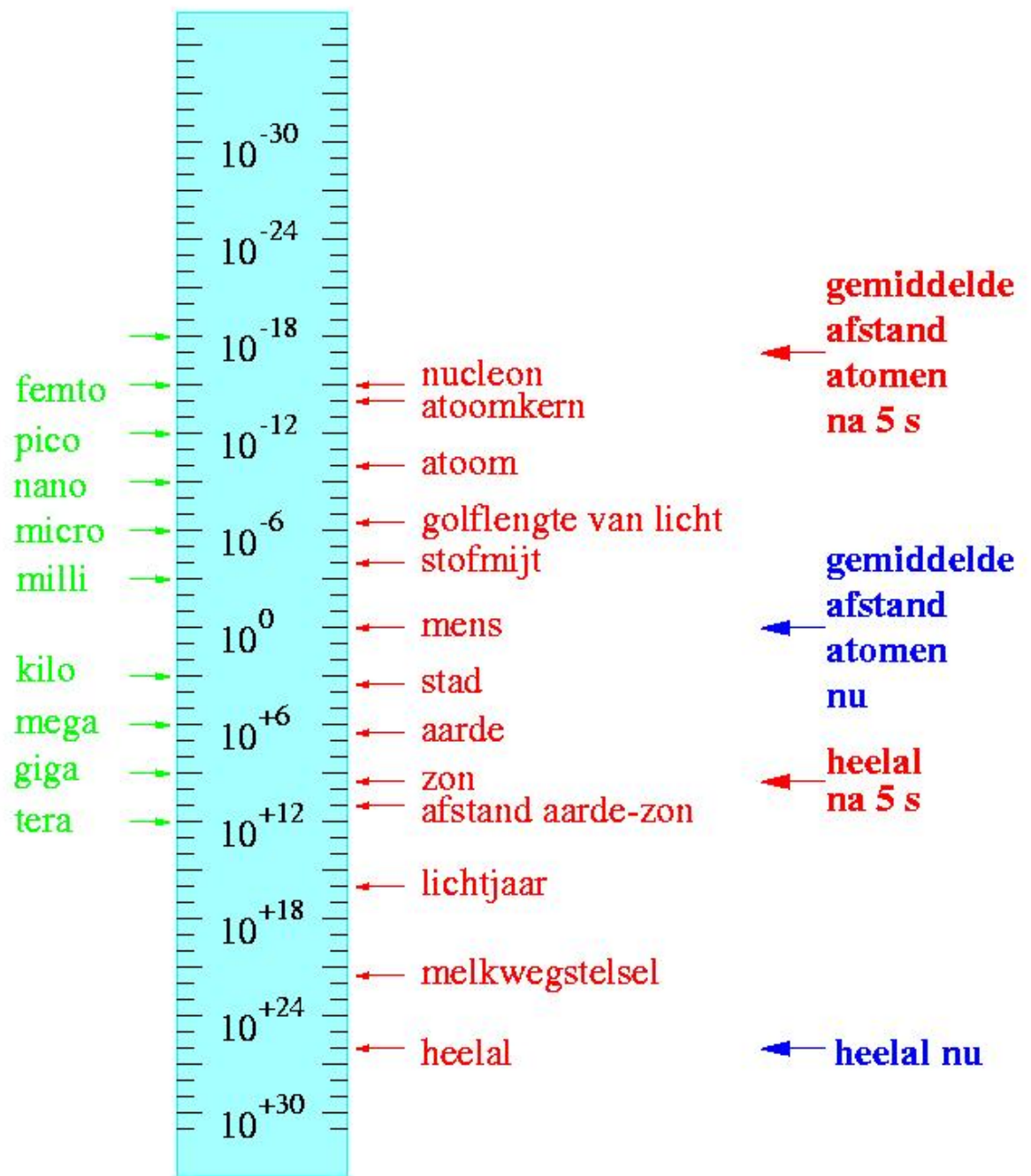
Afmetingen

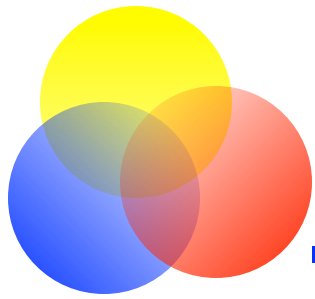
NU



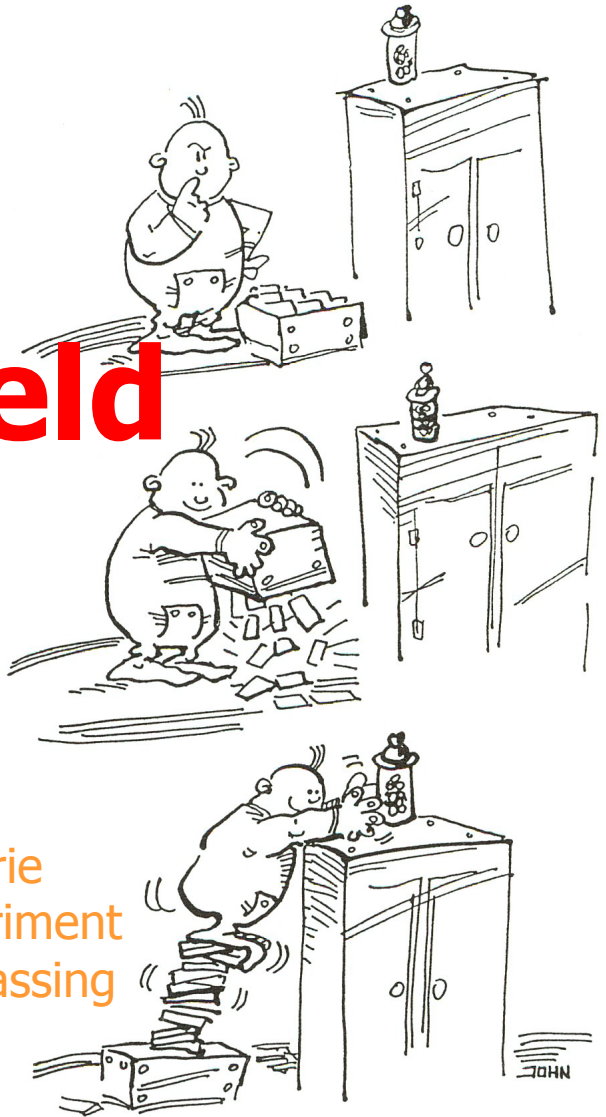
Afmetingen

5 seconden
na de Big Bang



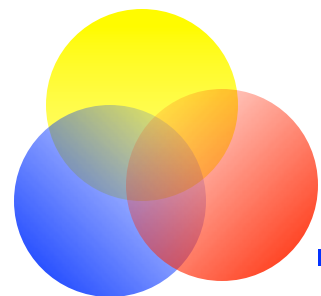


Hoe zit de wereld in elkaar?



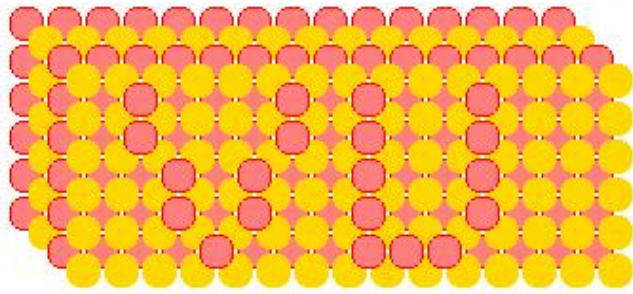
Theorie
Experiment
Toepassing



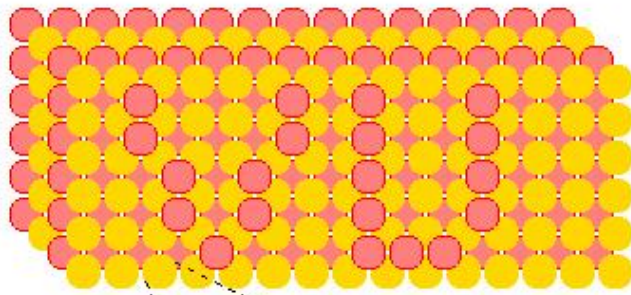


De atomaire wereld

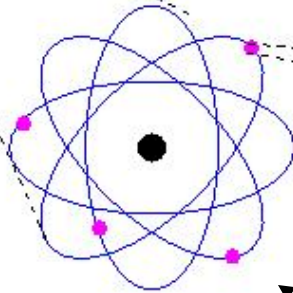




MATERIE



MATERIE



ATOOM
 10^{-10} m

ELEKTRON

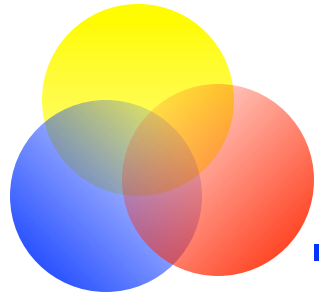
0,000 000 000 1 m

Het periodiek systeem

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg							

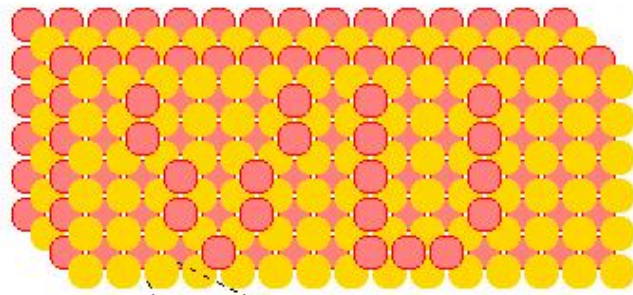
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

- alkali metalen
 halogenen/niet-metalen
 aardmetalen
 edelgassen
 metalen
 zeldzame aarde metalen



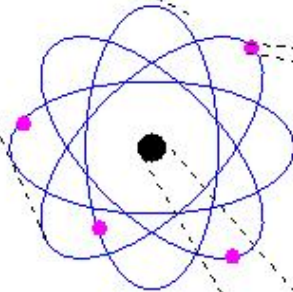
De subatomaire wereld





MATERIE

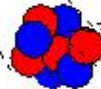
ATOOM
 10^{-10} m



ELEKTRON



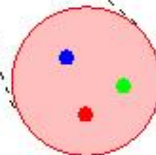
ATOOMKERN
 10^{-14} m



NEUTRINO



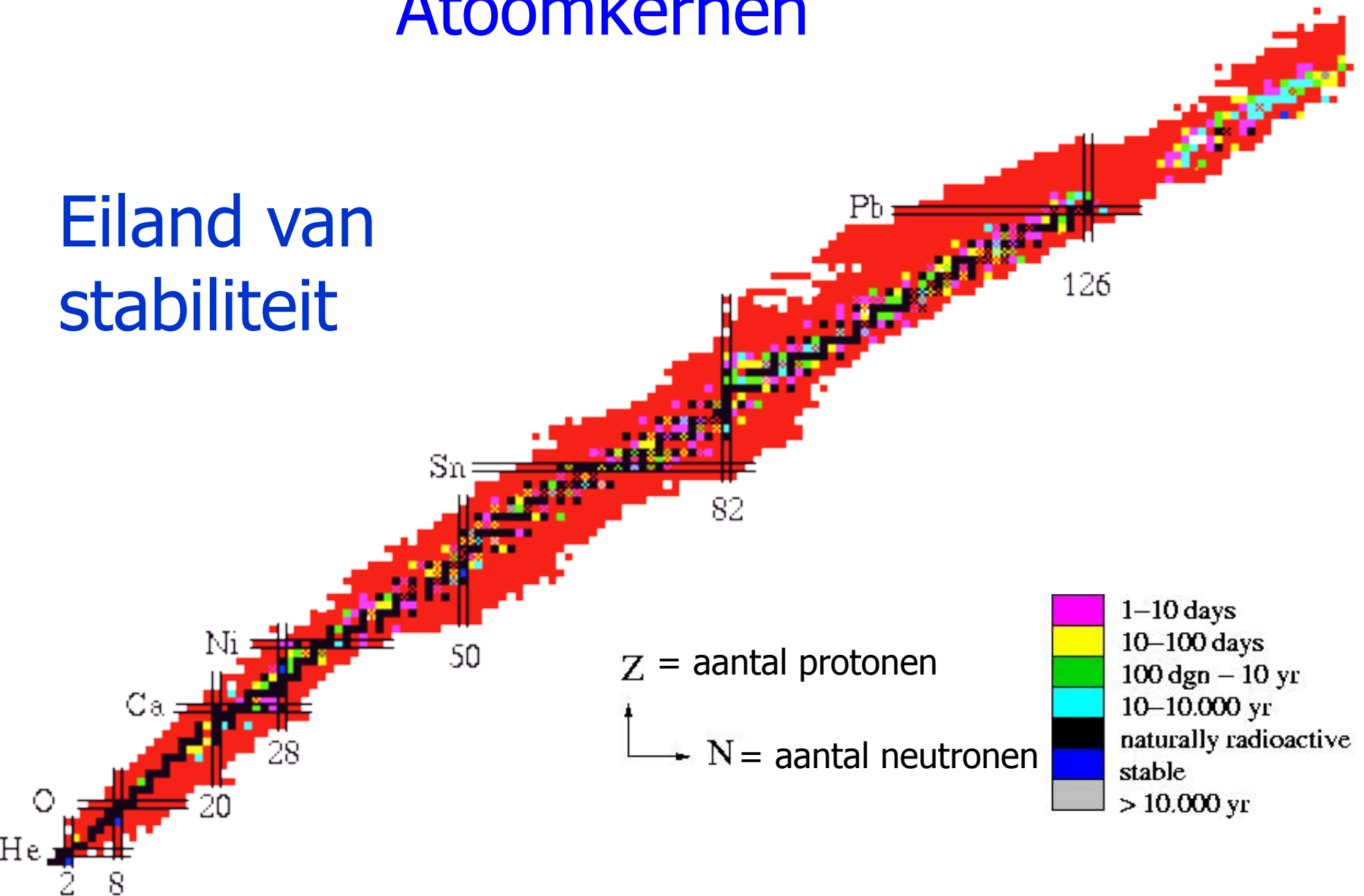
NUCLEON
proton/neutron
 10^{-15} m

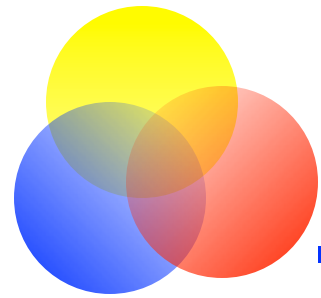


0,000 000 000 000 001 m

Atoomkernen

Eiland van stabiliteit





Atoomkernen

- Isotopen
- Radioactiviteit
alpha, beta, gamma

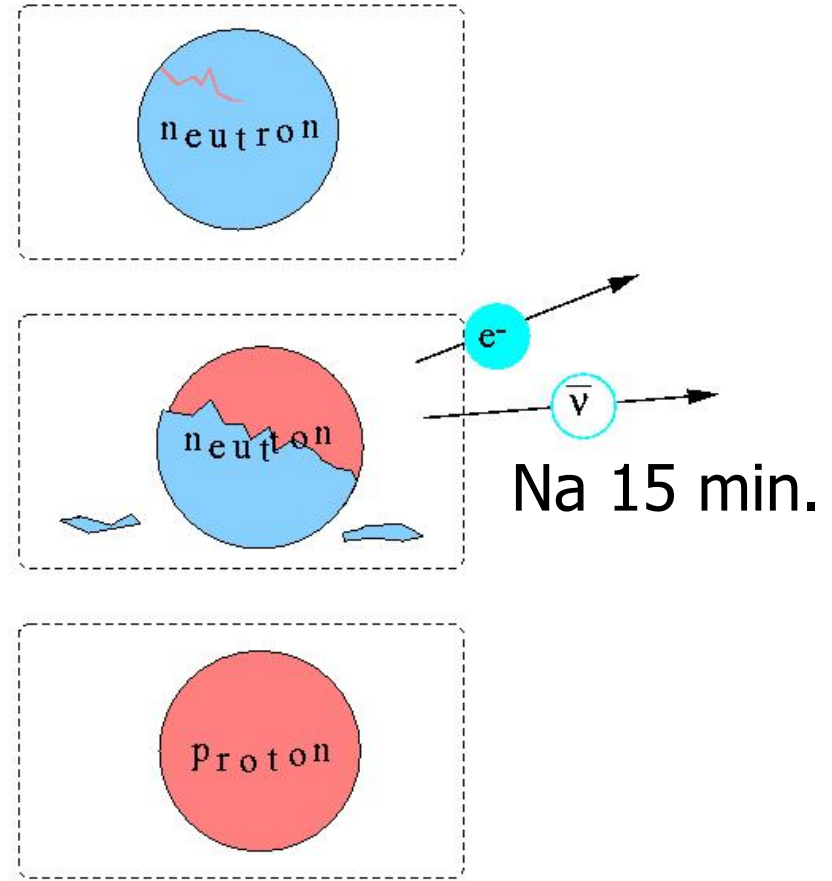


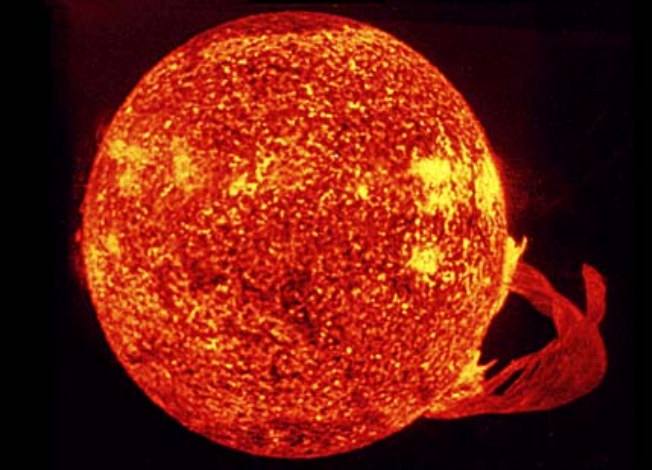
Enrico Fermi



Wolfgang Pauli

- Kernreacties: $mc^2 \rightarrow \text{energie}$

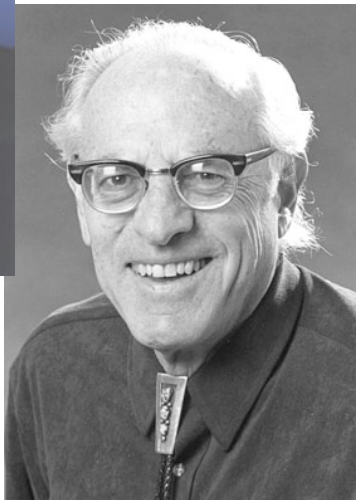




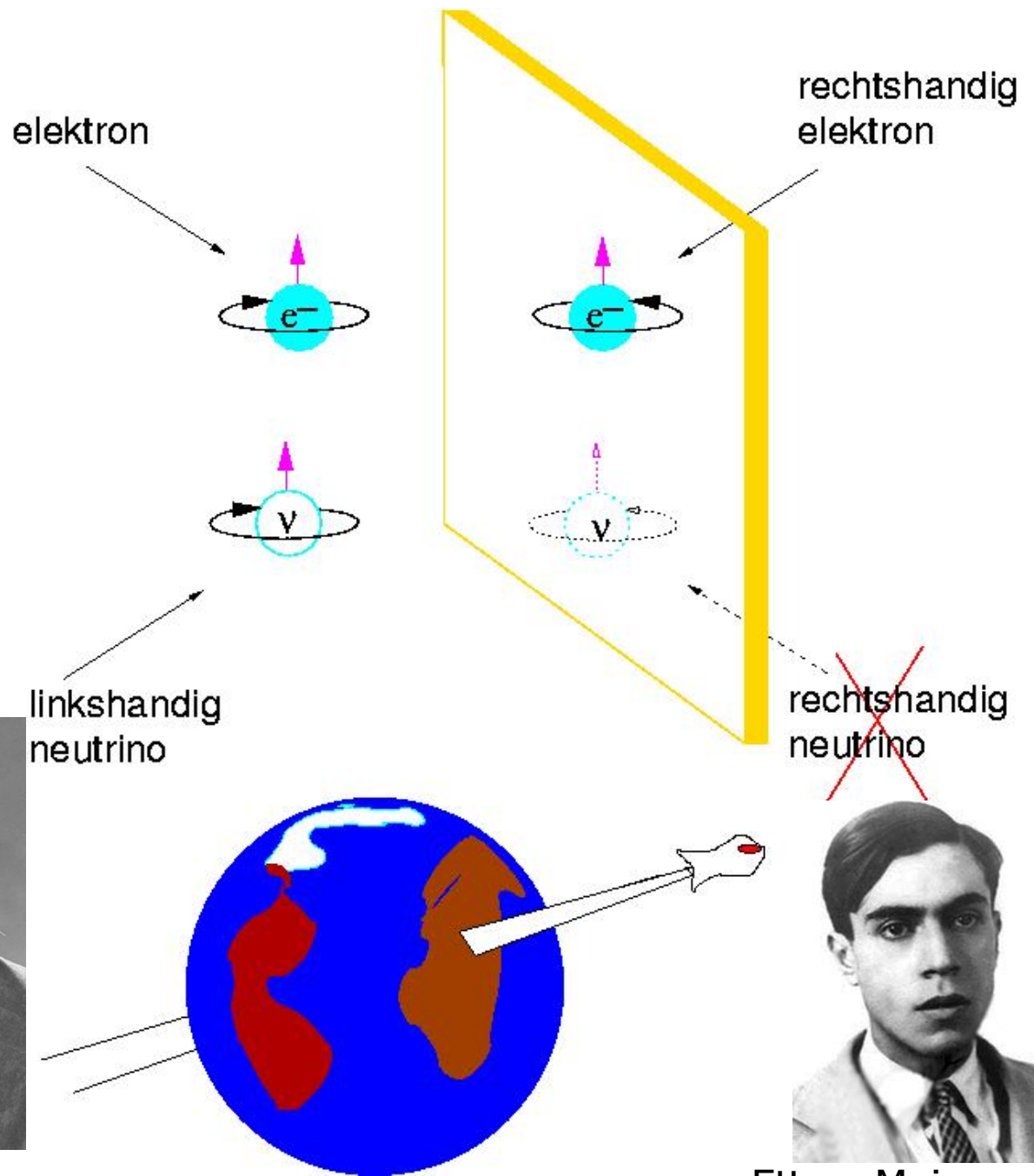
Neutrino's



Leon Lederman



Frederick Reines



Ettore Majorana

05.06.98

'Spookdeeltjes' hebben toch gewicht

Verborgene massa in heelal ontdekt

Door onze redacteur DIRK VAN DELFT

ROTTERDAM, 5 JUNI. Neutrino's, de 'spookdeeltjes' die zo'n zwakke wisselwerking met materie hebben dat ze dwars door de aarde heen vliegen, bezitten massa, anders dan tot nu toe werd aangenomen. Dit hebben Japanse en Amerikaanse natuurkundigen vandaag op een conferentie in Takayama bekendgemaakt.

De ontdekking is van grote betekenis voor kosmologen die al jaren op zoek zijn naar de ontbrekende massa in het heelal, de zogenaamde 'donkere materie'. De huidige modellen van het heelal voorspellen veel meer massa dan in de kosmos valt waar te nemen. Nu bewezen is dat neutrino's massa hebben, zouden ze mooi het tot nu toe onverklaarbare tekort kunnen opvullen. Neutrino's komen vrij na botsingen van kosmische straling met de aardatmosfeer.

De bevinding is het resultaat van twee jaar meten met de Super-

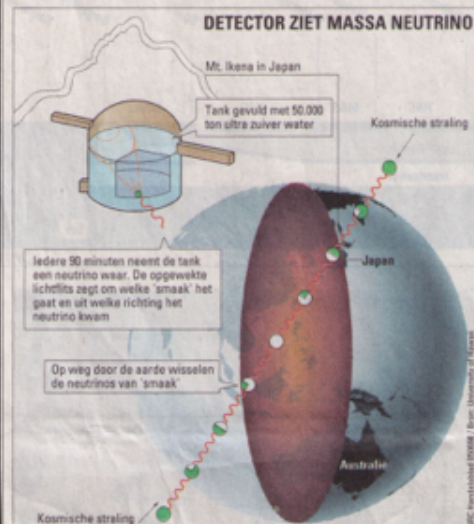
Kamiokande detector in Japan. Kosmologen hebben de vondst met grote belangstelling begroet. Volgens de Amsterdamse theoretisch fysicus prof. dr. K.J.F. Gaemers gaat het hier om „een buitengewoon boeiende ontdekking”. Gaemers: „Het Standaardmodel, dat de elementaire deeltjes beschrijft, zal moeten worden aangepast. Om redenen van eenvoud was de neutrinomassa daarin op nul gesteld, maar noodzakelijk is dat niet. Al een jaar of wat waren er onverklaarbare dingen aan de hand met de neutrino's en voor het

eerst komt er nu een experimentele groep met resultaten die onbetwistbaar lijken.”

Het neutrino is als elementair deeltje in 1930 door Wolfgang Pauli gepostuleerd. In 1956 is het bestaan experimenteel aangetoond. Later bleken er neutrino's in drie soorten te bestaan, met elektron-, muon- of tau-'smaak'. Wanneer deze varianten in elkaar kunnen overgaan, zo ontdekten theoretici, dan was ook bewezen dat neutrino's een massa hebben.

Naar dit wisselen van smaak bij neutrino's zijn fysici over de hele wereld al jaren op zoek. Het Japan-Amerikaanse team dat nu met zijn resultaten naar buiten komt is het eerste met harde bewijzen. De Super-Kamiokande detector bevindt zich, om verstoringen te voorkomen, op 1000 meter diepte in een oude zinkmijn in Mozumi, in de Japanse Alpen. Hij bestaat uit een roestvrij stalen tank gevuld met 50.000 ton ultra-zuiver water en is omgeven door 13.000 lichtdetectoren. Deze nemen de flitsjes waar die ontstaan wanneer een neutrino een zuur stof atoom in de tank treft. Daarbij komen 'secondaire' deeltjes vrij die de lichtsnelheid in water overtreffen en daardoor straling uitzenden.

Na twee jaar meten komen de onderzoekers tot de conclusie dat de Super-Kamiokande ongeveer evenveel elektron- als muonneutrino's ziet. Maar volgens de theorie had de tweede smaak dubbel zo vaak moeten voorkomen. Natraken van foutenbronnen hield het experimentele resultaat stand. De enige uitweg uit deze anomalie is dat de 'zoekgeraakte' muonneutrino's door de aarde heen op weg richting watertank van smaak hebben gewisseld. Waarmee hun massa is aangetoond.



05.06.1998

Gewichtige neutrino's wrikken aan basis fysica

Prof. Mulders: "Het was zo mooi zònder massa!"

Begin juni hakte een team van Japanse en Amerikaanse fysici de knoop door. Het *Standaardmodel*, de volledige beschrijving van de allerkleinste deeltjes, moet veranderd worden. Dit model ging ervan uit dat neutrino's massaloos zijn. Deze kleine spookdeeltjes blijken echter wel degelijk gewicht te hebben.

Prof. dr. Piet Mulders, als hoogleraar Theoretische Natuurkunde verbonden aan de Vrije Universiteit te Amsterdam, reageert enthousiast, maar toch ook een tikkeltje teleurgesteld.

"Neutrino's zijn elementaire deeltjes die dwars door alle materie vliegen. Per seconde gaan er ongeveer honderd door je heen. Toch heb je maar een kans van tien procent dat gedurende je hele leven zo'n neutrino botst met een atoomkern in je lichaam. Detectie van

panse berg Ikema. Deze houdt alle deeltjes die door de atmosfeer schieten tegen, behalve neutrino's. Dat maakt het makkelijker ze te detecteren. Per dag worden in dat enorme vat gemiddeld zes botsin-



Prof. dr. Piet Mulders, VU Amsterdam

kleinste deeltjes (waar de wetten van de quantummechanica gelden) zijn ze aan de orde van de dag. Het blijkt dat deze deeltjes in veel gevallen *oscilleren* tussen verschillende verschijningsvormen.

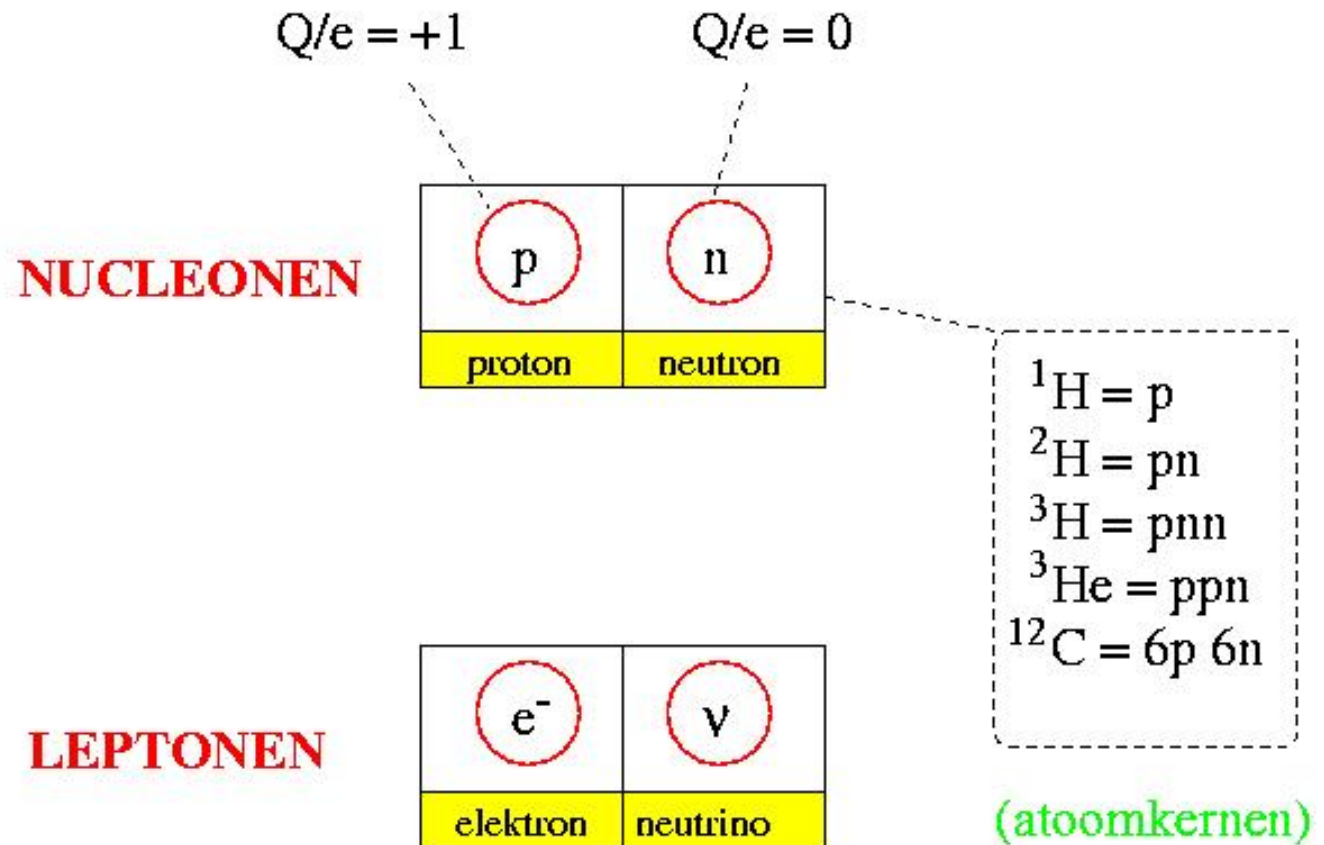
Theoretisch natuurkundigen hadden al jaren geleden berekend dat dit soort oscillaties bij neutrino's alleen waarneembaar zijn als er een massaverschil is tussen de verschillende types. De oscillaties die het Super-Kamiokande team heeft waargenomen bewijzen dus dat neutrino's massa hebben.

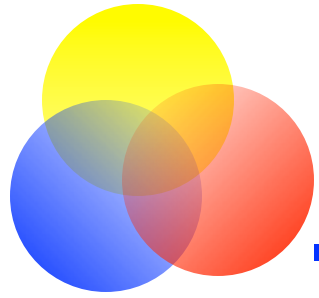
"Voor natuurkundigen is er weer werk aan de winkel. Het Standaardmodel moet uitgebreid worden met dit nieuwe inzicht. Maar een aantal problemen waar fysici mee worstelen, zouden hierdoor wellicht juist uit de wereld geholpen kunnen worden!

Zo kunnen astronomen al jarenlang

1998
Interview in
Aik door
Wilm Geurts en
Joost van Mameren

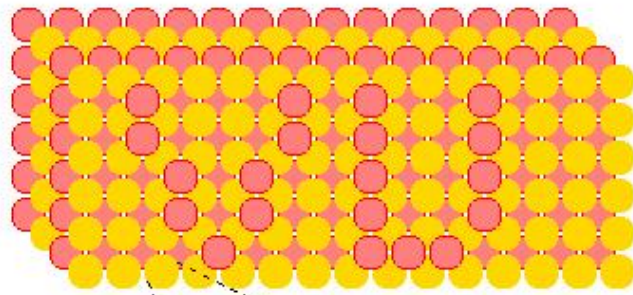
Bouwstenen van de subatomaire wereld (tot zover)





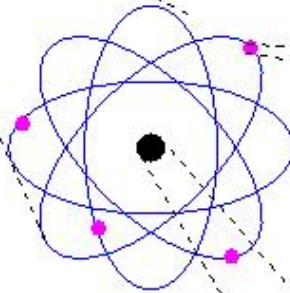
De elementaire (?) deeltjes





MATERIE

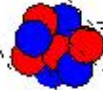
ATOOM
 10^{-10} m



ELEKTRON



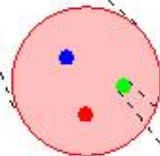
ATOOMKERN
 10^{-14} m



NEUTRINO



NUCLEON
proton/neutron
 10^{-15} m



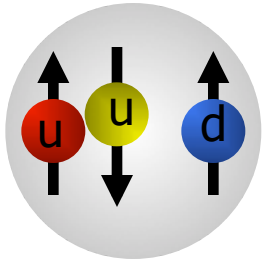
< 0,000 000 000 000 000 001 m

'puntdeeltjes' !

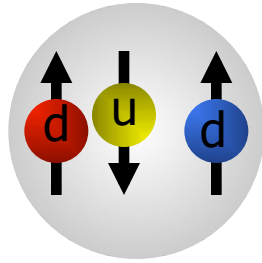
QUARK
up/down



Elementaire (?) Bouwstenen van de materie

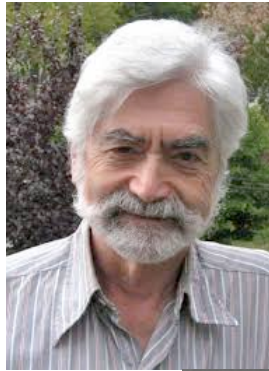


proton



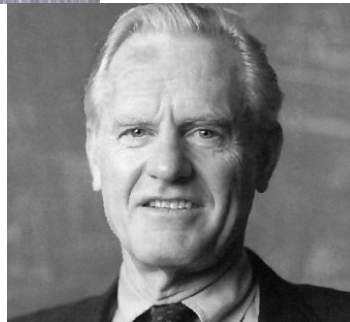
neutron

nucleonen

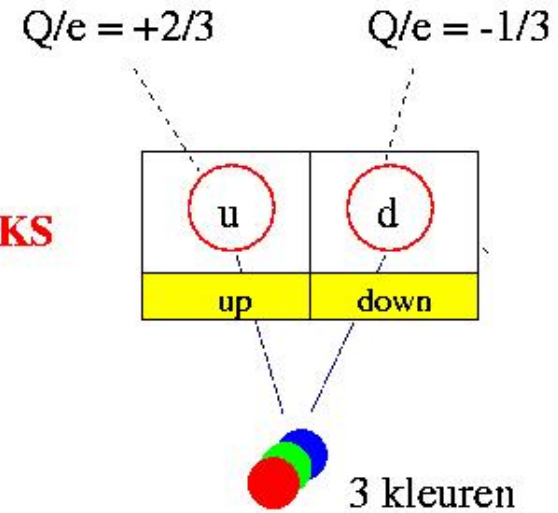


Murray Gell Mann &
George Zweig (1963)

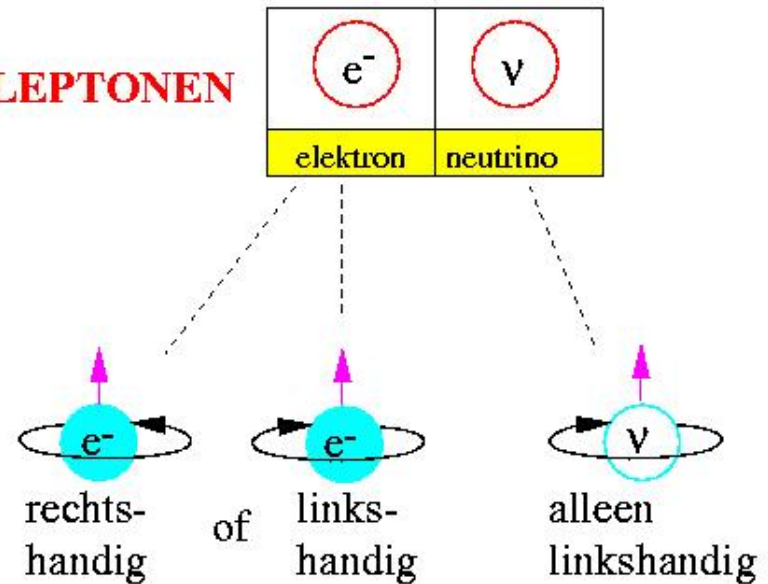
SLAC experiments (1968)

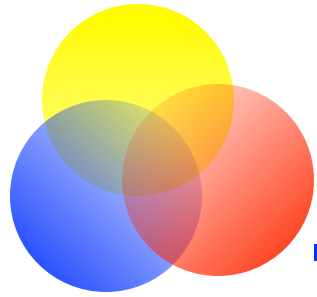


QUARKS

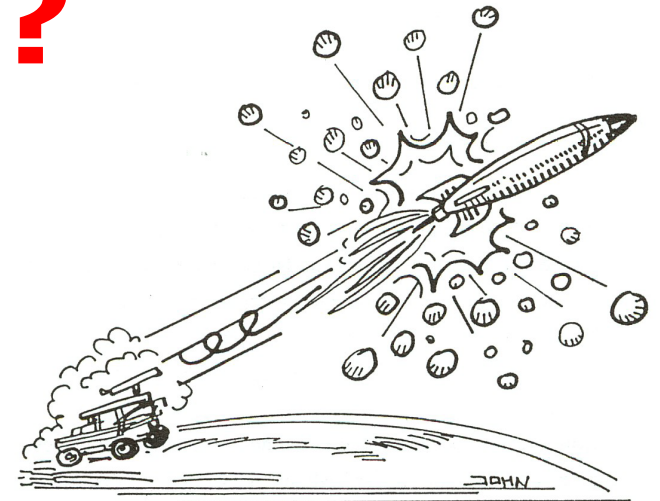


LEPTONEN

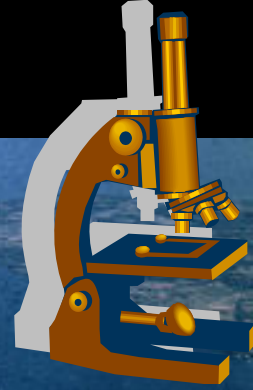




Hoe weten we dat allemaal?

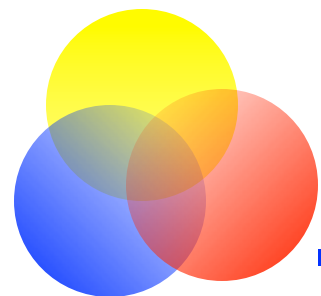


'Kijken' met de steeds betere 'microscopen'



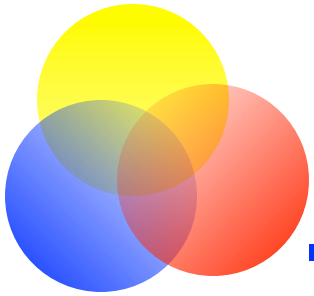
'VERSNELLERS'





De anti-deeltjes





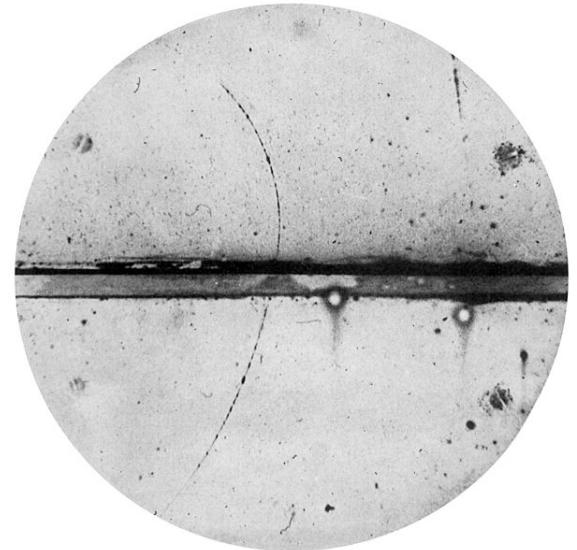
Antideeltjes



Paul Dirac

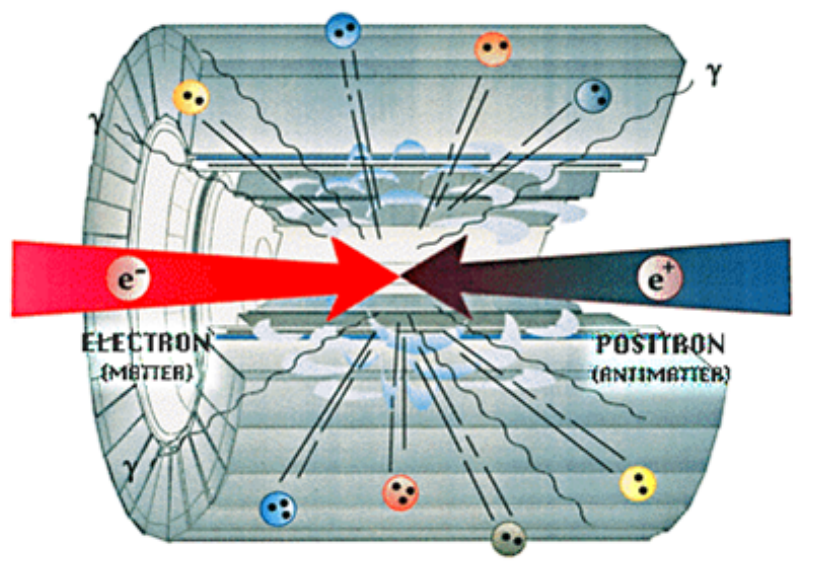
$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4 \Rightarrow E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$$

Deeltje met negatieve energie = antideeltje met positieve energie (Paul Dirac, 1931)



Positron discovered in 1932
(Carl Anderson)





Antideeltjes



energie $\rightarrow mc^2$

u	d
up	down

QUARKS

e^-	ν
elektron	neutrino

LEPTONEN

$\bar{u}$	$\bar{d}$
up	down

ANTIQUARKS

e^+	$\bar{\nu}$
positron	neutrino

ANTILEPTONEN

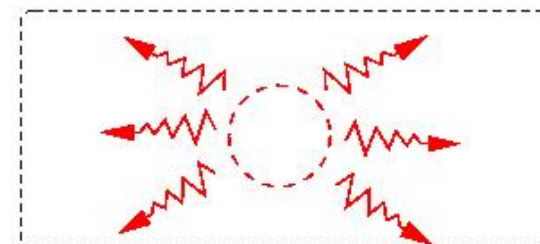
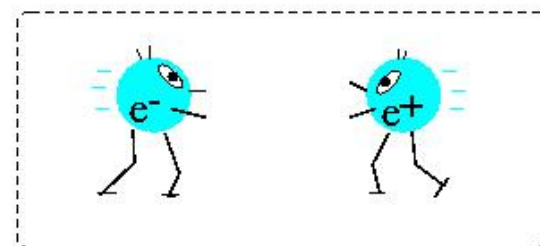
$$\pi^+ = u\bar{d}$$

$$\pi^- = \bar{u}d$$

(pionen)

ANNIHILATIE

$e^- e^+ \rightarrow \text{energie}$

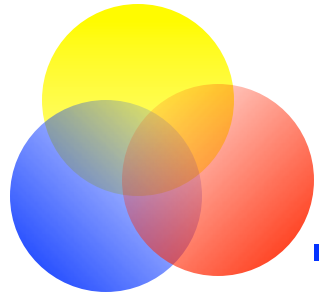


Standaard model

	QUARKS	LEPTONEN								
Familie 1	<table><tr><td>u</td><td>d</td></tr><tr><td>up</td><td>down</td></tr></table>	u	d	up	down	<table><tr><td>e^-</td><td>ν_e</td></tr><tr><td>elektron</td><td>neutrino</td></tr></table>	e^-	ν_e	elektron	neutrino
u	d									
up	down									
e^-	ν_e									
elektron	neutrino									
Familie 2	<table><tr><td>c</td><td>s</td></tr><tr><td>charm</td><td>strange</td></tr></table>	c	s	charm	strange	<table><tr><td>μ^-</td><td>ν_μ</td></tr><tr><td>muon</td><td>neutrino</td></tr></table>	μ^-	ν_μ	muon	neutrino
c	s									
charm	strange									
μ^-	ν_μ									
muon	neutrino									
Familie 3	<table><tr><td>t</td><td>b</td></tr><tr><td>top</td><td>bottom</td></tr></table>	t	b	top	bottom	<table><tr><td>τ^-</td><td>ν_τ</td></tr><tr><td>tau</td><td>neutrino</td></tr></table>	τ^-	ν_τ	tau	neutrino
t	b									
top	bottom									
τ^-	ν_τ									
tau	neutrino									
	+ ANTIQUARKS	+ ANTILEPTONEN								

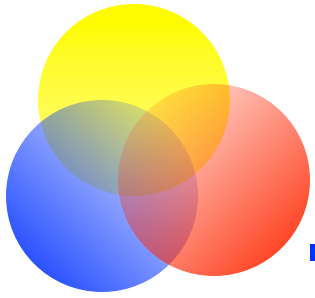






Krachten in materie





Krachten in het dagelijks leven

- Elektromagnetisme
- Zwaartekracht

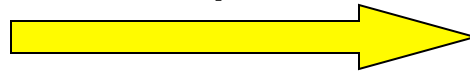
- Twee van de vier basiskrachten
- Beide gebaseerd op fundamentele principes



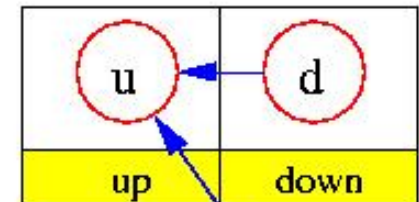
Standaard model

- 3 deeltjesfamilies
- 4 fundamentele krachten
- sterke kracht
quark → nucleon → atoomkern
- elektromagnetische kracht
atoom → molecuul → complexiteit
- zwakke kracht
verval

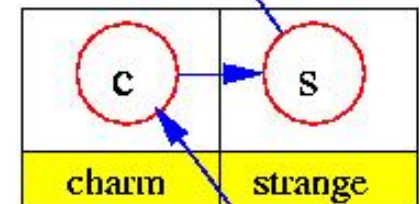
UNIFICATIE



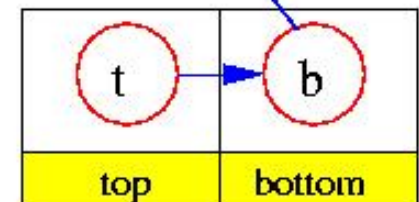
Familië 1



Familië 2



Familië 3



Velden zijn ook deeltjes!

QUARKS

LEPTONEN

Familie 1

u	d
up	down

e^-	ν_e
elektron	neutrino

Familie 2

c	s
charm	strange

μ^-	ν_μ
muon	neutrino

Familie 3

t	b
top	bottom

τ^-	ν_τ
tau	neutrino

+
ANTIQUARKS

+
ANTILEPTONEN

+ KRACHTDEELTJES

g	γ	W^+ Z^0 W^-	G
graviton	foton	W, Z bosonen	8 gluonen

gravitatie
elektromagnetisme
+
zwakke kracht

sterke kracht



Glashow, Salam, Weinberg

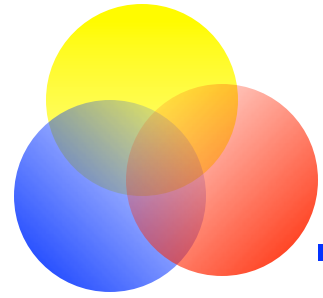
Van idee van unificatie
(1967) naar ontdekking
van W & Z deeltjes
(1983)

Simon van der Meer, Carlo Rubbia



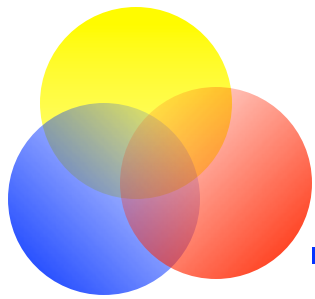
home





Hoe werken krachtdeeltjes



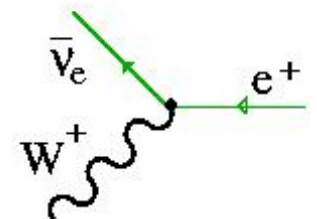
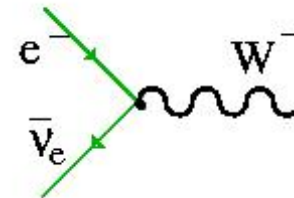
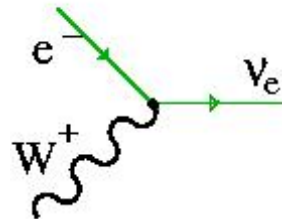
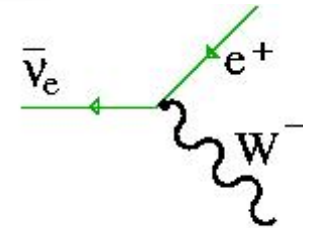
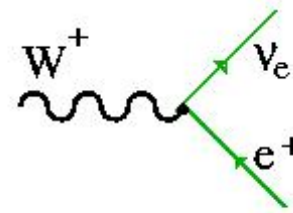
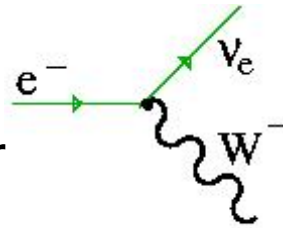


Krachtdeeltjes van zwakke kracht

en sterke

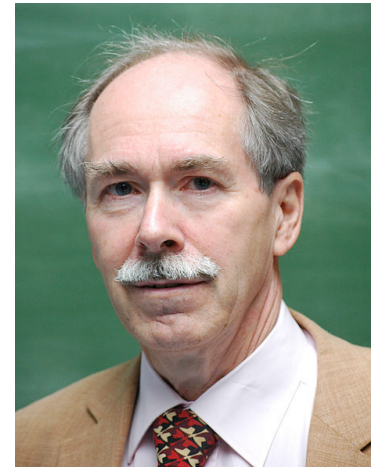
Krachtdeeltjes:

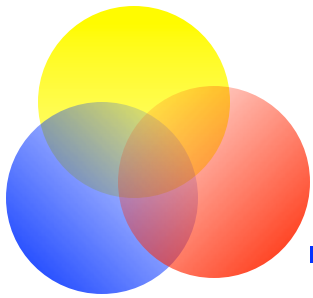
- ✓ brengen krachten over
- ✓ creëren een paar (deeltje-antideeltje)
- ✓ annihileren een paar



Richard Feynman

Martinus Veltman
Gerard 't Hooft



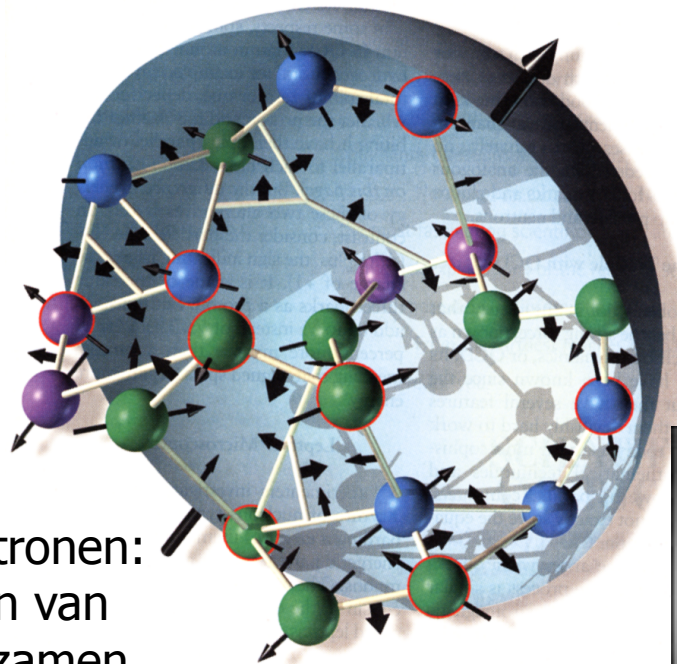


Hoe geven de quarks het proton zijn eigenschappen

(Zo goed als) massaloze quarks en gluonen

Een 'one-line' theorie: QCD (Quantumchromodynamics)

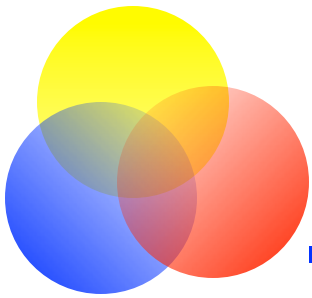
$$L = -\frac{1}{4g^2} FF + \bar{\psi}(i\partial + A)\psi$$



Protonen en neutronen:
Basis bouwstenen van
atoomkernen, tezamen
99.5 % van de zichtbare
massa in het heelal



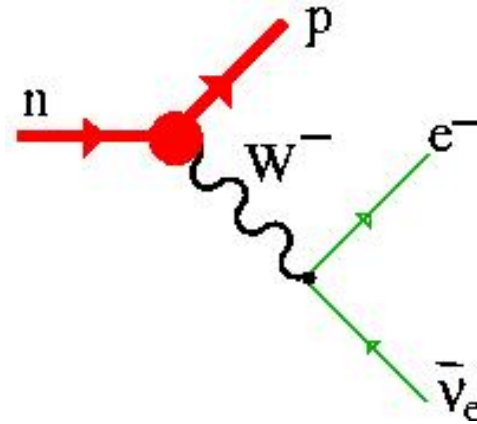
Callan, Gross, Wilczek



Zwak verval van neutron

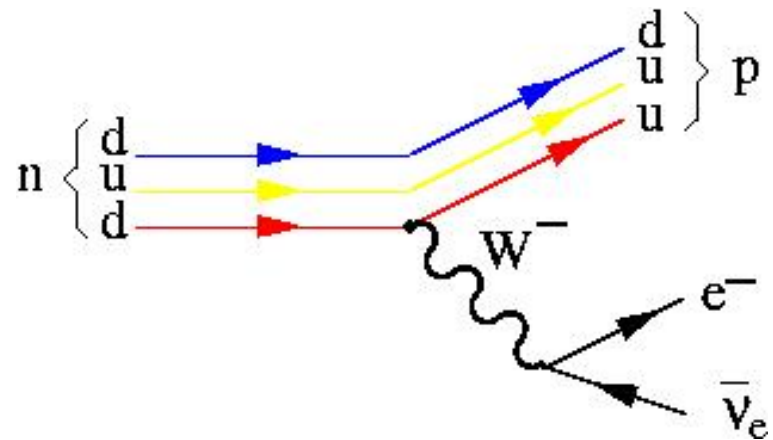
Neutron beta-verval

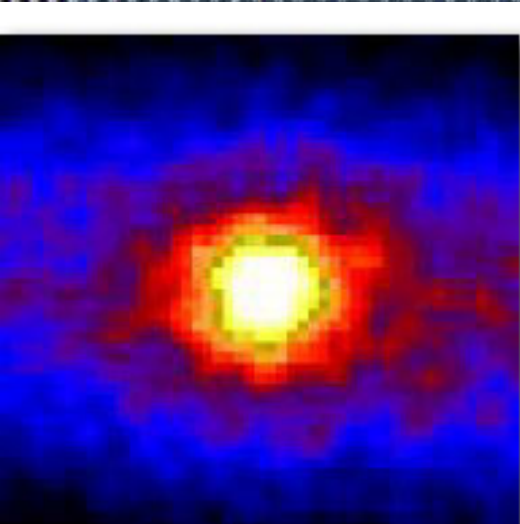
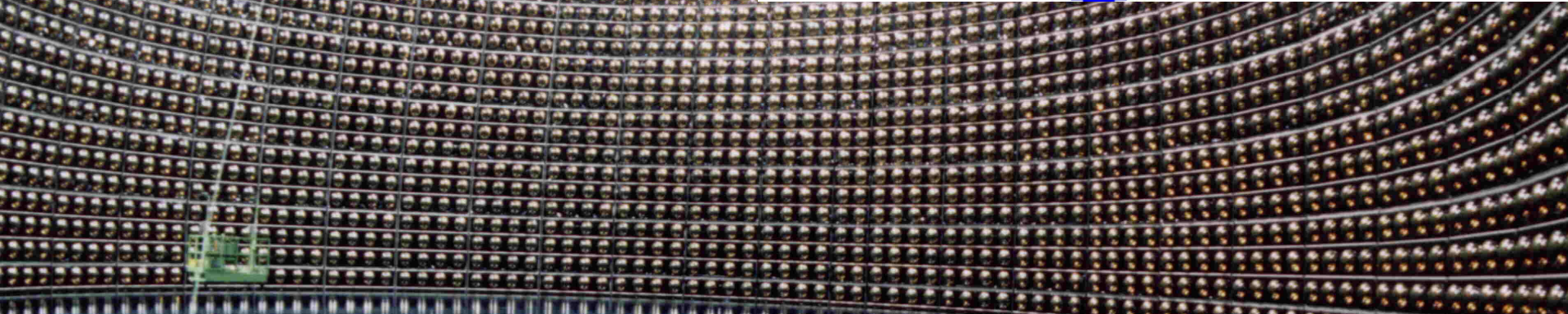
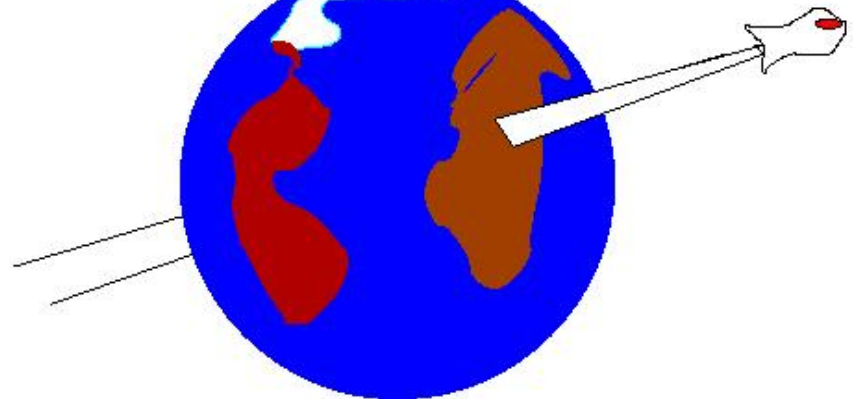
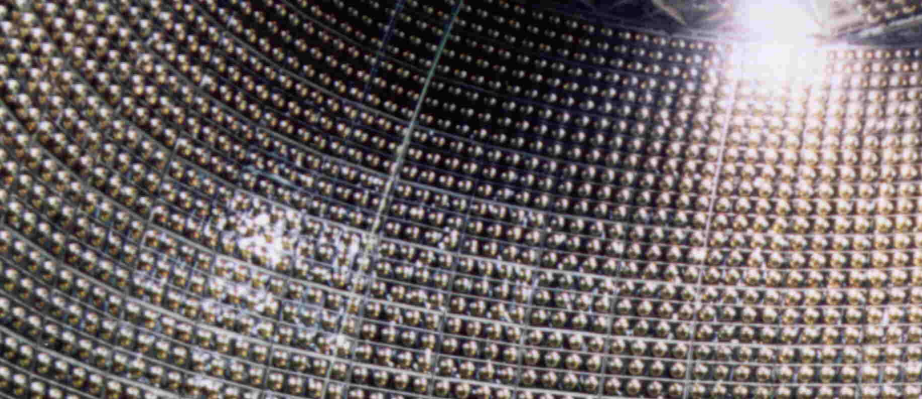
$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$



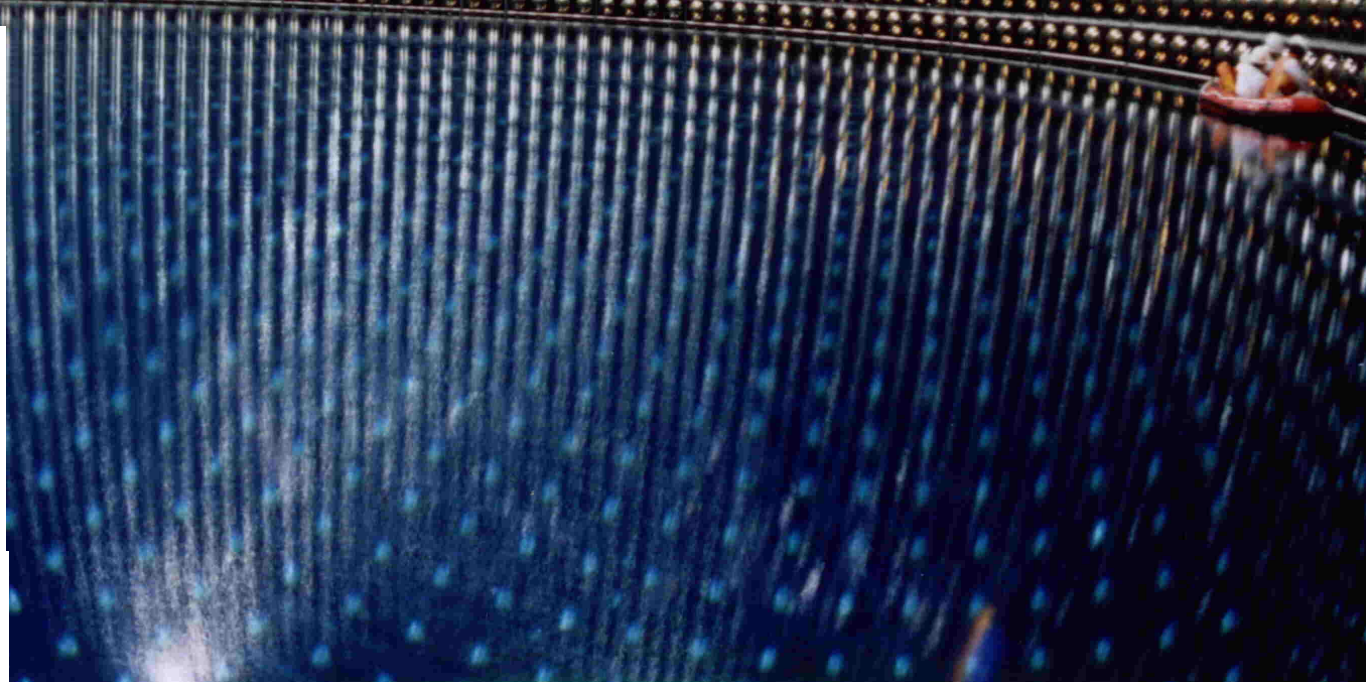
Op niveau van quarks

$$d \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e$$





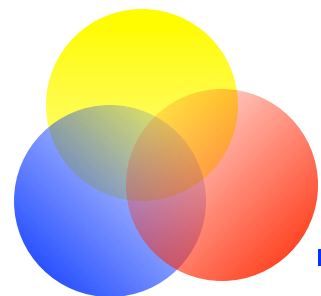
Zon gezien dwars door de Aarde heen



Wie is Peter Higgs

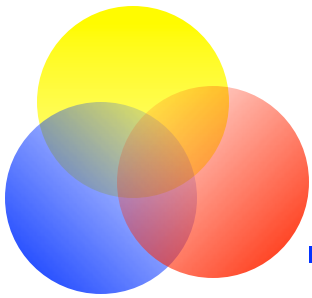






Het Higgs deeltje





Standaard model

- 3 deeltjesfamilies
- 4 fundamentele krachten
- Bijbehorende krachtdaeltjes

	QUARKS		LEPTONEN	
Familie 1	u up	d down	e^- elektron	ν_e neutrino
Familie 2	c charm	s strange	μ^- muon	ν_μ neutrino
Familie 3	t top	b bottom	τ^- tau	ν_τ neutrino
	+ ANTIQUARKS		+ ANTILEPTONEN	

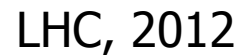
+ KRACHTDEELTJES

g graviton	γ foton	W^+ Z^0 W^- W, Z bosonen	G 8 gluonen
----------------------------------	---	---	-----------------------------------

gravitatie elektromagnetisme
+
zwakke kracht sterke kracht

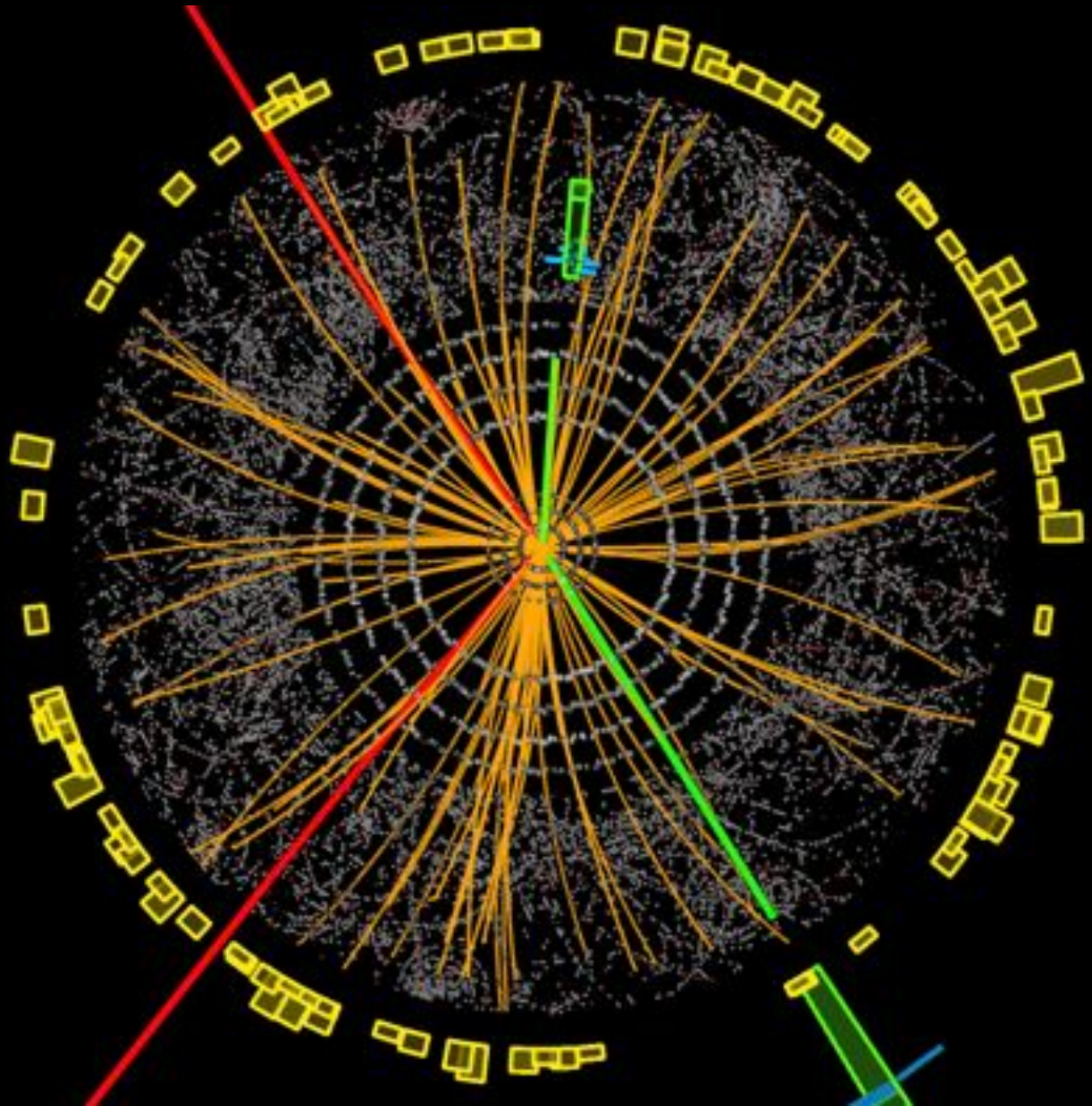


- Higgs veld
én deeltje



The plot displays the $S/(S+B)$ Weighted Events / 1.5 GeV on the y-axis (ranging from 0 to 1500) against $m_{\gamma\gamma}$ (GeV) on the x-axis (ranging from 110 to 155). The data points are shown as black circles with error bars. The total fit is represented by a solid red line, and the background fit component is shown as a dotted red line. The signal region is highlighted by a yellow shaded area, and the $\pm 1\sigma$ and $\pm 2\sigma$ confidence intervals are indicated by green shaded regions. An inset plot provides a magnified view of the signal region, showing the data points and the fit components in more detail. The inset x-axis ranges from 120 to 130 GeV, and the y-axis ranges from 600 to 900. The inset also shows the $\pm 1\sigma$ and $\pm 2\sigma$ confidence intervals.

Higgs deeltje in Atlas detector



QUARKS

LEPTONEN

Familie 1

u	d
up	down

e^-	ν_e
elektron	neutrino

Familie 2

c	s
charm	strange

μ^-	ν_μ
muon	neutrino

Familie 3

t	b
top	bottom

τ^-	ν_τ
tau	neutrino

+
ANTIQUARKS

+
ANTILEPTONEN

+ KRACHTDEELTJES

g	γ	W^+ Z^0 W^-	G
graviton	foton	W, Z bosonen	8 gluonen

gravitatie

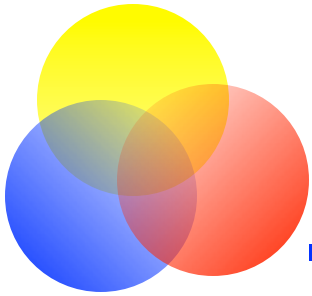
elektromagnetisme

+
zwakke kracht

sterke kracht

+ HIGGS VELD/DEELTJE

H

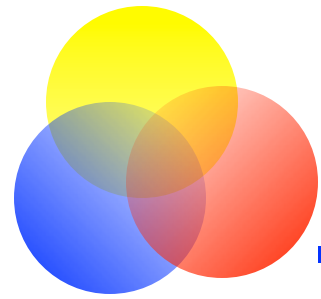


Vragen

- 3 families !?
- 3 kleuren !?
- 3 ruimte dimensies !?
- 1 tijd dimensie !
- donkere materie en energie !?
- link met zwaartekracht !?
- netto lading in heelal is nul !?
-

Magic of 3

Nog geen bevredigende antwoorden !



De geschiedenis van het heelal

Een verhaal in zes episodes



13.8 miljard jaar geleden



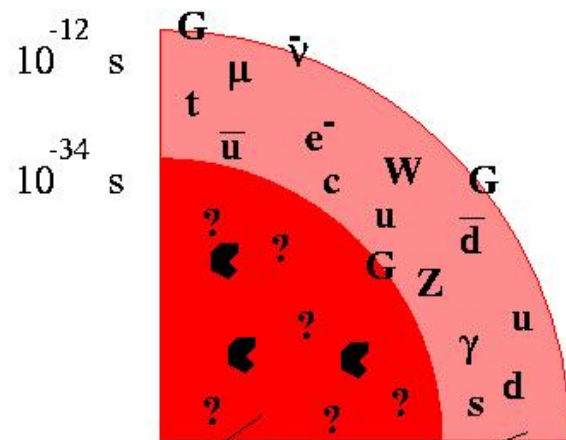
OERKNAL

10^{-34} s



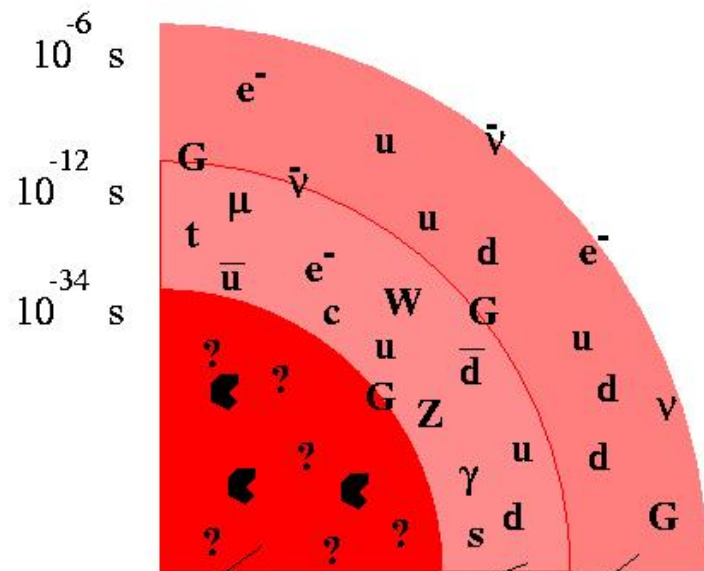
gravitatie?

inflatie



gravitatie?

superzwakke kracht
 # deeltjes > # antideeltjes



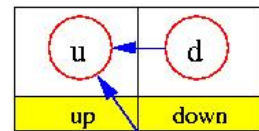
gravitatie?

superzwakke kracht

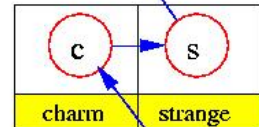
deeltjes > # antideeltjes

zwakke kracht
1^e familie blijft over

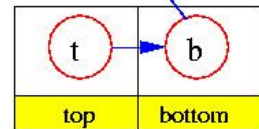
Familie 1

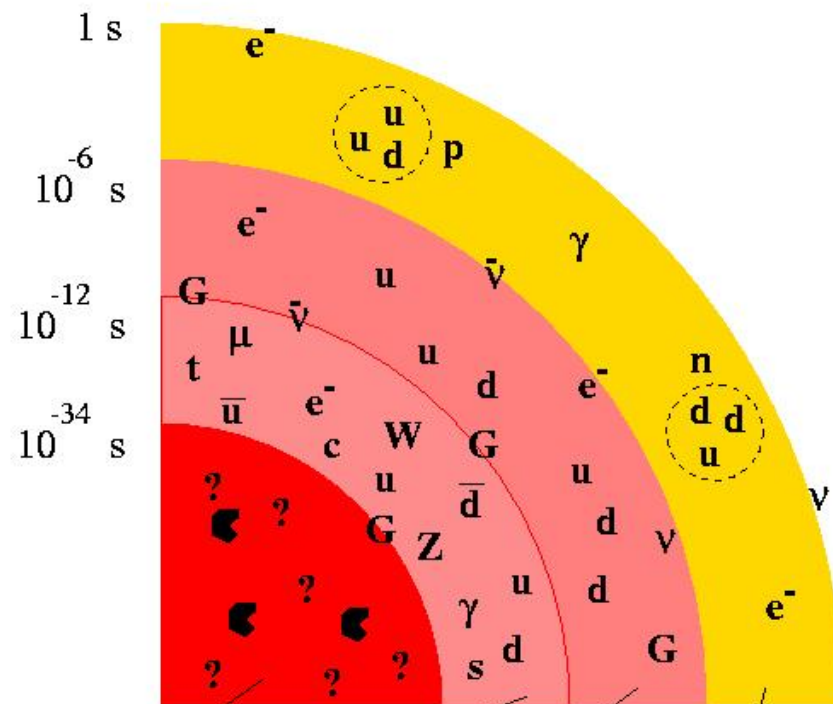


Familie 2



Familie 3





gravitatie?

superzwakke kracht

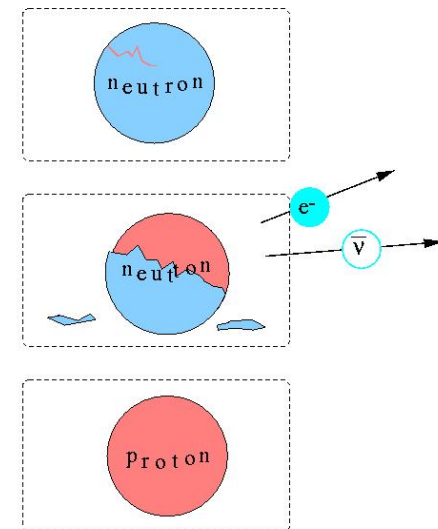
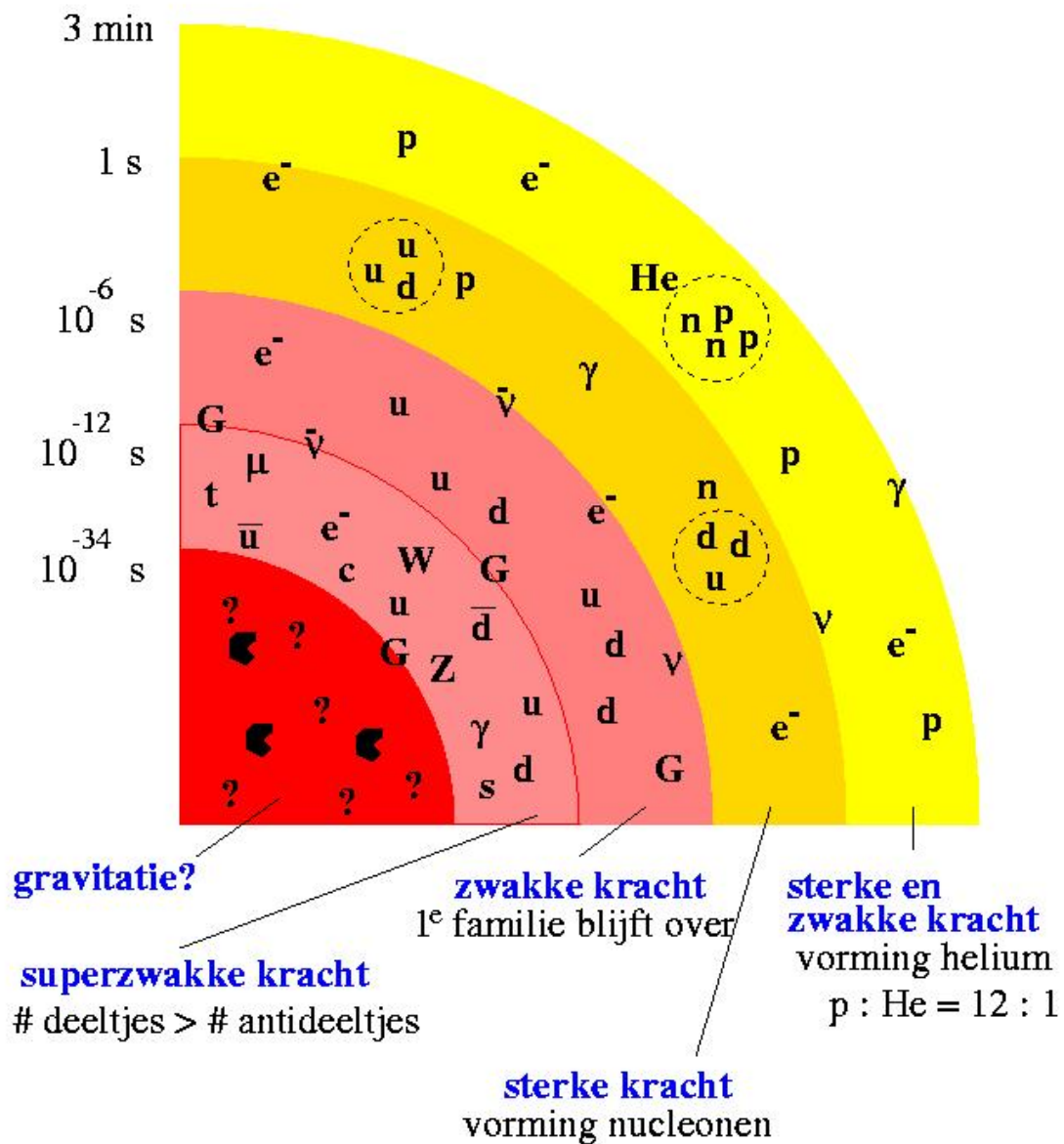
deeltjes > # antideeltjes

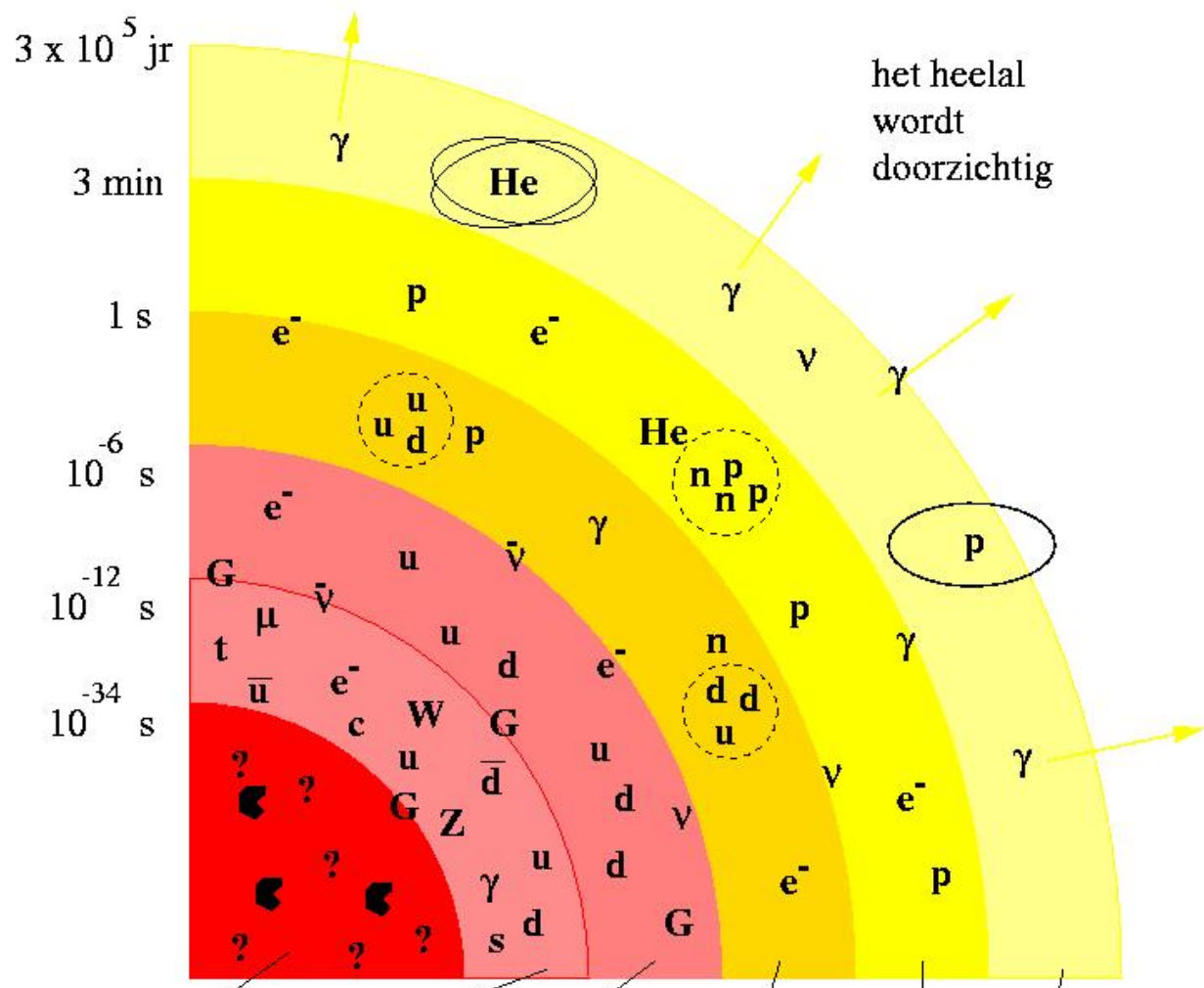
zwakke kracht

1^e familie blijft over

sterke kracht

vorming nucleonen





gravitatie?

superzwakke kracht
deeltjes > # antideeltjes

zwakke kracht
1^e familie blijft over

sterke kracht
vorming nucleonen

sterke en zwakke kracht
vorming helium
p : He = 12 : 1

e.m. kracht
vorming atomen

het heelal
wordt
doorzichtig

... en tenslotte nu







PUBLIC
SCIENCE



VRIJE
UNIVERSITEIT
AMSTERDAM

18 april: *Begrijp dit maar eens*, Pakhuis De Zwijger
Interactieve lezing met hoogleraar computers en taal Piek Vossen

25 april: *Hack de toekomst*, Pakhuis De Zwijger
Theaterdebat met hoogleraar hacken Herbert Bos

6 mei: *Superheld in de maak*, Pakhuis De Zwijger
Interactieve lezing met hoogleraar wiskunde Jan Bouwe van den Berg

14 mei: *Hectiek op de nanometer*, Amstelkerk
Muzieklezing met hoogleraar natuurkunde Erwin Peterman