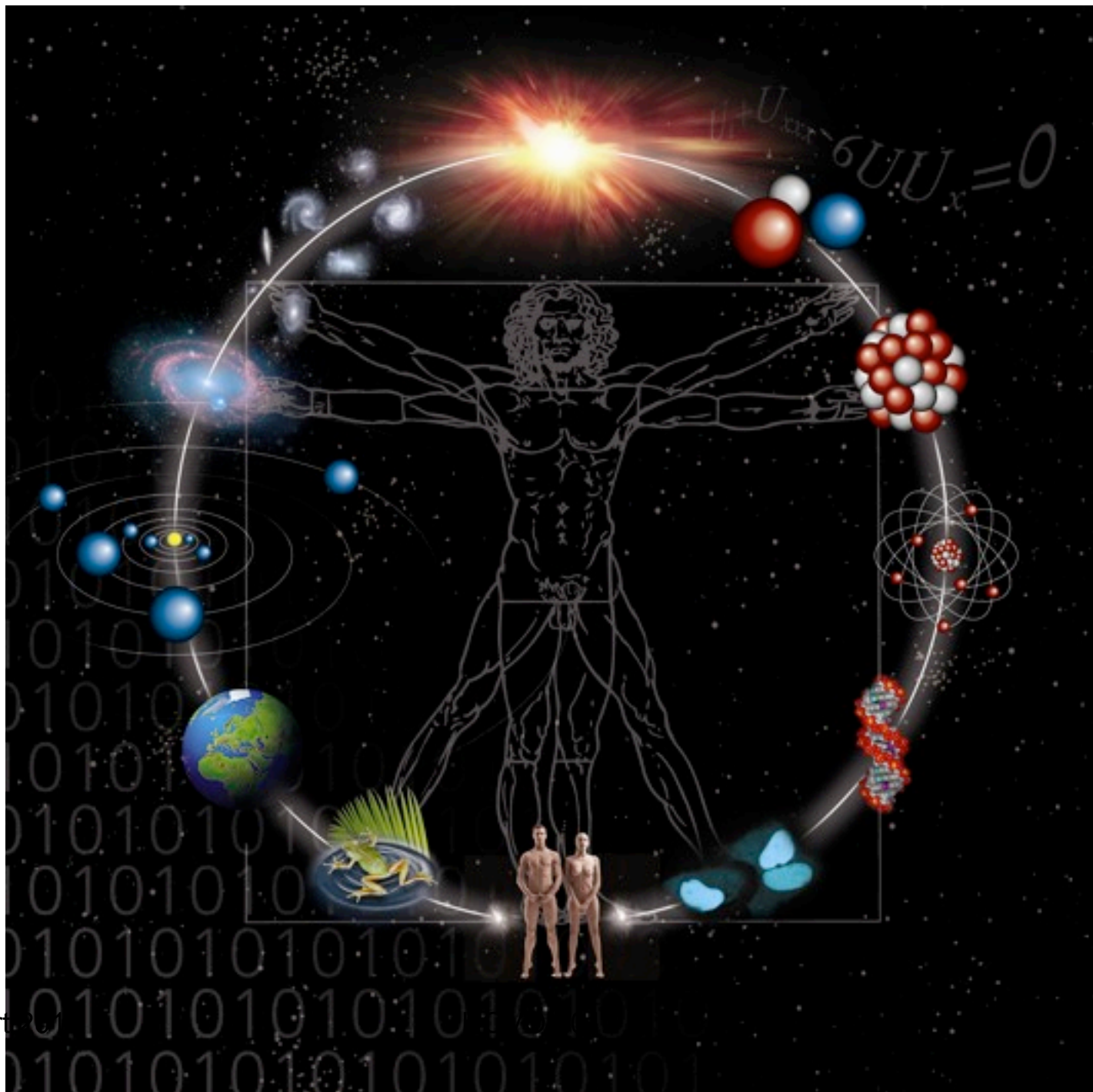


Het Standaardmodel

HOVO college Teylers

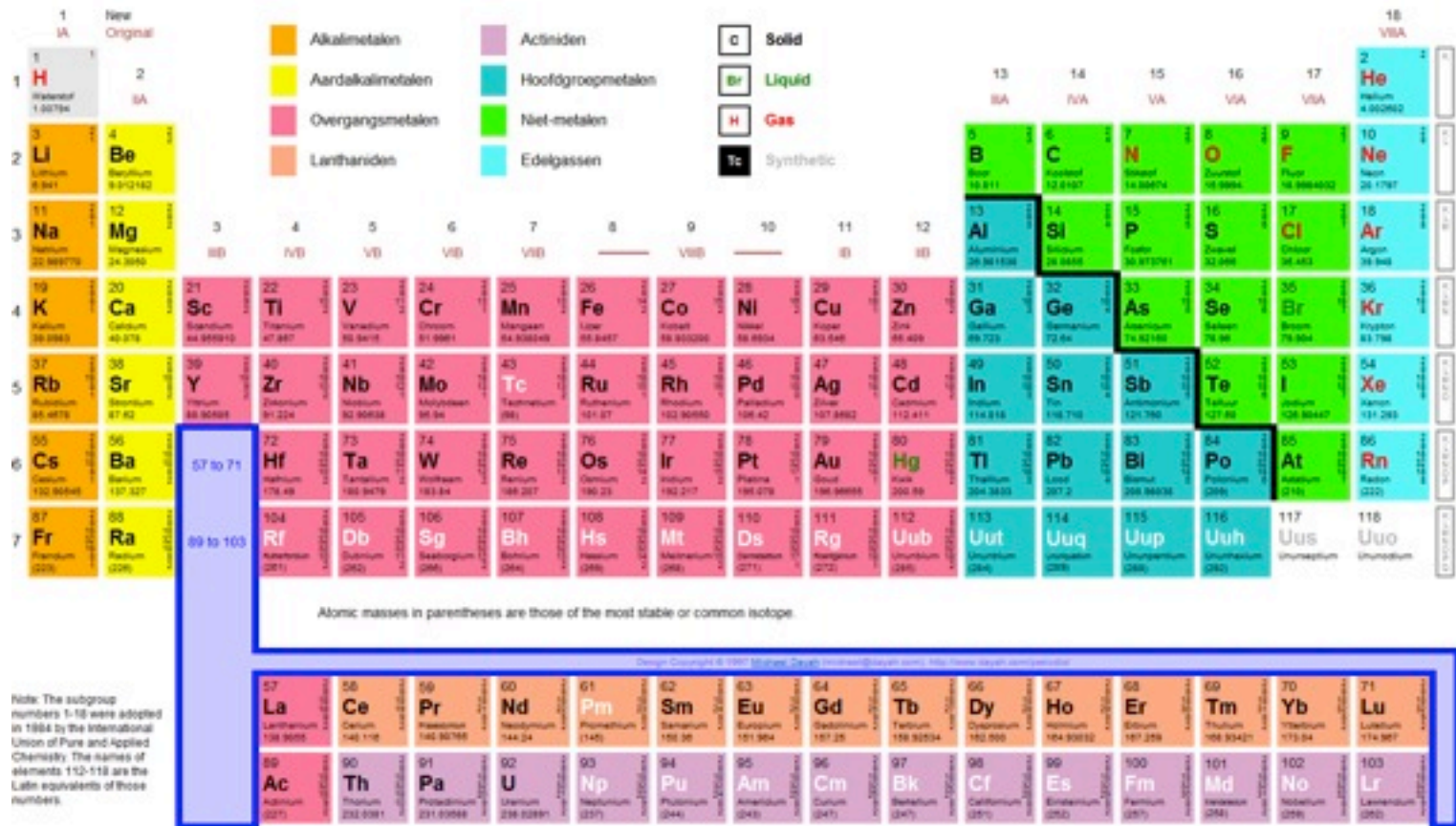
20 maart 2012

K.J.F.Gaemers



20 maart 2012

Periodiek Systeem der Elementen

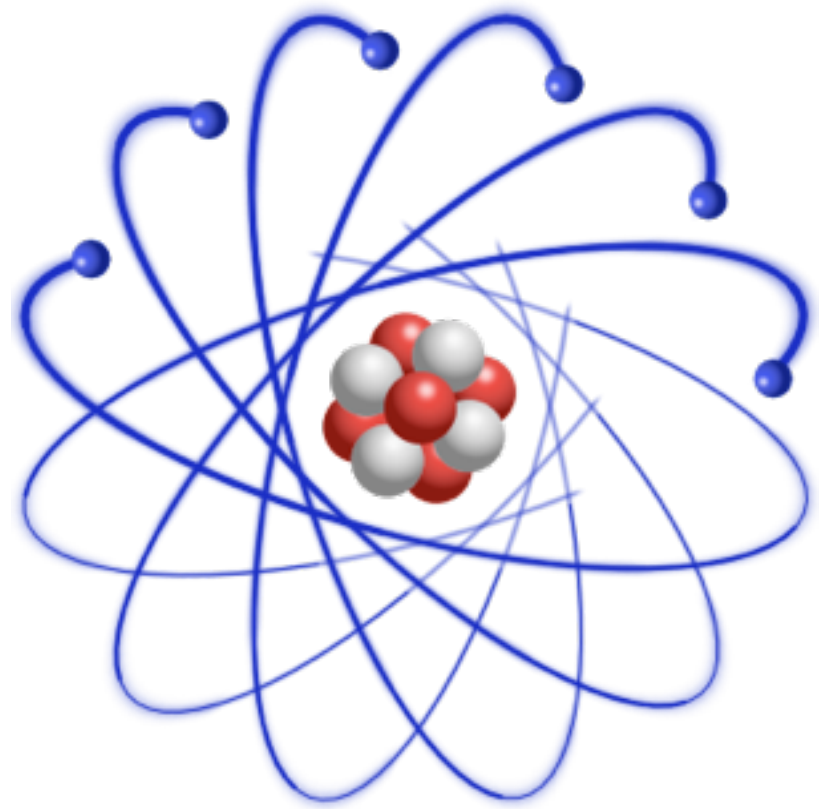


20 maart 2012

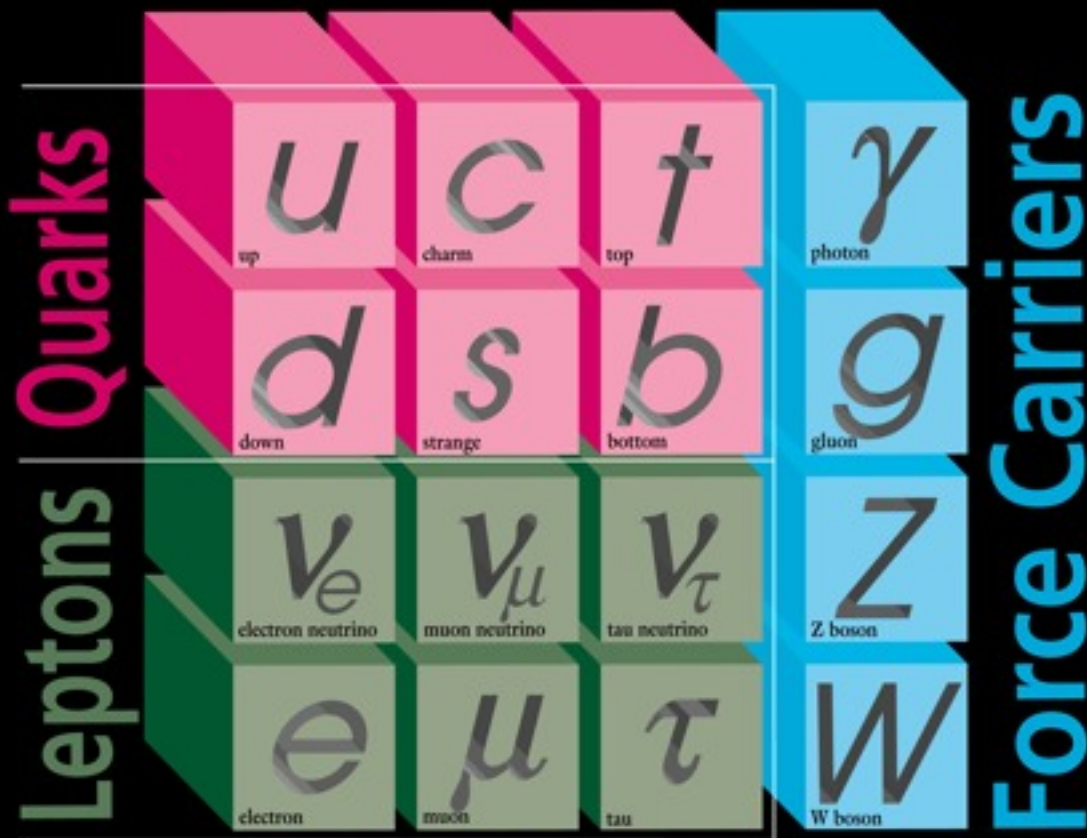
HOVO 2012 I

3

- C12 atoom
- 6 elektronen
- 6 protonen
- 6 neutronen



ELEMENTARY PARTICLES



I II III
Three Generations of Matter

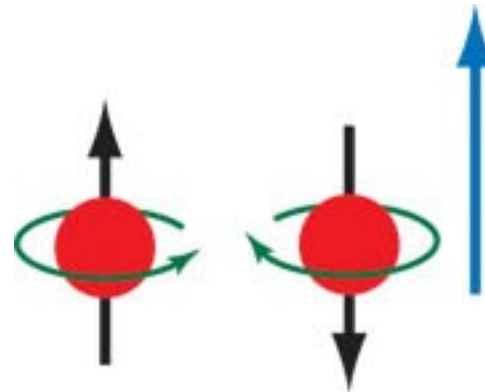
20 maart 2012

5

Wat is een deeltje?

Twee basistheorieën, quantummechanica en speciale relativiteitstheorie leggen heel veel zaken vast.

1. Massa(kg of MeV)
2. Spin ($0, \frac{1}{2}, \dots$)
3. Levensduur (spontaan verval)



Verdere eigenschappen

- Ladingen (waardoor krachten)

Het begrip lading is heel algemeen. Elektrische lading leidt tot aantrekkende en afstotende krachten. Ook massa leidt via zwaartekracht tot aantrekking. Massa is in die zin ook een “lading”.

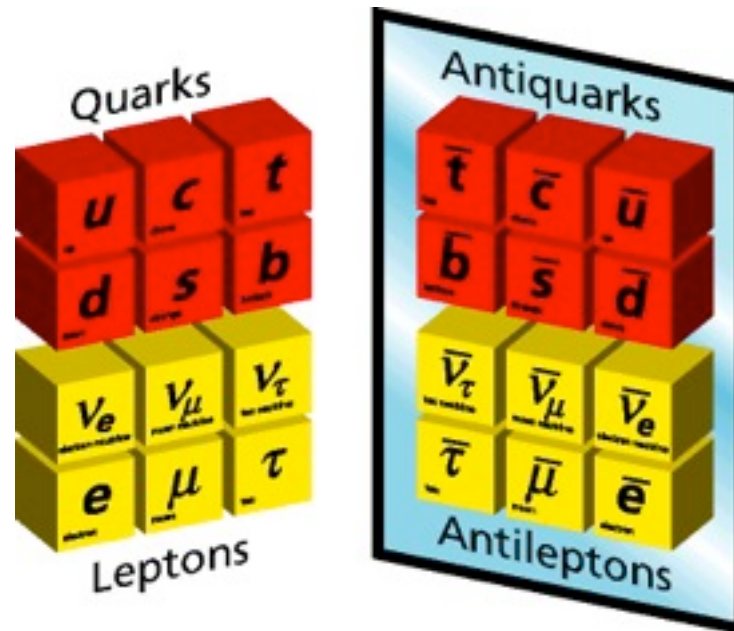
Een tweedeling met consequenties

- Deeltjes met spin gelijk aan $1/2$, $3/2$, $5/2$, etc. noemen we **Fermionen**.
- Fermionen willen niet in dezelfde toestand zitten.
- Pauli verbod, atoombouw.
- Deeltjes met een spin gelijk aan $0, 1, 2$, etc. worden **Bosonen** genoemd.
- Bosonen willen op een kluitje zitten.
- Bose-Einstein condensatie.
- Supervloeibaar He.

Antimaterie

De combinatie van quantummechanica en speciale relativiteitstheorie geeft de noodzaak voor het bestaan van **antideeltjes**. Antideeltjes hebben dezelfde massa en spin, maar **alle** ladingen hebben het tegengestelde teken.

Antideeltjes worden ook wel **antimaterie** genoemd.



Het elektron werd in de 19de eeuw ontdekt, het top-quark nog geen 15 jaar geleden. Het tau-neutrino werd in 2000 ontdekt.

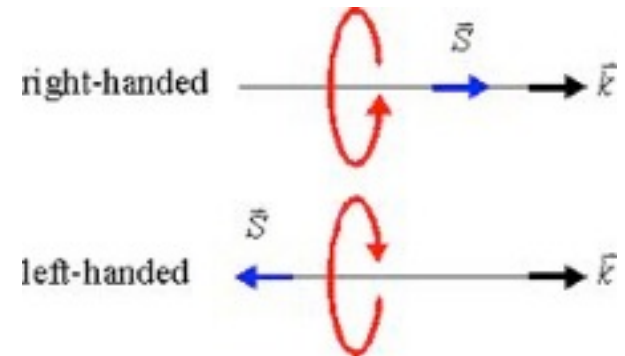
Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force

Bosons (Forces)

Neutrino's

Als deeltjes geen massa hebben moet hun spin ofwel in de richting van de beweging staan ofwel in de tegengestelde richting. Deeltjes hebben helicyteit + of -.



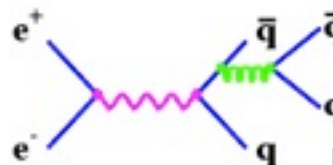
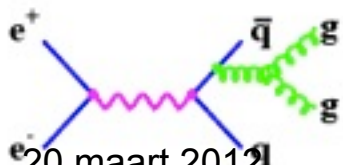
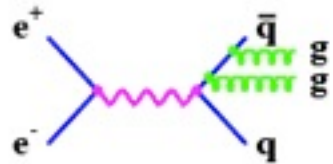
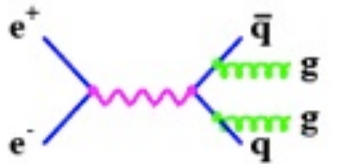
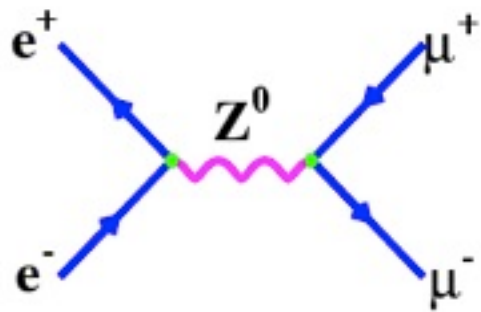
Neutrino's komen alléén voor met helicyteit -, anti-neutrino's alleen met helicyteit +

Krachten en interacties.

In de klassieke natuurkunde werken we met het begrip kracht, ($K=m \times a$). In de quantummechanica heeft het concept kracht geen betekenis.

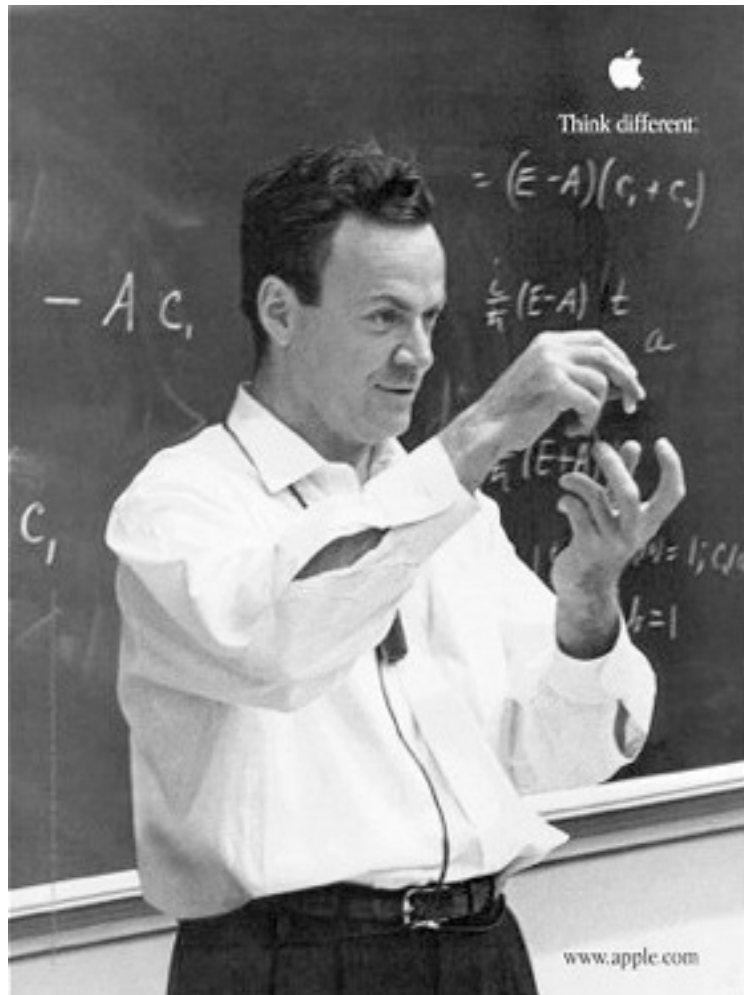
In de deeltjesfysica is een rekenschema ontwikkeld waarmee we het verstrooien van deeltjes kunnen berekenen.

Veldentheorie en Feynmandiagrammen.



20 maart 2012

HOVO 2012 I

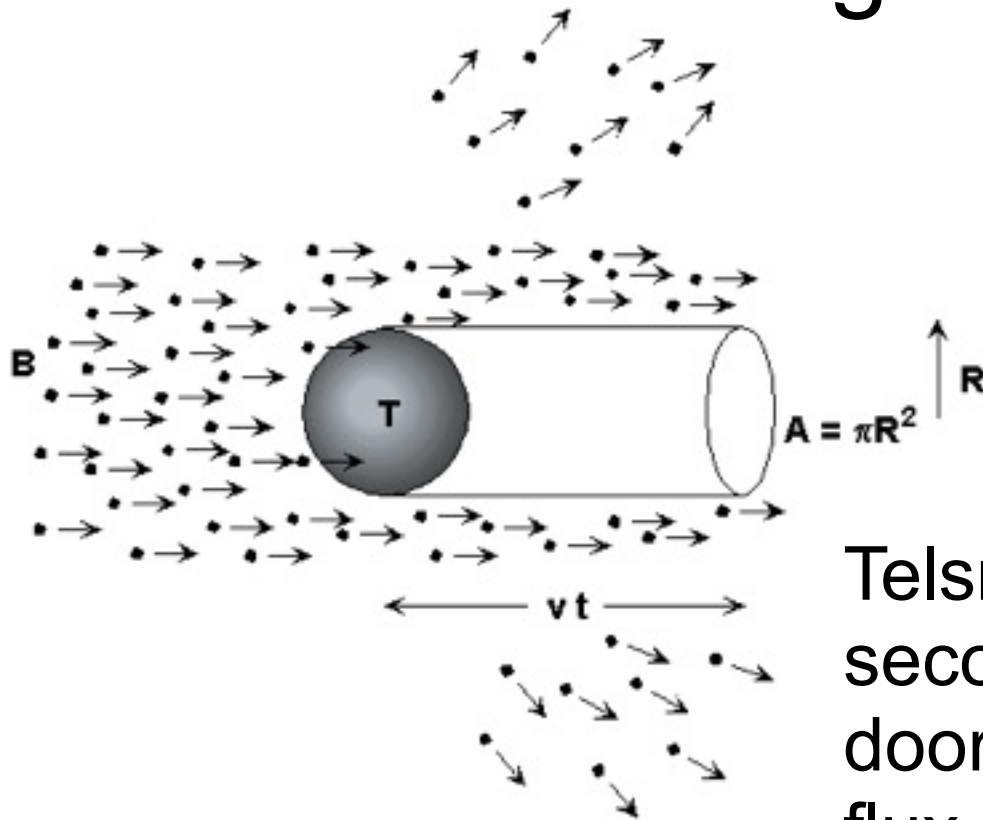


Feynmandiagrammen

Iedere vorm van interactie heeft zijn eigen “krachtdeeltjes” en daarbij horen weer heel gedetailleerde rekenregels om van de plaatjes te komen naar kwantitatieve voorspellingen die vervolgens weer met het experiment vergeleken kunnen (moeten) worden.

$$\dot{N} = \sigma \times \mathcal{L}$$

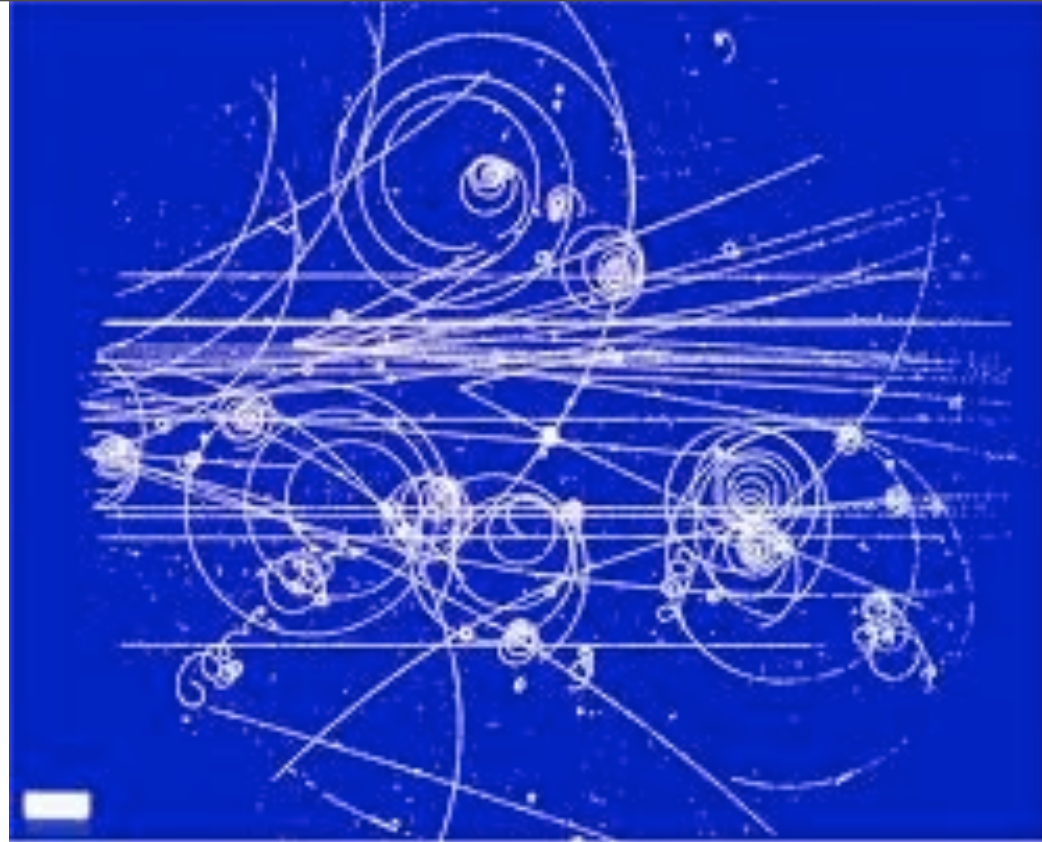
Schematisch verstrooiingsexperiment



$$\dot{N} = \sigma \times \mathcal{L}$$

Telsnelheid (aantal per seconde), werkzame doorsnede (vierkante cm) en flux of luminositeit.

$$\dot{N} = \sigma \times \mathcal{L}$$



Het waarnemen en meten van de hoeveelheid verstrooiing is de taak van de **experimentator**, de werkzame doorsnede wordt berekend door een **theoreticus** uit een model (bv het standaardmodel) het maken van bundels met voldoende intensiteit ligt in de handen van **versnelleringenieurs**.

CERN LHC

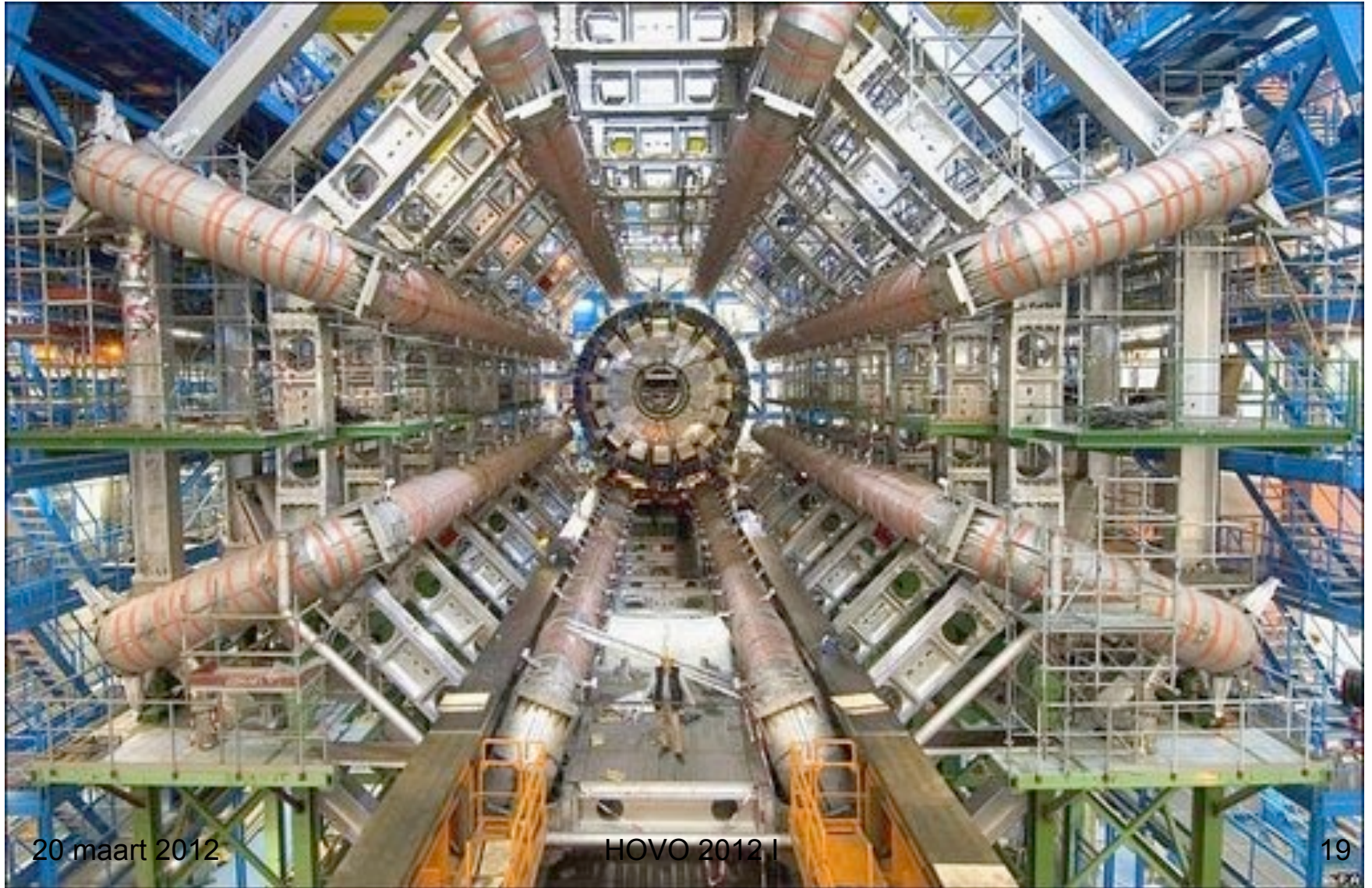


20 maart 2012

HOVO 2012 I

18

ATLAS



20 maart 2012

HOVO 2012 I

19

Overzicht van interacties in het standaardmodel

- Elektromagnetische interacties. Het krachtdeeltje is het **foton**; voor het eerst gepostuleerd door Einstein. Volledige theorie Quantum ElektroDynamica (QED). Werk van oa Feynman.
- Zwakke interacties. (Radioactiviteit en warmteproductie in de zon.) De krachtdeeltjes heten **W- en Z- bosonen**. Glashow, Weinberg en Salam.

Overzicht van interacties in het standaardmodel

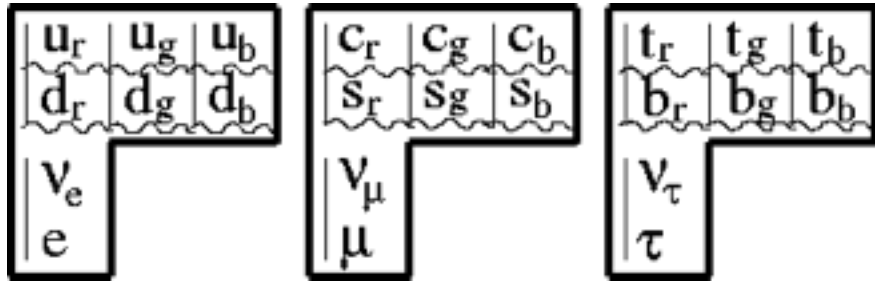
- Sterke interacties. Lijmt de quarks aan elkaar. Krachtdeeltjes heten **gluonen**. Werk van oa Gell-Mann.
- De berekenbaarheid (renormalisatie) van deze theorieën is nu vastgesteld dankzij werk van Veltman en 't-Hooft.
- Voor de consistentie van de theorie is het Higgs boson noodzakelijk.



20 maart 201

HOVO 2012 I

22



Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force

Bosons (Forces)

Quarks hebben een kleur-
lading. De theorie heet
quantum chromodynamica
of **QCD**

Volgende week bespreek ik een zevental experimentele situaties die duidelijk maken waarom het zojuist beschreven model de werkelijkheid beschrijft. Ook laat ik voorbeelden zien van versnellers die bij dit onderzoek gebruikt worden.