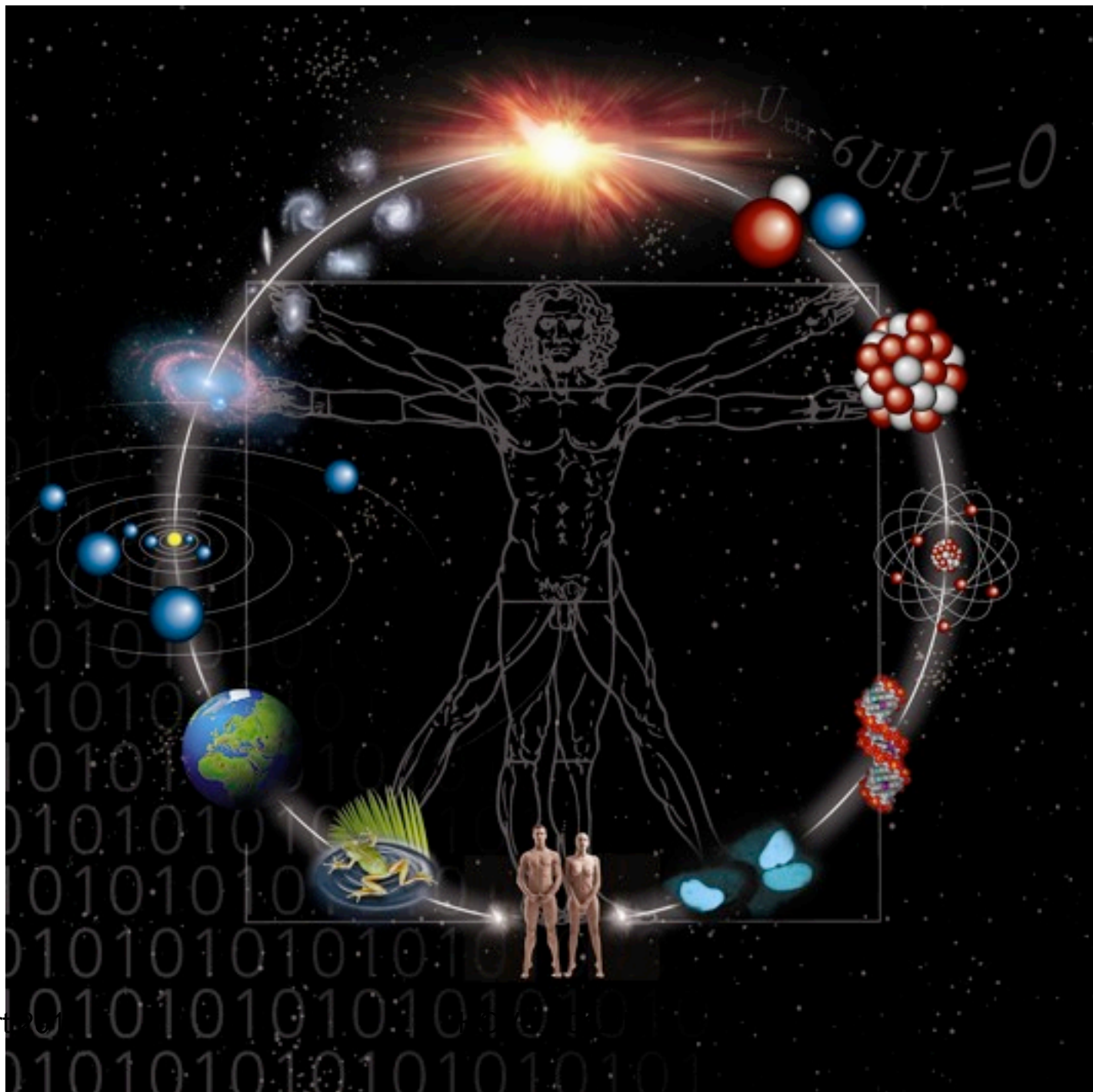


# Het Standaardmodel

HOVO college Teylers

20 maart 2012

K.J.F.Gaemers



27 maart 2012

1. Versnellers
2. Quarks en leptonen
3. Orde in de veelheid van deeltjes
4. Leptonen en leptongetal
5. QCD Desy en LEP
6. Elektro-zwakke interacties
7. Open vragen

### 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 →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon
Quarks	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
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon
Leptons	<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
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z</b> 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
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> weak force

27 maart 2012

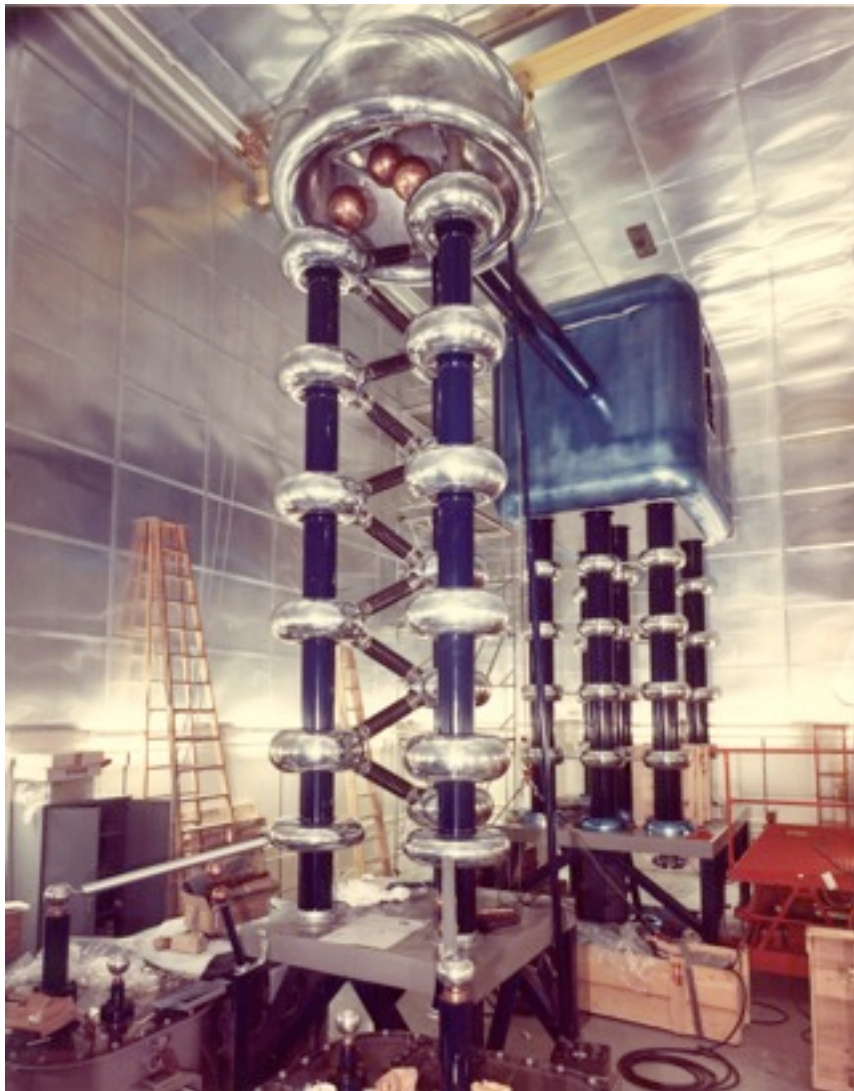
HOVO 2012 II

4

# Versnellers

**Geladen deeltjes voelen de invloed van elektrische en magnetische velden. Dat is essentieel om versnellers te maken.**

- Lineaire versneller
- Cyclotron → Synchrocyclotron
- Synchrotron (sterke focussering)
- Opslagring
- Colliders

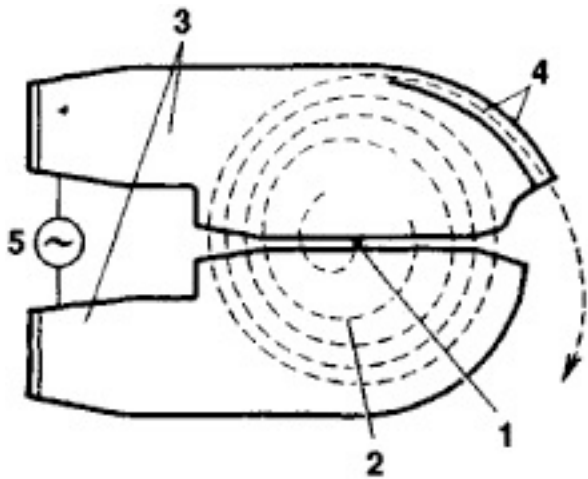


27 maart 2012

HOVO 2012 II



6

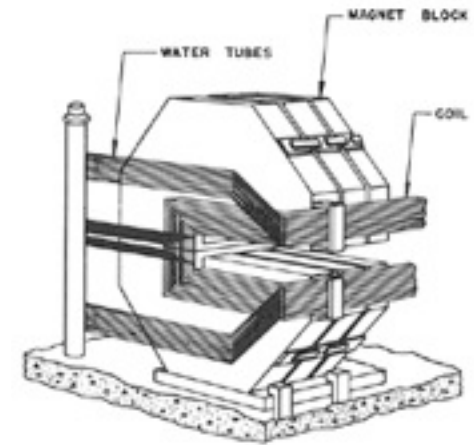
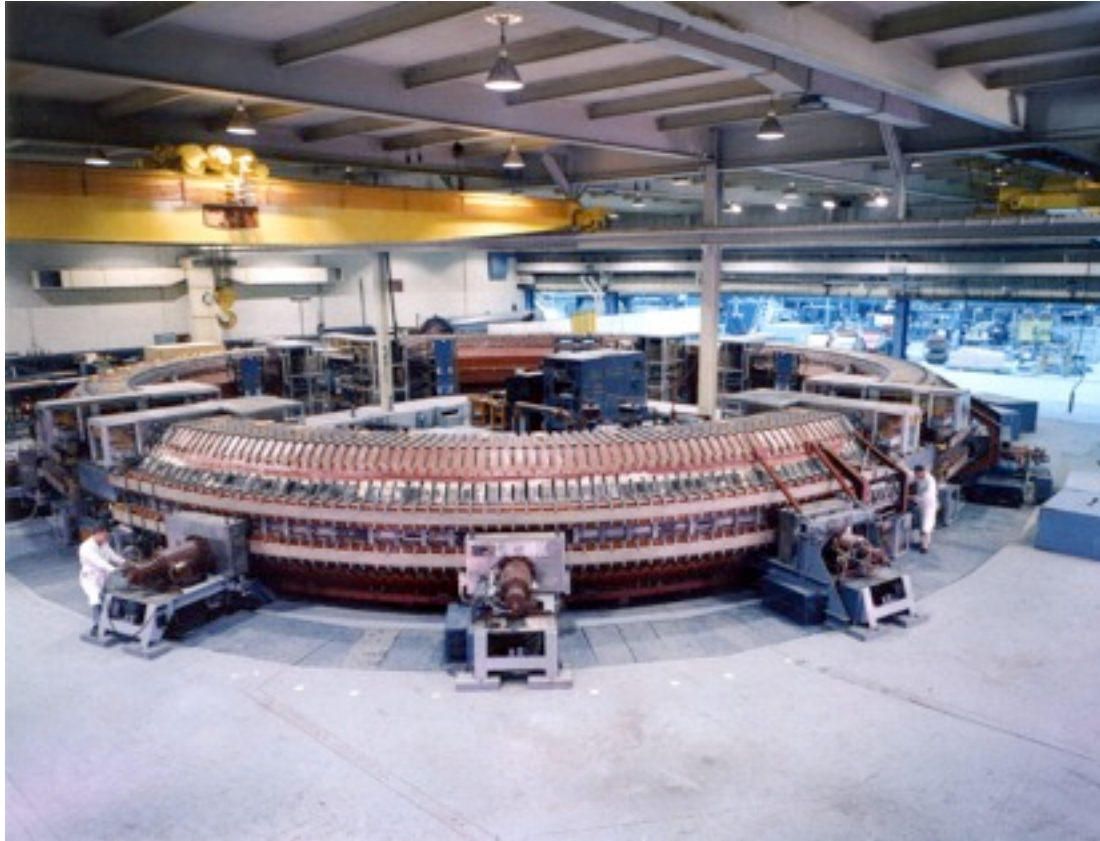


27 maart 2012

HOVO 2012 II

7

# Brookhaven



Zwakke focussing,  
hele grote magneten.

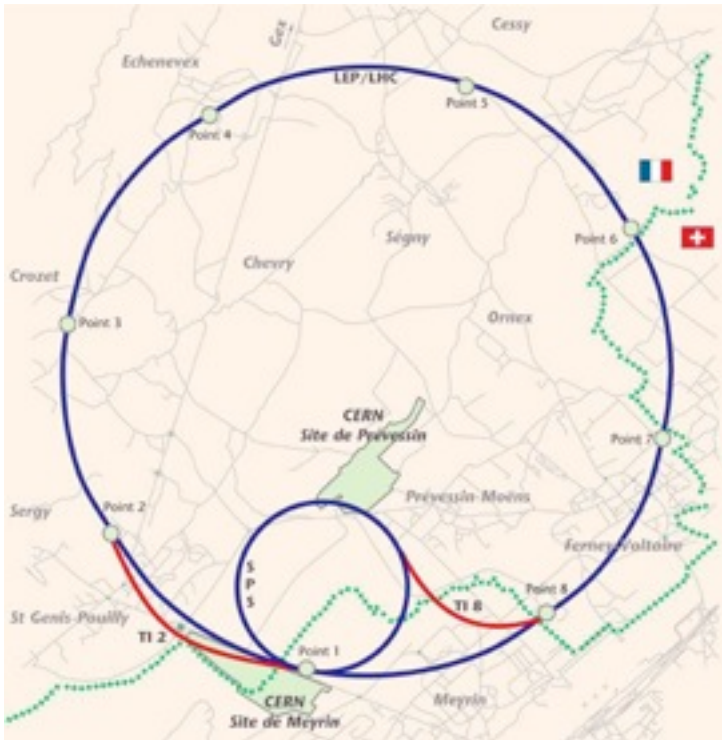
27 maart 2012

HOVO 2012 II

8



# CERN



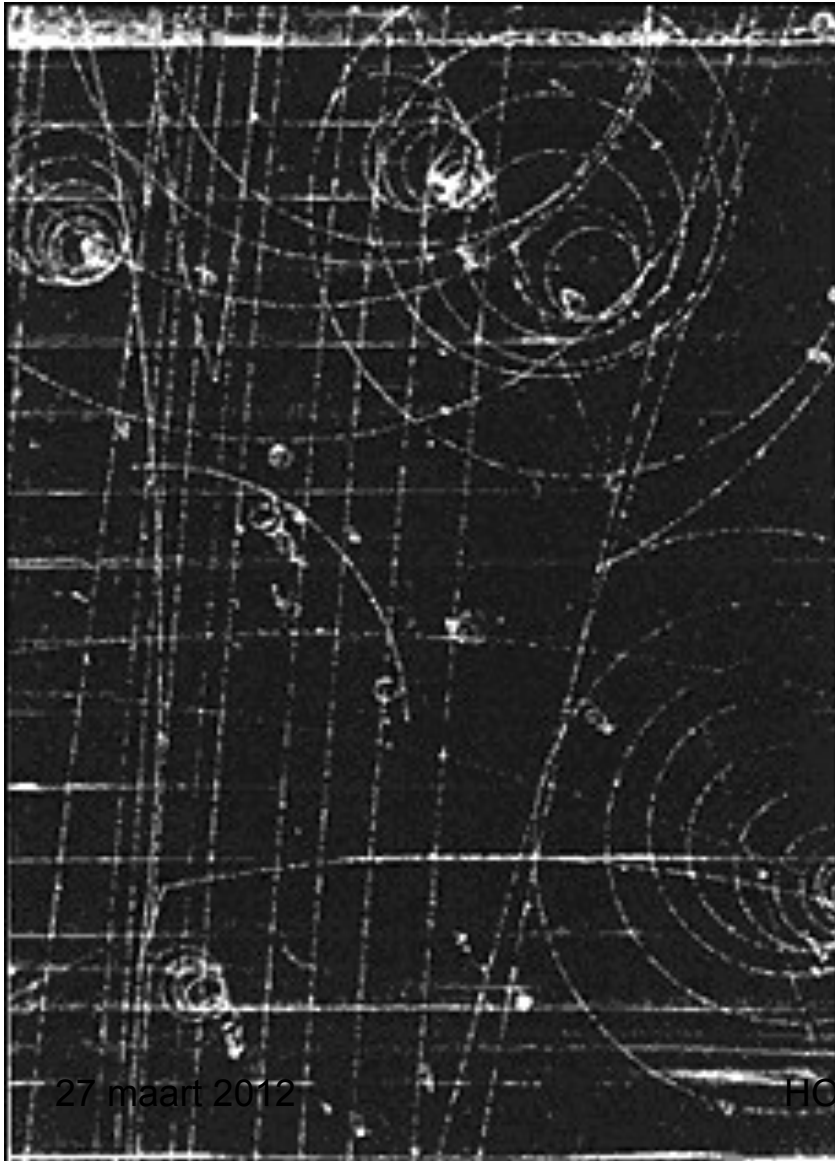
Sterke focussering

27 maart 2012

HOVO 2012 II

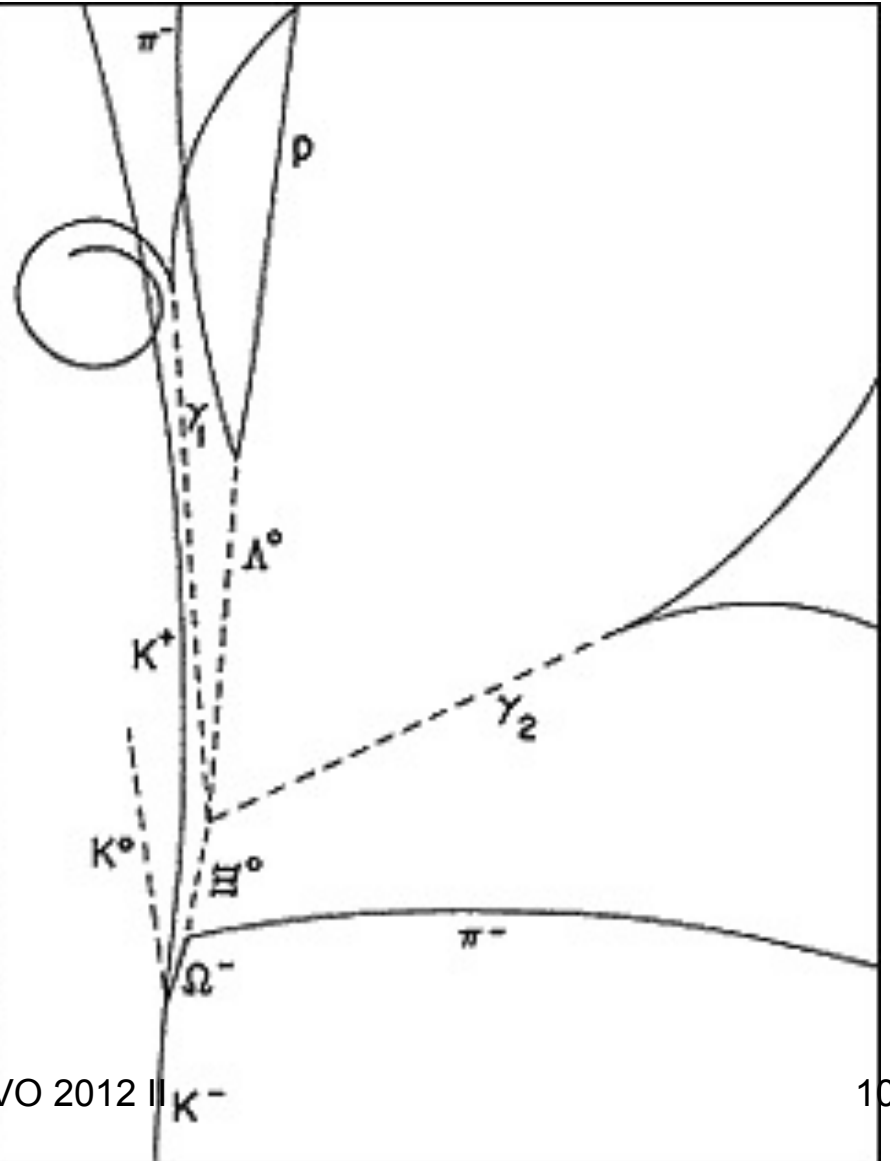
9

# Deeltjes-explosie



27 maart 2012

HOVO 2012 II



10

# Quarks SU(3)



**Met een klein aantal quarks kunnen we het bestaan van honderden deeltjes beschrijven/ verklaren.**

**Quarks werden (ook door Gell-Mann) als rekeneenheden gezien en niet als echte deeltjes.**



27 maart 2012

HOVO 2012 II

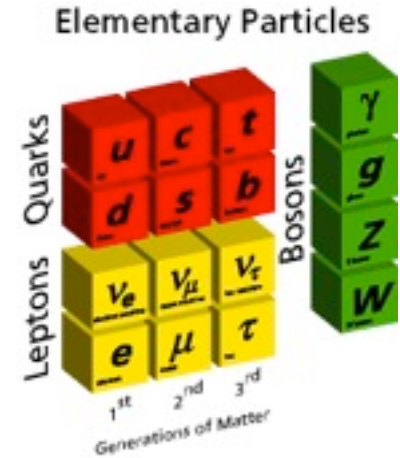
11

# Problemen met quarks

- Permanente opsluiting (confinement / kluistering)
- Fractionele lading

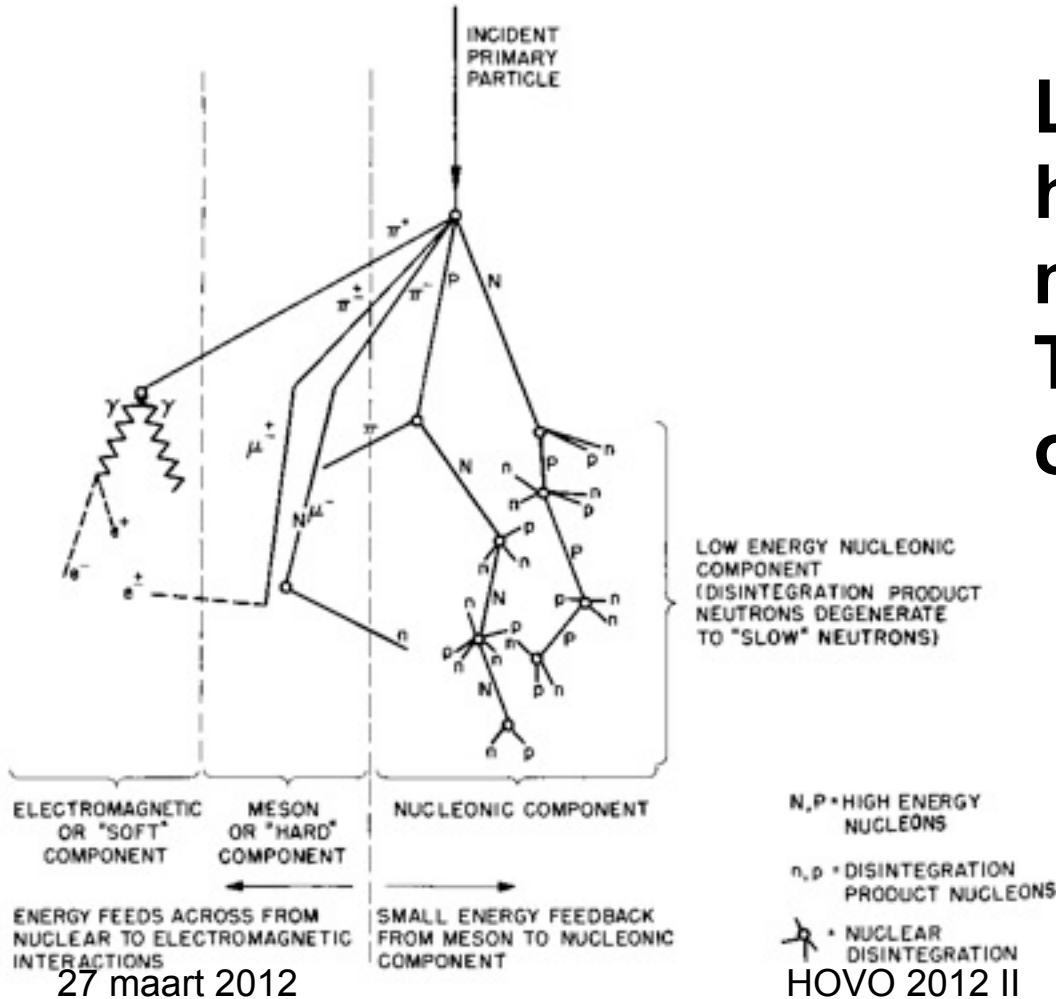
# Lepton-getal

- Pauli postuleerde het neutrino omdat het leek alsof energie verdween in het beta-verval.
- Elektron – elektronneutrino
- Ook het muon bekend.
- Muon ontstaat in pi-verval.
- Muon vervalt zelf.



# Leptonen en het muon

**Levensduur van het muon is 2 micro seconde. Toch zien we het op aarde.**



Schematic Diagram of Cosmic Ray Shower

27 maart 2012

HOVO 2012 II

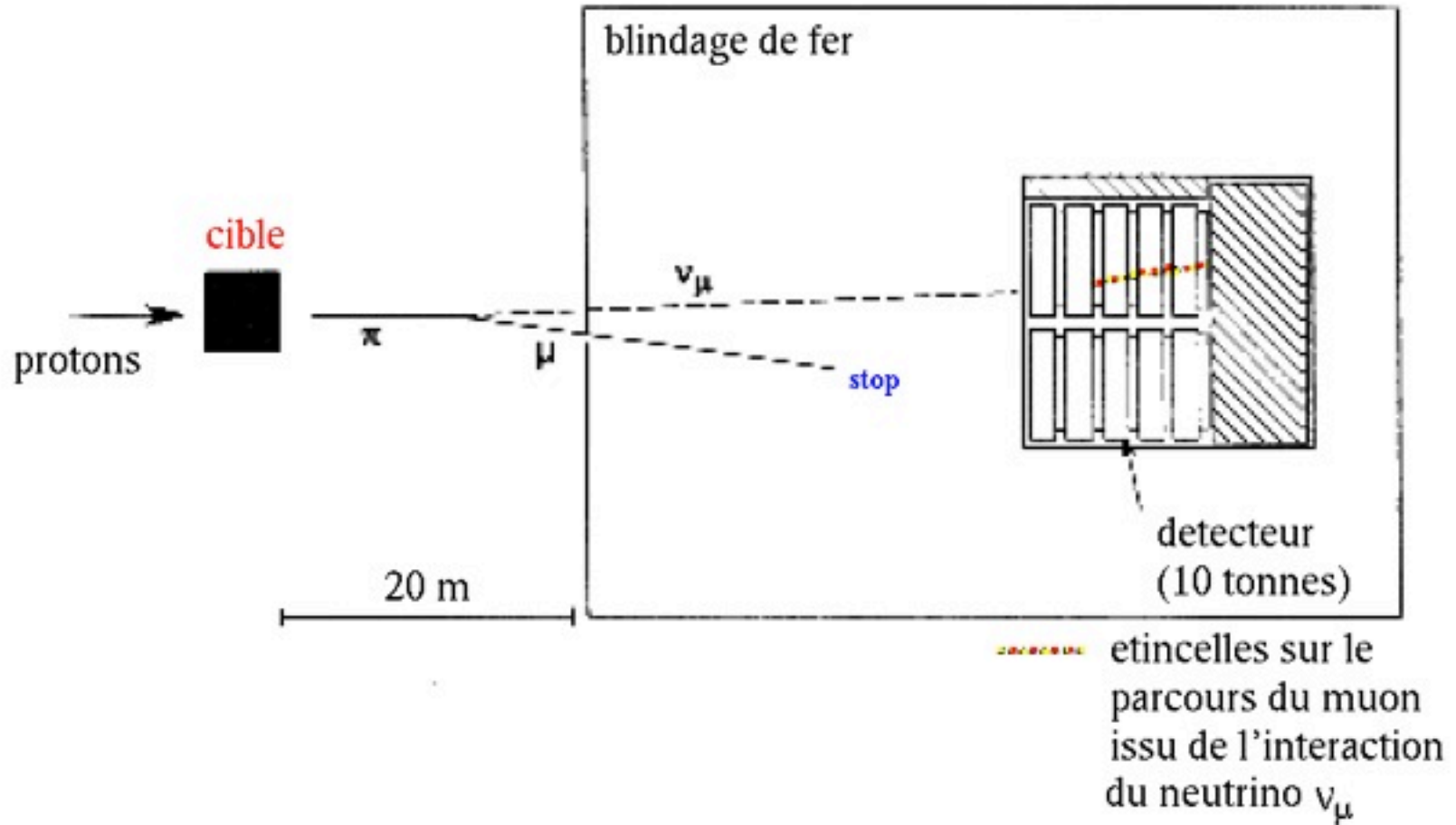
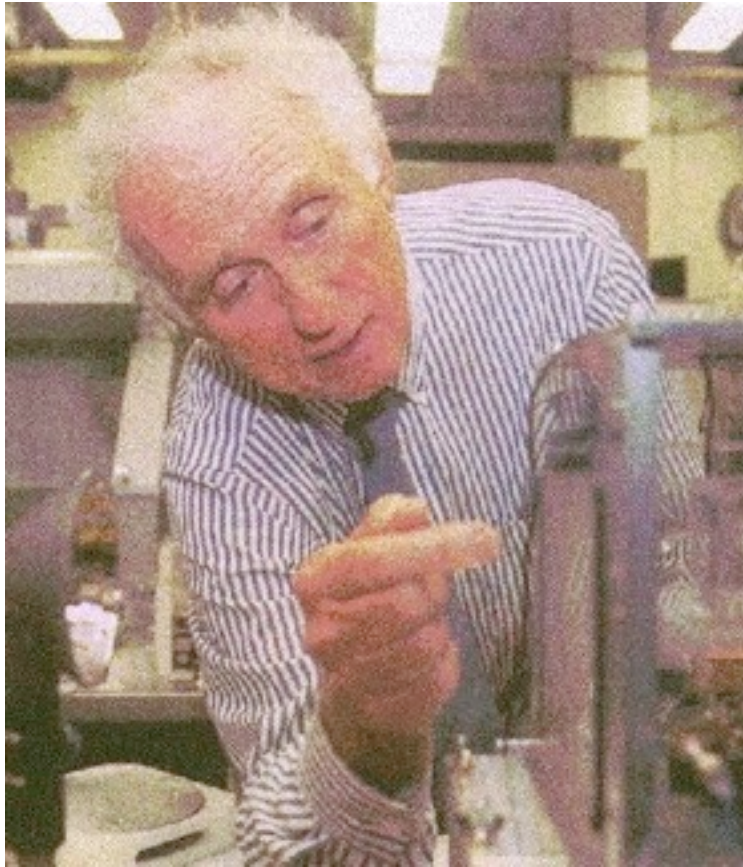


Schéma de l'appareillage utilisé par Schwartz, Lederman et Steinberger pour mettre en évidence la deuxième famille de neutrinos, les  $\nu_{\mu}$ . Les protons issus de l'accélérateur interagissent avec une cible en émettant des pions. Ces pions se désintègrent en muons et neutrinos  $\nu_{\mu}$ . Les muons s'arrêtent dans le blindage de fer. Les neutrinos interagissent dans le détecteur en produisant des muons qui laissent une trace dans les chambres à étincelles.

# Martin Perl, tau lepton



M. Perl was al lang op zoek naar een lepton dat na het elektron en muon zou moeten komen. De generieke naam toen was heavy lepton.

Rond 1974 vond Perl die op SLAC werkte, een elektron-muon signaal.

Werd het derde lepton, nu tau genoemd.

27 maart 2012

HOVO 2012 II

16

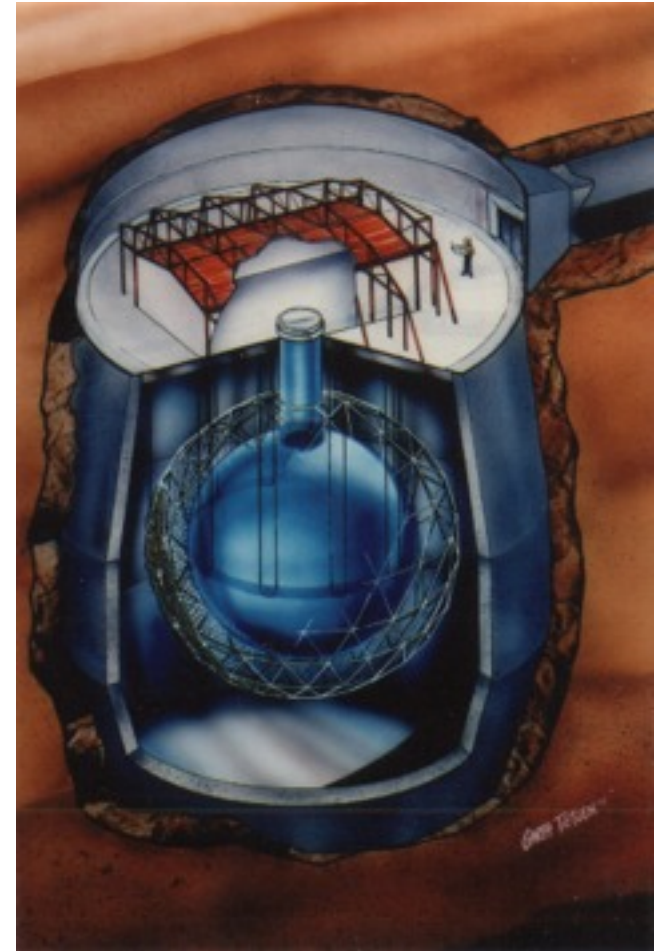


# Menging van neutrino's

De kernreacties in de zon produceren energie. Bij die energieproductie komen ook neutrino's vrij.

Bahcall liet zien dat we minder dan 50% van die neutrino's op aarde zien.

Oplossing van dit probleem (SNO):  
neutrino's wisselen van identiteit. Dan moeten neutrino's massa hebben!

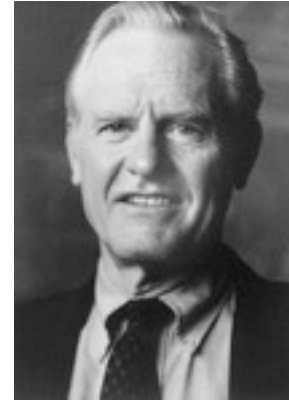
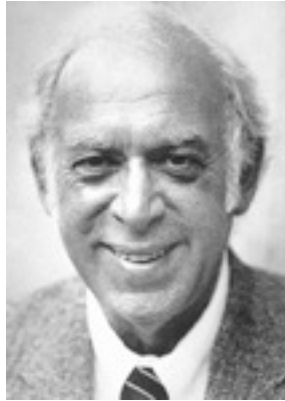


27 maart 2012

HOVO 2012 II

17

# Partonen en quarks

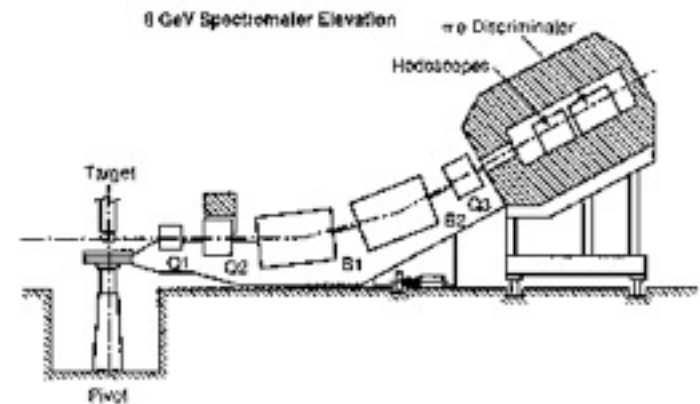
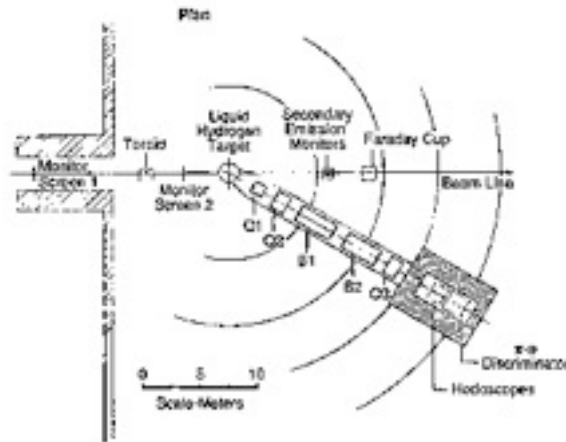
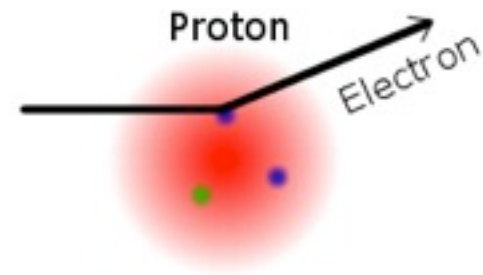
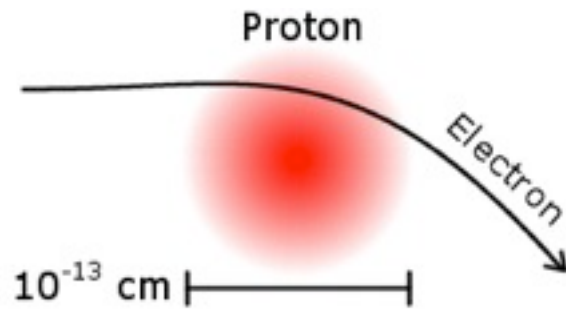


27 maart 2012

HOVO 2012 II

18

# Diep inelastische verstrooiing



27 maart 2012

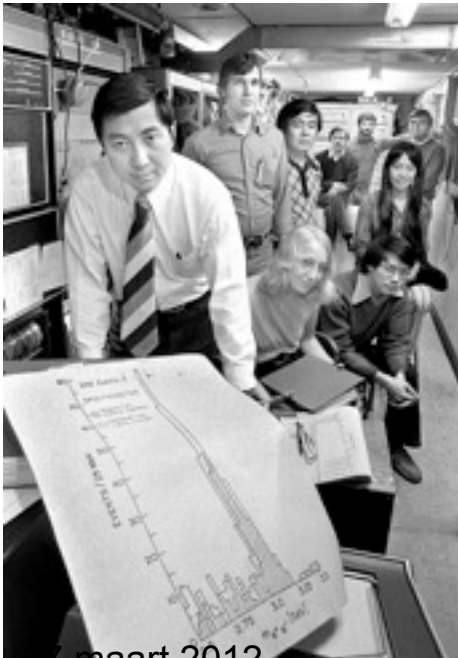
HOVO 2012 II

19

- Conclusie: binnen het proton zitten puntvormige objecten.
- Alle eigenschappen stemmen overeen met het quarkmodel. (fractionele lading)
- Feynman noemde ze partonen.
- Later: quark partonmodel

# Een nieuw deeltje 1974

## J/psi charm quark



27 maart 2012

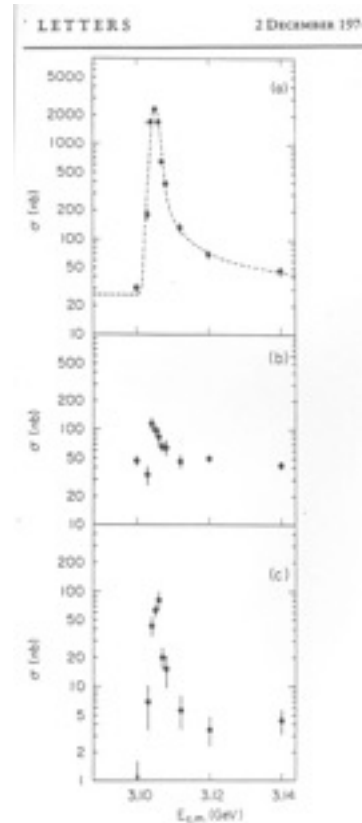


FIG. 1. Cross section versus energy for (a) multi-final final states, (b)  $e^+e^-$  final states, and (c)  $\mu^+\mu^-$ ,  $\tau^+\tau^-$ , and  $K^+K^-$  final states. The curve in (a) is the exact shape of a  $\delta$ -function resonance folded with the actual energy spread of the beams and including distorting processes. The cross sections shown in (b)

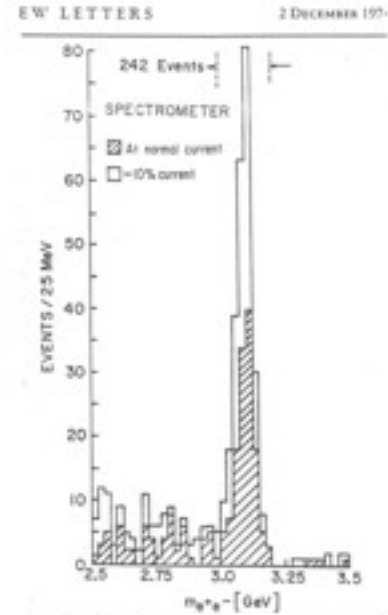
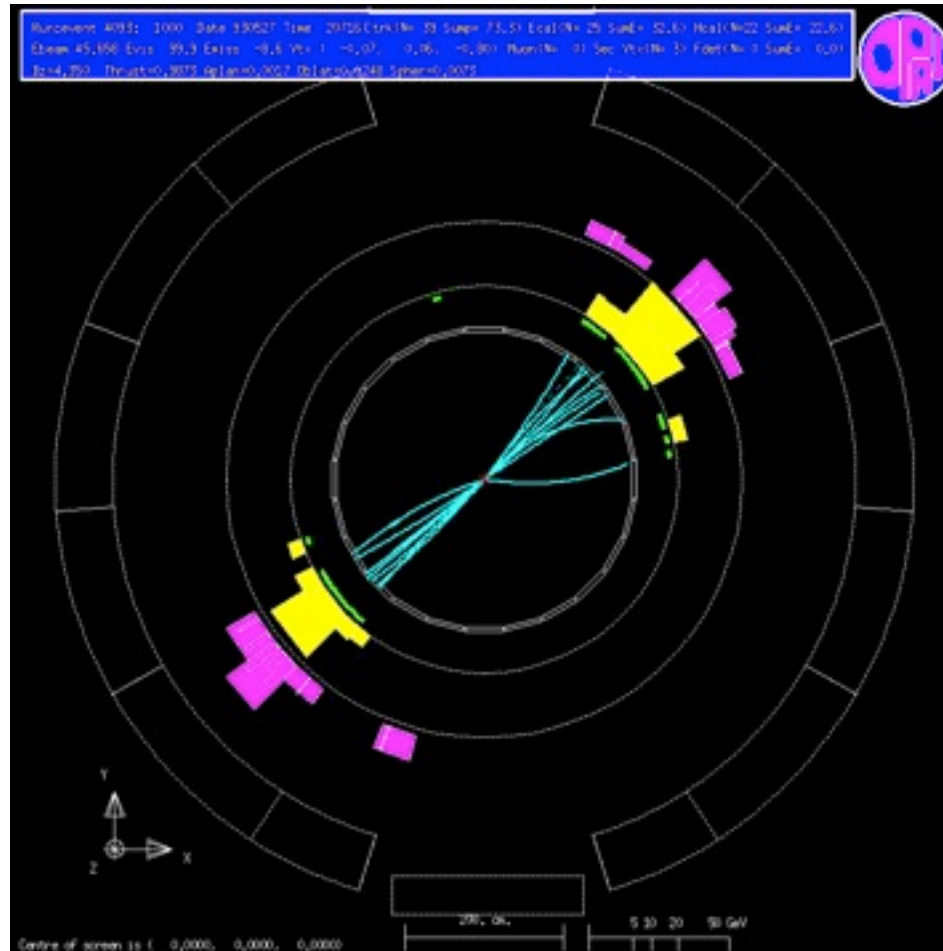


FIG. 2. Mass spectrum showing the existence of  $J/\psi$  states from two spectrometer settings are plotted using that the peak is independent of spectrometer currents. The run at reduced current was taken two days later than the normal run.

HOVO 2012 II

21

# Quark en Jets



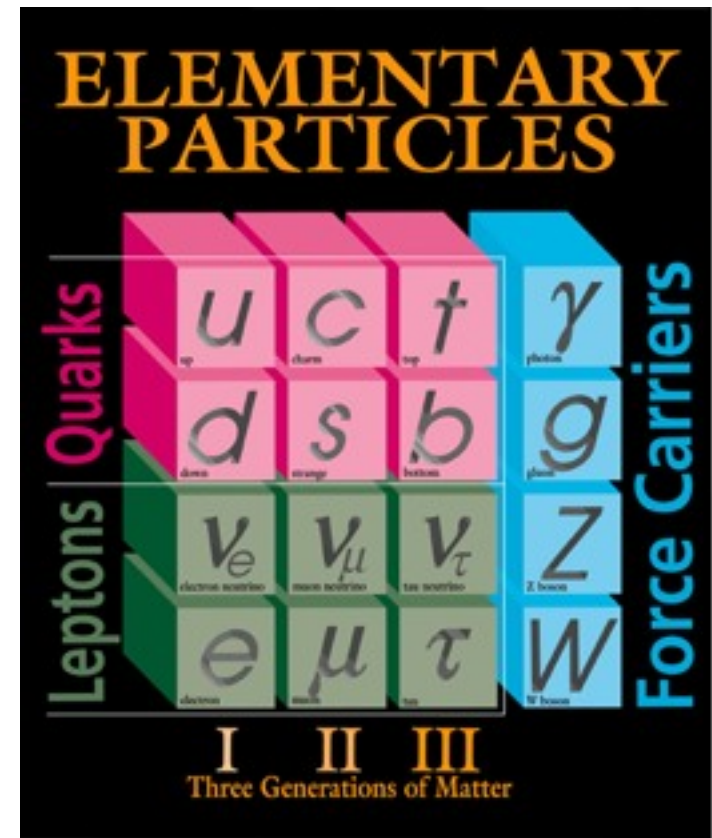
27 maart 2012

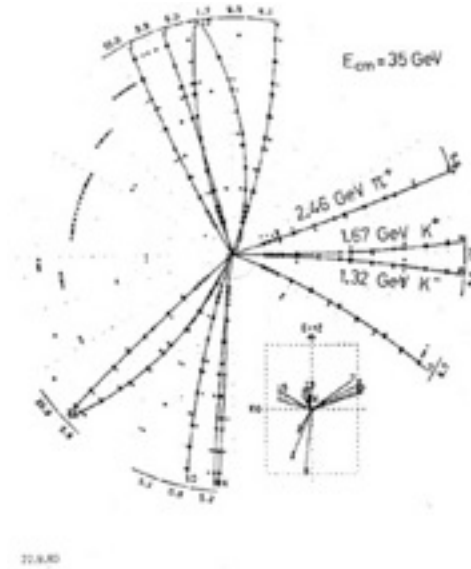
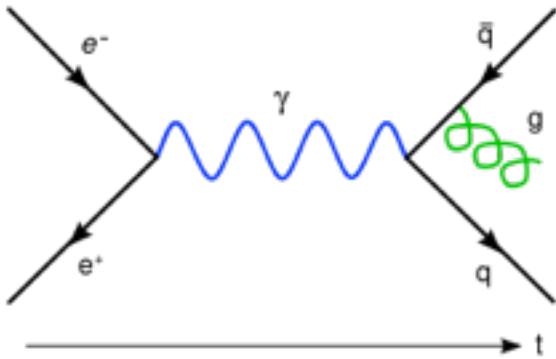
HOVO 2012 II

22

# Theorie: 1980

- Omstreeks 1980 werd duidelijk dat er van de vele modellen maar 1 overbleef.
- Combinatie van QCD en elektrozwakke theorie.
- Zoeken naar W en Z.





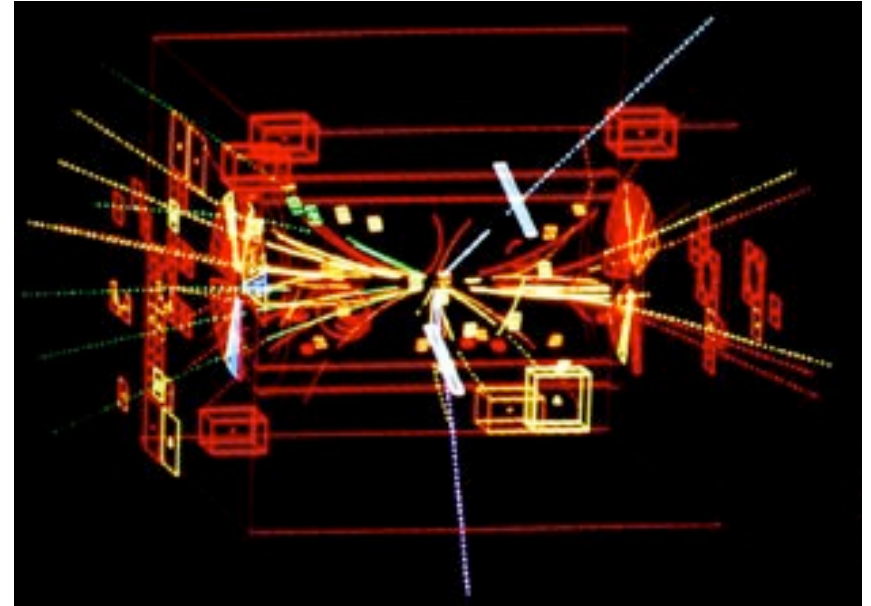
27 maart 2012

HOVO 2012 II

24



# Ontdekking W en Z



Z vervalt in bv lepton  
anti-lepton, W vervalt in  
lepton en anti-neutrino.



27 maart 2012

HOVO 2012 II

25

# LEP

- Quarks en gluonen (QCD)
- Elektro-zwakke interacties:
  1.  $W$  en  $Z$  boson
  2. Interactie met fermionen
  3. Zelf interactie
  4. Higgs?

# QCD bij LEP

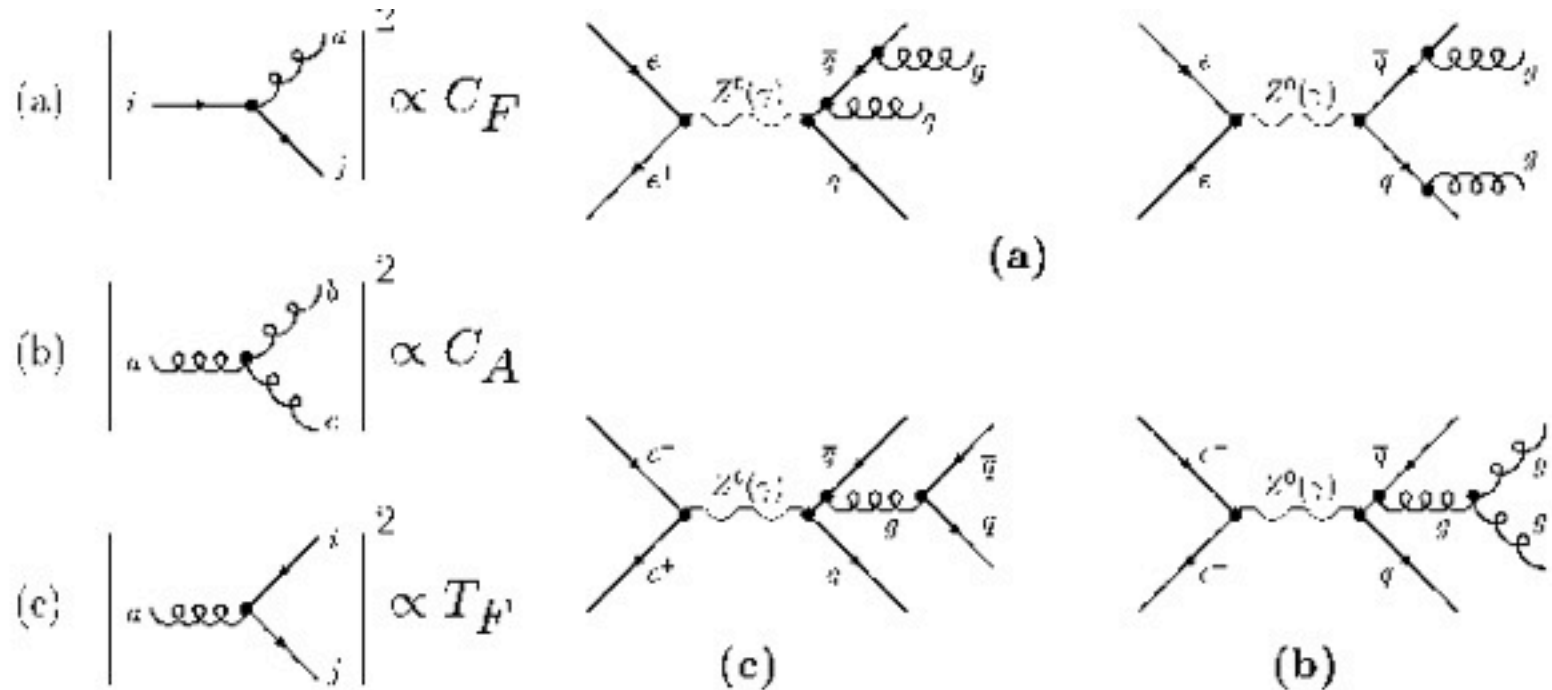


Figure 3.7: The triple parton couplings and their dependence on the Casimir factors (left) and the 4-jet processes in which these couplings occur (right).

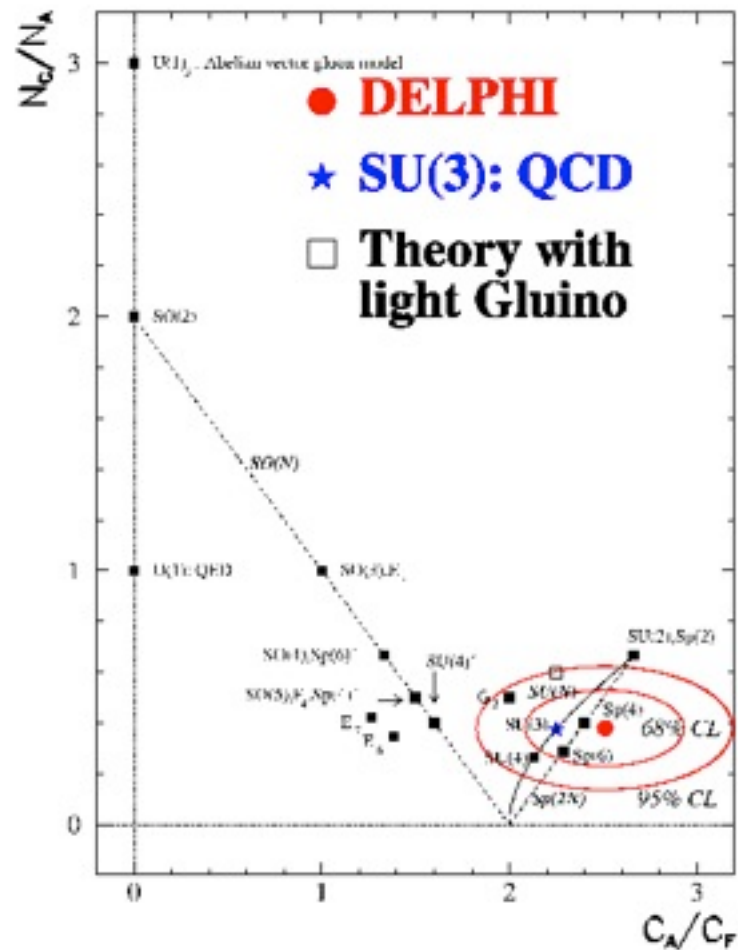
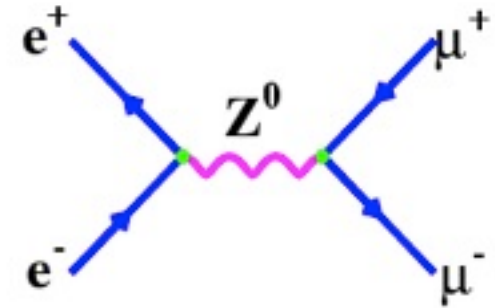
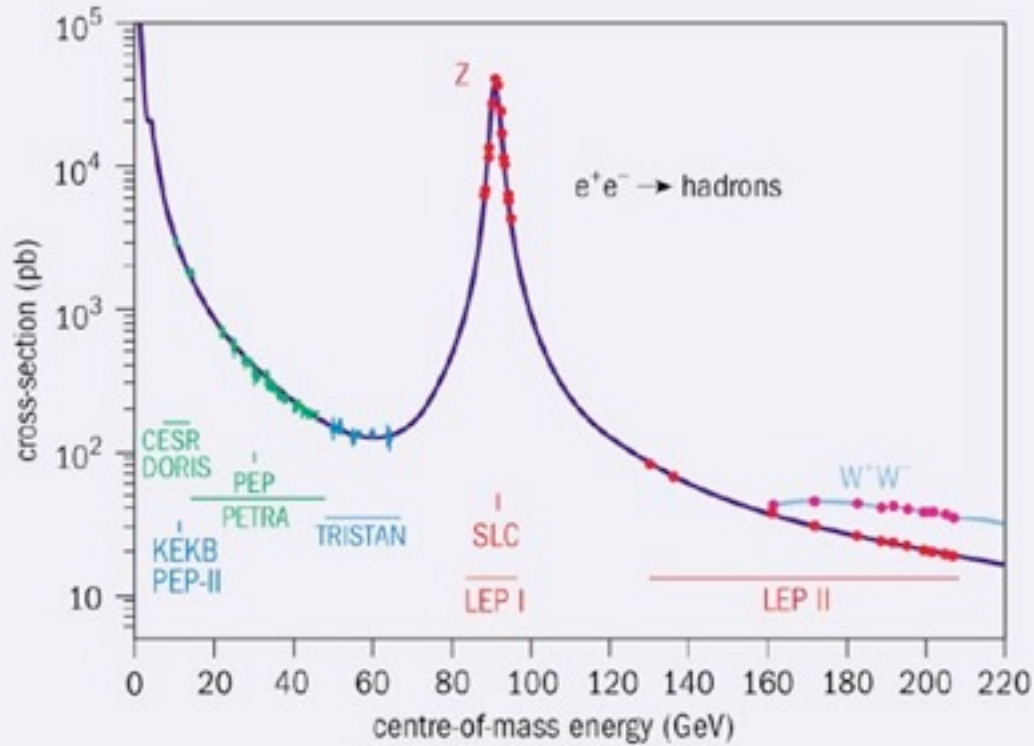


Figure 3.8: 68% and 95% CL contour plots for the measured variables  $C_A/C_F$  and  $T_F/C_F = N_C/N_A$  compared to the expectations of various gauge groups as well as a theory with a light gluino.

# De Z-piek

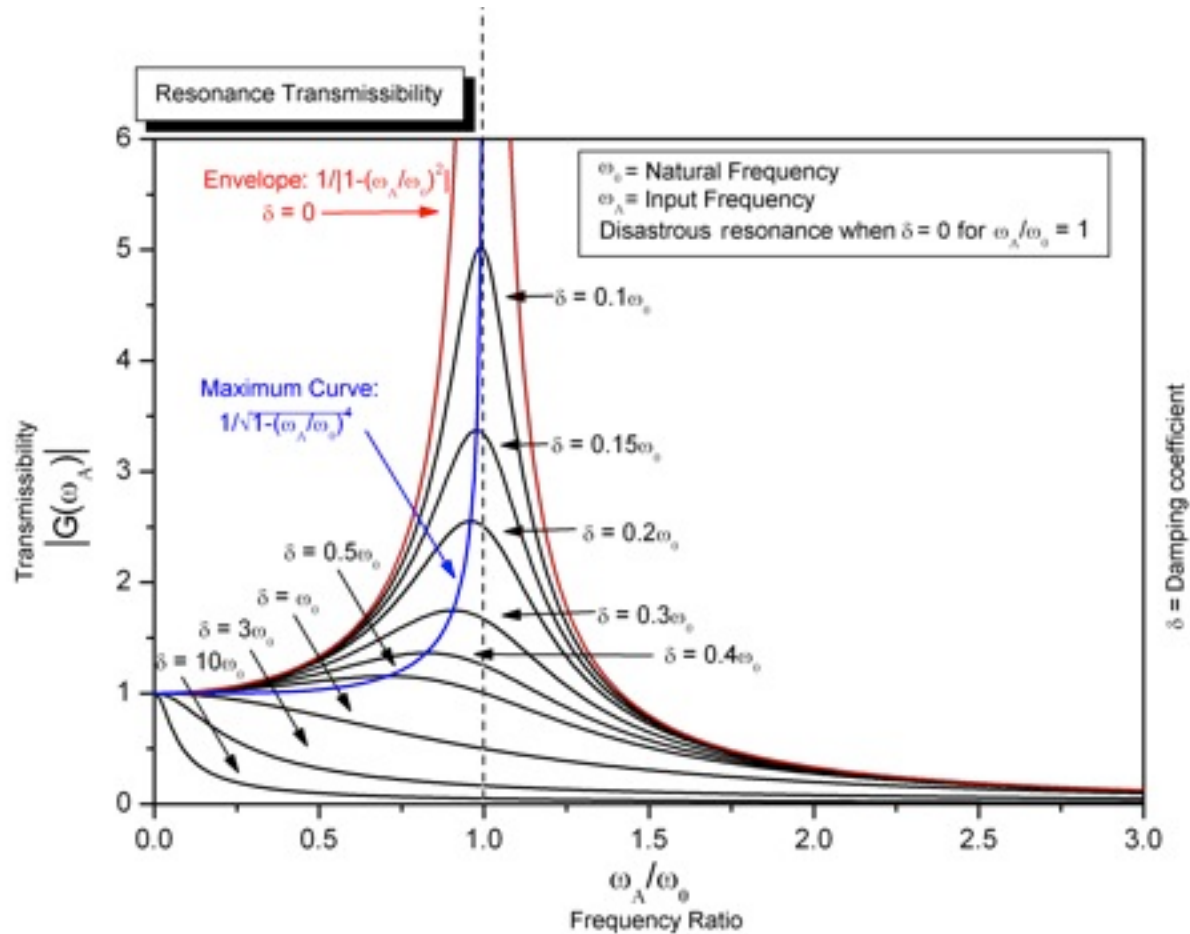


27 maart 2012

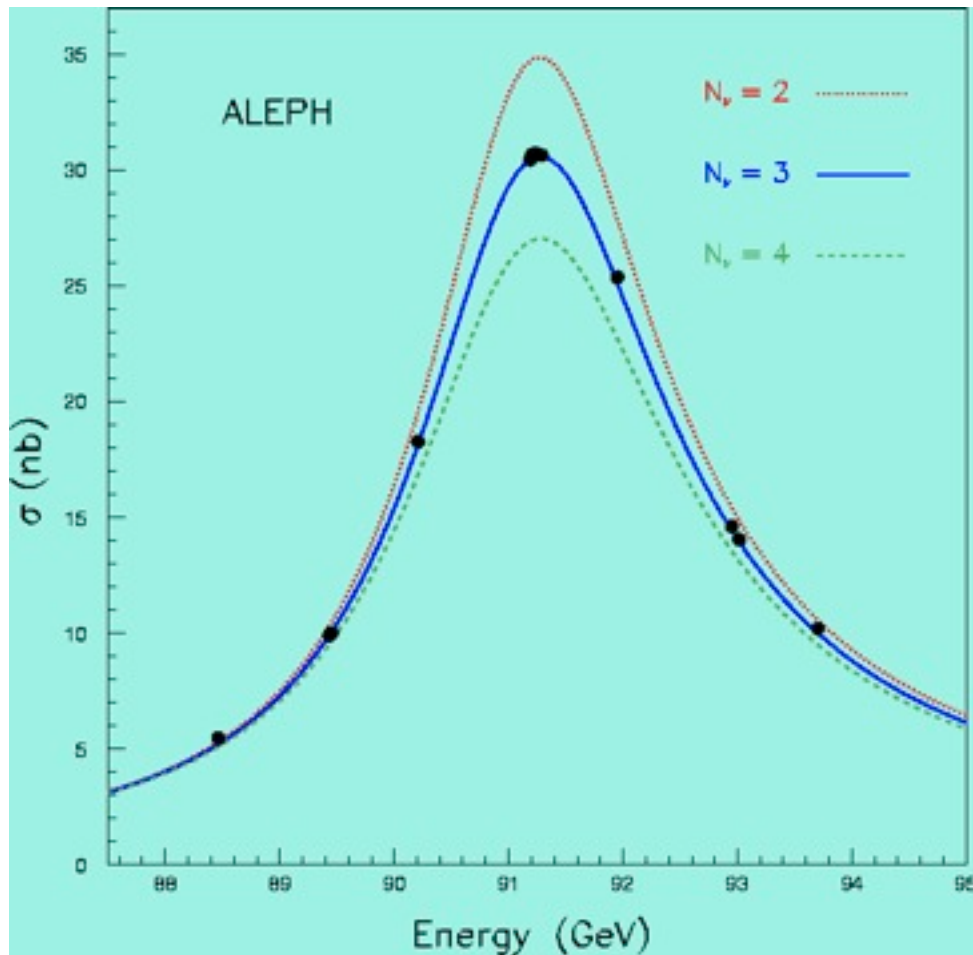
HOVO 2012 II

29

# Resonantie

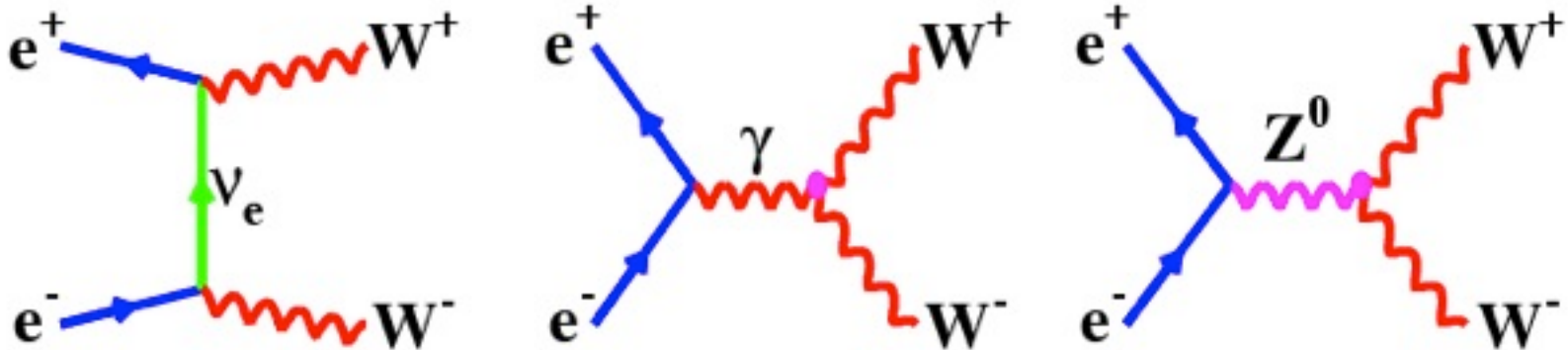


# Neutrinos tellen



**Aanname:  
neutrino's hebben  
een veel kleinere  
massa dan het Z-  
boson.**

# W-paren





# W-paren

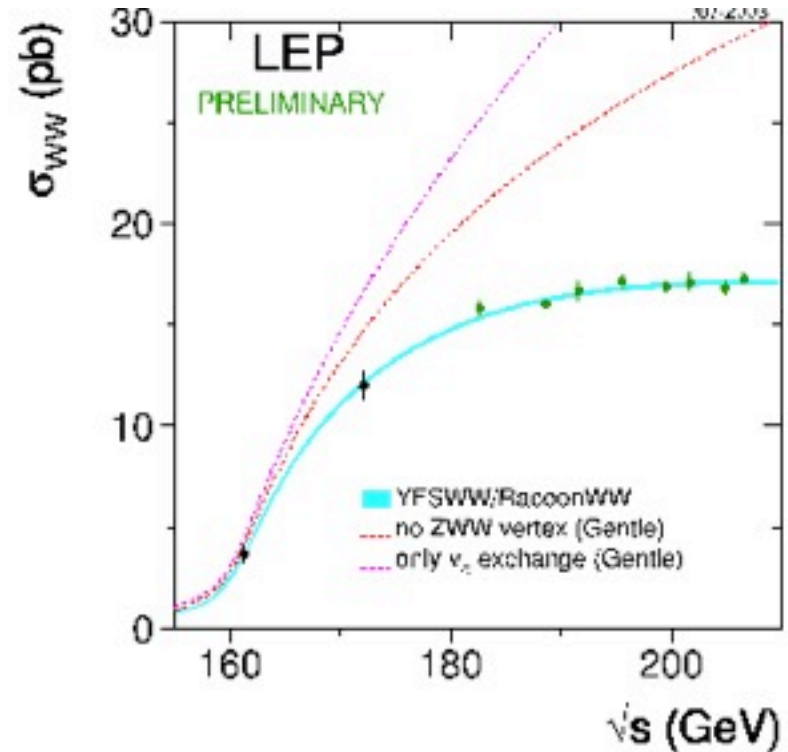
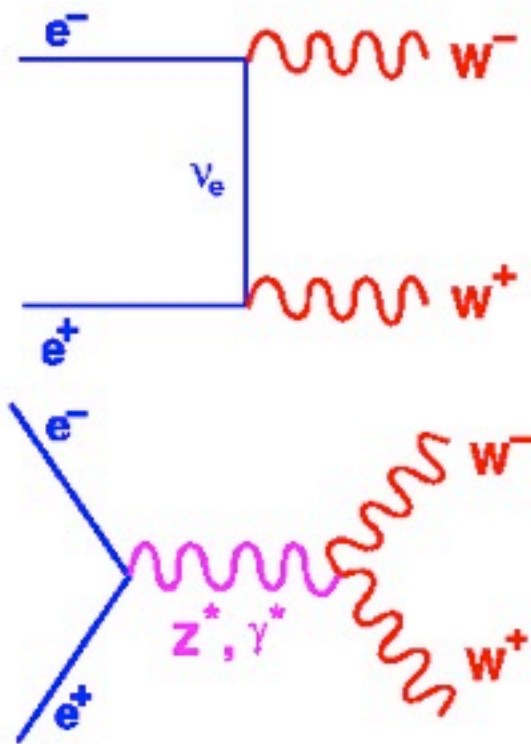
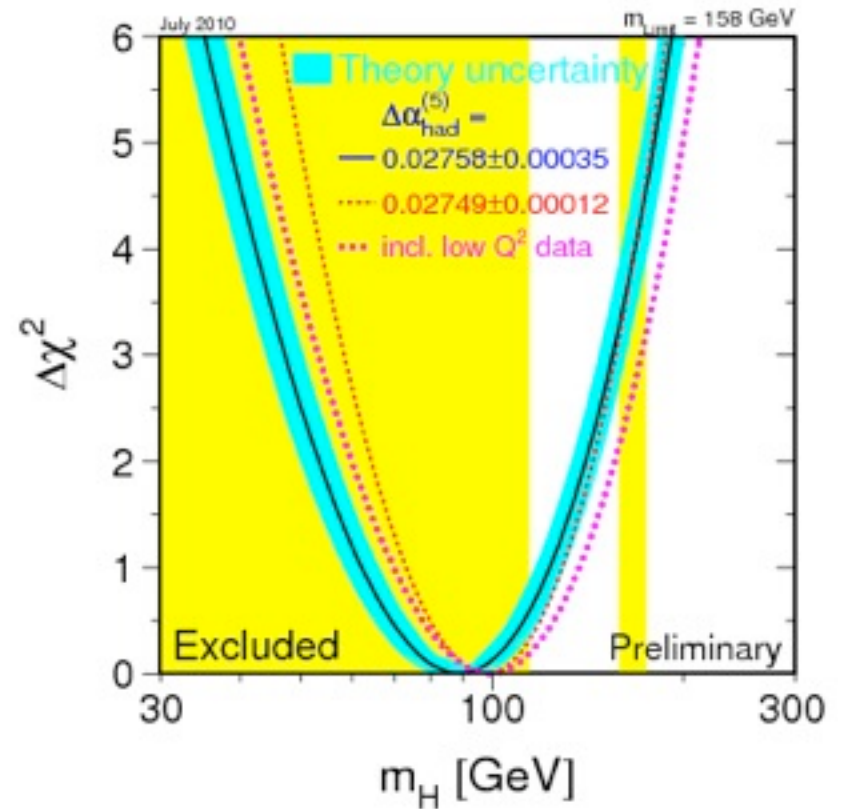
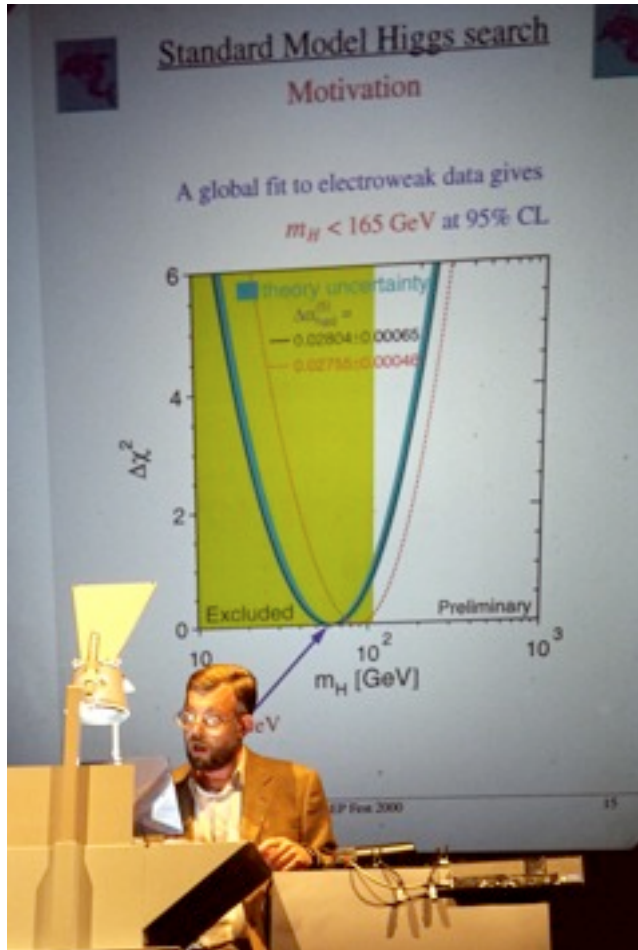


Figure 4.3: Tree-level Feynman diagrams for the reaction  $e^+ e^- \rightarrow W^+ W^-$  and its cross section as function of centre-of-mass energy compared to predictions.

# Higgs LEP?



27 maart 2012

HOVO 2012 II

34

# Vragen

1. Bestaat het Higgs-boson?
2. Wat is de massa van het Higgs-boson?
3. Eigenschappen in overeenstemming met Standaardmodel?
4. Waarom zijn er maar 3 generaties leptonen en quarks? Lading?
5. Supersymmetrie? Donkere materie?
6. ???