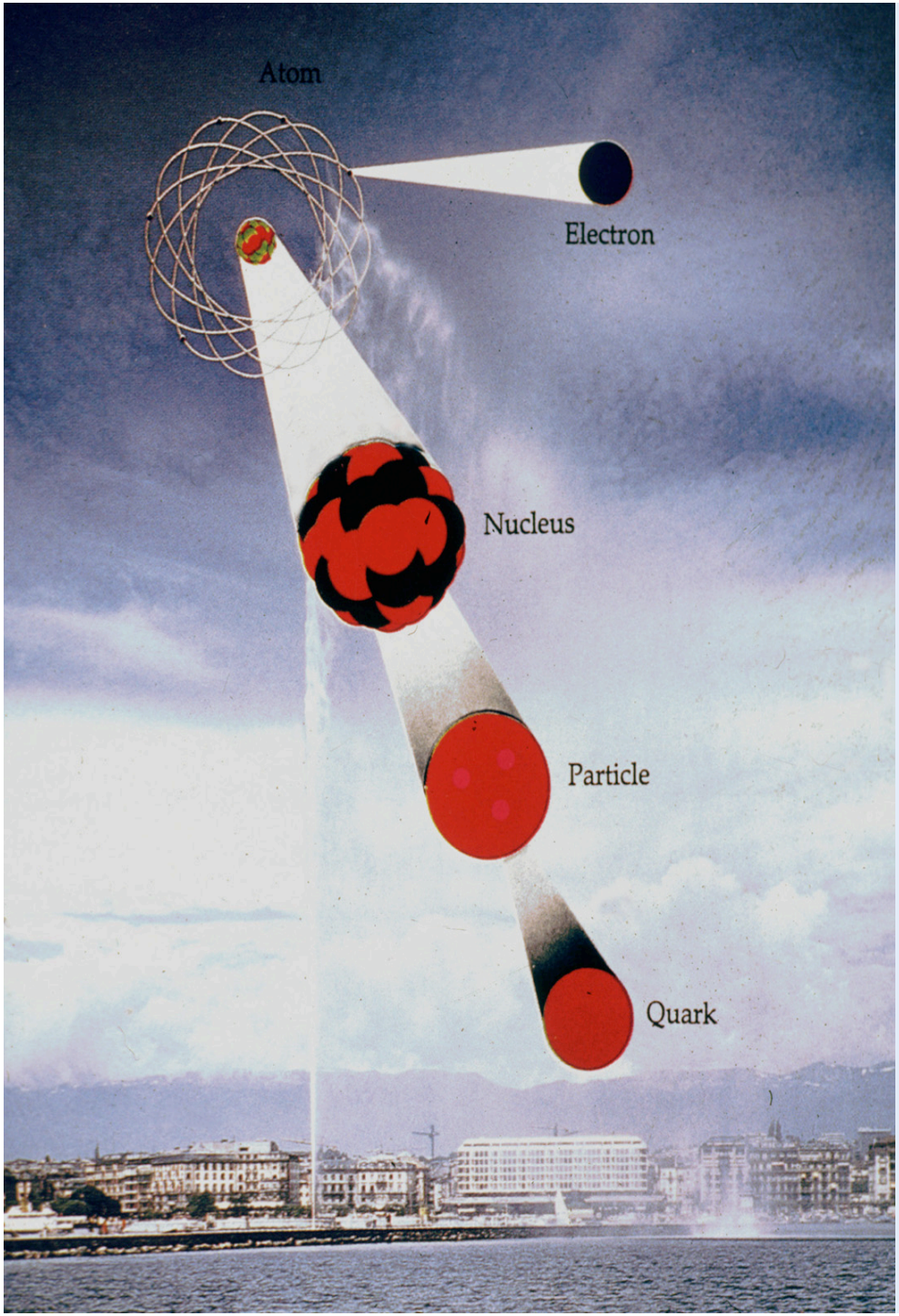
Introduktion till partikelfysik

CERN 2008-10-27

Kerstin Jon-And

Stockholms universitet



elektron (-1)

1897 Thomson (Nobelpris 1906)

1911 Rutherford
(Nobelpris kemi 1908!)

---

proton +1 1919 Rutherford

neutron 0 1932 Chadwick
(Nobelpris 1935)

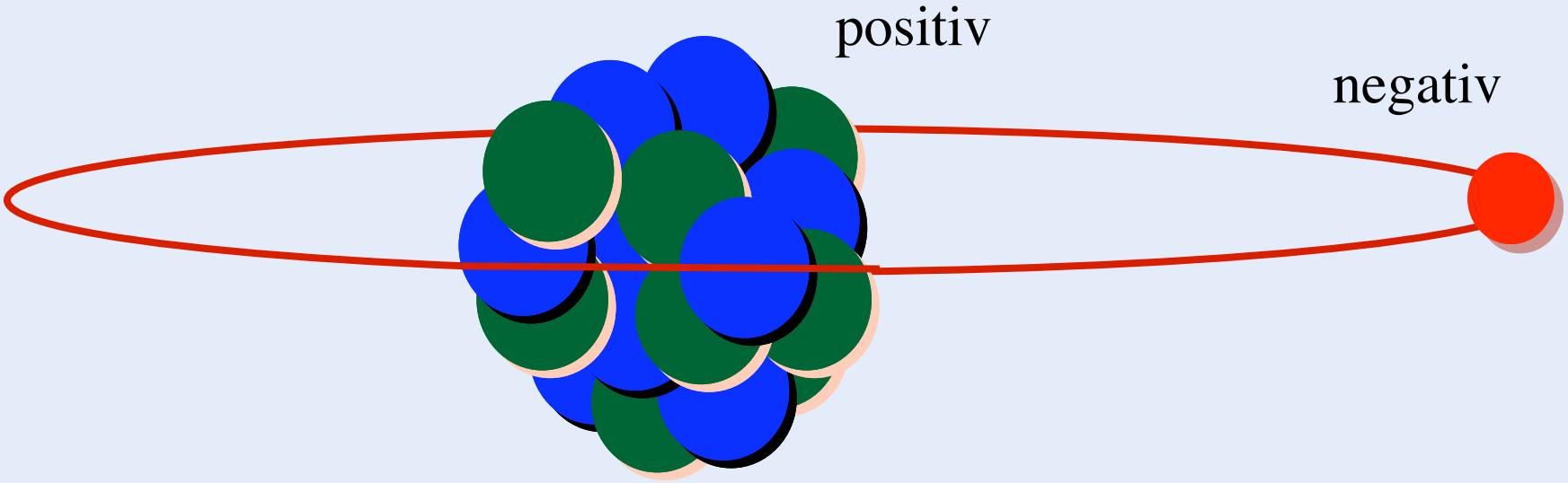
”1964” Gell-Mann (pris 1969)

ca 1970 Friedman, Kendall,
Taylor (Nobelpris 1990)

1974 Richter, Ting (pris 1976)

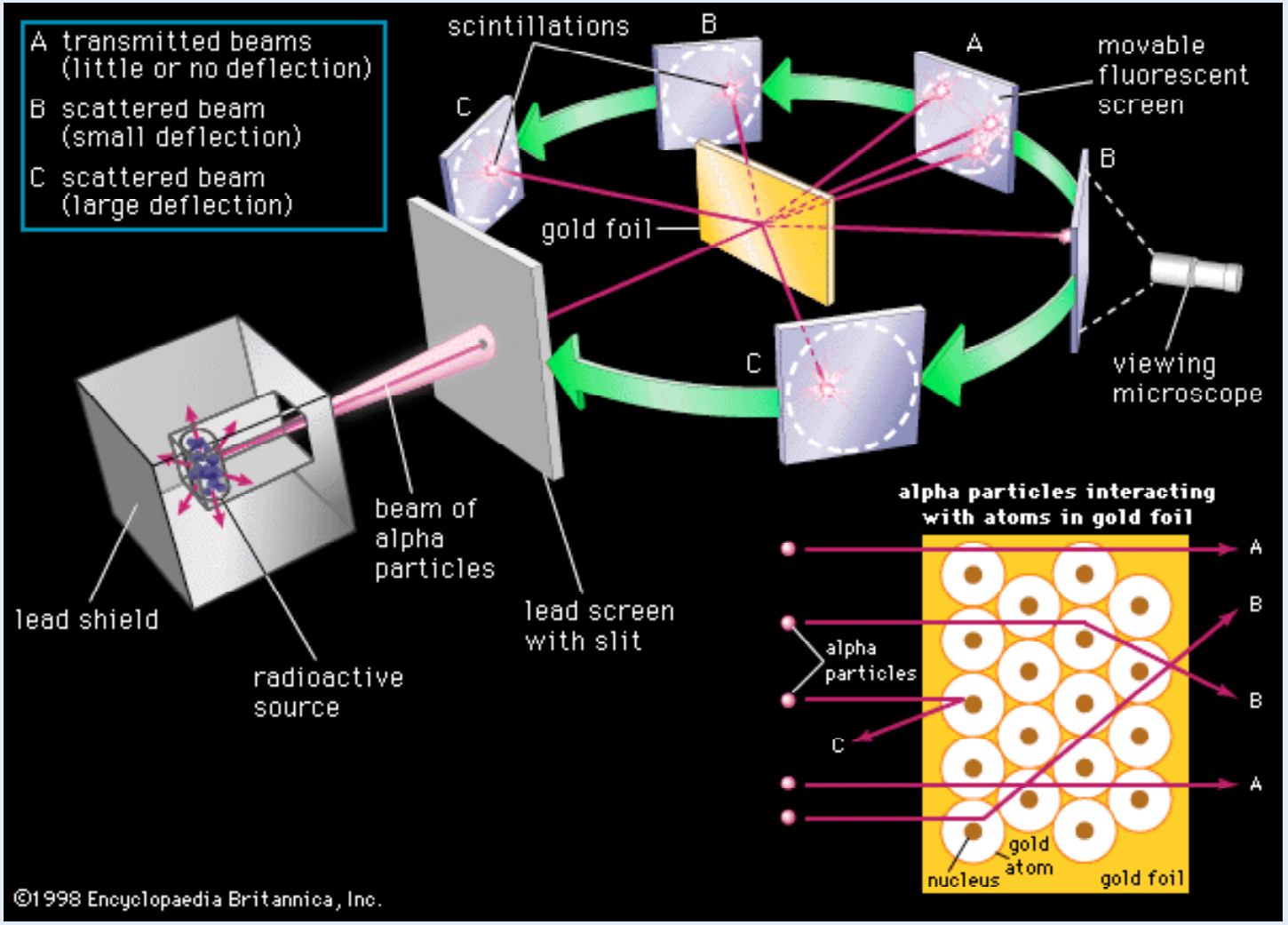
En atomradie = 0 , 000 000 000 1 meter

Elektromagnetisk växelverkan förmedlad av fotonen



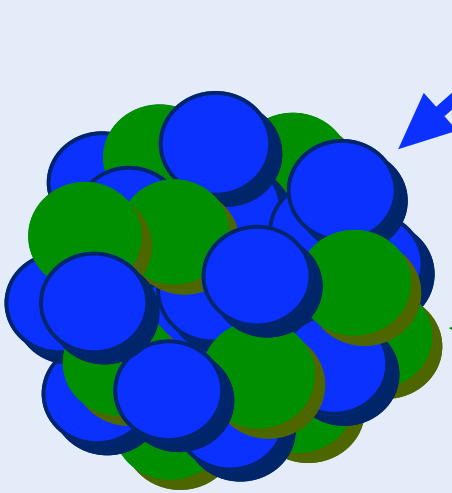
En atomkärnas radie = 0 , 000 000 000 000 01 meter
- en tiotusendel av atomens radie

1911 Rutherford med Marsden & Geiger



Atomkärnan

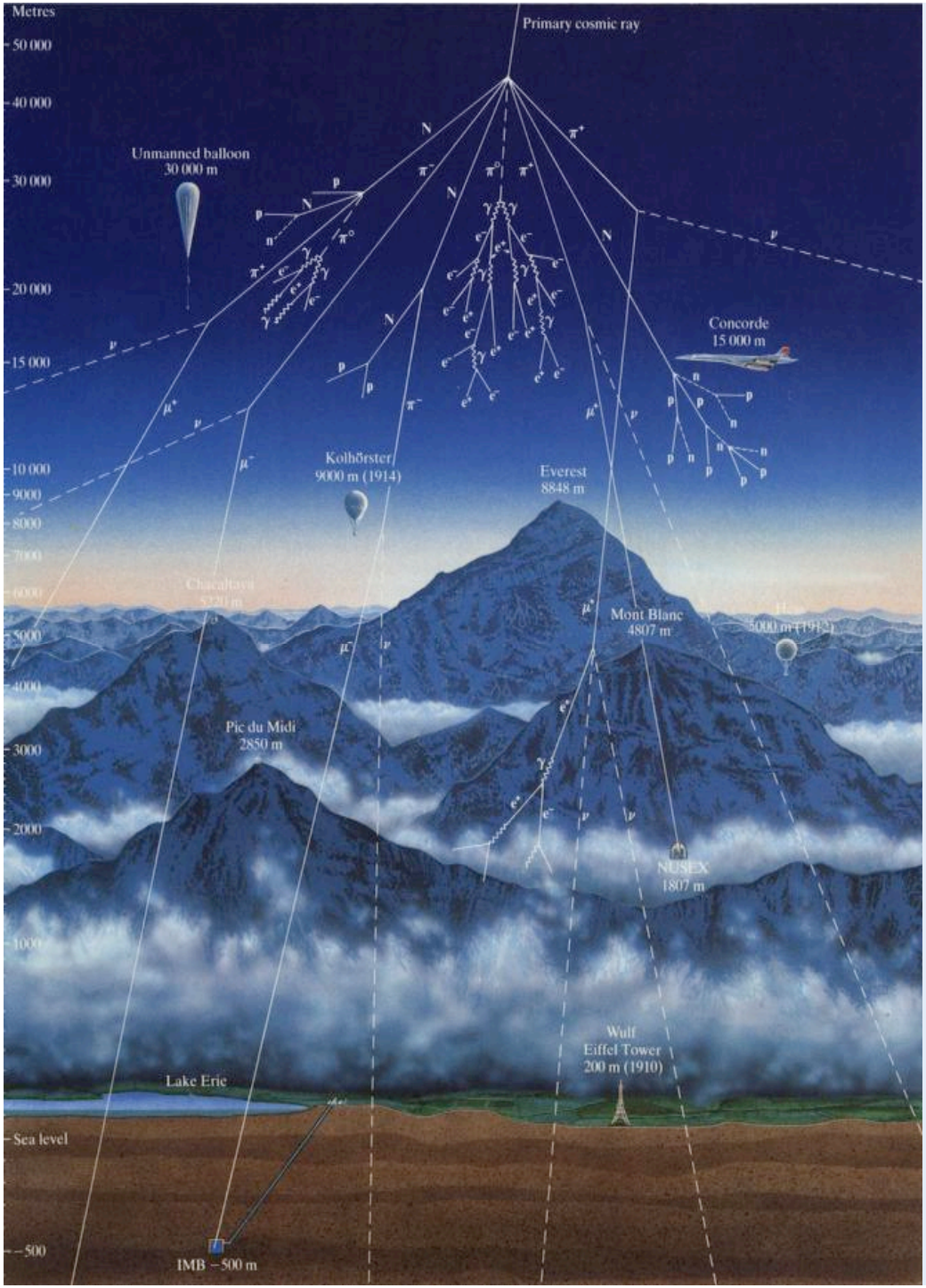
PROTONER positiv elektrisk laddning



NEUTRONER elektriskt neutrala

Stark växelverkan mellan nukleonerna håller samman kärnan. Verkar bara på korta avstånd - någon nukleondiameter.

Hadroner - starkt växelverkande partiklar
Stark växelverkan förmedlas av gluoner



Kosmisk strålning

1911 Hess (**Nobelpris 1936)**

1932 positron (antipartikel till elektronen) Anderson (Nobelpris 1936)

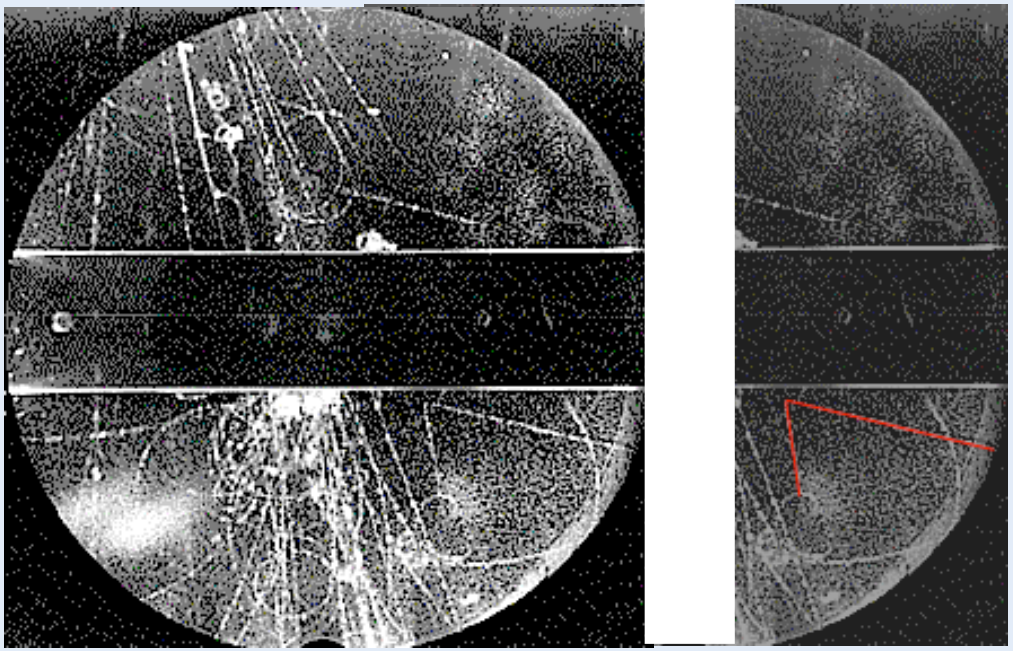
1936 myon (tung kusin till elektronen)

1947 pion (stark vx-verkans förmedlare??) Powell (Nobelpris 1950)

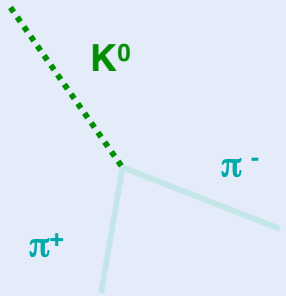
1947 särpartiklar Rochester, Butler

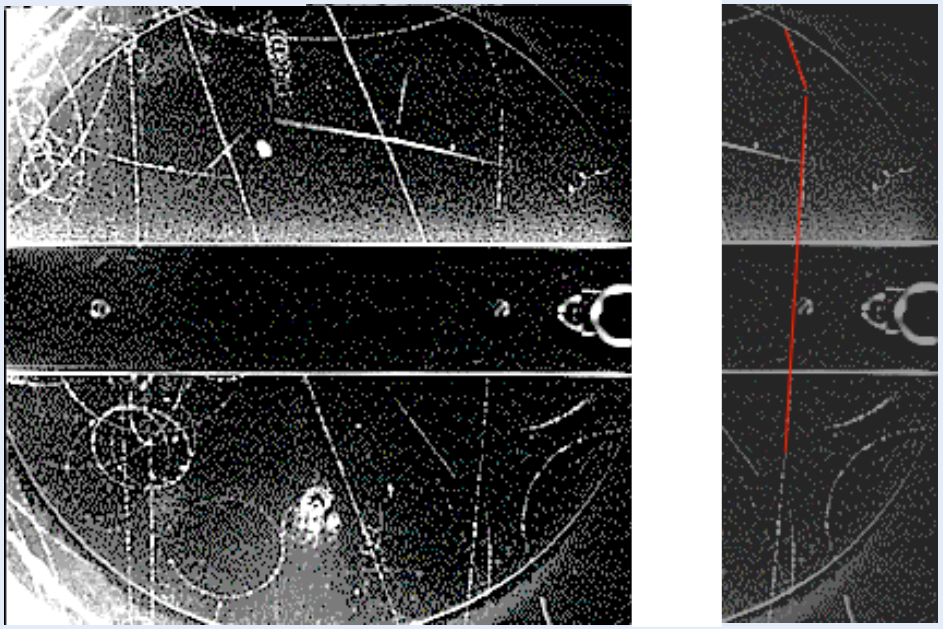
Sär-partiklar

Strange particles

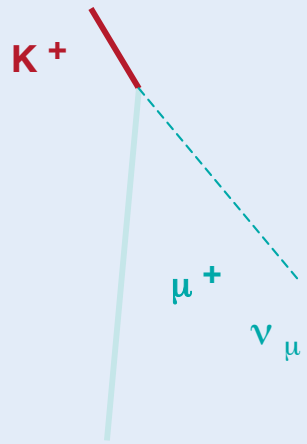


1947 - V-partikeln





1949 - τ-partikeln



Sönderfall av särpartikel - lambda - i bubbelkammare

$$\Lambda \rightarrow p\pi^-$$

Särpartiklar

- produceras i stark växelverkan
- sönderfaller till starkt växelverkande partiklar
- men - “för lång” livstid för stark växelverkan

Den typiska tiden för stark växelverkan är 10^{-23} s.

Särpartiklarnas livstid är typiskt 10^{-10} s.

Gell-Mann och **Nishijima** föreslog ett nytt kvanttal - särhet (strangeness)

Särhet

- Murray Gell-Mann och Kazuhiko Nishijima föreslog att "särhet" är bevarad i elektromagnetisk och stark växelverkan, men inte i svag.

- K^-, Lambda, Sigma har särhet = -1
- Pion, Proton, Neutron har särhet = 0

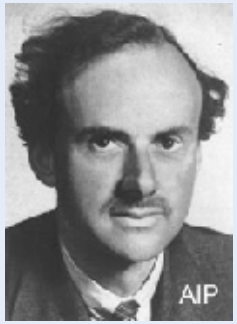
- Särpartiklar produceras i par genom stark växelverkan t.ex.

$$\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$$

$$\begin{array}{lcl} \textit{särhet} & 0 & +0 = +1 - 1 \end{array}$$

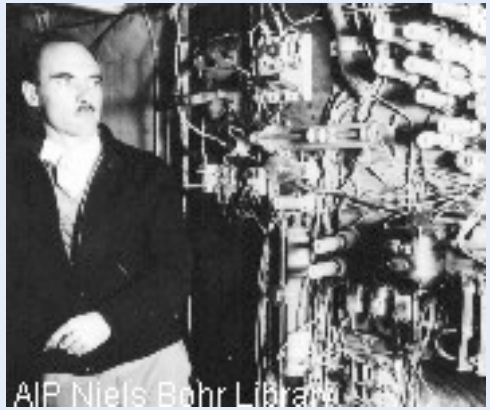
- Sönderfaller svagt $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$

Alla partiklar har en antipartikel !

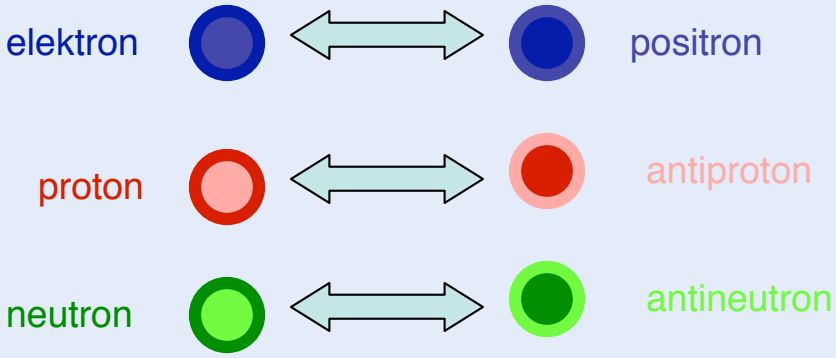


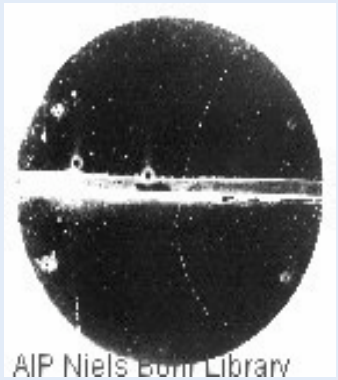
$$i\frac{\partial\Psi(x,t)}{\partial t} = (i\alpha\cdot\nabla + \beta m)\,\Psi(x,t)$$

Paul A M Dirac 1928



Carl D Anderson 1932



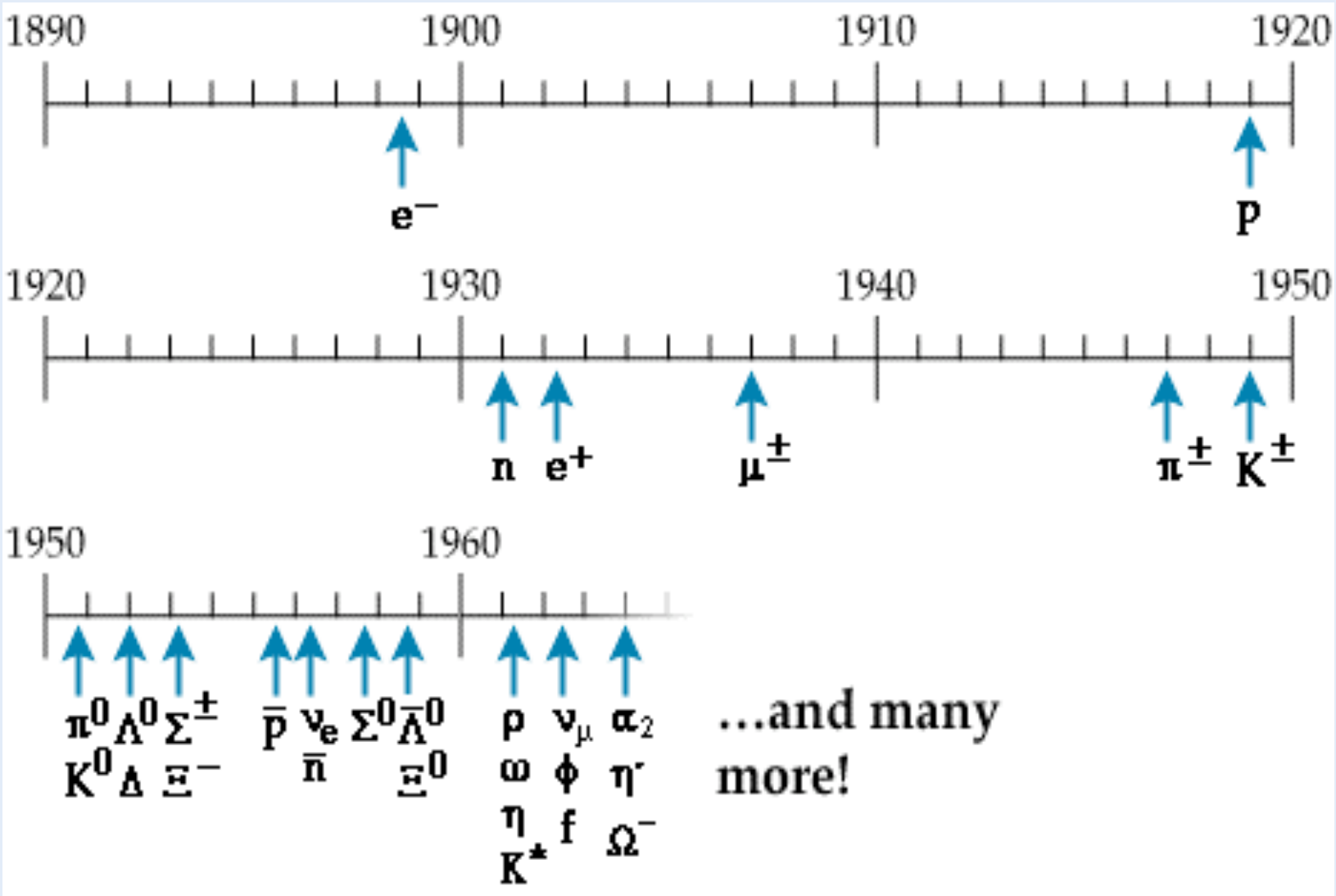


Upptäckten av positronen

ANTIMATERIA

- Varje kvark och lepton har sin antikvark respektive antilepton.
- Första antipartikeln som upptäcktes var antielektronen eller positronen (1932).
- Antipartikeln har motsatt laddning och motsatta inre kvanttal jämfört med partiklen.
- Partikel och antipartikel förintar varandra.

Experiment vid partikelacceleratorer ledde till Partikelexplosionen!



Klassificering

- Leptoner:
  - Partiklar som INTE växelverkar med den starka kraften
  - *Spinn* = 1/2
  - Laddade: e, μ, … Neutrala: υ
- Hadroner:
  - Partiklar som växelverkar med den starka kraften
  - Mesoner:
    - Heltaligt spinn, bosoner (*spinn* = 0, 1, …)
    - π, K, ρ, ω, …
  - Baryoner:
    - Halvtaligt spinn, fermioner (*spinn* =1/2, 3/2,…)
    - p, n, Δ, Λ, …

Kvanttal

kvant-tal	beva-rat i	stark vxverkan	e-m vxverkan	svag vxverkan
laddning		x	x	x
baryontal		x	x	x
leptontal		x	x	x
särtal		x	x	

EIGHTFOLD WAY

- Föreslogs 1961 av Murray Gell-Mann och Yuval Ne'eman

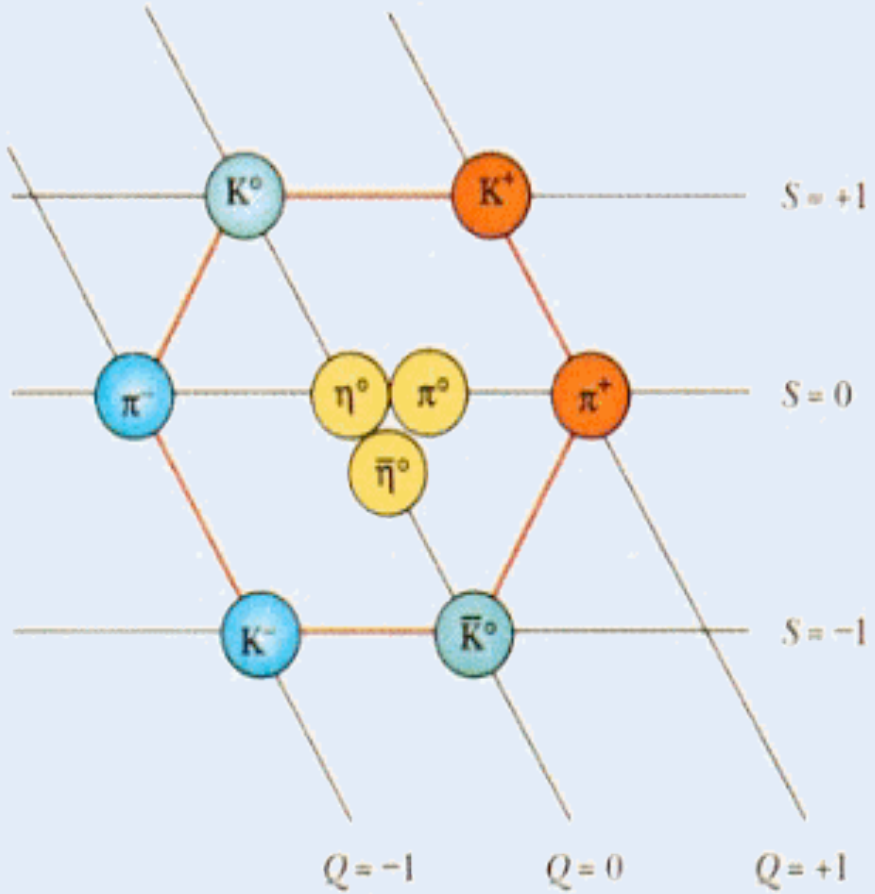
- Bygger på en matematisk symmetri (SU(3)) enligt vilken partiklarna kan klassificeras i "multipletter" med 1, 8, 10 eller 27 partiklar i varje multiplett.

- Alla partiklar i en multiplett ska ha liknande egenskaper, vara olika varianter av samma baspartikel.

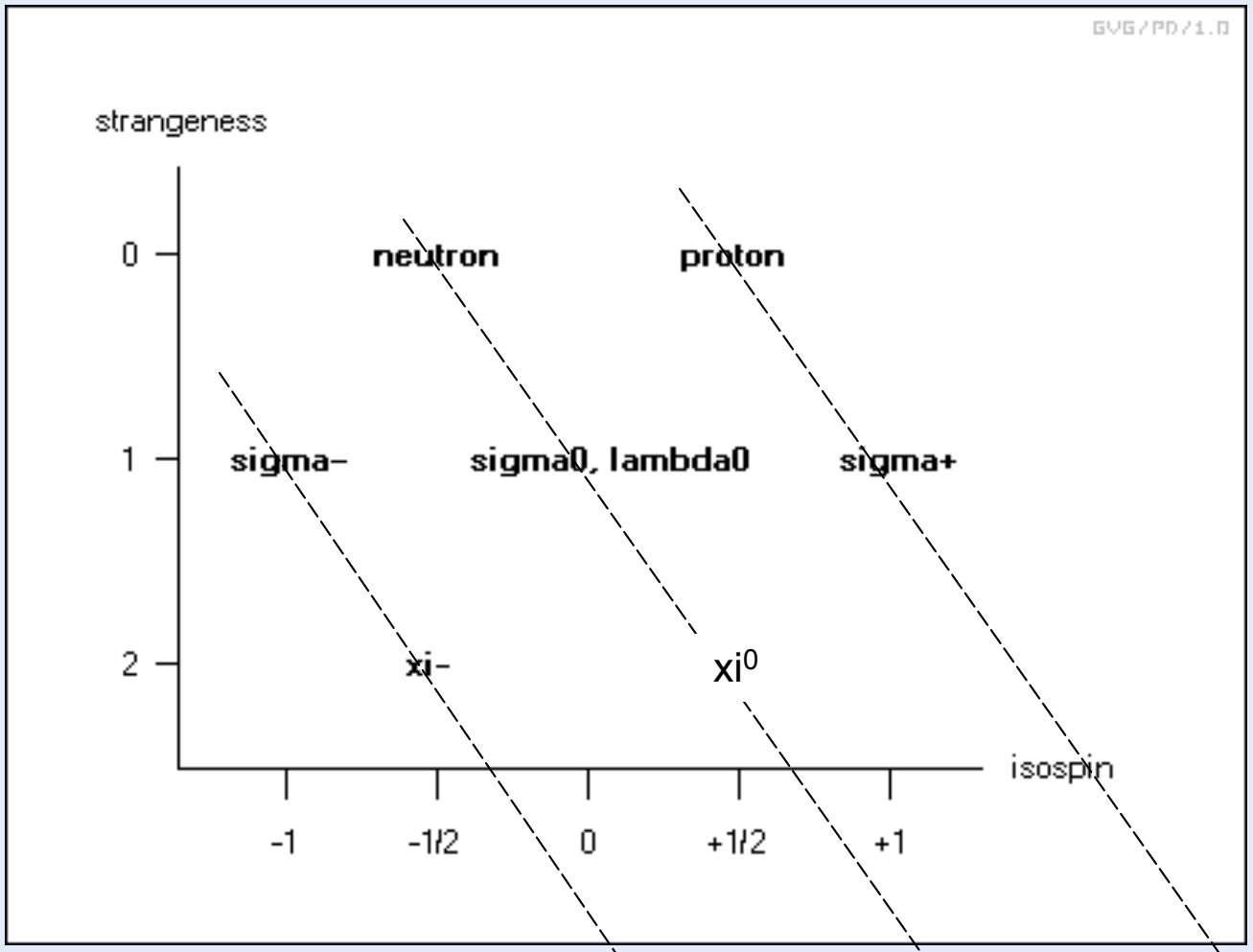
- Partiklarna klassificerades i multipletter efter
  - baryon eller meson
  - spinnkvanttal (1/2 eller 3/2 för baryoner, 0 eller 1 för mesoner)

- Inom varje multiplett ritades mönster efter laddning och särtal.

Mesoner 8+1 à là ”Eightfold way” (spinn 0)



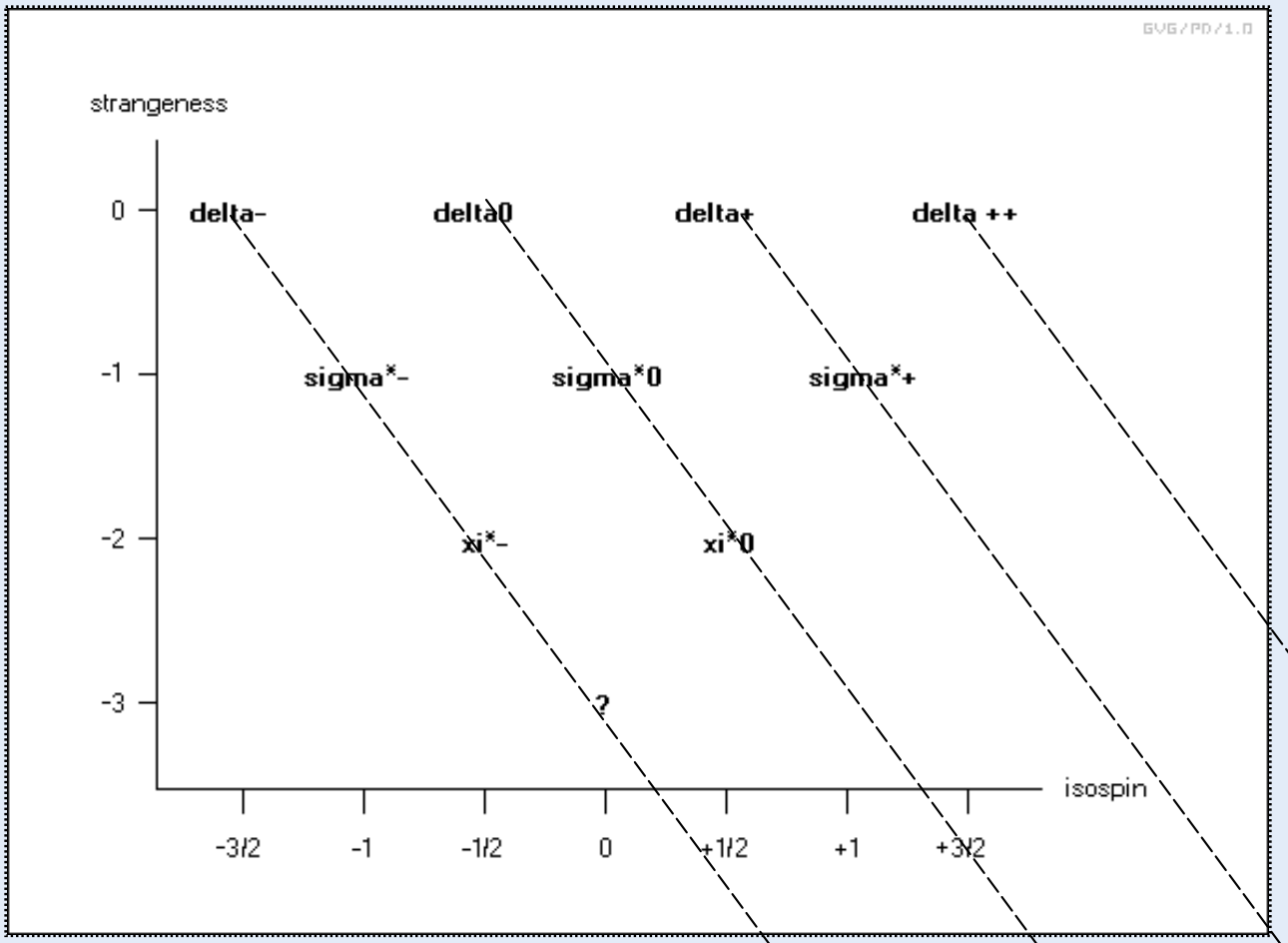
Baryon-oktett à là ”Eightfold way” (spinn 1/2)



-1 0 +1

charge

Baryon-dekaplett à là ”Eightfold way” (spinn 3/2)



? = Ω^- upptäcktes 1964!

1964 mönstret kan förklaras - 3 kvarkar (quarks)

Gell-Mann

Zweig

2/3
-1/3

(upp
ner)

(sär)

spinn
1/2

+ antikvarkar ($\bar{u}$, $\bar{d}$, $\bar{s}$)

HADRONER

BARYONER
3 KVARKAR

p (uud)

n (udd)

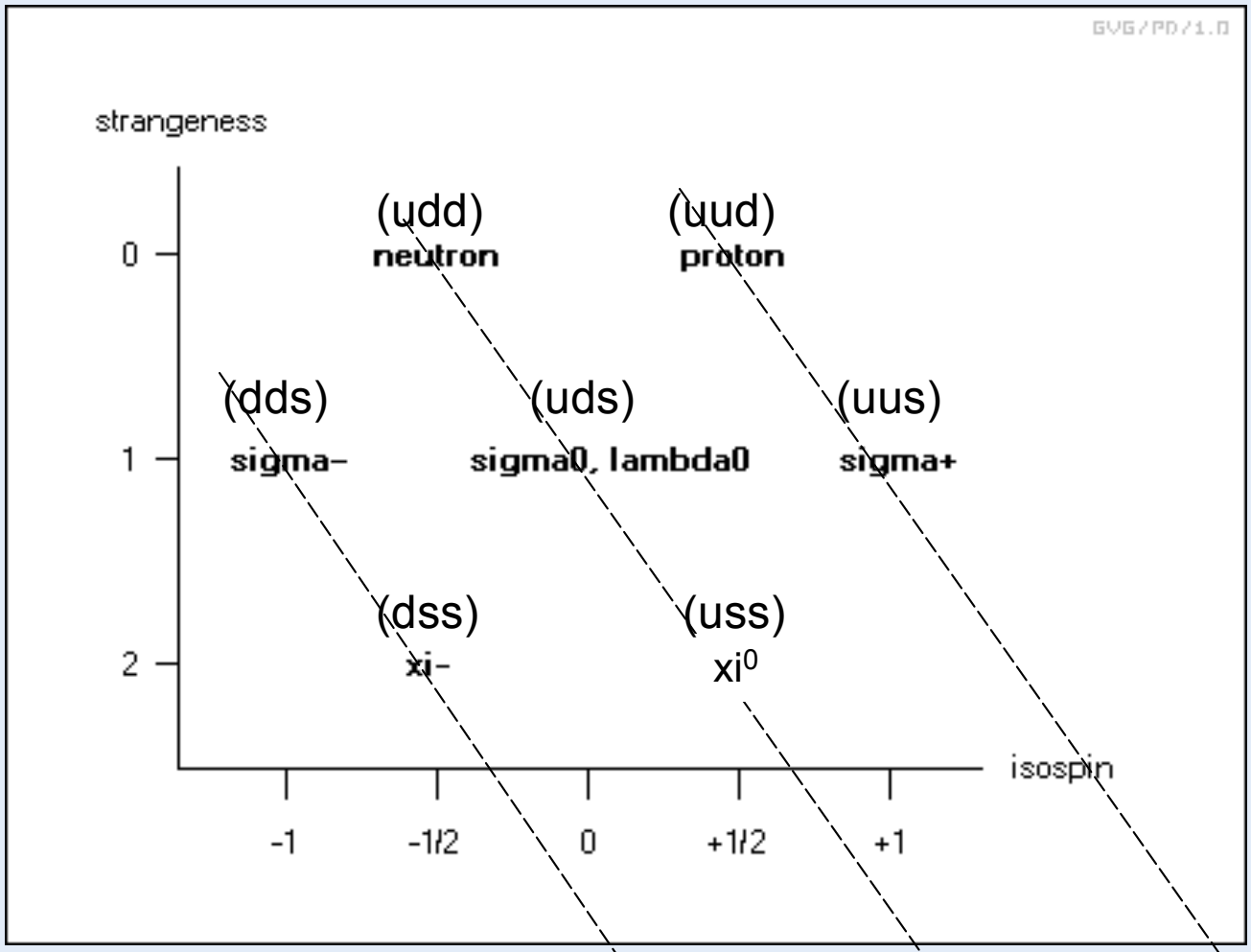
Λ (uds)

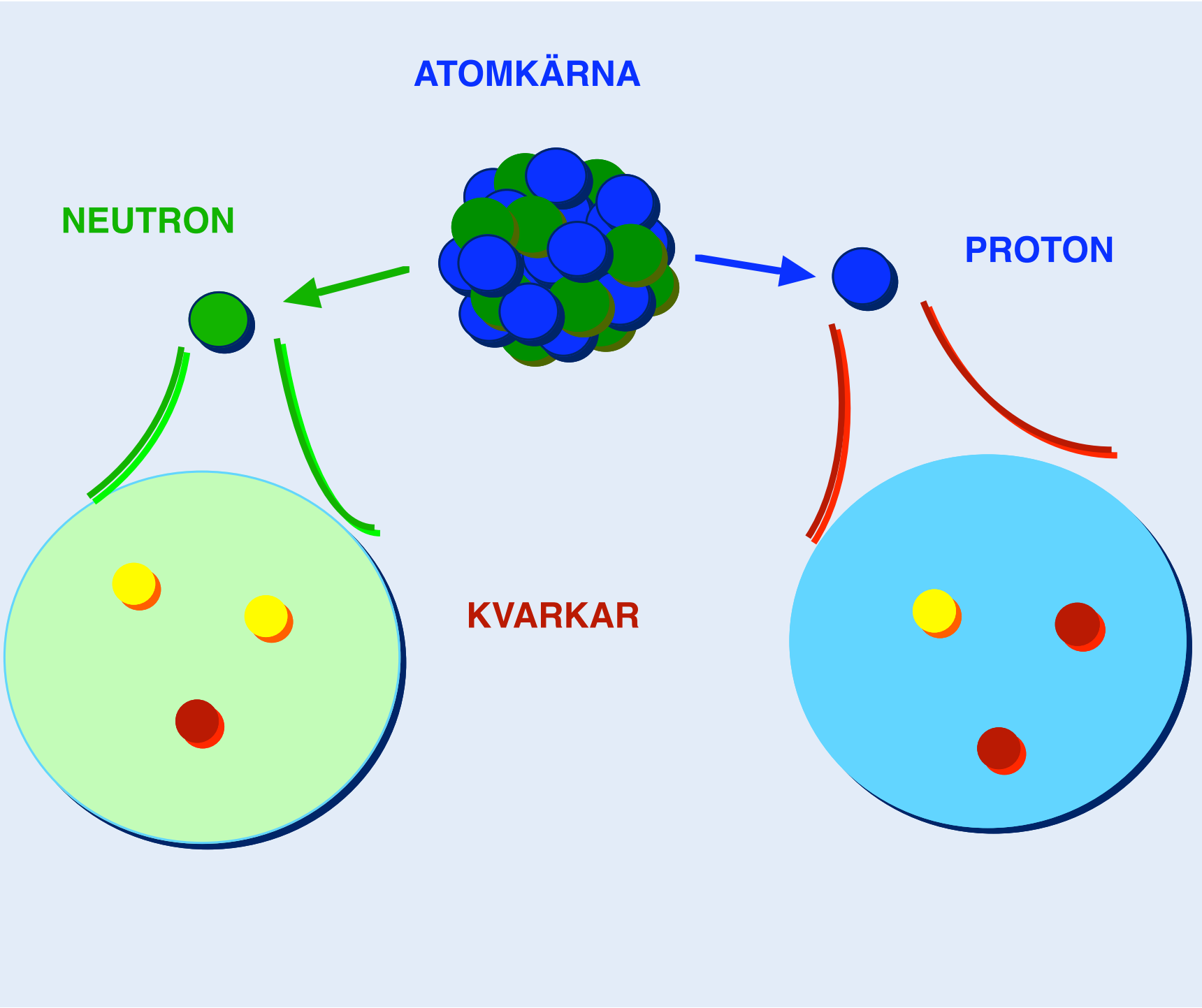
MESONER
KVARK + ANTIKVARK

π^+ ($u\bar{d}$)

K^+ ($u\bar{s}$)

Baryon-oktett à là ”Eightfold way” (spinn 1/2)




ATOMKÄRNA
NEUTRON
PROTON
KVARKAR

Finns kvarkarna?

- Har aldrig setts fria (kan teoretiskt inte existera fria)

MEN…

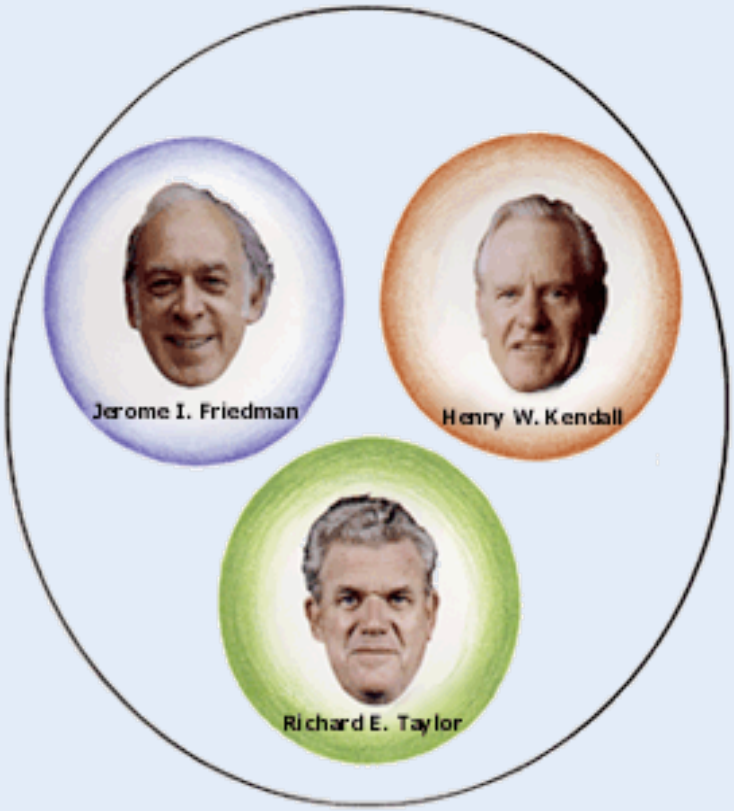
- Spridningsexperiment av e^- mot protoner

- Upptäckt av 4:e kvarken -

CHARM

The Nobel Prize in Physics 1990

"for their pioneering investigations concerning **deep inelastic scattering of electrons on protons** and bound neutrons, which have been of essential importance for the development of the quark model in particle physics"

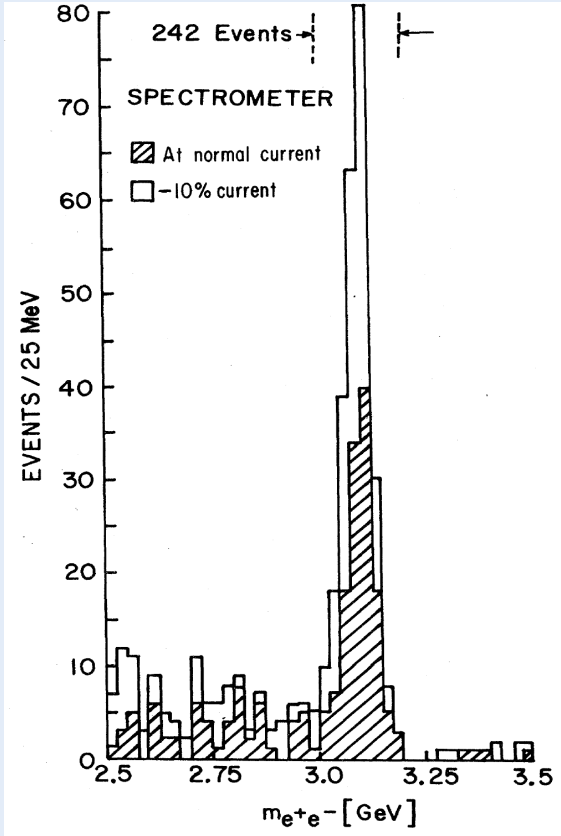


Experimenten var analoga till Rutherfords:
Då: α, guldatom
Nu: e^-, p och n
Inre struktur upptäcktes

Upptäckt av CHARM kvarken

Tings experiment (USAs östkust) – Resultat för e^+e^- par

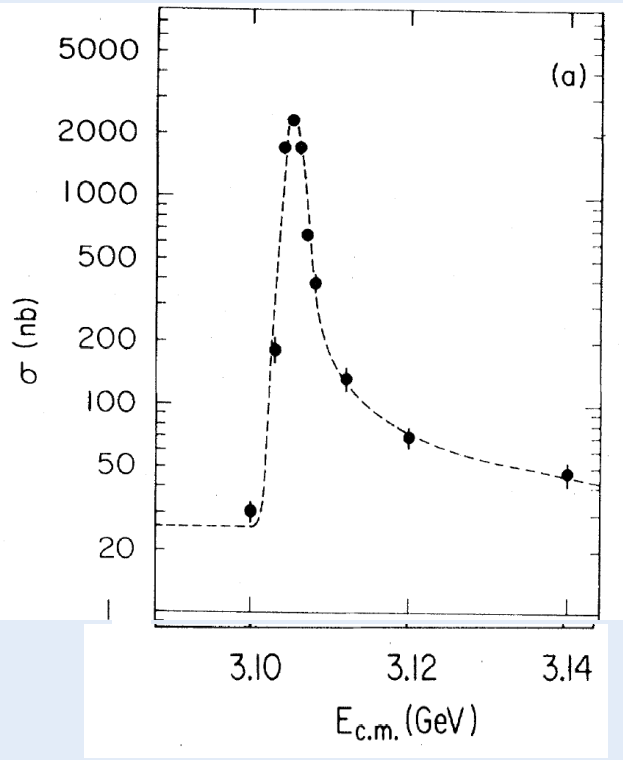
$$p + Be \rightarrow J + X$$
$$\hookrightarrow e^+e^-$$



Invarianta massan hos e^+e^- paret
En tydlig, smal topp vid: *m=3.1GeV*

Richters experiment (USAs västkust)- Resultat

$$e^+e^- \rightarrow \psi \rightarrow hadroner$$
$$\hookrightarrow e^+e^-, \quad \mu^+\mu^-$$



De såg en stor topp vid (3.105±0.003)GeV

Två experiment - samma resultat!

- Richter såg ψ signalen 10 november 1974
- När Ting var klar att publicera sin upptäckt av ***J*** var han på SLAC för ett möte. Han talade om sin upptäckt för Richter.
- Båda grupperna hade sett **samma partikel!**

Burton Richter at DOE's SLAC

Sam Ting and team at DOE's Brookhaven

November Revolutionen

Tolkningen av J/ ψ

- J/ ψ hade liten "bredd" - lång livstid - ca 10^{-20} s - 1000 gånger för lång ("normal" livstid för stark växelverkan - 10^{-23} s)
- Passade därför inte in i existerande partikelmultipletter
- Tolkades som ett tillstånd av en ny kvark och dess antikvark

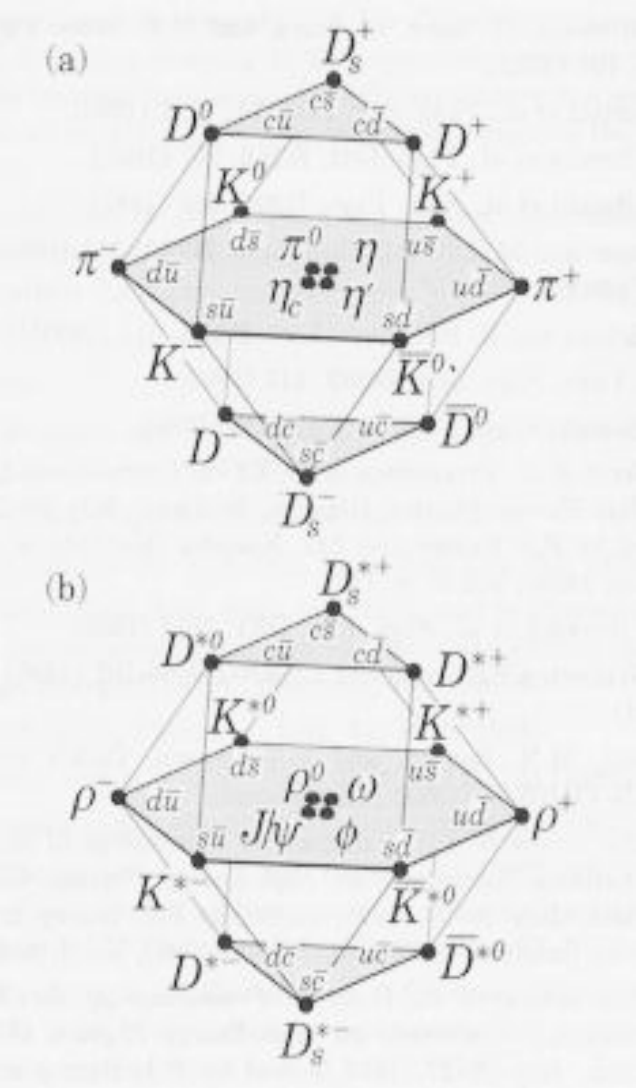
Charm-kvarken var upptäckt

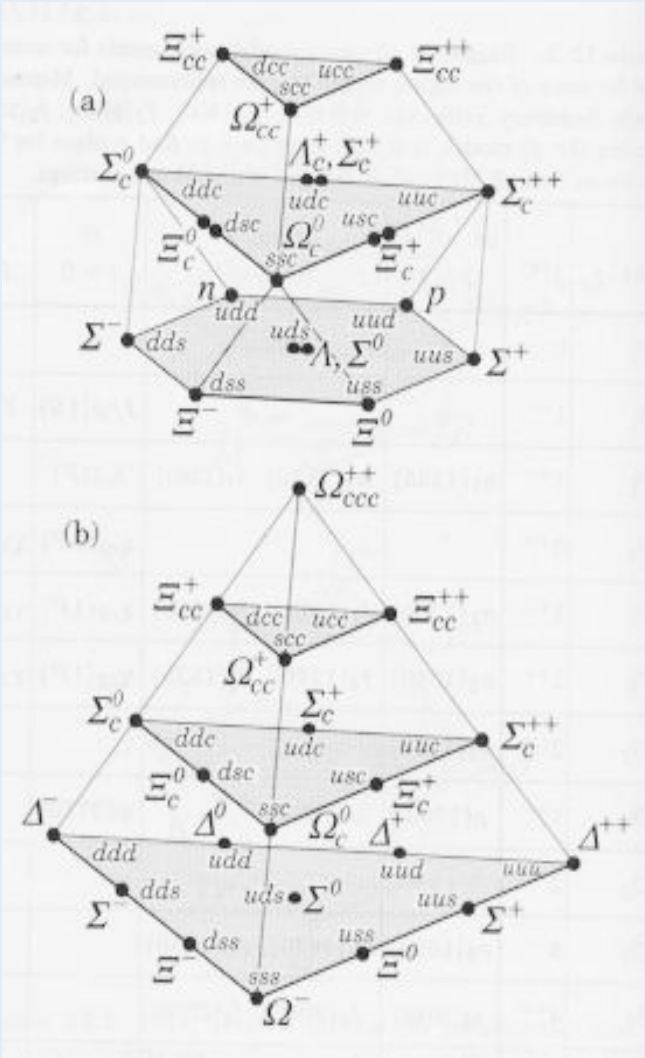
J/ ψ - ($c\bar{c}$)

(upp ner) (charm sär)

Partiklar med “naked charm” (öppen charm) upptäcktes

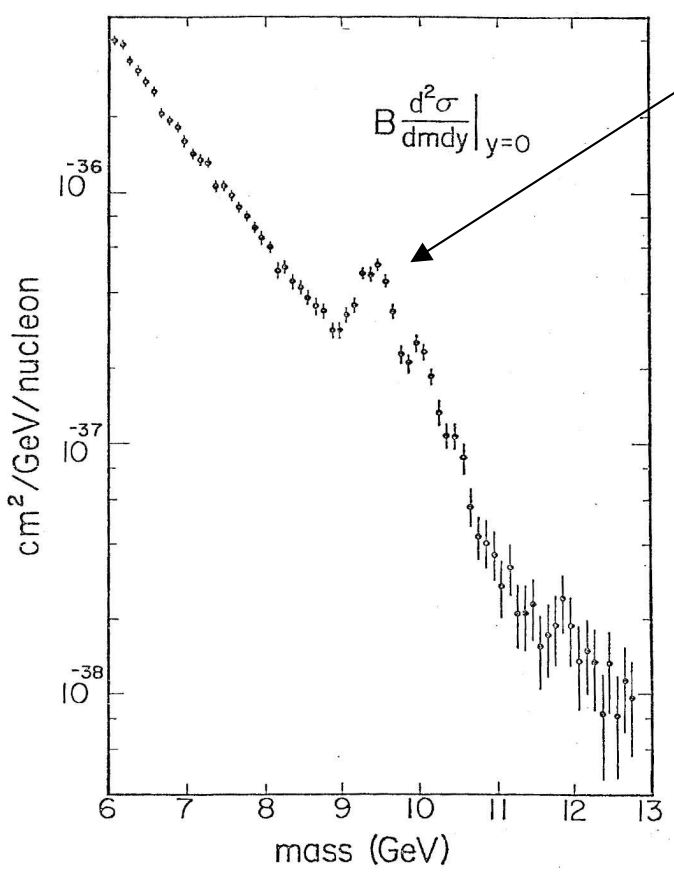
Utgör en ny dimension i Gell-Manns multipletter





Tredje familjen ……

$p + p \rightarrow \mu^+ + \mu^- + \ldots$



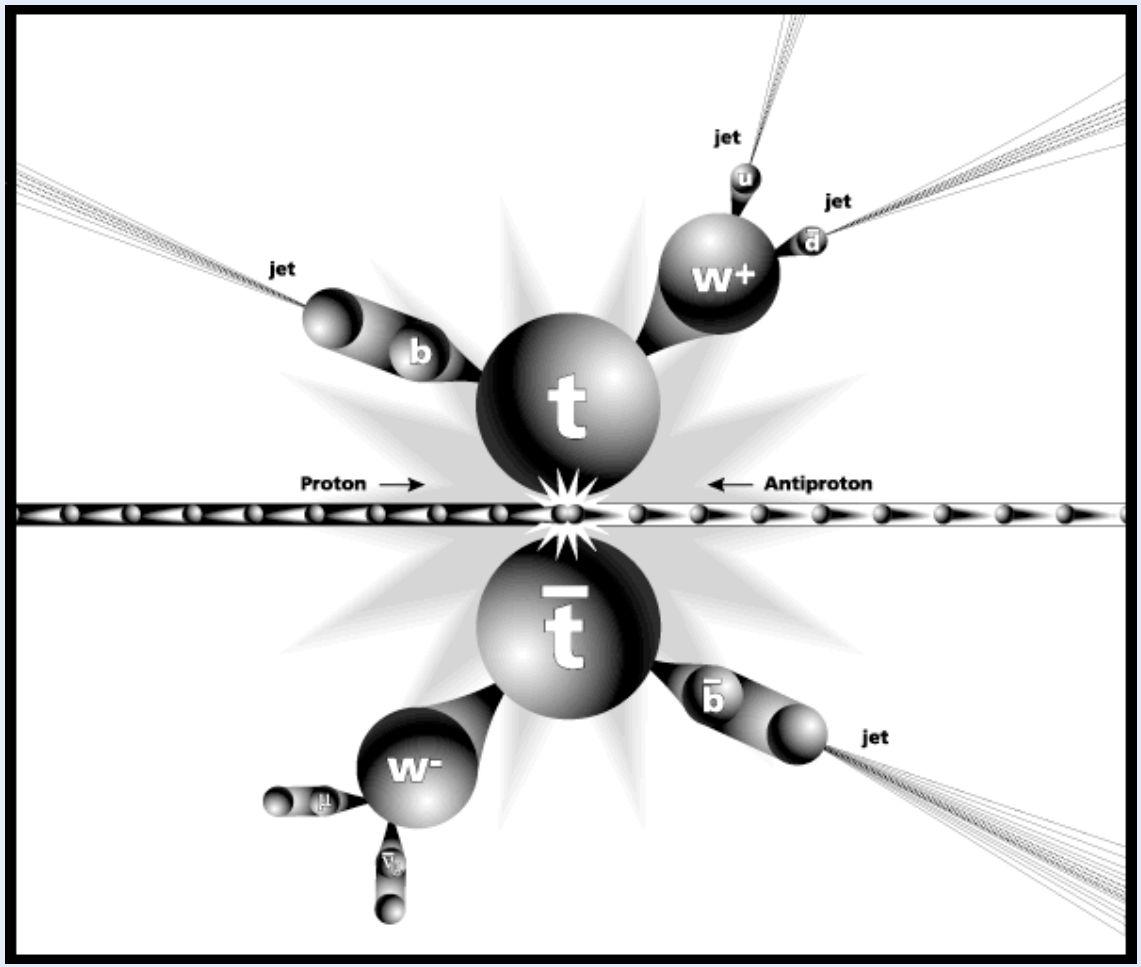
Υ ($b\bar{b}$) upptäckt 1977 på Fermilab utanför Chicago

$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$ top, truth (1995)
bottom, beauty

Även ”naked beauty” upptäckt
B^+ ($u\bar{b}$) B^- ($\bar{u}b$) B^0 ($d\bar{b}$)

$\mu^+\mu^-$ -systemets energi

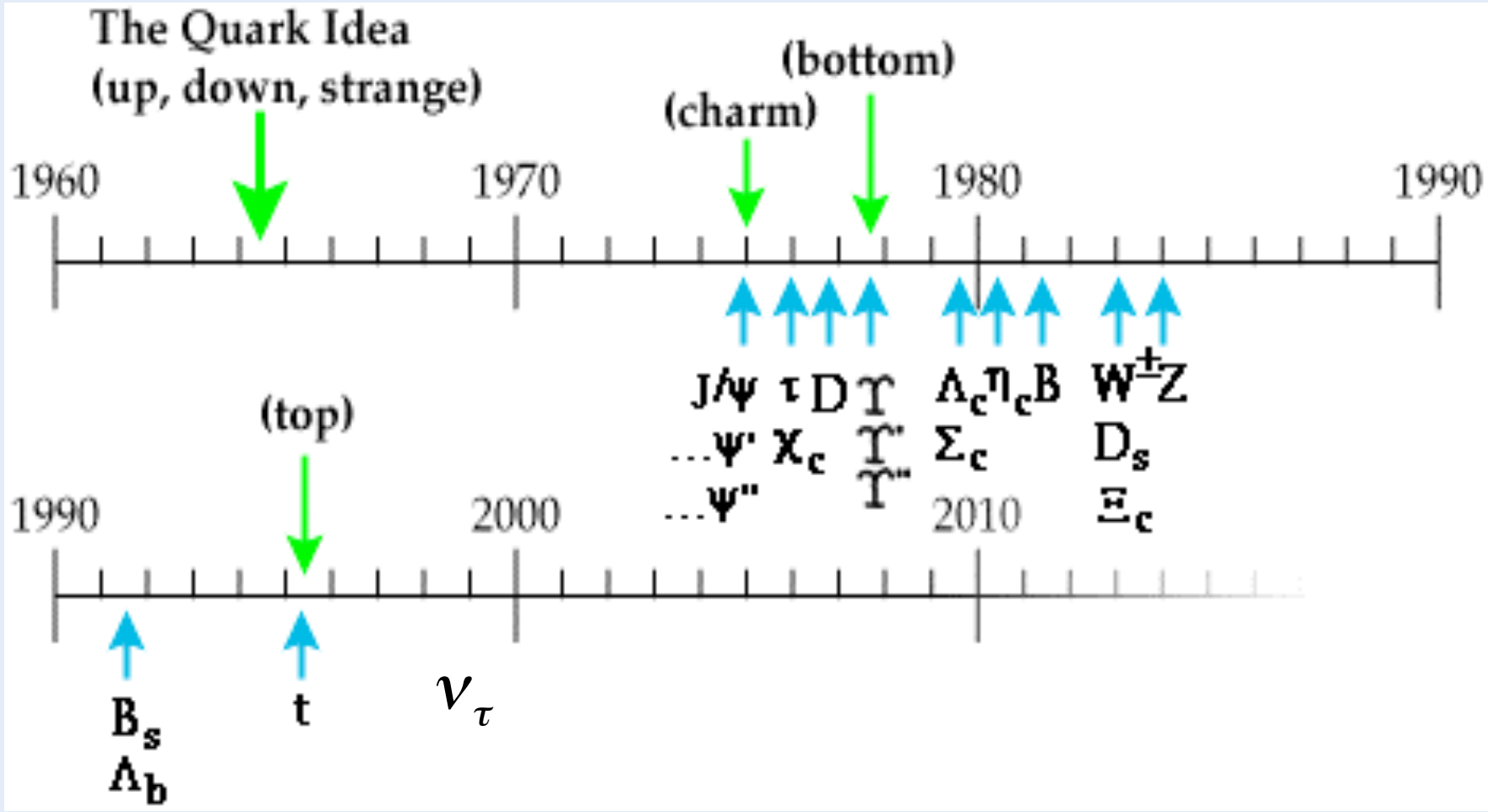
Toppkvarken upptäckt vid Fermilab utanför Chicago 1995



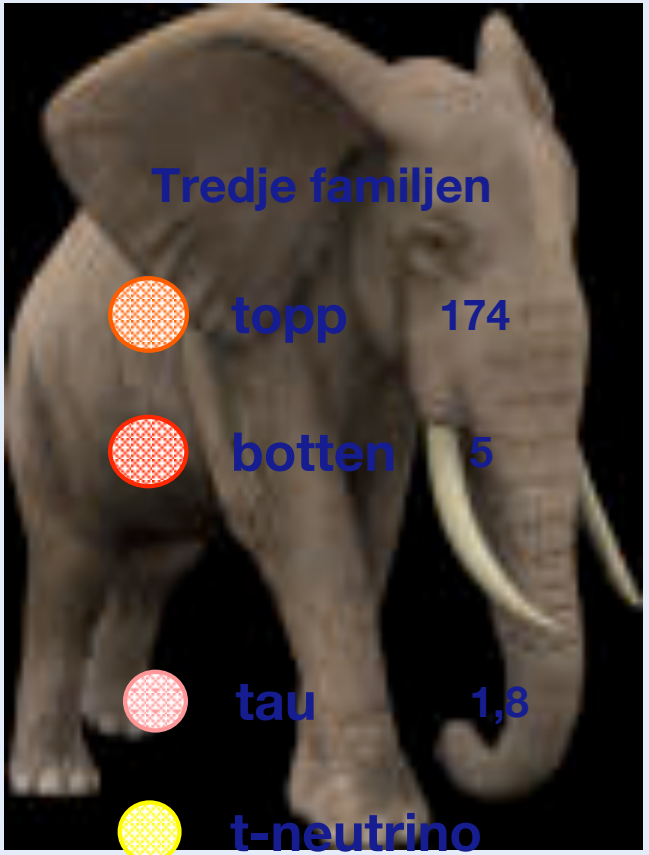
Toppkvarkens massa är ca 172 GeV (jämfört med protonmassan ca 0,94 GeV).

Den sönderfaller innan den bildar hadroner.

Partiklar upptäckta efter 1964



De minsta byggstenarna à là Standardmodellen



	Första familjen		Andra familjen		Tredje familjen	
Kvarkar	upp	<1	charm	1,5	topp	174
	ner	<1	sär	<1	botten	5
Leptoner	elektron	0.0005	muon	0.1	tau	1,8
	e-neutrino		m-neutrino		t-neutrino	

+ antipartiklar för alla partiklarna

Standardmodellen

NATURKRAFTER

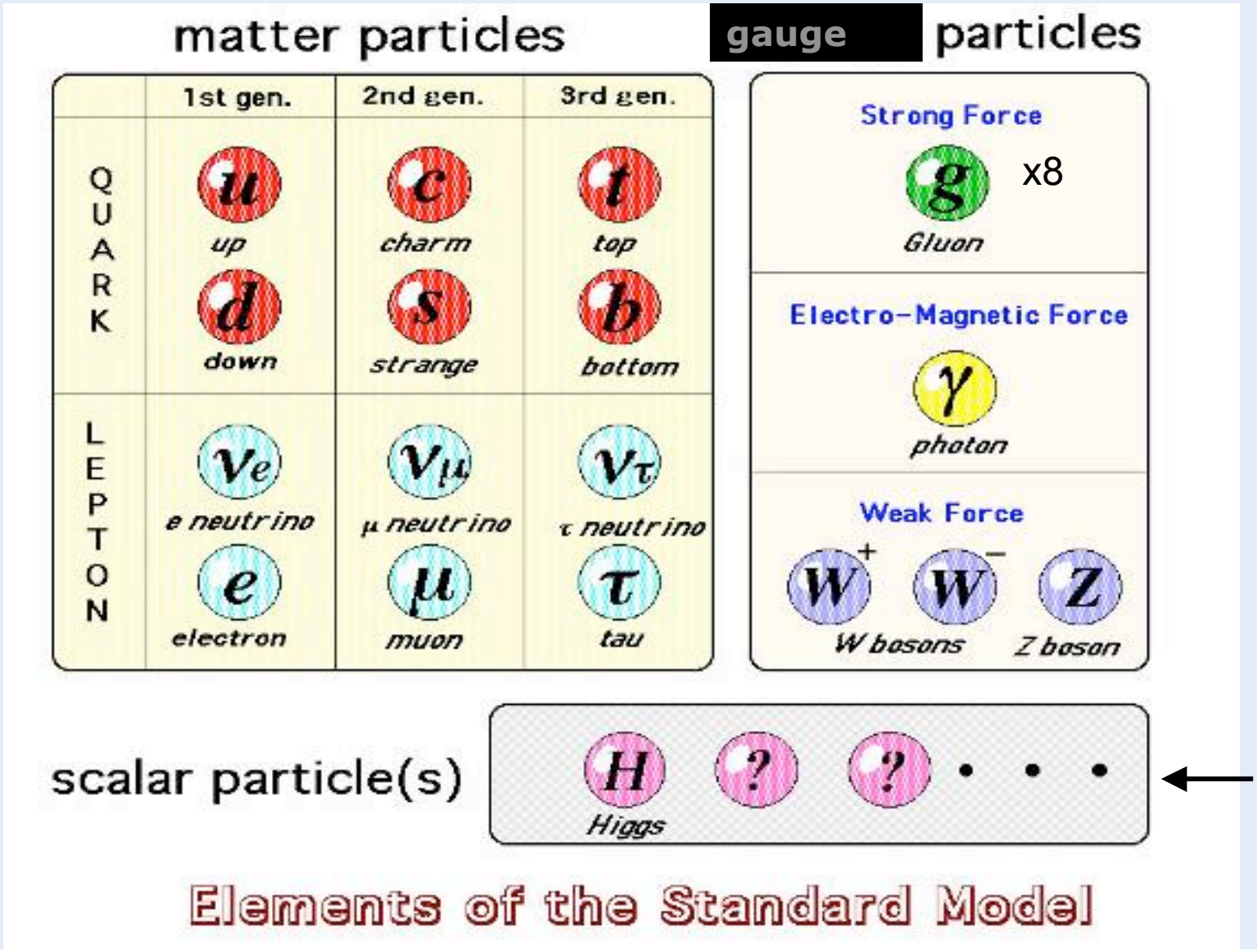
- ELEKTROMAGNETISK växelverkan, fotonen
  - mellan elektriskt laddade partiklar, håller ihop atomen
- STARK växelverkan, gluoner
  - endast mellan kvarkar, håller ihop atomkärnan
- SVAG växelverkan, W, Z bosoner
  - mellan ALLA kvarkar och leptoner
  - den enda som kan ändra kvarksort

- GRAVITATION (svagast), beskrivs inte av Standardmodellen
  - mellan allt som har massa

STANDARDMODELLEN

Spinn 1/2

Spinn 1



← Saknas!!

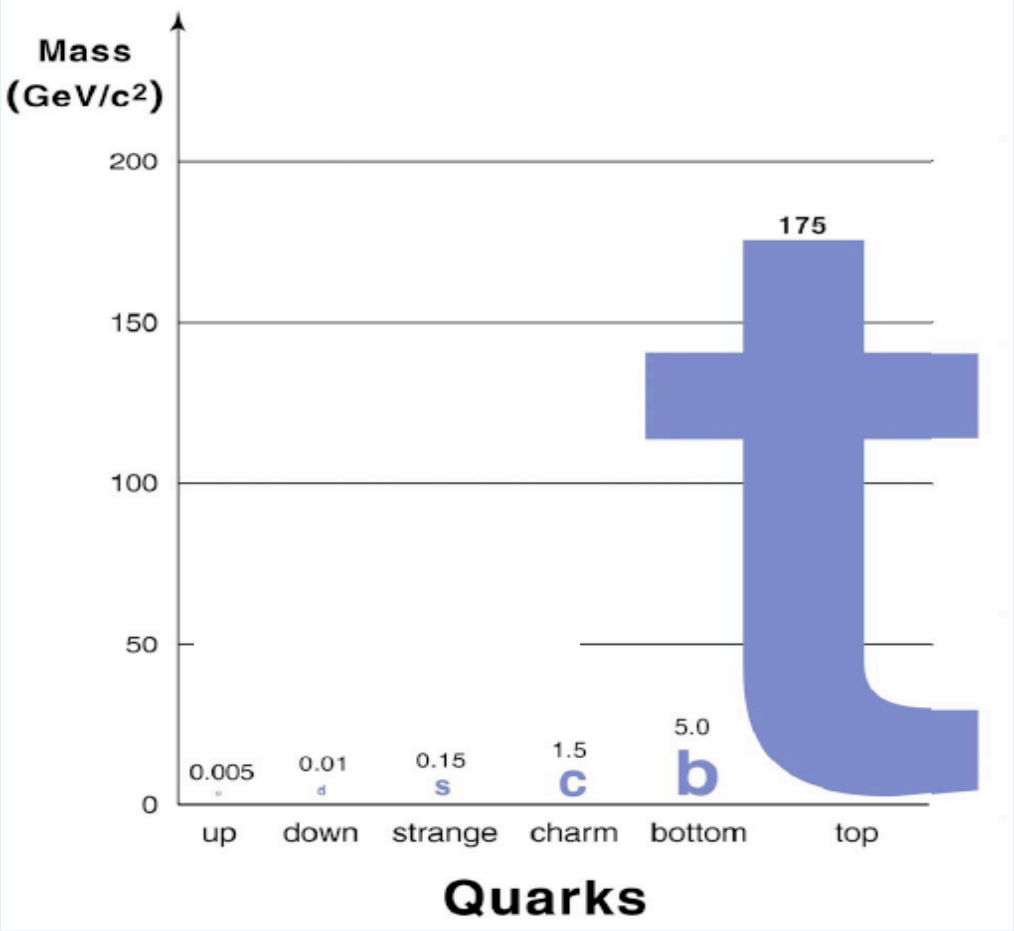
Några viktiga frågor:

- *Varför har partiklarna massa?*
- *Varför domineras universum av materia?*
  eller Vart tog antimaterian vägen?
- *Vad består universums mörka materia av?*
  Supersymmetri?
- *Hur kan gravitationen beskrivas med kvantmekanik?*
  Supersträngar?

A most basic question is why particles (and matter) have masses (and so different masses)

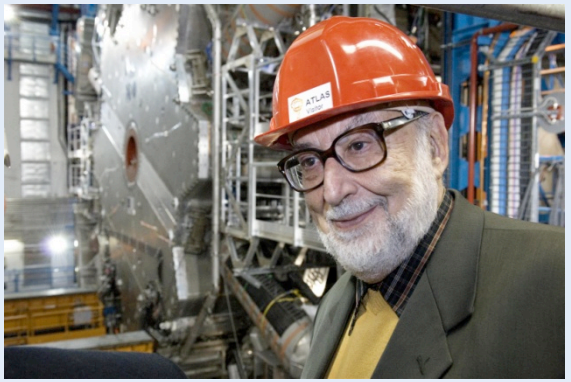
The mass mystery could be solved with the 'Higgs mechanism' which predicts the existence of a new elementary particle, the 'Higgs' particle (theory 1964, P. Higgs, R. Brout and F. Englert)

Peter Higgs



The Higgs (H) particle has been searched for since decades at accelerators, but not yet found…

The LHC will have sufficient energy to produce it for sure if it exists



Francois Englert

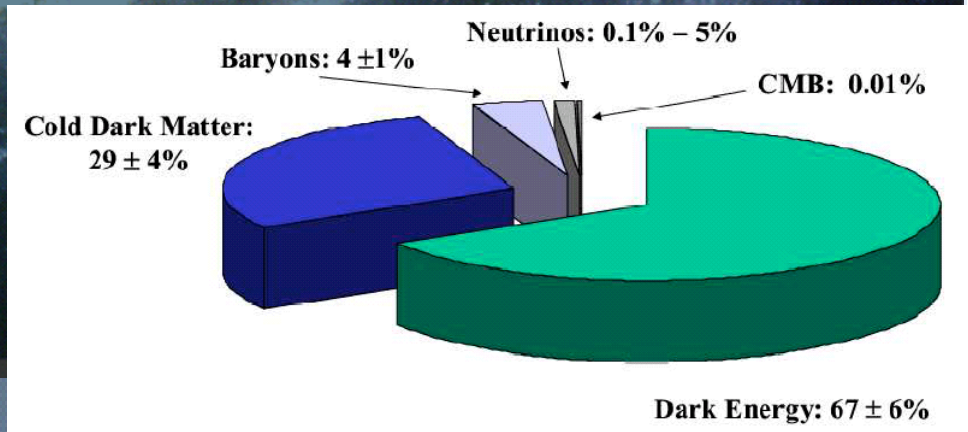
Dark Matter in the Universe

Astronomical observations show that most of the matter in the Universe is invisible Dark Matter

'Supersymmetric' particles ?

We shall look for them with the LHC

F. Zwicky 1898-1974



Supersymmetry (SUSY)

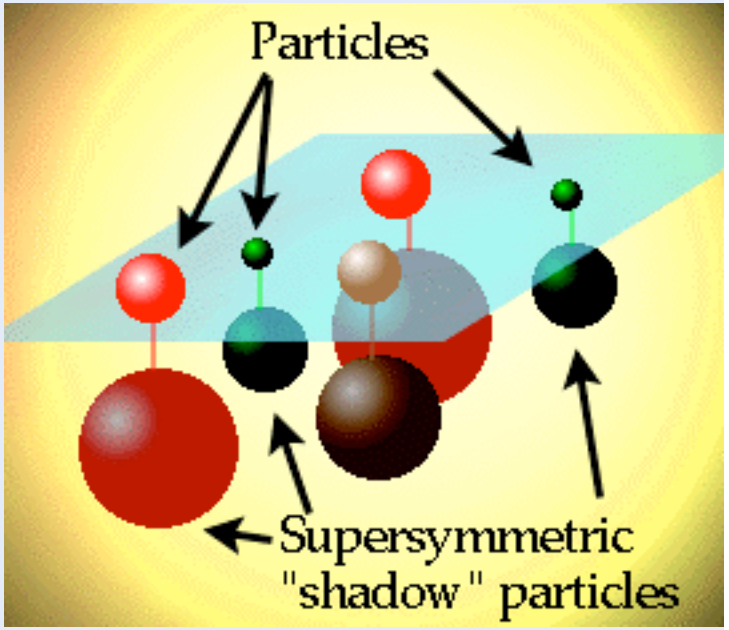
Establishes a symmetry between fermions (matter) and bosons (forces):

- Each particle p with spin s has a SUSY partner $\tilde{p}$ with spin s -1/2

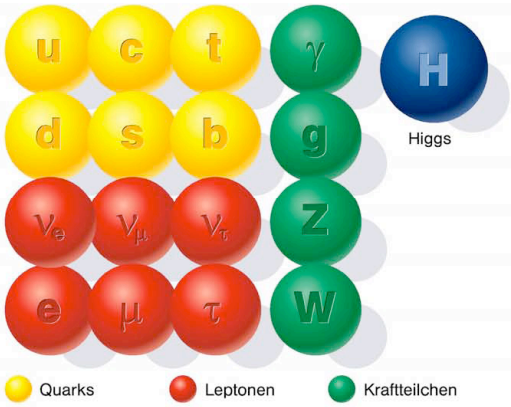
- Examples

q (s=1/2) ↔ $\tilde{q}$ (s=0) squark

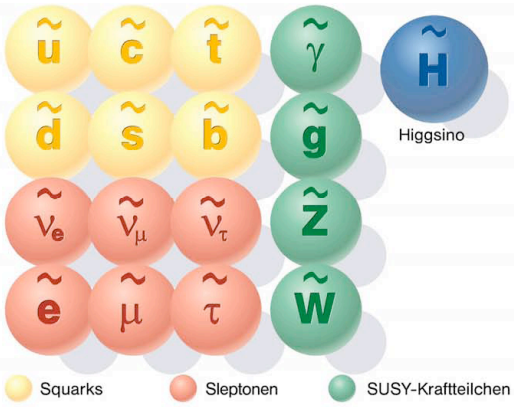
g (s=1) ↔ $\tilde{g}$ (s=1/2) gluino



Our known world with standard particles



Maybe a new world with SUSY particles?



Motivation:

- Unification (fermions-bosons, matter-forces)

- Solves some deep problems of the Standard Model