

ELEMENTÄR

ELEMENTARPARTIKELFYSIK

Vincent Hedberg

● Inledning

Enheter

Materiens uppbyggnad

Elementarpartiklarna

● Hadroner

Kvanttal

Mesoner

Baryoner

● Kvantfältteorier

Feynman diagram

Kvantelektrodynamik

Elektrosvag växelverkan

Kvantkromodynamik

● Astropartikel fysik

"The big bang"

● Experimentell partikel fysik

Partikel fysik laboratorier

H1 experimentet vid HERA

DELPHI experimentet vid LEP

Inledning

Enheter

Materiens uppbyggnad

Elementarpartiklarna

Enheter i partikelfysik

● Energi - elektronvolt

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

$$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$$

● Rörelsemängd

$$1 \text{ GeV}/c = 5.344 \cdot 10^{-19} \text{ kg m/s}$$

● Massa

$$1 \text{ GeV}/c^2 = 1.783 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{Protonens vilomassa} = 938 \text{ MeV}/c^2 = 0.938 \text{ GeV}/c^2$$

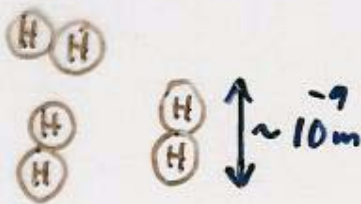
$$\text{Blyatomens vilomassa} \approx 194 \text{ GeV}/c^2$$

Vad består materian av och hur hålls den samman?

Exempel:

Vätgas

Molekyler:

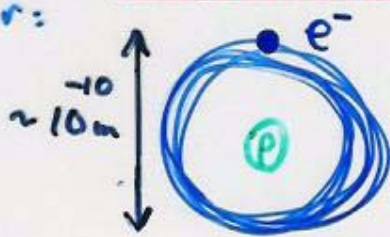


Observerbara krafter:

Gravitationen påverkar all typ av materia men är mycket svag och det krävs stor mängd materia för att den ska kunna observeras.
Den **elektromagnetiska kraften** håller samman molekylerna.

Atomers:

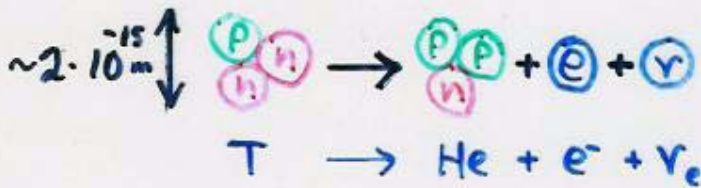
Väteatomen



Den **elektromagnetiska kraften** håller samman atomerna och orsakar olika atomfysikaliska fenomen.

Atomkärnor:

β -sönderfall



β -sönderfall orsakas av den **svaga kraften**.
Nukleonerna i atomkärnorna hålls samman av den **starka kraften** trots att protonerna repellerar varandra p.g.a. den **elektromagnetiska kraften**.

Nukleoner:

Protoner



Nukleonerna består av kvarkar vilka hålls samman av den **starka kraften**.
Kvarkarna kan också växelverka med hjälp av den **svaga kraften** och den **elektromagnetiska kraften**.

Elektron+Neutrino

Leptoner:



Elektronen kan växelverka med hjälp av den **svaga kraften** och den **elektromagnetiska kraften**.



Neutrino kan bara växelverka med hjälp av den **svaga kraften**.

Elementärpartiklar

Fermioner (spin = 1/2)

Bosoner (spin = 1, 2)

Leptoner

kvarkar

"Gauge" bosoner

$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}$

$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$

Fotonen: γ

Gluoner: $g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_8$

Svaga bosoner: W^+, W^-, Z^0

$\begin{pmatrix} \bar{\nu}_e \\ e^+ \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} \bar{\nu}_\mu \\ \mu^+ \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} \bar{\nu}_\tau \\ \tau^+ \end{pmatrix}$

$\begin{pmatrix} \bar{u} \\ \bar{d} \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} \bar{c} \\ \bar{s} \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} \bar{t} \\ \bar{b} \end{pmatrix}$

(Gravitonen: G)

(Higgs boson: H^0)

Hadroner

Baryoner

Antibaryoner

Mesoner

tex $p: uud$

tex $\bar{p}: \bar{u}\bar{u}\bar{d}$

tex $\pi^+: u\bar{d}$

$n: udd$

$\bar{n}: \bar{u}\bar{d}\bar{d}$

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

$\Lambda: uds$

$\bar{\Lambda}: \bar{u}\bar{d}\bar{s}$

$K^+: u\bar{s}$

$\Delta^-: ddd$

$\bar{\Delta}^-: \bar{d}\bar{d}\bar{d}$

$\rho^-: d\bar{u}$

⋮

⋮

$K^0: d\bar{s}$

$\bar{K}^0: \bar{d}s$

⋮

Fermioner (spin = $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}$)

Bosoner
(spin = 0, 1)

Vad kallas partiklarna ?

Leptons:

- e^- - electron
- μ^- - muon
- τ^- - tau
- ν_e - electronneutrino
- ν_μ - muonneutrino
- ν_τ - tauneutrino

antileptons

- e^+ - positron
- μ^+ - antimuon
- τ^+ - antitau
- $\bar{\nu}_e$ - antielectronneutrino
- $\bar{\nu}_\mu$ - antimuonneutrino
- $\bar{\nu}_\tau$ - antitau neutrino

quarks:

- u - up
- d - down
- c - charm
- s - strange
- t - top
- b - bottom

antiquarks

- \bar{u} - anti up
- \bar{d} - anti down
- \bar{c} - anti charm
- \bar{s} - anti strange
- \bar{t} - anti top
- \bar{b} - anti bottom

gauge bosons:

γ - Photon

$\left. \begin{array}{l} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \\ g_5 \\ g_6 \\ g_7 \\ g_8 \end{array} \right\}$ - Gluons

$\left. \begin{array}{l} W^+ \\ W^- \end{array} \right\}$ - W bosons

Z^0 - Z^0 bosons

G - Graviton

Vilken laddning har partiklarna ?

Leptons:

$$e^-, \mu^-, \tau^- \longrightarrow -1e$$

$$e^+, \mu^+, \tau^+ \longrightarrow +1e$$

$$\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, \bar{\nu}_\tau \longrightarrow 0$$

quarks:

$$u, c, t \longrightarrow +\frac{2}{3}e$$

$$d, s, b \longrightarrow -\frac{1}{3}e$$

$$\bar{u}, \bar{c}, \bar{t} \longrightarrow -\frac{2}{3}e$$

$$\bar{d}, \bar{s}, \bar{b} \longrightarrow +\frac{1}{3}e$$

gauge bosons:

$$\gamma, g, Z^0, G \longrightarrow 0$$

$$W^+ \longrightarrow +1e$$

$$W^- \longrightarrow -1e$$

hadrons:

$$\text{mesons } (q\bar{q}) \longrightarrow -1e \quad 0 \quad +1e$$

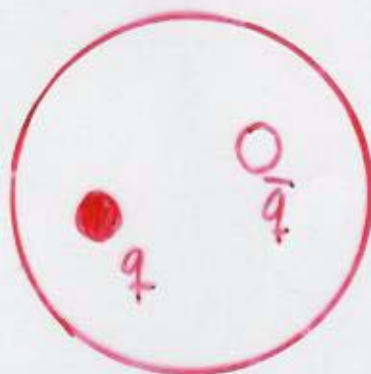
$$\text{baryons } (qqq) \longrightarrow -1e \quad 0 \quad +1e \quad +2e$$

$$\text{antibaryons } (\bar{q}\bar{q}\bar{q}) \longrightarrow -2e \quad -1e \quad 0 \quad +1e$$

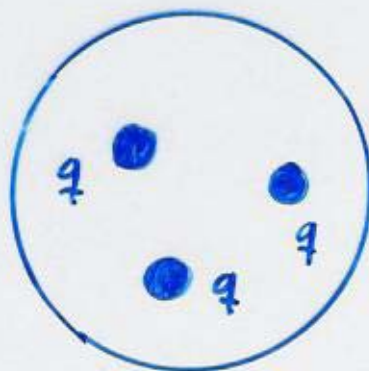
(e är enhetsladdningen)

HADRONS

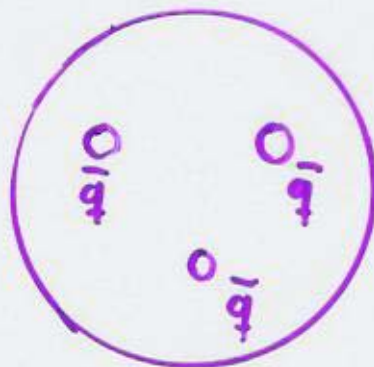
Meson:



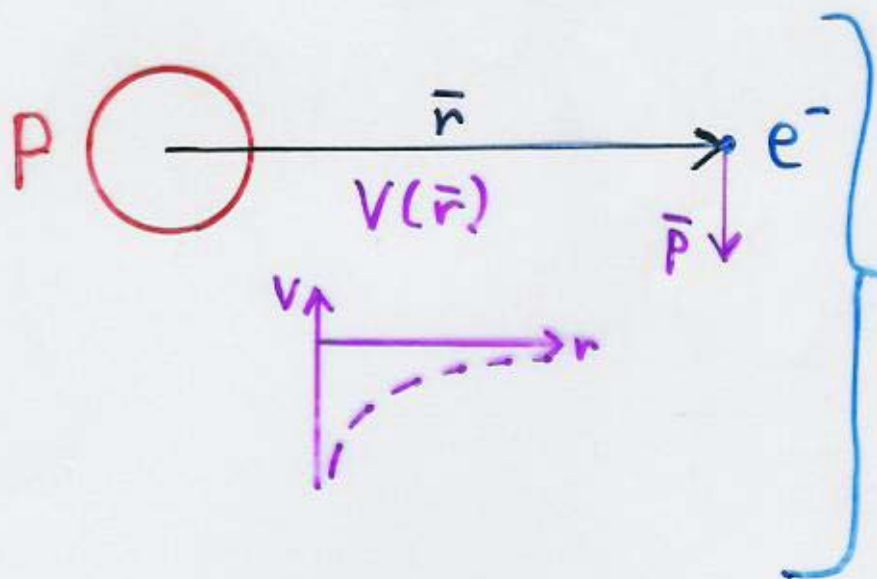
Baryon:



Antibaryon:

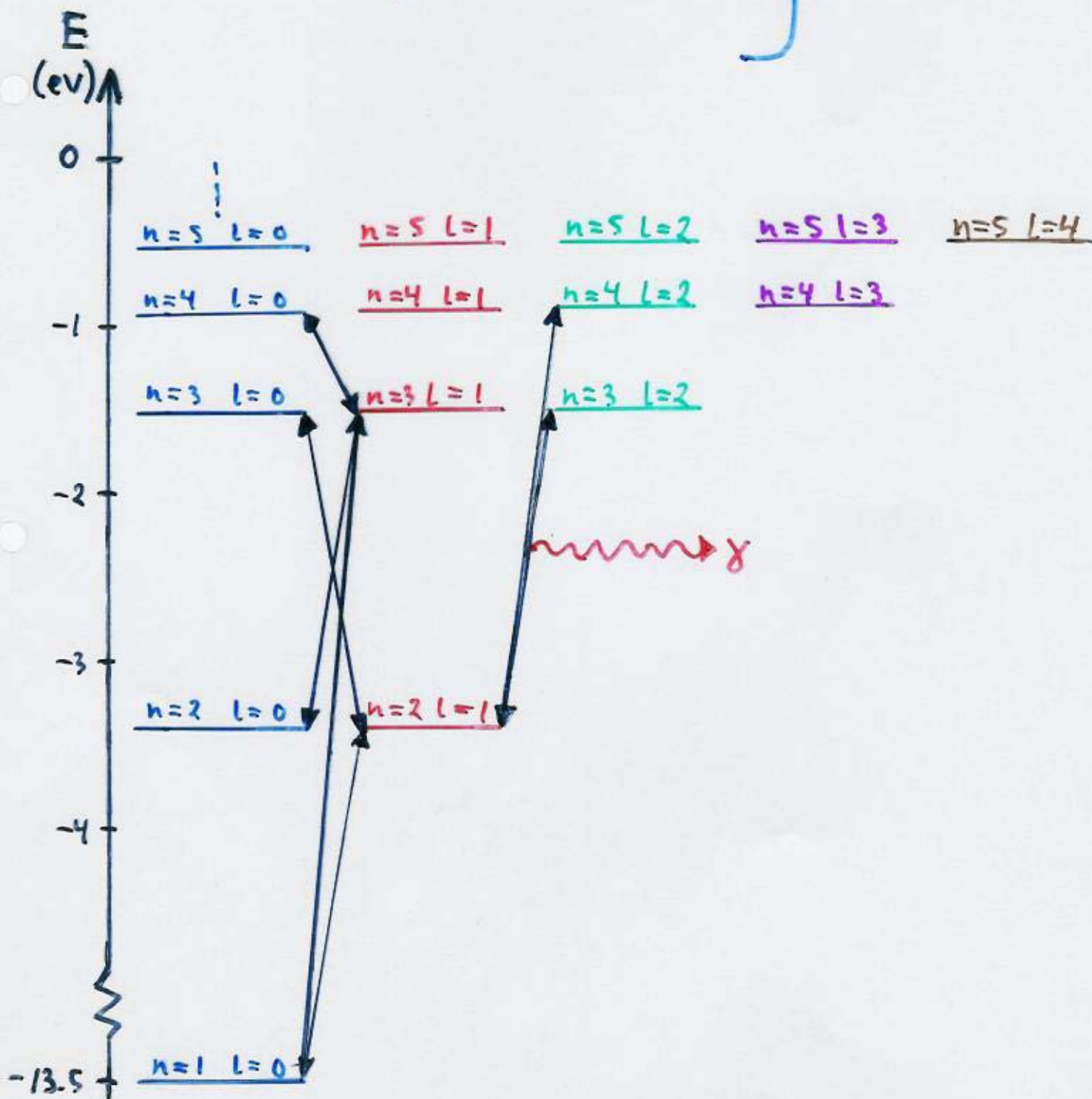


Väteatom

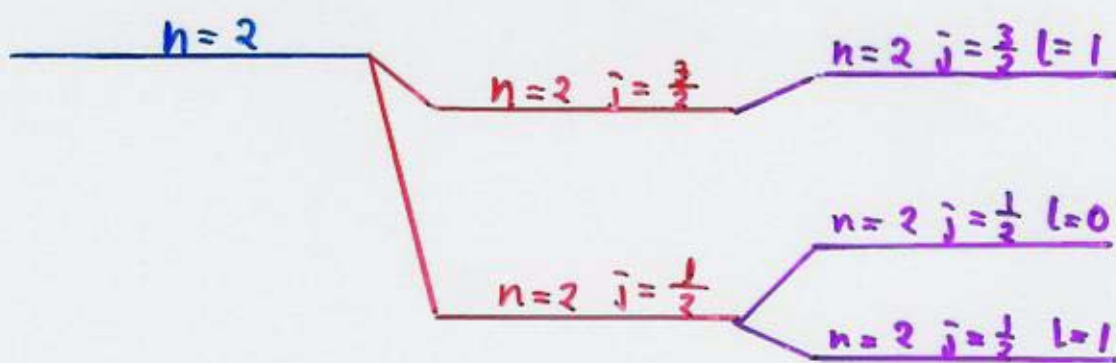


$$H\psi = E\psi$$

$$E = -\frac{13.5\text{eV}}{n^2}$$



- Den icke-relativistiska beskrivningen är enbart approximativ.
- Gör man en relativistisk beskrivning av väteatomen (Dirac teori) splittas de icke-relativistiska energinivåerna upp.
- Använder man sig av kvantfältteori (QED) får man en ytterliggare splittning.



Icke-relativ.
Kvantmekanik

Dirac
Teori

QED

- För mesonerna fungerar en icke-relativistisk beskrivning bara för de tyngsta mesonerna ($c\bar{c}$ och $b\bar{b}$).
- I princip måste man därför använda en kvantfältteori (QCD) för att beskriva hadronerna.
- Problemet är att man klarar inte av att göra beräkningarna vid låga energier i QCD.

- Den totala vågfunktionen för en hadron kan skrivas som en produkt av vågfunktionerna:

$$\Psi_{\text{total}} = \Psi_{\text{space}} \cdot \Psi_{\text{spinn}} \cdot \Psi_{\text{flavour}}$$

\downarrow
 n, L, L_3

\downarrow
 S, S_3

\downarrow
 I, I_3, Y

- Hadronerna kan finnas i olika tillstånd vilka ges av kvanttal:

n : Huvudkvanttal

L, L_3 : Baniimpulsmoment

S, S_3 : Spinn

I, I_3 : Flavour Isospinn

Y : Flavour Hypercharge

} J, J_3 : Totala rörelsemängdsmomentet

- Kvanttalen kan bara anta vissa bestämda värden.
tex

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$J = \begin{cases} 0, 1, 2, 3, \dots & \text{mesoner} \\ \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \dots & \text{baryoner} \end{cases}$$

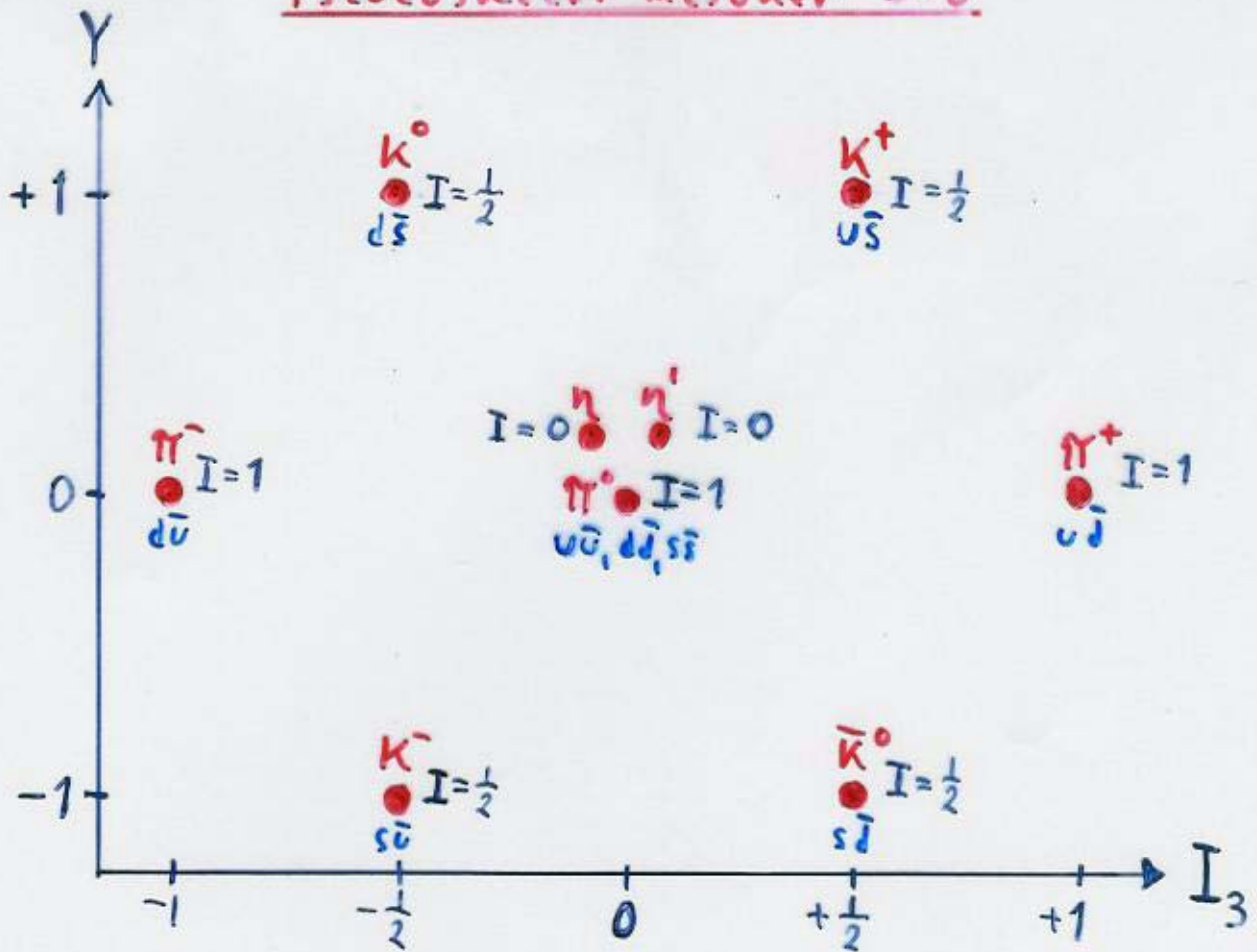
$$I = \begin{cases} 0, \frac{1}{2}, 1 & \text{mesoner} \\ 0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2} & \text{baryoner} \end{cases}$$

etc

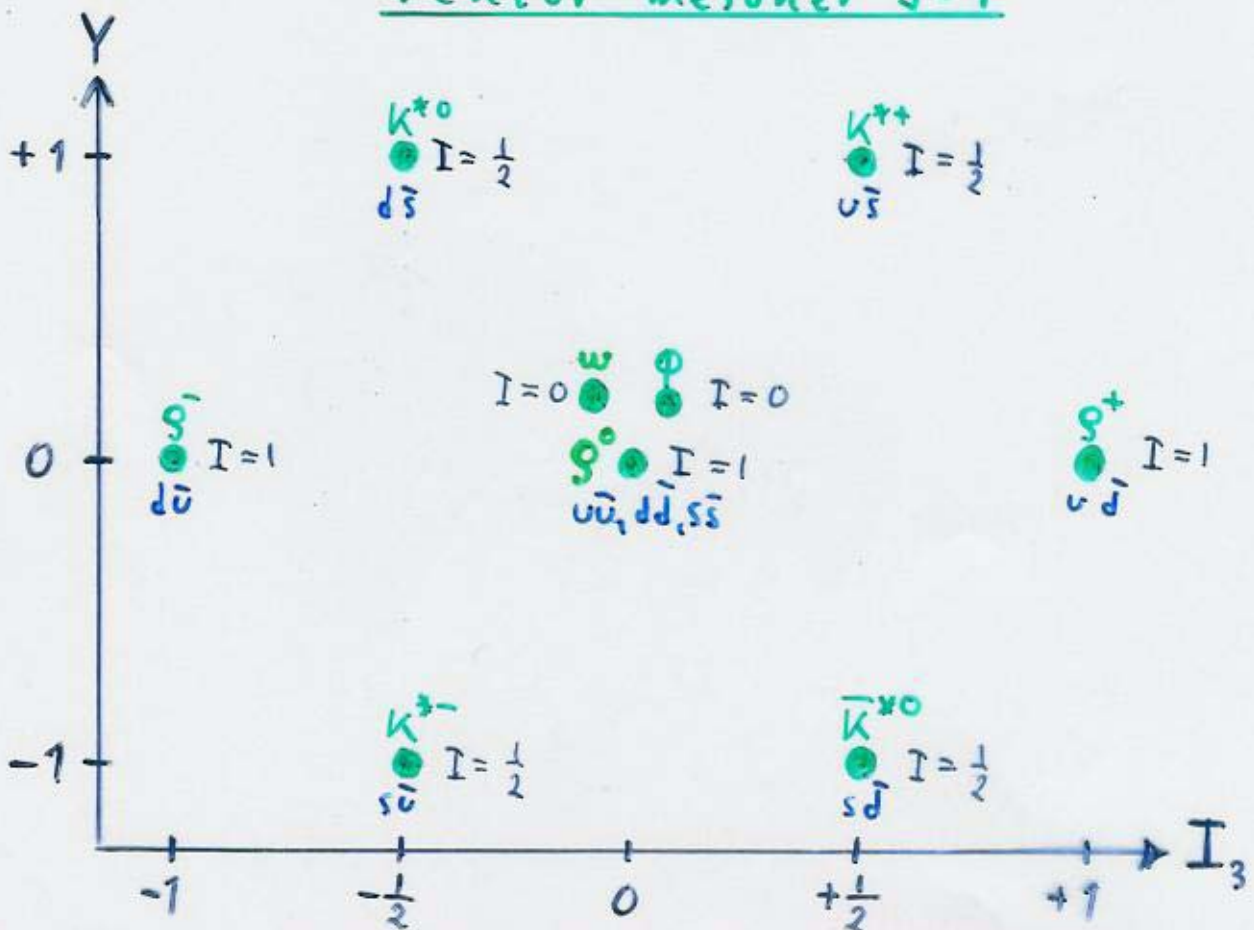
Flavour kvanttal

	I	I ₃	Y
u	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
u ^c	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{3}$
d	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
d ^c	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{3}$
s	0	0	$-\frac{2}{3}$
s ^c	0	0	$+\frac{2}{3}$

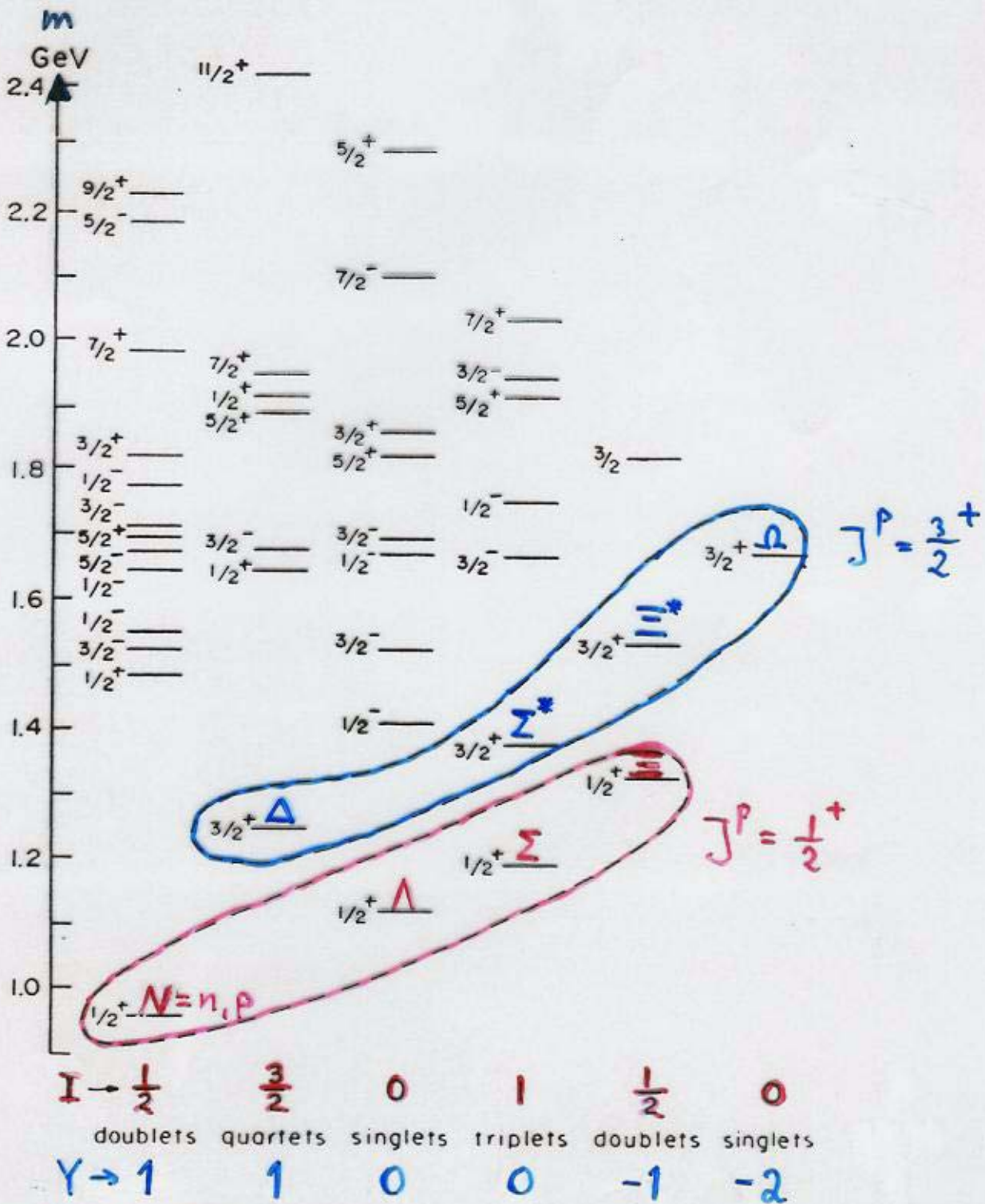
Pseudoskalär mesoner $J=0$



Vektor mesoner $J=1$



Baryon Spectrum



Protonen är den enda baryonen som är fullständigt stabil och alla andra baryoner sönderfaller till protoner, leptoner och fotoner.

Exempel:

