

14. ALKEISHIUKKASEI

(443)

14.1. HIUKKASLUOVUN KESÄ

NORMAALIN AINEEN RAKENNESOASET TUNNETTIIN

1932: NEUTRONI LÖTTY, P JA E ERIEN TUULIA FOTONI

1932: MYÖS POSITRONI e^+ (DIRACIN EHDOTTAMA ELEKTROMIN ANTIHIIKKE)

1935: YUKAWA EHDOTTI MESSONIKENTÄÄ YDINVUORO-VAIKUTUKSEEN ALKUPÄÄKSI: LYHYT KANTAMA $\rightarrow mc^2 \approx 100 \text{ MeV}$

1937: LÖYTYI SOPIVAN MASSANEN KIIKKÄKUNNAN

KOSMISEN SÄTEILYSTÄ: " μ -MESONI"

- VUOROVAIKUTUS YTIMIEN KAUSNA HEIKKO - SPIN $\frac{1}{2}$ VÄÄNÄ

OLIKIN VAIN MIÖNI μ^+ (E LEPTONIHIN) KUIN RASKAS ELEKTROMI $m_{\mu} c^2 = 109 \text{ MeV}$

EÄSTABILILI: $\tau = 2.2 \mu\text{s}$

Heikk. v. $\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e + \nu_{\mu}$ HUOM. LEPTONILUOVUN SÄIL. (LEPTONI: KEVYI HIUKKAMEN) vs. BARYONI

1947: LÖYTYI π -MESONI ELLI PIONI (PIONI 2, MYÖHEMMIN KOLMIS)

- VUOROVAIKUTUS YTIMIEN KAUSNA VAHVÄ - SPIN 0, PAKITTEETTI \rightarrow RESONANSIKANAALI

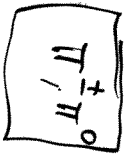
$m_{\pi^{\pm}} c^2 = 140 \text{ MeV}$ $m_{\pi^0} c^2 = 135 \text{ MeV}$

MYÖS EÄSTABILILEJÄ:

Heikko w: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$ $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_{\mu}$ $\tau = 2.6 \times 10^{-8} \text{ s}$

SM v. $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ $\tau = 8.3 \cdot 10^{-16} \text{ s}$

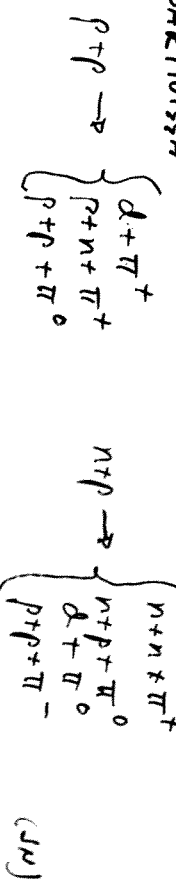
3 VAIKUTUSTA: ISOSPIN 1 (Kosminen π^+ , 0)



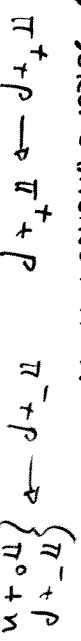
(444)

SYNERGISTOITUMIN JA SYNERGISTOITUMIN KEKSIMISEN MYÖNÄ ALKOI SYSTEMAATTISEN HIUKKASFYSIKAN (SUURENERGIIFYSIIKAN) TUTKIMUS JA HIUKKASLUOVUN RÄJÄHDYS. PIONIA, MUUGEN VUORO-

VAIKUTUSTA NUKLEONIN KAUSNA VOITTIIN TUTKIA VUORO-REAKTIOISSA



SEKÄ SEKUNDAÄNIREAKTIOISSA

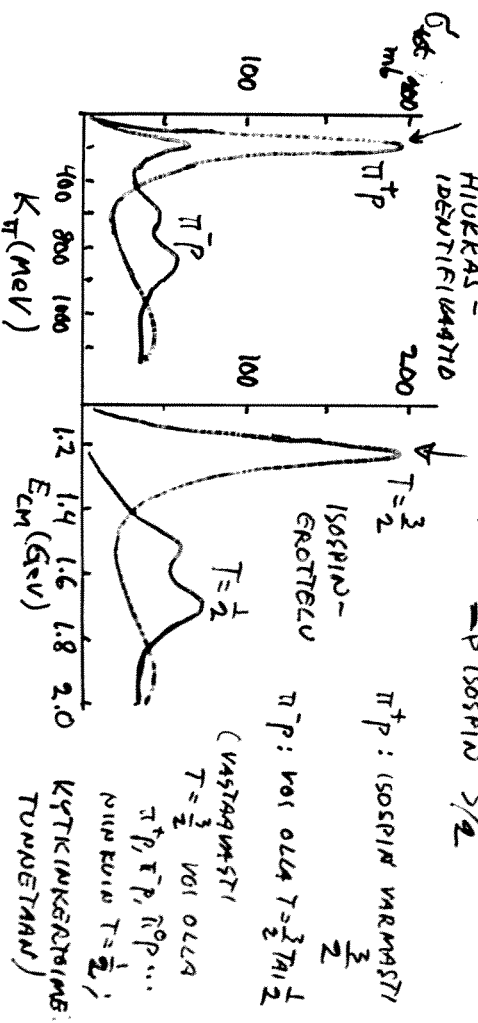


(DUTRONISSA MYÖS NEUTRONI KOHTONA, MUTTA SPEKTATTOIRIKOITONI HAAKALOITTAAN ANALYYSIA)

MYÖHEMMIN $\pi^+ + p \rightarrow \begin{cases} \Sigma^+ + K^+ \\ \Sigma^0 + K^+ \end{cases}$ (ESIM.) OULOA HIUKKASIA

LUKUISIA πN -RESONANSSEJA, TRÖKOTIMÄNÄ Δ (1232 MeV)

$\Delta^+(1232)$ HIUKKAS-IDENTIFIKAATIO $\Delta(1232)$ VAAVUKSIA $t, t, o, -$ \rightarrow P ISOSPIN $3/2$



π^+ : ISOSPIN VAKMASTI $\frac{3}{2}$

π^- : VOI OLLA $T = \frac{3}{2}$ TAI $\frac{1}{2}$

(VASTAANASTI

$T = \frac{3}{2}$ VOI OLLA $\pi^+ p, \pi^- p, \pi^0 p \dots$

MIUN KUN $T = \frac{1}{2}$;

KYTKIMUKSITAINA)

ESIMERKKI: PIONIN SPIN KÄÄNTEKREAKTIOISTA (495)
 $p+p \rightarrow d+\pi^+$ $\pi^+\alpha \rightarrow p+p$

VAIKUTUSKAA (TN) \propto LOPPUTILOJEN TIHEYTEEN
 (TILAJEN LUKUMÄÄRÄVÄLIKÄ (S, S+dE)
 RIIPUV IMPULSSISTA TUUUTUEKA
 TAVALLA

SPINMULTIPLISITEETIT $p+p$: $2 \times 2 = 4$
 $d+\pi$: $3 \cdot (2S_\pi+1)$

$$\Rightarrow \frac{G_{obs}}{G_{prod}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3(2S_\pi+1)} \frac{P_{pd}^2}{P_{pd}^2} \frac{406}{3} \frac{P_{pd}^2}{P_{pd}^2} \frac{P_{pd}^2}{P_{pd}^2}$$

↓
 JOHASTA ABSORPTIO KOKTT 2 PROTONIA

deuti: I=1

ARVO $S_\pi = 0$ SOPII KOKTUOKSIIN

ESIMERKKI: PIONIN SISÄINEN PARITEETTI REAKTIOSTA
 $\pi^- + d \rightarrow n + n$ MESONIATOMISTA

π^- SEOSTU KUTEN ELETROMI VETÄTÄMISSÄ
 TODENÄKÖISYYS TIHEYS KÄYNNITÄVÄ VAIN S-TILOISSA
 $L_\pi = 0 \Rightarrow$ PARITEETTI + TÄLLÄ OSIN
 DEUTERONI S+D-TILA \Rightarrow + PARITEETTI
 π^- : n PARITEETTI TUUTEMATON; OLTAVA SIIS SAMAT
 KUIN OIKEAN PUOLEN n+n SYSTÄMIN
 DEUTERONIN I=1 (JA $L_\pi=0$ EI MUUTA) \Rightarrow KOKOJAIS-
 IMPULSSIMOMENTTI ON 1
 NEUTRONIEN (ID, FERMIOMEDIA) SALLITTU VAIN
 PARILL. L JA SINGLETIT \Rightarrow J=L PARILL. ELOK 1
 PARITON L JA TRIPLETIT \Rightarrow OK, OLTAVA $3P_1$ (S=1, L=1,
 PARITEETTI - JA SAMAT KUIN PIONIN PARITEETTI
 J=1)

14.2. NEUTRINOT JA LEPTONILUVUN SÄILYMINEN (496)

ELEKTRONIN JA MYONIN LIITYT KOMPAAKIN
 OMA NEUTRINOLAJIINSA (e, ν_e) ($e^+, \bar{\nu}_e$) ($\mu, \bar{\nu}_\mu$) ($\mu^+, \bar{\nu}_\mu$)

KOKOELLISESTI TODENNETTU MM. TUOTTAMALLA
 NOPEITA PIONEJA + LEYNOSSA $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$

KARSITTAVAN VAAATUT HIUKKASST METRILÄ "METALLIA
 SAATEKANN NEUTRINOJEN TEELE AKUMILIVUUTTA"
 NUUTAMAT NEUTRINOT REAGOIVAT JA TUOTTAVAT
 MYONEJA ($\bar{\nu}$ IT μ^+ IIA) (EI ELEKTRONEJA)

KUKIN LEPTONILUKU L_e, L_μ (JA L_τ) SÄILYY
 ERIKSEEN!

ESIM: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$
 $0 \quad L_\mu: -1 \quad +1$ $0 \quad +1 \quad -1$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

$L_\mu = 1$ $L_e = 1$ -1 $L_\mu = +1$

ESTERÄÄN USGIN LEPTONIPERHEINÄ (3 PERHEEN NÄHTY)
 $\begin{bmatrix} e^- \\ \nu_e \end{bmatrix}$ JA ANTIH: $\begin{bmatrix} \mu^- \\ \nu_\mu \end{bmatrix}$ + ANTIH: $\begin{bmatrix} \tau^- \\ \nu_\tau \end{bmatrix}$ + ANTIH.

KOKENT VAIN HEIKON JA SM (LOS VAPUUS) VUOROVAIKUTUKSIN
 NEUTRINOJEN MASSAT HYVIN PIENIÄ

(N, STANDARDIMALLISSA OLETETTU NOLEKSI)
 PIENEÄKIN MASSALLA KOSMINEN MERKITYS:
 NEUTRINOJEN MÄÄRÄ $\sim 10^9 \times$ HUKLÖNINEN MÄÄRÄ

\Rightarrow HEIKOSTI DOMINOISI MAALIMANUKKUSEN
 MASSAA

ТÄHTIEKU SISUKSISTA YDINREAKTIOISTA LÄHTEVÄT (447)
NEUTRINOT LÄHÄISEMÄT HEIKOSTI TÄHDEN VAIRAN
JA TUOMAT PERIAPTEESSA TIBTA MUUTEN NÄKYMÄTÖMÄSTÄ
SIVUESTA (ESIM. FOTON TÖRMÄYSE JÄTKUVASTI
JA TARVITSEEN MILJONIA VUOTTA SAAVUTAKSEEN PÄINNÄ)
HAVAITTU N. KOKOMASSA ODOTETUSTA NEUTRINO-
VUOSTA — SUURI ONGELMA TÄHTIMALLITILISE TAI
HIUKKAFYSIIKALLE

YKSI EHDOTETTU RATKAISU ON, ETTÄ ALAN FUNKTIONA
ERI NEUTRINOILAIT MUUTTELEVAT KVANTTIMEKANISMI
TOISIKSEEN (OSKILLOILAIT ERI NEUTRIDOLEJEN
VÄLILLÄ), TS. NEUTRINO, JOKA LÄHTEE ELEKTRONIN
NEUTRINONA, MATKELLA MUUTTUU MYÖNIN TAI
TAUN NEUTRIDOKSI EIKÄ NÄY ν_e :N HAVAITSEMISEEN
TEHDYSÄ LAITEISTOSSA.

KESÄLÄ 1998 EHDOTTU, ETTÄ NEUTRINOT VOIVAT
TEHDÄ NÄIN.

TÄILÖIN KVANTTIMEKANINEN OHINSAARORATKAISU
EDELLYTTÄ, ETTÄ NEUTRIDOLIA OLL MASSA.

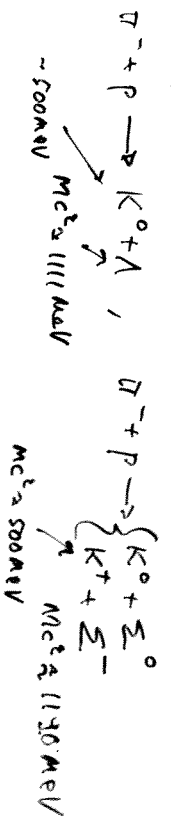
(TFO: MAALAMP,
POTURIMU)

4.3. HIUKKAMÄÄRÄN RÄJÄHDYS \rightarrow UUSI JÄRJESTYS: KVANTIT (448)

VAHVASTI VOORVAIKUTUVIEN HIUKKASTEN SEKTORILLA
PIONI-NUKLEONI-SIRONAMASSA JA REAKTIOISSA NÄHTIIN
LUKUISIA RESONANSSIJA EUREJIAN LISÄÄNTYESSÄ.
MYÖS UUSIA MESSONEJA LÖYTÄY 50-60-LUVUILLA:

$\omega, \rho, \eta, \eta'$
U JA ρ NYIN LYHYTIKÄISIÄ 3 JA 2 PIONIN RESONANSIJA

UUSI LUKU AVAUTUI MYÖS REAKTIOITYREIBÄ

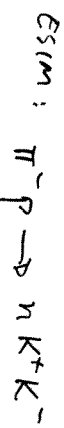


OLI OULUA ETTÄ MESSONIT K^0 JA K^+ EIVÄT KOIKAN
TUULET YKSIIN (ESIM. $K^0 + n$) KUTSEN EIVÄT Λ JA Σ :KKAAN
(ESIM. $\pi^0 + \Lambda$, $\pi^+ + \Sigma^- \dots$) JA NIINPÄ NIITTÄ
NIMITEPIINIKIN OODOLKSI HIUKKASIKSI. KANNUKUU
OUDOUS OLI SAARUT PIMENSÄ.

OUDODESSA SAATTOI MENNÄ PITÄMÄLLÄ:



MISSÄ K^- TUOTTU $\leftarrow m_{K^0} \approx 493 \text{ MeV}$



ILMEISESTI JOKIN VÄRUKSENIOMAINEN SUURE (OUDOUS)
VARTII SÄILYMISTÄÄN JA K^0 :LLA JA K^+ :LLA TÄMÄ
ON VASTAKAIVINEN KUIN ALKIA JA Σ :LLA (TAI K^0 :LLA)
 Ξ ON VIELÄ SAUDEMFRAN VASTAIE K^+ :IA

(HONN. VAIKUTUKAAS $\bar{\Sigma}^0$ UNL \rightarrow UUNIA UUNOVAIKUTUS)

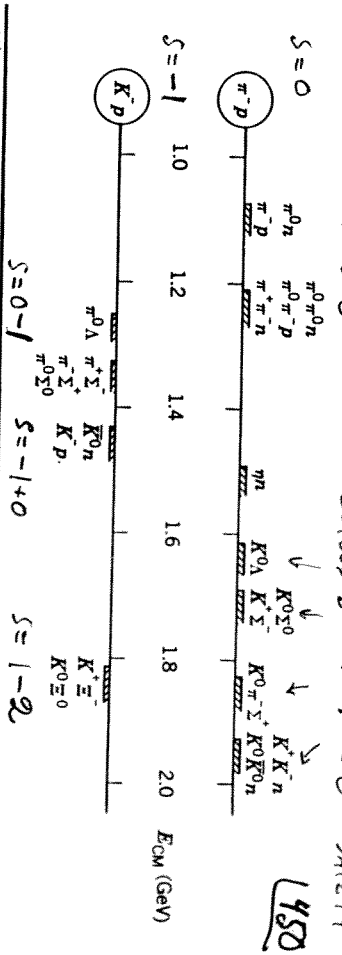
MYÖS BARYONILUKU SÄILYY ESI NUKLEONIKKITAISSET VAHVASTI VUOROVAIKUTTAVAT POOLUKUISEN SPININ OMAANAT HIUKKASET
 OTOJA BARYONEJA SAOTTAAN HYPERONIKSI
 LAIKILAAU VAHVASTI VUOROVAIKUTTAVAT HIUKKASET OVAAT HADRONEJA.
 SATOJA HIUKKASLAJEJA (M.L. RESONANSSIT)

KUTEN NUKLEONILLA HIUKKASLAJIN ERI VAAUUS-TILOJA PIDETTÄÄN KO. HIUKKASLAJIN ISOSPININ Z-KOMPONENTIN ERI ARVOLA VASTAANVIA (LUKUMÄÄRÄITÄN ISOSPININ ARVO)
 Esim: Σ ILA ON Σ^+ , Σ^0 ; 3 TILAA $\Rightarrow T=1$
 Ξ ILA ON Ξ^0 JA Ξ^- $\Rightarrow T=1/2$ $T_z = \pm 1/2$
 Λ ILA ON VAIN $\Lambda^0 \Rightarrow T=0$
 K^+ , $K^0 \Rightarrow T=1/2$ (JA ANTIHIUKKASET K^-, \bar{K}^0)

Osoittautuu, että VAAUUS ON BARYONILUKU JA OTOUS GELL-MANN & NISHIJIMA
 $Q = T_z + \frac{B+S}{2}$
 OTOUS: Λ, Σ^- $\Rightarrow -2$, N $\Rightarrow 0$
 K^+, K^0 $\Rightarrow +1$, K^-, \bar{K}^0 $\Rightarrow -1$, \bar{u}, \bar{d} $\Rightarrow 0$

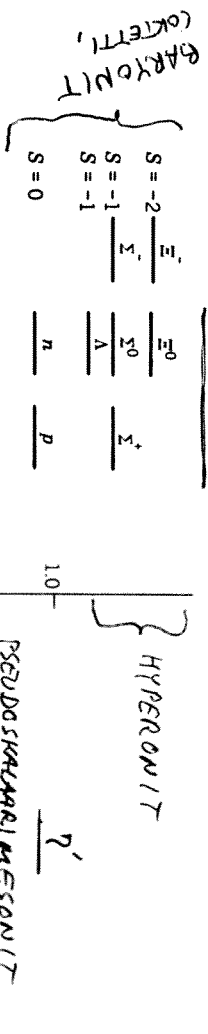
TÄISSÄ VOI MÄÄRITELÄÄ HYPERVAAUUSEN $Y = B+S$ JA SIIIS $Q = T_z + \frac{Y}{2}$
 KAIKKI NÄMÄ VASTAUKKASET ANTIHIUKKASILLE

Figure 16-16 KYLVYKSET JA OTOUSEN SÄILYMINEN
 Thresholds for particle production in reactions initiated by π^+p and K^+p collisions. The production channels for the two interacting hadron systems have strangeness $S=0$ and $S=-1$, respectively. $S=0$ OTOUS $S=+1-1=0$ SÄILYY



MÄÄRÄ: u, N $S=0$ $K^0, K^+ S=+1 \Rightarrow$ OLTAVA $S=-1$ $\Lambda, \Xi, -2 \Xi$
 KYLVYSENERGIOISTA SAADAN TUOTETTUVEN HIUKKASEN MASSAT \Rightarrow HIUKKASSPEKTROSKOPIA (MYÖK KO. HIUKKASEN HALOAMISTUOTEIDEN ENERGIESTA SPEKTRIIN LISÄMÄNISTUSTA)
 16-10 Isoopin

Fig. 16-19 Mass levels of the eight $\frac{1}{2}^+$ baryons and the eight 0^- mesons listed in Table 16-1.



SÄMÄN HIUKKASLAJIN ERI VAAUSTILAT HYVIN DEGENEROITUNEET (EROTAVAT HYVIN MUUSTA)
 HYPERONIT
 PSEUDOSKAALARI MESONIT
 OIKEI OIKEI
 MASS (GeV/c²)
 VAAUUSLUUVISTA HIUKKASLAJEN ISOSPINIT

Leptons	Mass (MeV/c ²)	Lifetime (s)
e	0.5110	Stable
ν_e	< 4.6 × 10 ⁻⁵	Stable
μ	105.7	2.20 × 10 ⁻⁶
ν_μ	< 0.50	Stable
τ	1784	3.4 × 10 ⁻¹³
ν_τ	< 164.24	STABLE(?)

ns are classified as baryons and mesons. The tabulated quantum numbers o charge Q/e , strangeness S , isospin t and T_z , and hypercharge Y .

HEIKOSTI HAJDAVAT PITKÄIKÄISIMPIÄ

Baryons	Q/e	S	t	T_z	Y	Mass (MeV/c ²)	Lifetime (s)
p	1	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	938.3	Stable
n	0	0	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	1	939.6	898
Λ	0	-1	0	0	0	1116	2.63 × 10 ⁻¹⁰
Σ^+	1	-1	1	1	0	1189	0.80 × 10 ⁻¹⁰
Σ^0	0	-1	1	0	0	1192	5.8 × 10 ⁻²⁰
Σ^-	-1	-1	1	-1	0	1197	1.48 × 10 ⁻¹⁰
Ξ^0	0	-2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	-1	1315	2.90 × 10 ⁻¹⁰
Ξ^-	-1	-2	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	-1	1321	1.64 × 10 ⁻¹⁰

Mesons	Q/e	S	t	T_z	Y	Mass (MeV/c ²)	Lifetime (s)
π^\pm	± 1	0	1	± 1	0	139.6	2.60 × 10 ⁻⁸
π^0	0	0	1	0	0	135.0	8.3 × 10 ⁻¹⁷
K^\pm	± 1	± 1	$\frac{1}{2}$	$\pm \frac{1}{2}$	± 1	493.7	1.24 × 10 ⁻⁸
K^0/\bar{K}^0	0	± 1	$\frac{1}{2}$	$\mp \frac{1}{2}$	± 1	497.7	(0.89 × 10 ⁻¹⁰ and 5.18 × 10 ⁻⁸) ^a
η	0	0	0	0	0	548.8	(0.88 keV) ^b
η'						957.6	(0.3 MeV) ^b

neutral kaon lifetimes pertain to K_S and K_L . lifetime is not measured directly, so the width is quoted: ad.

SPIN- $\frac{1}{2}$ -BARYONIN JA PSEUDOSCALARIMESONINEN LOKITTELU (T_z, Y)-TASOON: MÖLLEMÄT OKTEETTI MUODOSTAVAT SÄÄMÖLLISEN KORIION

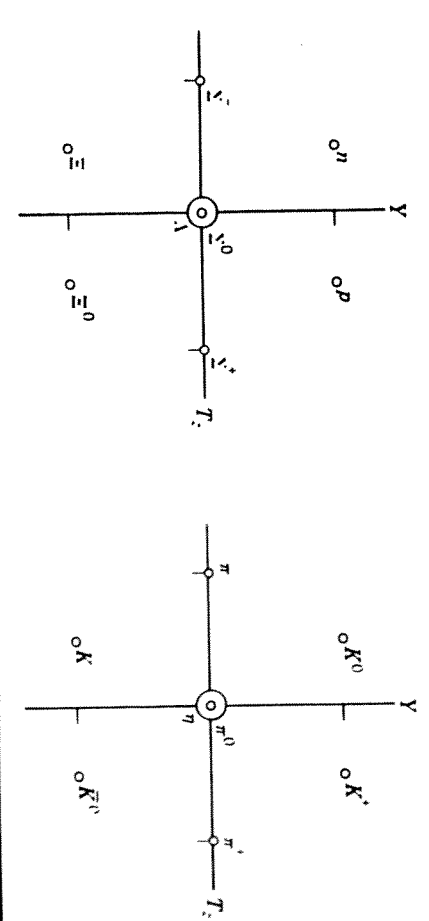
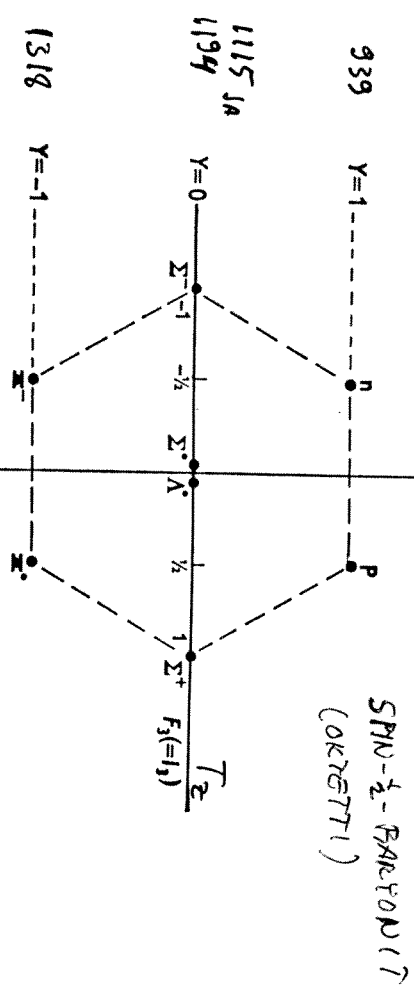


Figure 16-20 states of $\frac{1}{2}^+$ baryons and 0^- mesons.

MESONISEKTORILLA (BOSONIT) LÖYTYY MYÖS OKTEETTI VEKTORIMESONEISTA (SPIN-1⁻ MESONEISTA):
 ρ^\pm, ρ^0, ω $Y=0$ -TASOLLE
 $K^{0*}, K^{+*}, \bar{K}^{0*}, K^{-*}$ $Y=\pm 1$ -TASOLLE
 BARYONEILLA LÖYTYY KYMMENEN SPIN- $\frac{3}{2}$ -RESONANSSIA ALKAEN TN:IN $\Delta(1232\text{MeV})$ -RESONANSSISTA $\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-, \Delta^*$ JA SATKUN Σ^* :LLÄ JA Ξ^* :LLÄ (DEKUPLETTI)

$\sqrt{\frac{3}{2}} Y = \sqrt{\frac{3}{2}} (B+S)$
 $F_8 (= \sqrt{\frac{3}{2}} Y)$
 1453



SPIN- $\frac{3}{2}$ -BARYONIT
 (DEKUPLETTI)

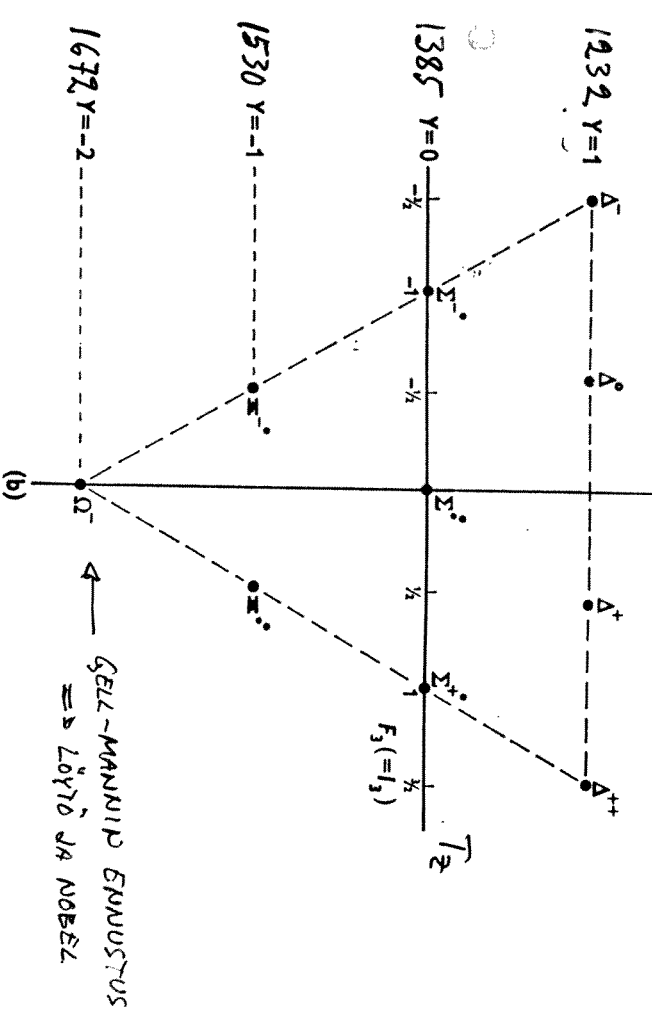
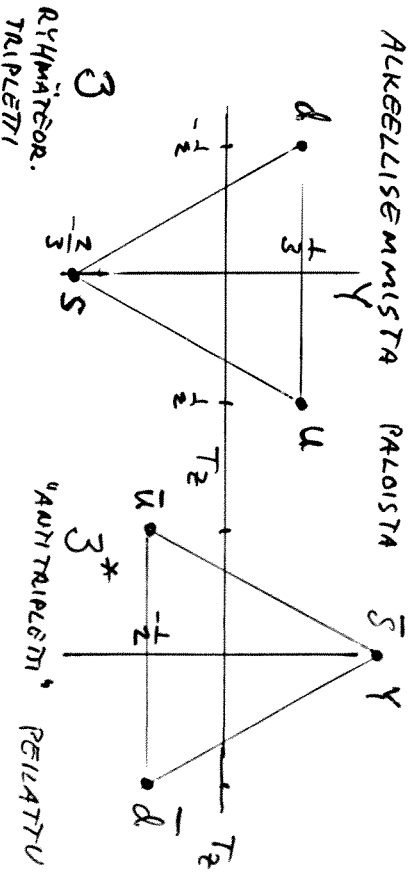


Fig. 8.5 Weight diagrams for (a) the baryon octet (b) the baryon

GELL-MANN: TÄLLÄT OKTETIT JA DEKUPLETTIT VOI RAKENTAA ALKEELLISEMMISTÄ PALOISTA (1454)

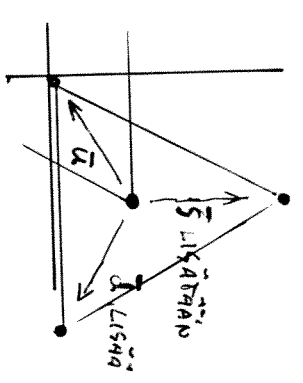
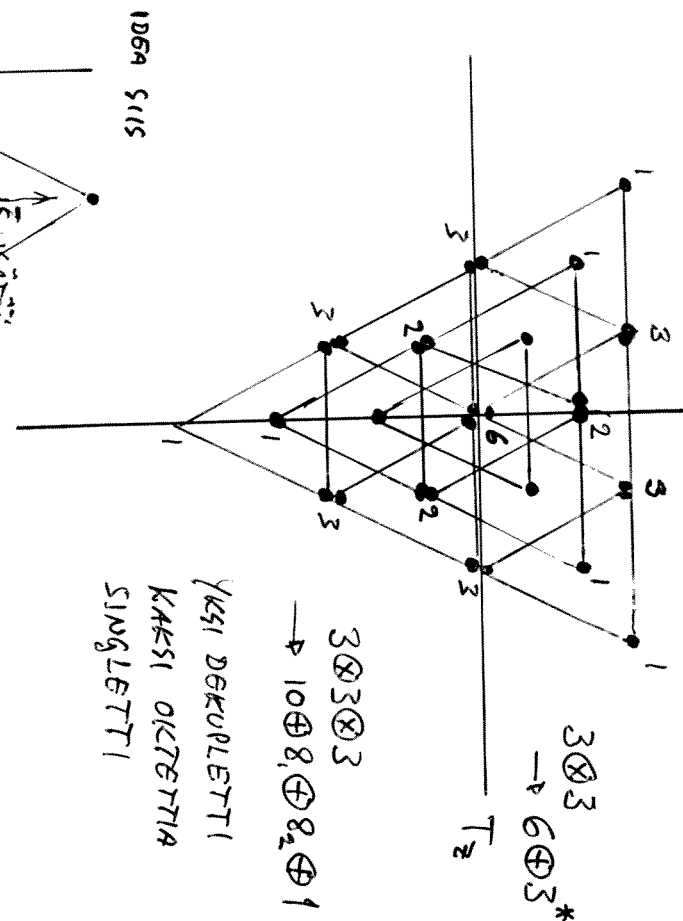
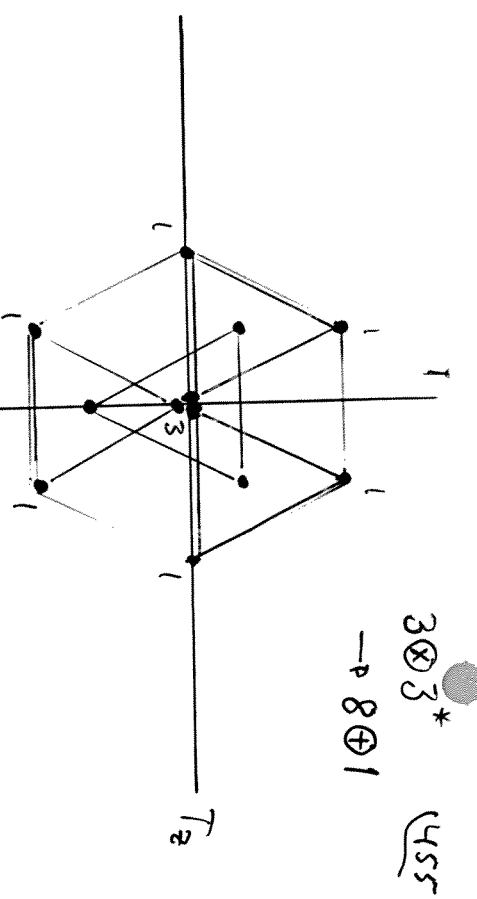


HENEMÄLLÄ U:n SUUNTAN LISÄTÄÄN ALKIO U MEHEMÄLLÄ $-\frac{2}{3}$ (ALASNAIIN) (S:n SUUNTAN) LISÄTÄÄN ALKIO S ($+\frac{2}{3} \rightarrow \bar{S}$) JOG

=> SYSTEMAATTINEN RAKENUS JOEKIN ALKEELLISEMMAN AVULLA 3 ELEMENTTÄ ((\bar{u}, \bar{d})-TASOIN VEKTORIA) => SU(3) RYHMÄ

[RYHMÄN ELEMENTTÖJÄ VOI KUVATA MATEMAATTISESTI 3-ULOTT. VEKTORILLA, NÄIDEN MUUNNOKSIA 3x3 MATEMATIIKALLA: I_3 JA 8 GENERAATTORIA]

ALKUPERÄIN MATEMAATTISILLE KONSTRUKTIOILLE AVUETTIIIN PIAN LISÄÄ FYSIKAALISTA SISÄLTÖÄ: TULKITTIIIN ELEMENTIT U, d JA S ALKEELLISEMMIKSI HIUKKASIKSI, KVARKEIKSI, JOISTA MESSONIT JA BARYONIT KOOSTUVAT



YKSI DEKUPLETTI
KAKSI OKTETTI
SINGLETTI

	B	I	T _z	S	Y	C	Q/e
u	1/3	1/2	1/2	0	1/3	0	2/3
d	1/3	1/2	-1/2	0	1/3	0	1/3
s	1/3	0	0	-1	-2/3	0	-1/3
c	1/3	0	0	0	1/3	1	2/3
\bar{u}	-1/3	1/2	-1/2	0	-1/3	0	-2/3
\bar{d}	-1/3	1/2	1/2	0	-1/3	0	1/3
\bar{s}	-1/3	0	0	1	2/3	0	1/3
\bar{c}	-1/3	0	0	0	-1/3	-1	-2/3

Flavors are listed according to baryon number, isospin and z component, strangeness, hypercharge, charm, and charge. Evidence exists for a b-flavored quark with Q/e = -1/3, and speculation abounds for flavored quark with Q/e = 2/3. ("MAKU": u, d, s, c)

- NÄITÄ HELPO KOMBINOIDA ESIM. qq̄-PARINA MESONEIKSI
- KVARKIT SPIN-1/2 -HIUKKASIA: 1/2 (↑↓-↑↑) SINGLETTI (SPIN 0), 1/2 (↑↑+↓↓) TRIPLETTI (SPIN 1) [SPINVAIKTOFT x MAKUVAIKTOFT] VÄKTOÄRIMESONIT
- qq̄ PARITETIT - (TÄMÖN TÄRKEÄN)

SU(3).

$$\begin{cases} \pi^+ = u\bar{d} & T=1 \\ \pi^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(d\bar{d} - u\bar{u}) & T=1 \\ \pi^- = -d\bar{u} & T=1 \\ K^+ = u\bar{s} & T=0 \\ K^0 = d\bar{s} & T=0 \\ \bar{K}^0 = s\bar{d} & T=0 \\ K^- = s\bar{u} & T=0 \end{cases}$$

$\eta = \frac{1}{\sqrt{6}}(u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s})$ (16-21)

SU(3)-

$$\eta' = \frac{1}{\sqrt{3}}(u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s})$$

LEFT

USEIN: LAAJEMPI MULTIPLETTI 8+1 = NONETTI

(16-22)

BARYONIT KOLMEN KVARKIN YHDISTELMÄNÄ (457)
 TYÖLÄMPPIÄ

$T = \frac{3}{2} A$ -KVADRUPLETTI HELPO:

$$\Delta^{++} = uuu \quad T_2\text{:in laske kullekin } u \rightarrow d$$

$$\Delta^+ = \frac{1}{\sqrt{3}}(duu + udu + uud)$$

$$\Delta^0 = \frac{1}{\sqrt{3}}(ddu + dud + udd)$$

$$\Delta^- = ddd$$

VASTAVASTI MUUTTELAN OUDOSSI KVARKIKSI \Rightarrow
 KYMMENEN ERILISTA 3 KVARKIN TILAA 3 ERILAISESTA
 KVARKISTA u, d, s

ddd	ddu	duu	uuu	$Y = 1$
dds	dus	uus		$Y = 0$
dss	uss			$Y = -1$
sss				$Y = -2$

JOSTINUSA DEKUPLETTI (SPIN $\frac{3}{2}$)

$SU(3)$ -SYMMETRIA: VAHVA VUOROVAIKUTUS EI
 RIIPU VÄRVÄSÄSTÄ TAI OUDOUSLUVUSTA (MAUSTA)
 (LAARJENPI KUIVA ISOSPIN)

JOS RIKOTAN VAIN OLETTAMALLA $m_s > m_d$ JA m_u
 \Rightarrow HIUKASSPEKTRI (n. 150 MG/OLU)

OLETETTU KAIKILLA S-TILAJ; MYÖS KVARKIN SISINEN
 PARITTETTI + \Rightarrow AUTTIKUUDETTI \Rightarrow MESSUUT \rightarrow π^+

SPIN- $\frac{1}{2}$ -HIUKASSILLIG TULOS EI YHTÄ LAMBINEN: (458)

SINÄSÄ ADDITIIVISOT KVAATTILUVUT (VÄRVÄS,
 BARYONILUVUT, T_2 , OUDOUS) TULENAT OK
 KOMBINAATIOILLA CHÄS
 SAMOISTA KVARKEISTA

(ÄÄKINÄT, JOISSA
 \Rightarrow SAMAA KVARKEKIA
 POIS)

MUTTA KOMBINAATIOIDEN OLTAVA ORTOGONAALISOT
 DEKUPLETTIA VASTAAN

ESIM P VOISI OLLA $P = \frac{1}{\sqrt{2}}(ud - du) = \frac{1}{\sqrt{2}}u(ud - du)$

$n \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(duu - ddu) = \frac{1}{\sqrt{2}}d(ud - du)$

$\Sigma^+ = \frac{1}{\sqrt{2}}u(us - su)$

$\Lambda = \frac{1}{\sqrt{2}}s(ud - du)$ ISOISOGLETTI

ITSE ASIASSA SPIN KOMPILISOI ASIAA:

$$P \uparrow = \frac{1}{\sqrt{6}} (u \uparrow u \uparrow d \uparrow + u \uparrow u \downarrow d \uparrow + d \uparrow u \uparrow u \uparrow + u \downarrow d \uparrow u \uparrow + d \uparrow u \downarrow u \uparrow + d \uparrow u \uparrow u \downarrow + u \uparrow d \uparrow u \downarrow + u \uparrow d \downarrow u \uparrow - 2d \downarrow u \uparrow u \uparrow - 2u \uparrow d \downarrow u \uparrow - 2u \uparrow u \downarrow d \downarrow)$$

SYMMETRISEN NIELIVALTAINSTEN KVARKIDEN VAHDOSSA
 (SAMOIN KUUT)

APTISYMMETRIA: UOSI KVAATTILUKU "VÄRI",
 KOLME VÄRIÄ \rightarrow SLATERN DETERMINANTTI JA
 AUTISYMMETRIA SITTÄ: VÄNISIMPLETTI
 NIMITYSINÄ PCIM PUUVAINEN KOLTAISEN SININEN

SPIN - $\frac{3}{2}$ - DEKUPLEETILLA MAKUUSA (459)

JA SPINOSA SYMMETRISET : SPIN MUUTTAM VAIN TOLONA.

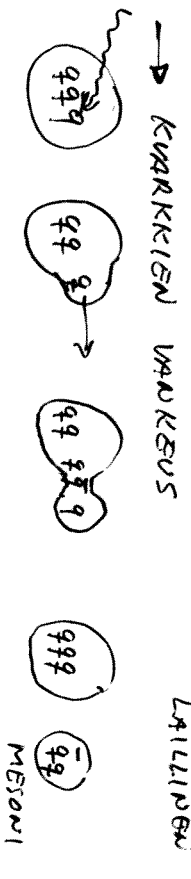
SAMOIN MESONILELLA KAKSIHUIKKASSTEEMIAN SPINOSA SEPAROITUU TEKIÄKSI. MESONILELLA PITÄÄ

VÄRI OTTAA HUOMION LASKEMALLA KUKIN KUARKKI-KOMBINAATIO SUMMAMA YLI VÄRIEN SEURAAVASTI:

Esim. $T^+ = \frac{1}{\sqrt{3}} (u_r \bar{d}_r + u_y \bar{d}_y + u_b \bar{d}_b)$

EVIDENSSI KUARKKISTIA :
SYSTEMATIILIKU LISÄKSI SVÄSTI ERÄESTISSÄ ESEKTRONISIROUNNASSA NÄHTY NUKLEONIBU SISÄLÄ RISTEMÄISIA KOHTEITH, JAIIDEN OMALAIKUDET (BARBUS) SOPINAT KUARKKEIHIN.

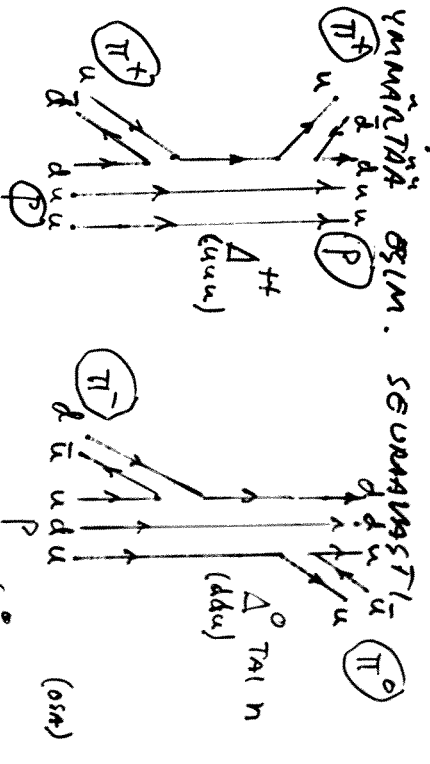
VAPAITA KUARKKEJA EI OLE TOISTETTAVISSA KOKEISSA NÄHTY JA YLEISESTI USKOTAN, ETTEI TULLA NÄKEMÄÄNÄÄN. SUURENÄÄKOKEISSA KUITA SYTYTY PARITAIN : YKSI ANTIKUARKKI VOI TULLA ULOS VAPPAAN KUARKKI KAUSSA, MUTTA UUSI KORVAN EUTISEN.



VIKITTYSTIAT : MUTTA "AKKEISHIDUKASIA"

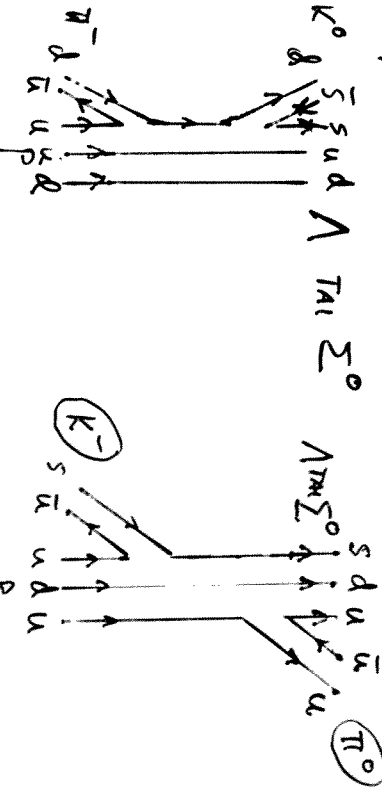
ESIM. ISOSPIN 1 $q\bar{q}$ -PARI $3P_1$ -TILASSA $q_1(1230)$ -MESONI
 $T=0$ $3P_2 : f_2(1270)$ q_2^+ $I^{\pi} = 1^+$

VAHVASTI VUOROVAIKUTAVIEN HIUKKASTEN (460)
 REAKTIOT, TUOTTO JA ABSORPTIO VOIDAAN NYT YMMÄNTÄÄ ESIM. SEURAAVASTI



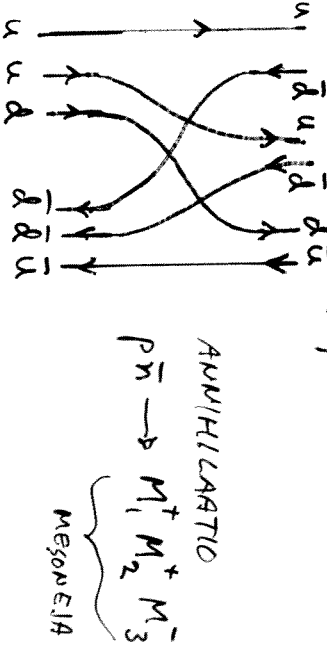
$\pi^+ p \rightarrow \Delta^{++} \rightarrow \pi^+ p$

$\pi^- p \rightarrow \Delta^0 \rightarrow \pi^- n$



$\pi^- p \rightarrow K^0 p \text{ TAI } \Sigma^0$

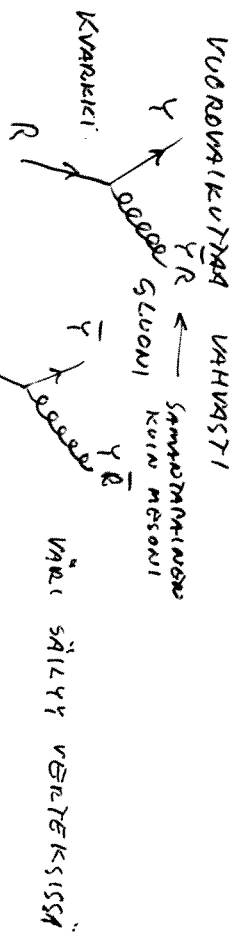
$K^- p \rightarrow \pi^0 \text{ TAI } \Sigma^0 \pi^0$



ANIHILAATIO

$p\bar{n} \rightarrow M_1^+ M_2^+ M_3^-$
 MESONEIJA

KUARKIT VUOROVAIKUTTAVAT KESKEMÄÄN JA SIDOTUVAT TOISIINSA GLUONILLA, JOTKA KANTAVAT MYÖS VÄRILÄRUSTÄ (JONON NÖ KÄYTTÄVÄT) => GLUONIT MYÖS VOIVAT SIIS VUOROVAIKUTTA VÄHÄSTI



GLUONINEN KÄYTTÄYMINEN ITSENSÄ SÄÄTTÄÄ OSITTAIN AIHEUTTA KVAARKIEN VÄRISÄILYÄ

HAVAITTAVAT HIUKKASSET AINAA VÄRISÄILYTTÄJÄ

Joko $\frac{1}{6} \begin{vmatrix} Y_1 & B_1 & R_1 \\ Y_2 & B_2 & R_2 \\ Y_3 & B_3 & R_3 \end{vmatrix}$ SCALAR TAI $\frac{1}{3} (Y\bar{Y} + B\bar{B} + R\bar{R})$

QCD EI KVAANTTI-VÄRILÄRUSTAMILIKKA VÄHÄN VUOROVAIKUTUKSEN POHJA NYKYÄÄN

GLUONIT OLETETTUUN MASSATTOMIEN KVAARKIYMPÄRISTÖSSÄ, NIITÄKÄÄN EI SAADA ULOS YKSIN KAPPALEIN (OLTAVA TMS VÄRISÄILYTTÄJÄ JA GLUONILLA VÄRI) TÄSSÄ SÖMTESSÄ KUTSU FOTONI, MUTTA GAULAINEN KUIN HEIKKO VV, JOKA VÄLITTYVÄ W⁺- JA Z⁰-HIUKKASILLA (80 JA 90 GeV)

VIELÄ LISÄÄ KVAARKKEJA :

VUONNA 1974 KAKSI AMERIKKALAISTA RYHMÄÄ LÖYSI UUDEN KAPPALE (PITKÄIKÄISÄN) VEKTORIMESONIN PITKÄ IKÄ => HEIKKO HAJOTAMINEN, LMSISESTI UUSI

MAKSUB OSA, SILLÄ U, D, S-KVAARKKEIN KOOITU 3.1 GeV:in OBIJEKT HAJOAISI TOTUHIN KEVYEMPIIN HIUKKASIN VÄHÄSTI (NOBBA HAJOTAMINEN)

∴ LUMOKVAARKKI C (VAINUS KUTSU U:LLA) TO. HIUKKANEN ON CC⁻-SYSTEMI (TUOTETTU SM 1/4-MESONI => LUMO SÄILYVÄ)

1977 SEURAAVA : 6 POKKA-TAI KAUUSKVAARKKI (BOTTOM, BOAUTY)

1994-95 : T HUIPPU-TAI TOTUUSKVAARKKI (TOP, TRUTH)

KOLME PERNHEITÄ VÄRISTÄKIN

(u)	6 MeV *	(c)	1.5 GeV	(t)	175 GeV	$0.4 \cdot 10^{-24}$ s
(d)	10 MeV *	(s)	200 MeV *	(b)	4.7 GeV	$1.5 \cdot 10^{-12}$ s

VRT. LÖPTÖNEN KOLME PERNHEITÄ

* ERÄRELATIVISTINEN "KONSTITUENTTIKVAARKKIMALLI"

U, D ~ 300 MeV S ~ 500 MeV
 NÄKYMÄT ENNEMMÄN MÄÄRITTYVÄÄ KUIN ABSOL. MASSAT