

# 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 MESSONIKENTTÄÄ YDINVUORO-VAIKUTUKSEEN ALKUPÄÄKSI: LYHYT KANTAMA  $\rightarrow mc^2 \approx 100 \text{ MeV}$

1937: LÖYTYI SOPIVAN MASSANEN KIIKKÄKUNNAN KOSMISEN SÄTEILYSTÄ: " $\mu$ -MESONI"

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

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

EÄSTABILILI:  $\tau = 2.2 \mu\text{s}$

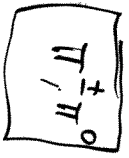
Heikk. v.  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e + \nu_{\mu}$  HUOM. LEPTONILUOVUN SÄIL. (LEPTONI: KEVYI HIUKKANEN) vs. BARYONI

1947: LÖYTYI  $\pi$ -MESONI ELLI PIONI (PIONI 2, MYÖHEMMIN KOLMIS)

- VUOROVAIKUTUS YTIMEN KAUSNA VAHVÄ - SPIN 0, PAKITTEETTI  $\rightarrow$  RESONANSIKAAKALI

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

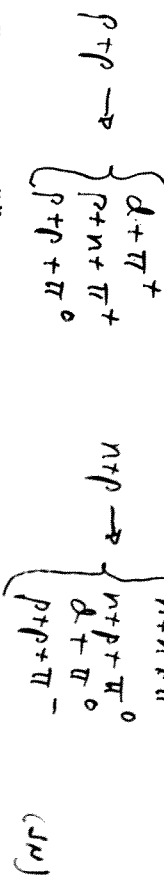
Heikko v.  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$   $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_{\mu}$   $\tau = 2.6 \times 10^{-8} \text{ s}$   
 SM v.  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$   $\tau = 8.3 \cdot 10^{-16} \text{ s}$   
 3 VAAKASTA: ISOSPIN 1 (KOMIÖN.  $\frac{1}{2}, 0$ )



(444)

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

VAIKUTUSTA NUKLEONIN KAUSNA VOITTIIN TUTKIA VUORO-REAKTIOISSA



SEKÄ SEKUNDAÄNIREAKTIOISSA



(DEUTERONISSA MYÖS NEUTRONI KOHTONA, MUTTA SPEKTATTOIRIKOITONI HAAKALOITTAAN ANALYYSIA)

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

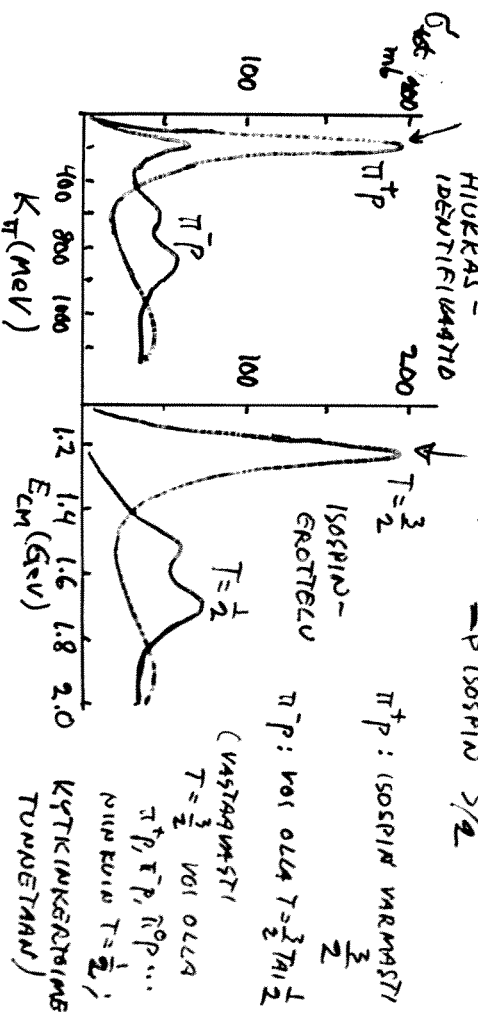
LUKUISIA  $\pi N$ -RESONANSSEJA, TRÖKÖTIMÄNÄ  $\Delta$  (1232 MeV)

$\Delta^+(1232)$  HIUKKAS-IDENTIFIKAATIO VAAKUISIA  $t, t, o, -$

$\Delta(1232)$   $\rightarrow p$  ISOSPIN  $\frac{3}{2}$   $\pi^+$ : ISOSPIN VAKMASTI  $\frac{3}{2}$

ISOSPIN-EROTTELU  $\pi^- p$ : VOI OLLA  $T = \frac{3}{2}$  TAI  $\frac{1}{2}$

(VASTAANASTI  $T = \frac{3}{2}$  VOI OLLA  $\pi^+ p, \pi^- p, \pi^0 p \dots$  NIIN KUIN  $T = \frac{1}{2}$  KYTKIMUKSITAIN)



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

VAIKUTUSKAA (TN)  $\propto$  LOPPUTILOJEN TIHEYTEEN  
 (TILAJEN LUKUMÄÄRÄVÄLJÄ (S, S+dE)  
 RIIPUV IMPULSSISTA TUUUTUEA  
 TAVALLA

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

$$\Rightarrow \frac{G_{obs}}{G_{prod}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3(2S_{\pi} + 1)} \frac{P_{pp}^2}{P_{pd}^2} \stackrel{KOG}{\approx} \frac{2}{3} \frac{P_{pp}^2}{P_{pd}^2} \quad \text{deuti } I=1$$

ABVO  $S_{\pi} = 0$  SORII KOGTUOKSIIN  
 JOHASTA ABSORPTIO KOKTT 2 PROTONIA

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

$\pi^-$  SEOSTU KUTEN ELETROMI VETÄTÄMISSÄ  
 TODENÄKÖISYYS TIHEYS KÄYNNITÄVÄ VAIN S-TILOISSA  
 $L_{\pi} = 0 \Rightarrow$  PARITEETTI + TÄLÄ'OSIN  
 DEUTERONI S+D-TILA  $\Rightarrow$  + PARITEETTI  
 $\pi^-$ : 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  
 NEUTRONIVELIÄ (ID, FERMIOWEIA) 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 ( $e, \nu_e$ ) ( $e^+, \bar{\nu}_e$ ) ( $\mu, \bar{\nu}_\mu$ ) ( $\mu^+, \bar{\nu}_\mu$ )

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

KARSTAN VAAATUT HIUKKASST METRILJÄ METALLIA  
 SAATEKMAN NEUTRINOJEN TEELE AKUMILIVUJUA  
 NUUTAMAT NEUTRINOT REAGOIVAT JA TUOTTAVAT  
 MYONEJA ( $\bar{\nu}$  IT  $\mu^+$  IIA) (EI ELEKTRONEJA)

KUKIN LEPTONILUKU  $L_e, L_\mu$  (JA  $L_\tau$ ) SÄILYY  
 ERIKSEEN!

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

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

$L_{\mu} = 1$      $L_{e} = -1 \quad -1 \quad L_{\mu} = +1$

ESTERÄÄN USGIN LEPTONIPERHEINÄ (3 PERHEINÄ 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 SMI (LOS VAPAAUS) VUOROVAIKUTUKSIN  
 NEUTRINOJEN MASSAT HYVIN PIENIÄ

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

$\Rightarrow$  HEIKOSTI DOMINOISI MAALIMANUKKUSEN  
 MASSAA



MYÖS BARYONILUKU SÄILYY ESI NUKLEONIKKITAISSET VAHVASTI VUOROVAIKUTTAVAT POOLUKUISEN SPININ OMAANAT HIUKKASET  
 OTOJA BARYONEJA SAOTTAAN HYPERONEIKSI  
 LAIKKIAAN VAHVASTI VUOROVAIKUTTAVAT HIUKKASET OVAAT HADRONEJA.

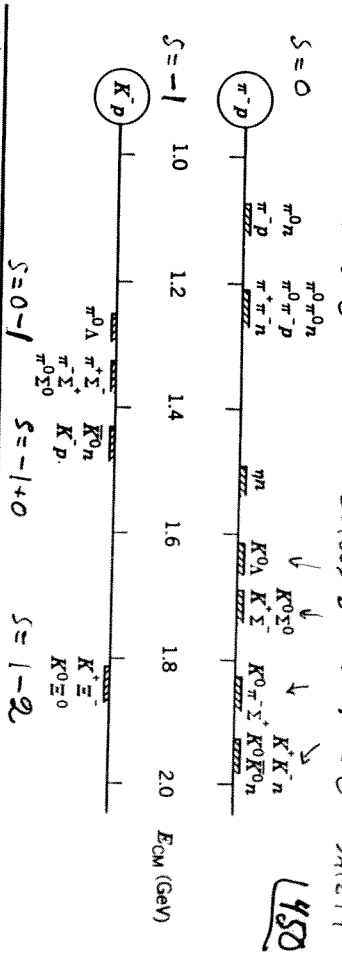
SATAJA HIUKKASLAJEJA (M.L. RESONANSSIT)  
 KUTEN NUKLEONILLA HIUKKASLAIN ERI VAAUUS- TILLOJA PIDETTÄÄN KO. HIUKKASLAIN ISOSPININ Z-KOMPONENTTI ERI ARVOLA VASTAANVA (LUKUMÄÄRÄITÄÄN ISOSPININ ARVO)

ESIM:  $\Sigma$  ILLA ON  $\Sigma^+$ ,  $\Sigma^0$ ; 3 TILAA  $\Rightarrow T=1$   
 $\Xi$  ILLA ON  $\Xi^0$  JA  $\Xi^-$   $\Rightarrow T=1/2$   $T_z = \pm 1/2$   
 $\Lambda$  ILLA 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  
 $Q = T_z + \frac{B+S}{2}$  GELL-MANN & NISHIJIMA  
 OTOUS:  $\Lambda, \Sigma, -1, \Xi, -2, N, 0$   
 $K^+, K^0 + 1, K^-, \bar{K}^0 - 1, \bar{u}, \bar{d}, 0$

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

Figure 16-16 KYLVYKSET JA OTOUDEN SÄILYMINEN  
 Thresholds for particle production in reactions initiated by  $\pi^+p$  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



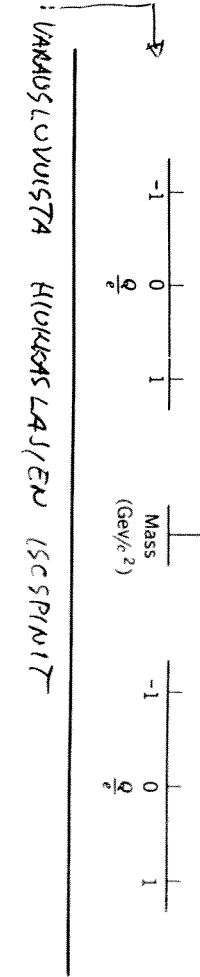
MÄÄR:  $u, N, S=0, K^0, K^+ S=+1 \Rightarrow$  OLTAVA  $S=-1, \Lambda, \Xi, -2, \Xi$   
 KYLVYSENERGIOISTA SAADAN TUOTETTUVEN HIUKKASEN MASSAT  $\Rightarrow$  HIUKKASSPEKTROSKOPIA (MYÖK KO, HIUKKASEN HALOAMISTUOTEIDEN ENERGIESTA SPEKTRIIN LISÄMÄNISTYSTÄ) 16-10 Isospin

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

BARYONIT	$S = -2$	$\Xi^-$	$\Xi^0$	$\Sigma^-$
	$S = -1$	$\Sigma^-$	$\Lambda$	$\Sigma^+$
	$S = -1$	$n$	$p$	
	$S = 0$			

SÄMÄN HIUKKASLAIN ERI VAAUUSIAT HYVIN DEGENEROITUNEET (EROTAVAT HYVIN MUUSTA)

OKTEITTI	$S = 0$	$\pi^+$	$\pi^0$	$\pi^-$
	$S = 0$	$K^+$	$K^0$	$K^-$



Leptons	Mass (MeV/c <sup>2</sup> )	Lifetime (s)
e	0.5110	Stable
$\nu_e$	< 4.6 × 10 <sup>-5</sup>	Stable
$\mu$	105.7	2.20 × 10 <sup>-6</sup>
$\nu_\mu$	< 0.50	Stable
$\tau$	1784	3.4 × 10 <sup>-13</sup>
$\nu_\tau$	< 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 <sup>2</sup> )	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
$\Lambda$	0	-1	0	0	0	1116	2.63 × 10 <sup>-10</sup>
$\Sigma^+$	1	-1	1	1	0	1189	0.80 × 10 <sup>-10</sup>
$\Sigma^0$	0	-1	1	0	0	1192	5.8 × 10 <sup>-20</sup>
$\Sigma^-$	-1	-1	1	-1	0	1197	1.48 × 10 <sup>-10</sup>
$\Xi^0$	0	-2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	-1	1315	2.90 × 10 <sup>-10</sup>
$\Xi^-$	-1	-2	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	-1	1321	1.64 × 10 <sup>-10</sup>

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

entral 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 PSEUDOSKALARIMESONINEN 452  
LUOKITTELU ( $T_z, Y$ )-TASOOIN: MÖLLEMÄT OKTEETIT  
RUOBBOTAVAT SÄÄMÖLLISEN KORIION

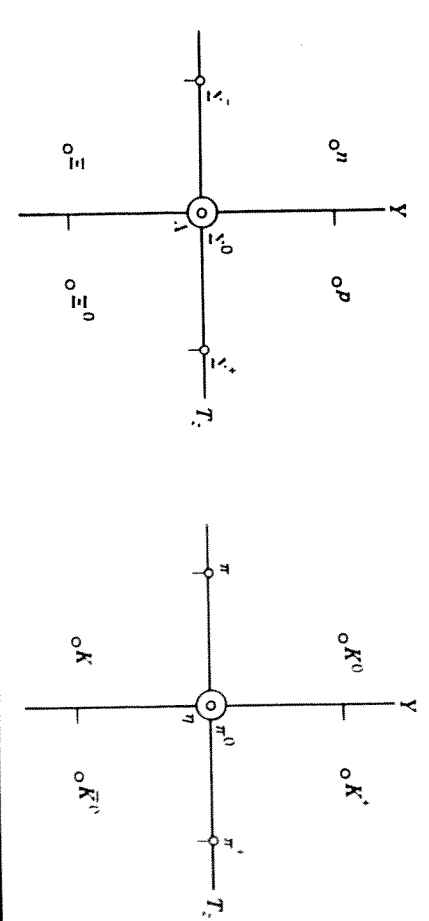


Figure 16-20  
Octets of  $\frac{1}{2}^+$  baryons and  $0^-$  mesons.

MESONISEKTORILLA (BOSONIT) LÖYTYY MYÖS  
OKTEETTI VEKTORIMESONEISTA (SPIN-1<sup>-</sup> MESONEISTA):  
 $\rho^\pm, \rho^0, \omega$   $Y=0$ -TASOLLE  
 $K^{0*}, K^{+*}, \bar{K}^{0*}, K^{-*}$   $Y=\pm 1$ -TASOLLE  
BARYONILLA LÖYTYY KYMMENEN SPIN- $\frac{3}{2}$ -  
RESONANSSIA ALKAEN TN:IN  $\Delta(1232 \text{ MeV})$ -RESONANSSISTA  
 $\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-, \Delta^{*-}$  JA SATKUN  $\Sigma^*$ :LLÄ JA  $\Xi^*$ :LLÄ  
(DEKUPLEETTI)

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

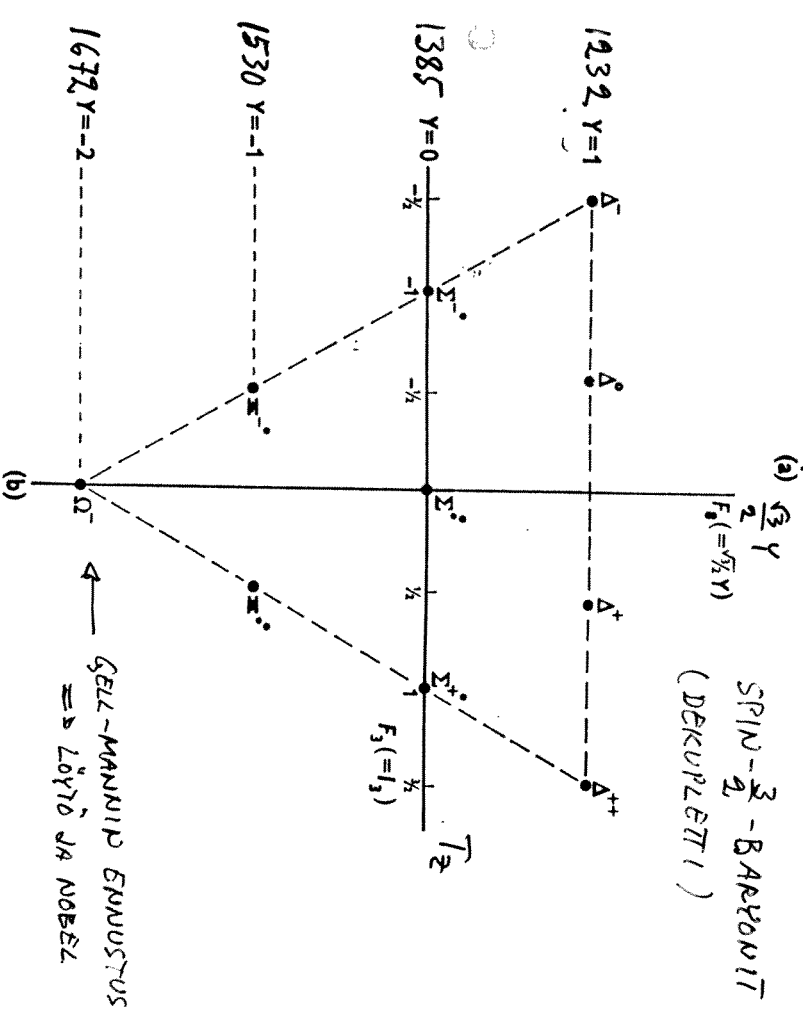
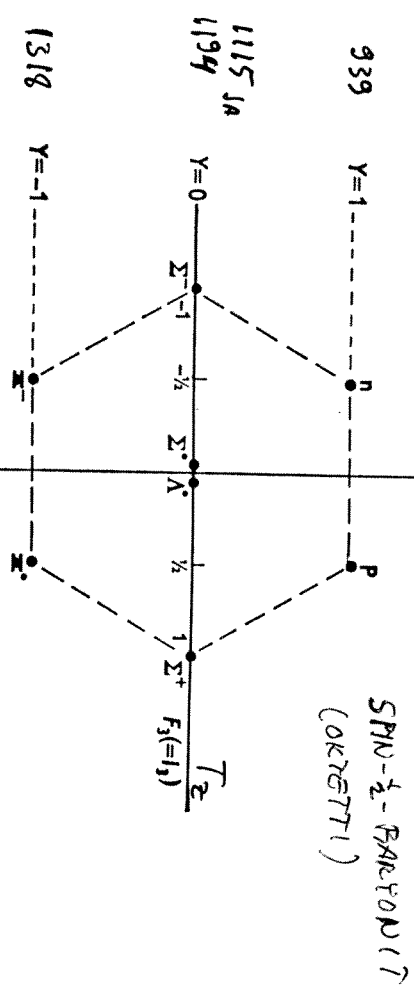
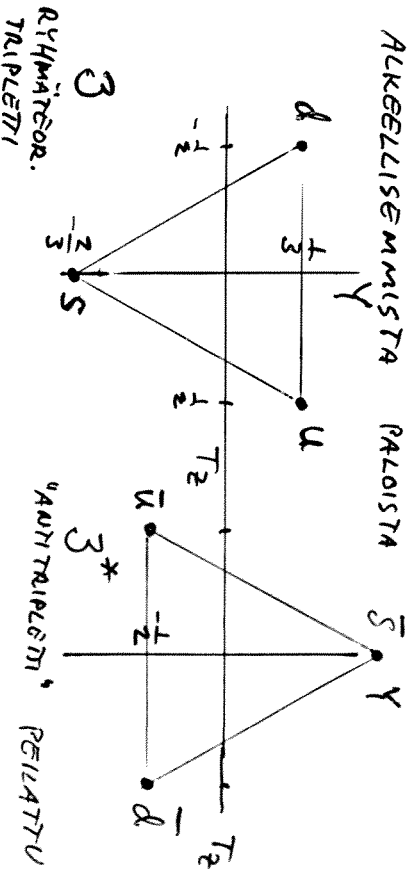


Fig. 8.5 Weight diagrams for (a) the baryon octet (b) the baryon

GELL-MANN: TÄLLÄT OKTETIT JA DEKUPLETTIT VOI RAKENTAA (454) ALKEELLISEMMISTA PALOISTA

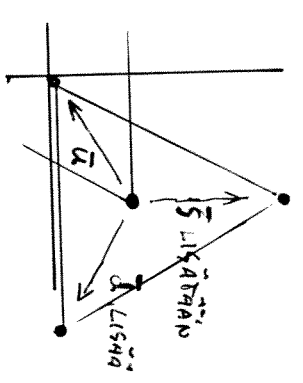
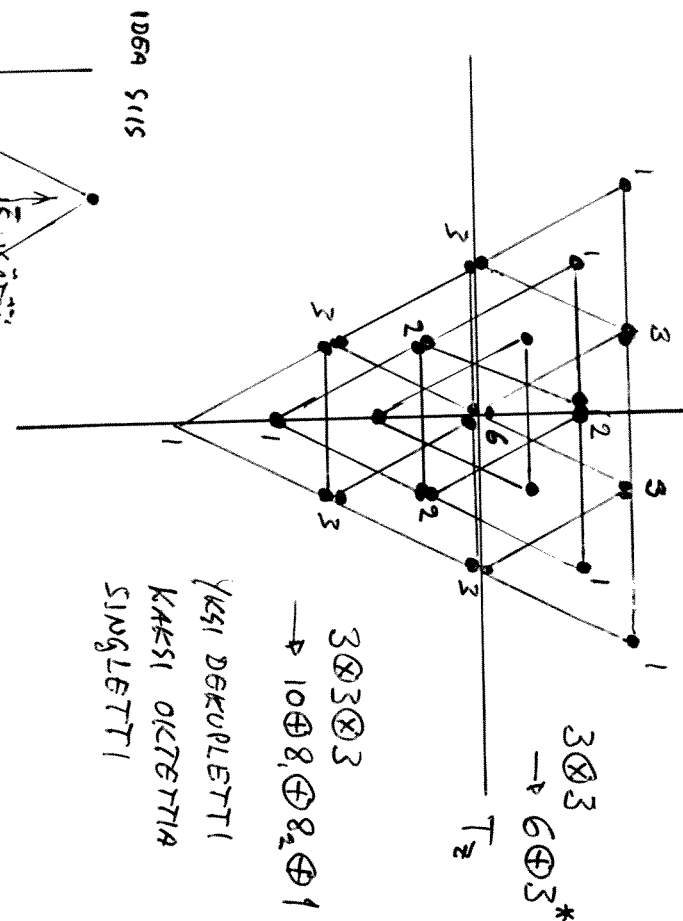
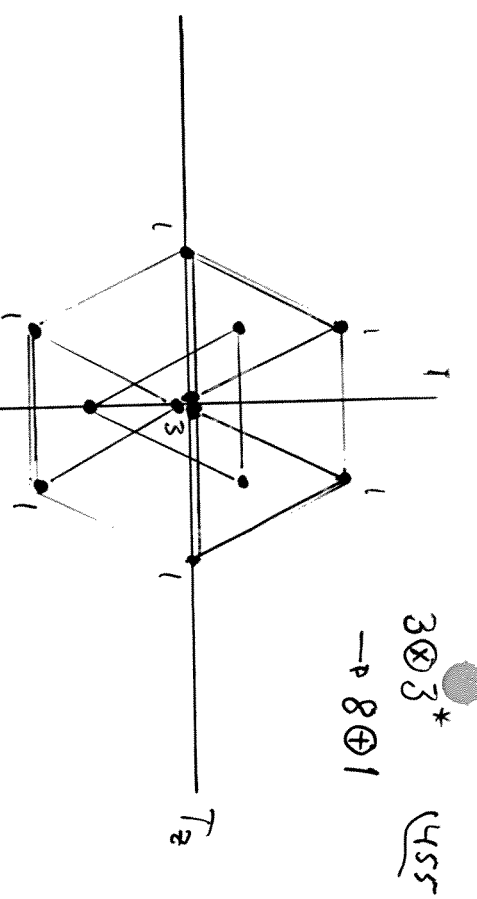


HENEMÄLLÄ U:n SUUNTAN LISÄTÄÄN ALKIO U  
 MEUMÄLLÄ -2/3 (ALASNAIIN) (S:n SUUNTAN) LISÄTÄÄN  
 ALKIO S ( +2/3 -> S ) JOG

=> SYSTEMAATTINEN RAKENUS JOOKIN  
 ALKEELLISEMMAN AVULLA  
 3 ELEMENTTIÄ ((T\_8, Y)-TASOIN VЕКТОРИА)  
 => SU(3) RYHMÄ

[ RYHMÄN ELEMENTTÖJÄ VOI KUVATA MATEMAATTISESTI  
 3-OLON VЕКТОРИЛА, NÄIDEN MUUNNOKSIA  
 3x3 MATEMATIIKILLA: 1\_3 JA 8 GENERAATTORIA ]

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



YKSI DEKUPLETTI  
KAKSI OKTETTI  
SINGLETTI

	B	I	T <sub>z</sub>	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
ū	-1/3	1/2	-1/2	0	-1/3	0	-2/3
d̄	-1/3	1/2	1/2	0	-1/3	0	1/3
s̄	-1/3	0	0	1	2/3	0	1/3
c̄	-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) [SPINVAIKTOI x MAKUVAIKTOI] VÄKTOÄRMESONIT
- qq̄ PARITETIT - (TARKOITUS TARKEMMI)

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)

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

Y = S = 0    T<sub>z</sub> = 0    (16-22)

USEIN: LAAJEMPI MULTIPLETTI 8+1 = NONETTI

BARYONIT KOLMEN KVARKIN YHDISTELMÄNÄ (457)  
 TYÖLÄMPPIÄ

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

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

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

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

$$\Delta^- = ddd$$

VASTAVASTI MUUTTELAN OUDOSSI KVARKIKSI  $\Rightarrow$   
 KYMMENEN ERILISTÄ 3 KVARKIN TILAA 3 ERILAISET  
 KVARKISTA u, d, s

ddd	ddu	duu	uuu	$\gamma = 1$
dds	dus	uus		$\gamma = 0$
sss	uss			$\gamma = -1$
				$\gamma = -2$

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

SU(3) - SYMMETRIA: VAHVA VUOROVAIKUTUS EI  
 RIIPU VÄRVÄSÄSTÄ TAI OUDOUSLUVUSTA (MAUSTA)  
 (LAAJEMPI KUIN ISOSEIN)

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

(EPAUSTUS  $\Sigma^-$ :N KVANTILUVUILLE JA MASSALLE)

OLETETTU KAIKILLA S-TILAJ; MYÖS KVARKIN SISINEN  
 PARITTETTI +  $\Rightarrow$  AUTTIKUUDETTI  $\Rightarrow$  MESSUUT  $\Rightarrow$   $\gamma$

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

SINÄSÄ ADDITIIVISOT KVANTILUVUT (VÄRVÄS,  
 BARYONILUVUT,  $T_2$ , OUDOUS) TULEVAAT OK  
 KOMBINAATIOILLA JÄMS  $ddu$   $duu$   
 SAMOISTA KVARKEISTA  $dds$   $dus$   $uus$

(JÄIKINÄT, JOISSA  
 3 SAMAA KVARKKIA  
 POIS)

MUTTA KOMBINAATIOIDEN OLTAVA ORTOGONAALISOT  
 DEKUPLETTIA VASTAAN

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

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

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

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

ITSE ASIASSA SPIN KOMPILSOI ASIAA:

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

SYMMETRISEN NIELIVALTAINSTEN KVARKKEIDEN VAIKHDOSSA  
 (SAMOIN KUUT)

APTISYMMETRIA: UOSI KVANTTILUKU "VÄRI",  
 KOLME VÄRIÄ  $\rightarrow$  SLATERN DETERMINANTTI JA  
 ANTISYMMETRIA SITÄ: VÄNISIMPLETTI

NIMITYSINÄ PCIM PUUVAINEN KOLTAISEN SININEN



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

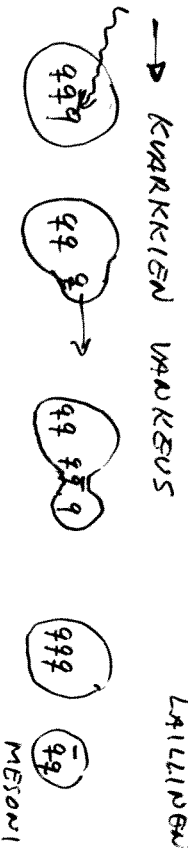
JA SPINOSA SYMMETRISET : SPIN MUUTTAM VAIN TOLONA.

SAMOIN MESONILELLA KAKSIHIUKKASSYSTEEMINÄ SPINOSA SEPAROITUU TEKIÄKSI. MESONILELLA PITÄÄ VÄRI OTTAA HUOMION LASKEMALLA KUKIN KVAARKI-

KOMBINAATIO SUMMAMA YLI VÄRIEN SEURAAVASTI :  
 Esim.  $\pi^+ = \frac{1}{\sqrt{3}} (u_r \bar{d}_r + u_y \bar{d}_y + u_b \bar{d}_b)$

EVIDENSSI KVAARKEISTA :  
 SYSTEMAATTIKU LISÄKSI SVÄSTI ERÄESTÄSSÄ EKSITRAONISIROUNNASSA NÄHTY NUKLEONIN SISÄLÄ RISTEMÄISÄ KOHTEITTA, JOIDEN OMINAISUUDET (MAKUS) SOPIVAT KVAARKEIHIN.

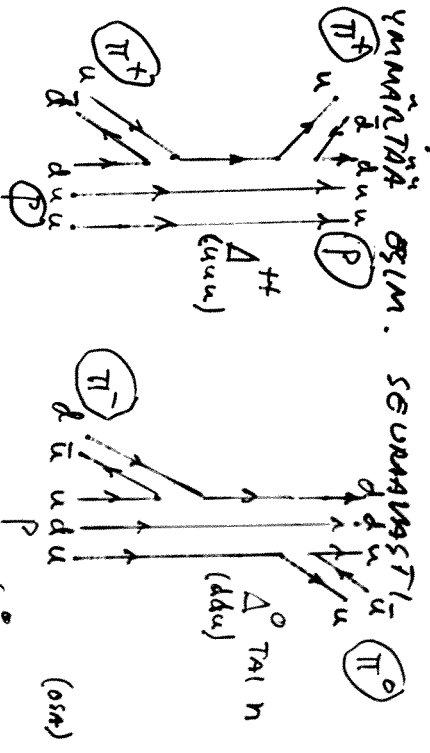
VÄRITÄ KVAARKEJA EI OLE TOISTETTAVISSA KOKOISSA NÄHTY JA YLEISESTI USKOTTAV, ETTEI TULLA NÄKEMÄÄNÄÄN. SUURENÄÄKÖKÖISSÄ KUITA SYTYTY PARITAIN : YKSI ANTIKVAARKI VOI TULLA ULOS VAMMAN KVAARKIN KAUSSTA, MUTTA UUSI KORVAA ODOTISEN.



VIRITYSTILAT : MUTTA "AKKEISHUKKASIA"

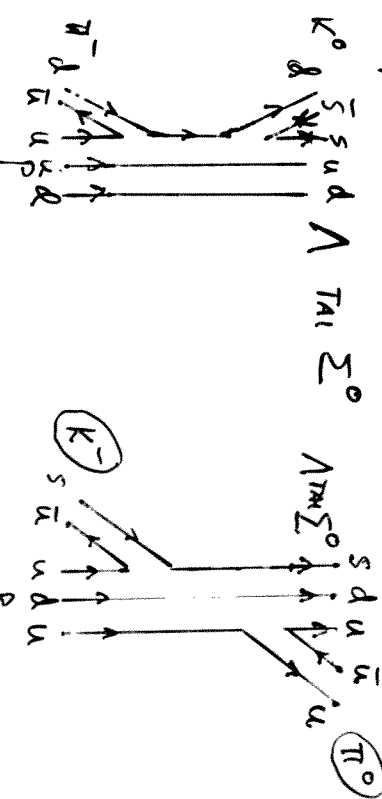
ESIM. ISOSPIN 1  $q\bar{q}$ -PARI  $3P_1$ -TILASSA  $q_1(1230)$ -MESONI  
 $T=0$   $3P_2 : f_2(1270)$   $q_2^+$   $I^{\pi} = 1^+$

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



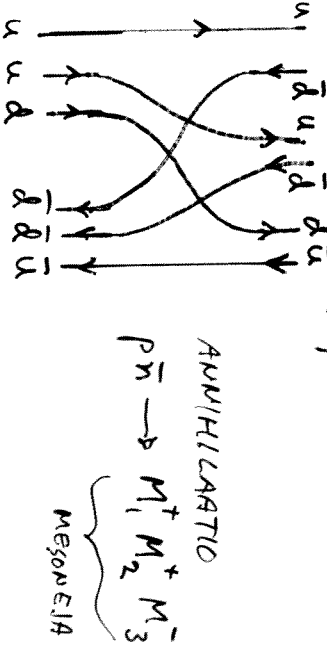
$\pi^+ p \rightarrow \Delta^{++} \rightarrow u^+ \bar{p}$

$\pi^- p \rightarrow \Delta^0 \rightarrow \bar{n} \pi^0$



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

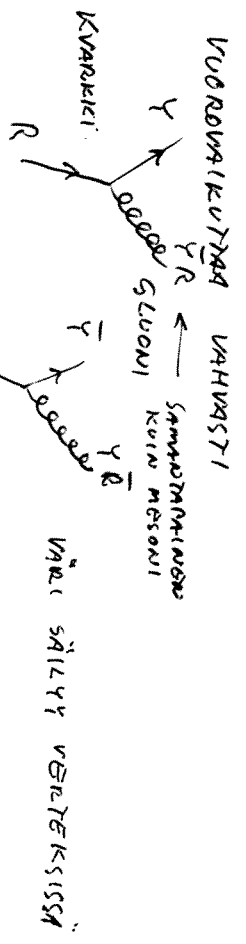
$K^+ p \rightarrow \Lambda^+ \pi^0 \text{ TAI } \Sigma^+ \pi^0$



ANIHILAATIO

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

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



GLUONIN KÄYTTÄMISEN ITSENSÄ SAATTA OSMITTAIN AIHEUTTAA KVARKKIN VÄRISÄILYÄ

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

QCD EI KIVÄNTI VÄRILÄRÄYSTÄ VÄHÄN VUOROVAIKUTUKSEN POHJA NYKYÄÄN

GLUONIT OLETETTUUN MASSATOMIKSI KVARKKIVÄRISÄISSÄ, NIITÄKÄÄN EI SAADA ULOS YKSIN KAPPALAIN (OLTAVA TMS VÄRISÄILYTTI JA GLUONILLA VÄRI) TÄSSÄ SÖHTÖSSÄ KUTSU FOTONI, MUTTA GAULAINEN KUIN HEIKKO VV, JOKA VÄLITTYY  $W^+$ - JA  $Z^0$ -KIVÄKASILLA (80 JA 90 GeV)

VIELÄ LISÄÄ KVARKKEJA :

VUONNA 1974 KAKSI AMERIKKALAISTA RYHMÄÄ LÖYSI UUDEN KAPPAN (PITKÄIKÄISEN) VEKTORIMESONIN PITKÄ IKÄ => HEIKKO HAJOTUMINEN, LMSISESTI UUSI

MAKSUB OSA, SILLÄ  $u, d, s$ -KVARKKEIN KOOITU 3.1 GeV:in OBIJEKT HAJOAISI TOTUHDIN KEVYEMPIIN HUIKKEISIIN VÄHÄSTI (NOBIA HAJOTUMINEN)

∴ LUMOKVARKKI C (VAIN KUTSU U:LLA) TO. HUIKKEANEN ON  $c\bar{c}$ -SYSTEMI (TUOTETTU SM  $1/4$ -MESONI => LUMO SÄILYTY)

1977 SEURAAVA : 6 POKKA- TAI KAUUSKVARKKI (BOTTOM, BQAUUTY)

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

KOLME PERNETTÄ 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 PERNETTÄ

\* ERÄRELATIVISTINEN "KONSTITUENTTIKVARKKIMALLI"

$u, d \sim 300$  MeV  $s \sim 500$  MeV  
 MASSAT EHDOKKAINEN MÄÄRITTYVÄÄ KUIN ABSOL. MASSAT