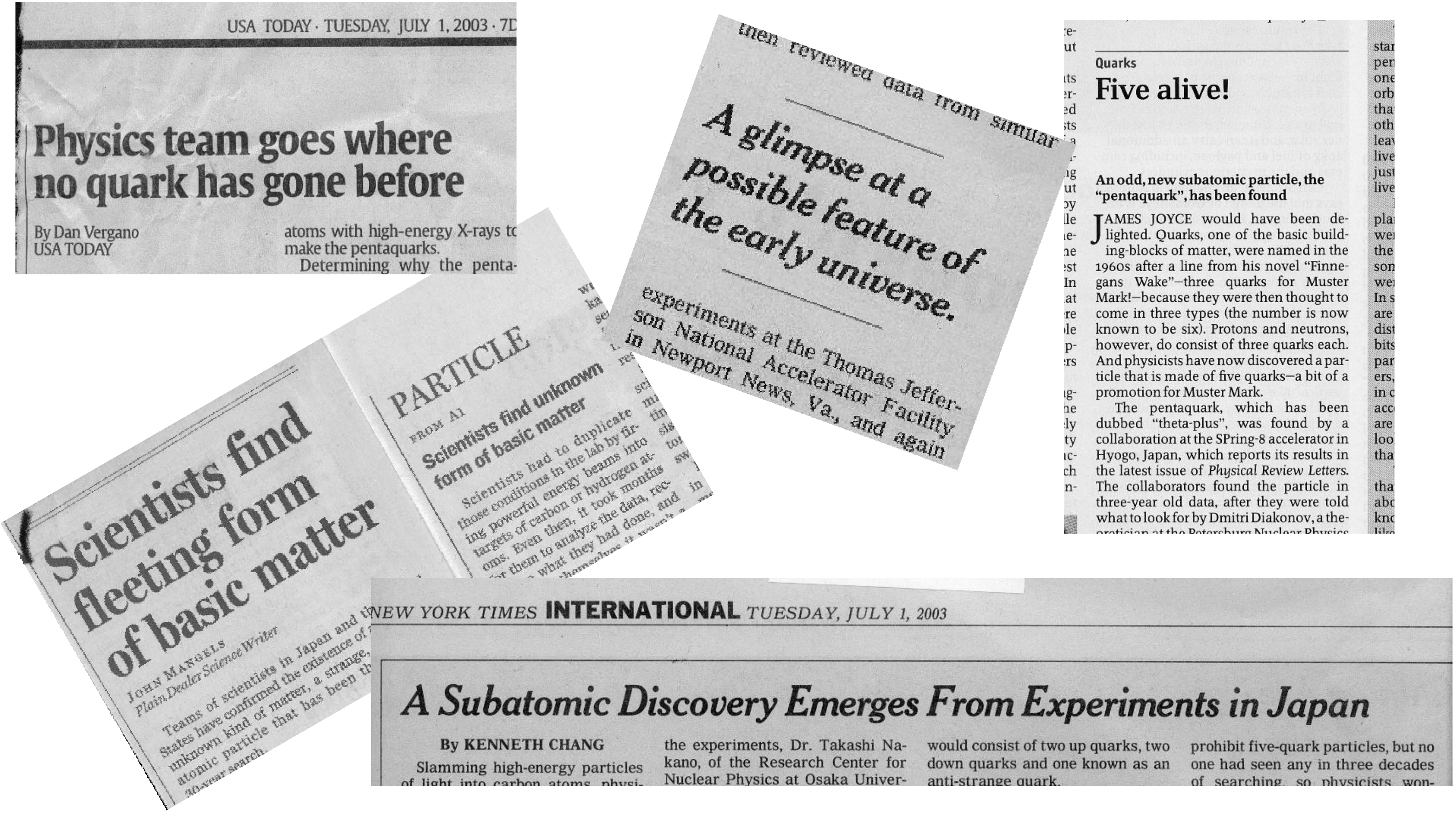
Nagłówki artykułów w lipcu 2003



USA TODAY · TUESDAY, JULY 1, 2003 · 7D

Physics team goes where no quark has gone before

By Dan Vergano
USA TODAY

atoms with high-energy X-rays to make the pentaquarks.

Determining why the penta-

---

then reviewed data from similar

A glimpse at a possible feature of the early universe.

experiments at the Thomas Jefferson National Accelerator Facility in Newport News, Va., and again

---

Quarks

Five alive!

An odd, new subatomic particle, the "pentaquark", has been found

JAMES JOYCE would have been delighted. Quarks, one of the basic building-blocks of matter, were named in the 1960s after a line from his novel "Finnegans Wake"—three quarks for Muster Mark!—because they were then thought to come in three types (the number is now known to be six). Protons and neutrons, however, do consist of three quarks each. And physicists have now discovered a particle that is made of five quarks—a bit of a promotion for Muster Mark.

The pentaquark, which has been dubbed "theta-plus", was found by a collaboration at the SPring-8 accelerator in Hyogo, Japan, which reports its results in the latest issue of *Physical Review Letters*. The collaborators found the particle in three-year old data, after they were told what to look for by Dmitri Diakonov, a the-

---

Scientists find fleeting form of basic matter

JOHN MANGELS
Plain Dealer Science Writer

Teams of scientists in Japan and th
States have confirmed the existence of
unknown kind of matter, a strange,
atomic particle that has been th
30-year search.

PARTICLE

FROM A1

Scientists find unknown form of basic matter

Scientists had to duplicate those conditions in the lab by firing powerful energy beams into targets of carbon or hydrogen atoms. Even then, it took months for them to analyze the data, recognize what they had done, and

---

NEW YORK TIMES **INTERNATIONAL** TUESDAY, JULY 1, 2003

A Subatomic Discovery Emerges From Experiments in Japan

By KENNETH CHANG

Slamming high-energy particles

the experiments, Dr. Takashi Nakano, of the Research Center for Nuclear Physics at Osaka Univer-

would consist of two up quarks, two down quarks and one known as an anti-strange quark.

prohibit five-quark particles, but no one had seen any in three decades of searching, so physicists won-

Odkrycie pentakwarków

Katarzyna Perl
Uniwersytet Warszawski
Instytut Fizyki Doświadczalnej

Seminarium Fizyki Wysokich Energii
17 październik 2003

Plan:

- Co to takiego jest pentakwark i jak został odkryty?
- Przewidywania teoretyczne
- Wyniki doświadczalne
- Podsumowanie
- Co dalej?

Gdzie odkryto pentakwarki?

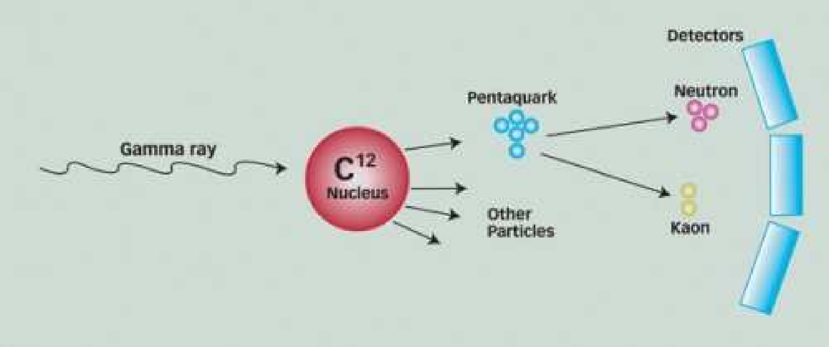
1. zespół Takashi Nakano (eksperyment LEPS) przy akceleratorze SPring-8 w pobliżu Kobe (Japonia)
- dane pokazane na konferencji w 2002 roku
- publikacja 4.VII.2003 w Phys. Rev. Letters

2. zespół Kena Hicksa (eksperyment CLAS) przy akceleratorze CEBAF w Newport News (USA)
- dane wysłane do publikacji

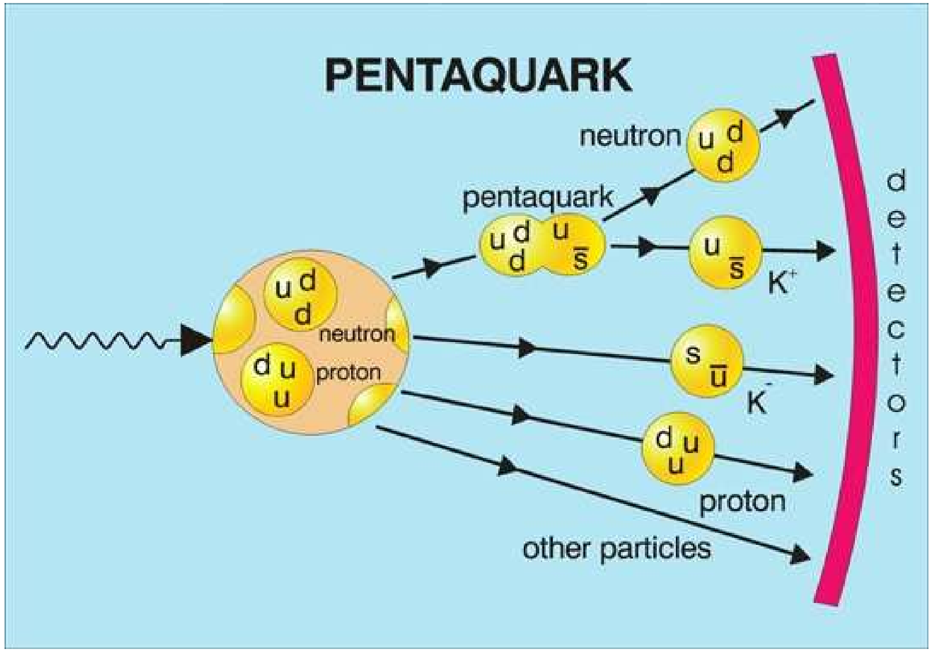
3. inne eksperymenty ...

Co to jest pentakwark i jak powstaje?

- Reakcja: 'twarde' kwanty gamma + ^{12}C
- Odłamki niektórych zderzeń to 5-cio kwarkowe obiekty
- Rozpadają się na K^+ oraz neutron
- Maksimum w masie niezmienniczej - nazwane cząstką Θ^+


Detectors
Pentaquark
Neutron
Gamma ray
C12
Nucleus
Other Particles
Kaon

Co to jest pentakwark i jak powstaje?


PENTAQUARK
neutron
u d d
pentaquark
u d d u s̄
u s̄
K⁺
u d d
neutron
d u u
proton
s ū
K⁻
d u u
proton
other particles
detectors

- Zupełnie NOWY stan barionowy (klasa cząstek 'egzotyczne bariony')
- 4 kwarki walencyjne i 1 antykwark walencyjny (S=+1)
- Czas życia 10^{-20} s
- Masa 1.54 GeV
- Prawdopodobnie istniały zaraz po Wielkim Wybuchu

Przewidywania teoretyczne

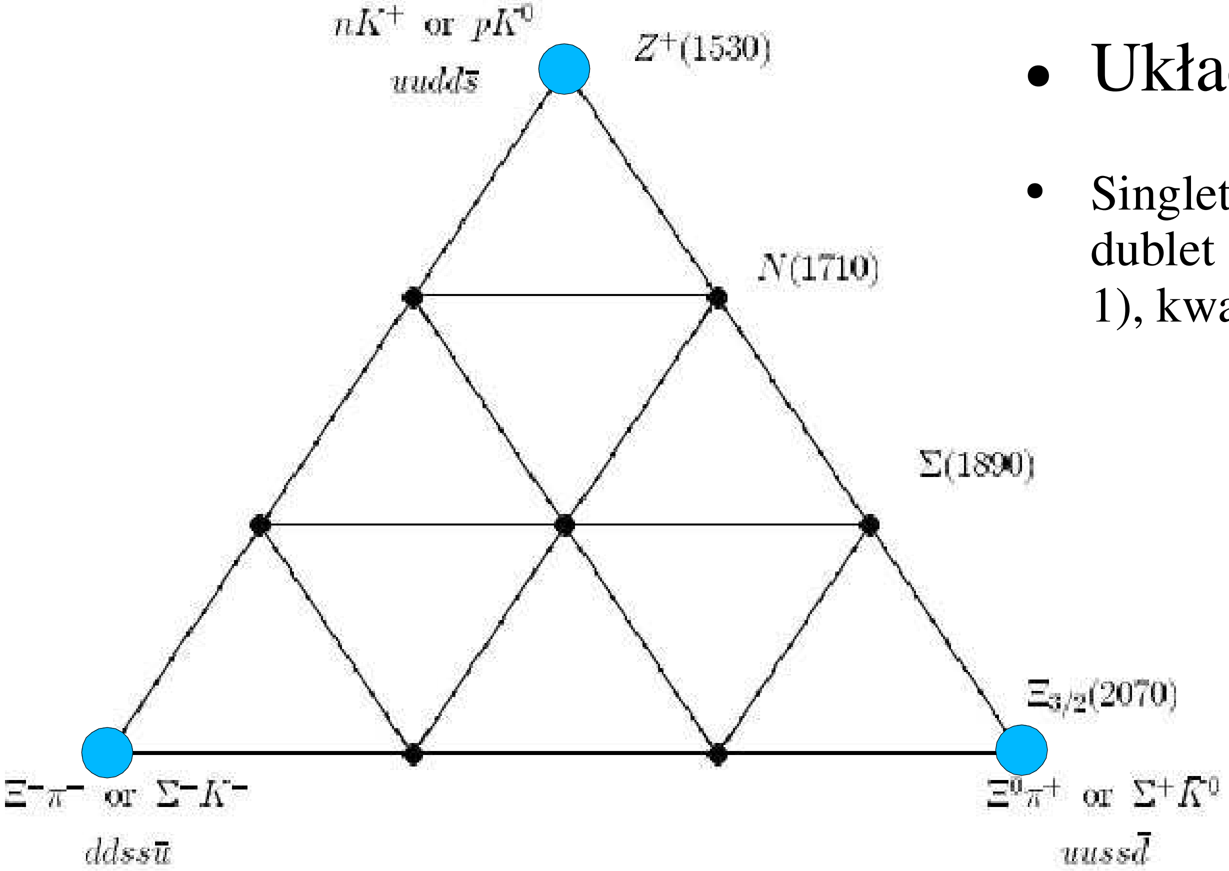
- (uud) = (uud + u ubar + d dbar + s sbar + ...)
- W tym sensie kombinacje 5-cio kwarkowe (qqqq qbar) są wymieszane ze standardową 3 kwarkową (qqq)
- Czy 5-cio kwarkowa kombinacja może istnieć jeśli antykwark ma inny zapach (nie może anihilować) np. (uudd sbar)? Prace teoretyczne od późnych lat 70-tych
- M. Chemtob, Nucl. Phys. **256**, 600 (1985) - na podstawie chiralnego modelu solitonowego przewidział istnienie anty-dekupletu barionów
- M. Praszalowicz, World Scientific (1987), 112 - oszacował masę (najlżejsza cząstka) jako 1.530 GeV/c^2
- D. Diakonov et al., Z. Phys. A **359**, 305 (1997) - szerokość $\Theta^+ <$ 0.015 GeV/c^2, przewidywania dotyczące cięższych członków anty-dekupletu

Chiralny model solitonowy

D. Diakonov, V. Petrov, M. V. Polyakov, Z. Phys A **359**, 305 (1997)

- Bariony wchodzące w skład oktetu (**8**) i dekupletu (**10**) barionów - wszystkie są rotacyjnymi wzbudzeniami tego samego obiektu (tzw. chiralnego solitonu)
- Dwa najniższe stany rotacyjne chiralnych solitonów są w oktecie (spin 1/2) i dekuplecie (spin 3/2) barionów, następne w ***anty-dekuplecie*** **(10bar)** ***barionów (spin 1/2)***
- Własności cząstek (masy, szerokości) można przewidzieć z symetrii; z danych - identyfikacja rezonansu nukleonowego N(1710, 1/2+) z członkiem sugerowanego any-dekupletu barionów

Anty-dekuplet barionów ($J^P=1/2^+$)


nK^+ or pK^0
$uudd\bar{s}$
$Z^+(1530)$
$N(1710)$
$\Sigma(1890)$
$\Xi_{3/2}(2070)$
$\Xi^-\pi^-$ or Σ^-K^-
$ddss\bar{u}$
$\Xi^0\pi^+$ or $\Sigma^+\bar{K}^0$
$uuss\bar{d}$

- ● Egzotyczne bariony
- Układ (I_3, Y)
- Singlet izospinowy (Y=2, S=1), dublet (Y=1, S=0), tryplet (Y=0, S=-1), kwartet (Y=-1, S=-2)

Przewidywania na multiplety - jak dobrze działa model

1. Oktet barionów (spin 1/2)

2. Dekuplet barionów (spin 3/2)

$\Gamma(\Delta \to N \pi) = 110$ MeV vs. 110 MeV (eksp.)

$\Gamma(\Sigma^* \to \Lambda \pi) = 35$ MeV vs. 35 MeV (eksp.)

$\Gamma(\Sigma^* \to \Sigma \pi) = 5.3$ MeV vs. 4.8 MeV (eksp.)

$\Gamma(\Xi^* \to \Xi \pi) = 8.6$ MeV vs. 10 MeV (eksp.)

3. Anty-dekuplet barionów (spin 1/2)

I=0, S=1, egzotyczny $\Gamma(Z^+ \to N K) = 15$ MeV

I=1/2, S=0,	$\Gamma(N_{10bar} \to N \pi) = 5$ MeV
input do modelu,	$\Gamma(N_{10bar} \to N \eta) = 11$ MeV
BR z danych i	$\Gamma(N_{10bar} \to \Delta \pi) = 5$ MeV
modelu podobne	$\Gamma(N_{10bar} \to \Lambda K) = 5$ MeV
	$\Gamma(N_{10bar} \to \Sigma K) = 0.5$ MeV

Przewidywania na multiplety - cd.

I=1, S= -1 $\Gamma(\Sigma_{10bar} \to N\ \text{antyK}) = 6$ MeV

$\Gamma(\Sigma_{10bar} \to \Sigma\,\pi) = 10$ MeV

$\Gamma(\Sigma_{10bar} \to \Sigma\,\eta) = 9$ MeV

$\Gamma(\Sigma_{10bar} \to \Lambda\,\pi) = 17$ MeV

$\Gamma(\Sigma_{10bar} \to \Xi\,K) = 3$ MeV

$\Gamma(\Sigma_{10bar} \to \Sigma^*\,\pi) = 2$ MeV

I=3/2, S= -2, egzotyczne $\Gamma(\Xi_{3/2} \to \Sigma\,K) = 52$ MeV

$\Gamma(\Xi_{3/2} \to \Xi\,\pi) = 42$ MeV

4. kolejne multiplety ...

Gdzie szukać cząstki Z^+ ?

1. Rozpraszanie K^0 p lub K^+ n (problemy z energią wiązek)

2. nukleon + nukleon

$p\,n \to \Lambda\, Z^+ \to \Lambda\, K^+ n$ lub $\Lambda\, K^0 p$, $p_{lab} > 2.60$ GeV/c

$p\,p \to \Sigma^+ Z^+ \to \Sigma^+ K^+$ lub $\Sigma^+ K^0 p$, $p_{lab} > 2.8$ GeV/c

3. foton + nukleon

$\gamma\, p \to$ anty$K^0\, Z^+ \to$ anty$K^0\, K^+ n$ lub anty$K^0\, K^0 p$, $p_{lab} > 1.7$ GeV/c

$\gamma\, n \to K^- Z^+ \to K^- K^+ n$ lub $K^- K^0 p$, $p_{lab} > 1.7$ GeV/c

4. pion + nukleon

$\pi^- p \to K^- Z^+ \to K^- K^+ n$ lub $K^- K^0 p$, $p_{lab} > 1.7$ GeV/c

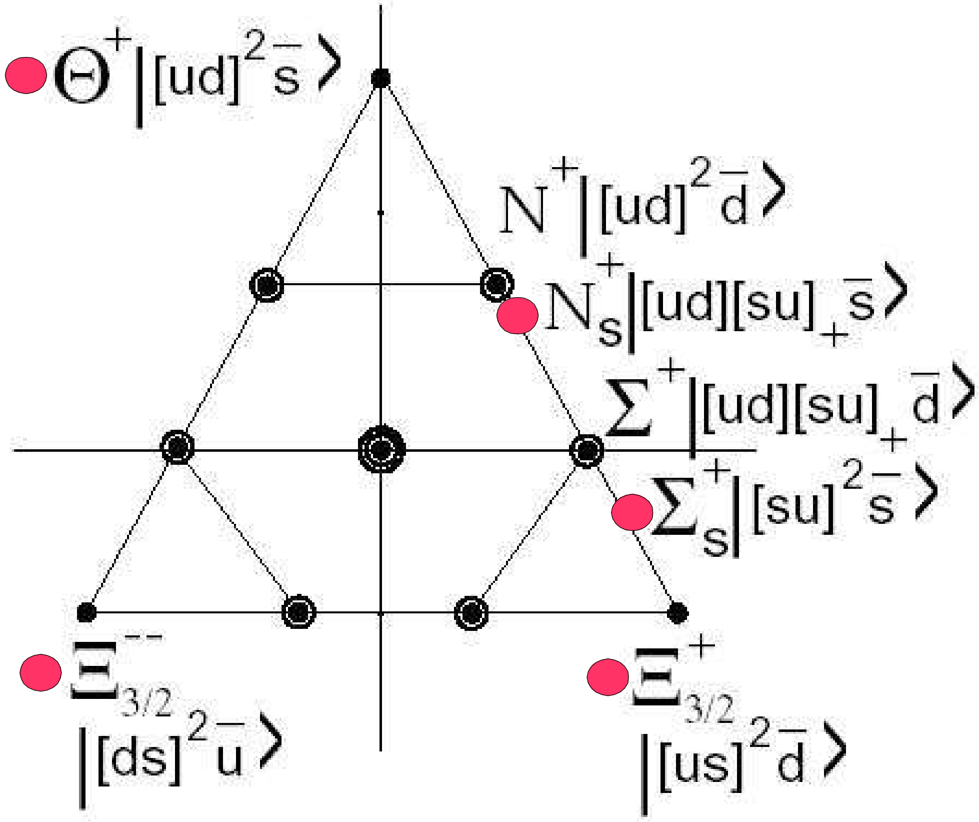
$\pi^+ n \to$ anty$K^0\, Z^+ \to$ anty$K^0\, K^+ n$ lub anty$K^0\, K^0 p$, $p_{lab} > 1.7$ GeV/c

Model kwarkowy (skorelowany)

R. L. Jaffe, F. Wilczek, arXiv:hep-ph/0307341

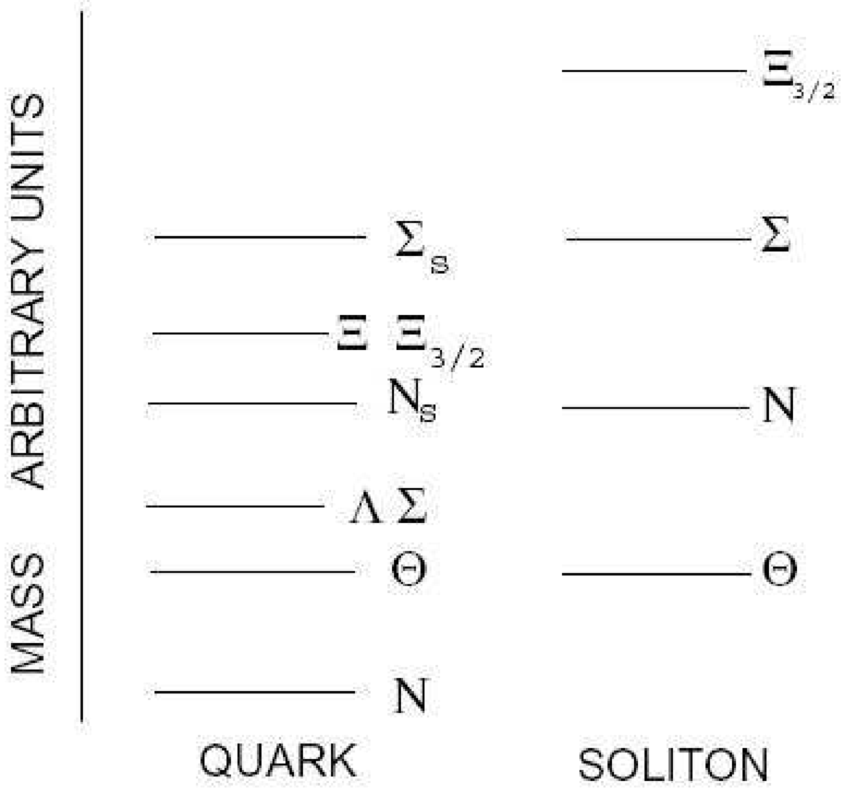
- Związane stany 4 kwarków i jednego antykwarku (q^4 qbar)
- Pary qq są skorelowane (spin pary=0)
- Zamiast anty-dekupletu barionów prawie idealnie wymieszany **10bar ⊕ 8**

● Cząstki z anty-dekupletu


$\Theta^+|[ud]^2\bar{s}\rangle$
$N^+|[ud]^2\bar{d}\rangle$
$N_s^+|[ud][su]_+\bar{s}\rangle$
$\Sigma^+|[ud][su]_+\bar{d}\rangle$
$\Sigma_s^+|[su]^2\bar{s}\rangle$
$\Xi_{3/2}^{--}|[ds]^2\bar{u}\rangle$
$\Xi_{3/2}^{+}|[us]^2\bar{d}\rangle$

Model kwarkowy - przewidywania mas

- Θ^+ ([ud]^2 sbar)   1540 MeV
- N ([ud]^2 dbar)   1440 MeV (najlżejsza)
- Σ ([ud][su]$_+$ dbar) oraz Λ ([ud][ds]dbar - [su][ud]ubar) 1600 MeV
- N_s ([ud][su]$_+$ sbar)   1700 MeV
- Σ_s ([su]^2 sbar)   1850 MeV
- Ξ (sqrt(2)[us]^2 ubar - [su][ds]dbar)   1750 MeV
- $\Xi_{3/2}$ ([us]^2 dbar)   1750 MeV


MASS   ARBITRARY UNITS
Σ_S
Ξ $\Xi_{3/2}$
N_S
Λ Σ
Θ
N
$\Xi_{3/2}$
Σ
N
Θ
QUARK
SOLITON

Model kwarkowy - przewidywania cd.

1. Oprócz mas cząstek przewidywane są również kanały ich rozpadów

2. Proponowane sposoby na poszukiwanie cząstek np.

$K^- d \rightarrow K^+ p \, \Xi^{--}_{3/2}$

$\Xi^{--}_{3/2} \rightarrow \Sigma^- K^-$

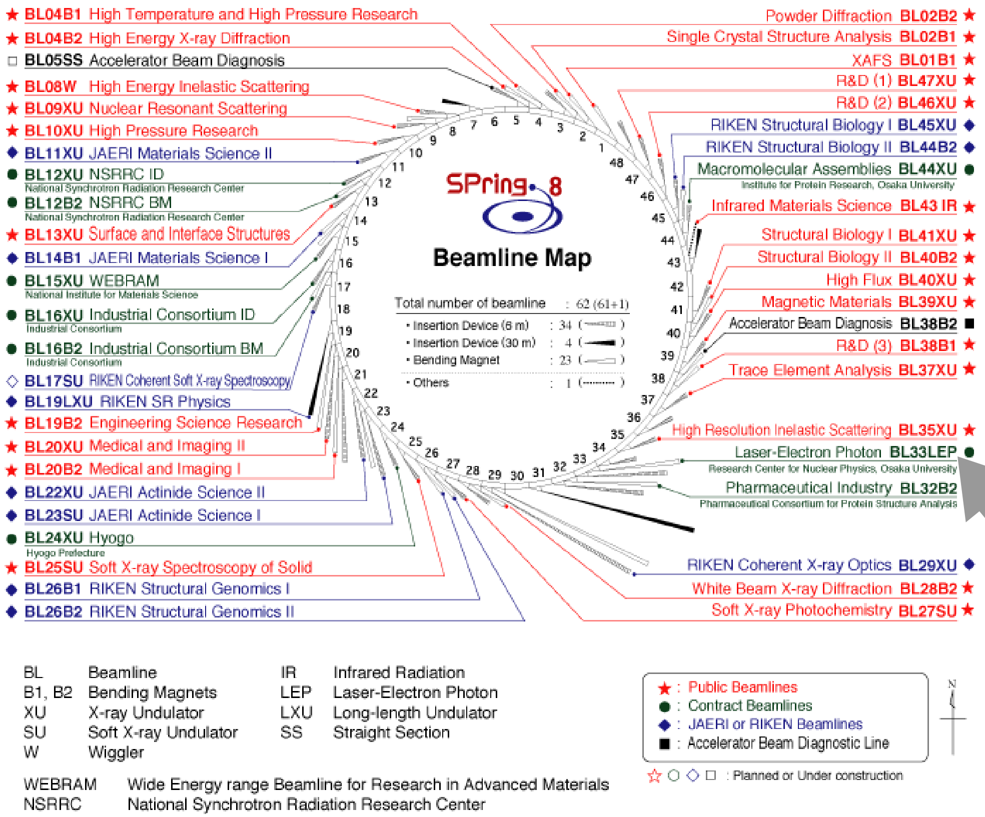
$\Xi^{--}_{3/2} \rightarrow \Xi^- \pi^-$

3. Przewidywana szerokość Ξ^{--} to 1.5 razy szerokość Θ^+

Eksperymenty, które znalazły pentakwarki

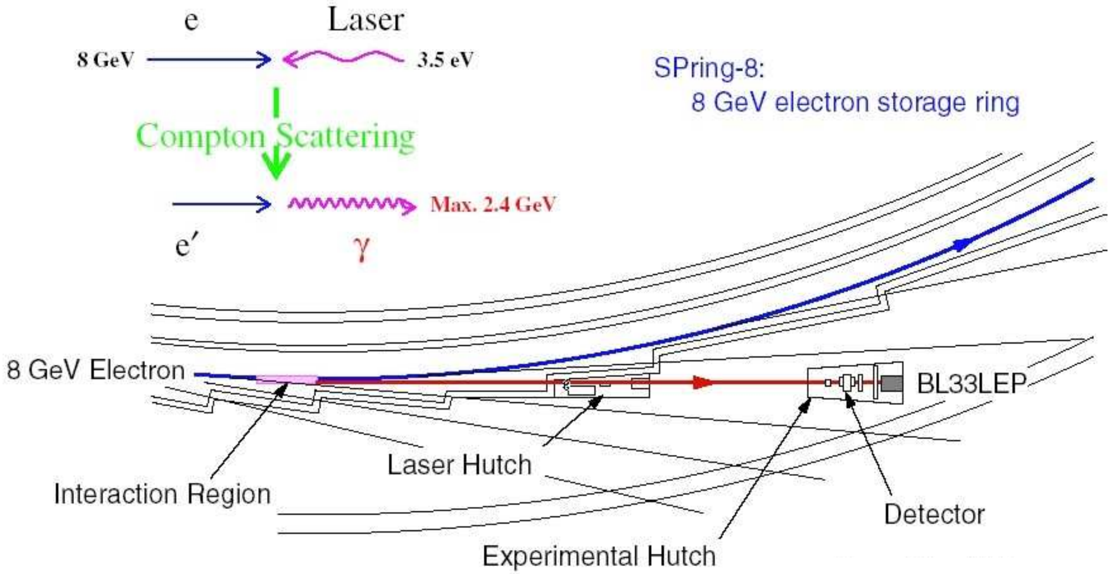
1. LEPS przy akceleratorze SPring-8 w Japonii
2. CLAS przy akceleratorze CEBAF w USA
3. DIANA przy akceleratorze ITEP w Rosji
4. SAPHIR przy akceleratorze ELSA w Niemczech
5. NA49 przy akceleratorze SPS w Szwajcarii

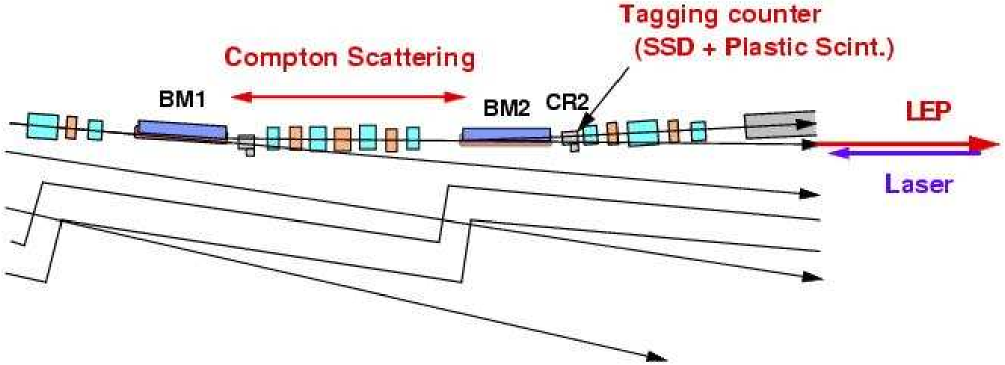
Eksperyment LEPS przy akceleratorze SPring-8 (Japonia)


★ BL04B1 High Temperature and High Pressure Research
★ BL04B2 High Energy X-ray Diffraction
□ BL05SS Accelerator Beam Diagnosis
★ BL08W High Energy Inelastic Scattering
★ BL09XU Nuclear Resonant Scattering
★ BL10XU High Pressure Research
◆ BL11XU JAERI Materials Science II
● BL12XU NSRRC ID
National Synchrotron Radiation Research Center
● BL12B2 NSRRC BM
National Synchrotron Radiation Research Center
★ BL13XU Surface and Interface Structures
◆ BL14B1 JAERI Materials Science I
● BL15XU WEBRAM
National Institute for Materials Science
● BL16XU Industrial Consortium ID
Industrial Consortium
● BL16B2 Industrial Consortium BM
Industrial Consortium
◇ BL17SU RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy
◆ BL19LXU RIKEN SR Physics
★ BL19B2 Engineering Science Research
★ BL20XU Medical and Imaging II
★ BL20B2 Medical and Imaging I
◆ BL22XU JAERI Actinide Science II
◆ BL23SU JAERI Actinide Science I
● BL24XU Hyogo
Hyogo Prefecture
★ BL25SU Soft X-ray Spectroscopy of Solid
◆ BL26B1 RIKEN Structural Genomics I
◆ BL26B2 RIKEN Structural Genomics II
Powder Diffraction BL02B2 ★
Single Crystal Structure Analysis BL02B1 ★
XAFS BL01B1 ★
R&D (1) BL47XU ★
R&D (2) BL46XU ★
RIKEN Structural Biology I BL45XU ◆
RIKEN Structural Biology II BL44B2 ◆
Macromolecular Assemblies BL44XU ●
Institute for Protein Research, Osaka University
Infrared Materials Science BL43 IR ★
Structural Biology I BL41XU ★
Structural Biology II BL40B2 ★
High Flux BL40XU ★
Magnetic Materials BL39XU ★
Accelerator Beam Diagnosis BL38B2 ■
R&D (3) BL38B1 ★
Trace Element Analysis BL37XU ★
High Resolution Inelastic Scattering BL35XU ★
Laser-Electron Photon BL33LEP ●
Research Center for Nuclear Physics, Osaka University
Pharmaceutical Industry BL32B2
Pharmaceutical Consortium for Protein Structure Analysis
RIKEN Coherent X-ray Optics BL29XU ◆
White Beam X-ray Diffraction BL28B2 ★
Soft X-ray Photochemistry BL27SU ★
SPring-8
Beamline Map
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48
Total number of beamline : 62 (61+1)
• Insertion Device (6 m) : 34
• Insertion Device (30 m) : 4
• Bending Magnet : 23
• Others : 1
BL Beamline
B1, B2 Bending Magnets
XU X-ray Undulator
SU Soft X-ray Undulator
W Wiggler
IR Infrared Radiation
LEP Laser-Electron Photon
LXU Long-length Undulator
SS Straight Section
WEBRAM Wide Energy range Beamline for Research in Advanced Materials
NSRRC National Synchrotron Radiation Research Center
★ : Public Beamlines
● : Contract Beamlines
◆ : JAERI or RIKEN Beamlines
■ : Accelerator Beam Diagnostic Line
☆ ○ ◇ □ : Planned or Under construction
N

Jak powstaje wiązka fotonów dla ekperymentu LEPS?

8 GeV elektrony dostarczane przez akcelerator SPring-8

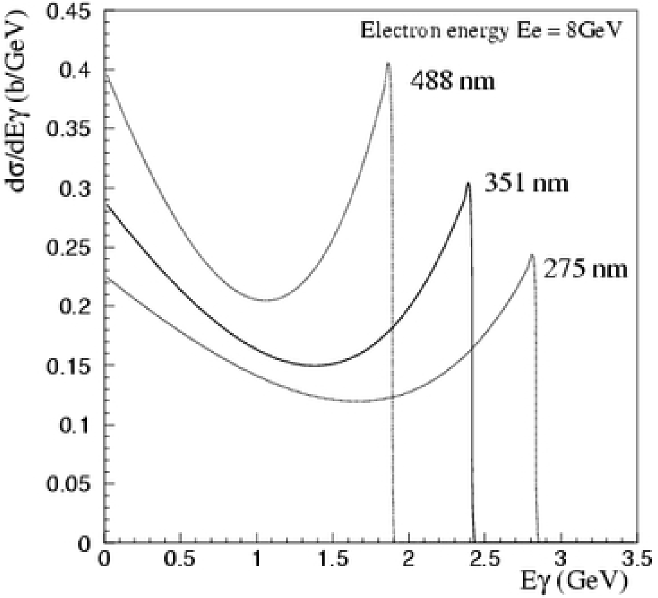

e
Laser
8 GeV
3.5 eV
Compton Scattering
Max. 2.4 GeV
e′
γ
SPring-8:
8 GeV electron storage ring
8 GeV Electron
BL33LEP
Laser Hutch
Interaction Region
Detector
Experimental Hutch

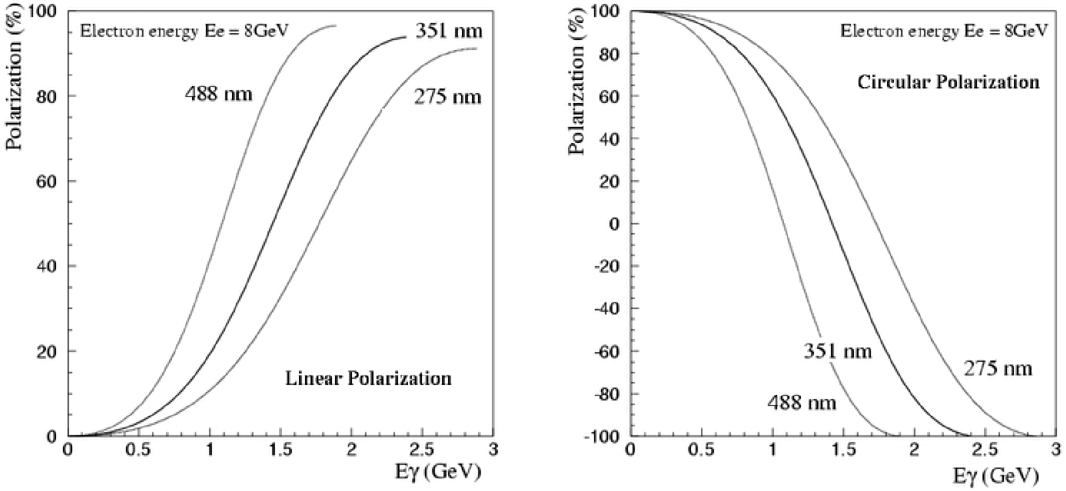

Tagging counter
(SSD + Plastic Scint.)
Compton Scattering
BM1
BM2
CR2
LEP
Laser

typowy przepływ
fotonów: 10^6/s

Własności wiązki fotonowej dla LEPS

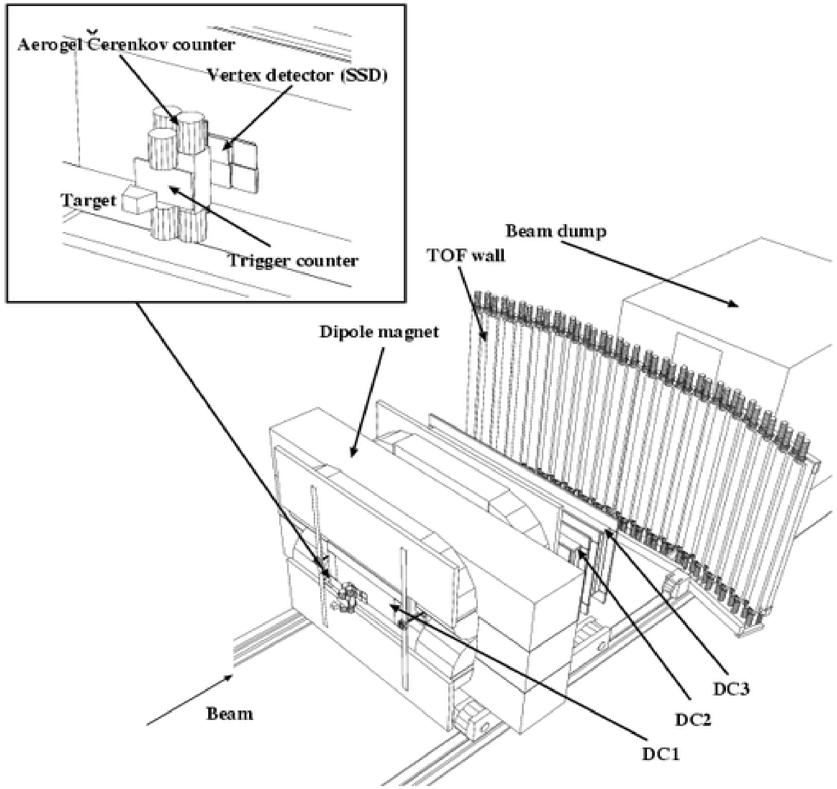
Różniczkowy przekrój czynny
na proces BCS dla różnych długości
fali lasera (Ar)





stopień polaryzacji rozproszonych
fotonów otrzymany dla 100%
polaryzacji fotonów z lasera

Spektrometr LEPS


Aerogel Čerenkov counter
Vertex detector (SSD)
Target
Trigger counter
Beam dump
TOF wall
Dipole magnet
Beam
DC3
DC2
DC1

- Naładowane cząstki w przednich kątach ±0.4 rad w poziomie i ±0.2 rad w pionie
- Tarcza (SC)- 0.5 cm scyntylator C:H ≈ 1:1
- DC1, DC2, DC3 - komory dryfowe
- Magnes dipolowy (0.7 T)
- Detektory czasu przelotu TOF

Własności spektrometru LEPS

- Pomiar pędu: detektor wierzchołka + komory dryfowe
- Rozdzielczość pędowa dla 1 GeV/c-owych cząstek - około 6 MeV/c
- Identyfikacja: TOF dla cząstek o zmierzonym pędzie
- Rozdzielczość TOF to 150 psec dla 4m (odległość tarczy od TOF)
- Pomiar masy z dokładnością 30 MeV/c^2 dla 1 GeV/c-owego kaonu

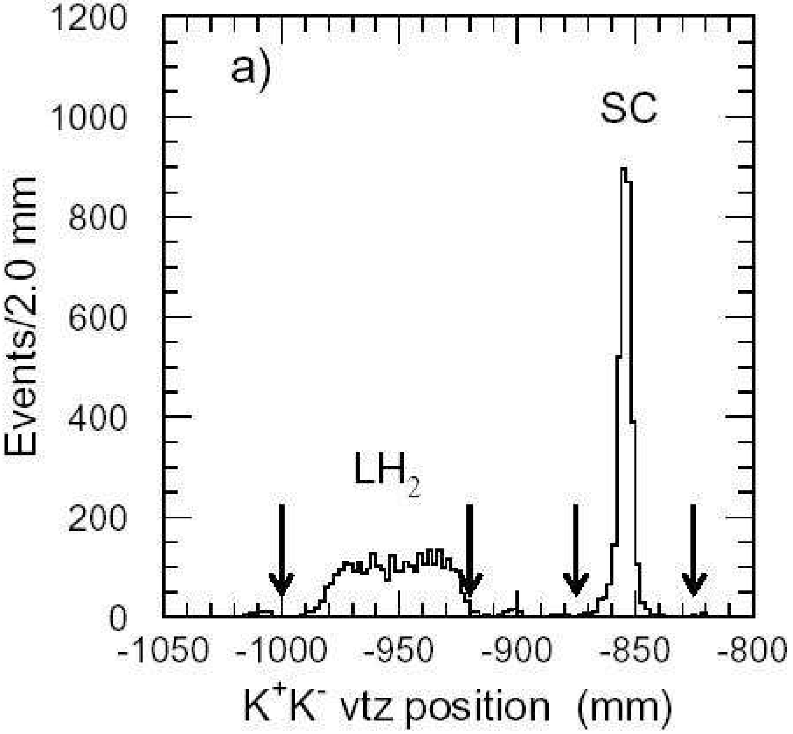
LEPS: $\gamma\, n \rightarrow K^- \Theta^+ \rightarrow K^- K^+ n$

- Wiązka kwantów gamma o energii 1.5-2.35 GeV, tarcza węglowa

- Pomiar obu kaonów do przodu, produkcja w tarczy (SC)

- Cięcie na pozycję wierzchołka (rys.)

- Cięcie na brakującą masę reakcji $N(\gamma, K^+K^-)X$ to $0.90 < MM_{\gamma, K+K-} < 0.98$



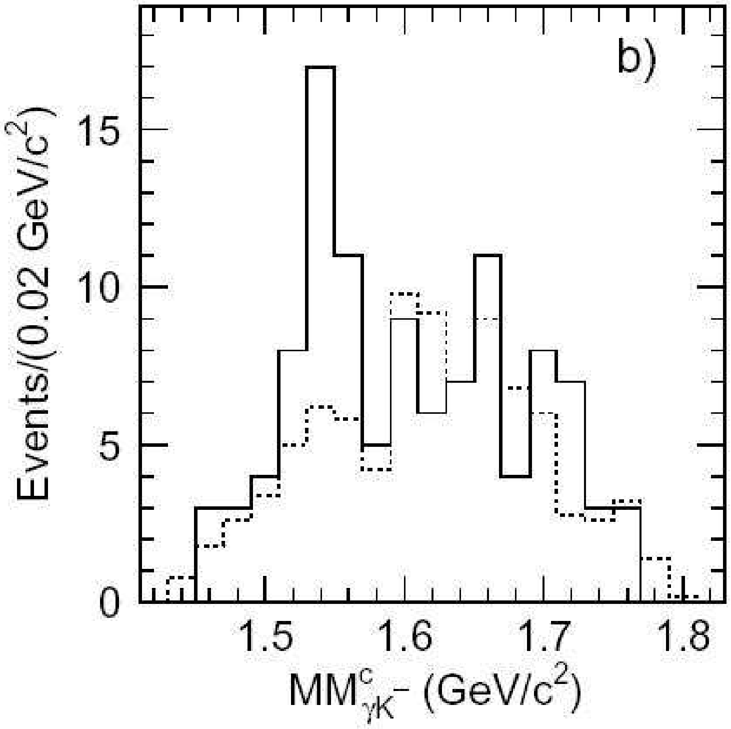
Eliminacja tła i poprawki - cd.

- Od fotoprodukcji mezonu ϕ, cięcie na masę niezmienniczą układu K^+K^- od 1.00 do 1.04 GeV/c^2
- Od foto-jądrowych reakcji $\gamma\, p \rightarrow K^-\, K^+\, p$
- ***Ostatecznie 109 przypadków z 4.3•10^7 zarejestrowanych przez LEPS***
- Ruch Fermiego w jądrze + energia wiązania nukleonu w jądrze ^{12}C wpływa na kształt widma brakującej masy. Poprawiona brakująca masa dana jest wzorem:

$$MM^{c}_{\gamma,K-} = MM_{\gamma,K-} - MM_{\gamma,K+K-} + M_N$$

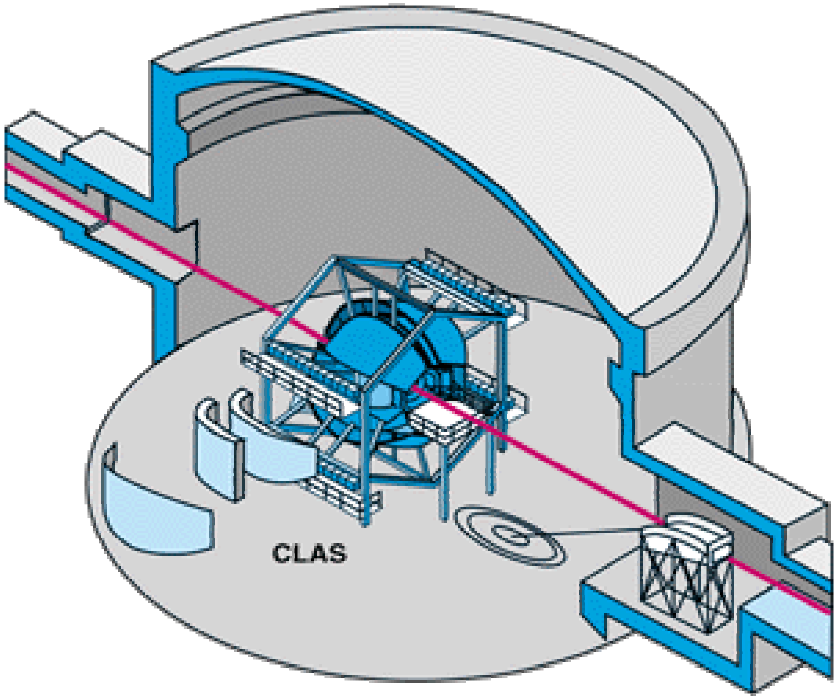
LEPS - wyniki

- Poprawiony rozkład brakującej masy
- Kreskowane tło - nie-rezonansowa produkcja par K^+K^-



- Sygnał - tło = 19 przypadków, sygnał na poziomie 4.6 σ
- Widmo w obszarze 1.47 - 1.61 GeV/c^2 porównane z symulacjami MC (+ Breit-Wigner) daje masę: 1.54 ± 0.01 GeV/c^2
- Szerokość (Γ) mniejsza niż 25 MeV/c^2

Eksperyment CLAS przy akceleratorze CEBAF w Jefferson Lab (USA)



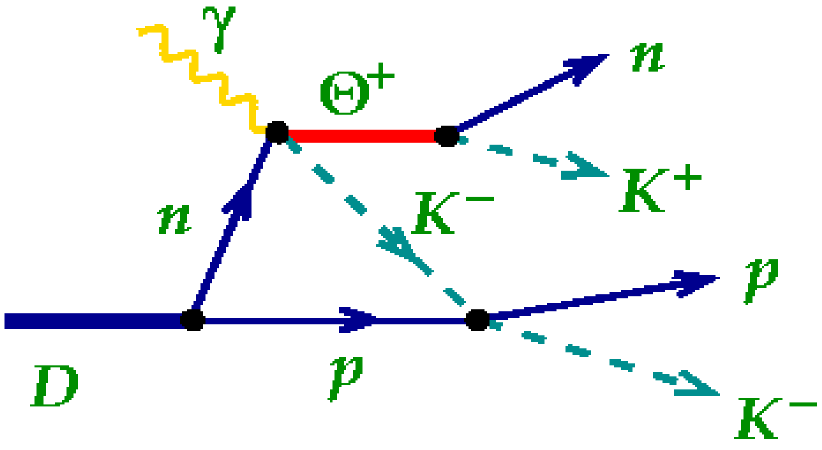
- Wiązka fotonów - elektrony z CEBAF zderzane z tarczą, promieniowanie hamowania
- Przepływ fotonów 4 10^6 /s
- Identyfikacja: pęd i ładunek w komorach dryfowych + TOF

CLAS - 2 sposoby na pentakwarki

- Fotoprodukcja na deuterze
- Fotony wyprodukowane przez 2.474 oraz 3.115 GeV-owe elektrony
- Tarcza z ciekłego deuteru
- $\gamma\, d \rightarrow p\, K^{-}\, K^{+}\, n$
- Mechanizm podobny do LEPS

- Fotoprodukcja na protonach
- Fotony wyprodukowane przez 4.1 oraz 5.5 GeV-owe elektrony
- Tarcza z ciekłego wodoru
- $\gamma\, p \rightarrow \pi^{+}\, K^{-}\, K^{+}\, n$

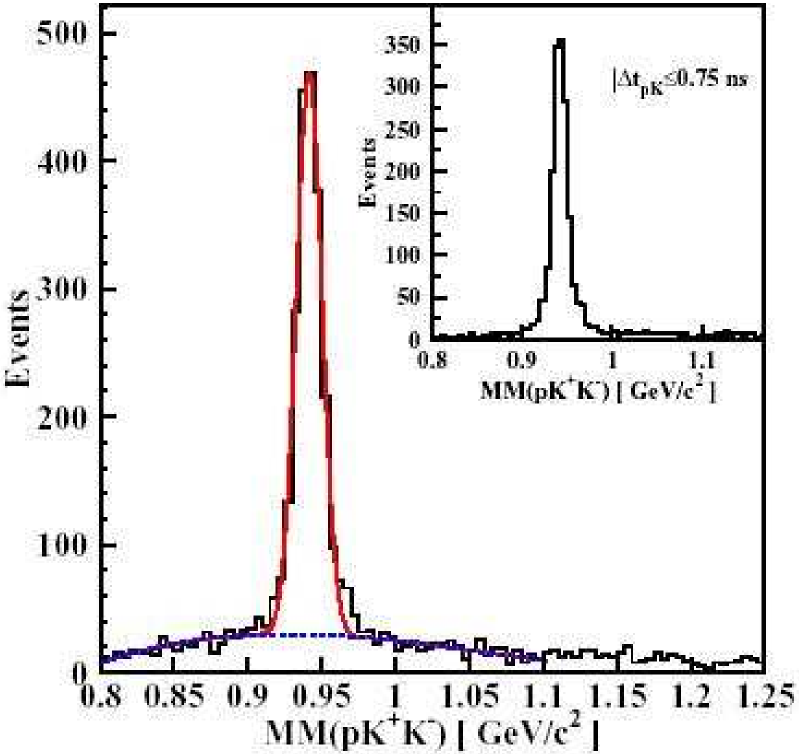
CLAS: $\gamma\, d \rightarrow p\, K^- \Theta^+ \rightarrow p\, K^- K^+ n$



- Pomiar: widmo układu cząstek K^+ n
- Rekonstrukcja neutronu - z brakującej energii i pędu
- Tylko przypadki z protonem uczestnikiem (mniejszy przekrój ale i mniejsze tło, łatwiejsza detekcja K^-, nie wymagane poprawki Fermiego)

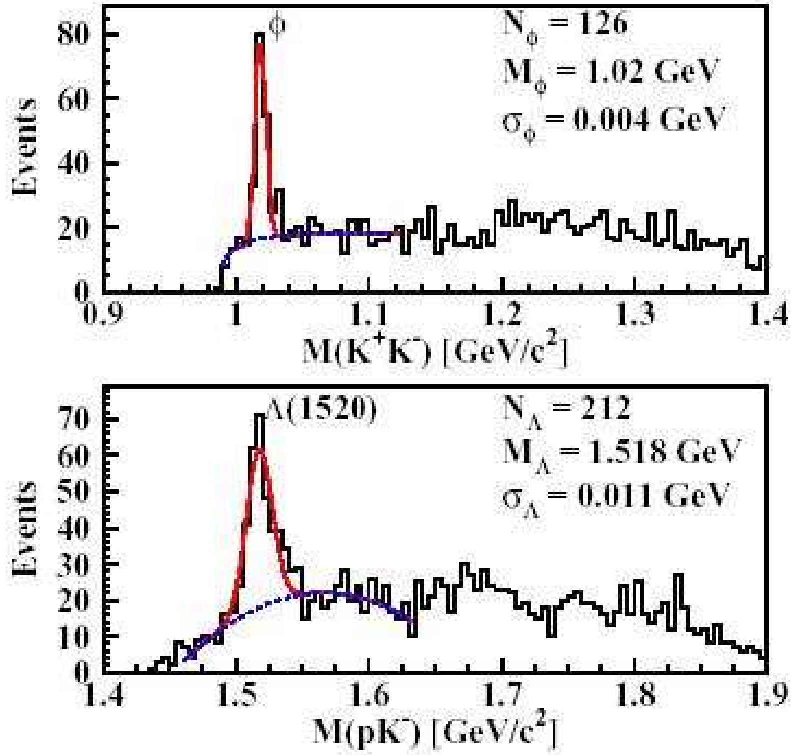
Selekcja przypadków

- Pomiar p, K^- , K^+ i nic innego naładowanego w stanie końcowym
- Cięcia na koincydencje czasowe dla fotonów, protonów i kaonów
- Brakująca masa neutronu (rys.)
- Do dalszej analizy ± 3σ wokół neutronu

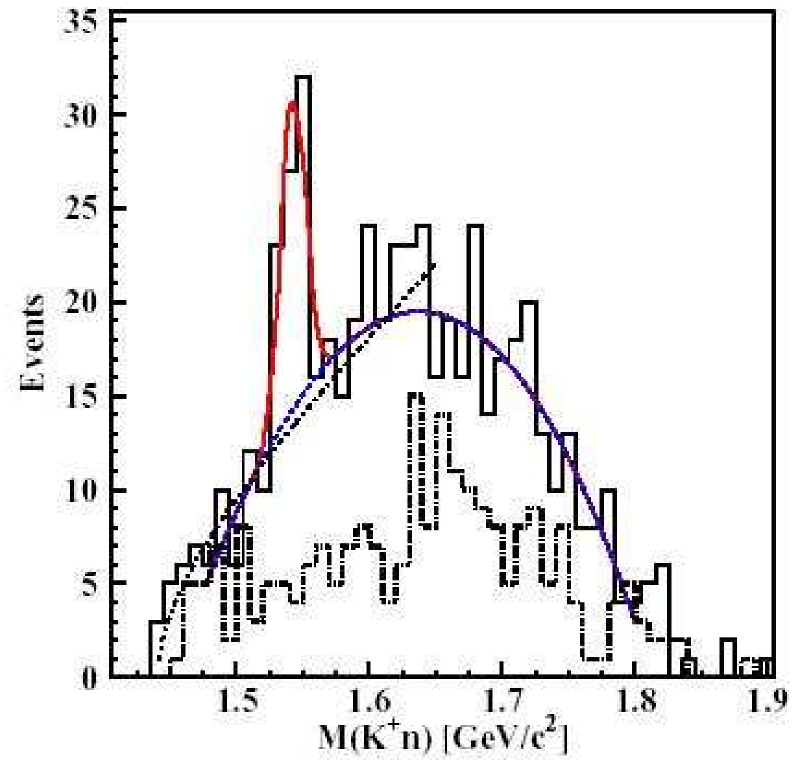


Eliminacja tła - cd.

- Od fotoprodukcji mezonu ϕ, cięcie na masę niezmienniczą $M(K^+K^-) > 1.07\ GeV/c^2$
- Od fotoprodukcji wzbudzonych hiperonów $\gamma\, p \rightarrow K^+ \Lambda^* \rightarrow K^+\, p\, K^-$ odrzucenie przypadków z $1.49 < M(pK^-) < 1.54\ GeV/c^2$ dla Λ^* (1520) oraz $1.66 < M(pK^-) < 1.71\ GeV/c^2$ dla Λ^* (1670, 1690)
- Pęd neutronu > 70 MeV/c
- Pęd $K^+ < 1.0$ GeV/c

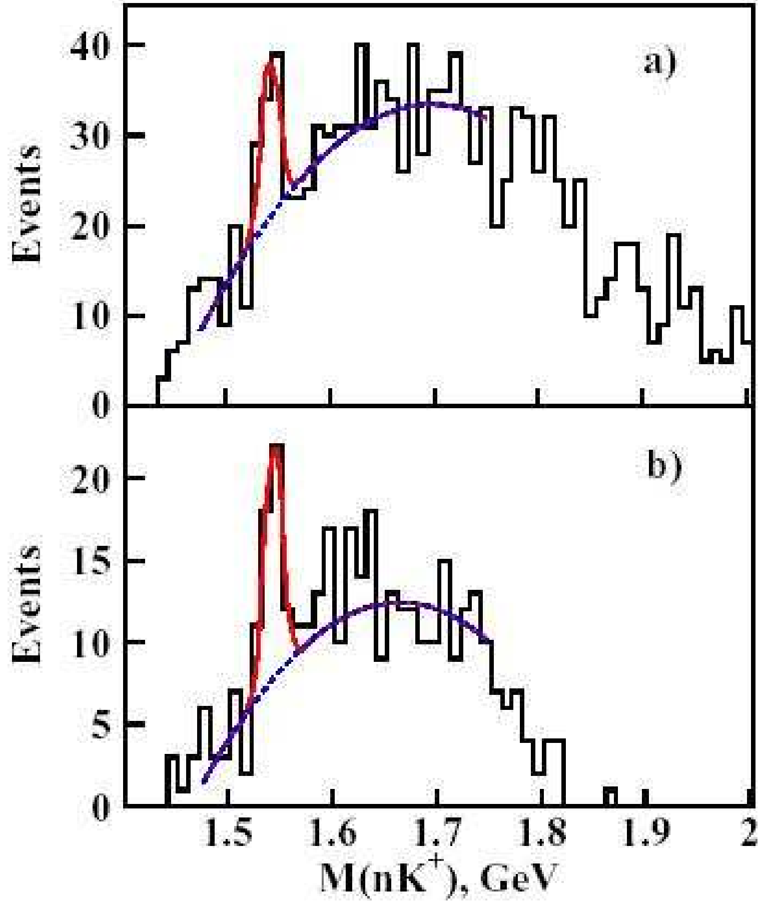


CLAS - wyniki



- Kreskowane tło - przypadki wyrzucone cięciem na Λ^* (1520)
- Maksimum w pobliżu 1.543 GeV/c^2
- Szerokość FWHM = 22 MeV/c^2 (zgodna z rozdzielczością CLAS)
- Sygnał na poziomie 5.4σ
- Sygnał pozostaje po zmianie cięć ----->

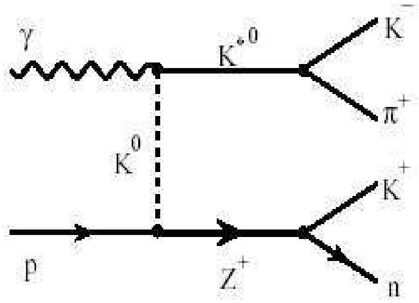
CLAS - stabilność wyniku

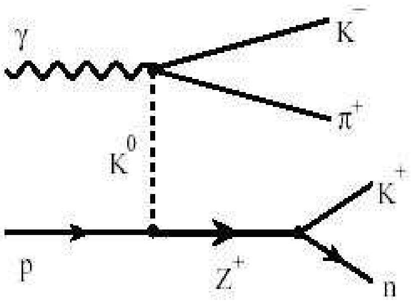


- a) tylko identyfikcja i pozbycie się neutronów o niskim pędzie, sygnał na poziomie 4.6σ
- b) normalne kryteria selekcji ale $\Delta t_{pK} < 0.75$ ns, sygnał na poziomie 5.9σ

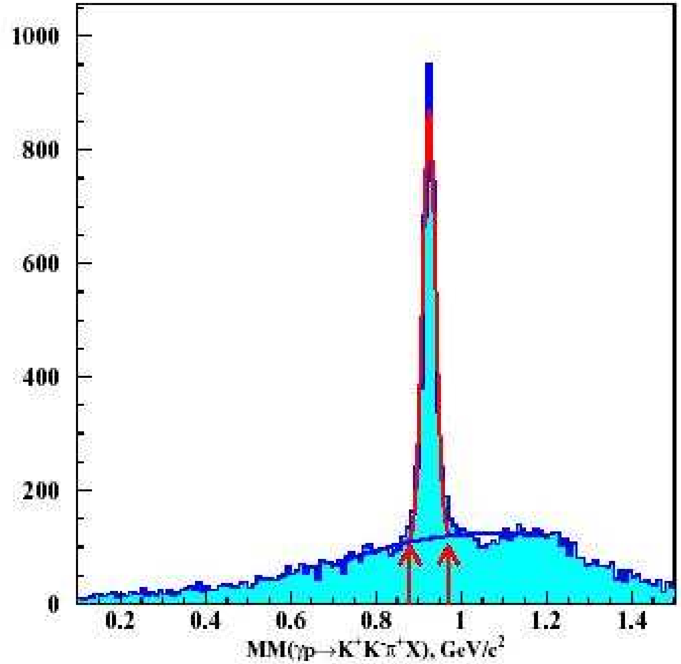
CLAS: $\gamma\, p \to \pi^+ K^- \Theta^+ \to \pi^+ K^- K^+ n$

- Wiązka fotonów o energiach 3-5.25 GeV
- Pomiar: widmo układu cząstek $K^+ n$


γ
K^{*0}
K^-
π^+
K^0
K^+
p
Z^+
n

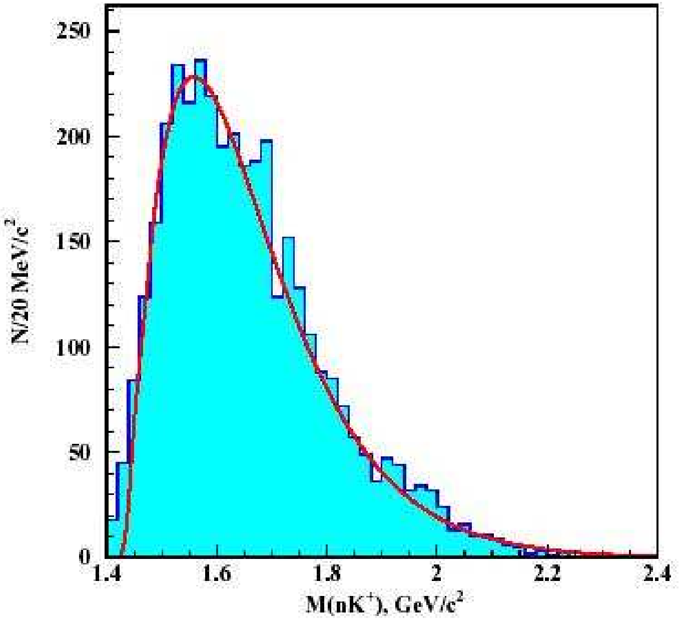

γ
K^-
π^+
K^0
K^+
p
Z^+
n

- Rekonstrukcja neutronu - z brakującej energii i pędu, cięcie ± 3σ wokół neutronu



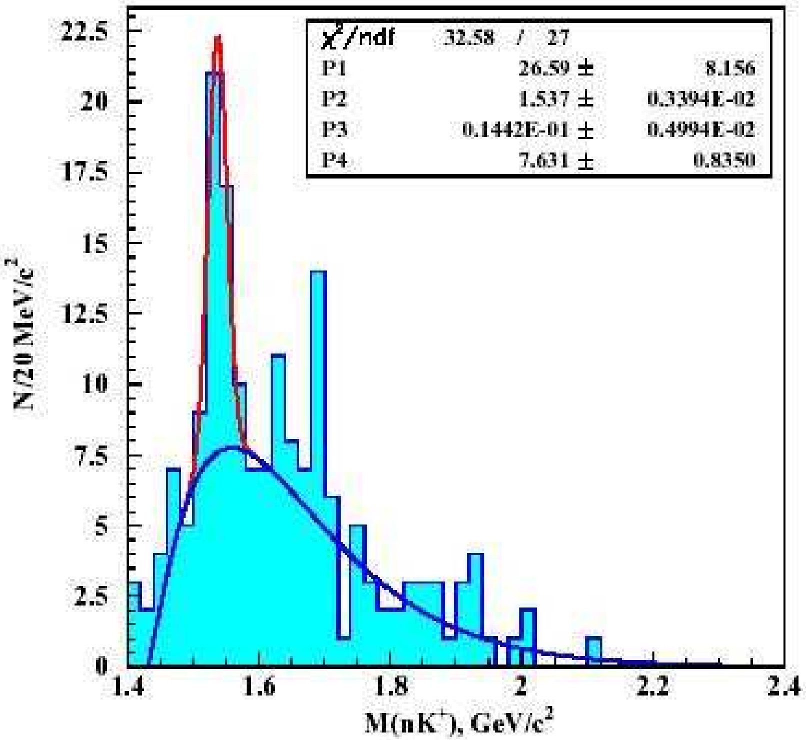
Eliminacja tła - cd.

- Od fotoprodukcji mezonu ϕ, cięcie na masę niezmienniczą $M(K^+K^-) > 1.040$ GeV/c^2 po tym cięciu rozkład:



- Para π^+ K^- - najczęściej kierunek wiązki, para K^+ n - przeciwny
- 80% przypadków z cosθ < 0.5, gdzie θ - kąt między parą π^+ K^- a fotonem wiązki
- Do dalszej analizy przypadki z cosθ > 0.5 (para π^+ K^- do przodu)

CLAS - wyniki



- Masa: 1.54 ± 0.01 GeV/c^2
- Szerokość FWHM = 32 MeV/c^2
- Sygnał na poziomie 4.8 ± 0.4 σ

Eksperyment DIANA przy synchrotronie protonowym w ITEP (Rosja)

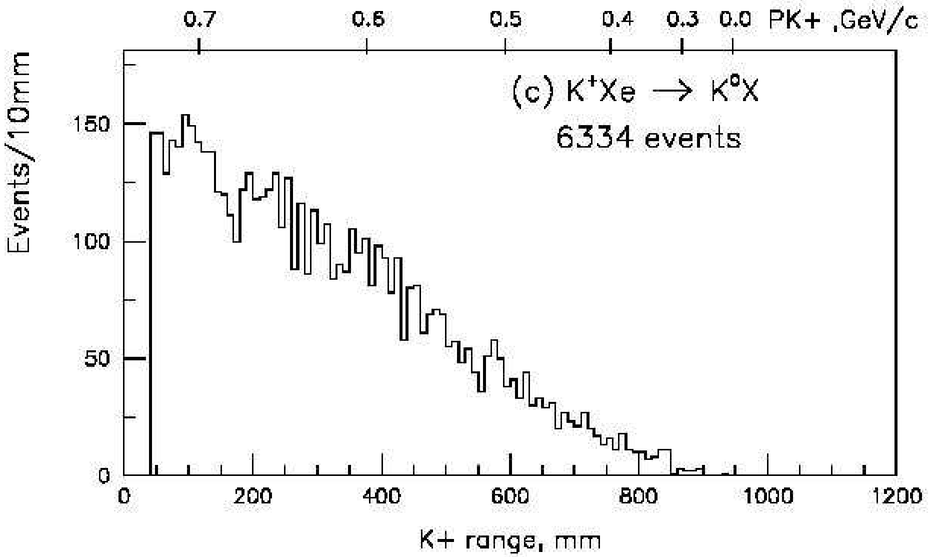
- Dane z komory pęcherzykowej
- $K^+ n \rightarrow K^0 p$, gdzie n jest zwiazany a jądrze Xe
- Badane widmo masy układu $K^0 p$
- Reakcja nisko-energetyczna
- Wiązka K^+ o pędzie 850 MeV/c z synchrotronu

Własności komory pęcherzykowej DIANA

- Wymiary 70 x 70 x 140 cm^3
- Wypełnienie: ciekły Xe
- Monitorowana przez kamery fotograficzne
- Brak pola magnetycznego

- Naładowane cząstki
- Identyfikcja cząstek: straty jonizacyjne
- Pęd cząstek: zasięg w Xe
- Pęd wiązki K^+ : zasięg w Xe (dokładność pomiaru dla pędów 450-550 MeV/c to 20 MeV/c)

Zasięg wiązki K^+

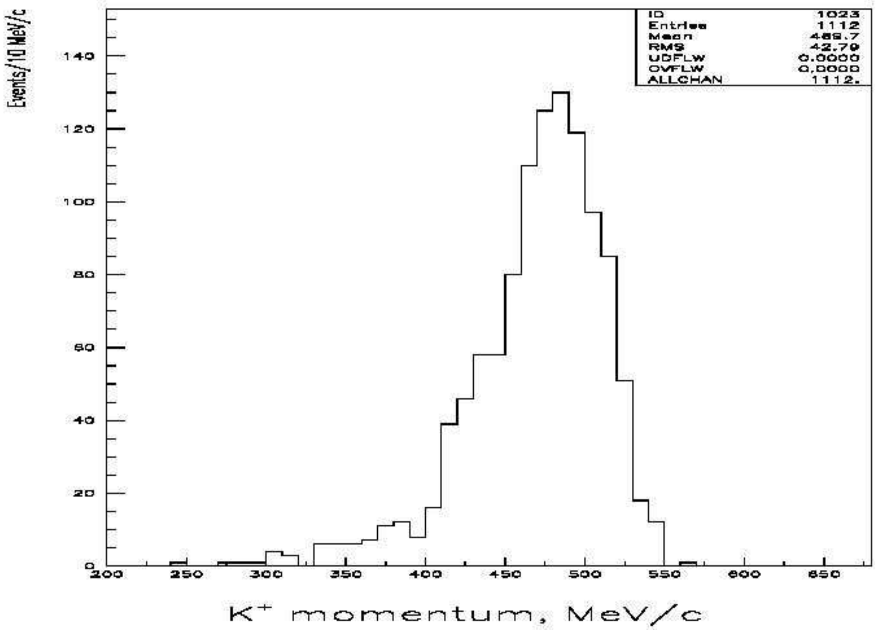


- Zasięg cząstki dla reakcji $K^+ Xe \rightarrow K^0 X$
- Uwzględnione przypadki z K^0_S (mierzone przez $\pi^+\pi^-$ oraz $\pi^0\pi^0$) i K^0_L (brak obserwacji cząstek dziwnych w stanie końcowym)
- Górna oś: pęd K^+

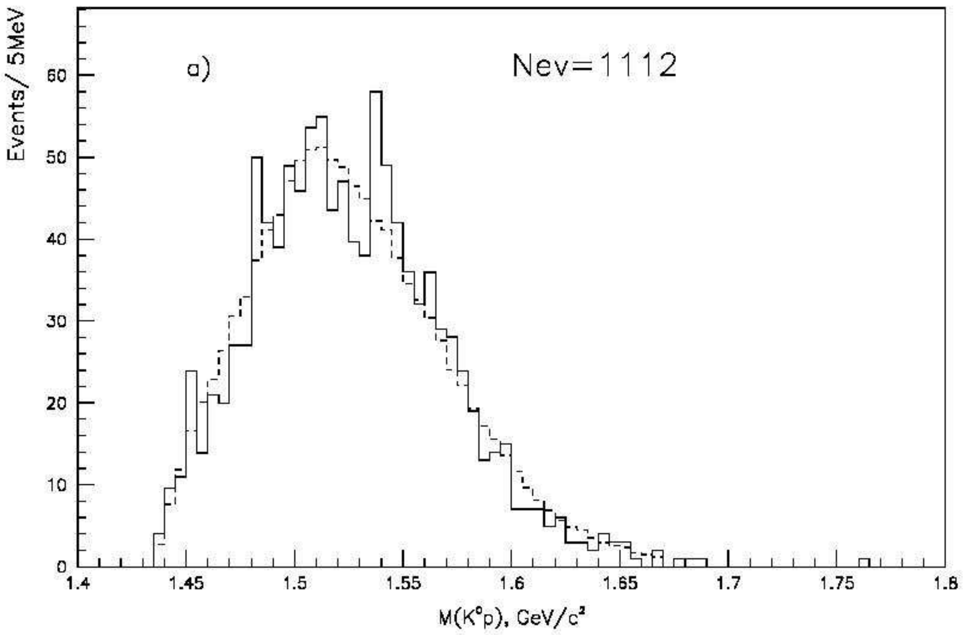
DIANA: $K^+ n(Xe) \to \Theta^+ (Xe') \to K^0 p\ (Xe')$

- Pomiar: widmo masy układu K^0 p
- Tylko przypadki z protonem i z K^0_S (-> $\pi^+\pi^-$) w stanie końcowym
- Odległość między głównym wierzchołkiem a wierzchołkiem K^0_S > 2.5 mm
- Pęd p > 180 MeV/c, pęd K^0_S > 170 MeV/c

- Pęd K^+ po selekcji przypadków $K^+ Xe \to K^0 p\ Xe'$



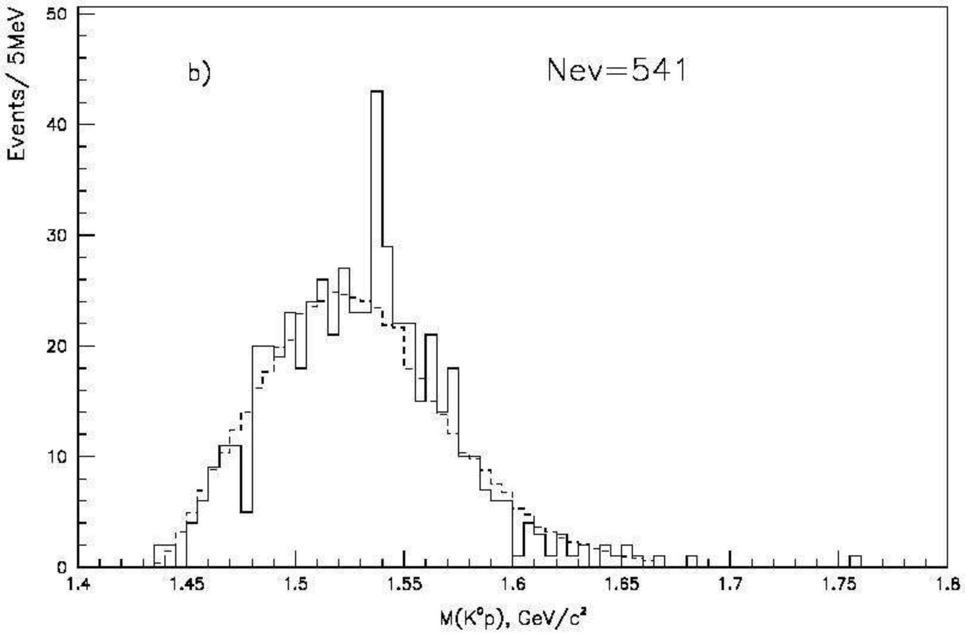
Eliminacja tła - cd.



- Dla wszystkich przypadków, sygnał na poziomie 2.6 σ
- Kreskowany - tło liczone przy użyciu symulacji (uwzględniają m.in. nie-rezonansową produkcję pary, rozkład pędu wiązki, ruch Fermiego, en. wiązania nukleonów w Xe, warunki eksperymentalne itp.)

DIANA - wyniki

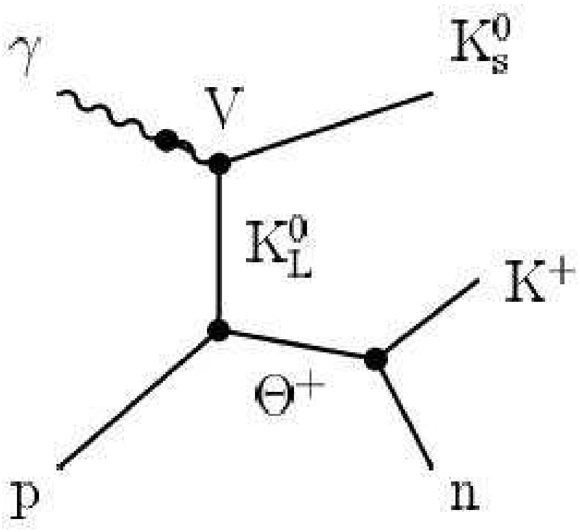
- Jedynie przypadki, gdzie cząstki K^0 p nie są rozpraszane w materii jądrowej (zgodnie z symulacjami $\theta_p<100^0$ i $\theta_{K0}<100^0$ w stosunku do wiązki oraz $\cos\phi_{(p,K0)}< 0$ - kąt azymutalny)
- Masa: 1.539 ± 0.002 GeV/c^2
- Szerokość $\Gamma \leqslant 9$ MeV/c^2
- Sygnał na poziomie 4.4σ



Eksperyment SAPHIR przy akceleratorze ELSA (Niemcy)

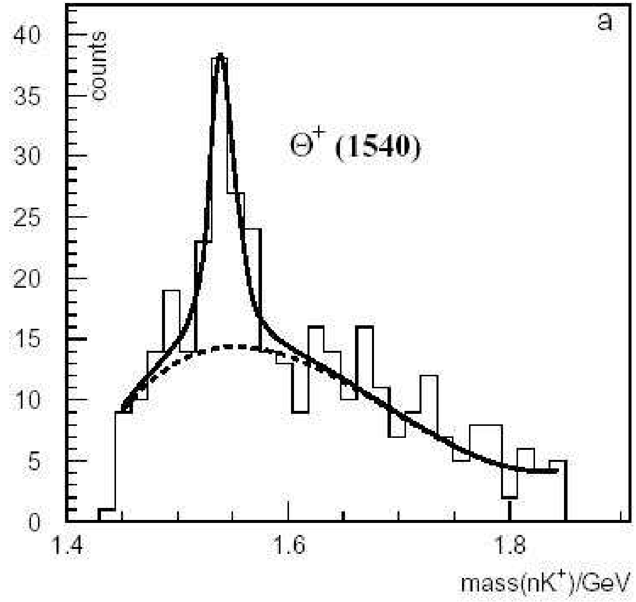
- Spektrometr magnetyczny
- Wiązka elektronów z akceleratora ELSA (w analizie o energii 2.8 GeV)
- Wiązka fotonów - promieniowanie hamowania na miedzianej foli
- Tarcza z ciekłego wodoru (3 x 8 cm) w środku centralnej komory dryfowej
- Pomiar pędu i ładunku - pole magnetyczne ($\Delta p/p$ =1-2.5% dla 300 MeV/c cząstek)
- Ściany scyntylatorów TOF

SAPHIR: $\gamma p \rightarrow \Theta^+ K^0_s \rightarrow n K^+ \pi^+\pi^-$



- Zestaw cięć kinematycznych
- Identyfikcja naładowanych - TOF, identyfikcja n - prawa zachowania energii i pedu
- $480 < M(\pi^+\pi^-) < 518$ MeV
- $\cos\theta_{K0} > 0.5$ kąt między K^0_s a wiązką, częstsza produkcja kaonu do przodu

SAPHIR - wyniki

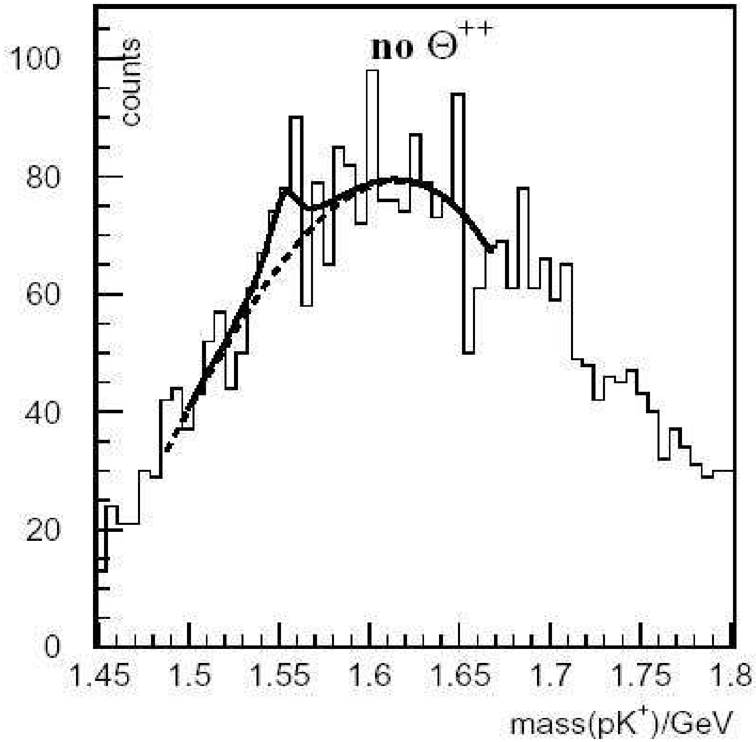


- Ciągła linia - dopasowanie używając funkcji Breit-Wigner'a + symulacji Monte Carlo
- Masa: 1.540 ± 0.004 ± 0.002 GeV/c^2
- Szerokość $\Gamma < 25$ MeV/c^2
- Sygnał na poziomie 4.8σ

Izospin cząstki Θ^+

- Jeśli Θ^+ jest cząstką z anty-dekupletu barionów to według przewidywań I=0
- Konwencjonalne wyjaśnienie interpretuje Θ^+ jako związany stan NK
- Jeśli izospin = 1 to mamy 3 stany ładunkowe: Θ^0 Θ^+ Θ^{++}
- W szczególności możliwe $\Theta^{++} \rightarrow p K^+$
- Widmo $M(pK^+)$ badane przez CLAS - brak ostatecznych konkluzji ale raczej izospin = 0

SAPHIR: $\gamma p \rightarrow \Theta^{++} K^{-} \rightarrow p K^{+} K^{-}$



- $\cos\theta_{K-} > 0.5$ kąt między K^{-} (analogia do poprzednich)
- Bardzo mały sygnał 75 ± 35 przypadków, czy to wystarczy?

Czy sygnał Θ^{++} jest wystarczający?

1. Współczynniki Clebsch-Gordan'a faworyzują Θ^{++} nad Θ^{+} o czynnik 3 (dla I=2) lub 4 (dla I=1)
2. Stan końcowy K^+K^- oferuje eksperymentalnie dodatkowy czynnik 3 (brak pomiaru K^0_L ,obserwacja K^0_s z prawdopodobieństwem 2/3)
3. Akceptancja SAPHIR jest znacznie większa dla przypadków z pK^+K^- w stanie końcowym

Ostatecznie oczekuje się maksimum z więcej niż 5000 Θ^{++}

↓

Θ^{+} jest izoskalarem

Podsumowanie wyników dla cząstki Θ^+

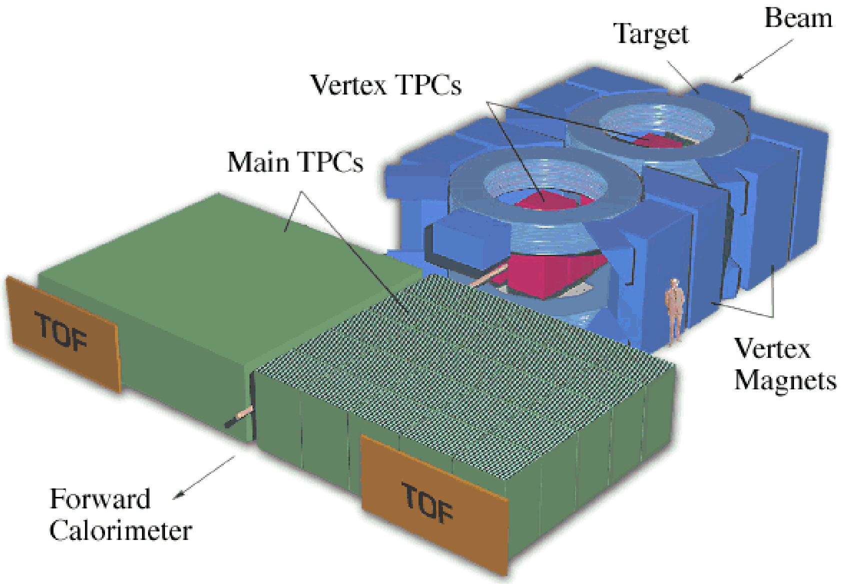
1. Rezonans barionowy o składzie kwarkowym (uudd sbar), najlżejszy członek anty-dekupletu barionów
2. I = 0 (izoskalar), S = +1
3. bardzo mała szerokość

	kanał	sygnał	M [GeV/c²]	[MeV/c²]
LEPS	$\gamma\, n \rightarrow K^{-} \boldsymbol{K^{+} n}$	$4.6\ \sigma$	1.54 ± 0.01	$\Gamma < 25$
CLAS	$\gamma\, d \rightarrow p\, K^{-} \boldsymbol{K^{+} n}$	$5.4 \pm 0.6\ \sigma$	1.543 ± 0.005	FWHM = 25
CLAS	$\gamma\, p \rightarrow \pi^{+} K^{-} \boldsymbol{K^{+} n}$	$4.8 \pm 0.4\ \sigma$	1.537 ± 0.01	FWHM = 32
DIANA	$K^{+} n \rightarrow \boldsymbol{K^{0} p}$	$4.4\ \sigma$	1.539 ± 0.002	$\Gamma <= 9$
SAPHIR	$\gamma\, p \rightarrow \pi^{+} \pi^{-} \boldsymbol{K^{+} n}$	$4.8\ \sigma$	1.540 ± 0.004	$\Gamma < 25$

A co z pozostałymi cząstkami anty-dekupletu barionów?

Eksperyment NA49 przy akceleratorze SPS w CERN (Szwajcaria)

- p+p, energia pocisku 158 GeV (sqrt(s) = 17.2 GeV)
- Tarcza - cylinder z ciekłym wodorem


Beam
Target
Vertex TPCs
Main TPCs
TOF
TOF
Vertex Magnets
Forward Calorimeter

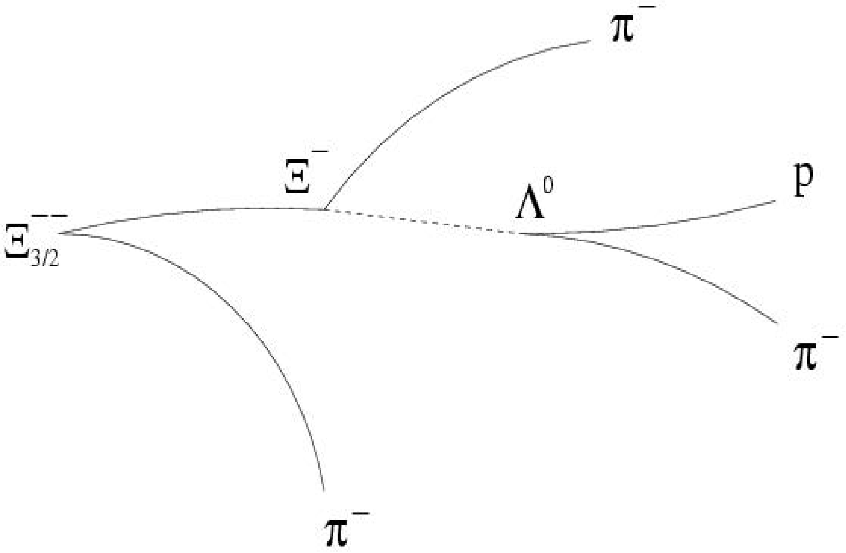
- Spektrometr hadronowy
- VTPC1 (pole 1.5 T), VTPC2 (pole 1.1 T), MTPCR, MTPCL - komory projekcji czasowej
- TOF, zestaw kalorymetrów
- Pomiar pędu - polu magnetycznym
- Identyfikacja - dE/dx (lub TOF), rozdzielczość dE/dx 3-6%

NA49: poszukiwanie członków kwartetu izospinowego $\Xi_{3/2}$ (obserwowane w eks. $\Xi^{--}_{3/2}$ oraz $\Xi^{0}_{3/2}$)

- Multiplet o dziwności S = -2
- Przewidywana masa 2.070 GeV/c^2 i szerokość rozpadu na $\Xi\ \pi$ 0.040 GeV/c^2 (D. Diakonov, V. Petrov, M. Polyakov)
- Skład: $\Xi^{--}_{3/2}$(egz. dsds ubar) $\Xi^{-}_{3/2}$(dsus ubar) $\Xi^{0}_{3/2}$ (dsus dbar) $\Xi^{+}_{3/2}$(egz. usus dbar)
- Przewidywana masa około 1.750 GeV/c^2 i szerokośc 1.5 x szerokość Θ^+ (R.Jaffe, F. Wilczek)

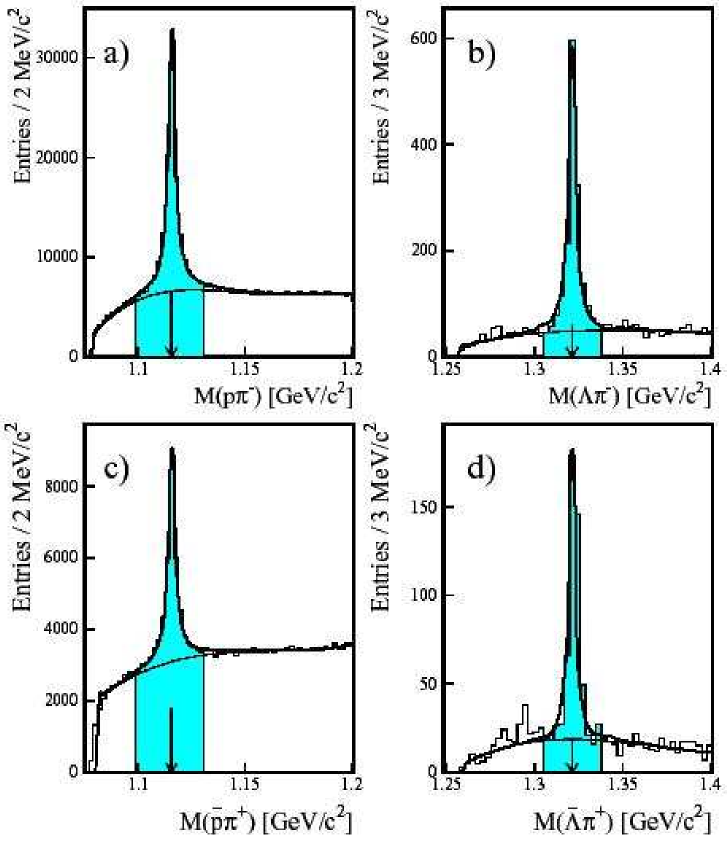
Poszukiwanie w kanale $\Xi^{-}\pi^{-}$

- Pomiar masy niezmienniczej układu



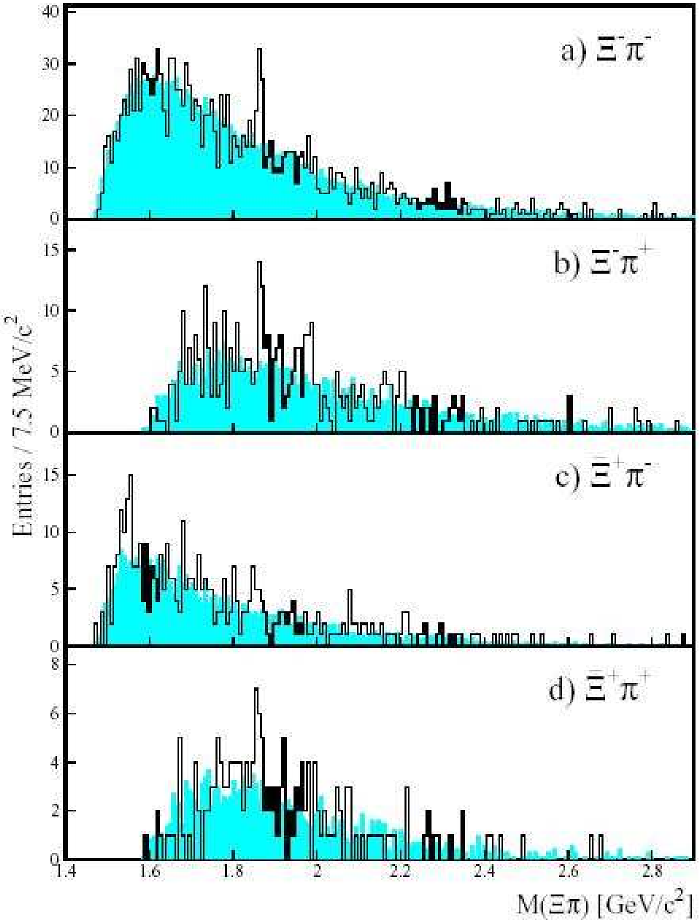
- Cięcie na pozycję głównego wierzchołka p+p
- Identyfikacja: dla pionów i protonów dE/dx $\pm 3\sigma$ wokól nominalnej wartości dla Bethe-Bloch'a
- Badanie widm układów: $p\pi^{-}$, $\Lambda^{0}\pi^{-}$, $\Xi^{-}\pi^{-}$
- Szereg cięć, m.in. odległości między wierzchołkami oddziaływań
- Analogicznie dla antycząstek

Eliminacja tła



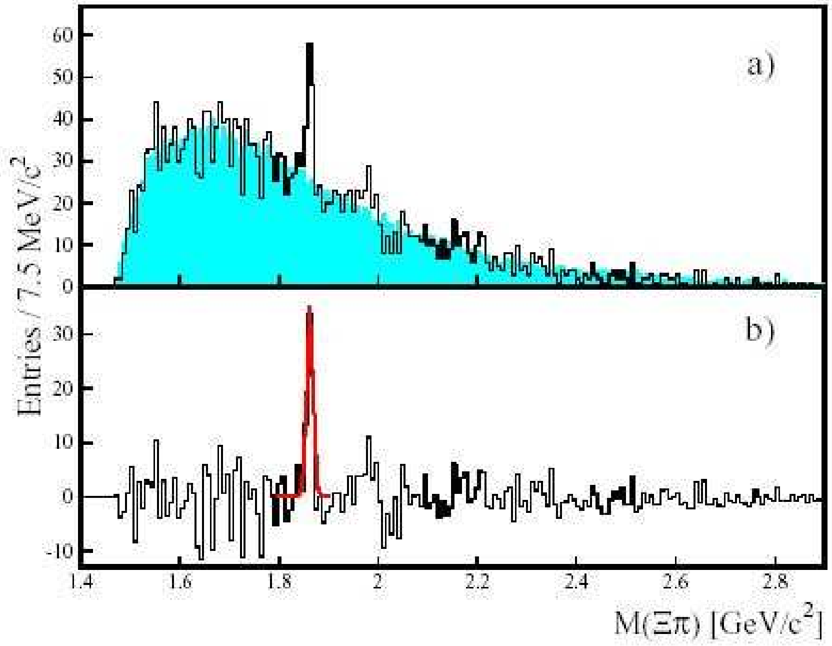
- Strzałki - nominalna pozycja poszukiwanych cząstek
- a) i b) poszukiwanie Ξ^-
- c) i d) poszukiwanie antyΞ^+
- Obszary niebieskie - brane do dalszej analizy

NA49 - wyniki



- a) - kandydat na $\Xi^{--}_{3/2}$, sygnał na poziomie 4.0 σ
- b) - kandydat na $\Xi^{0}_{3/2}$,
- c) i d) - odpowiednie antybariony
- Niebieskie tło - od przypadków mieszanych (kombinowanie par $\Xi\pi$ pochodzących z różnych przypadków)
- Fit do sygnału a) i d) daje 1.862 ± 0.002 GeV/c^2
- Fit do sygnału b) i c) daje 1.864 ± 0.005 GeV/c^2

NA49 - wyniki



- Suma 4 poprzednich rozkładów
- Sygnał na poziomie 5.6 σ
- Fit do sygnału (czerwony) 1.862 ± 0.002 GeV/c^2
- FWHM = 0.017 GeV/c^2
- Sygnał stabilny ze względu na cięcia

Co dalej?

- Przełomowy moment w fizyce cząstek elementarnych -> zupełnie nowa dziedzina spektroskopii
- Odkryto najlżejszy i najcięższe składniki anty-dekupletu -> bardzo duże prawdopodobieństwo że istnieją i pozostałe
- Stare i dedykowane eksperymenty
- Badanie własności pentakwarków (m.in. spin)
- Dlaczego nie poszukać cząstek o więcej niz 5 kwarkach?