

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 theoretician at the Petersburg Nuclear Physics

Scientists find fleeting form of basic matter

JOHN MANGELS
Plain Dealer Science Writer

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

NEW YORK TIMES INTERNATIONAL TUESDAY, JULY 1, 2003

A Subatomic Discovery Emerges From Experiments in Japan

By KENNETH CHANG

Slamming high-energy particles of light into carbon atoms, physicists

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

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 Do wiadczalnej

Seminarium Fizyki Wysokich Energii
17 pa dziernik 2003

Plan:

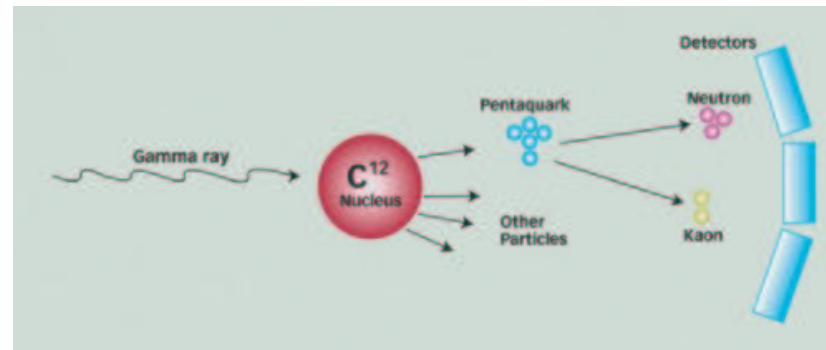
- Co to takiego jest pentakwark i jak został odkryty?
- Przewidywania teoretyczne
- Wyniki do wiadczalne
- Podsumowanie
- Co dalej?

Gdzie odkryto pentakwarki?

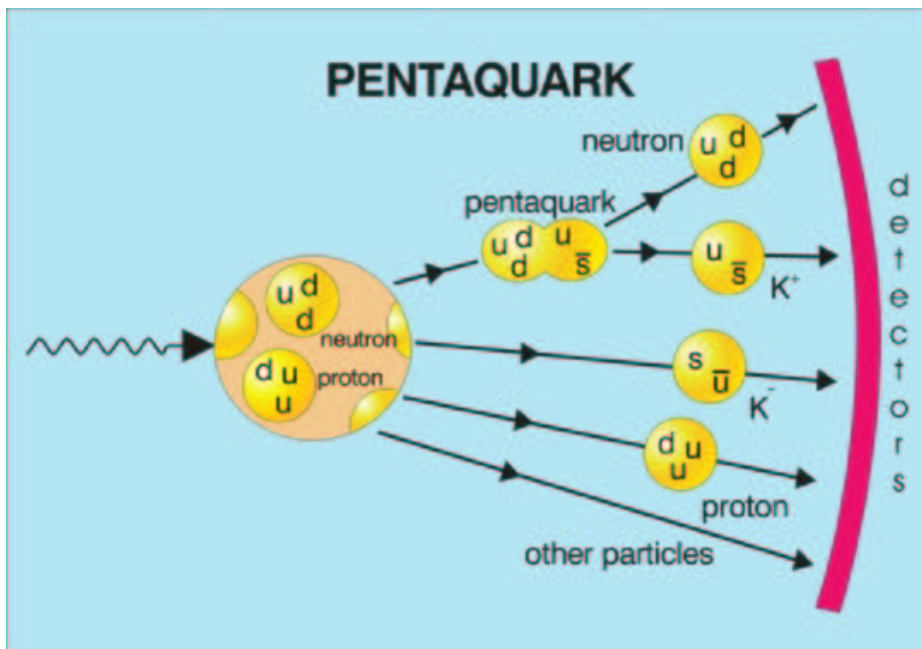
1. zespół Takashi Nakano (eksperyment LEPS) przy akceleratorze SPring-8 w pobliżu Kobe (Japonia)
 - dane pokazane na konferencji w 2002 roku
 - publikacja 4.VII.2003 w Phys. Rev. Letters
2. zespół Kena Hicksa (eksperyment CLAS) przy akceleratorze CEBAF w Newport News (USA)
 - dane wysłane do publikacji
3. inne eksperymenty ...

Co to jest pentakwark i jak powstaje?

- Reakcja: 'twarde' kwanty gamma + ^{12}C
- Odłamki niektórych zderze to 5-cio kwarkowe obiekty
- Rozpadaj si na K^+ oraz neutron
- Maksimum w masie niezmienniczej - nazwane cz stk Θ^+



Co to jest pentakwark i jak powstaje?



- Zupełnie NOWY stan barionowy (klasa cz. stek '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

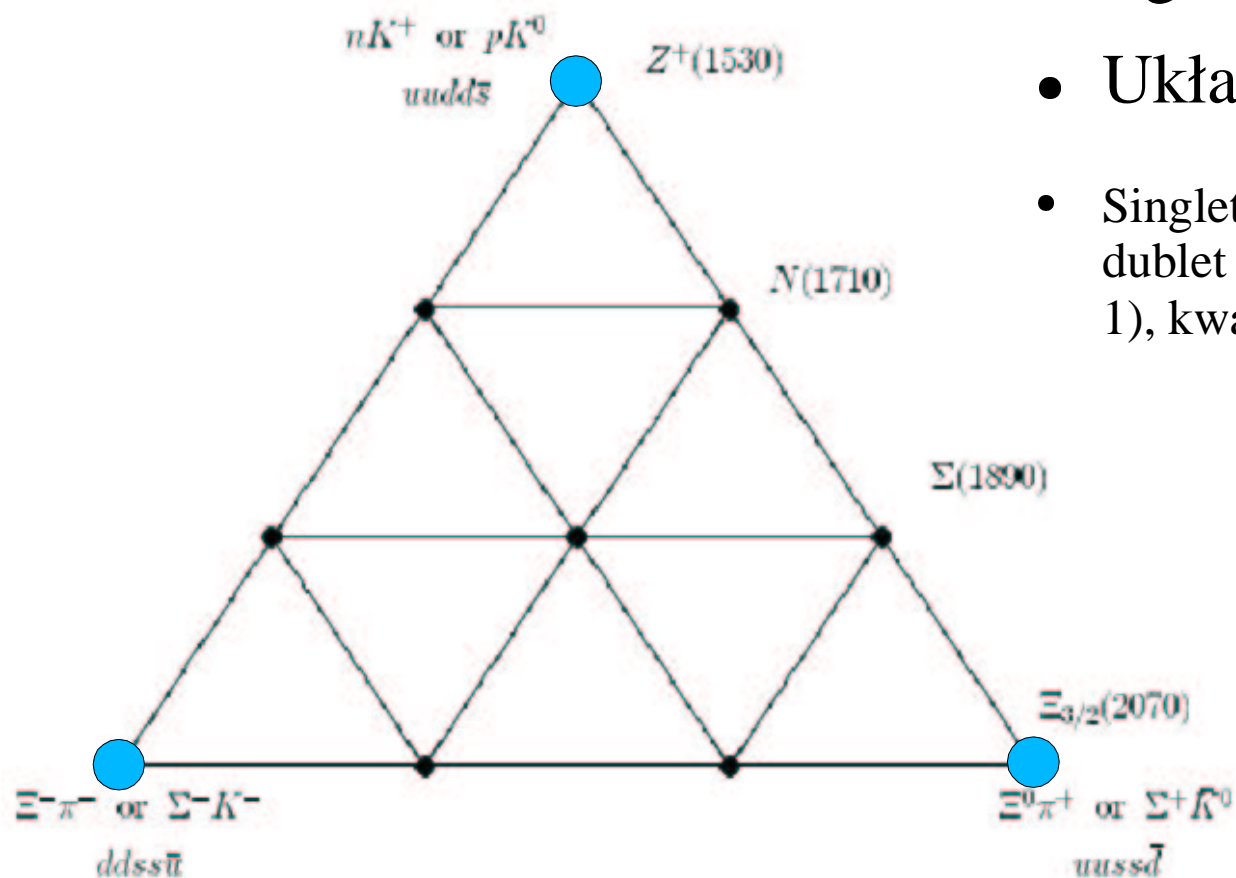
- $(uud) = (uud + u \bar{u} + d \bar{d} + s \bar{s} + \dots)$
- W tym sensie kombinacje 5-cio kwarkowe ($qqqq \bar{q}$) są wymieszane ze standardow 3 kwarkow (qqq)
- Czy 5-cio kwarkowa kombinacja mo e istnieje je li antykwark ma inny zapach (nie mo e anihilowa) np. ($uudd \bar{s}$)? Prace teoretyczne od pó nych 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 mas (najl ejsza cz stka) jako $1.530 \text{ GeV}/c^2$
- D. Diakonov et al., Z. Phys. A **359**, 305 (1997) - szeroko $\Theta^+ < 0.015 \text{ GeV}/c^2$, przewidywania dotycz ce ci szych 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, następnie w *anty-dekuplecie (10bar) barionów (spin $1/2$)*
- Właściwości (masy, szerokości) można przewidzieć z symetrii; z danych - identyfikacja rezonansu nukleonowego $N(1710, 1/2^+)$ z członkiem sugerowanego anty-dekupletu barionów

Anty-dekuplet barionów ($J^P=1/2^+$)



● 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)

$$\Gamma(\Delta \rightarrow N \pi) = 110 \text{ MeV vs. } 110 \text{ MeV (eksp.)}$$

$$\Gamma(\Sigma^* \rightarrow \Lambda \pi) = 35 \text{ MeV vs. } 35 \text{ MeV (eksp.)}$$

$$\Gamma(\Sigma^* \rightarrow \Sigma \pi) = 5.3 \text{ MeV vs. } 4.8 \text{ MeV (eksp.)}$$

$$\Gamma(\Xi^* \rightarrow \Xi \pi) = 8.6 \text{ MeV vs. } 10 \text{ MeV (eksp.)}$$

3. *Anty-dekuplet barionów (spin 1/2)*

$$I=0, S=1, \text{ egzotyczny } \Gamma(Z^+ \rightarrow N K) = 15 \text{ MeV}$$

$$I=1/2, S=0,$$

input do modelu,

BR z danych i

modelu podobne

$$\Gamma(N_{10\text{bar}} \rightarrow N \pi) = 5 \text{ MeV}$$

$$\Gamma(N_{10\text{bar}} \rightarrow N \eta) = 11 \text{ MeV}$$

$$\Gamma(N_{10\text{bar}} \rightarrow \Delta \pi) = 5 \text{ MeV}$$

$$\Gamma(N_{10\text{bar}} \rightarrow \Lambda K) = 5 \text{ MeV}$$

$$\Gamma(N_{10\text{bar}} \rightarrow \Sigma K) = 0.5 \text{ MeV}$$

Przewidywania na multiplety - cd.

$I=1, S=-1$

$$\Gamma(\Sigma_{10\text{bar}} \rightarrow N \text{ anty}K) = 6 \text{ MeV}$$

$$\Gamma(\Sigma_{10\text{bar}} \rightarrow \Sigma \pi) = 10 \text{ MeV}$$

$$\Gamma(\Sigma_{10\text{bar}} \rightarrow \Sigma \eta) = 9 \text{ MeV}$$

$$\Gamma(\Sigma_{10\text{bar}} \rightarrow \Lambda \pi) = 17 \text{ MeV}$$

$$\Gamma(\Sigma_{10\text{bar}} \rightarrow \Xi K) = 3 \text{ MeV}$$

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

$I=3/2, S=-2$, egzotyczne

$$\Gamma(\Xi_{3/2} \rightarrow \Sigma K) = 52 \text{ MeV}$$

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

4. kolejne multiplety ...

Gdzie szukać stki Z^+ ?

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

2. nukleon + nukleon

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

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

3. foton + nukleon

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

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

4. pion + nukleon

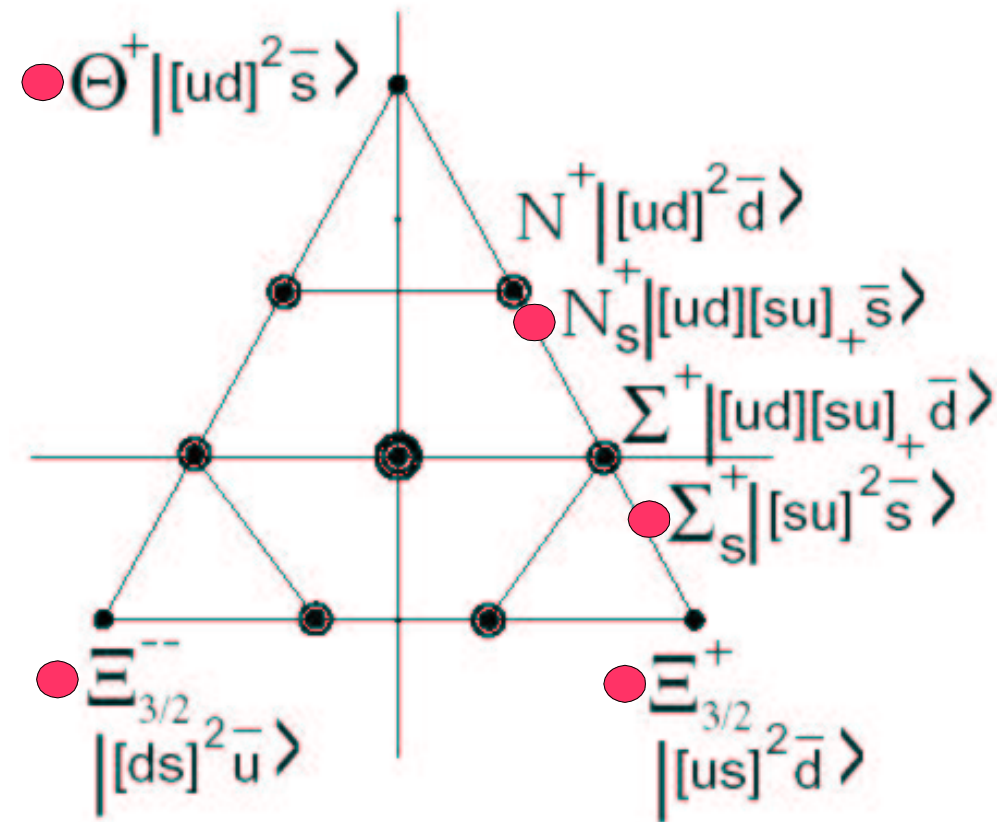
$$\pi^- p \rightarrow K^- Z^+ \rightarrow K^- K^+ n \quad \text{lub} \quad K^- K^0 p, \quad p_{\text{lab}} > 1.7 \text{ GeV}/c$$

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

Model kwarkowy (skorelowany)

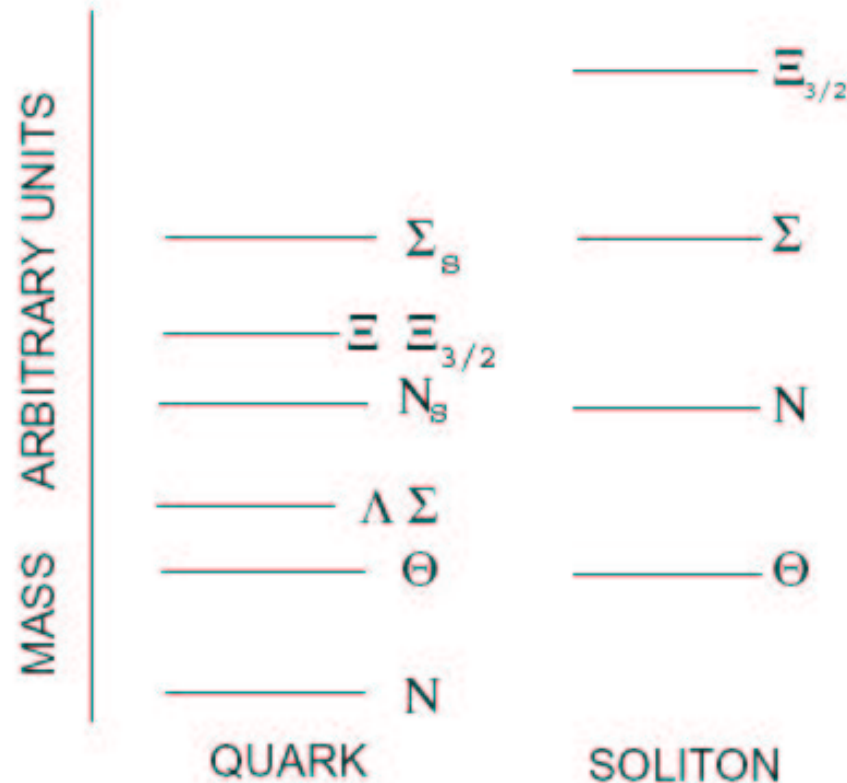
R. L. Jaffe, F. Wilczek, arXiv:hep-ph/0307341

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



Model kwarkowy - przewidywania mas

- Θ^+ ($[ud]^2 s\bar{b}$) 1540 MeV
- N ($[ud]^2 d\bar{b}$) 1440 MeV
(najl ejsza)
- Σ ($[ud][su]_+ d\bar{b}$) oraz Λ
($[ud][ds]d\bar{b} - [su][ud]u\bar{b}$)
1600 MeV
- N_s ($[ud][su]_+ s\bar{b}$) 1700 MeV
- Σ_s ($[su]^2 s\bar{b}$) 1850 MeV
- Ξ ($\sqrt{2}[us]^2 u\bar{b} - [su][ds]d\bar{b}$) 1750 MeV
- $\Xi_{3/2}$ ($[us]^2 d\bar{b}$) 1750 MeV



Model kwarkowy - przewidywania cd.

1. Oprócz mas cz. stek przewidywane s. równie kanały ich rozpadów
2. Proponowane sposoby na poszukiwanie cz. stek np.

$$K^- d \rightarrow K^+ p \Xi_{3/2}^-$$

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

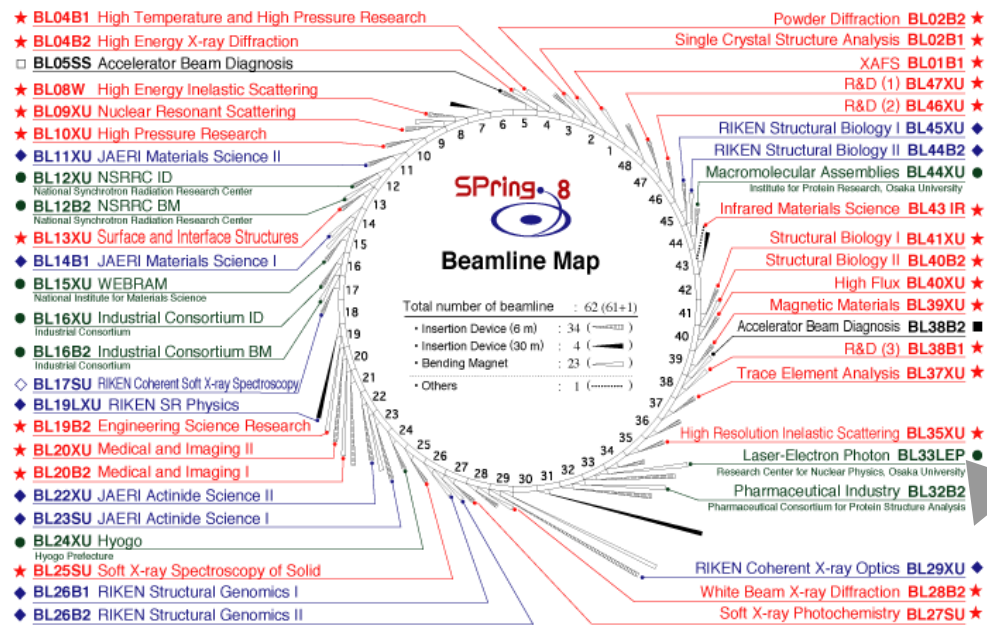
$$\Xi_{3/2}^- \rightarrow \Xi^- \pi^-$$

3. Przewidywana szerokość $\Xi_{3/2}^-$ 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

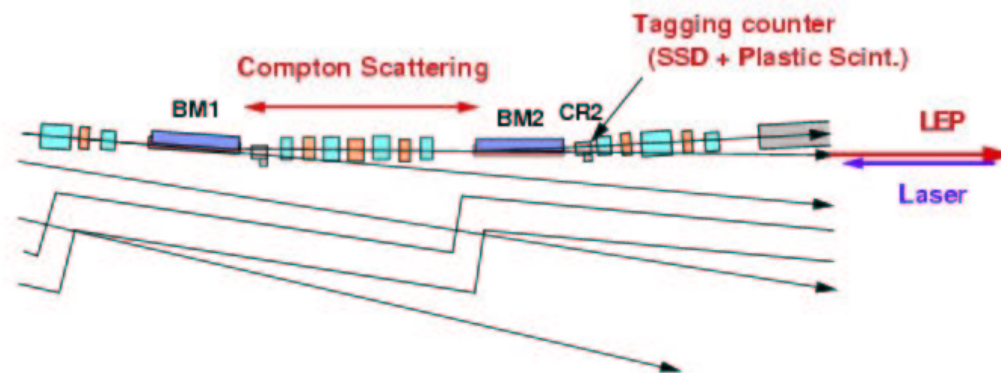
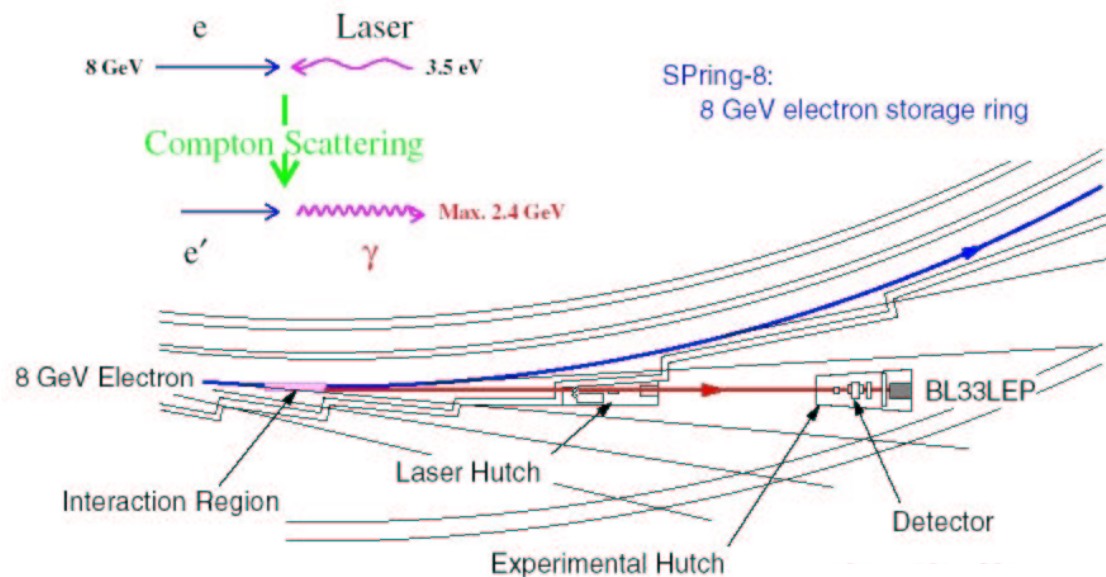
Eksperyment LEPS przy akceleratorze SPring-8 (Japonia)



| | | | |
|--------|---|-----|-----------------------|
| BL | Beamline | IR | Infrared Radiation |
| B1, B2 | Bending Magnets | LEP | Laser-Electron Photon |
| XU | X-ray Undulator | LXU | Long-length Undulator |
| SU | Soft X-ray Undulator | SS | Straight Section |
| W | Wiggler | | |
| WEBRAM | Wide Energy range Beamline for Research in Advanced Materials | | |
| NSRRC | National Synchrotron Radiation Research Center | | |

Jak powstaje wiązka fotonów dla eksperymentu LEPS?

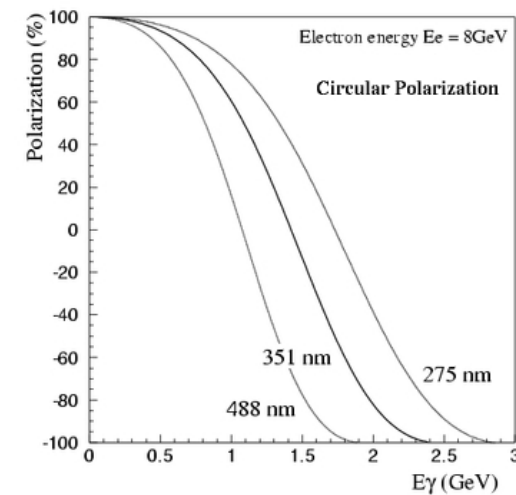
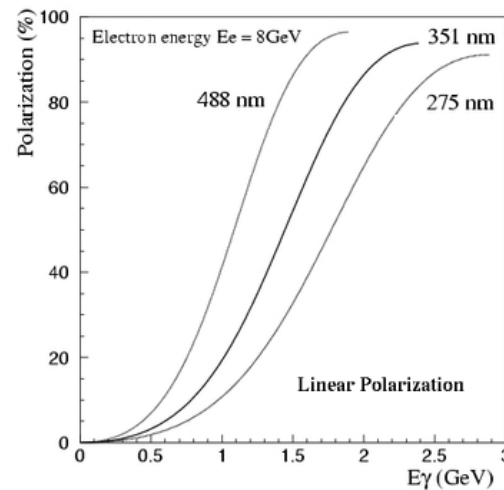
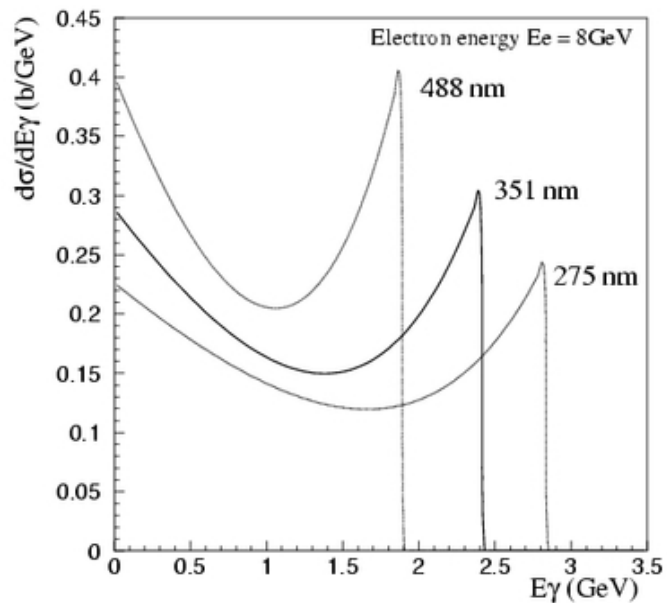
8 GeV elektrony dostarczane przez akcelerator SPring-8



typowy przepływ fotonów: $10^6/s$

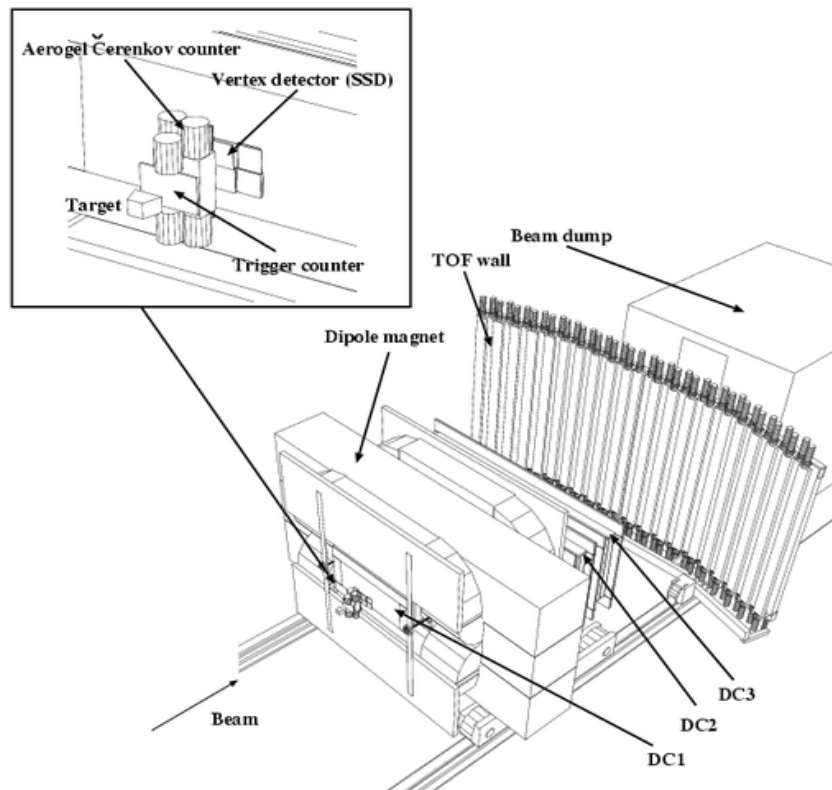
Własności fotonowej dla LEPS

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



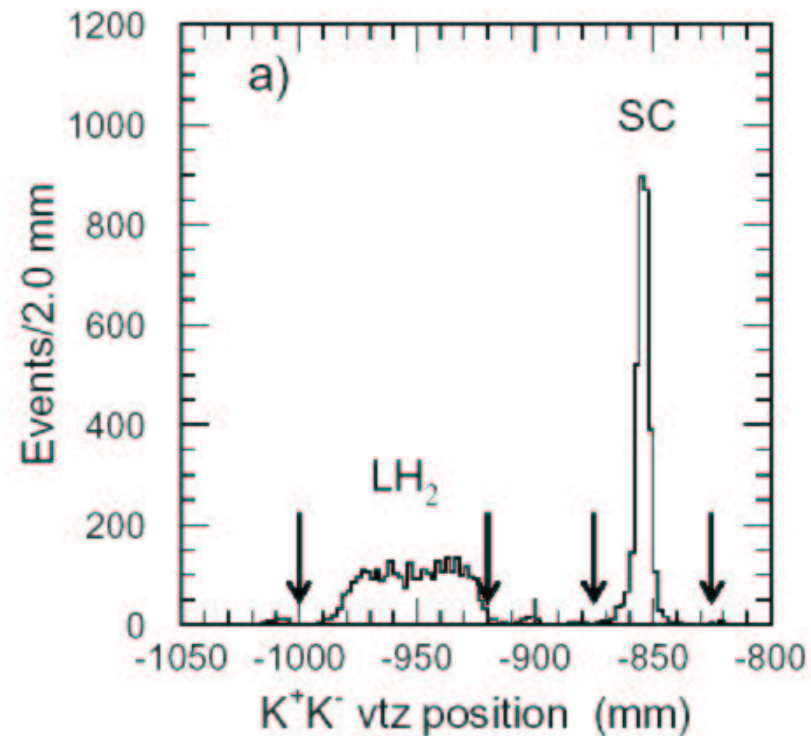
- Naładowane cz stki w przednich k tach ± 0.4 rad w poziomie i ± 0.2 rad w pionie
- Tarcza (SC)- 0.5 cm scyntylator C:H $\approx 1:1$
- DC1, DC2, DC3 - komory dryfowe
- Magnes dipolowy (0.7 T)
- Detektory czasu przelotu TOF

Własności spektrometru LEPS

- Pomiar p du: detektor wierzchołka + komory dryfowe
- Rozdzielczość p dowa dla 1 GeV/c-owych cząstek - około 6 MeV/c
- Identyfikacja: TOF dla cząstek o zmierzonym p dzie
- Rozdzielczość TOF to 150 psec dla 4m (odległość tarczy od TOF)
- Pomiar masy z dokładnością 30 MeV/c² dla 1 GeV/c-owego kaonu

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

- Wi zka kwantów gamma o energii 1.5-2.35 GeV, tarcza w glowa
- Pomiar obu kaonów do przodu, produkcja w tarczy (SC)
- Ci cie na pozycj wierzchołka (rys.)
- Ci cie na brakuj c mas reakcji $N(\gamma, K^+ K^-) X$ to $0.90 < MM_{\gamma, K^+ K^-} < 0.98$



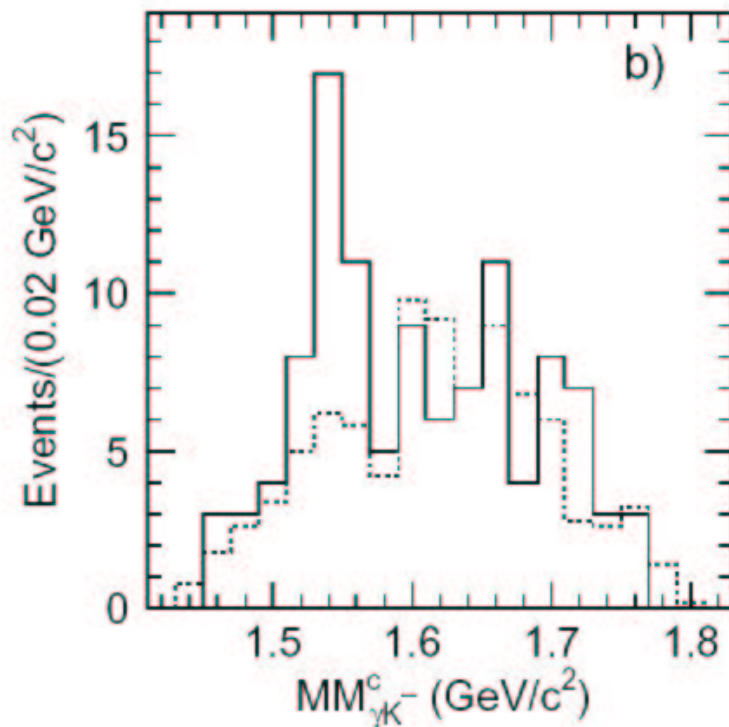
Eliminacja tła i poprawki - cd.

- Od fotoprodukcji mezonu ϕ , ci cie na mas niezmiennicz układu K^+K^- od 1.00 do 1.04 GeV/c²
- Od foto-j drowych reakcji $\gamma p \rightarrow K^- K^+ p$
- *Ostatecznie 109 przypadków z $4.3 \cdot 10^7$ zarejestrowanych przez LEPS*
- Ruch Fermiego w j drze + energia wi zania nukleonu w j drze ¹²C wpływa na kształt widma brakuj cej masy. Poprawiona brakuj ca masa dana jest wzorem:

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

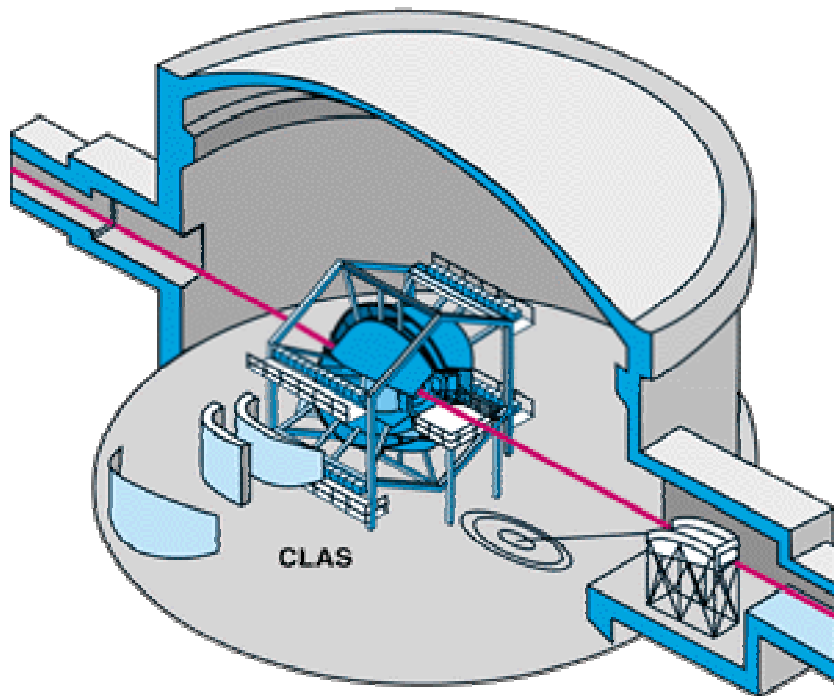
LEPS - wyniki

- Poprawiony rozkład brakujecej masy
- Kreskowane tło - nie-rezonansowa produkcja par K^+K^-
- Sygnał - tło = 19 przypadków, sygnał na poziomie 4.6σ

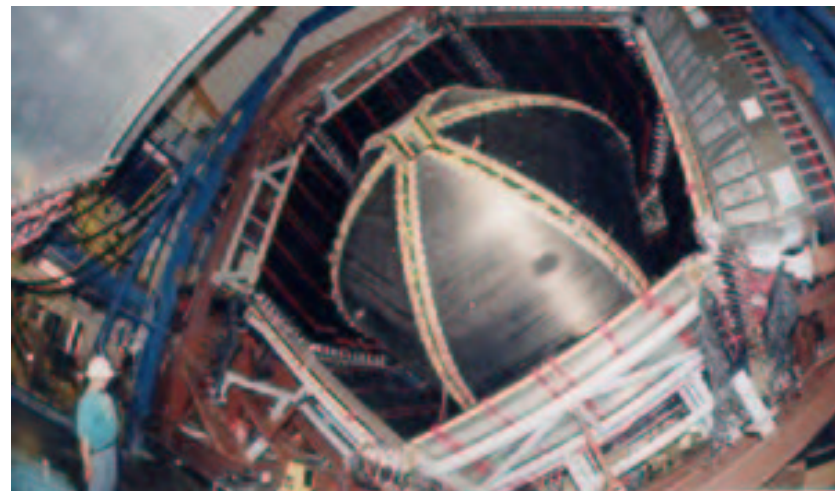


- Widmo w obszarze 1.47 - 1.61 GeV/c^2 porównane z symulacjami MC (+ Breit-Wigner) daje mas : $1.54 \pm 0.01 \text{ GeV}/c^2$
- Szerokość (Γ) mniejsza niż $25 \text{ MeV}/c^2$

Eksperyment CLAS przy akceleratorze CEBAF w Jefferson Lab (USA)



- Wiązka fotonów - elektrony z CEBAF zderzane z tarcz , promieniowanie hamowania
- Przepływ fotonów $4 \cdot 10^6$ /s
- Identyfikacja: p d i ładunek w komorach dryfowych + TOF

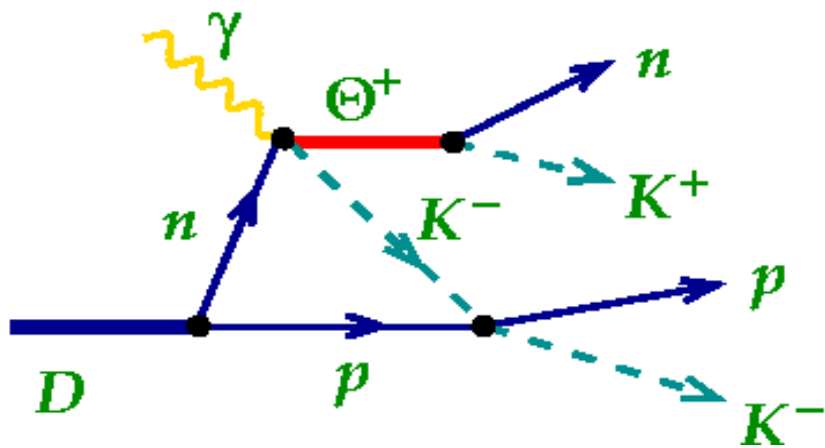


CLAS - 2 sposoby na pentakwarki



- 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
 - $\gamma p \rightarrow \pi^+ K^- K^+ n$

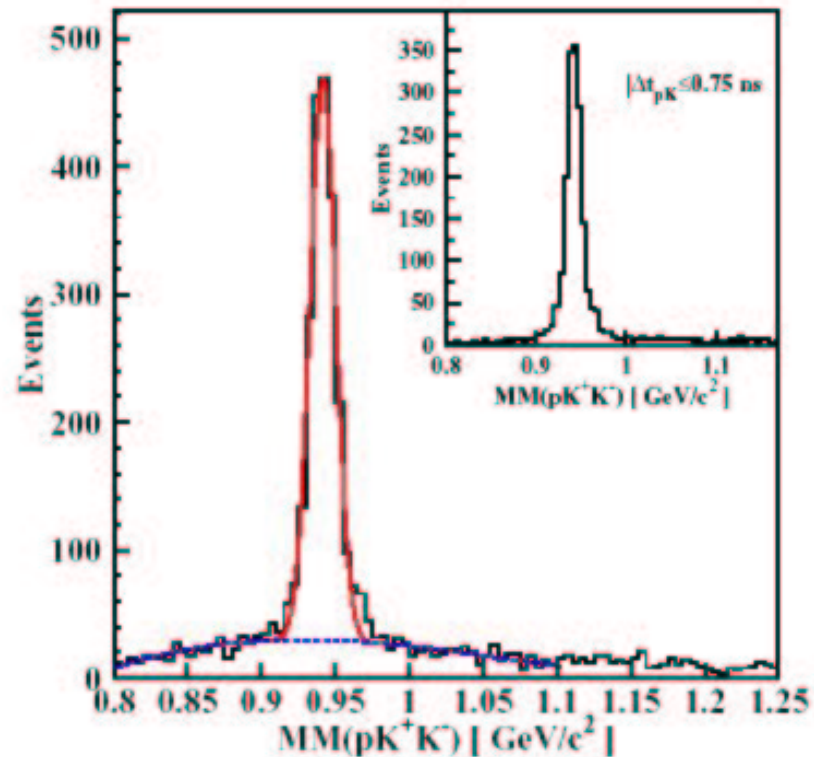
CLAS: $\gamma d \rightarrow p K^- \Theta^+ \rightarrow p K^- K^+ n$



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

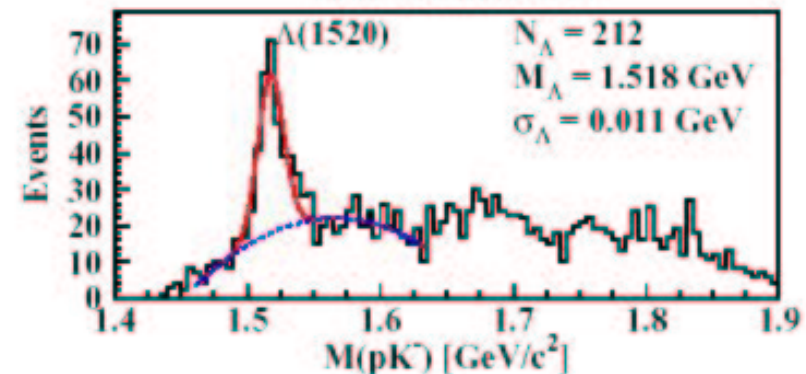
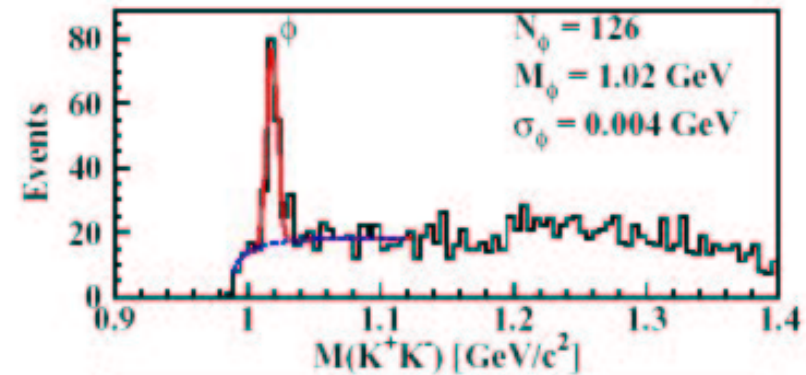
Selekcja przypadków

- Pomiar p , K^- , K^+ i nic innego naładowanego w stanie ko-cowym
- Ci-cia na koincydencje czasowe dla fotonów, protonów i kaonów
- Brakuj-ca masa neutronu (rys.)
- Do dalszej analizy $\pm 3\sigma$ wokół neutronu

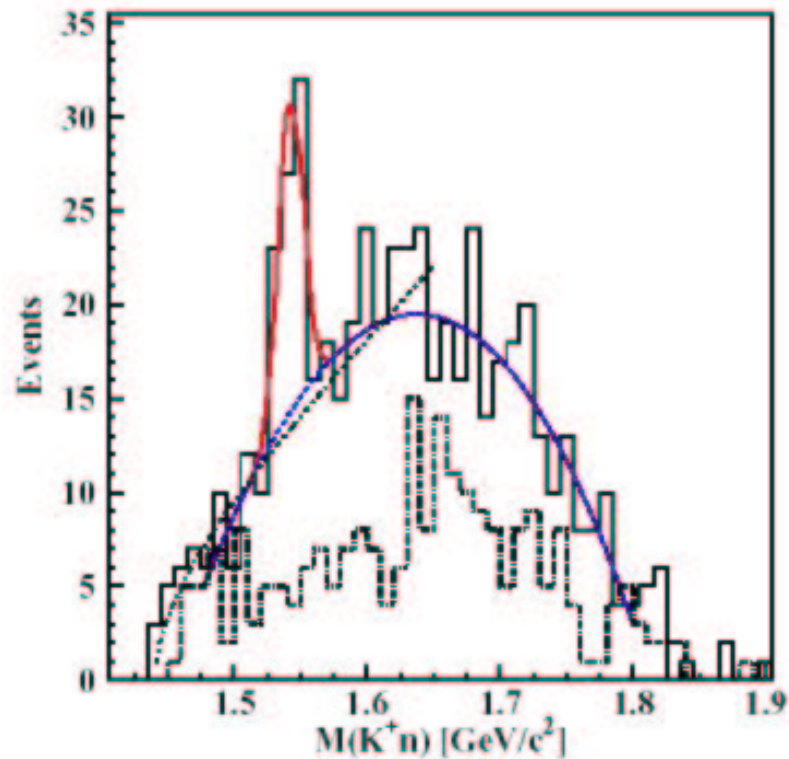


Eliminacja tła - cd.

- Od fotoprodukcji mezonu ϕ , ci cie na mas niezmiennicz $M(K^+K^-) > 1.07 \text{ GeV}/c^2$
- Od fotoprodukcji wzbudzonych hiperonów $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda^* \rightarrow K^+ p K^-$ odrzucenie przypadków z $1.49 < M(pK^-) < 1.54 \text{ GeV}/c^2$ dla $\Lambda^*(1520)$ oraz $1.66 < M(pK^-) < 1.71 \text{ GeV}/c^2$ dla $\Lambda^*(1670, 1690)$
- P d neutronu $> 70 \text{ MeV}/c$
- P d $K^+ < 1.0 \text{ GeV}/c$

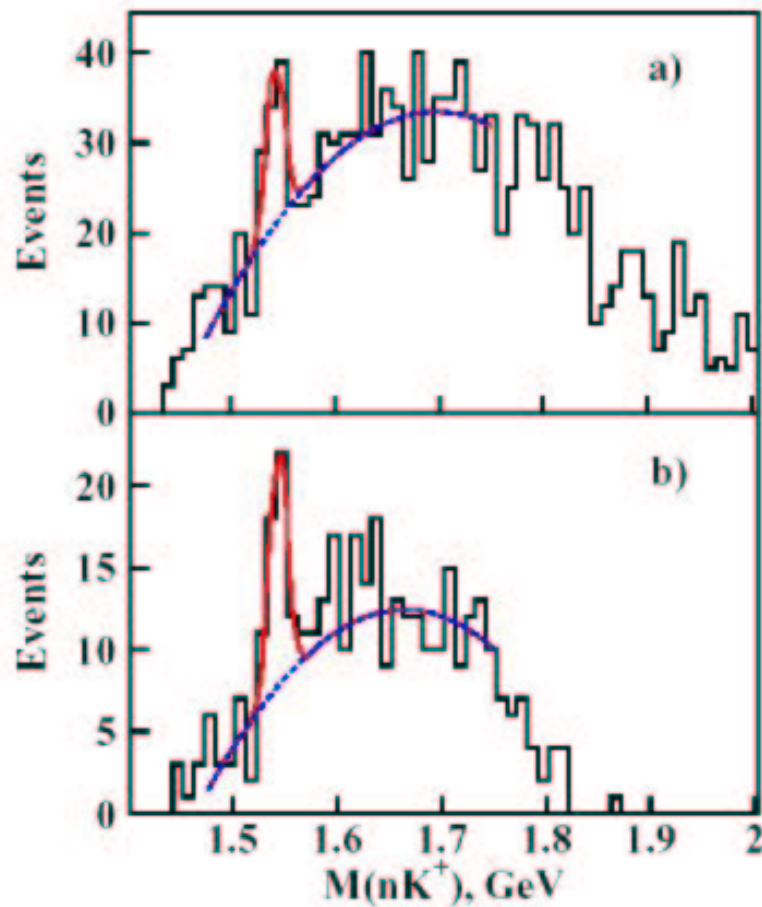


CLAS - wyniki



- Kreskowane tło - przypadki wyrzucone ci ciem na Λ^* (1520)
- Maksimum w pobli u $1.543 \text{ GeV}/c^2$
- Szeroko $\text{FWHM} = 22 \text{ MeV}/c^2$ (zgodna z rozdzielczo ci CLAS)
- Sygnał na poziomie 5.4σ
- Sygnał pozostaje po zmianie ci ----->

CLAS - stabilno wyniku

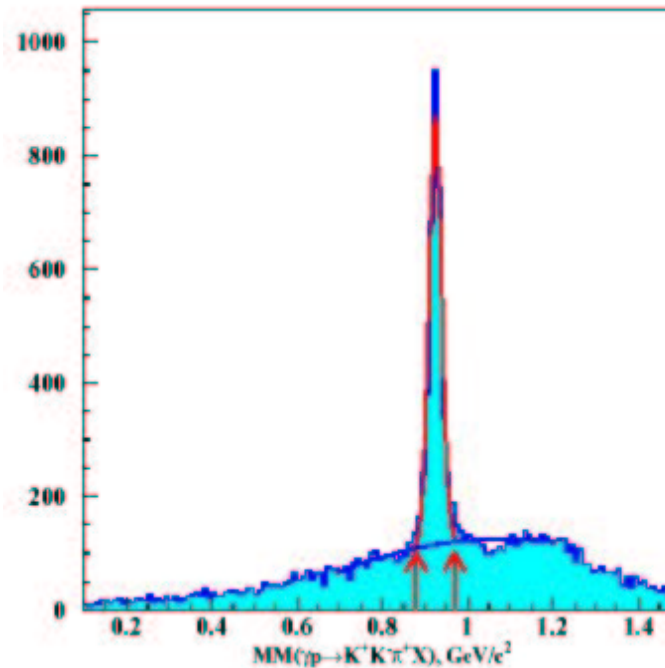
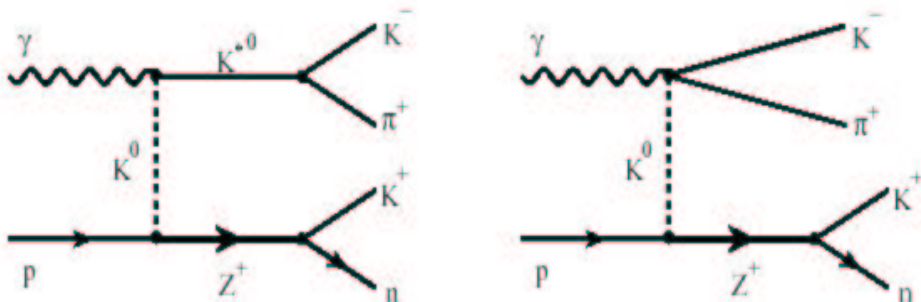


- a) tylko identyfikacja i pozbycie si neutronów o niskim p dzie, sygnał na poziomie 4.6σ
- b) normalne kryteria selekcji ale $\Delta t_{pK} < 0.75$ ns, sygnał na poziomie 5.9σ

$$\text{CLAS: } \gamma p \rightarrow \pi^+ K^- \Theta^+ \rightarrow \pi^+ K^- K^+ n$$

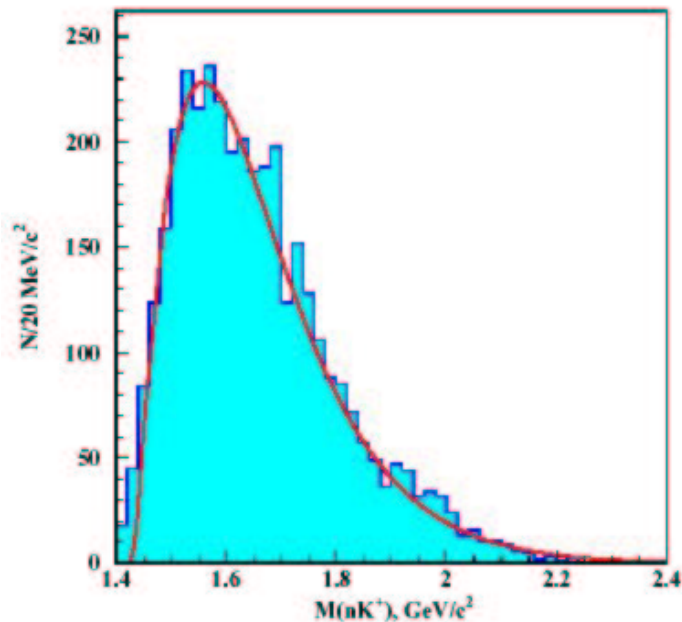
- Wi zka fotonów o energiach 3-5.25 GeV
- Pomiar: widmo układu cz stek $K^+ n$

- Rekonstrukcja neutronu - z brakuj cej energii i p du, ci cie $\pm 3\sigma$ wokół neutronu



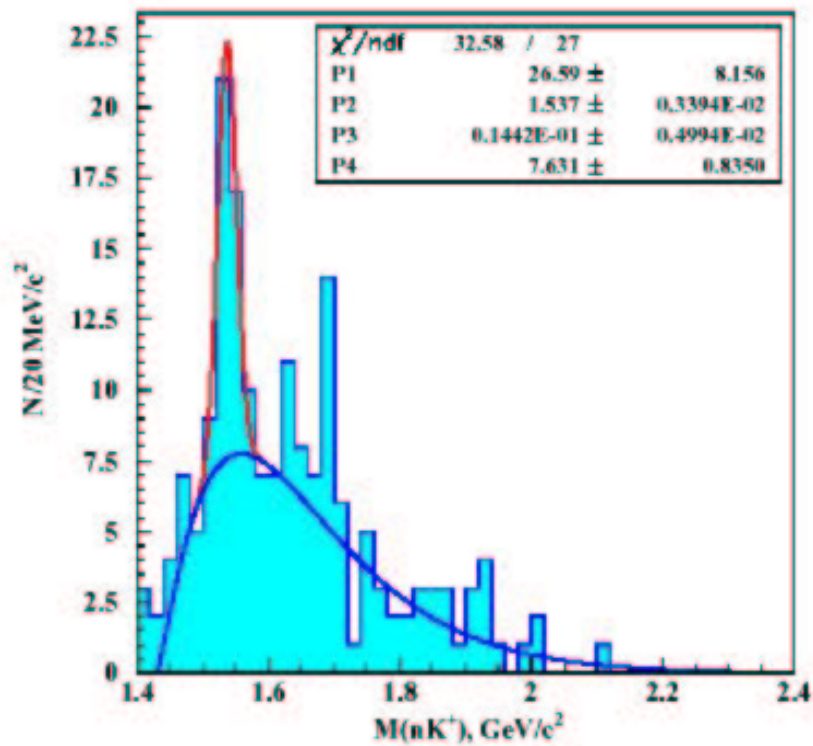
Eliminacja tła - cd.

- Od fotoprodukcji mezonu ϕ , ci cie na mas niezmiennicz $M(K^+K^-) > 1.040 \text{ GeV}/c^2$ po tym ci cie rozkład:



- Para $\pi^+ K^-$ - najcz cie kierunek wi zki, para $K^+ n$ - przeciwny
- 80% przypadków z $\cos\theta < 0.5$, gdzie θ - k t mi dzy par $\pi^+ K^-$ a fotonem wi zki
- Do dalszej analizy przypadki z $\cos\theta > 0.5$ (para $\pi^+ K^-$ do przodu)

CLAS - wyniki



- Masa: $1.54 \pm 0.01 \text{ GeV}/c^2$
- Szeroko FWHM = 32 MeV/c^2
- Sygnał na poziomie $4.8 \pm 0.4 \sigma$

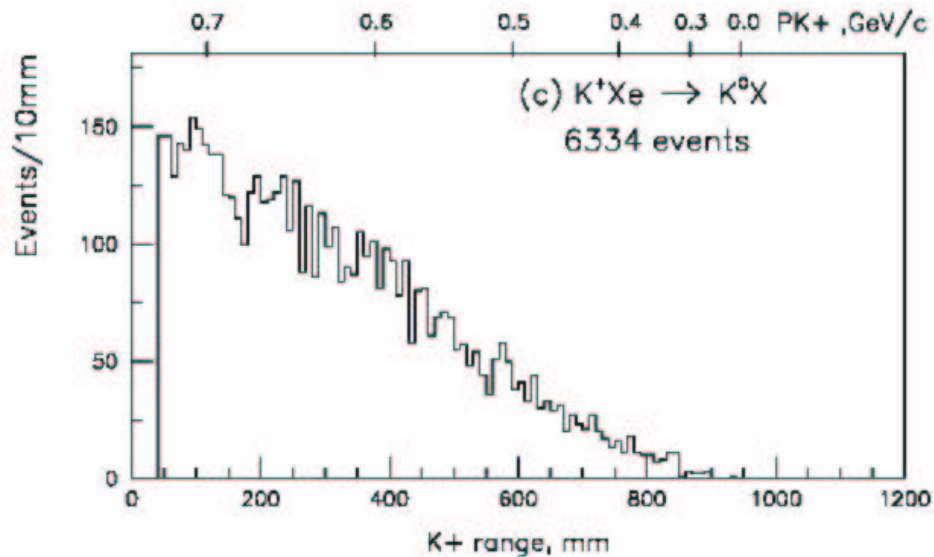
Eksperyment DIANA przy synchrotronie protonowym w ITEP (Rosja)

- Dane z komory p cherzykowej
- $K^+ n \rightarrow K^0 p$, gdzie n jest związany a j drze Xe
- Badane widmo masy układu $K^0 p$
- Reakcja nisko-energetyczna
- Wi zka $K^+ o p$ dzie 850 MeV/c z synchrotronu

Własności komory pcherykowej DIANA

- Wymiary 70 x 70 x 140 cm³
- Wypełnienie: ciekły Xe
- Monitorowana przez kamery fotograficzne
- Brak pola magnetycznego
- Naładowane czstki
- Identyfikacja czstek: straty jonizacyjne
- P d czstek: zasięg w Xe
- P d wiązki K⁺ : zasięg w Xe (dokładno pomiaru dla p dów 450-550 MeV/c to 20 MeV/c)

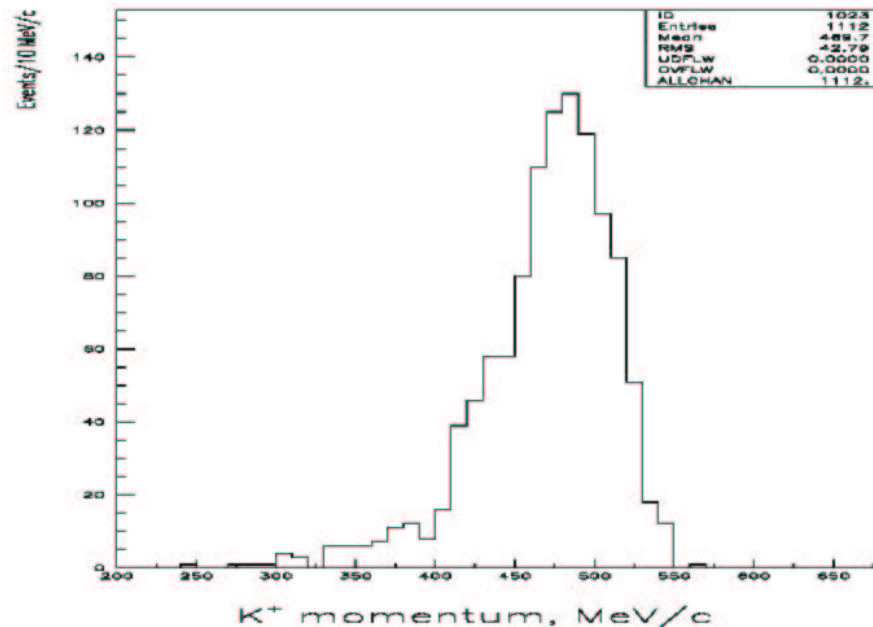
Zasięg wiązki K^+



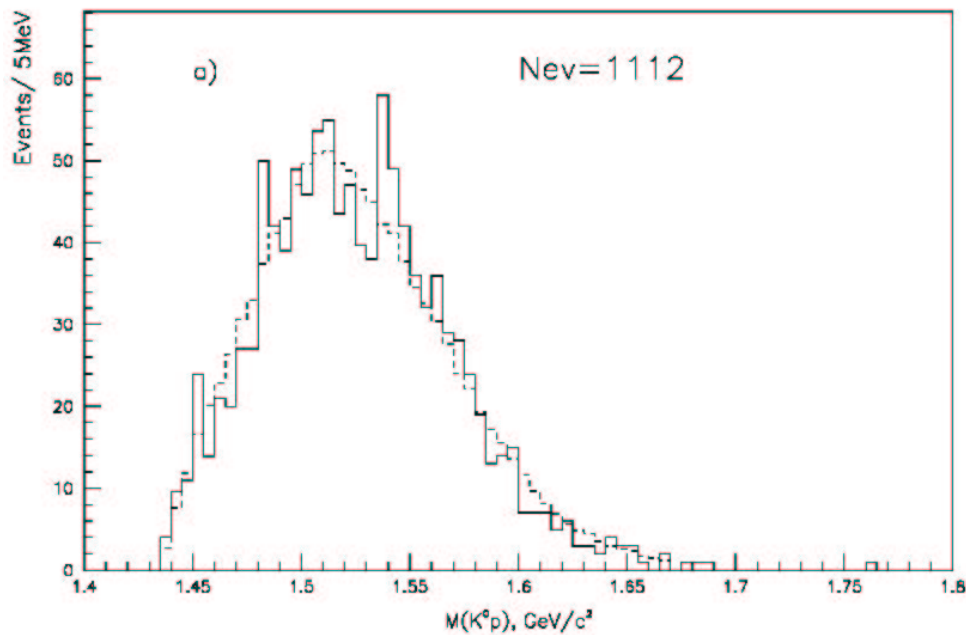
- Zasięg czystki dla reakcji $K^+Xe \rightarrow K^0X$
- Uwzględnione przypadki z K_S^0 (mierzone przez $\pi^+\pi^-$ oraz $\pi^0\pi^0$) i K_L^0 (brak obserwacji czystki dziwnych w stanie kołowym)
- Górna granica: $p \rightarrow K^+$

DIANA: $K^+ n(\text{Xe}) \rightarrow \Theta^+ (\text{Xe}') \rightarrow K^0 p (\text{Xe}')$

- Pomiar: widmo masy układu $K^0 p$
- Tylko przypadki z protonem i z $K^0_s (-> \pi^+ \pi^-)$ w stanie ko cowym
- Odległo mi dzy głównym wierzchołkiem a wierzchołkiem $K^0_s > 2.5 \text{ mm}$
- P d $p > 180 \text{ MeV}/c$, p d $K^0_s > 170 \text{ MeV}/c$
- P d K^+ po selekcji przypadków $K^+ \text{Xe} \rightarrow K^0 p \text{Xe}'$



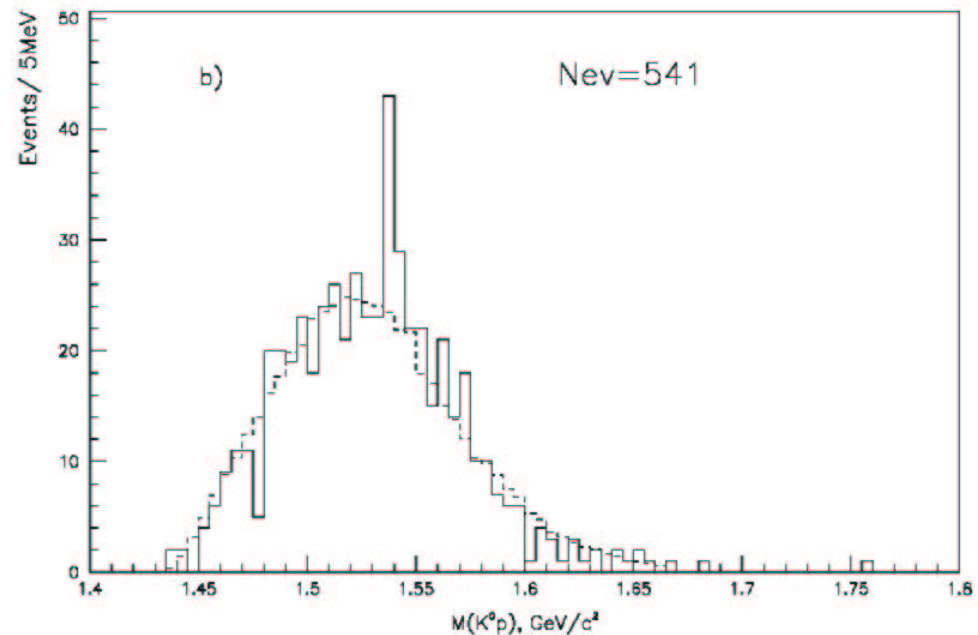
Eliminacja tła - cd.



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

DIANA - wyniki

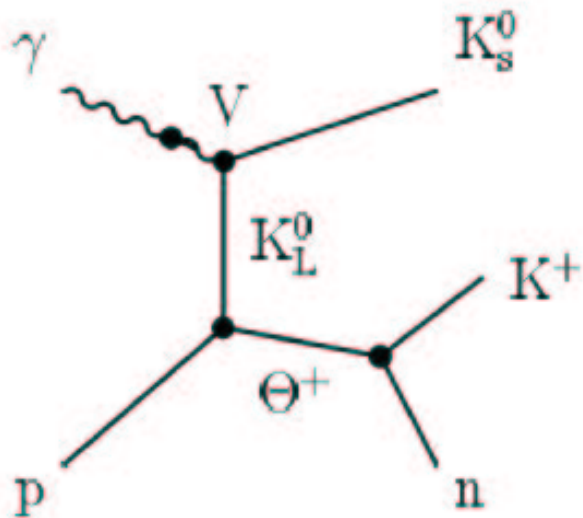
- Jedynie przypadki, gdzie cz stki $K^0 p$ nie s rozpraszane w materii j drowej (zgodnie z symulacjami $\theta_p < 100^\circ$ i $\theta_{K^0} < 100^\circ$ w stosunku do wi zki oraz $\cos\phi_{(p,K^0)} < 0$ - k t azymutalny)
- Masa: 1.539 ± 0.002 GeV/c^2
- Szeroko $\Gamma \leq 9 \text{ MeV}/c^2$
- Sygnał na poziomie 4.4σ



Eksperyment SAPHIR przy akceleratorze ELSA (Niemcy)

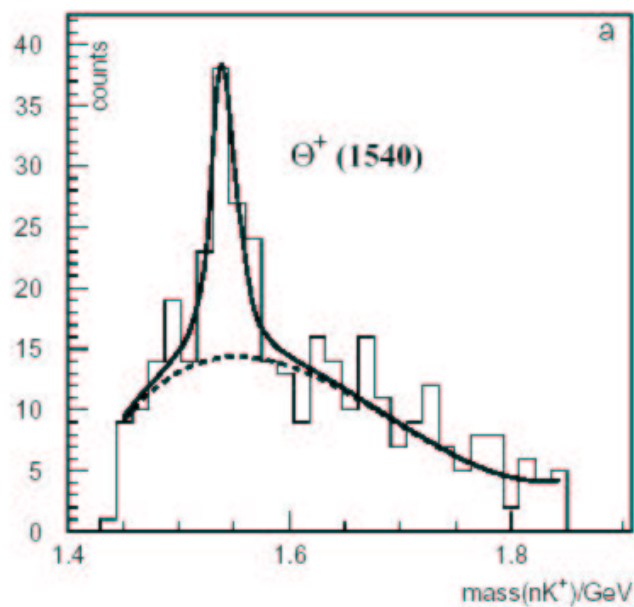
- Spektrometr magnetyczny
- Wiązka elektronów z akceleratora ELSA (w analizie o energii 2.8 GeV)
- Wiązka fotonów - promieniowanie hamowania na miedzianej folii
- Tarcza z ciekłego wodoru (3 x 8 cm) w rodkiem centralnej komory dryfowej
- Pomiar pędu i ładunku - pole magnetyczne ($\Delta p/p = 1-2.5\%$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

$$\text{SAPHIR: } \gamma p \rightarrow \Theta^+ K_s^0 \rightarrow n K^+ \pi^+ \pi^-$$



- Zestaw ci kinematycznych
- Identyfikacja naładowanych - TOF, identyfikacja n - prawa zachowania energii i pędu
- $480 < M(\pi^+ \pi^-) < 518$ MeV
- $\cos\theta_{K^0} > 0.5$ k t mi dzy K_s^0 a wi zk , cz stsza produkcja kaonu do przodu

SAPHIR - wyniki

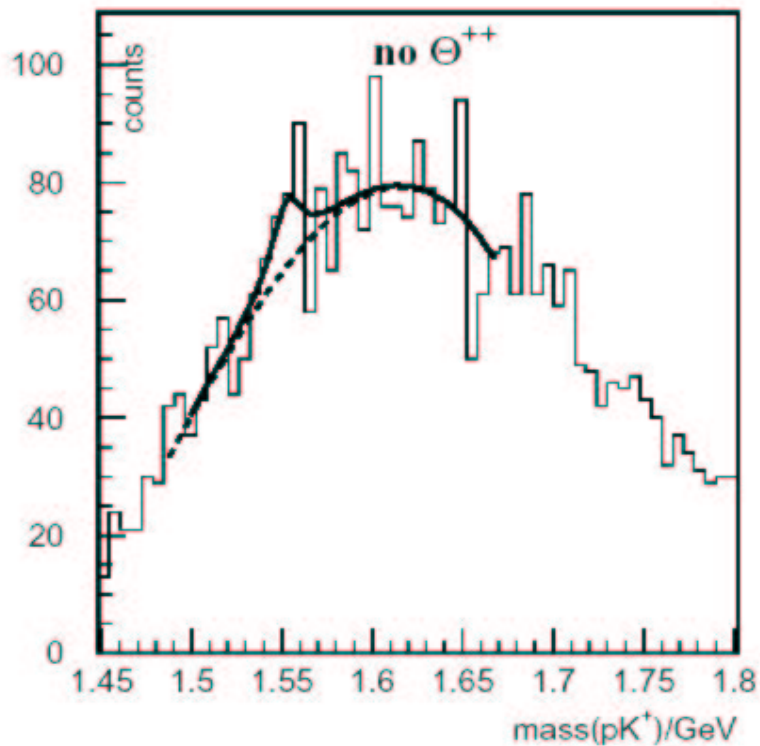


- Ci ła linia - dopasowanie u ywaj c funkcji Breit-Wigner'a + symulacji Monte Carlo
- Masa: $1.540 \pm 0.004 \pm 0.002 \text{ GeV}/c^2$
- Szeroko $\Gamma < 25 \text{ MeV}/c^2$
- Sygnał na poziomie 4.8σ

Izospin cz stki Θ^+

- Je li Θ^+ jest cz stk z anty-dekupletu barionów to według przewidywa $I=0$
- Konwencjonalne wyja nienie interpretuje Θ^+ jako zwi zany stan NK
- Je li izospin = 1 to mamy 3 stany ładunkowe: Θ^0 Θ^+ Θ^{++}
- W szczególno ci mo liwe $\Theta^{++} \rightarrow p K^+$
- Widmo $M(pK^+)$ badane przez CLAS - brak ostatecznych konkluzji ale raczej izospin = 0

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



- $\cos\theta_{K^-} > 0.5$ k t mi dzy 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 kołowy K^+K^- oferuje eksperymentalnie dodatkowy czynnik 3 (brak pomiaru K_L^0 , obserwacja K_S^0 z prawdopodobieństwem 2/3)
3. Akceptancja SAPHIR jest znacznie większa dla przypadków z pK^+K^- w stanie kołowym

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



Θ^+ jest izoskalarem

Podsumowanie wyników dla cz stki Θ^+

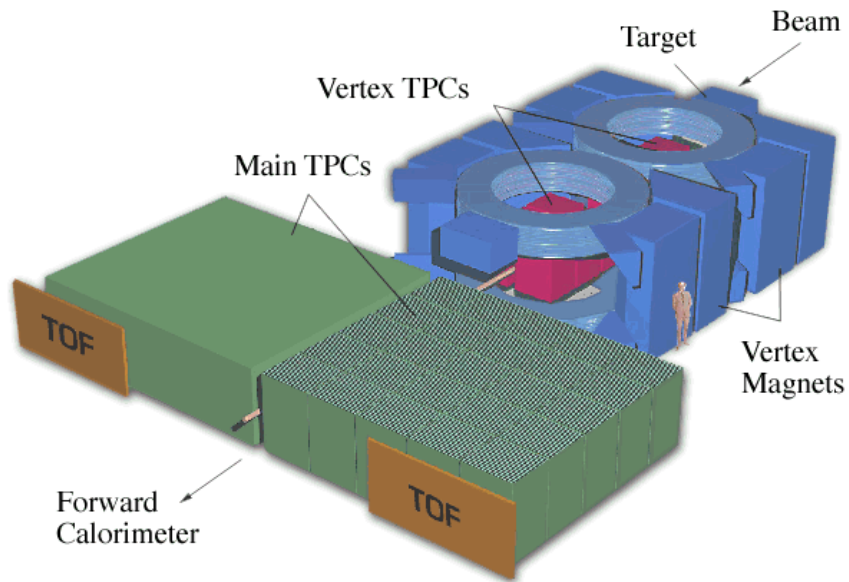
1. Rezonans barionowy o składzie kwarkowym (uudd sbar), najl ejszy członek anty-dekupletu barionów
2. $I = 0$ (izoskalar), $S = +1$
3. bardzo mała szeroko

| | kanał | sygnał | M [GeV/c ²] | [MeV/c ²] |
|--------|--|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| LEPS | $\gamma n \rightarrow K^- K^+ n$ | 4.6σ | 1.54 ± 0.01 | $\Gamma < 25$ |
| CLAS | $\gamma d \rightarrow p K^- K^+ n$ | $5.4 \pm 0.6 \sigma$ | 1.543 ± 0.005 | FWHM = 25 |
| CLAS | $\gamma p \rightarrow \pi^+ K^- K^+ n$ | $4.8 \pm 0.4 \sigma$ | 1.537 ± 0.01 | FWHM = 32 |
| DIANA | $K^+ n \rightarrow K^0 p$ | 4.4σ | 1.539 ± 0.002 | $\Gamma \leq 9$ |
| SAPHIR | $\gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^- K^+ n$ | 4.8σ | 1.540 ± 0.004 | $\Gamma < 25$ |

A co z pozostałymi cz stkami 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
- Spektrometr hadronowy
- VTPC1 (pole 1.5 T), VTPC2 (pole 1.1 T), MTPCR, MTPCL - komory projekcji czasowej
- TOF, zestaw kalorymetrów
- Pomiar p_{\perp} - polu magnetycznym
- Identyfikacja - dE/dx (lub TOF), rozdzielczość dE/dx 3-6%

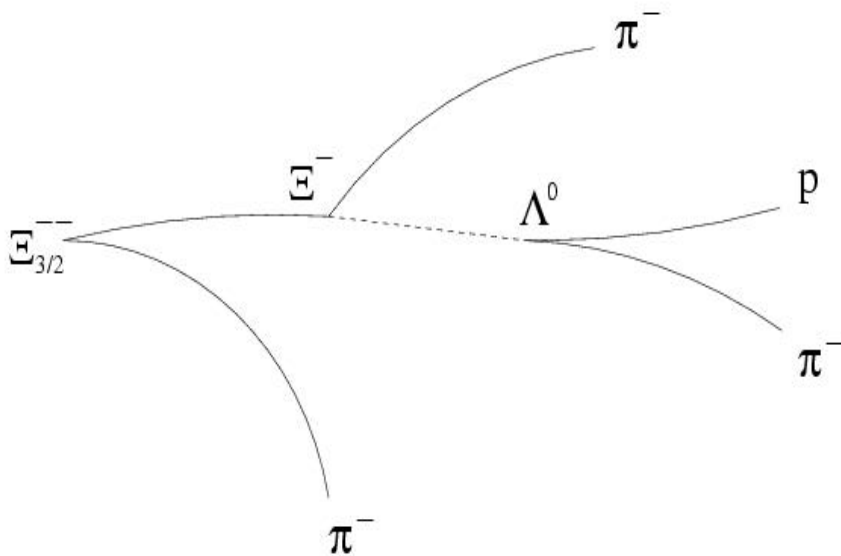


NA49: poszukiwanie członków kwartetu izospinowego $\Xi_{3/2}$ (obserwowane w eks. $\Xi_{3/2}^{--}$ oraz $\Xi_{3/2}^0$)

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

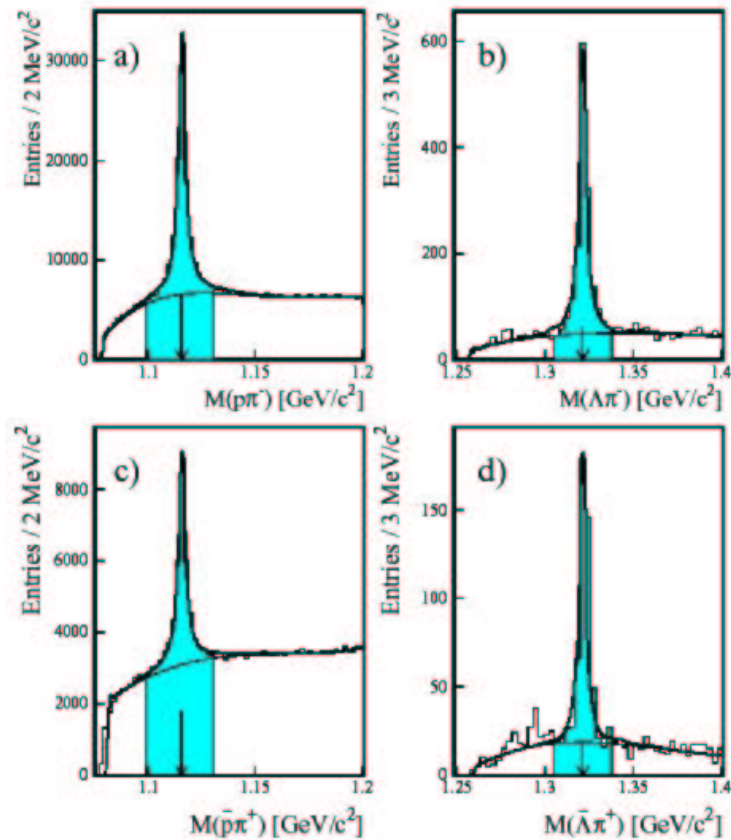
Poszukiwanie w kanale $\Xi^- \pi^-$

- Pomiar masy niezmienniczej układu



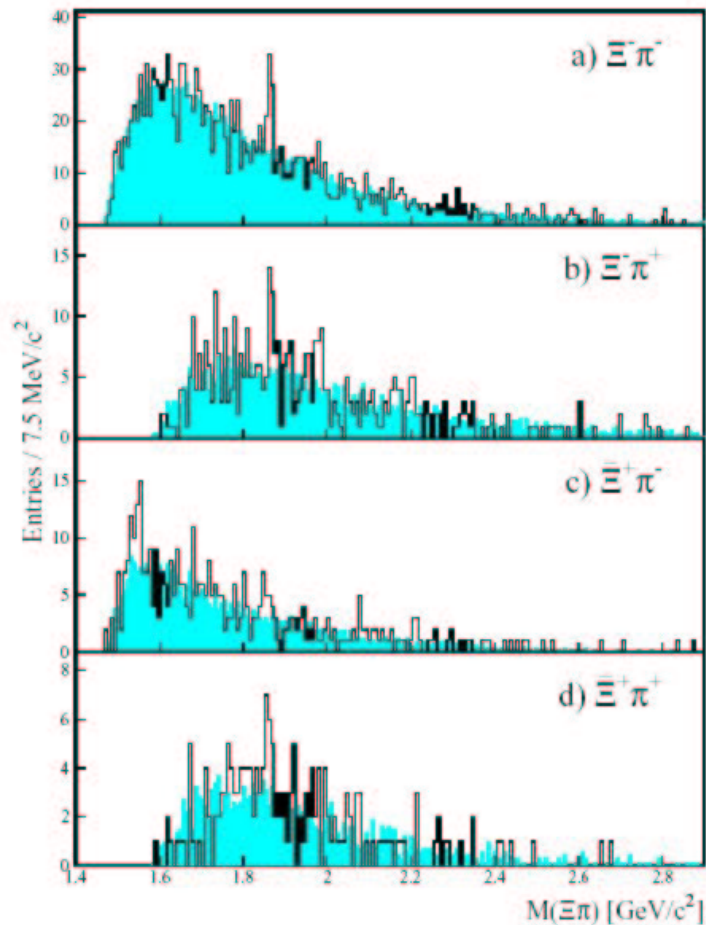
- Cięcia na pozycji głównego wierzchołka p+p
- Identyfikacja: dla pionów i protonów $dE/dx \pm 3\sigma$ wokół nominalnej wartości cięcia dla Bethe-Bloch'a
- Badanie widm układów: $p\pi^-$, $\Lambda^0\pi^-$, $\Xi^-\pi^-$
- Szereg cięć, m.in. odległości między wierzchołkami oddziaływa
- Analogicznie dla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

Eliminacja tła



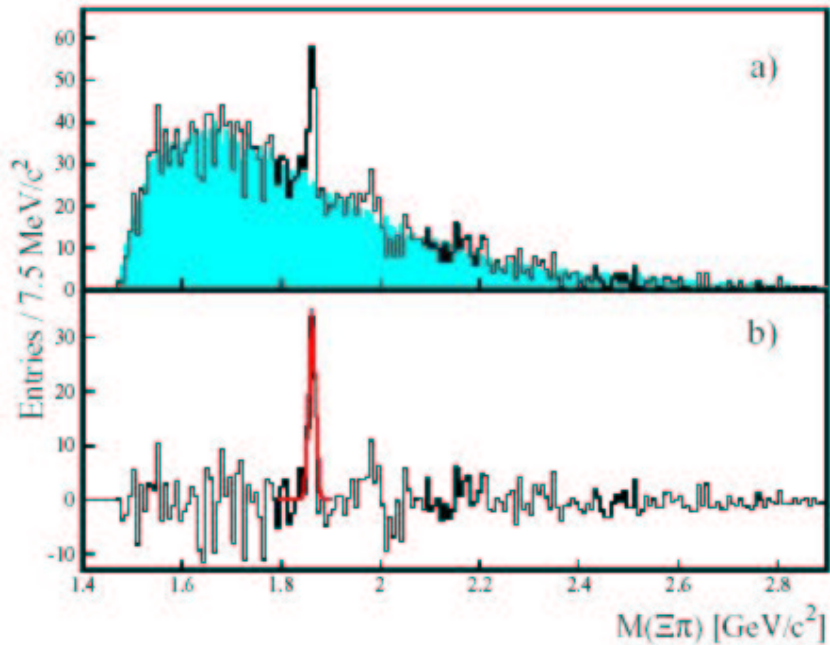
- Strzałki - nominalna pozycja poszukiwanych cz. stek
- a) i b) poszukiwanie Ξ^-
- c) i d) poszukiwanie $\text{anty}\Xi^+$
- Obszary niebieskie - brane do dalszej analizy

NA49 - wyniki



- a) - kandydat na $\Xi_{3/2}^{--}$, sygnał na poziomie 4.0σ
- b) - kandydat na $\Xi_{3/2}^0$,
- 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 $1.862 \pm 0.002 \text{ GeV}/c^2$
- Fit do sygnału b) i c) daje $1.864 \pm 0.005 \text{ GeV}/c^2$

NA49 - wyniki



- Suma 4 poprzednich rozkładów
- Sygnał na poziomie 5.6σ
- Fit do sygnału (czerwony)
 $1.862 \pm 0.002 \text{ GeV}/c^2$
- $\text{FWHM} = 0.017 \text{ GeV}/c^2$
- Sygnał stabilny ze wzgl du na ci cia

Co dalej?

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