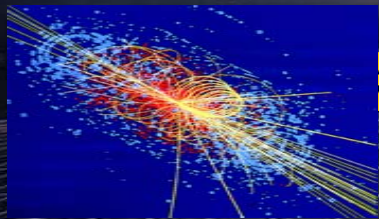


Wszechświat cząstek



elementarnych

WYKŁAD 3

4.III.2009

Cząstki elementarne

Odkrycia

Prawa zachowania

Cząstki i antycząstki

Fizyka cząstek elementarnych

- Wiek XX – niezwykle rozwój fizyki, pojawiły się fundamentalne idee:
 - pierwsza połowa to teoria względności, teoria grawitacji i teoria kwantów
 - druga połowa – fizyka cząstek elementarnych (teoria cząstek elementarnych lata 70-e XX w.)
- Teoria względności i prawa mechaniki kwantowej rządzą w świecie cząstek elementarnych.

Obowiązują znane z makroświata prawa zachowania energii i pędu, ładunku elektr.

Teoria kwantów i teoria względności

W badaniu struktury materii stosowane są coraz większe energie, gdyż

- Zasada nieoznaczoności Heisenberga → badanie coraz mniejszych odległości
- Relacja $E = mc^2$ → produkcja nowych bardziej masywnych cząstek

Stosujemy elektrowolt eV jako jednostkę energii i masy ($c = 1$)

Zoo cząstek elementarnych

Definicja: cząstka elementarna- 'obserwowany' obiekt prostszy niż jądro atomowe (wyjątek jądro atom. H = proton)

Cząstki elementarne – AD 2009

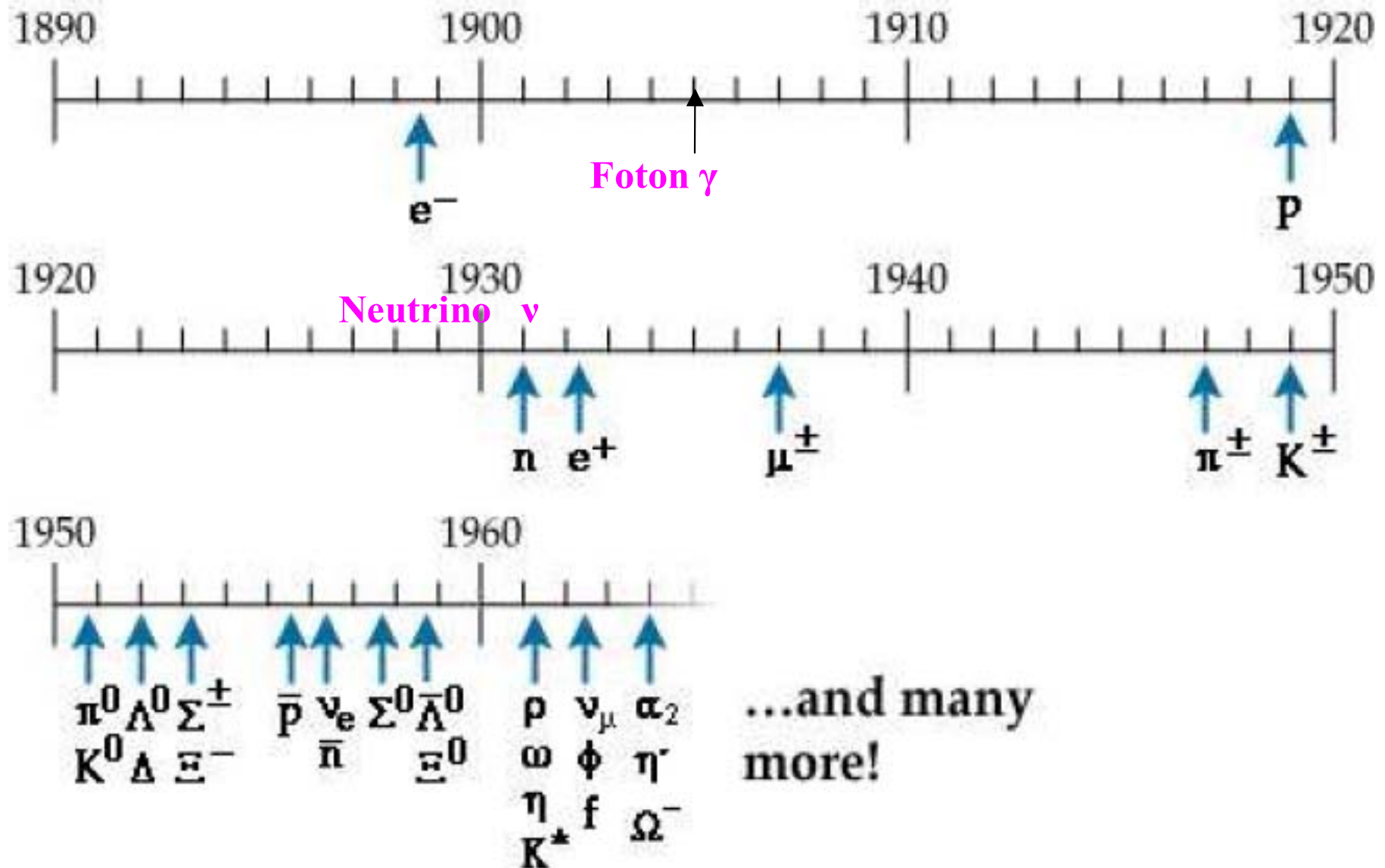
dużo (1000) i różnorodne (Zoo):

Różne masy, czasy życia,
różne ładunki elektryczne,
grupowanie się w układy (multiplety)
różne sposoby oddziaływań

Najprostsze cząstki el. → cząstki fundamentalne
Cząstki elementarne mogą być złożone (proton)

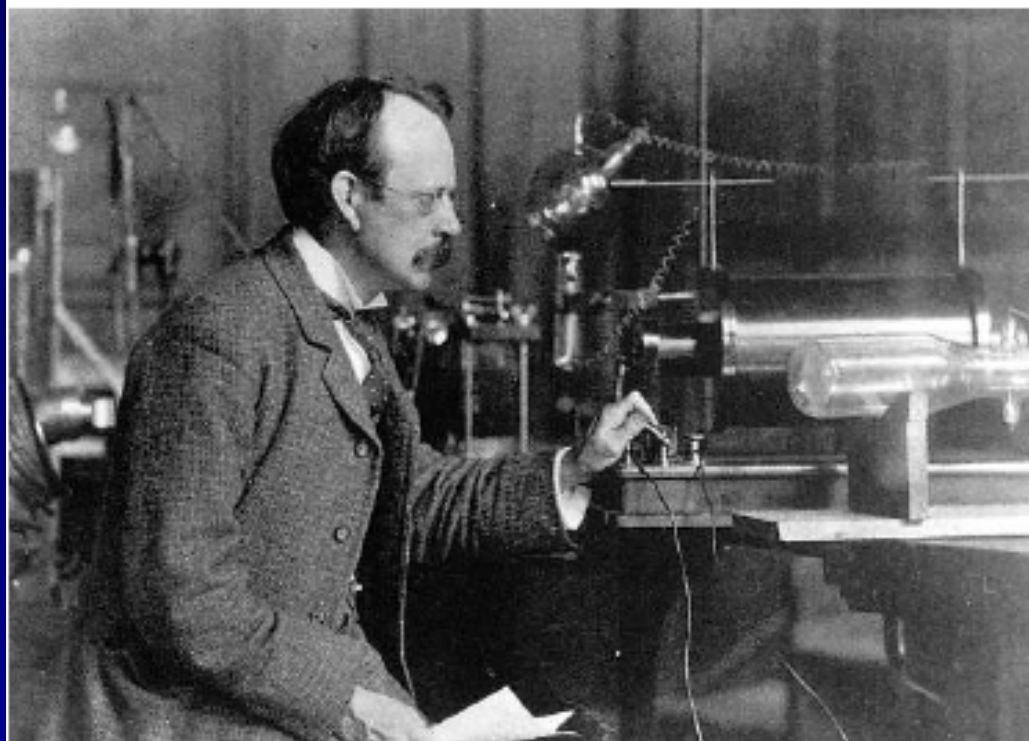
Odkrycia cząstek elementarnych

- 'potop' w latach 50-60 XX w



Odkrycie elektronu

Joseph Thomson 1897



Thomson badał tzw. **promienie katodowe**



pokazał, że promienie te odchylają się w polu elektrycznym

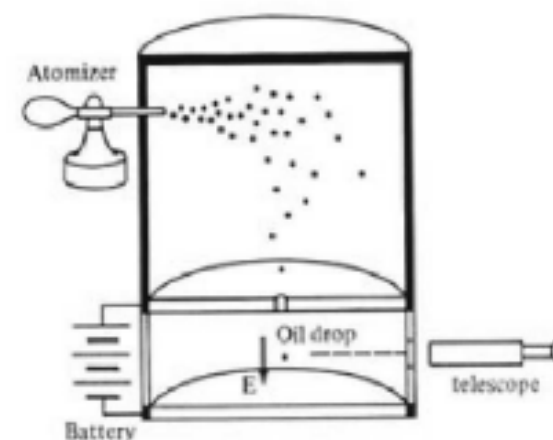
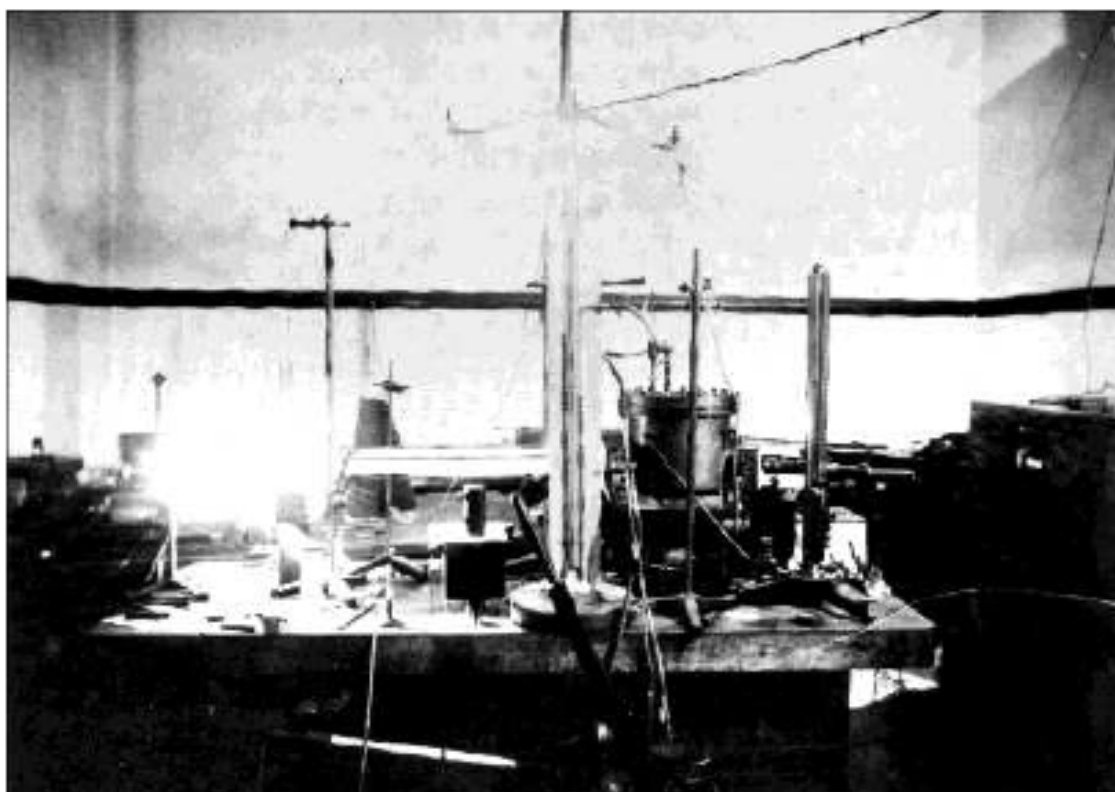
Wyznaczył stosunek ładunku do masy elektronu:

$$\frac{e}{m} \approx 2 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

Odkrycie elektronu



Robert Millikan 1909



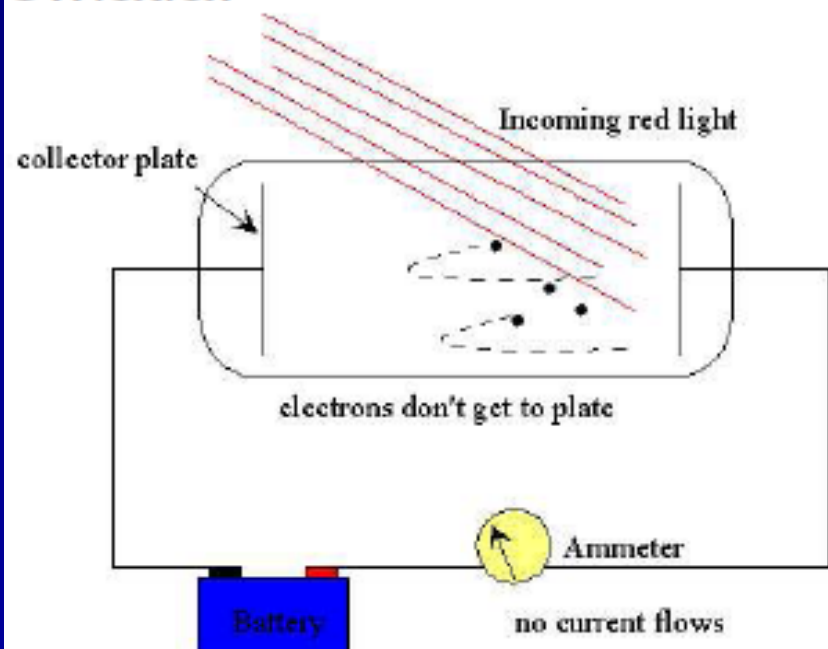
Mierząc opadanie maleńkich kropeł oliwy w powietrzu wyznaczył ładunek elektronu, a następnie obliczył jego masę: $m_e = \frac{1}{1837}m_H$

Odkrycie fotonu

Efekt fotoelektryczny

Odkryty przez Hertza w 1887

W 1902 Philipp Lenard pokazał, że efekt fotoelektryczny obserwujemy tylko dla wybranych długości fali światła:



Efektu tego nie można było wytłumaczyć w parciu o falową teorię światła

Kwant - ur. w 1900, 14 grudnia

Max Planck: radykalne wyjaśnienie promieniowania cieplnego rozgrzanych ciał. Z doświadczenia $\rightarrow$ całkowita energia promieniowania zależy tylko od temperatury. Ale opis dla idealnego źródła promieniowania ('ciało doskonale czarne') nonsensowny, powinno emitować nieskończoną energię („katastrofa w ultrafiolecie”).

Planck: Dobry opis gdy promieniowanie paczek (kwantów) energii $E = h \nu$Ale to „tragedia”

Odkrycie fotonu

Efekt fotoelektryczny

W roku 1905, Albert Einstein wysunął hipotezę, że światło jest strumieniem niepodzielnych **kwantów** energii, które dziś nazywamy **fotonami**.

Energia fotonu:

$$E_{\gamma} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Aby wybić elektron z metalu E_{γ} musi być większa od tzw. **pracy wyjścia** $\Rightarrow$ zależność od długości fali światła





Foton - (nie)udana hipoteza Einsteina

Warszawa, wrzesień 2005

Maria Krawczyk

Uniwersytet Warszawski

Foton="cząstka" światła (promieniowania) :

Światło = strumień niepodzielnych cząstek (kwantów) -
jedyna wg Einsteina jego rewolucyjna hipoteza (1905 r)

Light quanta - cząstki światła

- 1900 - Planck → kwant energii promieniowania elektromagnetycznego $E = h\nu$ (nagroda Nobla - 1918)
- 1905 - Einstein → kwant światła (γ) - foton Einsteina : $E = h\nu = pc$ (nagroda Nobla - 1922)
- 1915 - Millikan badał zjawisko fotoemisji z metalu (nagroda Nobla - 1923)
- 1922 - Compton (doświadczenie rozpraszania fotonów na elektronach $\gamma e \rightarrow \gamma e$) (nagroda Nobla - 1927)
- 1925-7 - Born, Heisenberg, Jordan, Dirac → (teoria oddziaływań elektromagnetycznych - elektrodynamika kwantowa QED; foton - bozon przenoszący oddziaływanie)
- (• 1926 - Lewis (chemik) → nazwał kwant światła - fotonem)
- 1931 - Wigner → opis właściwości związanych z momentem pędu - spinem; foton - spin 1 $\hbar/2\pi$

Zuchwała hipoteza

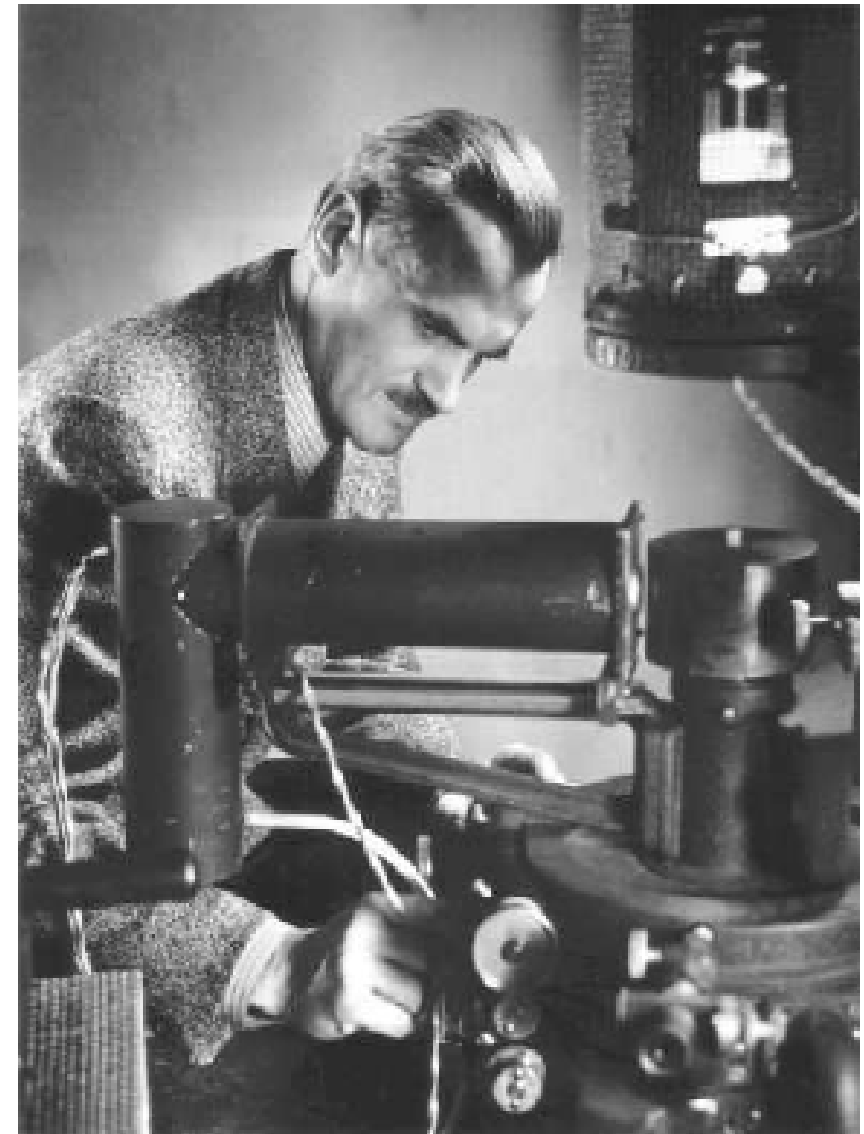
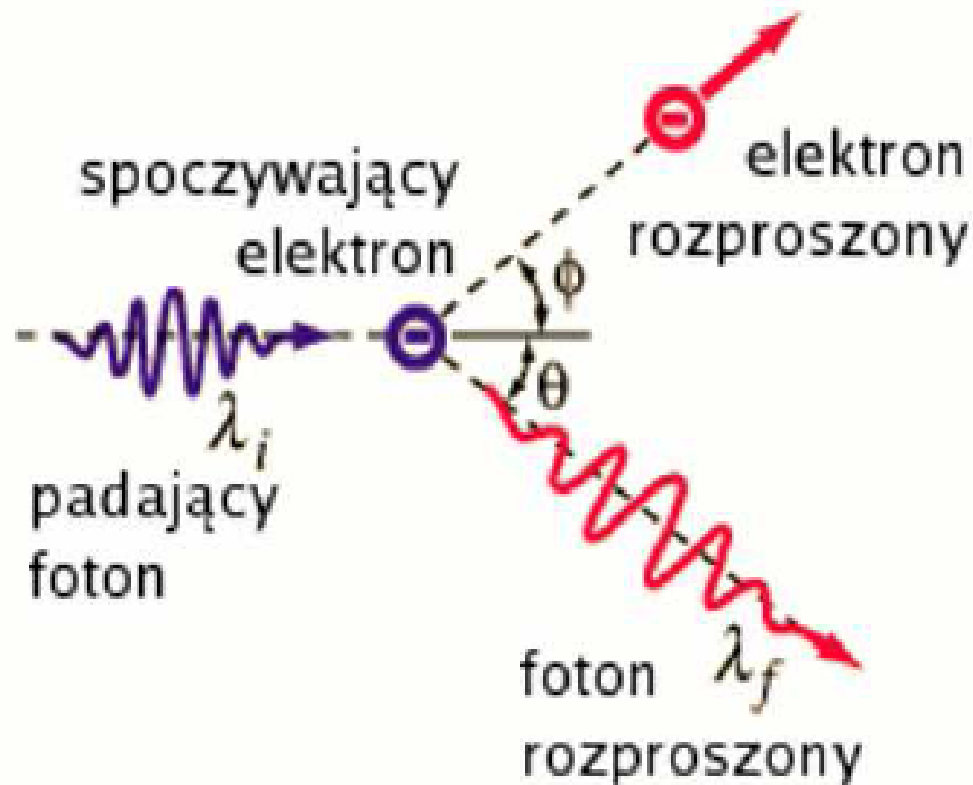
- Max Planck nie popierał tej idei przeczącej teorii Maxwella - nawet w roku 1914 tłumaczył Einsteina z tego "wybryku" przed Pruską Akademią Nauk:

"Że on nieraz gubił się w swych spekulacjach, jak na przykład w swej hipotezie cząstek światła, nie może być używane przeciwko niemu, gdyż nie można wprowadzać naprawdę nowych idei, nawet w naukach ścisłych, bez podjęcia ryzyka. "

- Millikan był zakłopotany, że ona pasuje do wyjaśnienia pomiarów efektu fotoelektrycznego...
- Bohr - uważał "kwantowość " za własność atomów nie promieniowania (wolał zrezygnować z zachowania energii i pędu..)
- Środowisko w końcu zaakceptowało foton, szczególnie po doświadczeniu Comptona, w którym foton i elektron grają w bilard...

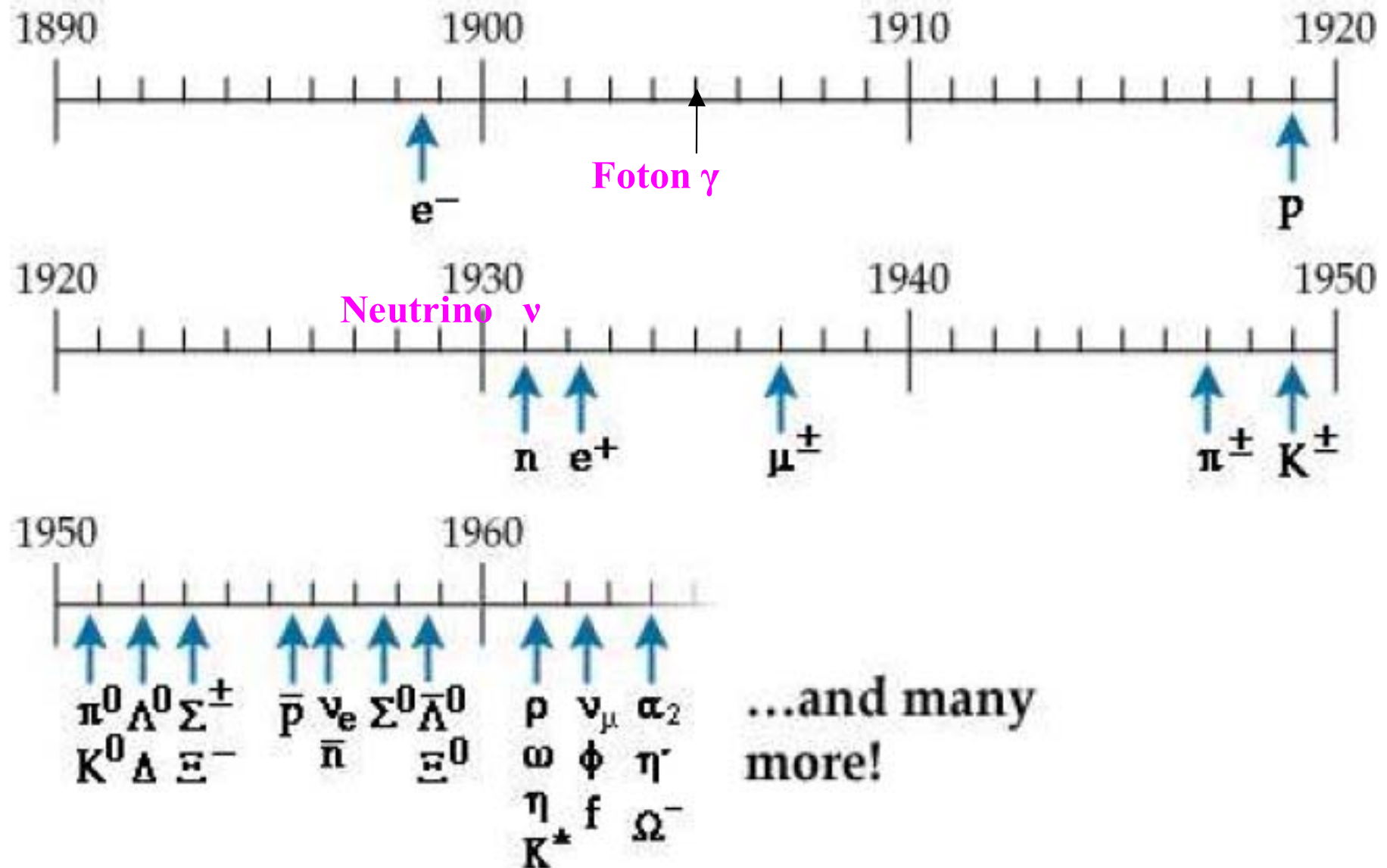
Odkrycie fotonu

Arthur Compton 1923
Rozpraszanie fotonów na elektronach



Compton pokazał, że fotony niosą nie tylko **energię**, ale i **pęd**
 $\Rightarrow$ zachowują się jak **cząstki**

Odkrycia cząstek elementarnych 'potop' w latach 50-60 XX w



Masy

($E=mc^2$, jednostka masy = eV/c^2 ,
często pomijamy stały czynnik c^2)

Neutrino – 0 ?

Elektron – 0.5 MeV

Pion – 140 MeV

Proton, neutron - 1 GeV

Istnieją cząstki masywniejsze niż proton
nawet 200 razy

Pochodzenie mas cząstek – nadal zagadką

Czy masa cząstki = suma mas składników?

bywa, ale np. nie dla p, n

Czasy życia cząstek elementarnych

- Czas życia układu – czas po którym połowa układów danego typu przestaje istnieć
- Czasy życia cząstek elementarnych τ
 - cząstki trwałe – np. elektron i proton
($> 4.6 \cdot 10^{26}$ lat i $> 10^{30}$ lat)
 - cząstki rozpadające się b. szybko 10^{-24} s
 - cząstki rozpadające się powoli:
mion $2 \cdot 10^{-6}$ s, piony naładowane $2.6 \cdot 10^{-8}$ s
- Prawdopodobieństwo rozpadu małe, gdy
czas życia długi i odwrotnie

Rozpad cząstki elementarnej

Rozpad cząstki to swobodne przejście do innego stanu (to nie jest rozpad na składniki cząstki złożonej, ale przeorganizowanie składu).

Np. rozpad β : neutron (ddu) $\rightarrow$ p(uud) e i 'coś'
(czas życia neutronu 886 s = 14,8 min)

1914 J. Chadwick: energia elektronu zmienna
więc to nie może być rozpad na dwie cząstki

Bohr – energia się nie zachowuje

Pauli 1931-'coś' bez masy i ładunku (..bez wiary)

Fermi 1932-nazwa neutrino(neutralne maleństwo)

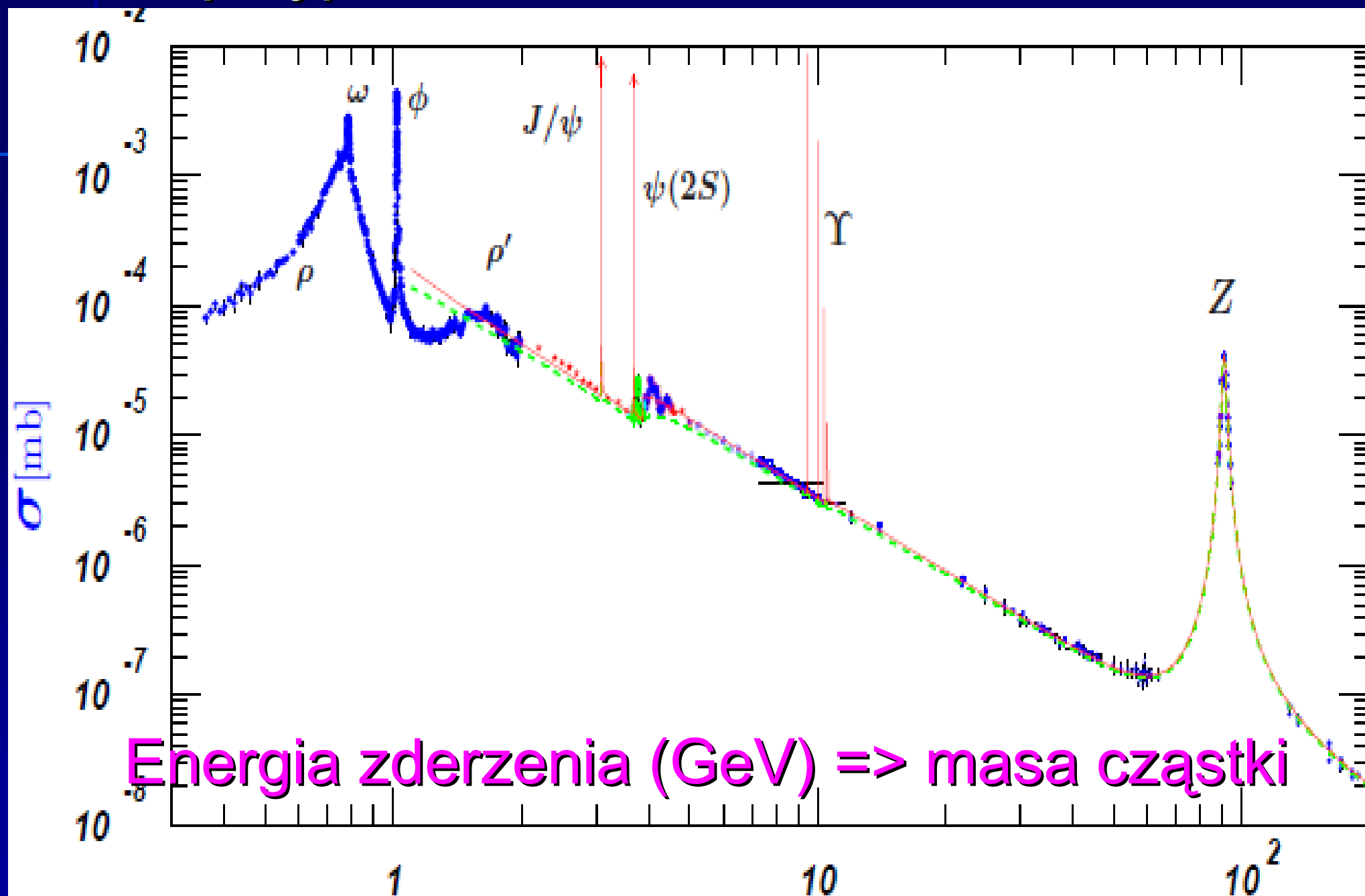
Produkcja cząstek elementarnych

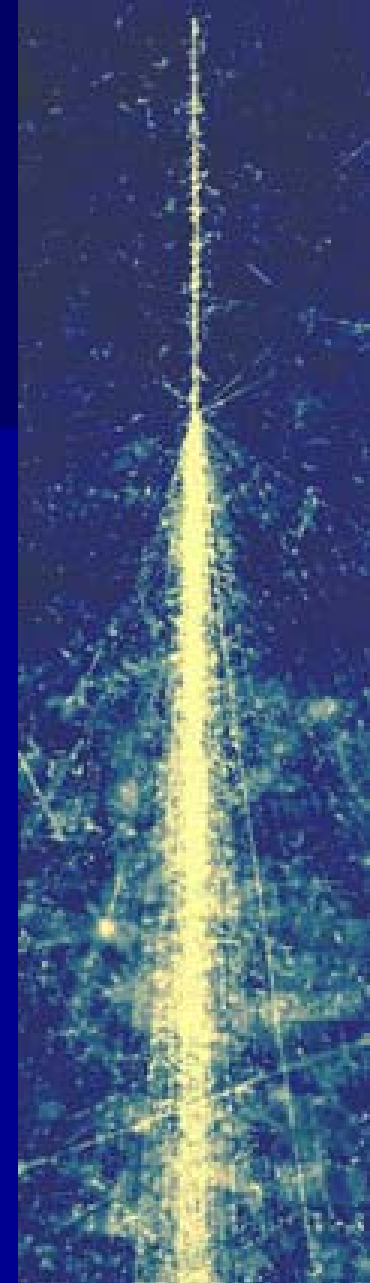
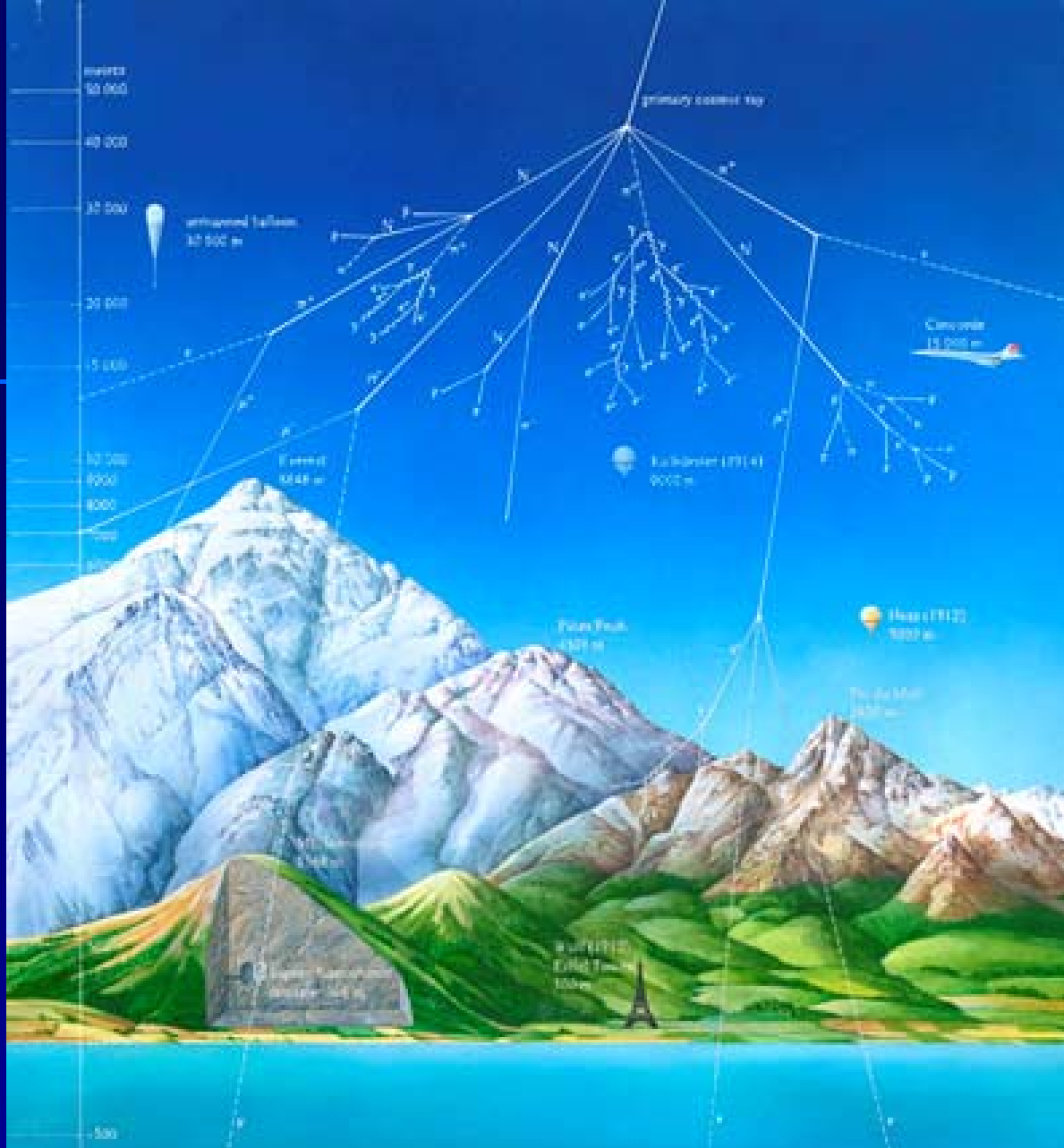
W zderzeniach cząstek danego typu produkcja dwóch, trzech,..N cząstek - zawsze w zgodzie z zasadą zachowania energii i pędu

Energia zderzenia może się zamienić całkowicie na energię spoczynkową jednej nowej cząstki, zgodnie z $E=mc^2$ - produkcja rezonansowa -

tak odkryto wiele cząstek

Liczba przypadków w zderzeniach e^+e^-

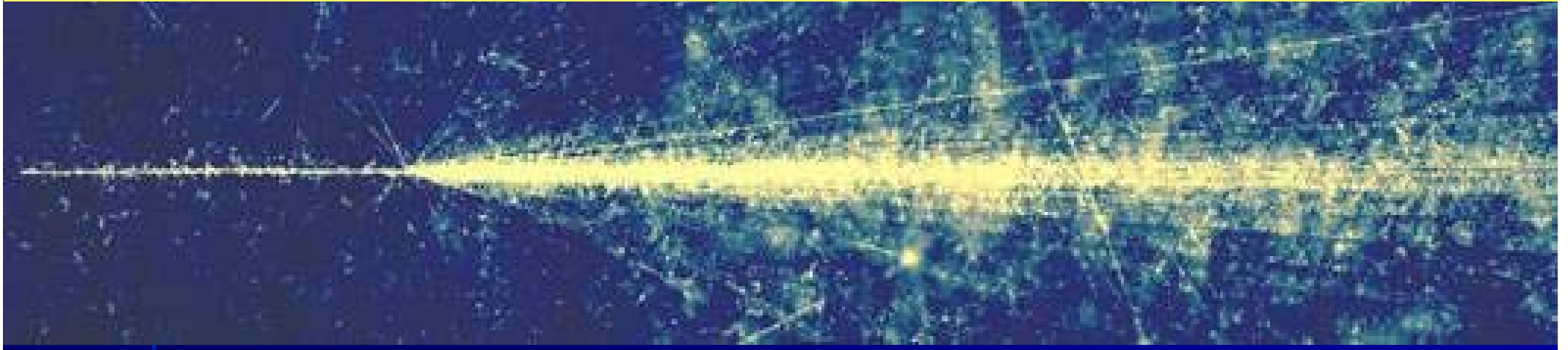




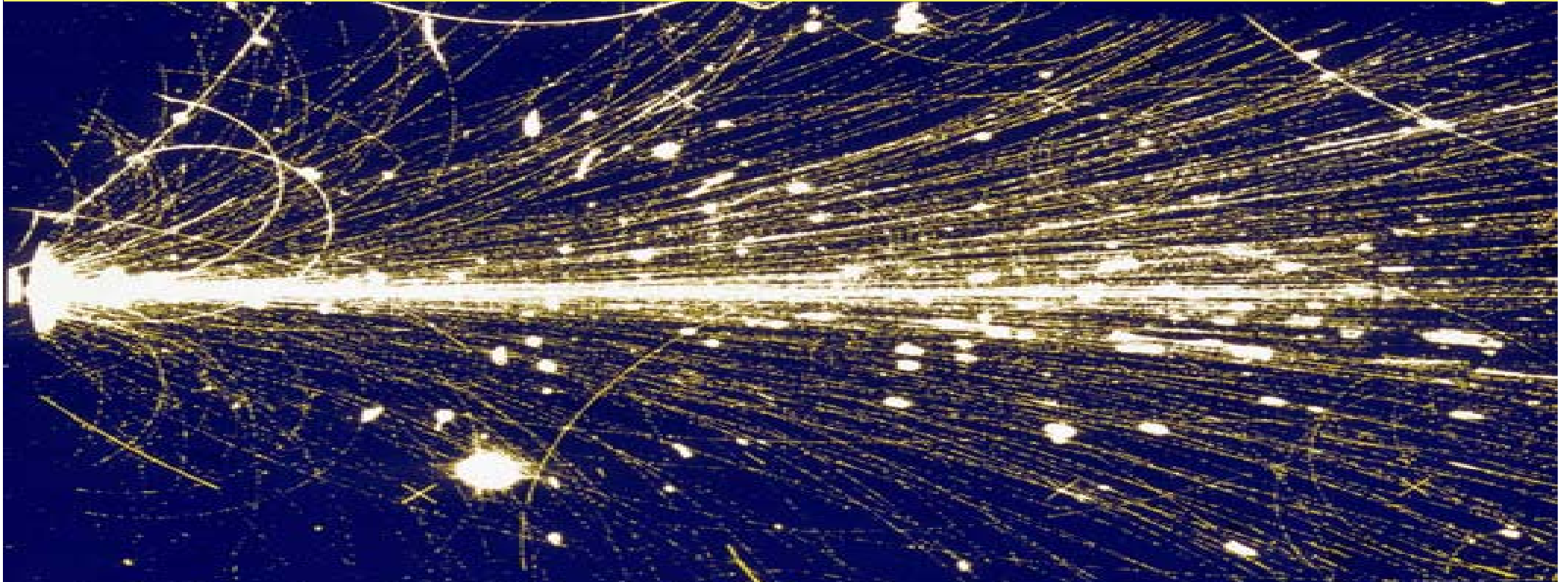
Zderzaczk kosmiczny: w promieniowaniu kosmicznym odkryto wiele nowych zjawisk w tym cząstki dziwne

Close

1955 CERN accelerators replicate cosmic rays on Earth...



..record the images and reveal the real heart of matter....



the beginnings of modern high energy particle physics [Close]

Cząstki dziwne

Czas życia
znacznie dłuższy
od spodziewanego

$$\Lambda \rightarrow p + \pi^-$$
$$\tau \approx 3 \cdot 10^{-10} s$$

$$\Delta \rightarrow p + \pi^-$$
$$\tau \sim 10^{-23} s$$

Produkcja i rozpad cząstki Λ :



Dziwne też to, że produkują się tylko parami

Własności cząstek elementarnych - liczby kwantowe

Cząstki dziwne mają cechę S (dziwność różną od zera); wartości S : 1, 2, 3.. (i ujemne)

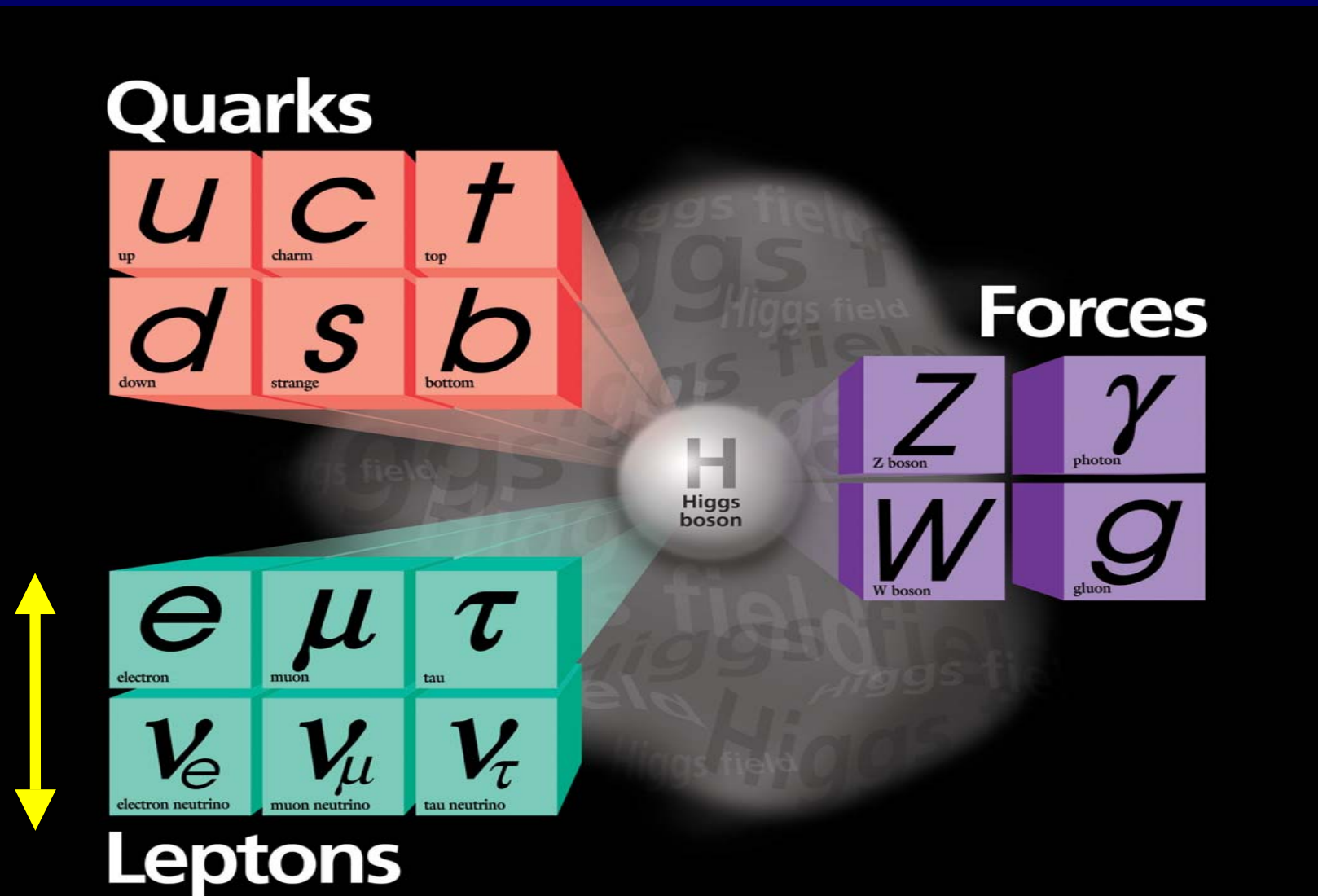
Nukleony= proton i neutron $S=0$

Piony $S=0$

Inne cechy (liczby kwantowe)– powab, piękno itp. wszystkim cząstkom przypisujemy odpowiednie liczby kwantowe.

Te liczby kwantowe dodają się i zachowują (jak ładunek elektryczny) w **niektórych** procesach

Nośnikami tych liczb kwantowych są kwarki



Nukleony i zwykłe kwarki (oraz klej)

Proton i neutron = 3 kwarki

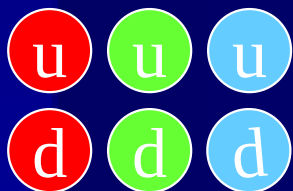
(różne typy kwarków i ich nazwy...)

kwarki *u* (*up*) i *d* (*down*)

kwarki występują w 3 stanach (*barwach, kolorach*)

- nowa liczba kwantowa

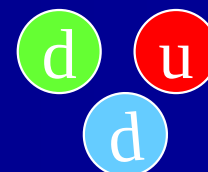
czerwone, zielone i niebieskie – to tylko nazwy



proton



neutron



Kwarki nie mają struktury! Są fundamentalne..

Ale nie występują jako cząstki swobodne – p i n tak

W nukleonach są gluony – sklejające całość (w atomie -> siły e-m, fotony)

Antycząstki (antymateria)

- Antycząstki to też cząstki, choć mogą się różnić od swoich „partnerów” pewnymi własnościami.

Cząstki i antycząstki mają tę samą masę i czas życia

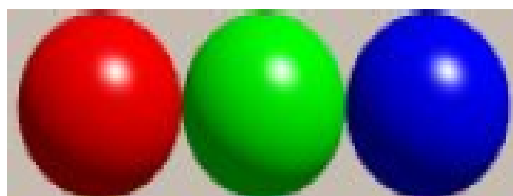
- Np. elektron i pozyton – to para cząstka-antycząstka (ale która jest którą to sprawa umowy), różnią się znakiem ładunku elektrycznego (pozyton ma dodatni ładunek).

Elektron odkryto w 1897 a pozyton w 1932

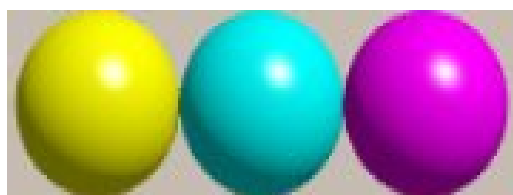
- Przewidywanie teoretyczne istnienia antycząstki – Dirac’ 1928 z analizy równań
- Istnienie antycząstek wynika z prawa przyrody; cząstka może być swoją antycząstką – np. foton (ładunek elektr. zero);
- Cząstka i antycząstka mogą oddziaływać bardzo gwałtownie – zniknąć i pojawiać się w parach
- Oznaczenie – kreska nad symbolem cząstki np. kwark u i antykwark $\bar{u}$

Kolor

Każdy z kwarków obdarzony jest ładunkiem kolorowym: R , G lub B .



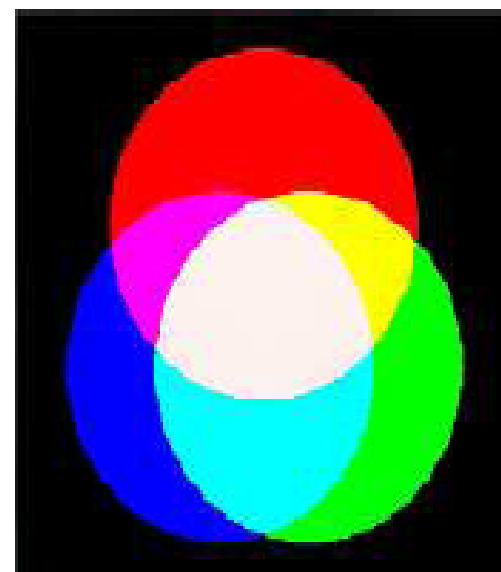
Antykwarki mają odpowiednio anty-kolory (kolory “ujemne”): $\bar{R}$, $\bar{G}$, $\bar{B}$.



Jako swobodne mogą istnieć tylko cząstki nie niosące netto ładunku kolorowego (cząstki “białe”):

$$R + G + B = 0$$

$$R + \bar{R} = G + \bar{G} = B + \bar{B} = 0$$



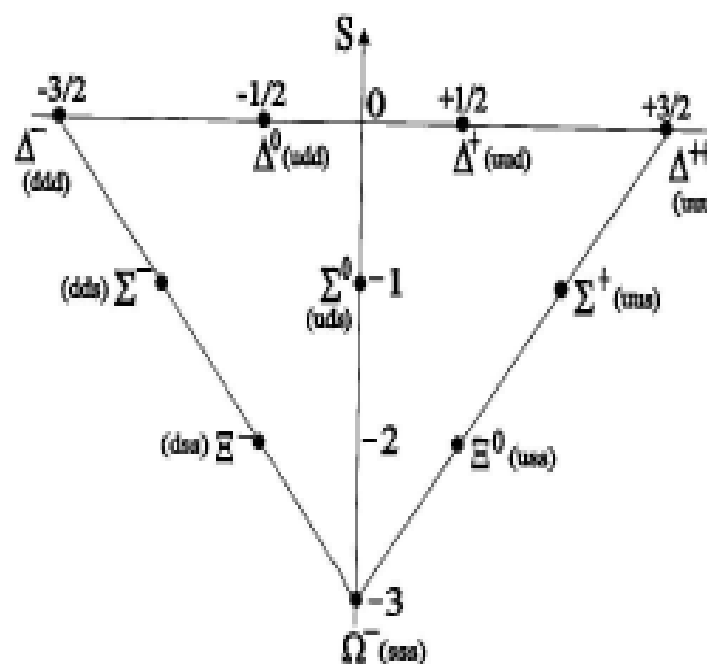
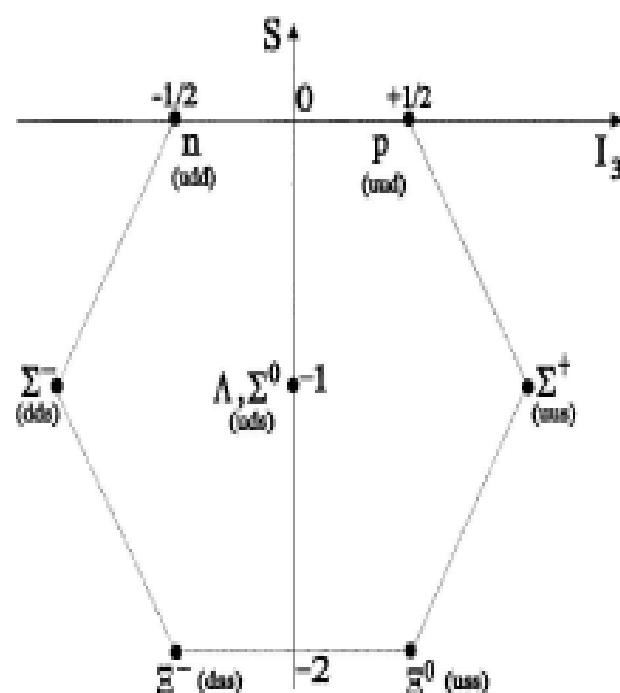
Kolor – cd

- wszystkie kwarki są kolorowe
- gluony – też mają kolor ale „podwójny” kolor i antykolor
np. gluon czerwono- antyniebieski
- foton „czuje ładunek el.”, gluon – ładunek kolorowy – (oddziałuje z.., sprzęga się do..)
- makroskopowo – ładunek kolorowy nie występuje, bo kwarki nie występują pojedynczo

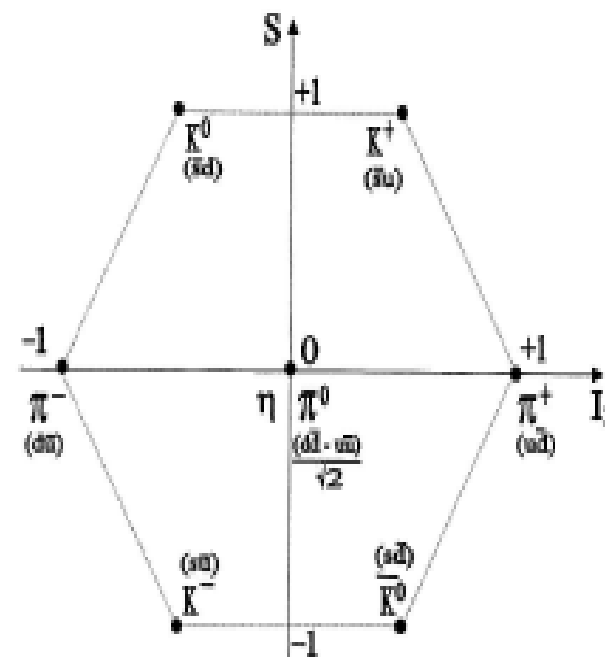
Model kwarkowy

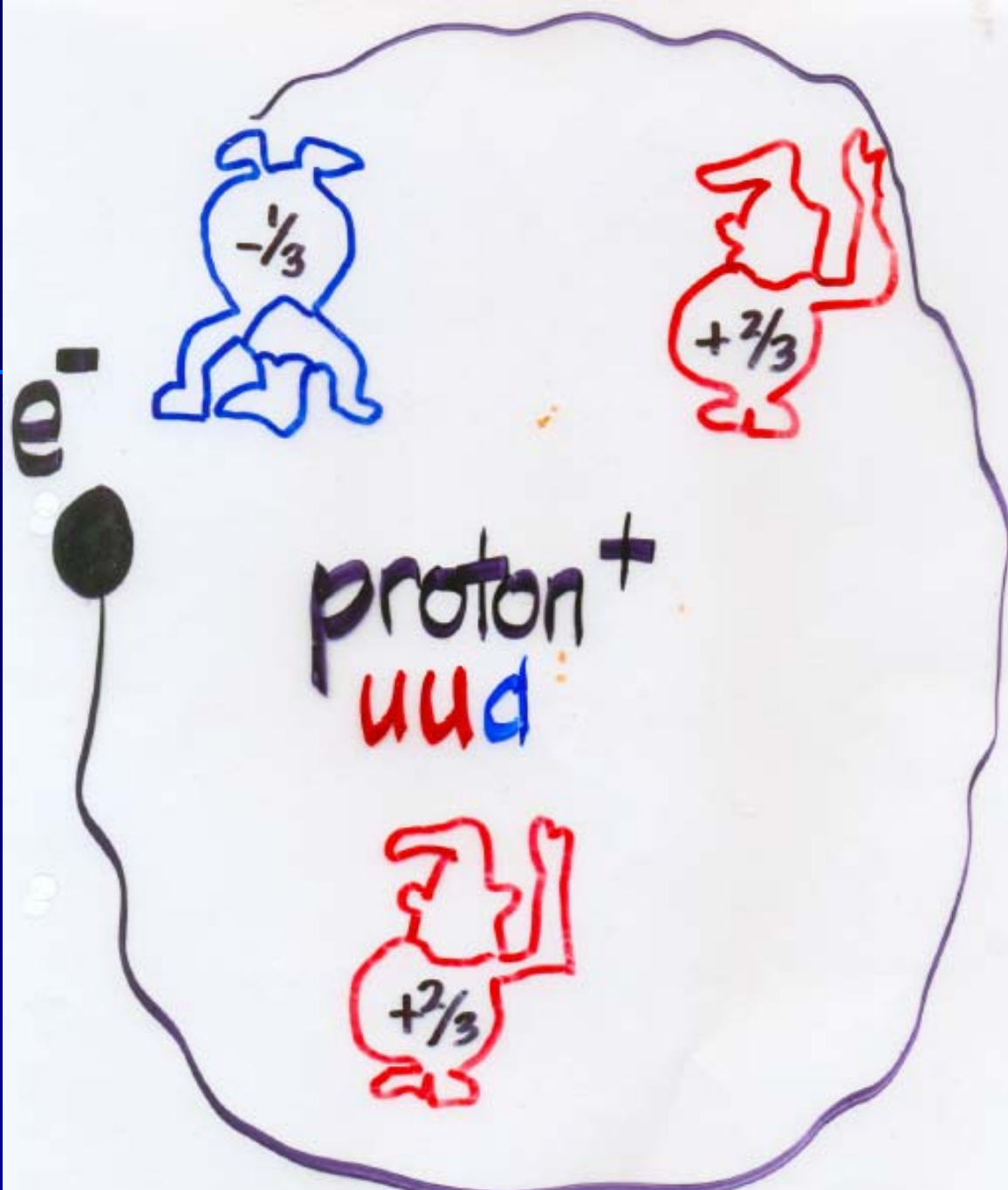
W połowie lat 60 obserwowana **symetria** w świecie znanych **cząstek** doprowadziła **Gell-Mann'a i Zweig'a** do hipotezy istnienia **kwarków**

Trzy kwarki tworzyłyby bariony:



Para kwark-
antykwar^{ku} mezony:





F. Close

H atom
(not to scale!)

**a miracle
of
neutrality**

**electron
balances**

uud

hint of unification

Life, ^{much} of the Universe, ^{but} not everything

Stable (ordinary) matter

- up-quark (charge $+2/3$)
- down-quark (charge $-1/3$)
- electron (charge -1)
- * neutrino (no charge and $\approx$ zero mass)



proton



neutron

what is the neutrino needed for ??