

W GLAB MATERII

OD ATOMÓW
DO KWARKÓW

**Ludzi już od zarania dziejów
nurtowały pytania:**

"Z czego zbudowany jest świat?"

oraz

"Co go scala?"



WSTĘP HISTORYCZNY



STAROŻYTNA GRECJA

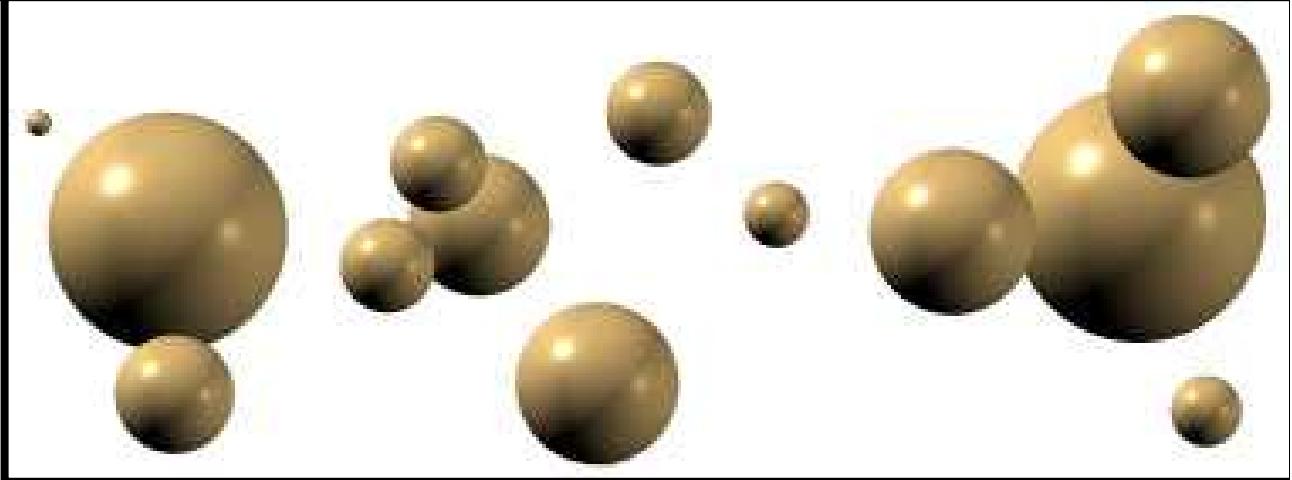


EMPEDOKLES (495 - 435 pne)
i jego koncepcja „czterech podstawowych żywiołów” : **Ogień, Woda, Powietrze i Ziemia** jako podstawowe tworzywa otaczającego świata.

Piątym tworzywem - tworzywem nieba - miała być tzw. „Kwintesencja”

WSTĘP HISTORYCZNY

STAROŻYTNA GRECJA



DEMOKRYT (460 - 370 pne)
i jego koncepcja atomistyczna.
Świat zbudowany jest z niepodzielnych
atomów [$\alpha \tau \omicron \mu \alpha$] oraz próżni.

DWA SPOJRZENIA NA ŚWIATŁO



Isaac Newton
Ur 4 stycznia 1643
Zm 31 marca 1727

**Preferował korpuskularną
koncepcję światła**



Christiaan Huygens
Ur. 1629
Zm. 1695)



Thomas Young
ur. 13 czerwca 1773
zm. 10 maja 1829

Twórcy falowej teorii światła.



W 1808 r. J. Dalton wprowadza pojęcia pierwiastków i związków chemicznych oraz rozróżnienie atomów i molekuł.



Odkrycie promieniotwórczości (m. in. Rutherford ok. 1900r.) wskazało na złożoność atomu.
Ok. 1911 r. (Rutherford) pojawia się pojęcie jądra atomowego i chmury elektronowej.

E. Rutherford



Max Planck

W 1900 r. wysuwa przypuszczenie, że promieniowanie jest skwantowane, tzn. jest przesyłane w określonych paczkach.



Albert Einstein,

jeden z niewielu uczonych, którzy potraktowali poważnie idee Plancka, zaproponował kwant światła, czyli foton, który zachowuje się podobnie do cząstki. Einstein także badał falowo-cząstkową naturę fotonów, w tym zjawisko fotoelektryczne..



Artur Compton

W oddziaływaniach z materią światło zachowuje się TAK JAK strumień cząstek (fotonów) o energii i pędzie odpowiednio:

$$\mathbf{E} = h\nu = \hbar\omega$$

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{E}}{c} = \frac{h\nu}{c}$$

*Stała
Plancka*

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.054 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$



Ok. 1913 r Niels Bohr formułuje swój “planetarny” model atomu

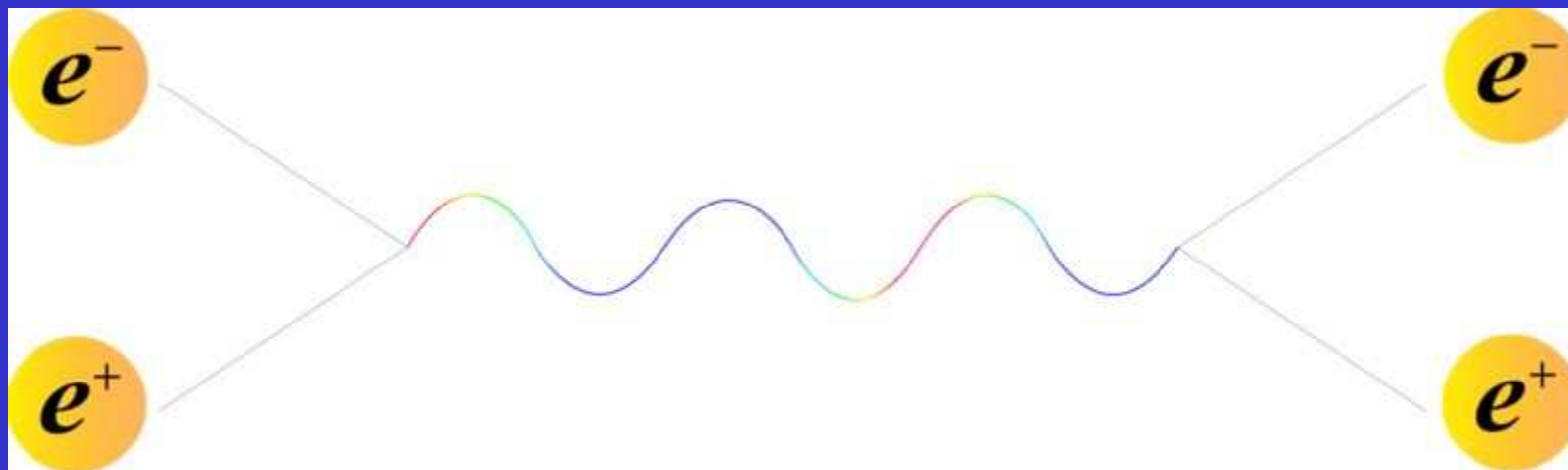
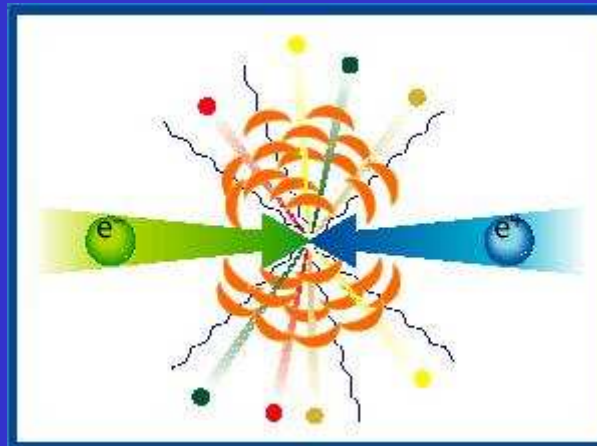
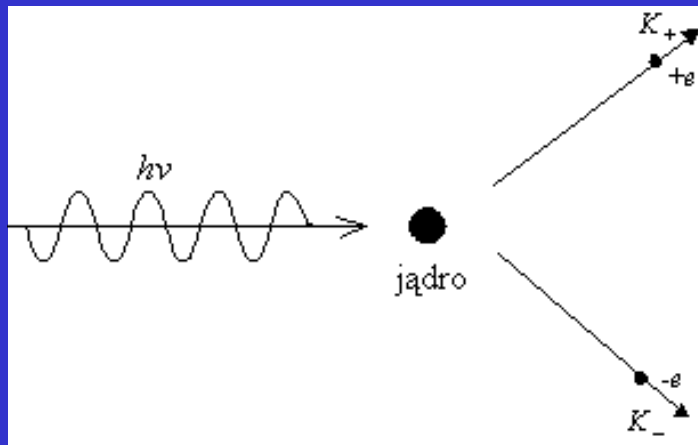


Lata 20-te i 30-te - ugruntowują się pojęcia protonu i neutronu jako składników jądra atomowego.

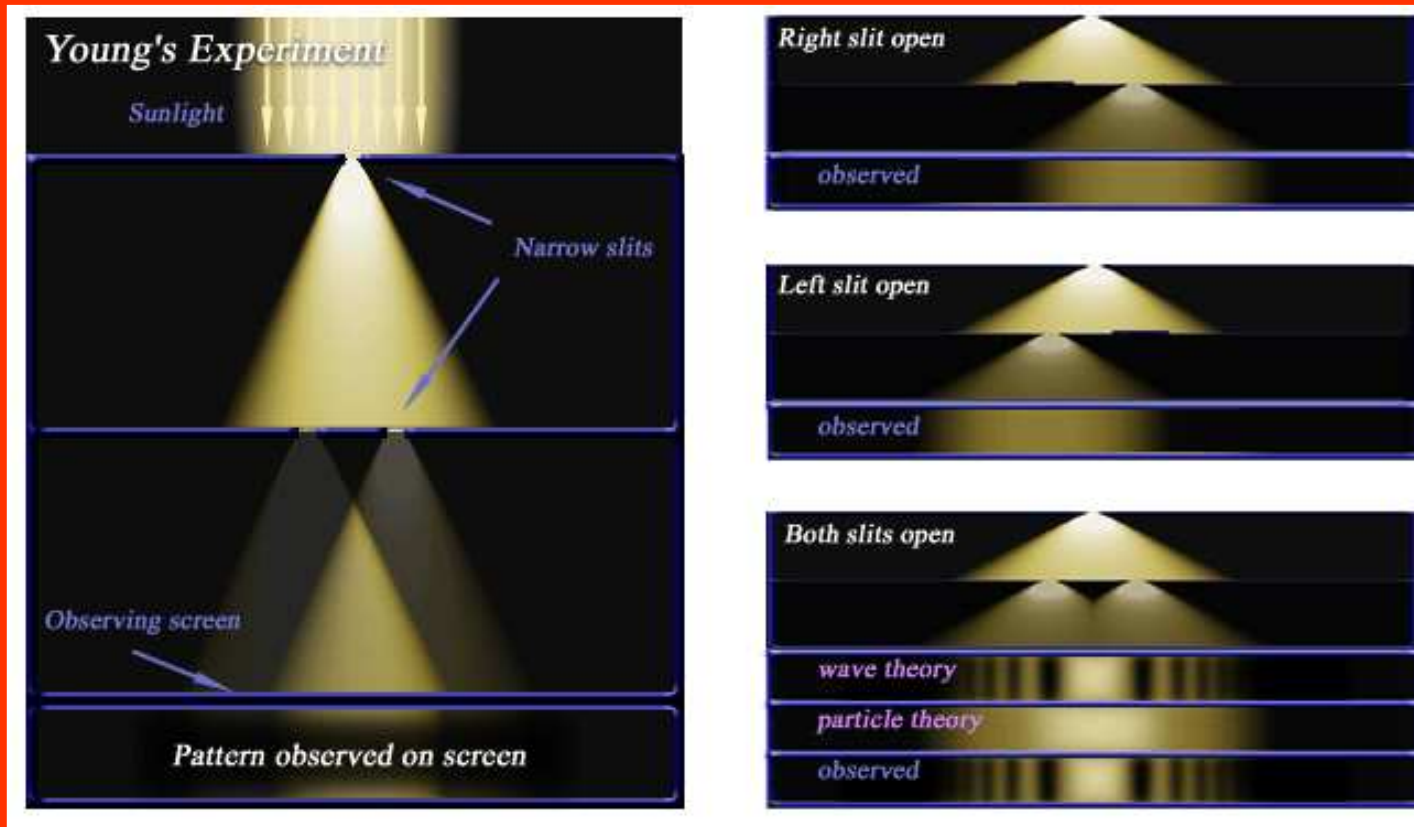


Badania nad rozpadem β (np. W. Pauli) wskazują na konieczność istnienia jeszcze jednej cząstki - **neutrino**.
Pojawia się też pojęcie antymaterii (**Dirac**).

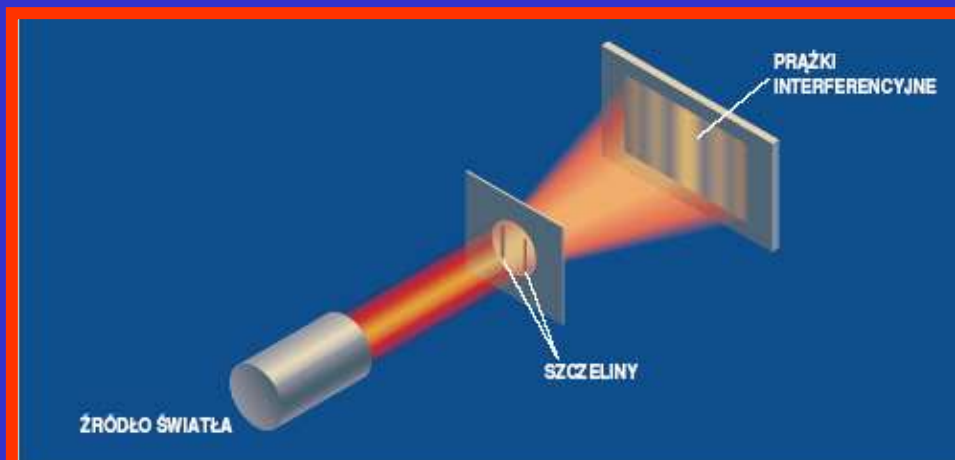
ANTYMATERIA- KREACJA I ANIHILACJA PAR CZĄSTEK



DOŚWIADCZENIE INTERFERENCYJNE YOUNGA



Thomas Young



Do tego eksperymentu
powrócimy za chwilę!



Louis De Broglie

W 1925 L. de Broglie przedstawia hipotezę dualnej (falowo korpuskularnej) natury wszystkich składników materii.

RUCHOWI KAŻDEJ CZĄSTKI SWOBODNEJ O ENERGII E ORAZ PĘDZIE p ODPOWIADA MONOCHROMATYCZNA FALA PŁASKA O CZĘSTOŚCI ω I WEKTORZE FAŁOWYM \mathbf{k} ZWIĄZANYMI NASTĘPUJĄCYMI RELACJAMI:

$$\mathbf{E} = \hbar \cdot \omega$$

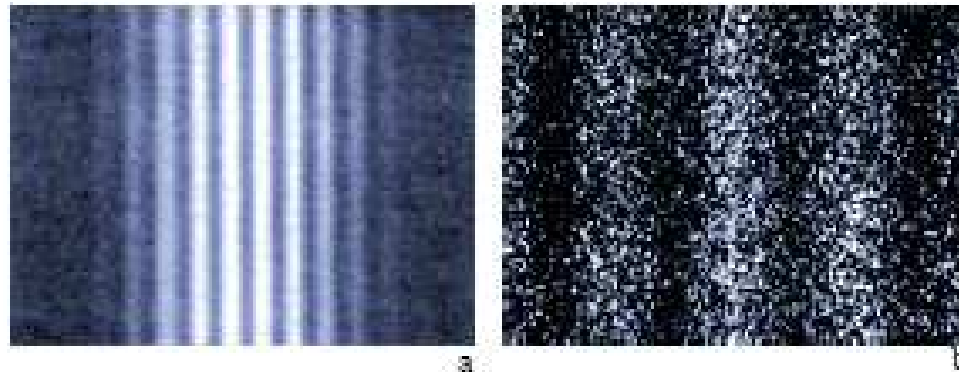
$$|\vec{\mathbf{k}}| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\vec{\mathbf{p}} = \hbar \cdot \vec{\mathbf{k}}$$

$$\lambda = \frac{h}{|\vec{\mathbf{p}}|} = \frac{h}{mv} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Hipotezę De Broglie'a potwierdziło odkrycie efektu dyfrakcji i interferencji wiązki elektronów na sieci krystalicznej.

Doświadczenia dyfrakcyjno-interferencyjne dla elektronów



dyfrakcja elektronów na dwóch szczelinach

Warunki eksperymentu:

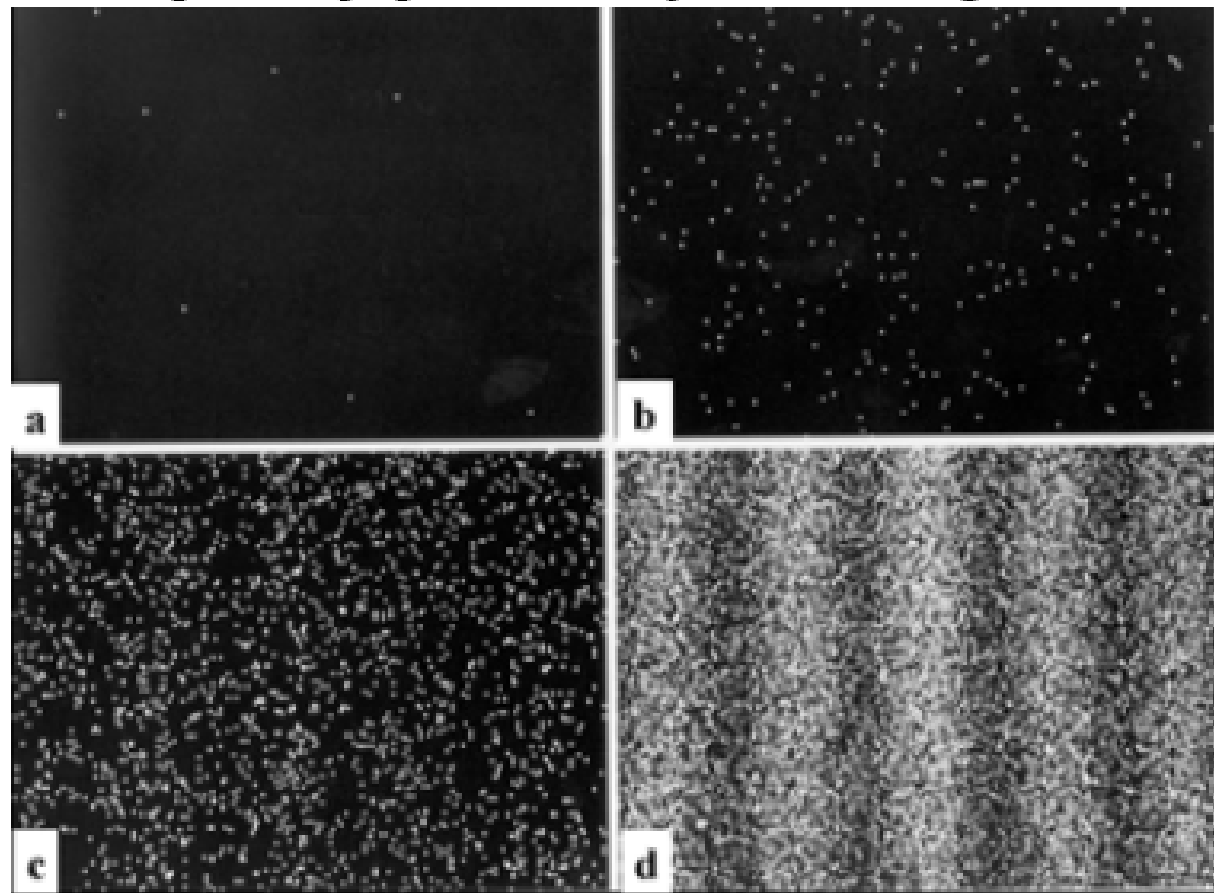
folia miedziana ze szczelinami o długości $50\mu\text{m}$, szerokości $0.3\mu\text{m}$
i odległości między środkami $1\mu\text{m}$.

Dyfrakcja elektronów o energii kinetycznej 50keV , czyli $\lambda=0.005\text{nm}$.

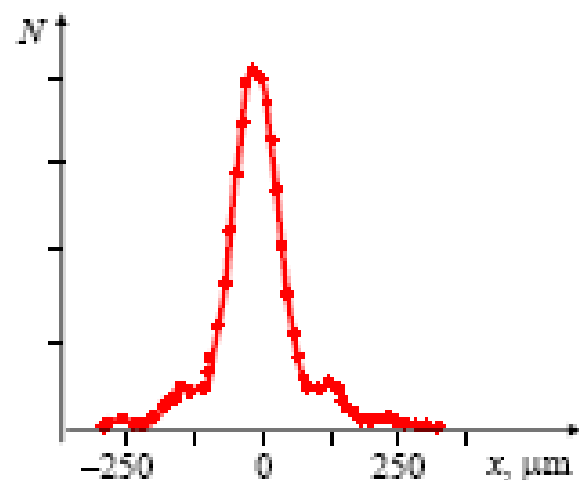
Powstawanie obrazu interferencyjnego dla wiązki elektronów w doświadczeniu z dwiema szczelinami. Elektrony przepuszczane jeden po drugim.

Ekran typu jak w telewizorach

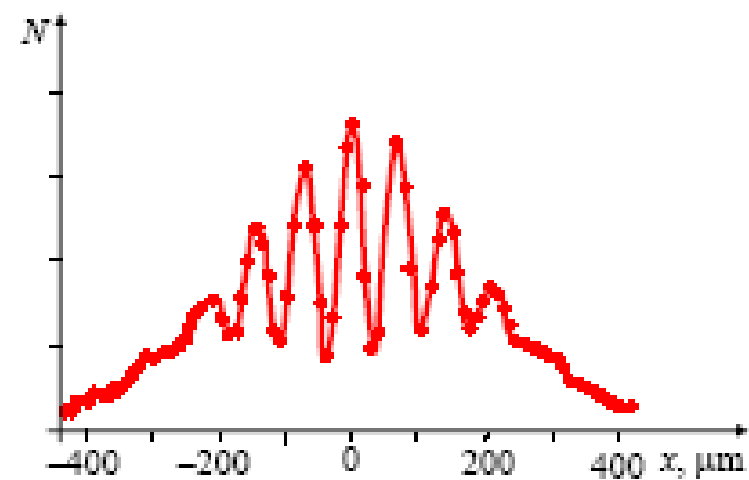
– uderzenie elektronu powoduje powstanie błysku świetlnego



Doświadczenia dyfrakcyjno-interferencyjne dla neutronów

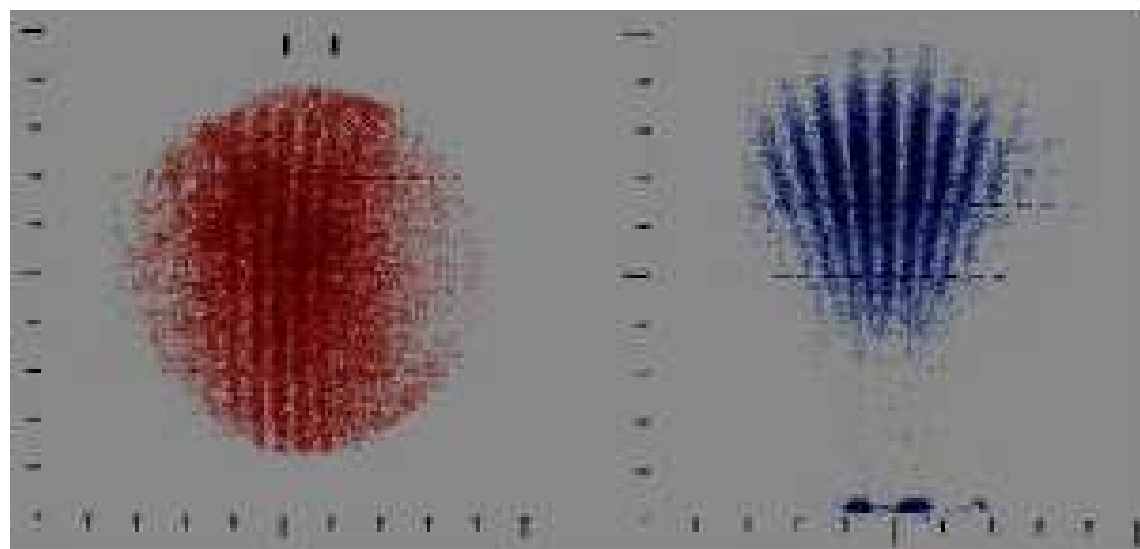
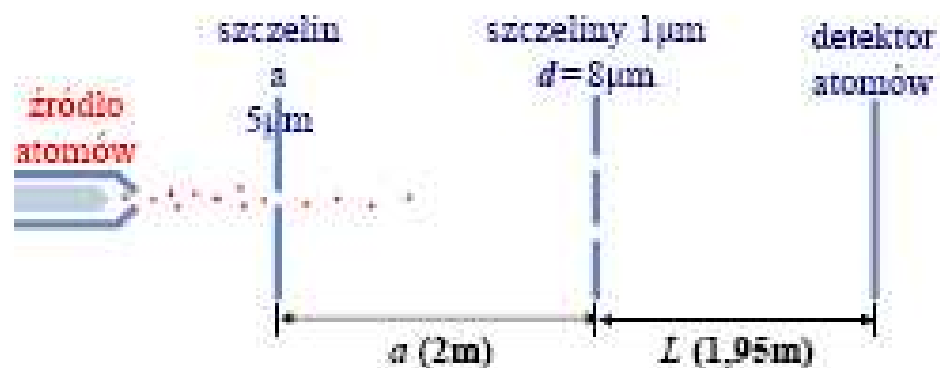


Dyfrakcja na jednej szczelinie
 $\lambda = 2\text{nm}$



Dyfrakcja na dwóch szczelinach
 $\lambda = 2\text{nm}$

Doświadczenia dyfrakcyjno-interferencyjne dla atomów helu



**CZYM W TAKIM RAZIE SĄ PODSTAWOWE
SKŁADNIKI MIKROŚWIATA?**

CZĄSTKAMI CZY TEŻ FALAMI?

**CZYM W TAKIM RAZIE SĄ PODSTAWOWE
SKŁADNIKI MIKROŚWIATA?**

CZĄSTKAMI CZY TEŻ FALAMI?

Oto odpowiedź dyplomatyczna:

TO BARDZO DOBRE PYTANIE!!!

POPROSZĘ O NASTĘPNE.

POJĘCIA „CZĄSTKA” I „FALA” TO TERMINY KLASYCZNE ZACZERPNIĘTE Z JĘZYKA FIZYKI MAKROŚWIATA.

SKŁADNIKI MIKROŚWIATA NIE SĄ ANI CZĄSTKAMI ANI FALAMI W SENSIE KLASYCZNYM.

ONE TYLKO ZACHOWUJĄ SIĘ (W RÓŻNYCH SYTUACJACH) TAK JAK KLASYCZNE CZĄSTKI LUB FALE.

POJĘCIA „CZĄSTKA” I „FALA” TO TERMINY KLASYCZNE
ZACZERPNIĘTE Z JĘZYKA FIZYKI MAKROŚWIATA.

SKŁADNIKI MIKROŚWIATA NIE SĄ ANI CZĄSTKAMI ANI
FALAMI W SENSIE KLASYCZNYM.

ONE TYLKO ZACHOWUJĄ SIĘ (W RÓŻNYCH SYTUACJACH)
TAK JAK KLASYCZNE CZĄSTKI LUB FALE.

BYĆ MOŻE TRAFNIEJSZE JEST POSTRZEGANIE SKŁADNI-
KÓW MIKROŚWIATA JAKO PEWNYCH PROCESÓW NIŻ
JAKO OBIEKTÓW.

PROCESY NIE TYLKO SĄ CO DZIEJĄ SIĘ.
ICH WŁASNOŚCIĄ JEST BARDZIEJ DYNAMIKA NIŻ STATYKA.

W ZAPROPONOWANEJ TU INTERPRETACJI ZARÓWNO FOTONY JAK I ELEKTRONY, PROTONY I INNE SKŁADNIKI MIKROŚWIATA W TRAKCIE EKSPERYMENTÓW FIZYCZNYCH ODGRYWAJĄ PEWIEN „SPEKTAKL”, W KTÓRYM JAK AKTORZY WCIELAJĄ SIĘ W ROLĘ CZĄSTKI LUB FALI LUB JESZCZE CZEGOŚ INNEGO.

W ZAPROPONOWANEJ TU INTERPRETACJI ZARÓWNO FOTONY JAK I ELEKTRONY, PROTONY I INNE SKŁADNIKI MIKROŚWIATA W TRAKCIE EKSPERYMENTÓW FIZYCZNYCH ODGRYWAJĄ PEWIEN „SPEKTAKL”, W KTÓRYM JAK AKTORZY WCIELAJĄ SIĘ W ROLĘ CZĄSTKI LUB FALI LUB JESZCZE CZEGOŚ INNEGO.

MY SAMI (I NASZA APARATURA LABORATORYJNA) JESTEŚMY OBIEKTAMI MAKROSKOPOWYMI (KLASYCZNYMI) I W TERMINACH KLASYCZNYCH STARAMY SIĘ OPISAĆ WSZYSTKIE ZJAWISKA.

JĘZYK POTOCZNY BAZUJĄCY NA TERMINACH FIZYKI KLASYCZNEJ NIE JEST ODPOWIEDNI DO OPISYWANIA ZJAWISK MIKROŚWIATA.

UDAŁO SIĘ NATOMIAST DOBRAĆ ODPOWIEDNI DLA TEGO ZAKRESU JĘZYK MATEMATYCZNY.

BĘDZIEMY WIĘC NADAL UŻYWAĆ

TERMINU CZĄSTKI ELEMENTARNE

PAMIĘTAJĄC JEDNAK, ŻE TEN TERMIN
TO BARDZIEJ METAFORA LITERACKA
NIŻ ODPOWIEDNIK FIZYCZNEJ
RZECZYWISTOŚCI.

FIZYKA OPISUJE ŚWIAT MODELAMI

*Mówimy np. model gazu doskonałego,
model (planetarny) budowy atomu,
kwarkowy model budowy cząstek,
modele kosmologiczne
i wiele innych.*

**MIKROŚWIAT POZNAJEMY ZA POŚREDNICTWEM ODPO-
WIEDNICH MODELI.**

FIZYKA OPISUJE ŚWIAT MODELAMI

*Mówimy np. model gazu doskonałego,
model (planetarny) budowy atomu,
kwarkowy model budowy cząstek,
modele kosmologiczne
i wiele innych.*

**MIKROŚWIAT POZNAJEMY ZA POŚREDNICTWEM ODPO-
WIEDNICH MODELI.**

**DLA FIZYKA MODEL TO ODPOWIEDNIA STRUKTURA MA-
TEMATYCZNA POZWALAJĄCA ILOŚCIOWO PRZEWIDYWAĆ
WYNIKI EKSPERYMENTÓW.**

**PROBLEMEM BYWA WYRAŻENIE (INTERPRETACJA)
MODELU W JĘZYKU TERMINÓW POTOCZNYCH. TU CZĘSTO
DOCHODZI DO NIEPOROZUMIEŃ.**

WRACAMY DO STRUKTURY MATERII STAN WIEDZY Z LAT 30-TYCH

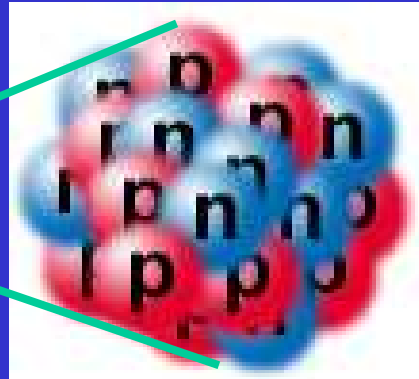


1900

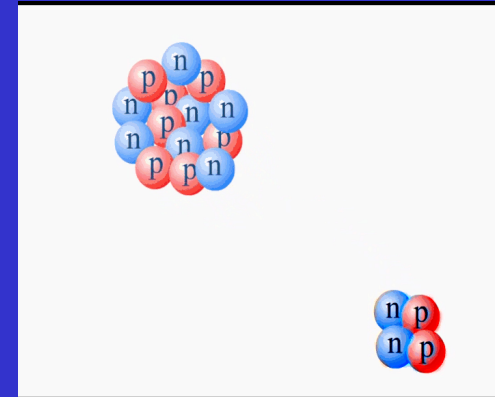
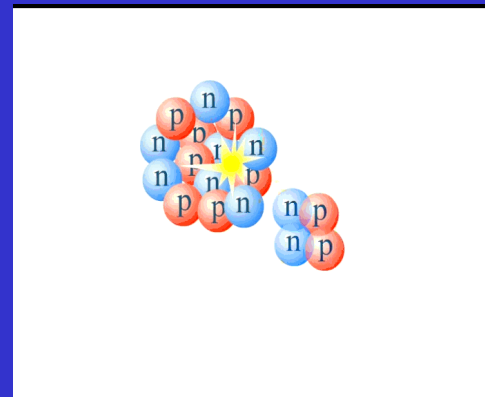
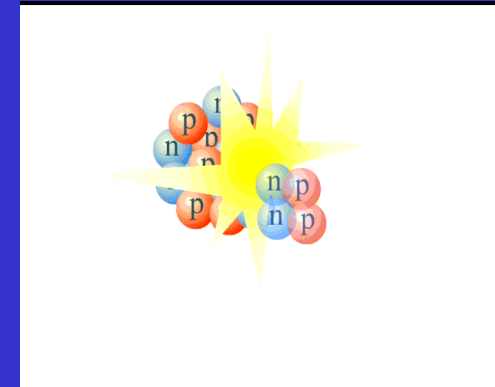
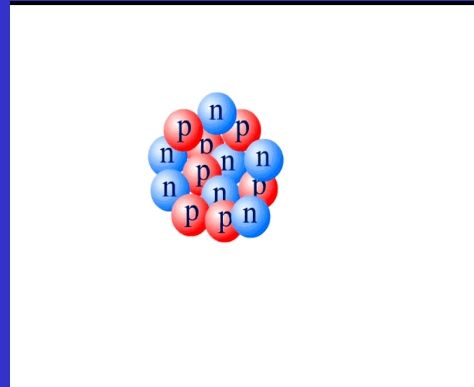


Czasy współczesne
To ja jestem obecnie
najmodniejszym
modelem atomu!

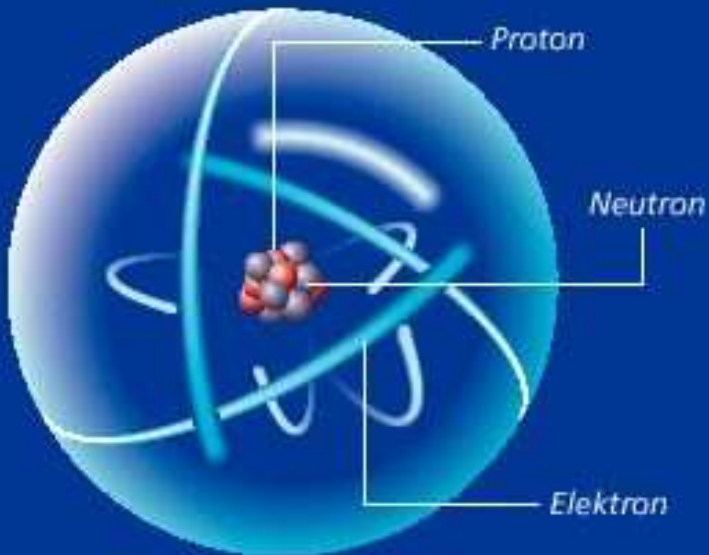
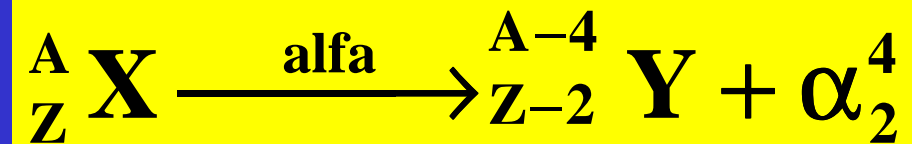
ATOM



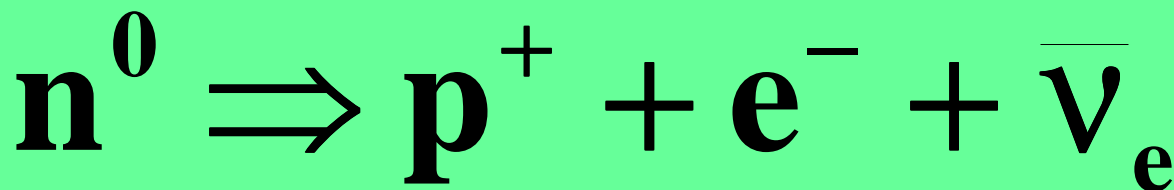
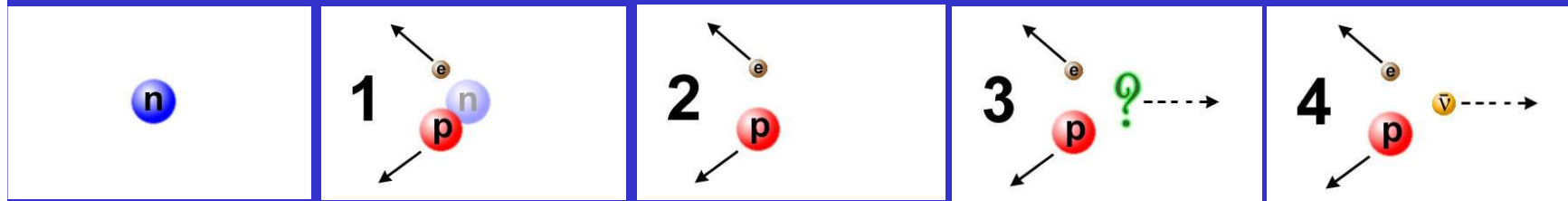
**JĄDRO
ATOMOWE**



**PROMIENIOTWÓRCZY
ROZPAD ALFA**



PROMIENIOTWÓCZY PROCES BETA



TO m. in. ANALIZA ENERGII PROCESU BETA WSKAZAŁA NA KONIECZNOŚĆ ZAPOSTULOWANIA DODATKOWEJ CZĄSTKI NAZWANEJ (przez Pauliego) NEUTRINO.

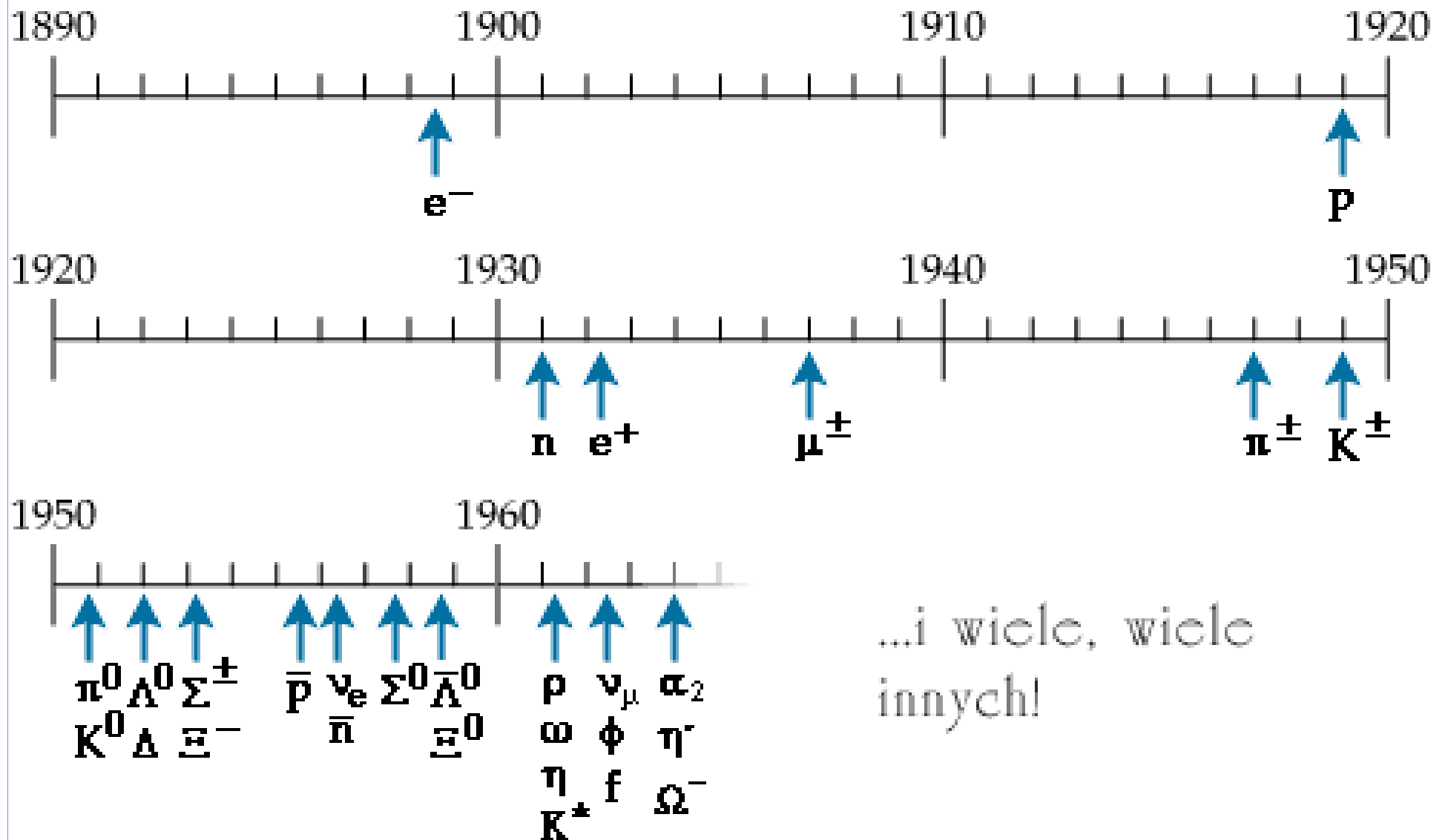
STAN WIEDZY O BUDOWIE MATERII w połowie lat 30 - tych XX w. przedstawiał się następująco:

Elementarne składniki materii obejmowały cztery cząstki elementarne:

**dwa „ciężkie” nukleony - proton i neutron, oraz
dwie „lekkie” cząstki - elektron i neutrino
(oraz odpowiadające im wszystkim antycząstki).**

Ten prosty zestaw wystarczał do opisania wszystkich cech znanej wówczas materii na poziomie mikroświata.

ODKRYWANIE KOLEJNYCH CZĄSTEK „ELEMENTARNYCH” DO POŁOWY LAT 60-TYCH.



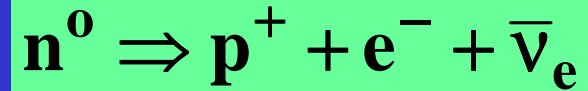
Podział cząstek elementarnych (znanych w latach 60-tych).

Klasa		Cząstka	Ładunek elektryczny	Spin	Masa [MeV]
Lep- to- ny		ν_e	0	1/2	~0
		e^-	-1	1/2	0.51
		ν_μ	0	1/2	~0
		μ^-	-1	1/2	105.6
H A D R O N Y **	M E Z O N Y	π^+, π^-	+1, -1	0	139.5
		π^0	0	0	135.0
		K^+, K^-	+1, -1	0	493.7
		K^0	0	0	497.7
		η^0	0	0	549.0
H A D R O N Y	B A R I O N Y	p^+	+1	1/2	938.2
		n^0	0	1/2	939.5
		Λ^0	0	1/2	1115.6
		Σ^+	+1	1/2	1189
		Σ^0	0	1/2	1192
		Σ^-	-1	1/2	1197
		Ξ^0	0	1/2	1315
		Ξ^-	-1	1/2	1321
		Ω^-	-1	3/2	1672

LEPTONY -
nie podlegają oddzia-
ływaniom silnym.

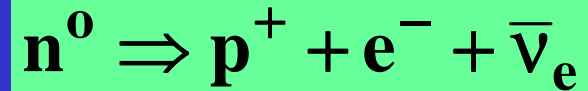
HADRONY -
[MEZONY +
BARIONY]
uczestniczą w
oddziaływaniach
silnych

Tylko protony, elektrony i neutrina są cząstkami trwałymi. Swobodne neutrony mają średni czas życia ok. 900 s poczym rozpadają się w tzw. rozpadzie beta:



Pozostałe cząstki mają czasy życia od kilku do kilkunastu rzędów wielkości krótsze od nanosekundy. Niektóre hadrony trwają zaledwie 10^{-24} s.

Tylko protony, elektrony i neutrina są cząstkami trwałymi. Swobodne neutrony mają średni czas życia ok. 900 s poczym rozpadają się w tzw. rozpadzie beta:



Pozostałe cząstki mają czasy życia od kilku do kilkunastu rzędów wielkości krótsze od nanosekundy. Niektóre hadrony trwają zaledwie 10^{-24} s.

DZIŚ LISTA HADRONÓW LICZY KILKASET POZYCJI. TRUDNO PRZYJAĆ, ŻE SĄ TO SKŁADNIKI ELEMENTARNE.

JEDNAK JUŻ W LATACH 60-TYCH ZAOBSERWOWANO SZEREG PRAWIDŁOWOŚCI W ROZPADACH HADRONÓW A TAKŻE ZAPROPONOWANO NOWY - KWARKOWY – MODEL ICH STRUKTURY I KLASYFIKACJI.

I O TYM JUŻ W DALSZEJ CZĘŚCI WYKŁADU!!!

PIERWSZY KWARKOWY MODEL HADRONÓW, (model trzech kwarków).



M. Gell-Mann

W roku 1964 M. Gell-Mann i niezależnie Zweig zauważyli, że znane wówczas multiplety hadronowe można prosto odtworzyć przyjmując istnienie trzech elementarniejszych składników o odpowiednio dobranych cechach.

Nazwano je **KWARKAMI**, które oznaczono:

u - (up - górny),
d - (down - dolny),
s - (strange - dziwny).

Odpowiadające im antykwarki oznacza się: $\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}$

Kwarki miały być składnikami o ułamkowych ładunkach elektrycznych.

PODSTAWOWE CECHY KWARKÓW

kwark (zapach)	masa(*) [GeV]	Q [e]	B
u	0.336	+2/3	1/3
d	0.338	-1/3	1/3
s	0.540	-1/3	1/3
\bar{u}	0.336	-2/3	-1/3
\bar{d}	0.338	+1/3	-1/3
\bar{s}	0.540	+1/3	-1/3

PRZYKŁADOWE STRUKTURY BARIONOWE

$$p^+ = u + u + d$$

$$B = 1 = 1/3 + 1/3 + 1/3$$

$$Q = +1 = +2/3 + 2/3 - 1/3$$

$$n^0 = u + d + d$$

$$1 = 1/3 + 1/3 + 1/3$$

$$0 = +2/3 - 1/3 - 1/3$$

$$\Lambda^0 = u + d + s$$

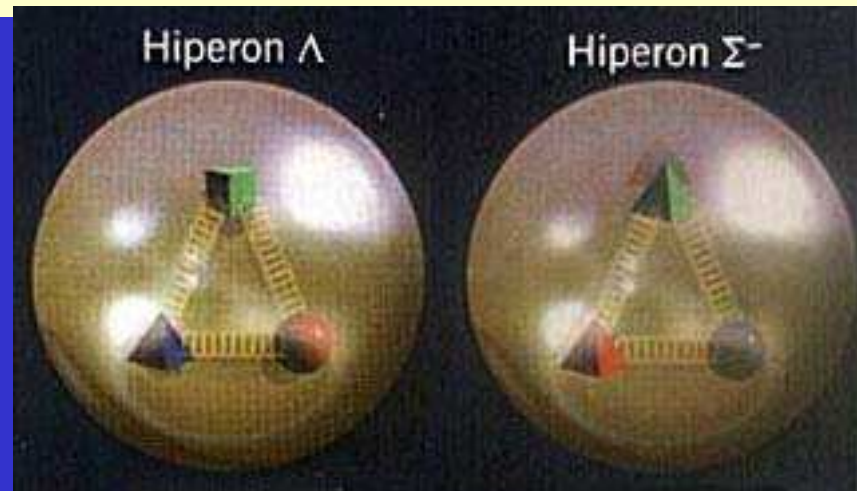
$$B = 1 = 1/3 + 1/3 + 1/3$$

$$Q = 0 = +2/3 - 1/3 - 1/3$$

$$\Xi^0 = u + s + s$$

$$1 = 1/3 + 1/3 + 1/3$$

$$0 = +2/3 - 1/3 - 1/3$$



$$\Sigma^- = s + d + d$$

$$Q = -1 = -1/3 - 1/3 - 1/3$$

PRZYKŁADOWE STRUKTURY MEZONOWE

$\pi^+ = u + \bar{d}$	$\pi^0 = d + \bar{d}$	$\pi^- = \bar{u} + d$
$B = 0 = +1/3 - 1/3$	$0 = 1/3 - 1/3$	$0 = -1/3 + 1/3$
$Q = +1 = +2/3 + 1/3$	$0 = -1/3 + 1/3$	$-1 = -2/3 - 1/3$

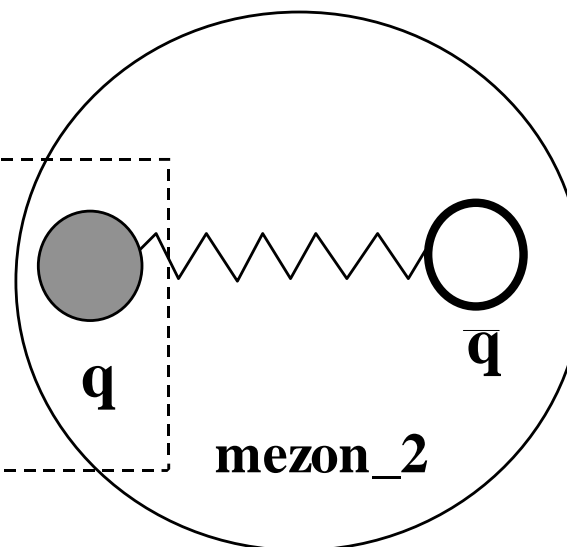
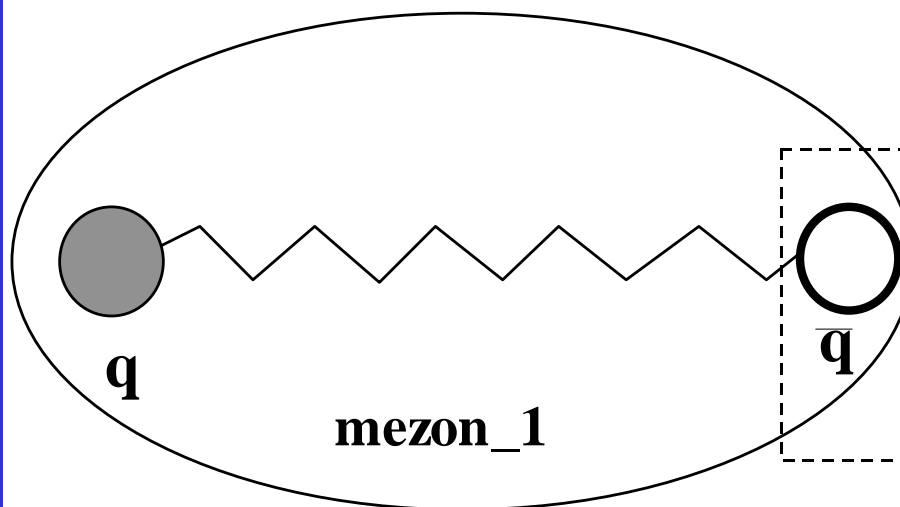
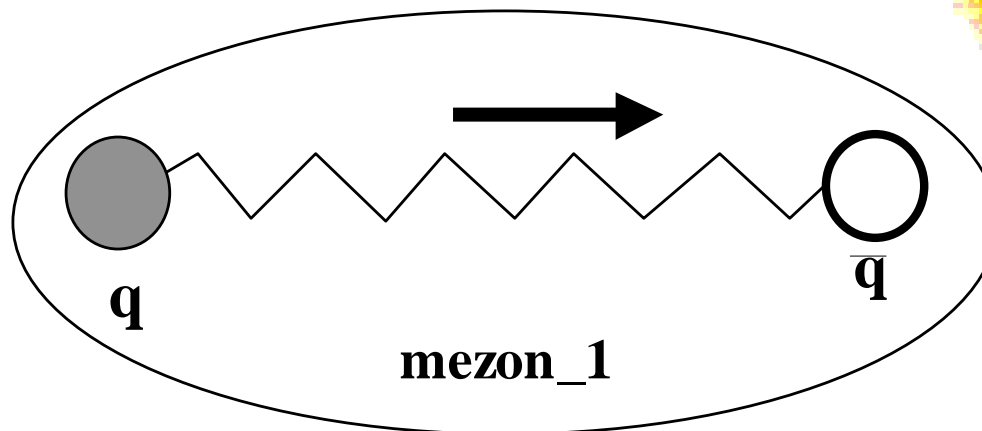
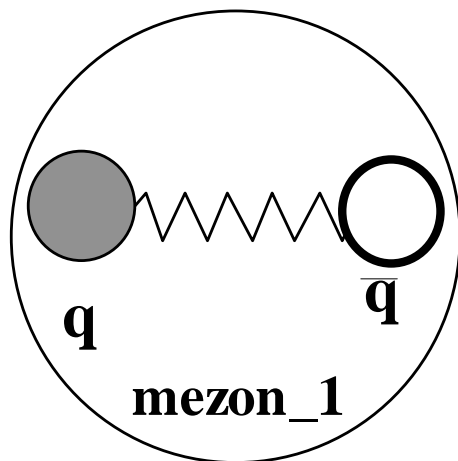
Zauważmy, że mezony π^+ oraz π^- są wzajemnie swoimi antycząstkami, zaś π^0 jest sam swoją własną antycząstką.

Antybariony buduje się analogicznie jak w powyższych przykładach zamieniając kwark na antykwark (i odwrotnie) i zmieniając znaki odpowiednich liczb (B, i Q).

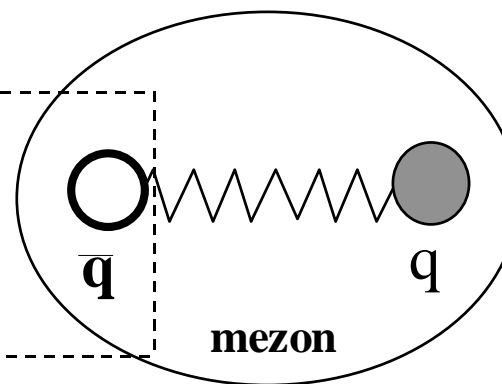
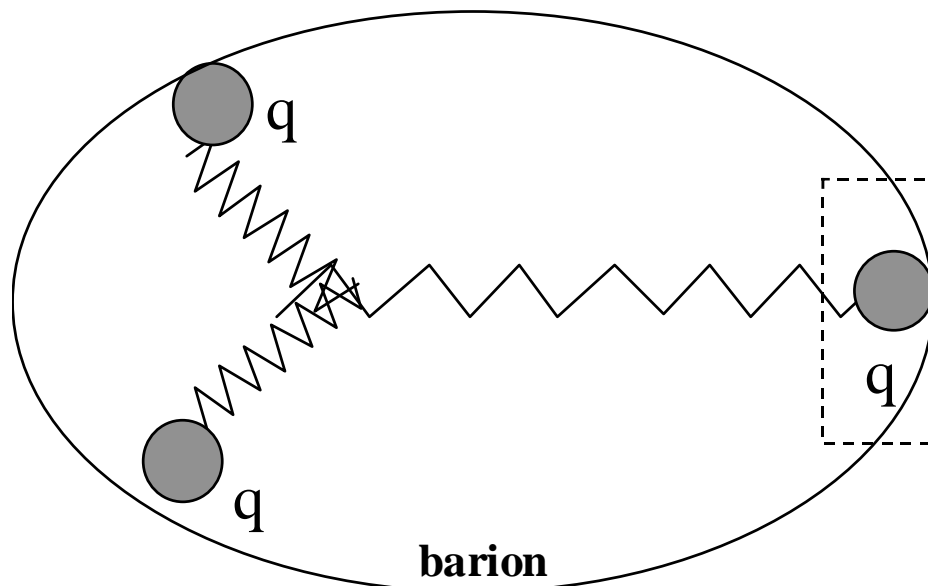
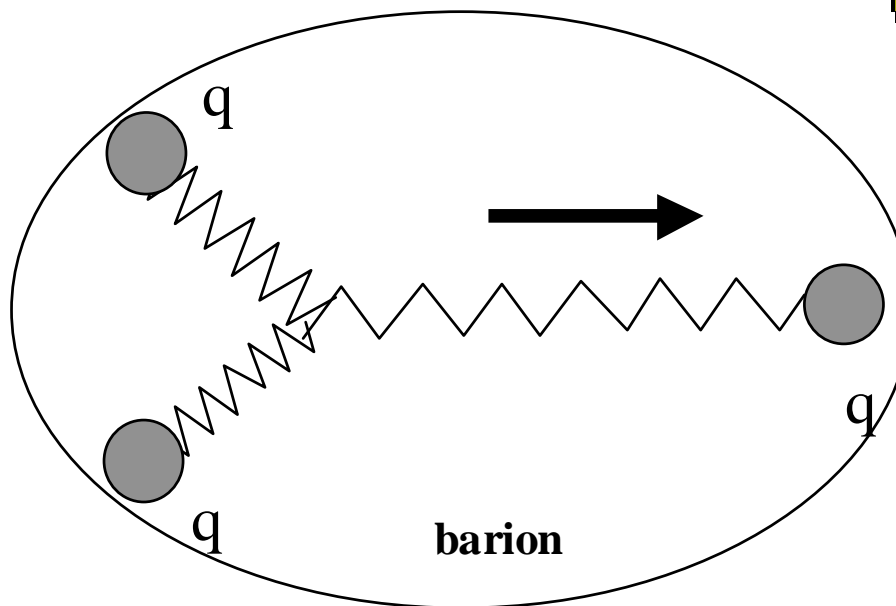
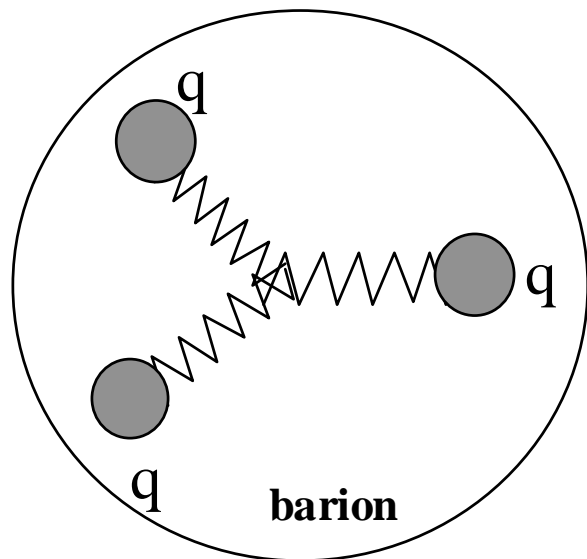
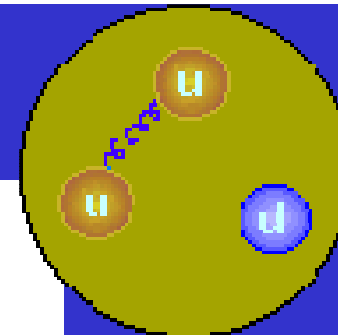
$$\bar{n} = \bar{u} + \bar{d} + \bar{d}$$

B = -1	-1/3	-1/3	-1/3
Q = 0	-2/3	+1/3	+1/3

UWIĘZIENIE KWARKÓW W MEZONACH



UWIĘZIENIE KWARKÓW W BARIONACH



DRUGA I TRZECIA GENERACJA LEPTONÓW I KWARKÓW

Pod koniec lat 60-tych do opisu znanych wówczas cząstek i ich rozpadów wystarczały w zasadzie cztery leptony i trzy kwarki;

$$\begin{array}{ll} (e^-, \nu_e) & (u, d) \\ (\mu^-, \nu_\mu) & (s,) \end{array}$$

Jednak niektóre doświadczenia wskazywały, że przydałby się dla pełnej symetrii modelu jeszcze czwarty kwark. Obserwowano bowiem reakcje, w których zachodziło:



i do kompletu brakowało : $s \longleftrightarrow ?$

Byłyby wówczas dwie pary (generacje) leptonów i dwie pary (generacje) kwarków.

SYMETRIA KWARKOWO - LEPTONOWA PO WPROWADZENIU CZWARTEGO KWARKU

kwarki	Masa [GeV]	Q [e]	B
u	0.336	+2/3	1/3
d	0.338	-1/3	1/3
s	0.540	-1/3	1/3
c	1.500	+2/3	1/3
leptony	Masa	Q	L
e ⁻	0.0005	-1	1
ν _e	~0	0	1
μ ⁻	0.105	-1	1
ν _μ	0 ?	0	1

TRZY GENERACJE ELEMENTARNYCH SKŁADNIKÓW MATERII

FERMIONY

składniki materii
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

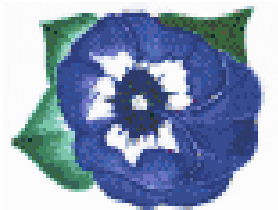
Leptony		spin=1/2	
Zapach	Masa GeV/c ²	Ładunek elektryczny	
ν_e neutrino elektronowe	$< 1 \cdot 10^{-8}$	0	
e elektron	0,000511	-1	
ν_μ neutrino mionowe	$< 0,0002$	0	
μ mion	0,106	-1	
ν_τ neutrino tau	$< 0,02$	0	
τ tau	1,7771	-1	

Kwarki		spin=1/2	
Zapach	Masa GeV/c ² (przybliżona)	Ładunek elektryczny	
u górny	0,003	2/3	
d dolny	0,006	-1/3	
C powabny	1,3	2/3	
S dziwny	0,1	-1/3	
t prawdziwy	175	2/3	
b piękny	4,3	-1/3	

$(\frac{2}{3})$
up
górnny



$(\frac{2}{3})$
charm
powabny



$(\frac{2}{3})$
top
prawdziwy

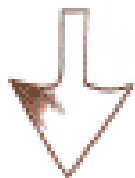


dziwny
strange
 $(-\frac{1}{3})$



piękny
bottom
 $(-\frac{1}{3})$

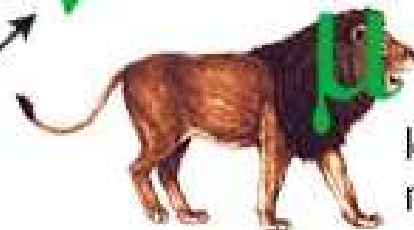
dolny
down
 $(-\frac{1}{3})$



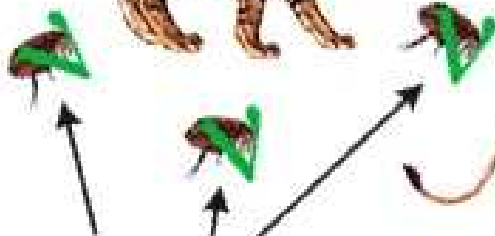
kot elektron



tygrys tau



lew mion

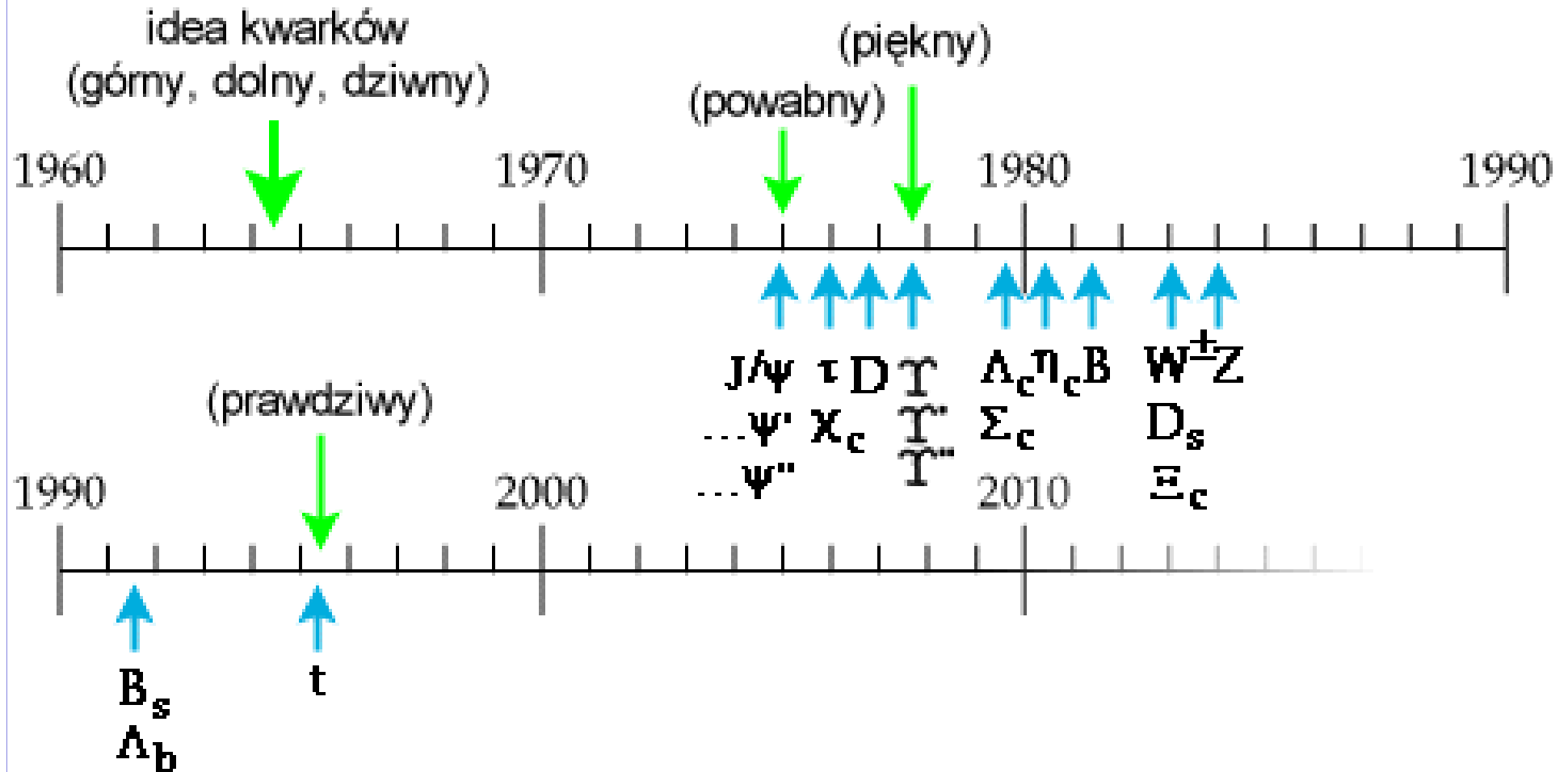


pchły neutrinowe

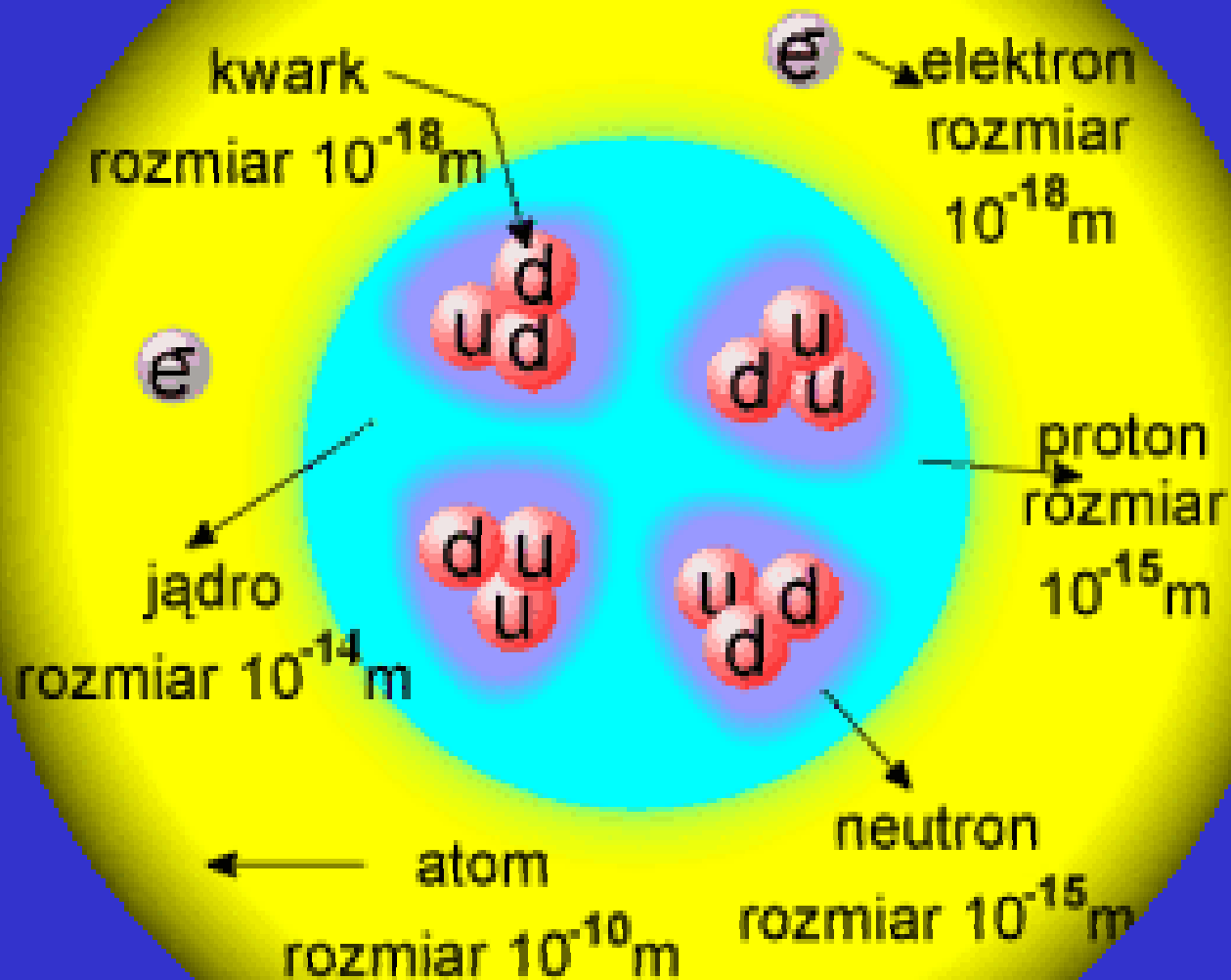
Kwarki	u górnny up	c powabny charm	t prawdziwy top
	d dolny down	s dziwny strange	b piękny bottom
Leptony	ν_e neutrino elektronowe	ν_μ neutrino mionowe	ν_τ neutrino tau
	e elektron	μ mion	τ tau
	I	II	III
	Rodziny materii		

TRZY RODZINY KWARKÓW I LEPTONÓW

OD LAT 80-TYCH DO DZIŚ ODKRYWA SIĘ KOLEJNE HADRONY ZAWIERAJĄCE KWARKI c, b, t.



Struktura atomu



Rozmiar
w atomach

1

Rozmiar
w metrach

10^{-10}

SKALE ROZMIARÓW OD ATOMÓW DO KWARKÓW I LEPTONÓW.

Jądro atomowe w atomie to
jak moneta leżąca na środku
stadionu piłkarskiego

$\frac{1}{10\ 000}$



10^{-14}

$\frac{1}{100\ 000}$



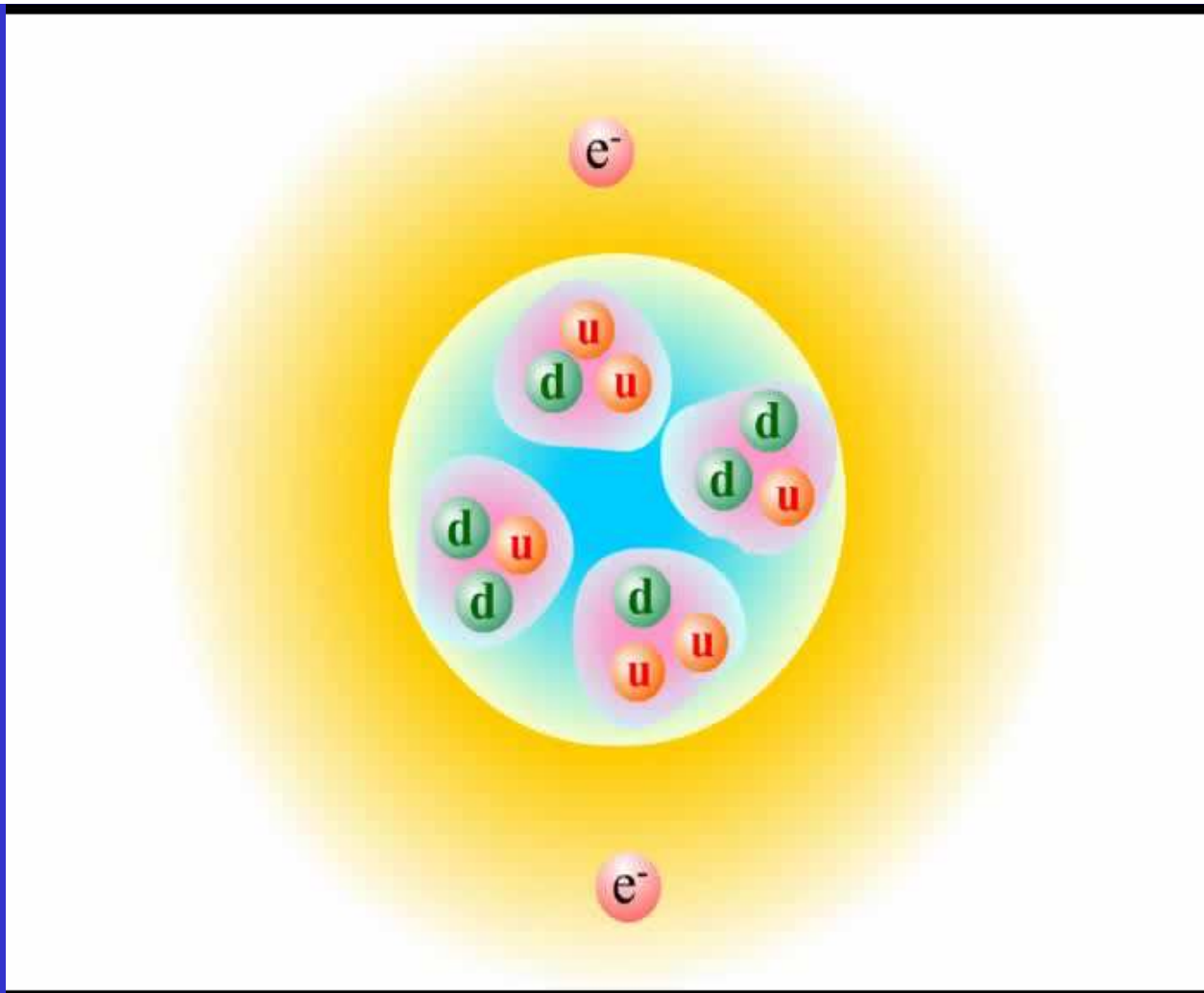
10^{-15}

$\frac{1}{100\ 000\ 000}$



nie więcej niż
 10^{-18}

Kwarki w protonie to jak
ziarnka maku w kuli
średnicy jednego metra



Ten rysunek to też pewien model i nie należy tych kuleczek traktować całkiem dosłownie! Jednak taki model pozwala naszej wyobraźni zbliżyć się do poziomu mikroświata.



Więc wszystko jest zbudowane z kwarków i leptonów, hmmm?

Kto by pomyślał, że to takie proste!

OTACZAJĄCY NAS DZIŚ ŚWIAT ZBUDOWANY JEST Z PIERWSZEJ GENERACJI KWARKÓW I LEPTONÓW.

PO CO WIĘC „NATURZE” DWIE POZOSTAŁE GENERACJE?

CZY MOŻE BYĆ TYCH GENERACJI WIĘCEJ?

OTO OTWARTE PYTANIA.

KONIEC

π^-

π^-

π^-

π^+

π^+

$\uparrow \bar{p}$

π^+

ν

μ^+

J. Sikorski, IFD
Uniwersytet Gdański