

Wstęp do fizyki cząstek elementarnych

Introduction to particle physics

Marek Pawłowski
Instytut Problemów Jądrowych
im. A. Sołtana w Świerku



Cząstka elementarna – Wikipedia, wolna encyklopedia - Mozilla Firefox


Plik Edycja Widok Historia Zakładki Narzędzia Pomoc

W http://pl.wikipedia.org/wiki/Cząstka_elementarna

W Cząstka elementarna – Wikipedia, w...

Stary układ stron Nowe funkcje Logowanie i rejestracja

Artykuł [Dyskusja](#) Czytaj [Edytuj](#) [Historia i autorzy](#) Szukaj



WIKIPEDIA
Wolna encyklopedia

[Strona główna](#)
[Kategorie artykułów](#)
[Bieżące wydarzenia](#)
[Losuj artykuł](#)

▼ Dla czytelników
[Zgłoś błąd](#)
[Częste pytania \(FAQ\)](#)
[Kontakt z Wikipedią](#)
[Wspomóż Wikipedię](#)

► Dla edytorów
[Drukuj lub eksportuj](#)

► [Narzędzia](#)

Zakończono

Cząstka elementarna [edytuj]

Cząstka elementarna – w [fizyce](#), cząstka, będąca podstawowym budulcem, czyli najmniejszym i nieposiadającym wewnętrznej [struktury](#). Niemniej pojęcie to ze względu na historycznych ma trochę inne znaczenie.

Badaniem tych cząstek zajmuje się [fizyka cząstek elementarnych](#).

Spis treści [ukryj]

- 1 Historia
- 2 Próby zmiany definicji
- 3 Cząstki elementarne w strukturze materii
- 4 Cząstki elementarne Modelu Standardowego
 - 4.1 Fermiony
 - 4.2 Bozony
- 5 Nowe teorie
- 6 Przypisy

Cząstki elementarne

leptony	kwarki
e μ τ	u c t
ν_e ν_μ ν_τ	d s b
nośniki oddziaływań	
γ Z^0 W^\pm gluon g	
hadrony	
mezony	bariony

Cząstka elementarna – Wikipedia, wolna encyklopedia - Mozilla Firefox

Plik Edycja Widok Historia Zakładki Narzędzia Pomoc

W http://pl.wikipedia.org/wiki/Cząstka_elementarna

W Cząstka elementarna – Wikipedia, w...

tykuł

ytelników

błąd

e pytania (FAQ)

kt z Wikipedią

móż Wikipedię

lytorów

i lub eksportuj

leptony			kwarki		
e	μ	τ	u	c	t
ν_e	ν_μ	ν_τ	d	s	b

nośniki oddziaływań

γ Z^0 W^\pm gluon g

Zakończono

leptony			kwarki		
e	μ	τ	u	c	t
ν_e	ν_μ	ν_τ	d	s	b

nośniki oddziaływań					
γ	Z^0	W^\pm	gluon	g	

Dziękuję Państwu
za uwagę!

Plan

- Tablica Mendelejewa
- Rutherford i rozpraszanie
- Urodzaj cząstek – klisze, bąbelki i akceleratory
- $E = mc^2$ - warto to raz przeliczyć!
- Spin i zakaz Pauliego
- Gell-Mann i zapach
- Jak to sprawdzić?
- Kolor i uwięzienie
- Oddziaływania słabe
- „Klocki LEGO” AD 2010



Tablica Mendelejewa

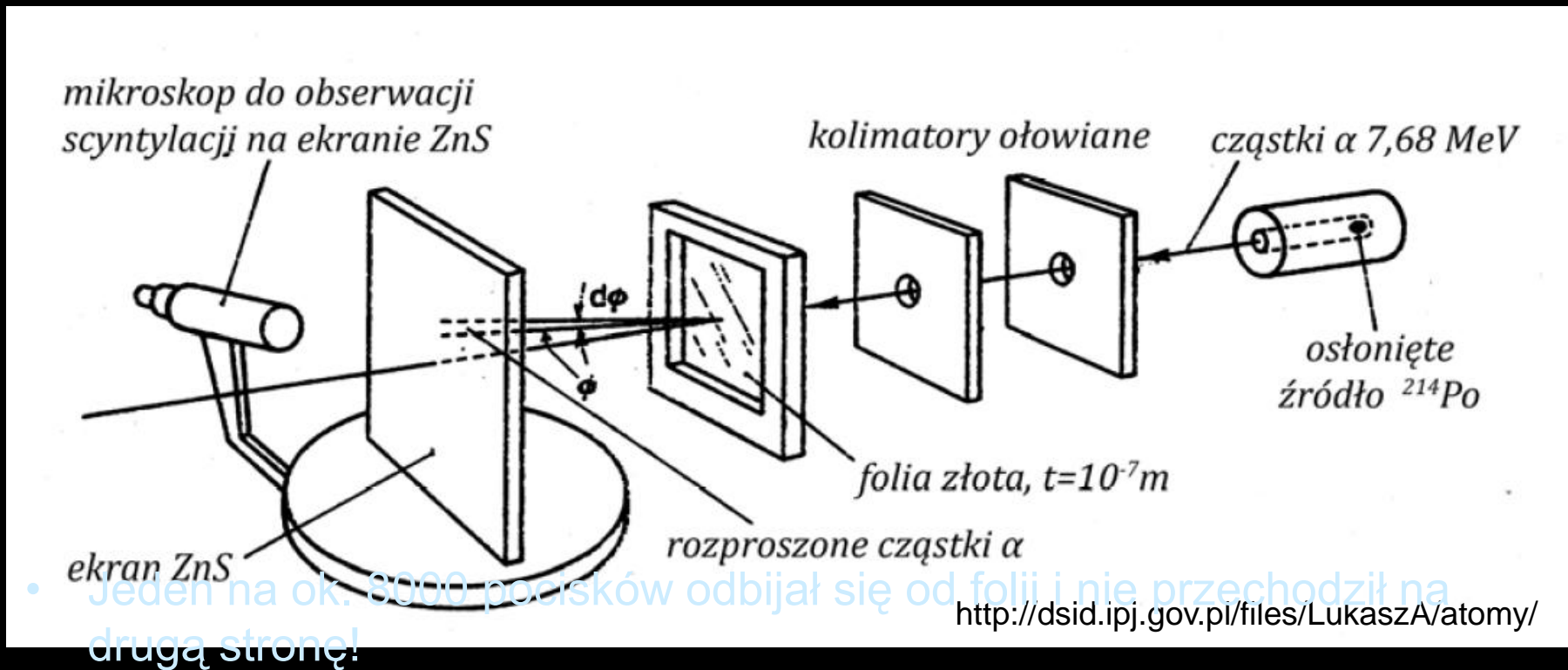
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	+Ac	104 Rf	105 Ha	106 Sg	107 Ns	108 Hs	109 Mt	110 110	111 111	112 112	113 113	114 114	115 115	116 116	117 117	118 118
		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		

- Wiele pierwiastków znanych od starożytności
- Kolejne pierwiastki odkryte w XVII i XIX w.
- Uporządkowane pod koniec XIX w. układ okresowy na podstawie podobieństwa właściwości chemicznych i fizycznych
- Pozwoliło odkryć nowe pierwiastki zaludniające wolne pola i przewidzieć ich właściwości

Czy jest jakaś zasada, która powoduje, że układ okresowy wygląda tak, a nie inaczej?

Poszukiwanie zasady

- 1897 – Thomson odkrywa elektron
- 1911 – Geiger i Marsden pod okiem Rutherforda eksperymentują ze złotą folią.



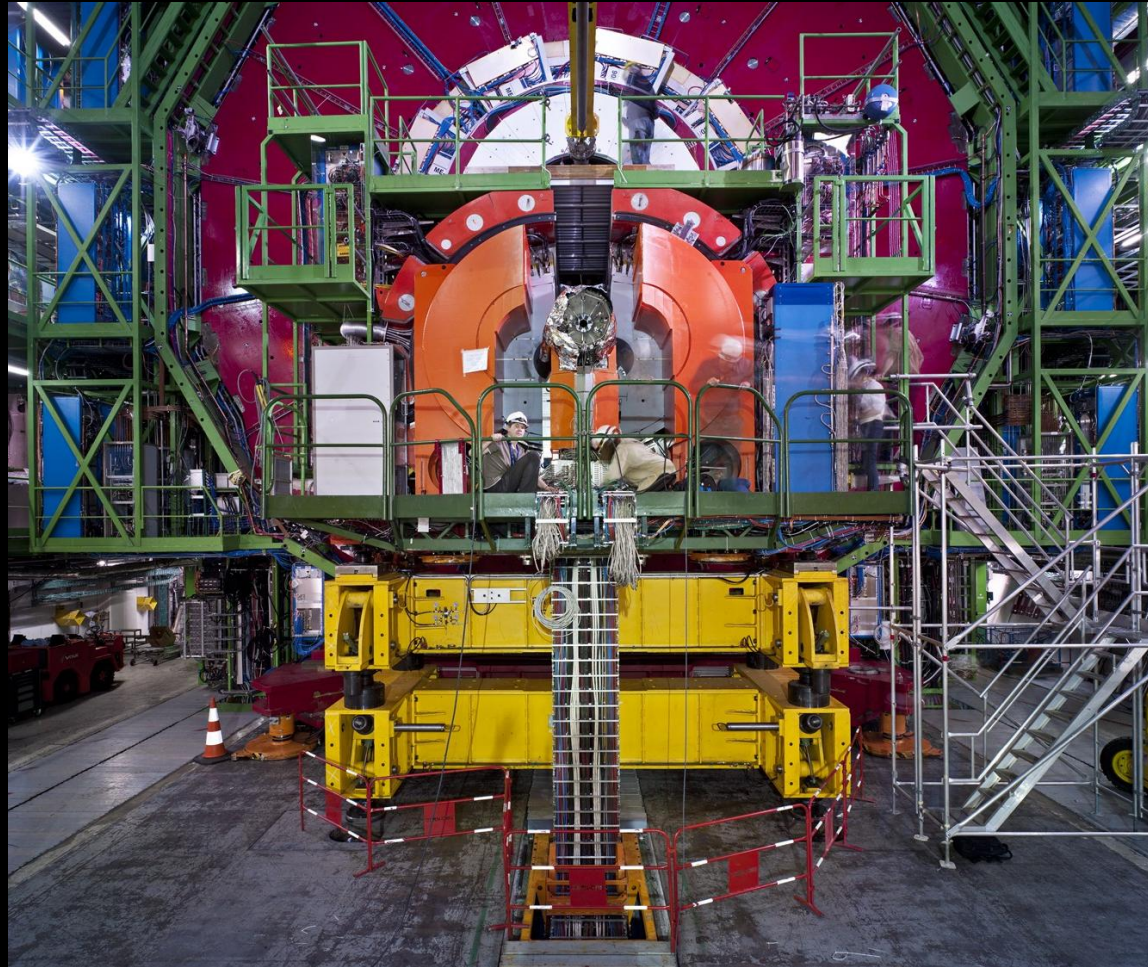
Poznawanie przez rozpraszanie ujawniło swoją wielką wartość poznawczą ale ...

... jest to metoda stara jak fauna na Ziemi:

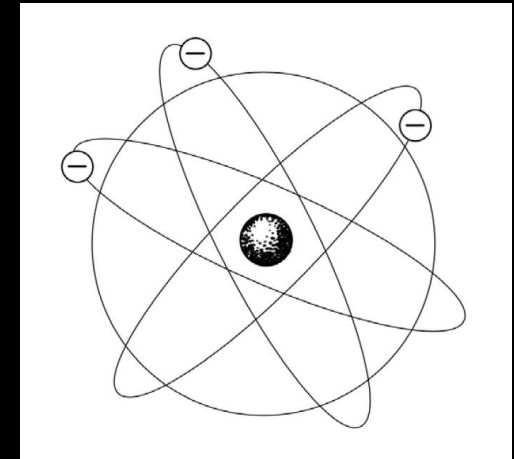
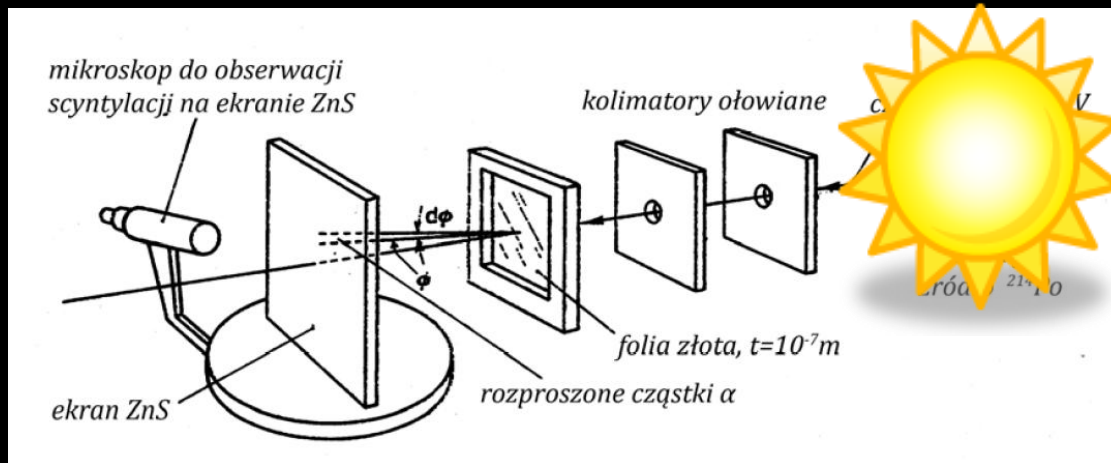
Detektory mają ograniczenia:
Ludzkie oko wykorzystuje jedynie promieniowanie elektromagnetyczne i jedynie wąskie pasmo jego widma.
Aby zwiększyć możliwości poznawcze ...



... budujemy lepsze detektory. Najpotężniejsze działają w CERN-ie.



Ograniczenie poznawcze wynika też z własności użytych pocisków. Nic nie wynikało z obserwacji folii w świetle słońca. Fotony nie były odpowiednimi pociskami. Nie były w stanie wnikać w strukturę atomów i dostarczyć informacji o tym co jest w środku.



Dopiero cząstki alfa spełniły zadanie.

Rozumiemy, że aby wnikać w głąb coraz mniejszych struktur potrzebujemy coraz mniejszych pocisków.

Powinny być one dostatecznie ciężkie, by mogły się „przebić” przez powierzchnię.

Skąd wziąć coraz mniejsze i coraz cięższe pociski?

Światło: krótsza długość fali. Im krótsza fala, tym większa energia cząstek światła czyli fotonów: $E=hc/\lambda$

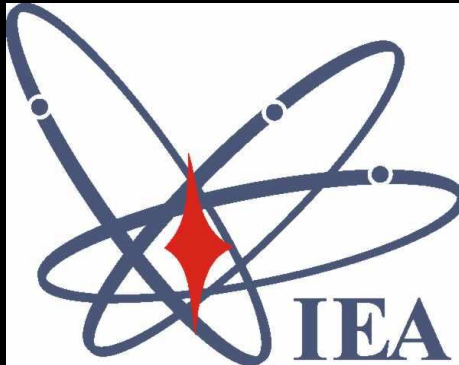
Doświadczenie Rutherforda: cząstki materii sprawdzają się lepiej!

Zamiast używać cząstek ze źródeł naturalnych, można je celowo przyspieszać. Tak jak tu, w CERN.



1	H																	2	He																
3	Li	4	Be											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne										
11	Na	12	Mg											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar										
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
55	Cs	56	Ba	*La	Hf	72	Ta	73	W	74	Re	75	Os	76	Ir	77	Pt	78	Au	Hg	Tl	80	Pb	81	Bi	82	Po	83	At	84	Rn				
87	Fr	88	Ra	+Ac	Rf	104	Ha	105	Hs	106	Sg	107	Ns	108	Hs	109	Mt	110	110	111	111	112	112	113	113	114	114	115	115	116	116	117	117	118	118
		58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu						
		90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr						

Odkrycie jądra atomowego o rozmiarze 10000 razy mniejszym niż atom zaowocowało modelami budowy atomu. Najbardziej medialny: model planetarny. Stał się ikoną kultury masowej ☺

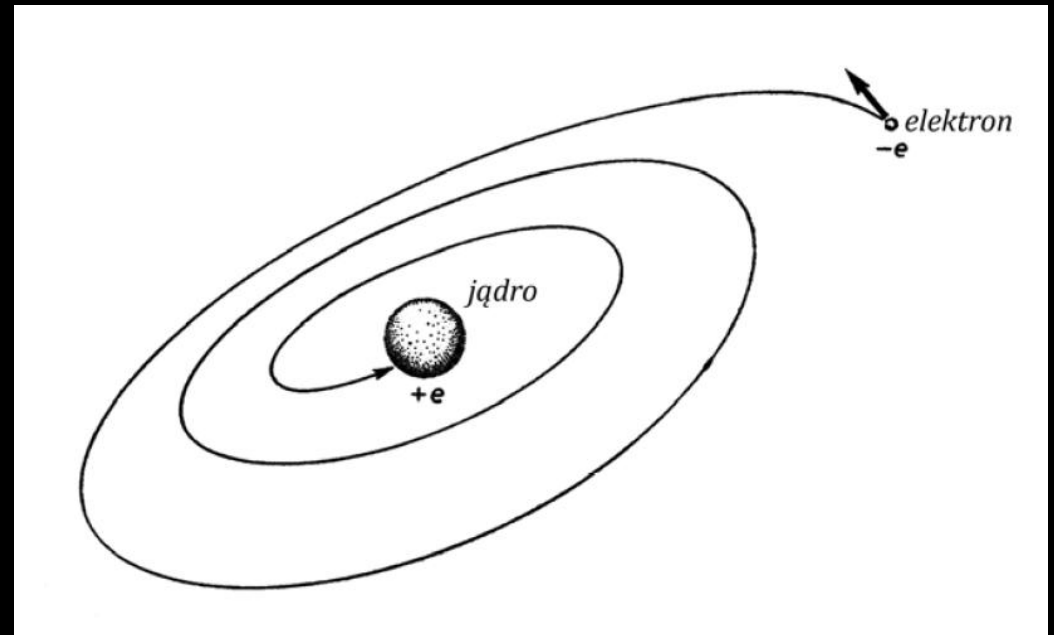


Model planetarny atomu Rutherforda nie tłumaczył struktury układu okresowego. A na dodatek ...

... był niespójny w świetle klasycznych praw elektromagnetyzmu, które przewidują, że przyspieszany ładunek promieniuje.

Elektron powinien „świecić”, tracąc energię tak długo, aż spadnie na jądro.

I powinien spaść niemal natychmiast!



Recepta:

Mechanika kwantowa

Dygresja na temat mechaniki kwantowej:

Pragnąc, by ktoś nam coś wytłumaczył oczekujemy, że tłumaczący **odwoła się do tego, co już wiemy** i w oparciu o zrozumiałe dla nas reguły wnioskowania **zbuduje konstrukcję logiczną, którą będziemy ogarniać**. Tymczasem mechanika kwantowa mówi nam, że **to co „wiemy”** na podstawie obserwacji świata rzeczy „dużych” po prostu **nie pasuje** do świata rzeczy tak małych jak atomy.

Na dodatek **nie pasują nawet niektóre reguły wnioskowania**. Mówi nam, że **w świecie rzeczy małych jest „inaczej”** i to „inaczej” opisuje językiem wywodzącym się bardziej ze świata matematyki, niż ze świata codziennego doświadczenia. Ale na końcu to wszystko umie przełożyć na przewidywania eksperymentów i – o zgrozo – **to się zgadza!**



1	H																	2	He																										
3	Li	4	Be											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																				
11	Na	12	Mg											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																				
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr										
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe										
55	Cs	56	Ba	57	*La	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn										
87	Fr	88	Ra	89	+Ac	104	Rf	105	Ha	106	Sg	107	Ns	108	Hs	109	Mt	110	110	111	111	112	112	114	114	116	116	118	118	118	118	118	118	118	118										
																		58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
																		90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr



Proton odkryty przez Rutherforda w 1919 r.

Neutron odkryty przez Chadwicka w 1931 r.
ale postulowany już wcześniej.

Elektron odkryty przez Thomsona jeszcze
w 1896 r.

Mechanika kwantowa (1925) tłumacząca
skład powłok elektronowych atomów, a więc
w zasadzie ich właściwości chemiczne i
optyczne.

To tylko prowokacja ☺.

Bo:

Budowa jądra?

Rozpady?

Pożytki płynące z symetrii.

Mechanika kwantowa Schroedingera i Heisenberga to teorie nierelatywistyczne → inne przewidywania „na peronie”, a inne „w pociągu”!

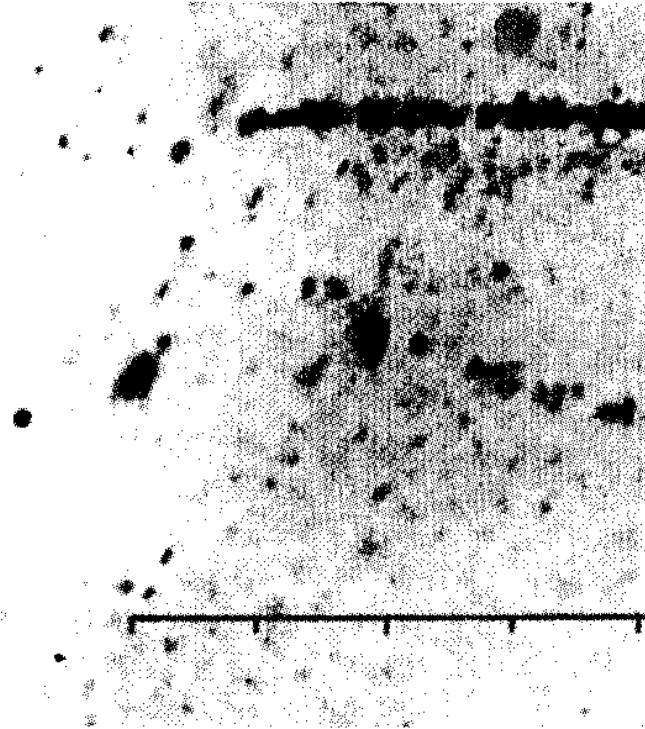
Mechanika kwantowa Diraca: teoria relatywistyczna, ale przewiduje, że każda opisywana nią cząstka ma partnera, którego nazywamy dziś antycząstką.

I rzeczywiście! Anderson znalazł antyelektron, a w późniejszych latach odkryto antycząstki kolejnych cząstek.

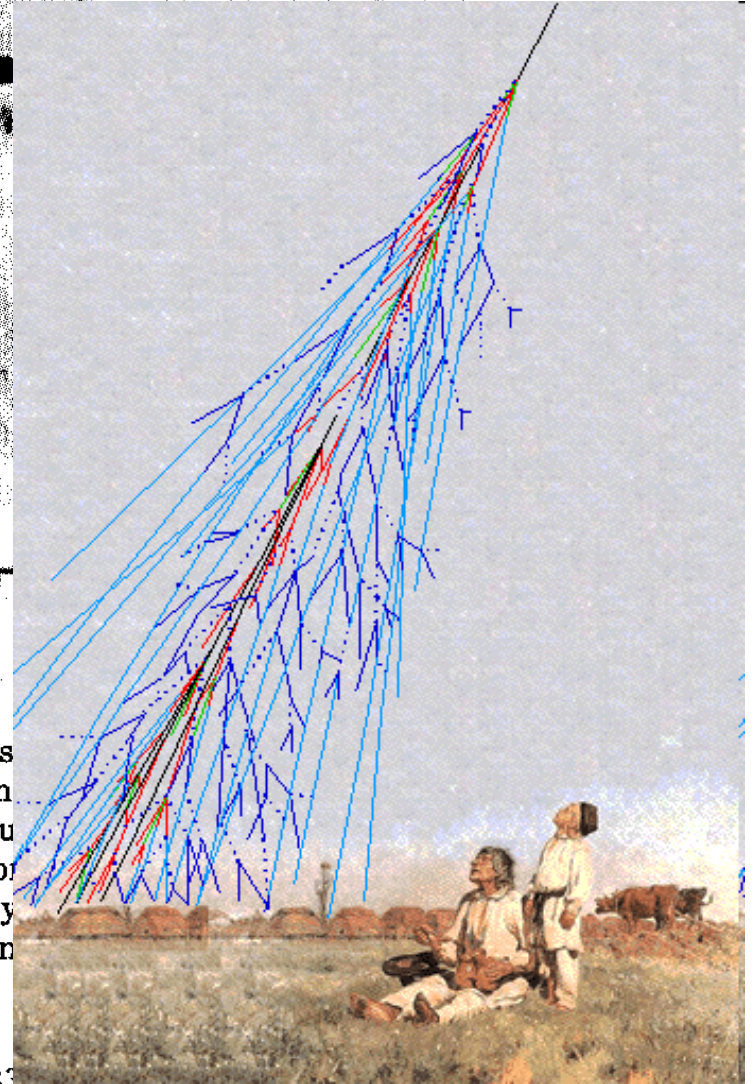
Dziś próbujemy tworzyć antimaterię – antyatomy, a w przyszłości nawet antycząsteczki. Tu, w CERN-ie. Nie jest to łatwe 😊

Antycząstki rodzą się wokół nas, ale w przyrodzie (w kosmosie) nie widzimy skupisk antimaterii. To jest poważny problem teoretyczny: dlaczego po Wielkim Wybuchu pozostała tylko materia, a nie „anty”?





"The other double trace of the s together the thin trace of an electron of 37 MeV, an positive particle whith a much larger bending radiu unknown; for a proton it does not ionize enough and for is too strong. The present double trace is probably particles as they have been observed by Blackett an nuclear explosion".



Kunze, P., Z. Phys. 83, (1933), 1

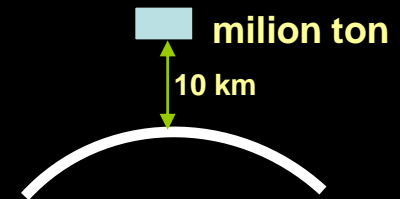
Era akceleratorów

- Einstein: $E=mc^2$ czyli energię można zamienić na materię, a materię na energię.

$$1\text{g} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

$$= 9 \cdot 10^{13} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m/s}^2$$

$$= 1000\,000 \cdot 1000 \text{ kg} \cdot 10\,000 \text{ m} \cdot 9 \text{ m/s}^2$$



- $1m_p \cdot c^2 = 1,67 \cdot 10^{-24} \text{ g} \cdot c^2 = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ J}$

czyli z jednego dzuła energii można wytworzyć ok. 7 miliardów protonów!

Niestety, to nie jest takie proste, bo w „dużym” świecie zawsze jest jakaś konkurencja. Energia uderzenia młotka zamieni się na ciepło, a nie na protony.

Poznawanie przez zderzanie: zderzanie cząstek

$$E = mc^2$$

proton \neq proton \neq energia \equiv

\equiv 14000 protonów

aby wytworzyć nowe cząstki potrzebna energia
trzeba skoncentrować w odpowiednio małym
obszarze. Potrafimy to zrobić doprowadzając do
zderzenia rozpędzone cząstki.

Akceleratory po wojnie szybko zaczęły wydłużać listę zaobserwowanych cząstek.

To tylko pierwsza strona aktualnej tabeli zawierające część mezonów.

- Różne masy (ale pewne prawidłowości i grupowanie).
- Różne ładunki elektryczne.
- Różne czasy życia.
- Podobieństwa i rodziny ze względu na sposoby rozpadu
- Różny spin

π	K	η	η' (958)
$\rho(770)$	$K^*(892)$	$\phi(1020)$	$\omega(782)$
$b_1(1235)$	K_{1B}^\dagger	$h_1(1380)$	$h_1(1170)$
$a_0(1450)$	$K_0^*(1430)$	$f_0(1710)$	$f_0(1370)$
$a_1(1260)$	K_{1A}^\dagger	$f_1(1420)$	$f_1(1285)$
$a_2(1320)$	$K_2^*(1430)$	$f_2'(1525)$	$f_2(1270)$
$\pi_2(1670)$	$K_2(1770)^\dagger$	$\eta_2(1870)$	$\eta_2(1645)$
$\rho(1700)$	$K^*(1680)$		$\omega(1650)$
	$K_2(1820)$		
$\rho_3(1690)$	$K_3^*(1780)$	$\phi_3(1850)$	$\omega_3(1670)$
$a_4(2040)$	$K_4^*(2045)$		$f_4(2050)$
$\rho_5(2350)$			
$a_6(2450)$			$f_6(2510)$
$\pi(1300)$	$K(1460)$	$\eta(1475)$	$\eta(1295)$
$\rho(1450)$	$K^*(1410)$	$\phi(1680)$	$\omega(1420)$

SPIN.

Czasem mówi się o nim, że jest to wewnętrzny moment pędu cząstki. I jest to wyjaśnienie w miarę dobre tak długo, jak długo nie traktuje się zbyt dosłownie obrazka z wirującym bączkiem.



Spin daje wkład (sumowany wektorowo) do momentu pędu układu złożonego, a spin cząstek naładowanych daje wkład do momentu magnetycznego (magnesy trwałe istnieją głównie dzięki spinom elektronów).

Mimo to spin nie daje się dokładnie zinterpretować w sposób klasyczny, wyobrazić na modelu „dużych przedmiotów”. Jest cechą charakterystyczną dla teorii kwantowej.

Spin cząstki może być całkowitą lub połówkową wielokrotnością stałej Plancka.

Spin – a w zasadzie moment magnetyczny – elektronu został odkryty w 1921 r. przez Sterna i Gerlacha.

Bozony, fermiony i zakaz Pauliego.

Bozony – spin całkowity

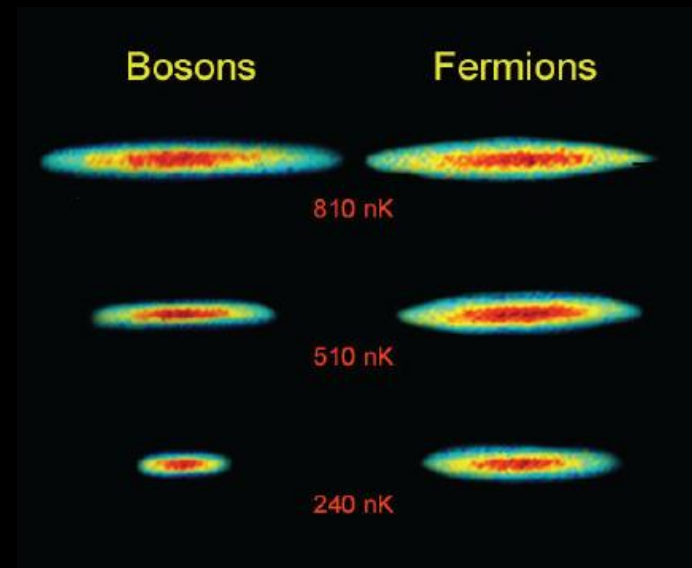
Fermiony – spin połówkowy

Zasadnicza różnica na poziomie kwantowym: dwa nieoddziałujące fermiony nie mogą być w tym samym stanie kwantowym (zakaz Pauliego).

Można zaobserwować konsekwencje makroskopowe (eksperyment na U. Rice z atomami Litu 6 i 7).

Najważniejszą konsekwencją makroskopową jest cała chemia, która wynika ze sposobu zapełnienia powłok elektronowych, a te nie mogą być zapełnione inaczej właśnie dzięki zakazowi Pauliego.

Wśród znalezionych cząstek są bozony i fermiony.



Uproszczenie: model kwarków.

Dziesiątki cząstek – kandydatów na elementarne: to sytuacja nie do przyjęcia.

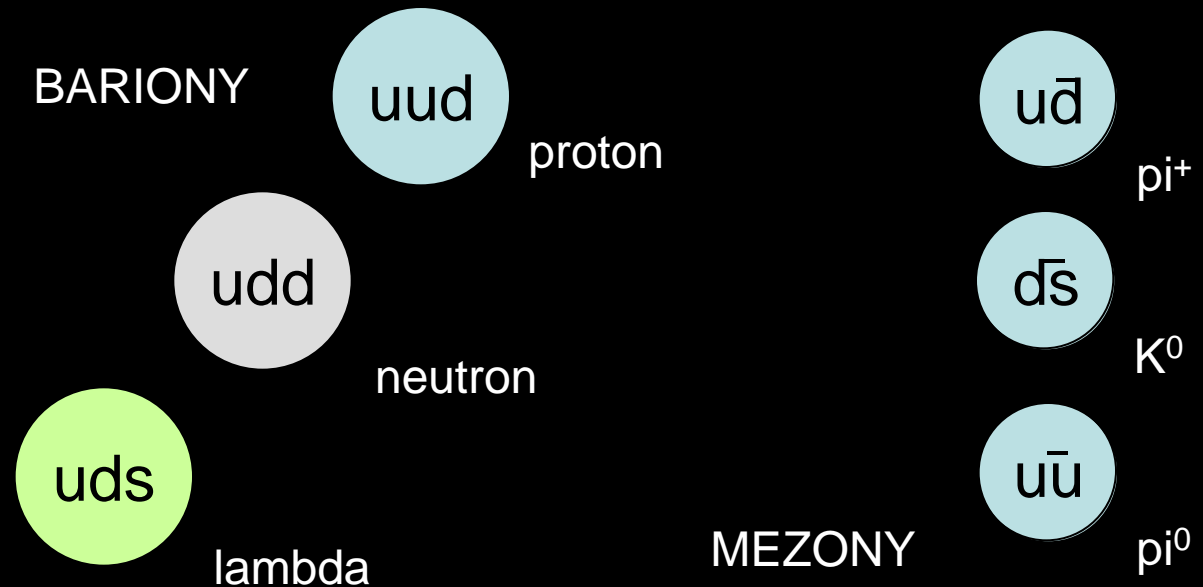
„Zajrzeć do środka” i zobaczyć budowę!

Albo ją wydedukować!

Gell-Mann i (niezależnie) Zweig – 1964: cegiełkami są 3 kwarki!

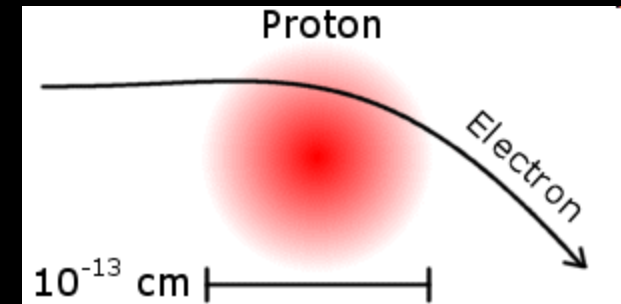
u	$+\frac{2}{3} e$
d	$-\frac{1}{3} e$
s	$-\frac{1}{3} e$

BARIONY

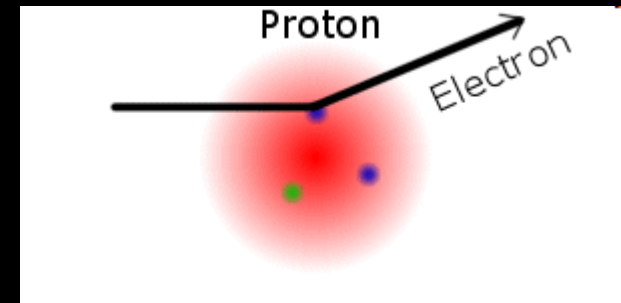


Potwierdzenie doświadczalne

Proton nie jest punktowy, 1956, Hofstadter,
SLAC, 188 MeV



Proton jest zbudowany z trzech mniejszych
obiektów, 1967, Friedman i Kendall,
SLAC, 30 GeV



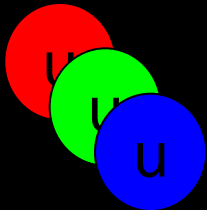
Same problemy i kolor

Np. $\Delta^{++} = uuu$ Jeśli te kwarki u miałyby być fermionami, naruszałoby to zakaz Pauliego. Podobnie $\Omega^- = sss$

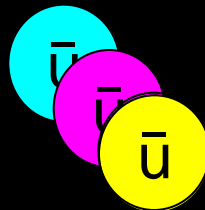
Dlaczego nie udaje się wybić kwarków np. z protonu? Dlaczego nie produkujemy ich w zderzeniach? Dlaczego nie obserwujemy ich w promieniowaniu kosmicznym?

Co (jakie oddziaływanie) łączy ze sobą kwarki, spajając je w trójkwarkowe bariony i w mezony?

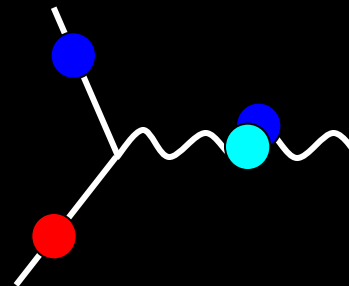
Odpowiedź: Każdy kwark może występować w jednym z trzech kolorów.



Antykwark niesie antykolor.



Oddziaływania przenoszą gluony. Niosą antykolor i kolor.



Cząstki swobodne są „białe”.



QCD: kwantowa chromodynamika.

Gluony są jak fotony, ale ...

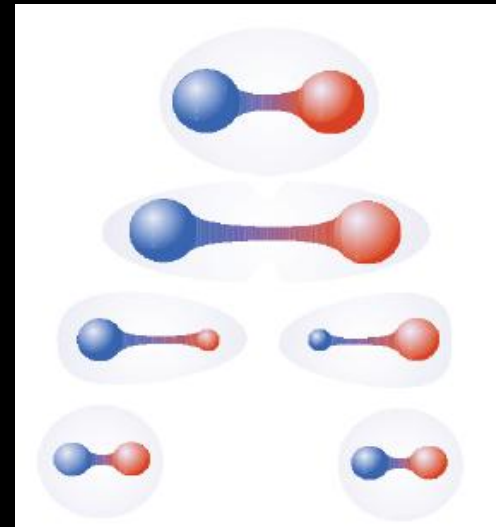
... są naładowane kolorowo.

Oddziałują same ze sobą.

Siła oddziaływania, które przenoszą, jest znacznie większa siła oddziaływania elektromagnetycznego.

Nie daje się go „rozerwać”. Przy „rozrywaniu” powstają pary kwark-antykwar.

„Są” wewnątrz barionów i mezonów.
Doświadczenia pokazują, że niosą część ich pędu.



Kolejne akceleratory, kolejne cząstki i kolejne kwarki:

Property \ Quark	<i>d</i>	<i>u</i>	<i>s</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>t</i>
Q – electric charge	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$
I – isospin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0
I_z – isospin <i>z</i> -component	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	0	0	0	0
S – strangeness	0	0	-1	0	0	0
C – charm	0	0	0	+1	0	0
B – bottomness	0	0	0	0	-1	0
T – topness	0	0	0	0	0	+1

Nazwa	Symbol	Generacja	Izospin I	Zapach	Ładunek e	Masa prądowa m (MeV/c ²)	Masa konstytuenna M (GeV/c ²)
Górny	u	1	+½	U=+1	+ ² / ₃	1,5–4,0 ^[3]	≈ 0,31
Dolny	d	1	-½	D=-1	- ¹ / ₃	4–8 ^[3]	≈ 0,31
Dziwny	s	2	0	S=-1	- ¹ / ₃	80–130 ^[3]	≈ 0,50
Powabny	c	2	0	C=+1	+ ² / ₃	1150–1350 ^[3]	≈ 1,60
Spodni	b	3	0	B*=-1	- ¹ / ₃	4100–4400 ^[3]	≈ 4,60
Szczytowy	t	3	0	T=+1	+ ² / ₃	170900 ± 1800 ^[4]	≈ 180

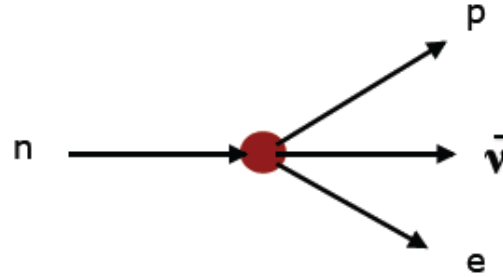
Jak zamienić kwark w elektron?



Oddziaływania słabe.

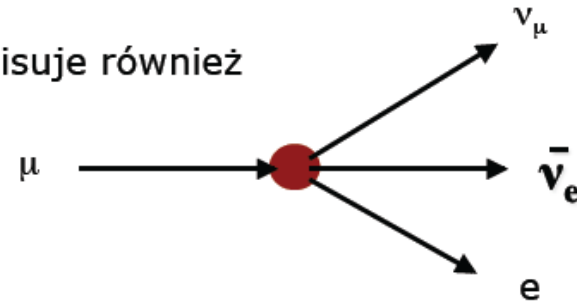
Enrico Fermi (1934)

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$$



Okazało się, że doskonale opisuje również rozpad mionu

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















Co przenosi takie oddziaływania?

Kolejne cząstki: W^+ W^- i Z , na dodatek masywne.

„Tablica Mendelejewa” cząstek AD 2010

**Cząstki
fundamentalne**

**Cząstki przenoszące
oddziaływania**

	Kwarki		Leptony	
Generacja 3	 t Top szczytowy	 b Bottom	 τ Tau	 ν_τ Neutrino tau
Generacja 2	 c Charm powabny	 s Strange dziwny	 μ Muon mion	 ν_μ Muon-neutrino neutrino mionowe
Generacja 1	 u Up górnny	 d Down dolny	 e Electron elektron	 ν_e Electron-neutrino neutrino elektronowe

oraz ich antycząstki!

	oddziaływanie: grawitacja	silne	słabe	elektro- magnetyczne
ładunek:	0	0	+1, -1 (W) 0 (Z)	0
masa (GeV/c^2):	0?	0?	80.22 (W) 91.18 (Z)	0

Zbudowano Model Standardowy czyli bardzo użyteczną teorię pozwalającą przewidywać i wyliczać co się zdarzy w niezliczonych procesach z udziałem cząstek elementarnych. I wszystko się zgadza, ale ...

...brakuje jednej cząstki, której istnienie przewiduje ten model: cząstki HIGGSA.

leptony			kwarki		
e	μ	τ	u	c	t
ν_e	ν_μ	ν_τ	d	s	b

nośniki oddziaływań					
γ	Z^0	W^\pm	gluon	g	

**Dziękuję Państwu
za uwagę!**