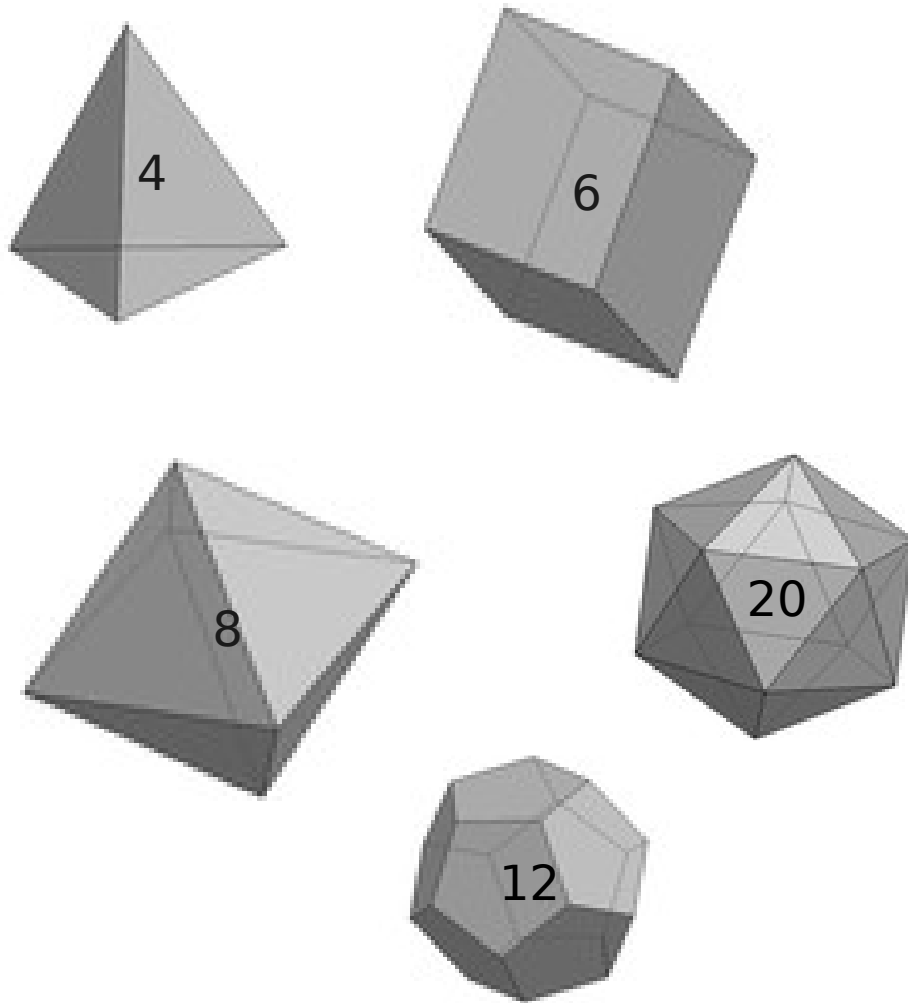
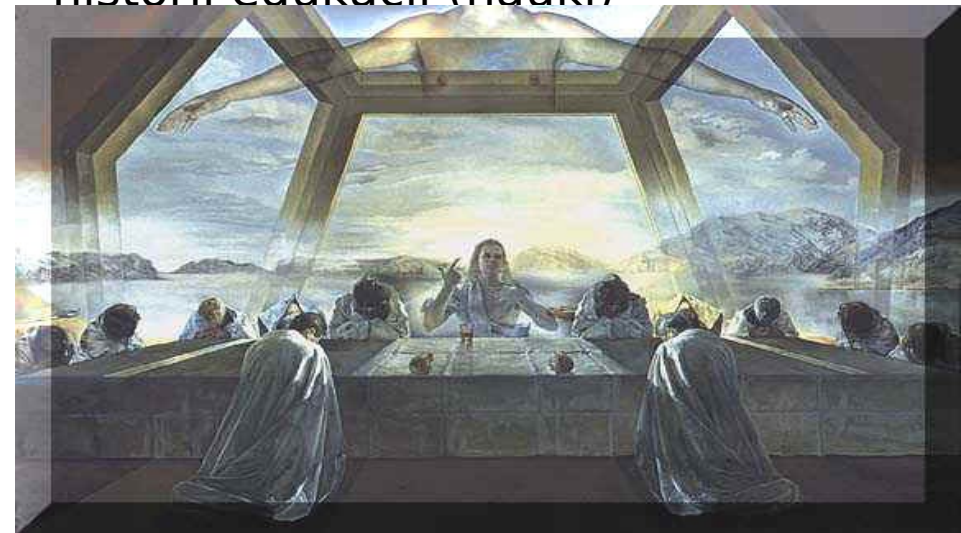


Czasy starożytne



- Platon (428-347 pne): “Republika” - matematika była absolutnym “musem” w edukacji polityków i filozofów, napis w Akademii: **“Niech nikt nie znający geometrii nie przekracza tych progów”**: pierwszy wymóg rekrutacyjny w historii edukacji (nauki)



Czasy starożytne

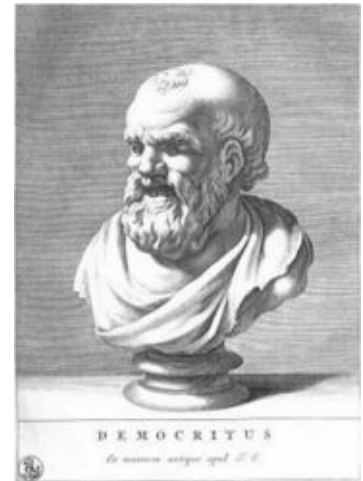
- Platon połączył teorię **Empedoklesa** (490-430 pne) o 4 elementach z teorią atomową **Demokryta** (460-370 pne). Jego “unifikacja” przedstawia 4 elementy jako oddzielne podstawowe cząstki mające kształt brył doskonałych (dopiero Dalton miał podobne idee w chemii w XIX w.)
- W jego teorii m.in. 20 to Wszechświat
- Brak piątego elementu?
- **Arystoteles** – eter (materiał boski) jako piąty element (tzw. *quintessence* – termin przyjęty w kosmologii), teoria eteru dla propagacji światła aż do 1887 (Michelson-Morley)
- Chemia Platona, np. [woda] -> 2 [powietrze]+[ogień] (tylko tak odpowiednio bryły przylegają do siebie)
- Ale to nie wszystko: dla Platona złożoność materii i zjawisk to nie była najważniejsza rzecz, a na prawdę fundamentalne są odpowiadające im ***symetrie***

Podobne idee wcześniej u Hindusów

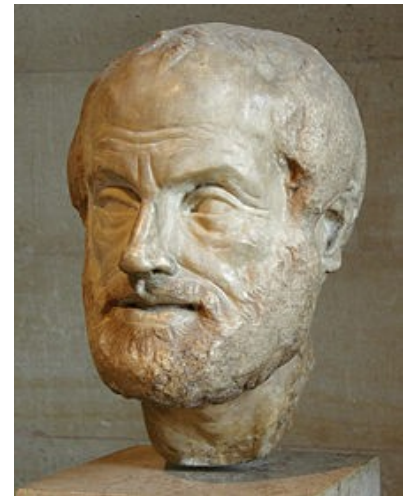
- Upaniszady (VII w. p.n.e.):
“Brahman, pragnąc się pomnożyć, stworzył tejas (ogień), ap (wodę) oraz ksiti (ziemię) i wniknął w nie”.
- Później dodano powietrze oraz akasa (eter, przestrzeń, niematerialny byt) – teoria pięciu żywiołów (nawiasem mówiąc łącząca się z pięcioma zmysłami)

- Poza tym Hindusi doszli do tych samych wniosków dotyczących ziarnistości materii co Grecy, wykorzystując pojęcie nieskończoności (mieli podstawowe pojęcie o zbiorach nieskończonych)
- Weźmy górę i pagórek. Która ma więcej cząstek? Góra. Nie możemy dzielić w nieskończoność. Gdyby cząstki można dzielić w nieskończoność, to góra i pagórek zawierałyby taką samą ilość cząstek i straciłyby jakikolwiek sens

- *„Idąc plażą widzę piasek, który wydaje mi się ciągły, ale gdy spojrzę na niego z bliska wyraźnie widzę, że składa się z drobnych ziarenek. Tak samo jest z wodą morską i każdą inną substancją”,*
Demokryt, uczeń Lekipposa



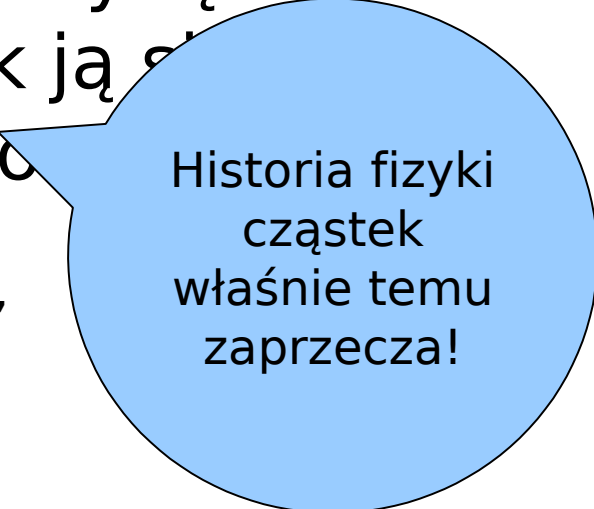
- „Materia jest ciągła, można ją dzielić bez końca”, Arystoteles (384-322 p.n.e)
- Przez 2000 lat (!) obowiązywała za sprawą Kościoła filozofia Arystotelesa (dotycząca zarówno mikro- jak i makro- ^{Wyląd III}świata)



Antyreklama (lub jak to nazwać?)

- “Trudno porównywać jakąkolwiek starożytną lub średniowieczną kulturę ze współczesną fizyką w taki sposób, by porównanie wypadło korzystnie dla tej ostatniej, W tym przypadku przez “współczesny” rozumiem okres od Galileusza do dnia dzisiejszego. Niezależnie od doskonałego sprzętu, współdziałanie teorii z praktyką w nowoczesnej filozofii przyrody – jak ją starymi czasami nazywa – nigdy nie zostało **powtórzone**”

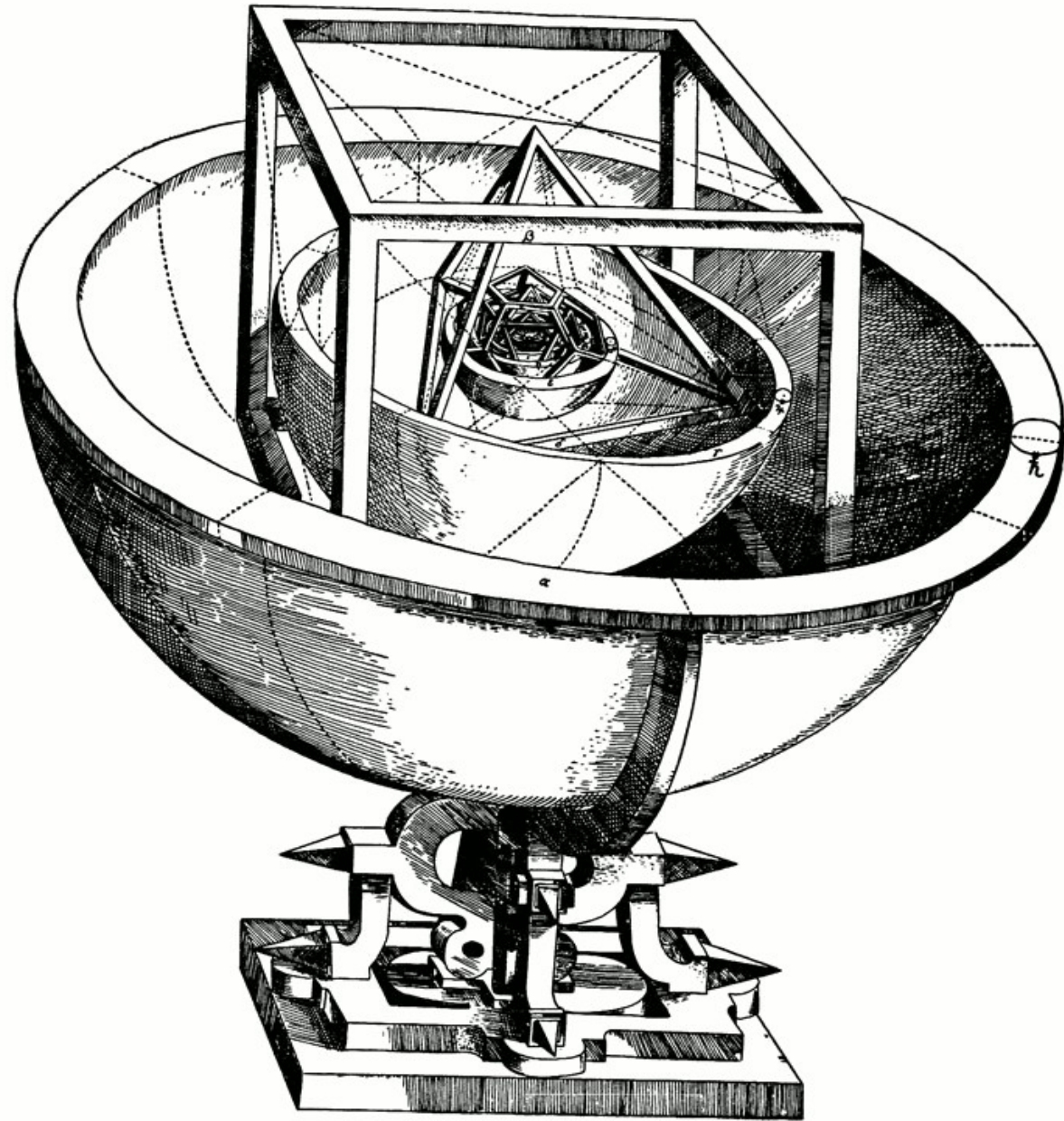
Cytat z popularnonaukowej książki, nie podam tytułu, aby nie robić reklamy temu “dziełu”



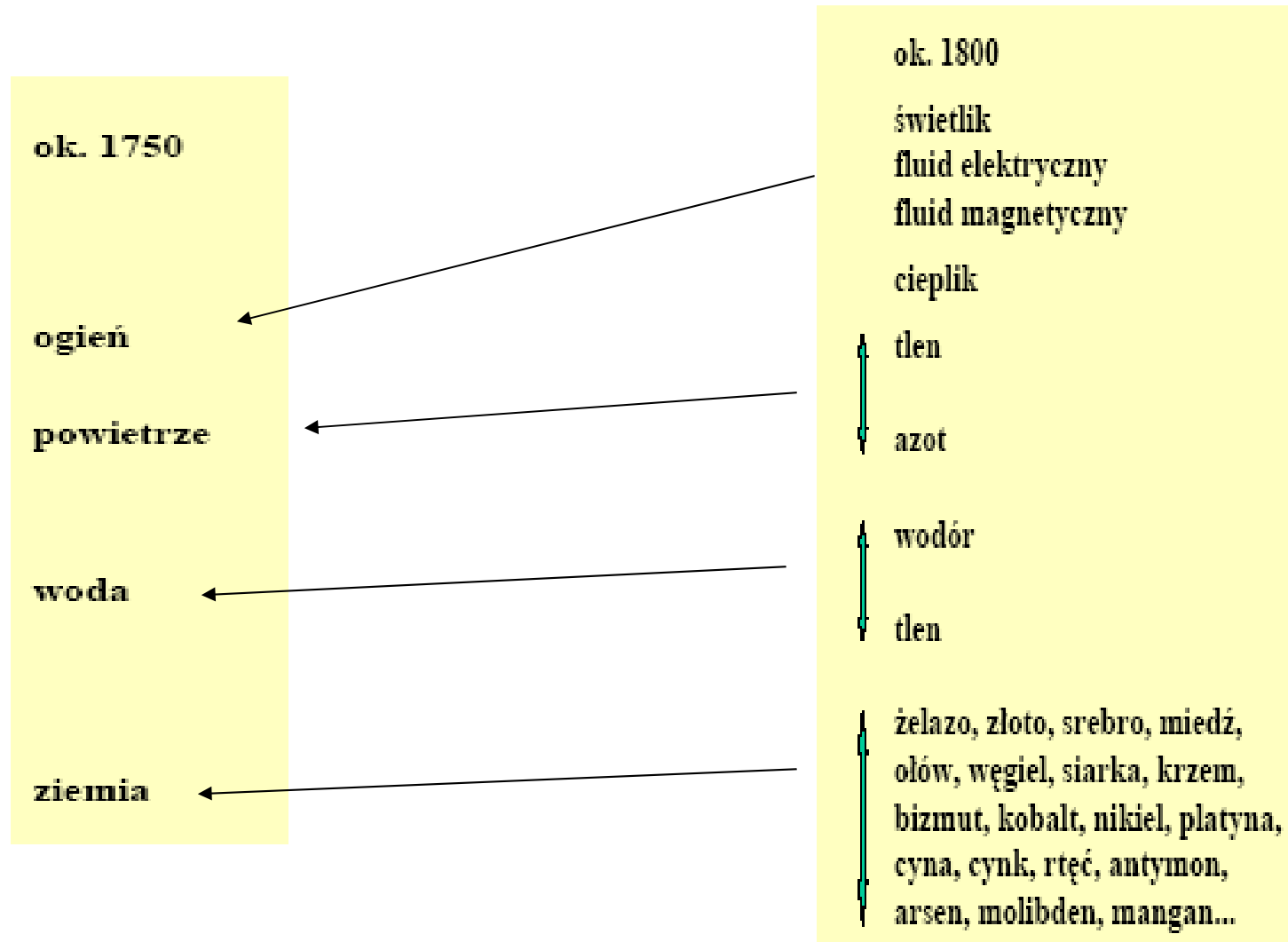
Historia fizyki
cząstek
właśnie temu
zaprzecza!

*Kepler, 1596:
“Mysterium
Cosmographicum”*

Platończycy byli zafascynowani symetriami [brył] (także ciekawy przypadek Keplera), nie tylko zresztą oni, fascynacja ta trwa po dzień dzisiejszy i jest jednym z fundamentów **fizyki cząstek elementarnych**, chociaż nie chodzi już o symetrie brył



Podsumujmy ten etap ...



Współczesność (XVII-XIX)

- Dalton 1808 (atomy, argument?)
- Mendelejew 1850
- Rutherford 1911 - jądro (argument?)
- Bohr - 1913 - model atomu
- Dirac 1927: spin ($g=2$), antycząstki
- Chadwick - 1932 jądro ($p+n$)
- Stern 1938 - proton g około 5.6
- Gellmann, Ne'eman, Zweig 1961 - kwarki
- Feynman, QED, renormalizacja, 1947
- Schwinger, 1947, $g=2$
- Nieabelowe teorie Yanga-Millsa, 1954
- Mechanizm Higgsa 1964
- MS GWS 1967-1972
- T'hooft, Veltman
- Wilczek, Politzer, Asymptotyczna swoboda 1973
- Prądy neutralne 1974
- LEP, Rubia, 1983: cząstki W i Z
- ...

- 1895: X-ray, W. Rontgen (Nobel, 1901)
- 1896 – Becquerel: promieniotwórczość (przypadek?)
- 1895-1896 – Thomson, Rutherford; dwa rodzaje promieniowania (jakie?)
- 1898-1898: rad, polon (kto?)
- 1905: foton (A. Einstein)
- **1911: jądro - Rutherford**
- 1919: proton - Rutherford
- 1929: akcelerator van der Graaffa
- 1930: neutrino (Pauli)
- 1931: cyklotron – E. Lawrence
- 1932: pozytron – C. Anderson
- 1937: mion – I. Rabi **Wykład "Who ordered that?"**

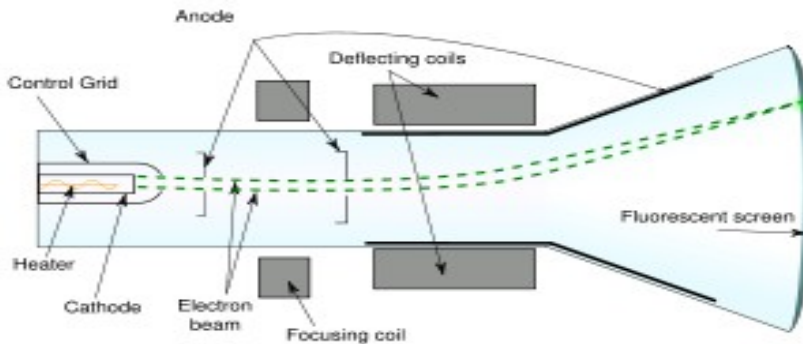


Inne spojrzenie

Joseph Thomson (1896-)



- Odkrył elektron, 1897
- Nagroda Nobla, 1937
- Zakrzywienie promieniowania w polu: ładunek



Orygnat: Public domain. This image (or other media file) is in the public domain because its copyright has expired (wiki)

THE PERIODICITY OF THE ELEMENTS

The Elements	Their Properties in the Free State				The Composition of the Hydrogen and Organo-metallic Compounds	Symbols and Atomic Weights	The Composition of the Saline Oxides	The Properties of the Saline Oxides			Small Periods or Series		
	<i>t</i>	<i>a</i>	<i>d</i>	$\frac{A}{d}$				RH_m or $R(CH_3)_m$	R	A		R_2O_n	$d' \frac{(2A+n'16)}{d'} V$
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]		
Hydrogen	<-200°	—	<0.05>	20	$m = 1$	H	1	1 = n	0.917	19.6	<-20	1	
Lithium	180°	—	0.59	12		Li	7	1†	2.0	15	-9	2	
Beryllium	(900°)	—	1.64	5.5		Be	9	— 2	3.06	16.3	+2.6		
Boron	(1300°)	—	2.5	4.4	3 — —	B	11	— — 3	1.8	39	10		
Carbon	>(2500°)	—	<2.0>	6	4 — — —	C	12	— — — 4	>1.0	<88	<19		
Nitrogen	-203°	—	<0.7>	20	3 — —	N	14	1 — 3* — 5*	1.64	66	<5		
Oxygen	<-200°	—	<1.0>	16	2 — —	O	16		—	—	—		
Fluorine	—	—	—	—	1	F	19		—	—	—		
Sodium	96°	0.71	0.98	23	1	Na	23	1†	Na ₂ O	2.6	24	-22	3
Magnesium	500°	0.27	1.74	14	2 —	Mg	24	— 2†	3.6	22	-3		
Aluminium	600°	0.23	2.6	11	3 — —	Al	27	— — 3	Al ₂ O ₃	4.0	26	+1.3	
Silicon	(1200°)	0.08	2.3	12	4 — — —	Si	28	— — 3 4	2.65	45	5.2		
Phosphorus	44°	1.28	2.2	14	3 — —	P	31	1 — 3* 4* 5*	2.39	59	6.2		
Sulphur	114°	0.67	2.07	15	2 — —	S	32	— 2 — 4* 5* 6*	1.96	82	8.7		
Chlorine	-75°	—	1.3	27	1	Cl	35½	1 — 3 — 5* — 7*	—	—	—		
Potassium	58°	0.84	0.87	45		K	39	1†	2.7	35	-55	4	
Calcium	(800°)	—	1.6	25		Ca	40	— 2†	3.15	36	-7		
Scandium	—	—	(2.5)	(18)		Sc	44	— — 3†	3.86	35	(0)		
Titanium	(2500°)	—	(5.1)	(9.4)		Ti	48	— — 3 4	4.2	38	(+5)		
Vanadium	(2000°)	—	5.5	9.2		V	51	— 2 3 4 5	3.49	52	6.7		
Chromium	(2000°)	—	5.5	8.0		Cr	52	— 2 3 — — 6*	2.74	73	9.5		
Manganese	(1500°)	—	7.5	7.3		Mn	55	— 2† 3 4 — 6* 7*	—	—	—		
Iron	1400°	0.12	7.8	7.2		Fe	56	— 2† 3 — — 6*	—	—	—		
Cobalt	(1400°)	0.13	8.6	6.8		Co	58½	— 2† 3 4	—	—	—		
Nickel	1350°	0.17	8.7	6.8		Ni	59	— 2† 3	—	—	—		
Copper	1054°	0.29	8.8	7.2		Cu	63	1† 2†	Cu ₂ O	5.9	24	9.8	5
Zinc	432°	—	7.1	9.2		Zn	65	— 2†	5.7	26	4.8		
Gallium	30°	—	5.96	12	3 — —	Ga	70	— — 3	Ga ₂ O ₃	(5.1)	(36)	(4.0)	
Germanium	900°	—	5.47	13	4 — — —	Ge	72	— 2 — 4	4.7	44	4.5		
Arsenic	500°	0.06	5.7	13	3 — —	As	75	— — 3 — 5*	4.1	56	6.0		
Selenium	217°	—	4.8	16	2 — —	Se	79	— — — 4 — 6*	—	—	—		
Bromine	-7°	—	3.1	26	1	Br	80	1 — — — 5* — 7*	—	—	—		
Rubidium	39°	—	1.5	57		Rb	85	1†	—	—	—	6	
Strontium	(600°)	—	2.5	35		Sr	87	— 2†	4.3	48	-11		
Yttrium	—	—	(3.4)	(26)		Y	89	— — 3†	5.05	45	(-2)		
Zirconium	(1500°)	—	4.1	22		Zr	90	— — — 4	5.7	43	-0.2		
Niobium	—	—	7.1	13		Nb	94	— — 3 — 5*	4.7	57	+6.2		
Molybdenum . . .	—	—	8.6	12		Mo	96	— 2 3 4 — 6*	4.4	65	6.8		

Obraz obecny: materia (fermiony) i siły (bozony) **skrót**
myślowy!

- **Kartezjusz** – ciała oddziałują bezpośrednio
- **Newton** – także na odległość
- 1. *Grawitacja*
- 2. *Elektryczność i magnetyzm*

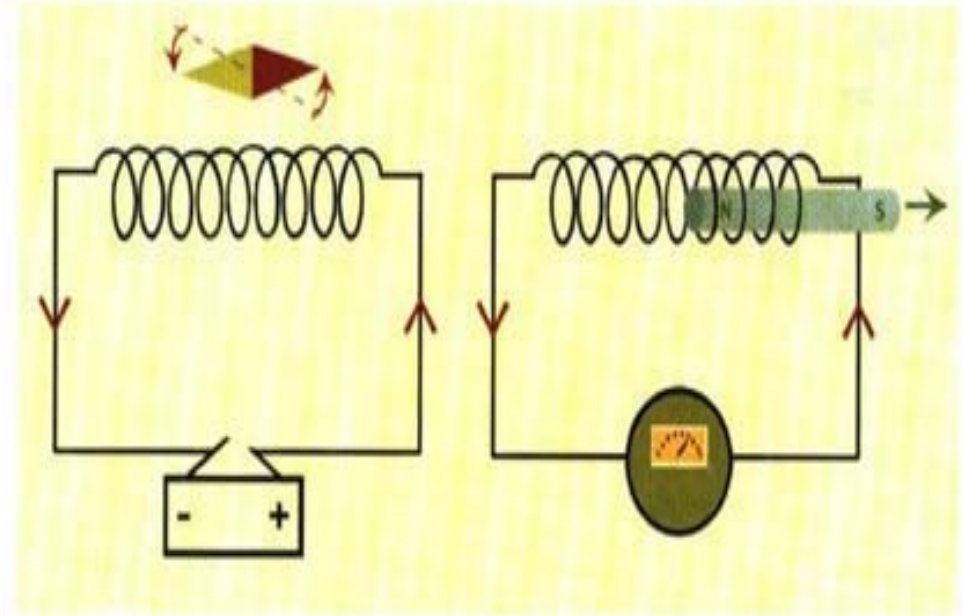
Demon Laplace'a



- Pod koniec XIX wieku uważano, że fizyka jest już pełną nauką: rządziła **teoria mechanistyczna Newtona**, najdobitniej wyrażona przez **Laplace'a** w postaci tzw. Demona (w 1814 Pierre-Simon Laplace powiedział, że gdyby znał dokładne położenie i pęd każdego atomu w kosmosie, mógłby za pomocą zasad Newtona określić całą przeszłość i przyszłość

Oddziaływanie elektromagnetyczne

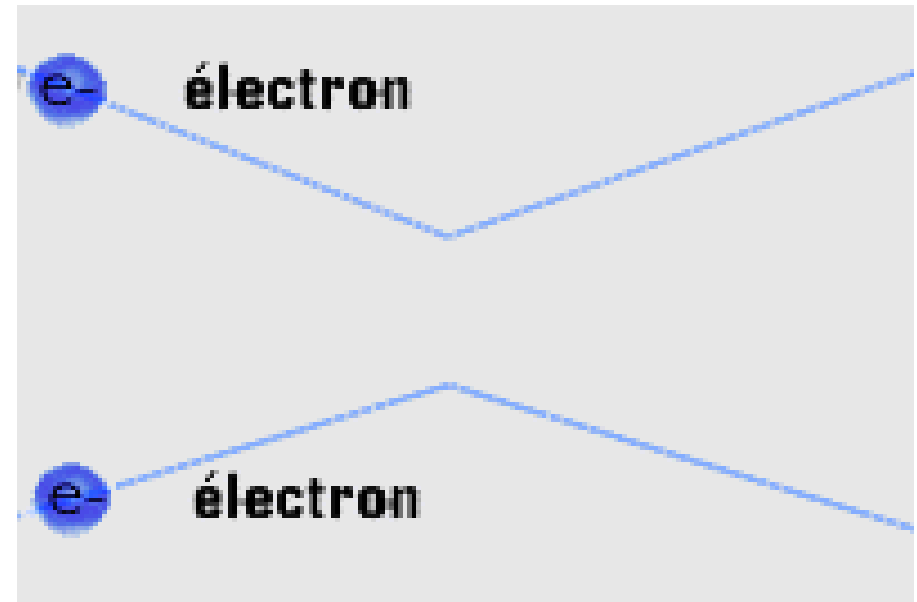
- Nie można wytłumaczyć w ramach teorii mechanistycznej (siły nie działają wzdłuż prostej, zależą od prędkości)
- Faraday, Maxwell: **POLE**
- Oersted, Faraday: pierwsza unifikacja sił



magnet - electric current symmetry

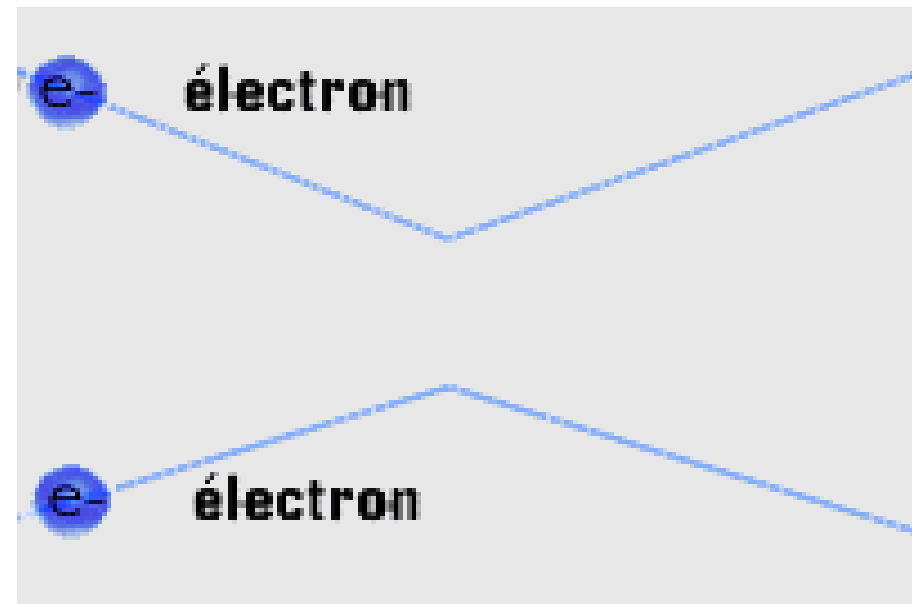
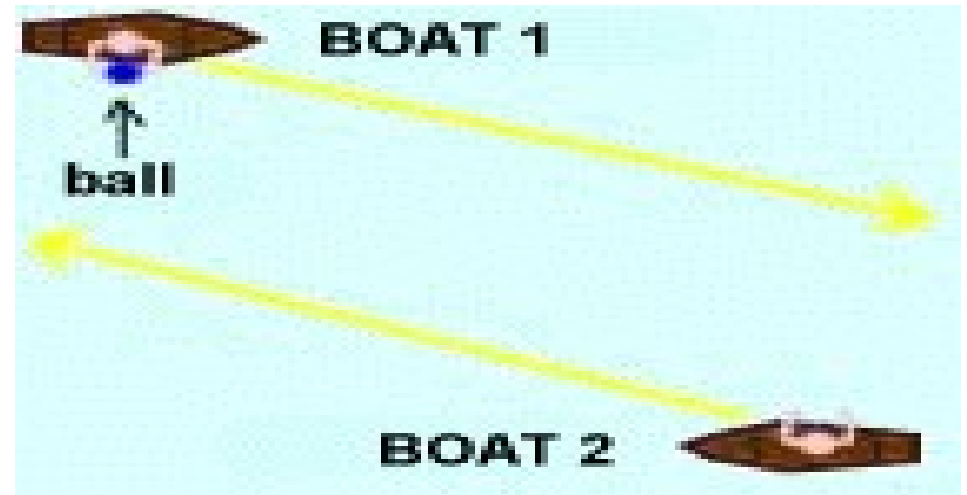
Kwantowa wersja elektromagnetyzmu (QED)

- Foton
- Dualizm falowo-korpuskularny
- Zasada nieoznaczoności Heisenberga (cząstki wirtualne)



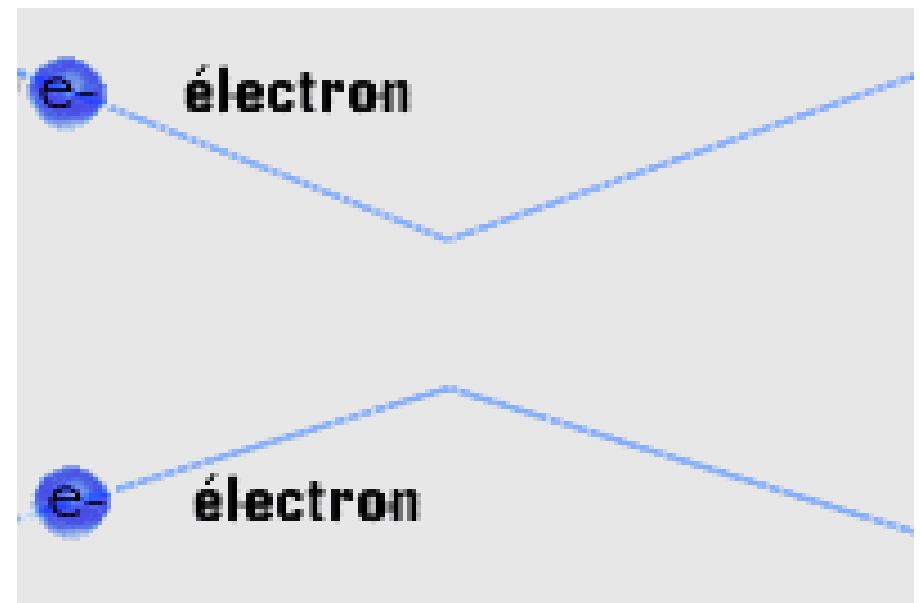
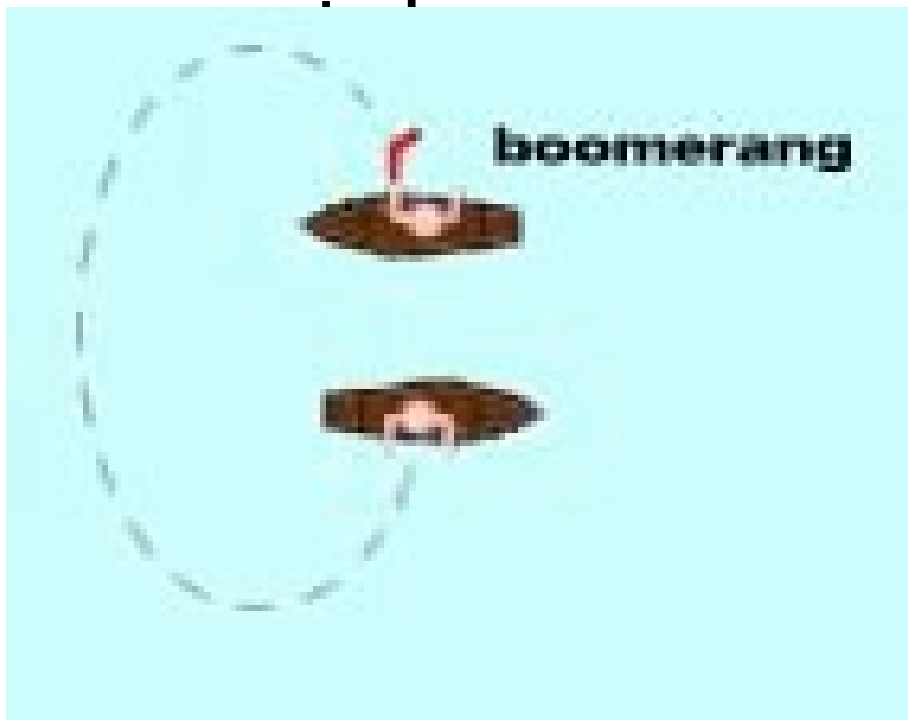
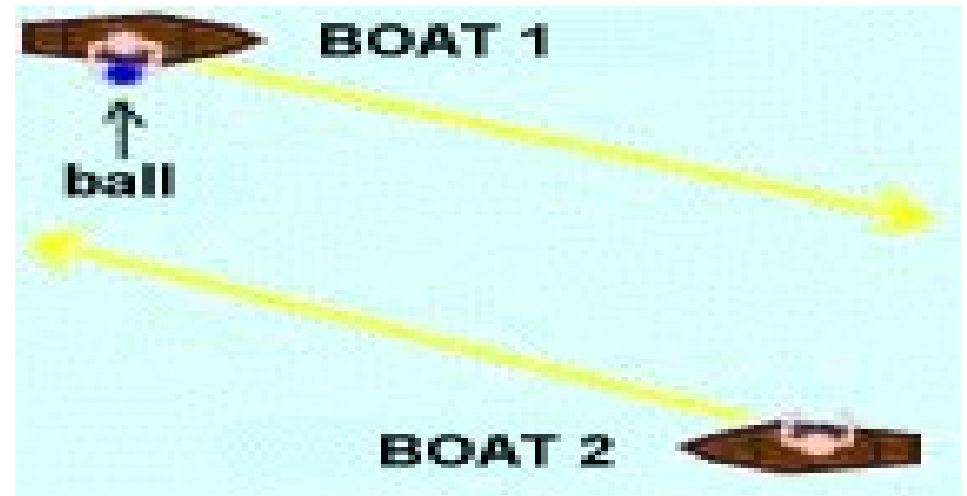
Kwantowa wersja elektromagnetyzmu (QED)

- Odpychanie (ale proszę nie traktować tego typu obrazków zbyt dosłownie!)



Kwantowa wersja elektromagnetyzmu (QED)

- Odpychanie: także wymiana wirtualnych



Następne oddziaływanie: oddziaływania słabe

Oddziaływanie słabe różni się znacznie od dwóch poprzednich oddziaływań. Jest wiele milionów razy słabsze i nie spełnia podstawowych **symetrii (dyskretnych)**:

- symetrii odbicia zwierciadlanego **P** (Lee, Yang, 1956)

- symetrii zamiany cząstek na antycząstki **C** (Wu, 1957)

nie jest też symetryczne ze względu na obydwie te symetrie dokonane łącznie:

symetrii **CP** (Cronin, Fitch, 1964)

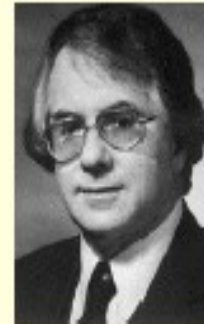
Pełną teorię oddziaływań

słabych podali w 1967 roku Glashow,

Weinberg i Salam [Nobel 1979]:

Phys. Rev.Letters (**SPIRES**)

G. 't Hooft, M. Veltman pokazali w latach 1971 - 1972, że teoria elektroslaba jest renormalizowalna [Nobel 1999].



**Sheldon
Glashow**

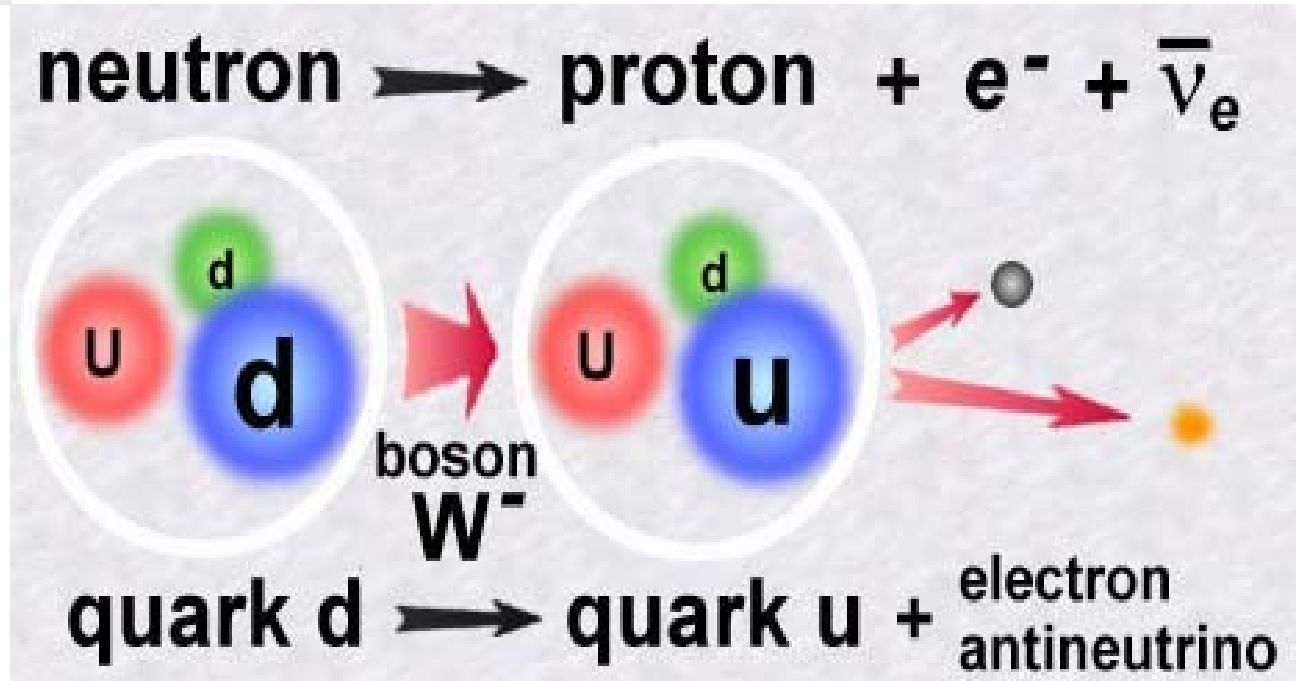
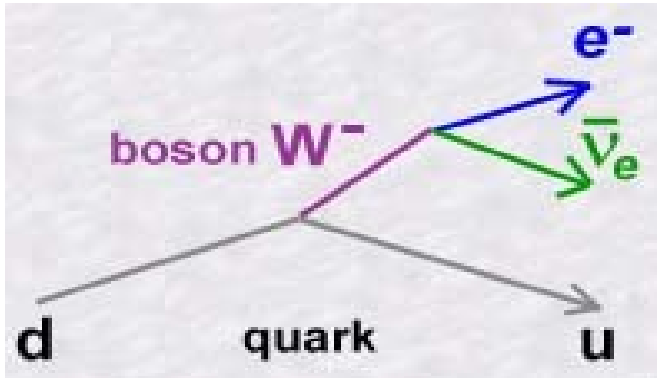


**Abdus
Salam**

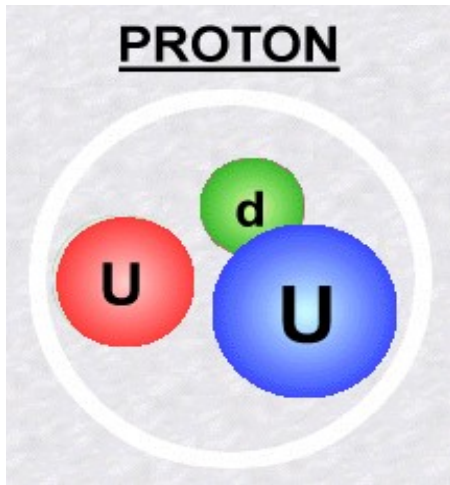


**Steven
Weinberg**

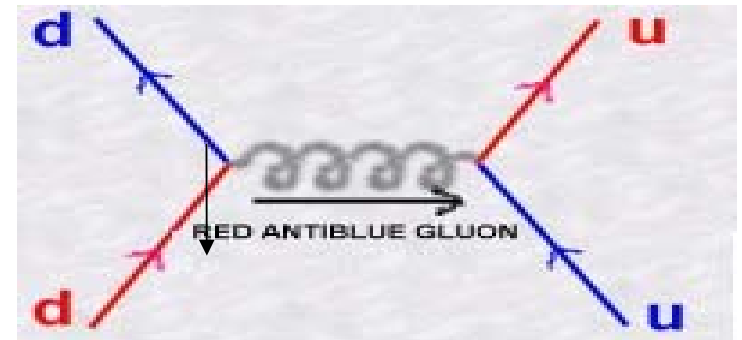
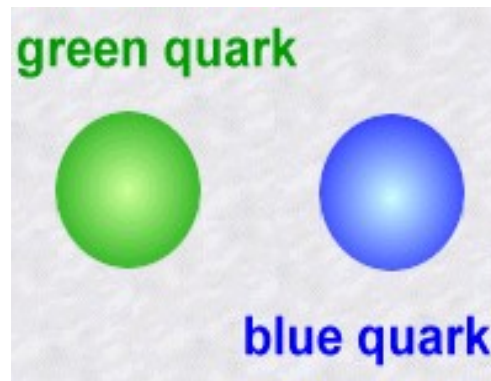
Pierwszy przykład oddziaływania słabego, rozpad beta



Następne oddziaływanie: silne (Quantum ChromoDynamics)

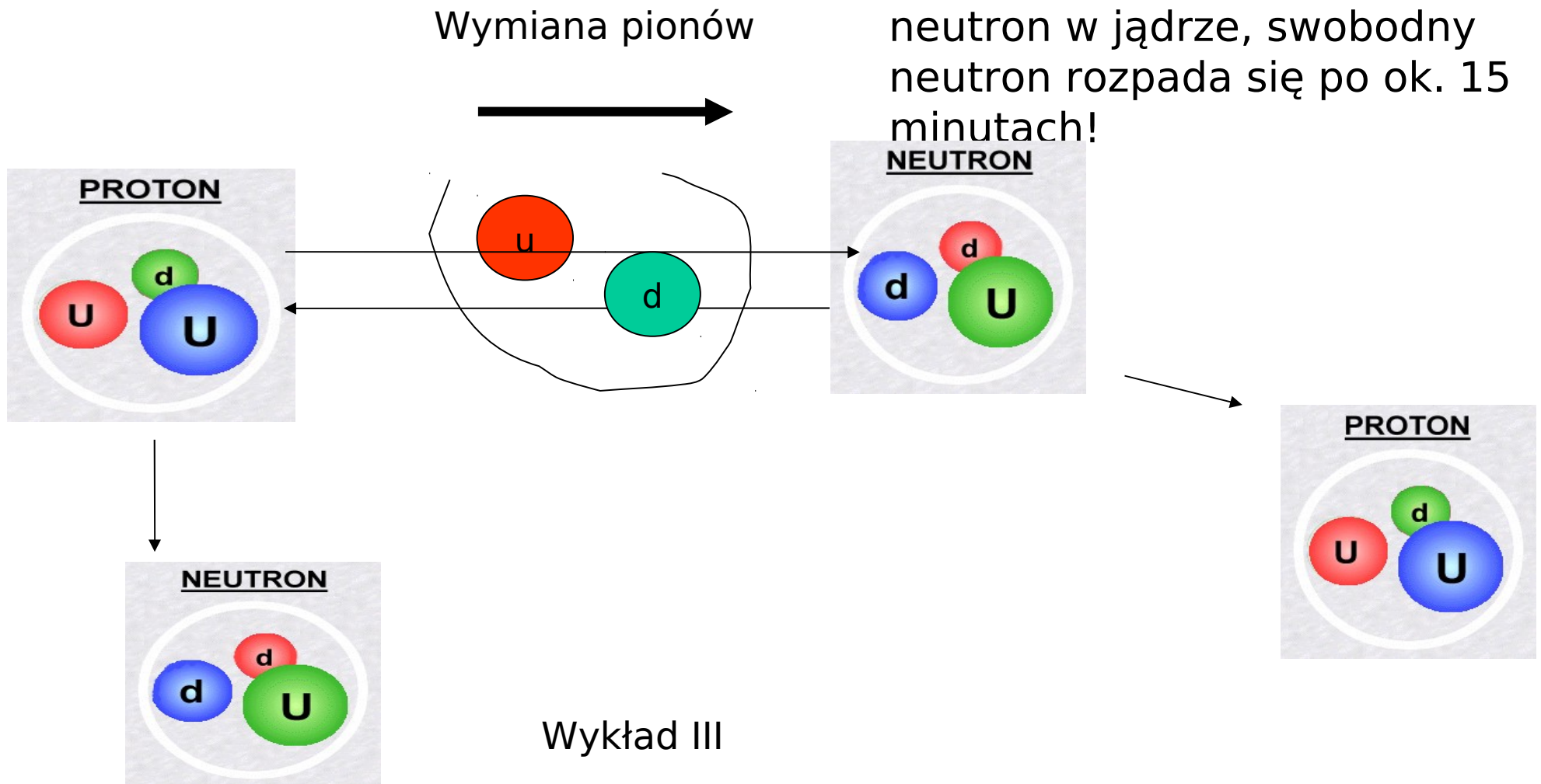


- ✓ wymiana kolorów (gluonów)
- ✓ Zupełnie inny typ oddziaływań: uwięzienie kwarków oraz pojęcie asymptotycznej swobody

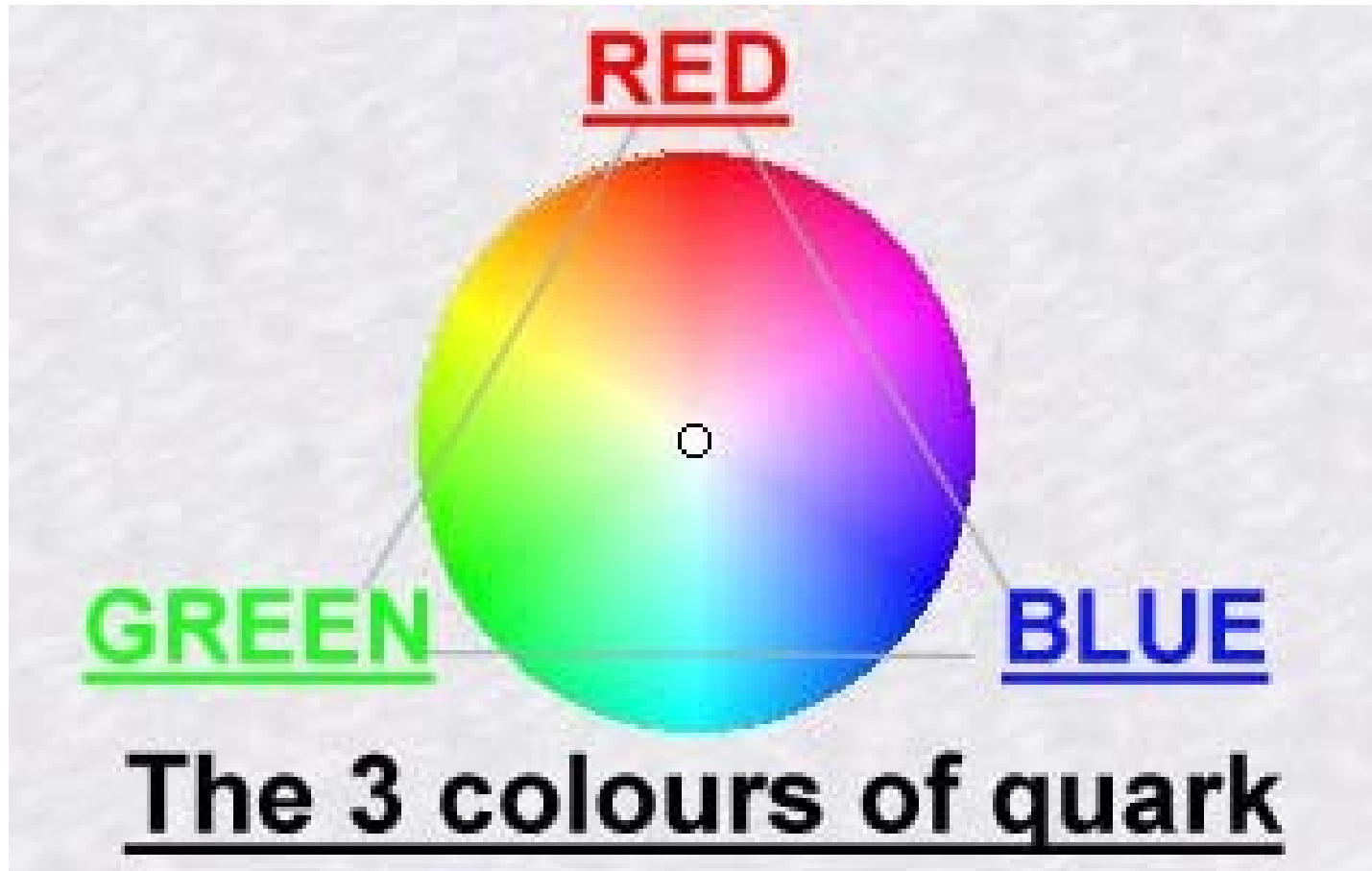


QCD: trwałe jądra (siły Yukawy)

- ✓ Wymiana pionów, teoria 1935
- ✓ Nieustanna zmiana proton-neutron w jądrze, swobodny neutron rozpada się po ok. 15 minutach!



Cząstki zbudowane z kwarków są “bezbarwne”



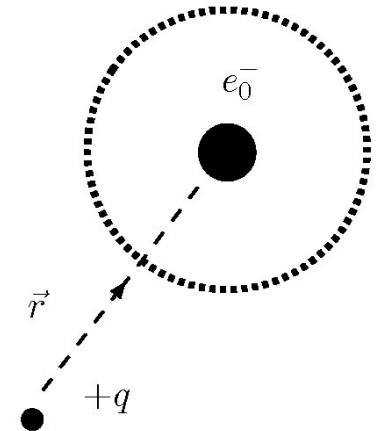
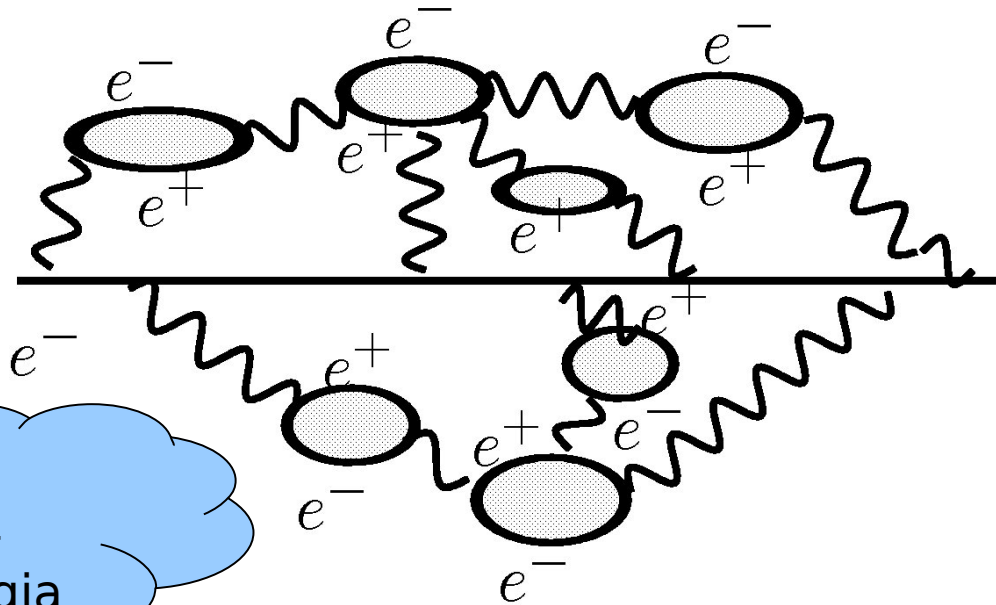
- Mezony (kwark – antykwark: np. (B)lue kwark + żółty antykwark)
- Bariony (3 kwarki: RGB)

Dlaczego kolor?

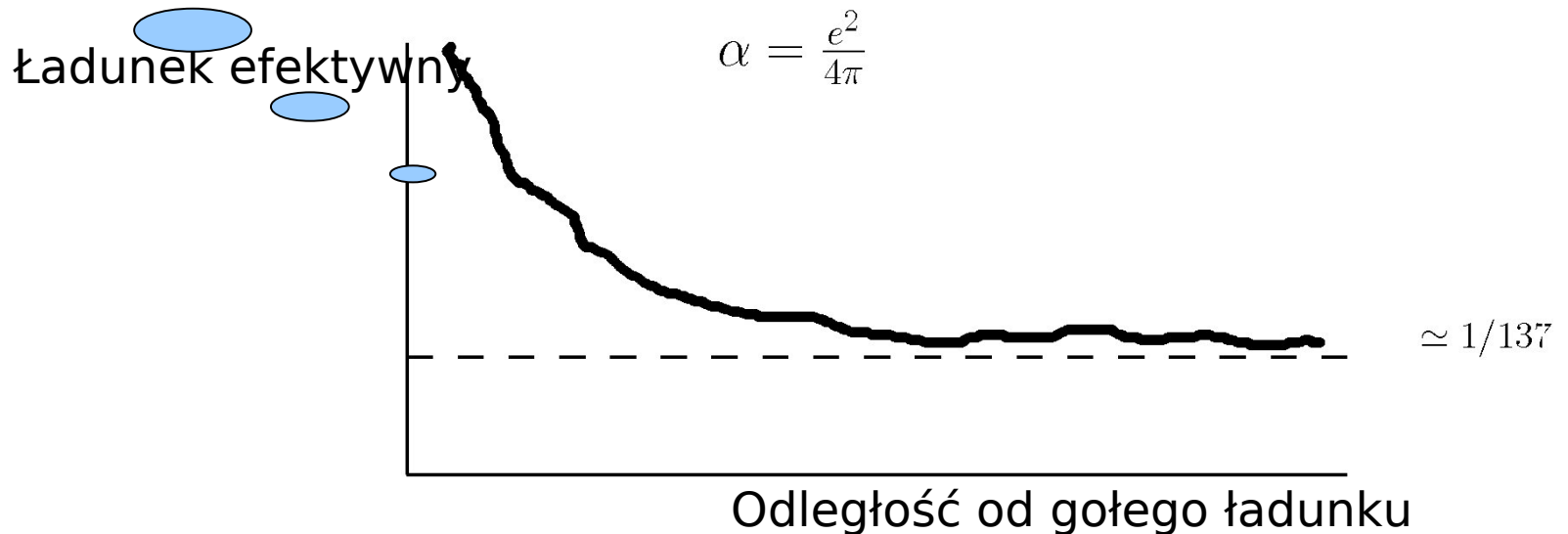
- Po odkryciu w 1947 roku pionów, nukleony straciły uprzywilejowaną pozycję
- Problem: 1951 (Fermi), cząstka Δ^{++} , która ze względu na ładunek powinna składać się z kwarków uuu , z kolei spin wynosi $3/2$, więc możliwe, gdy 3 kwarki mają skierowany rzut spinu w tym samym kierunku (np. do góry): jest to więc stan kompletnie symetryczny: ***sprzeczne ze statystyką Diraca***
- ***Wprowadzając kolor, rozróżniamy kwarki dodając wewnętrzny stopień swobody***
- *W ten sposób zniknął problem statystyki: stan cząstki jest antysymetryczny ze względu na kolor*
- *Wymiana koloru pomiędzy kwarkami "skleja" hadrony (gluony)*
- *Gluony to kwanty pola kolorowego (QCD)*

Foton – Gluon

- Z różnego oddziaływania w QED (teoria abelowa) i QCD (teoria nieabelowa) wynika różnica w tzw. Efekcie ekranowania ładunku w próżni
- **QED** (pozytrony z wykreowanych par zblizają się do badanego elektronu, zblizając s warstwę: t



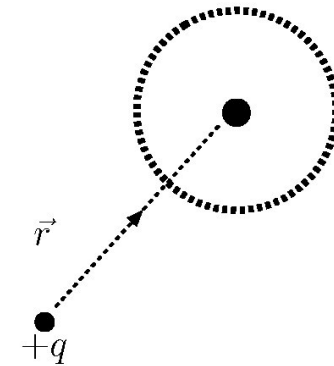
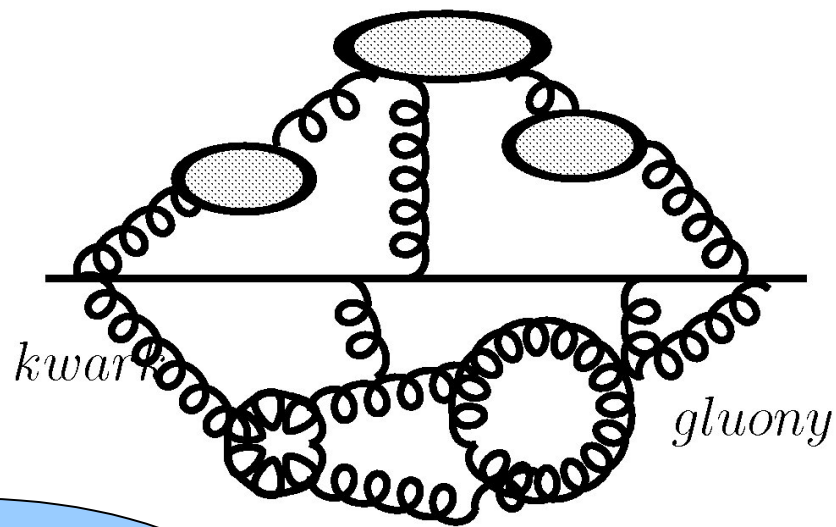
Mniejsza odległość - większa energia



Foton – Gluon

Uwięzienie kwarków

- QCD
- Ze względu na “dolne” oddziaływania, kwarki tego samego koloru pojawiają się wokół “gołego” badanego kwarka



Na małych odległościach (duże energie) tzw. **asymptotyczna swoboda**

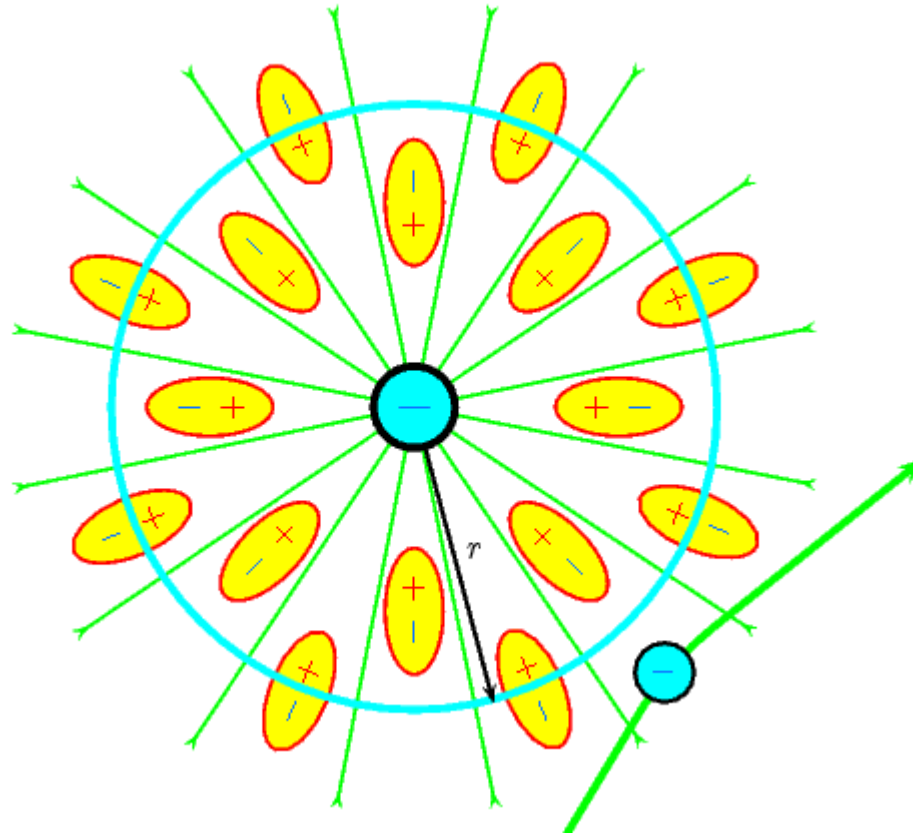
Efektywny kolor

$\alpha(\text{strong})$

Odległość od gołego kwarku

1 fm

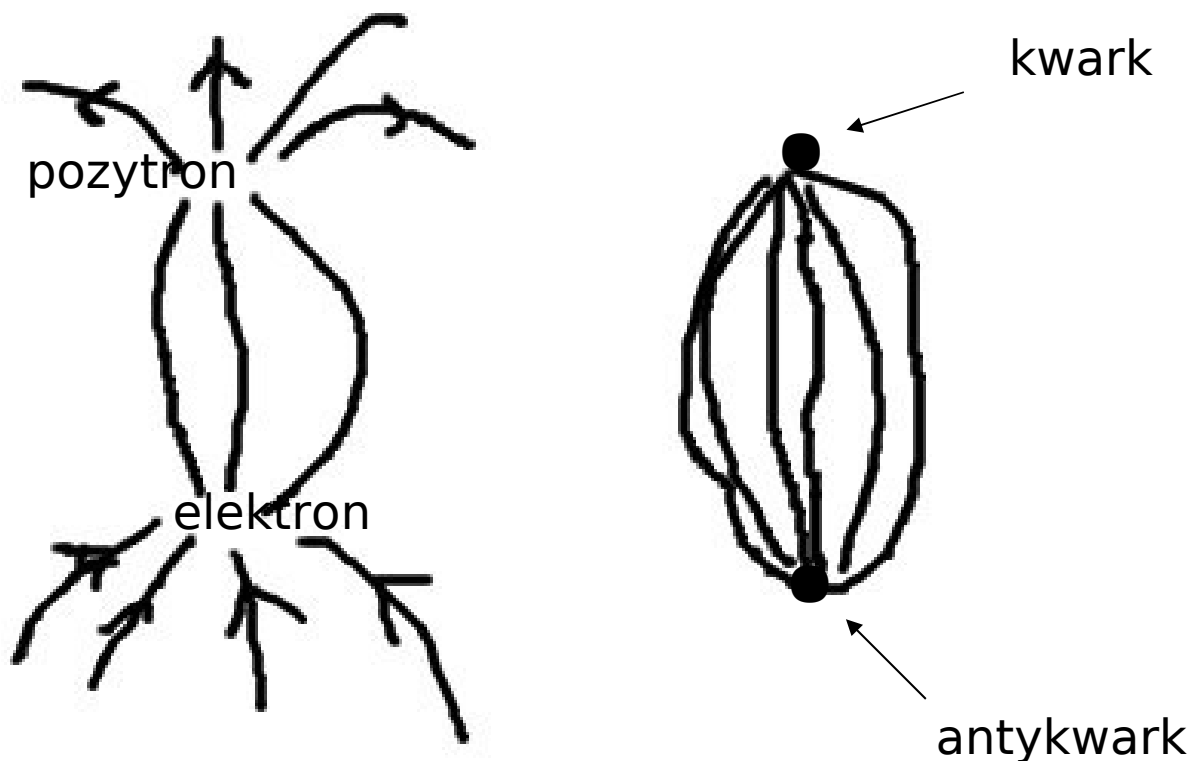
Ekranowanie ładunku w QED



Przy energii zderzenia E , efektywny ładunek oddziaływania zawarty jest w sferze o promieniu $r=1/E$, ze względu na polaryzację próżni jest on większy niż widziany z odległości $R \gg r$.

Kwarki mają kolor, ale na zewnątrz stany białe

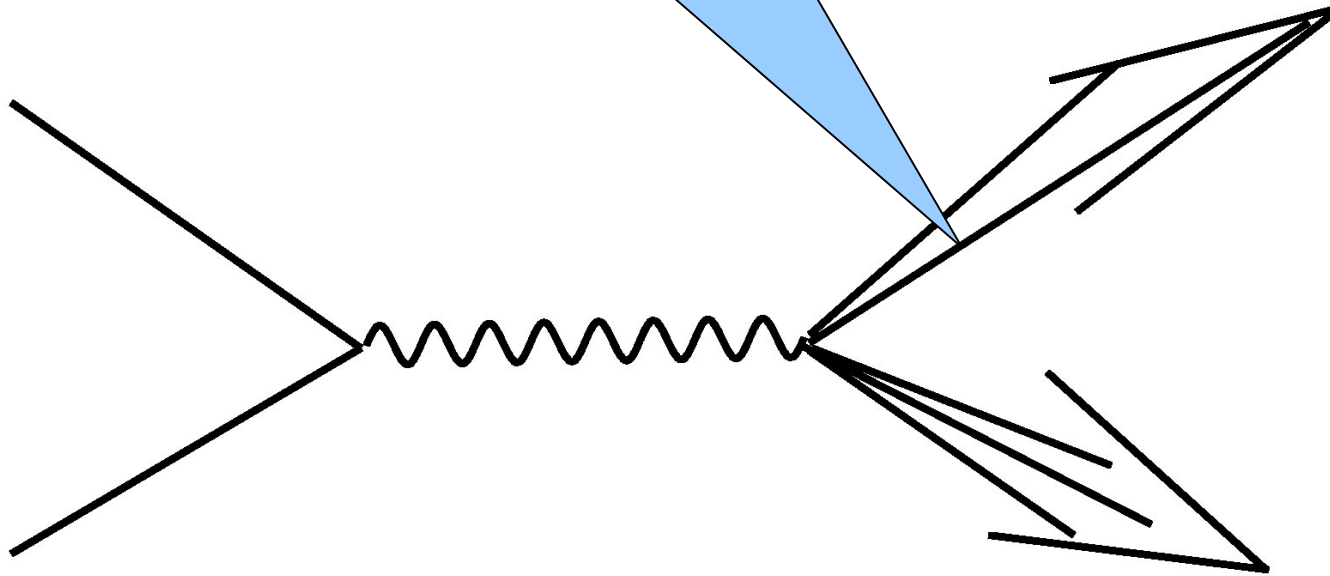
- QCD: Kolorowe gluony nie mogą się propagować do nieskończoności, potencjał $V(r)$ proporcjonalny do r
- QED: część fotonów może propagować do nieskończoności, przyciąganie elektron-pozytron nie jest więc tak silne, $V(r)$ odwrotnie proporcjonalne do r



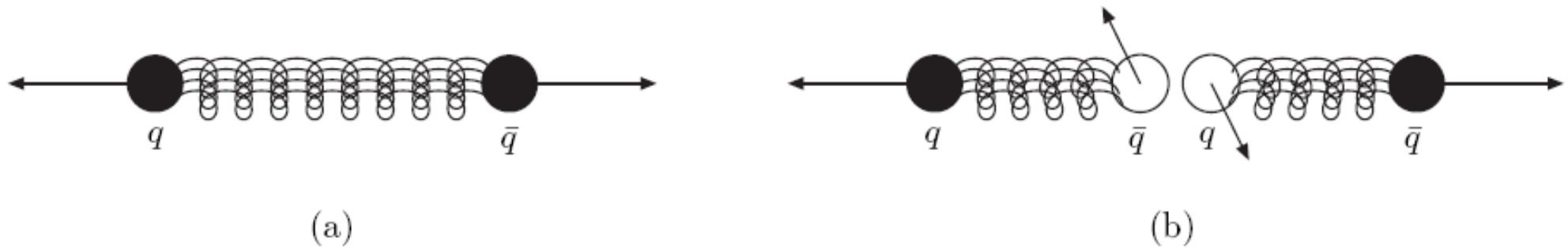
Bardzo intuicyjna interpretacja

Przy próbie rozerwania hadronu, rośnie energia potencjalna, aż hadron “pęka” produkując osobne wiązki cząstek (tzw. jety)

Produkują się swobodne kwarki,
które kończą w postaci hadronów



arXiv:1002.0274



(a)

(b)

Fig. 11. String fragmentation model of hadronization. (a): Quark-antiquark pair, connected by a color flux tube, immediately after the collision. (b): After the first string breakdown. Filled circles denote primary partons, while open circles denote secondary partons. Primary parton momenta are \sqrt{s} , while the typical secondary parton momenta are of order $\Lambda_{\text{QCD}} \ll \sqrt{s}$.

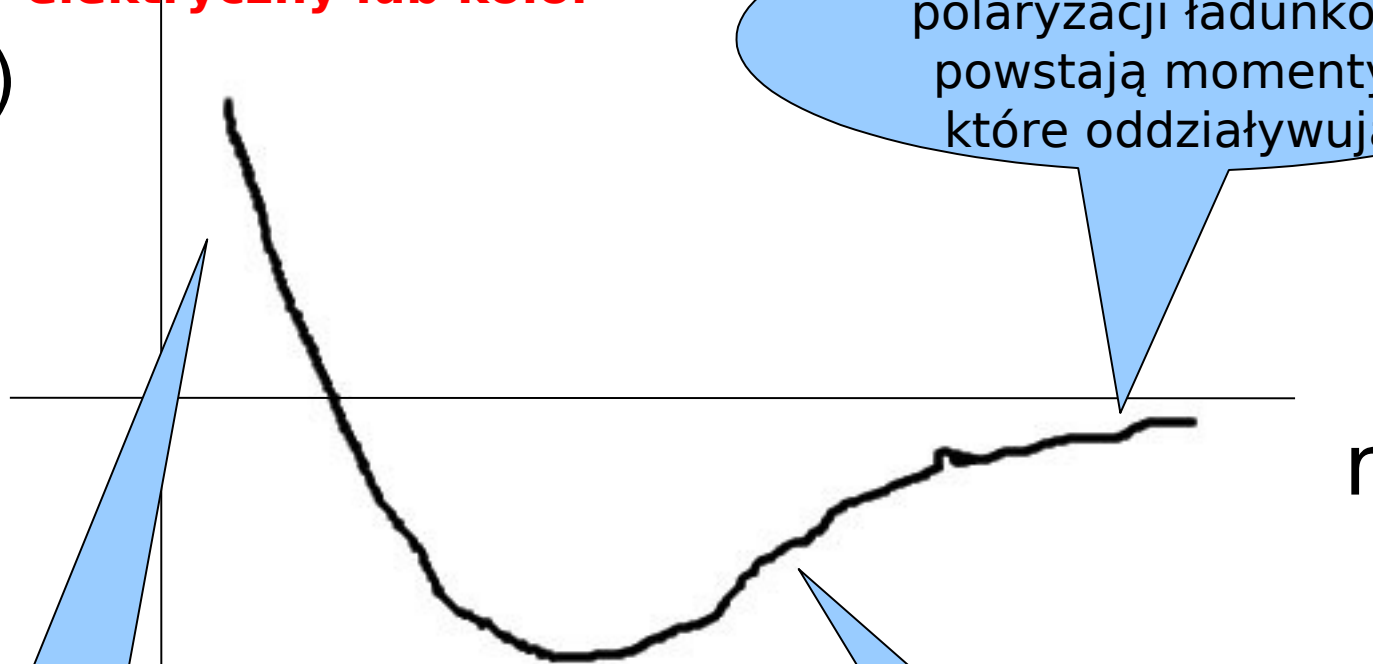
Właściwie teraz możemy pokusić się o głębszą odpowiedź na pytanie *skąd biorą się trwałe nukleony?*

- Kwarki w nukleonach związane gluonami (wymiana kwantów koloru)
- *A trwałe jądra?*
- ... jeśli na zewnątrz nukleony są białe? A oddziaływanie silne są związane z wymianą koloru?
- mówiliśmy już o wymianie pionów (siły Yukawy) utrzymujące stabilne jądra (tak zresztą oszacowano masę pionów jeszcze przed ich odkryciem), ale wymiana pionów a priori nie jest gwarantem ich stabilności, **to coś więcej to efektywna wymiana koloru**
- Cząstki składają się z neutralnych atomów i są trwałe dzięki siłom Van der Waalsa, podobnie jądra składają się z neutralnych nukleonów wymieniających kolor (przekrywające się funkcje falowe)

Sily Van der Waalsa: wiązanie chemiczne i potencjał oddziaływania nukleonów

Tutaj: ładunek - elektryczny lub kolor

$V(r)$



Wolny wzrost na skutek polaryzacji ładunków, powstają momenty, które oddziałują

Odpychanie: te same ładunki zbyt blisko siebie

Szybki wzrost oddziaływania gdy powłoki się przekrywają

Trzy oddziaływania- QCD, QED oraz słabe są w chwili obecnej opisywane przez teorię nazywaną **MODELEM STANDARDOWYM (MS)**.

Model ten unifikuje oddziaływania słabe i elektromagnetyczne. Nawet przyjęła się specjalna nazwa -**oddziaływania elektroslabe**.

MS świetnie zgadza się z doświadczeniem, ze wszystkich jego elementów jeden element czeka jeszcze na weryfikację - cząstka(i) Higgsa, a więc problem powstania masy (*nie oznacza to, że MS uważamy za teorię doskonałą*)

Cząstki elementarne (~ 1970)

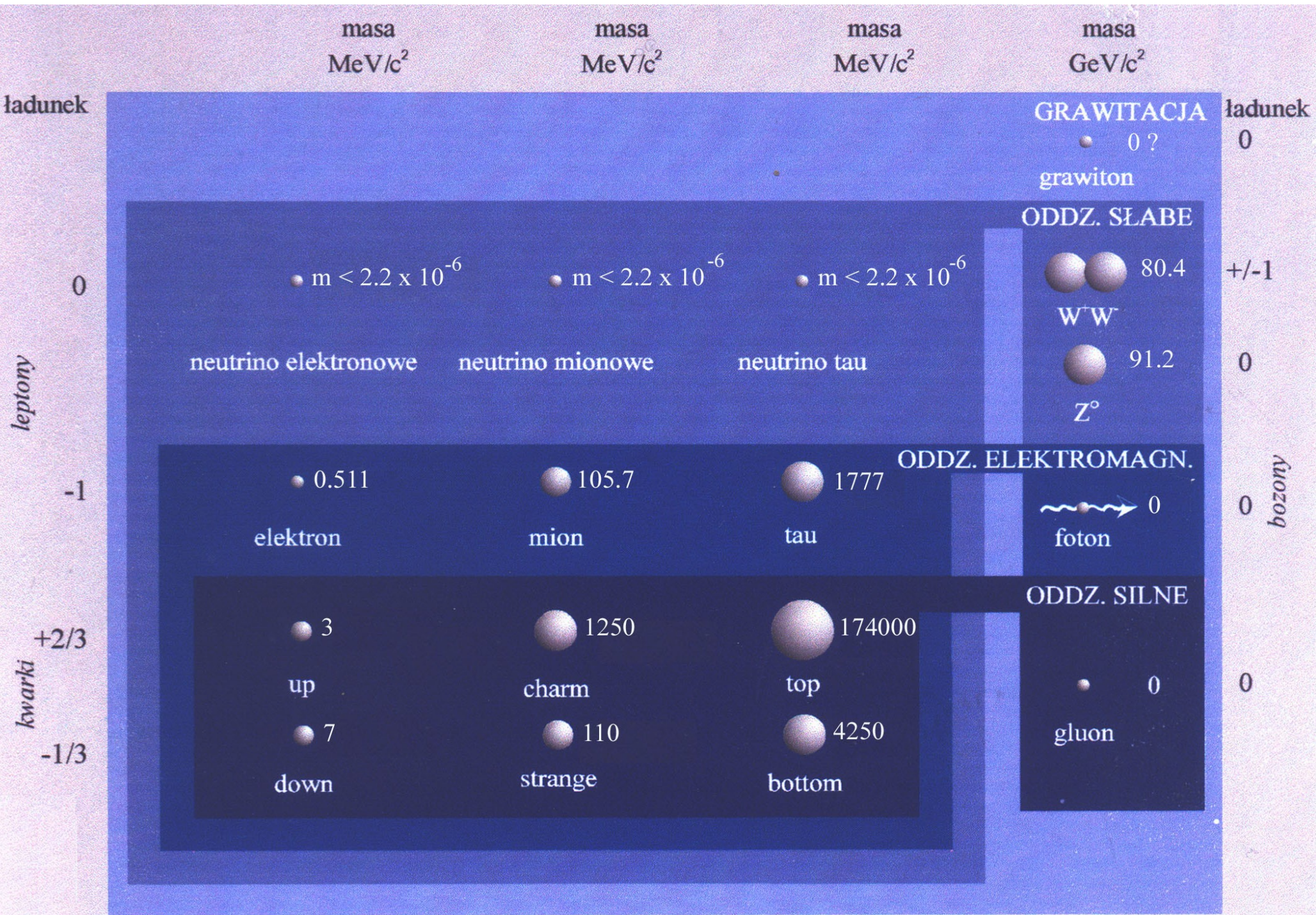
e^-	1897
p	1911 - 1919
γ	1923 (1905)
e^+	1932
n	1932
μ^\pm	1937
π^\pm	1947
K^0, K^\pm	1947
π^0	1949
Λ	1951
Δ	1952 - 1953
Σ, Ξ	1952 - 1959
p^-	1955
ν_e	1956 (1930)
ν_μ	1962
Ω	1964

I wiele, wiele więcej ...

Cząstki elementarne (obecnie)

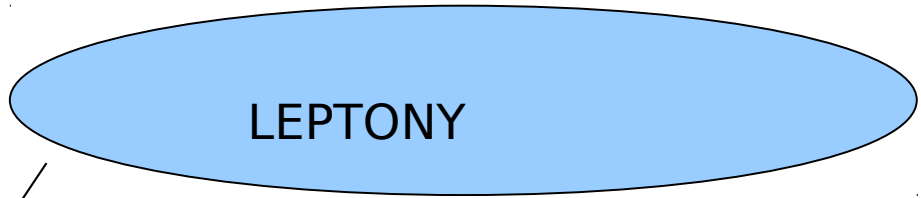
e^-	1897
e^+	1932
μ^-, μ^+	1937
τ^-, τ^+	1975
ν_e	1956 (1930)
ν_μ	1962
ν_τ	2000 (1975)
u, d, s	1964
c	1974 (1964)
b	1977
t	1995
γ	1923 (1905)
W^\pm	1983 (1967)
Z	1983 (1967)
g	1979 (1973)

I to wszystko

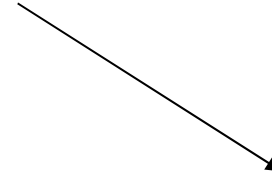


cząstki materii

... i pola przenoszące oddziaływania pomiędzy nimi



znaczy: lekkie

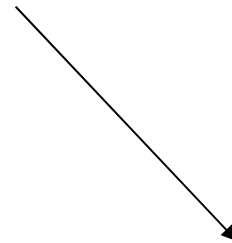
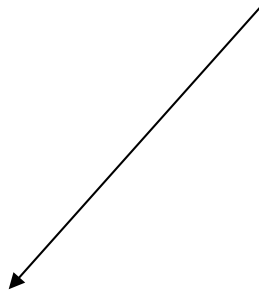


naładowane (elektron, mion, tau)

obojetne (neutrino)



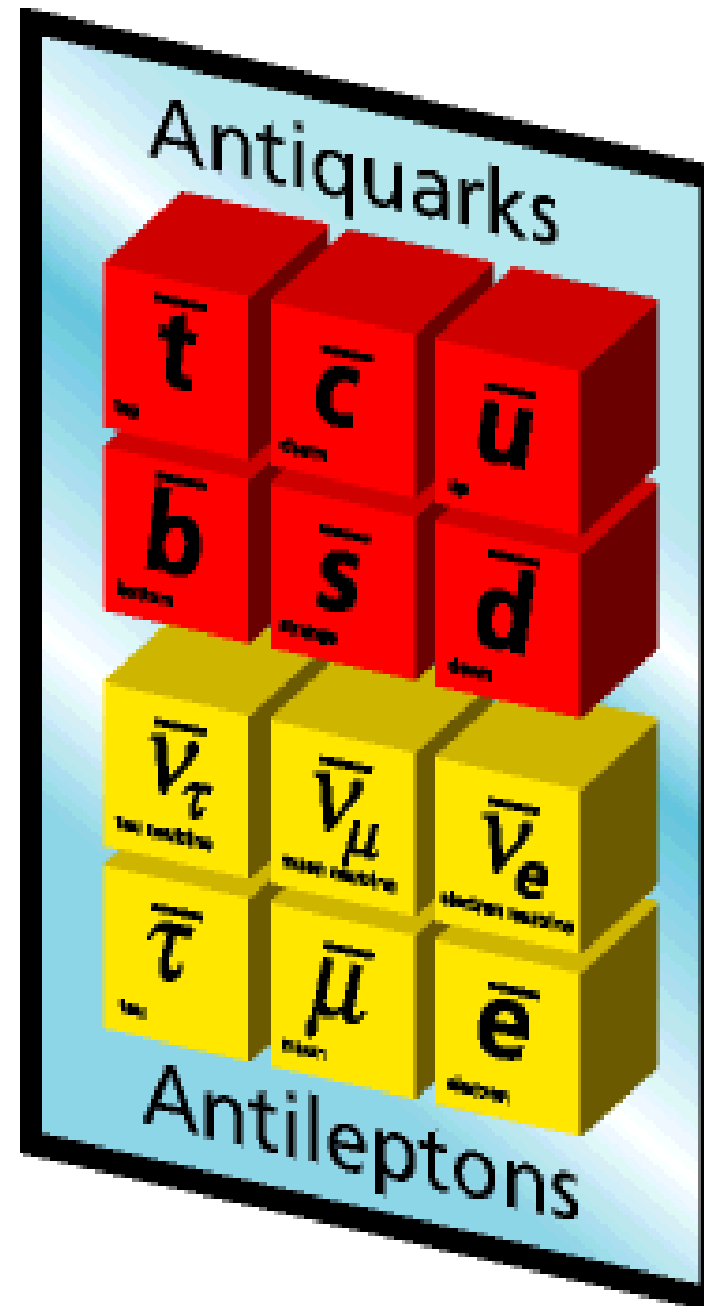
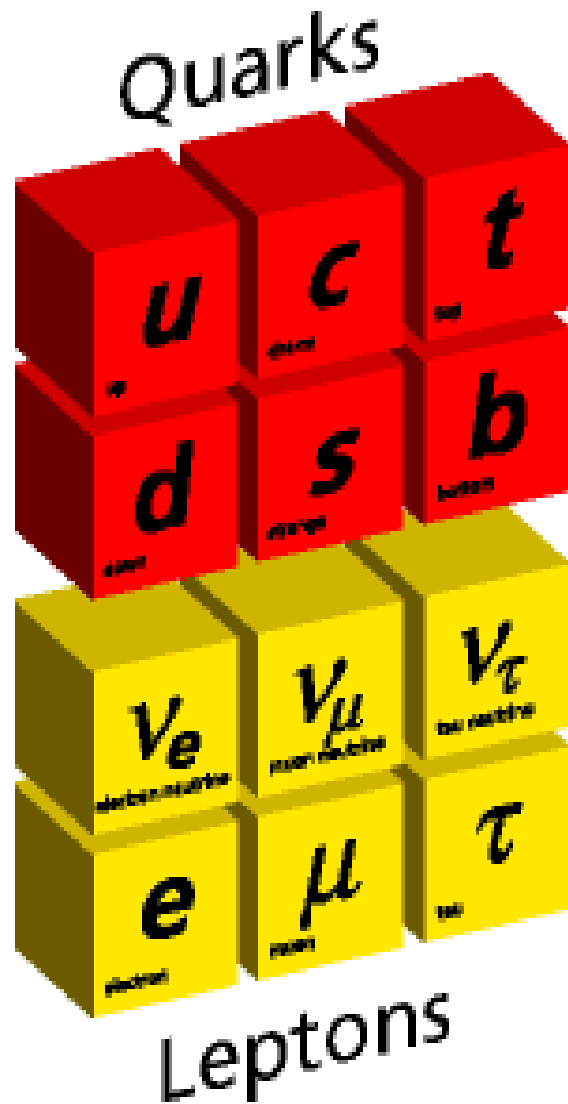
zbudowane z kwarków



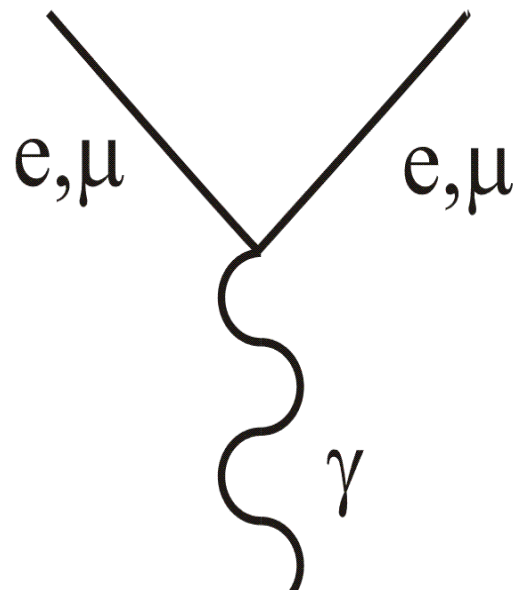
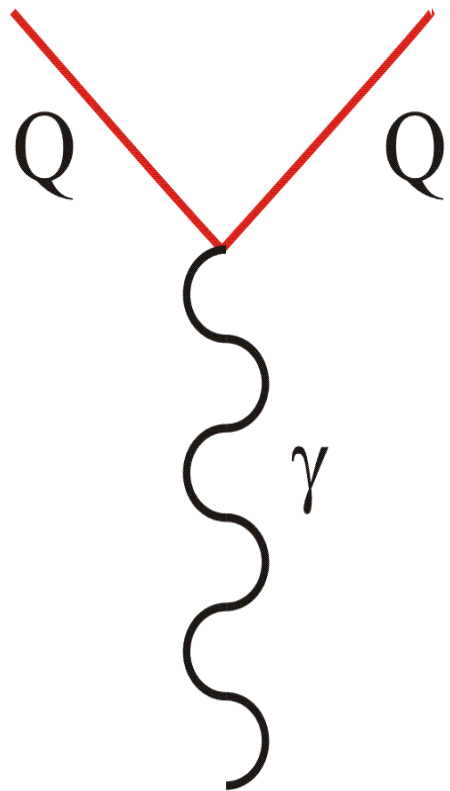
mezony

bariony

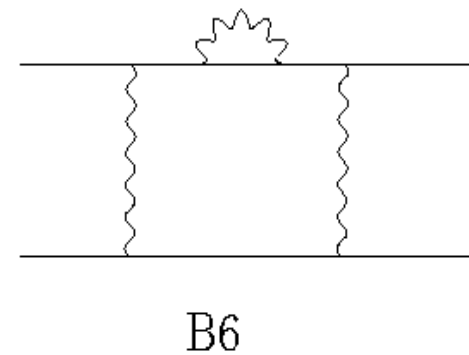
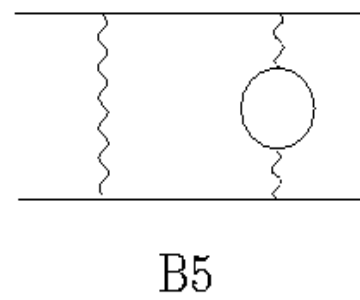
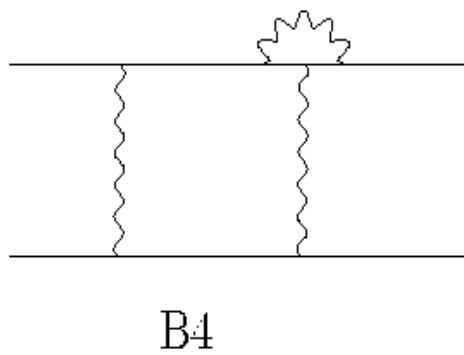
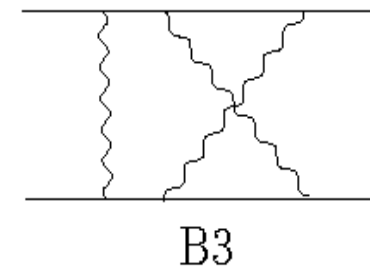
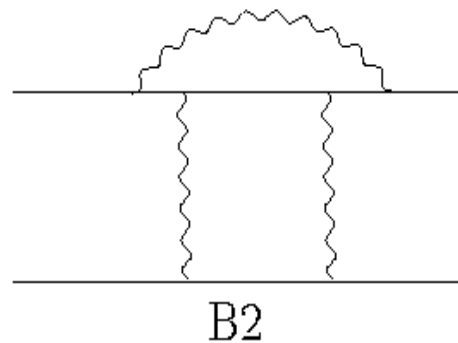
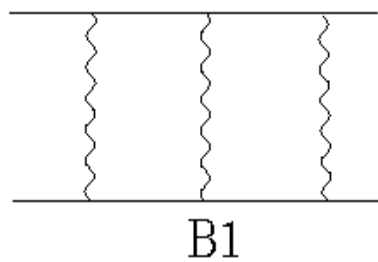
No i nie zapomnijmy o antymaterii



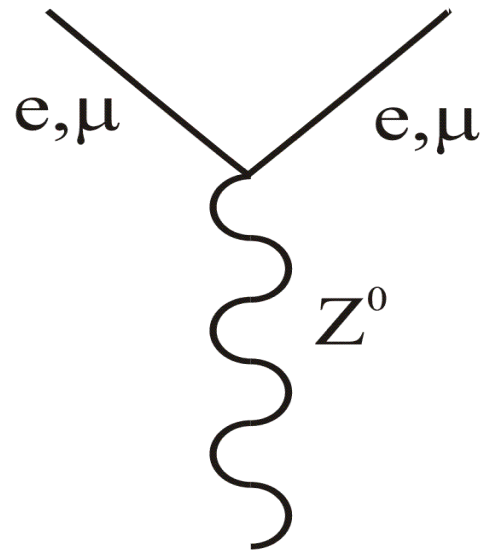
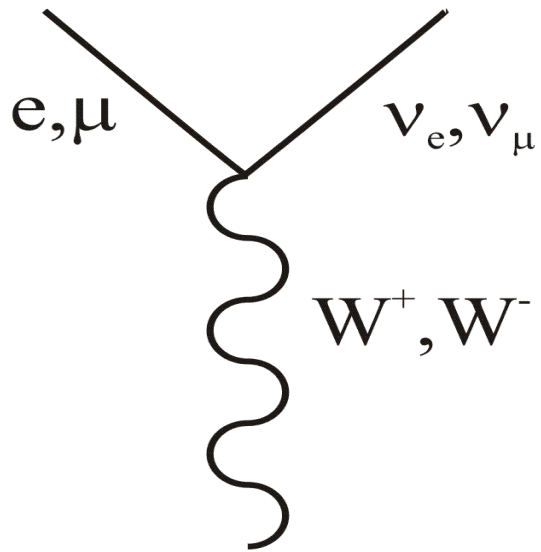
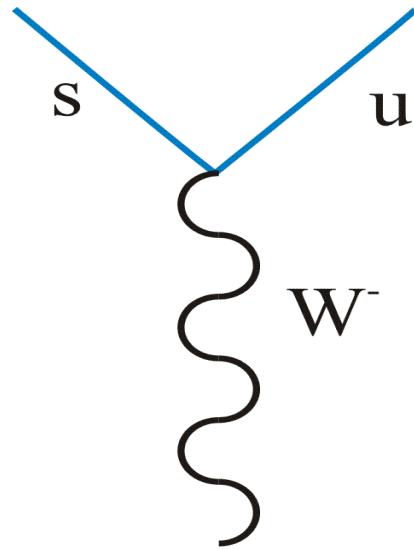
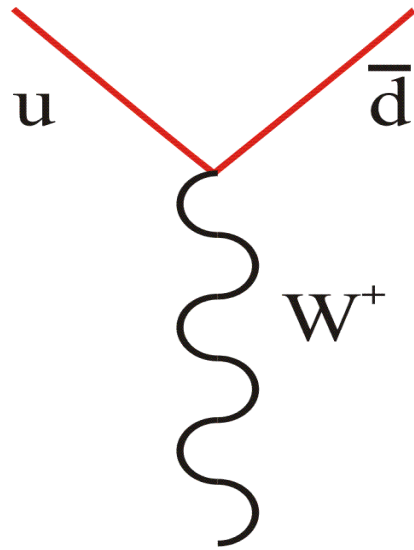
E-M



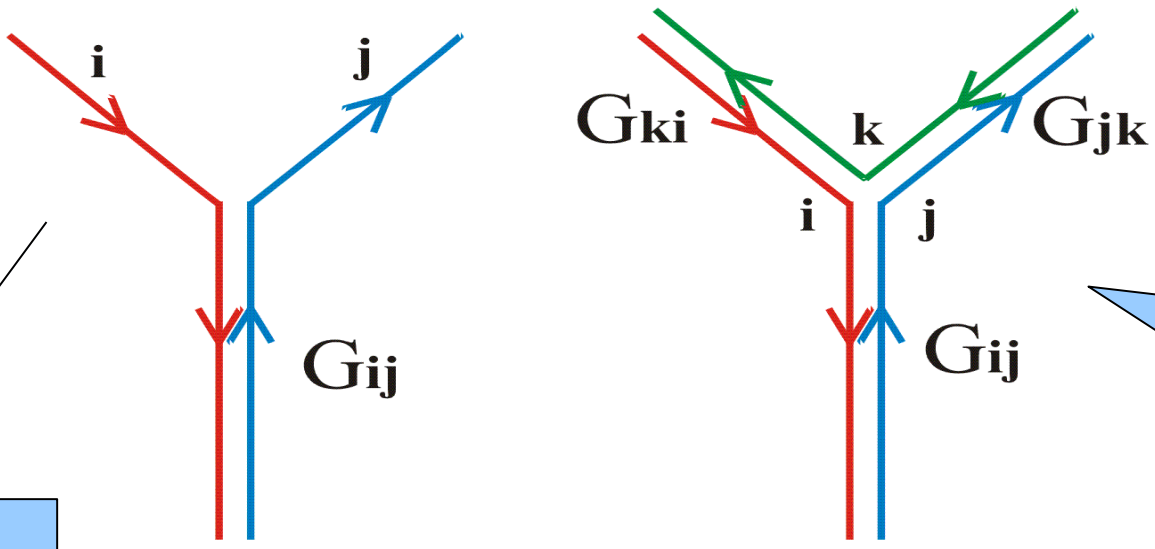
Diagramy Feynmana



Słabe

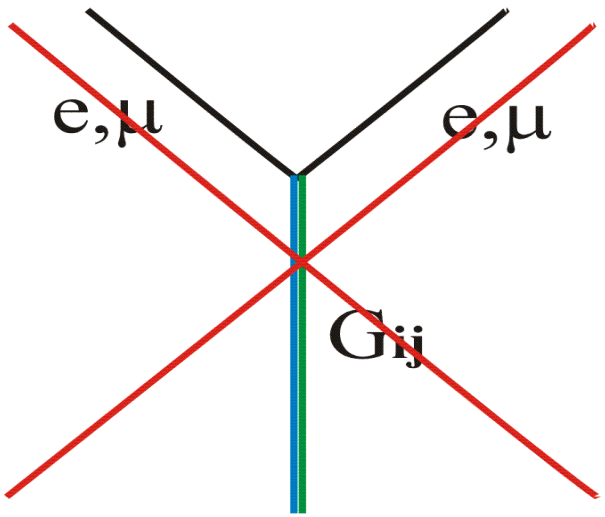


Silne



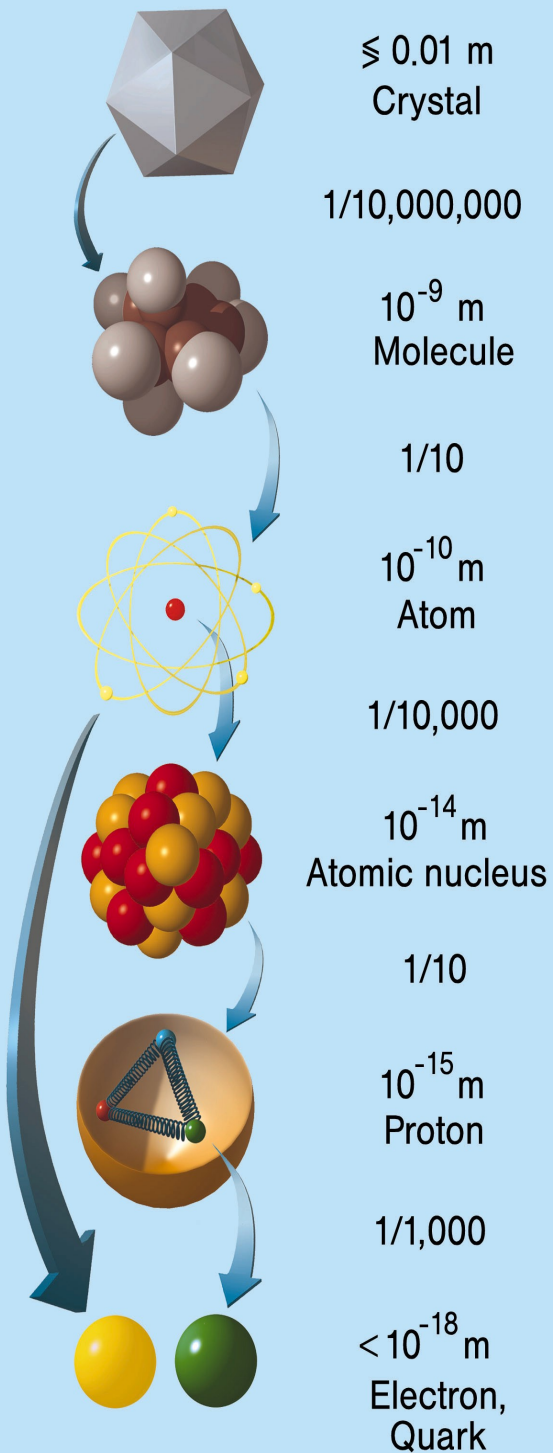
Jak w QED

To nowość w stosunku do QED: sprzężenia pomiędzy samymi bozonami



Gluony nie sprzęgają się z leptonami

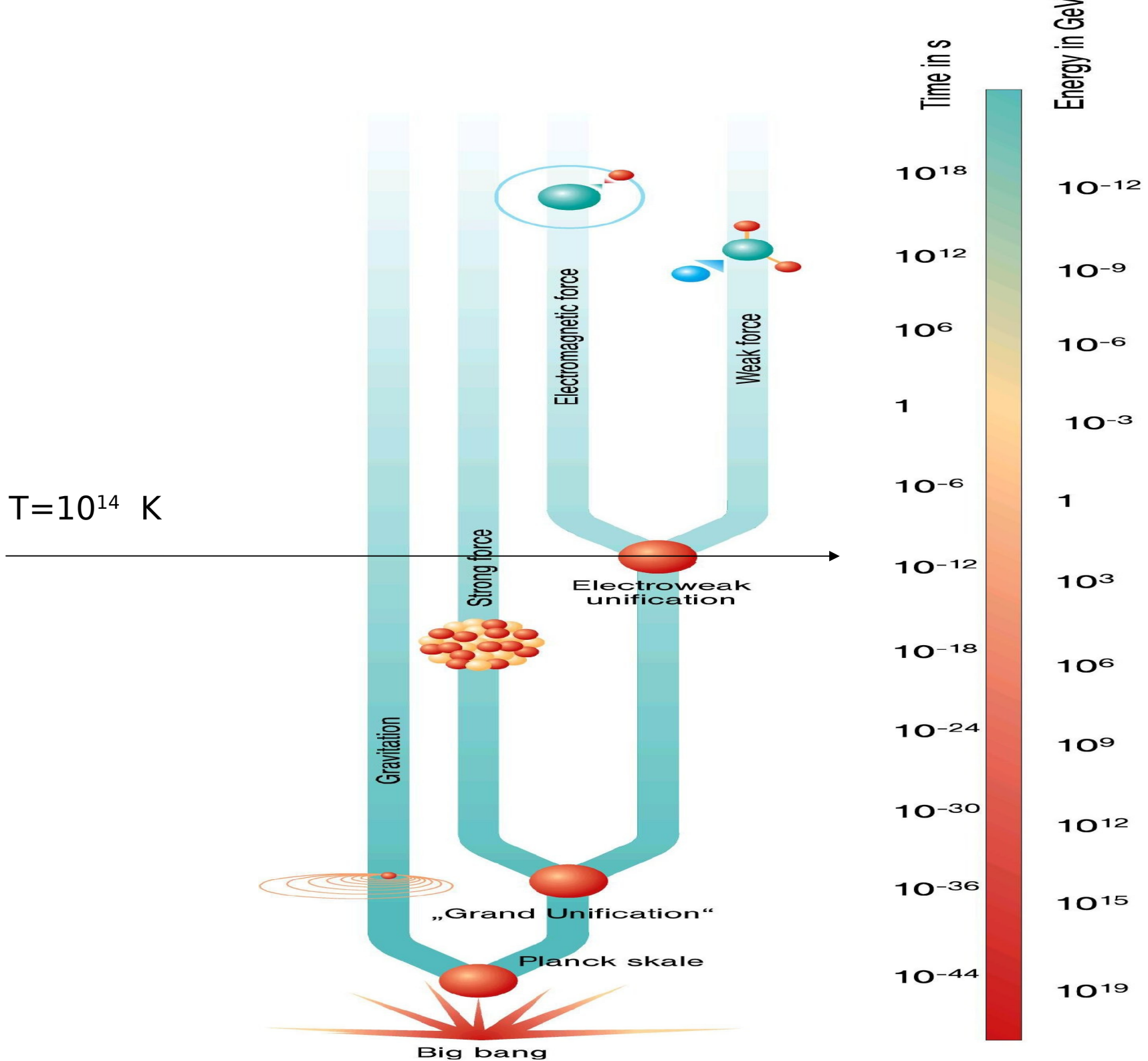
Rozmiary



Synchrotron radiation DORIS III/HASYLAB

Particle physics HERA

- Nasz świat: 3 typy cząstek materii (e,u,d)
- Ogromna różnica skal



Jednostki

$$\hbar \simeq 1.05457 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \equiv 1$$

$$c \simeq 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \equiv 1$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- Tak jak pokazałem w Tabeli cząstek, masę określamy w elektronowoltach
- Masa protonu to mniej więcej 1 GeV
- (eV) J \Rightarrow GeV
- (h) J \Rightarrow s
- (c) s \Rightarrow m
- Kg? \Rightarrow GeV
- 1 GeV = 1.8 10^{^(-27)} kg

Co dalej?

- Czy istnieje teoria GUT?
- Dlaczego istnieje tak wiele cząstek? Dlaczego tak się grupują?
- Dlaczego mają takie, a nie inne masy?
- Czy istnieją dodatkowe wymiary?
- Jak rozwiązać problem ciemnej materii?
- Czy istnieją nieodkryte prawa natury (symetrie?)
- Jaką naturę mają neutrino?
- Jak powstał Wszechświat? Dlaczego przeważa materia nad antymaterią?
- ...