

Wszechświat cząstek elementarnych

Maria Krawczyk

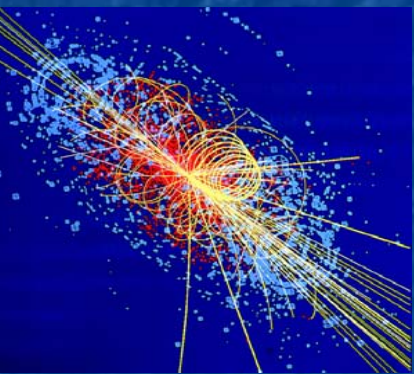
i

A. Filip Żarnecki

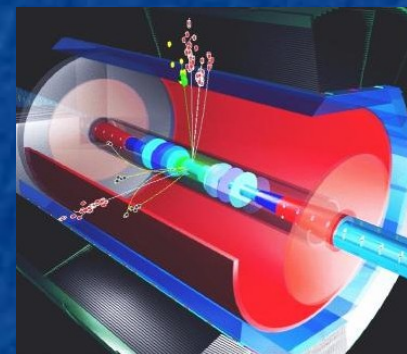
Instytut Fizyki Teoretycznej

i

Instytut Fizyki Doświadczalnej



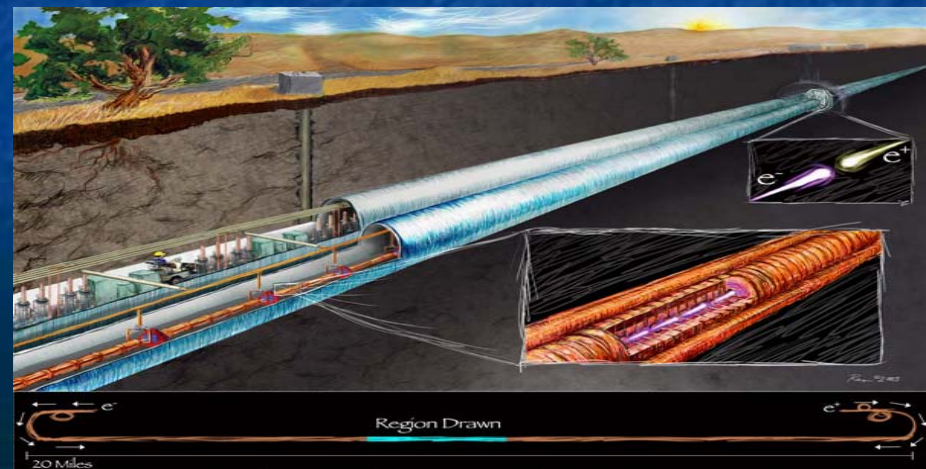
Wydział Fizyki UW
semestr letni, rok akad. 2007/8
<http://www.fuw.edu.pl/~zarnecki/WCE/wce.html>



Large Hadron Collider



International Linear Collider



Program



1. Ogólne informacje o Modelu Standardowym
2. Detekcje cząstek. Przyspieszacz i zderzacz. Wielkie eksperymenty
3. Hadrony, kwarki i leptony
4. Teoria cząstek elementarnych
5. Poszukiwanie cząstki Higgsa
6. Rozszerzenie Modelu Standardowego
7. Powstanie i budowa Wszechświata
8. Ciemna materia, ciemna energia

Materiały pomocnicze

- Wykłady będą zamieszczane na stronie

<http://www.fuw.edu.pl/~zarnecki/WCE/wce.html>

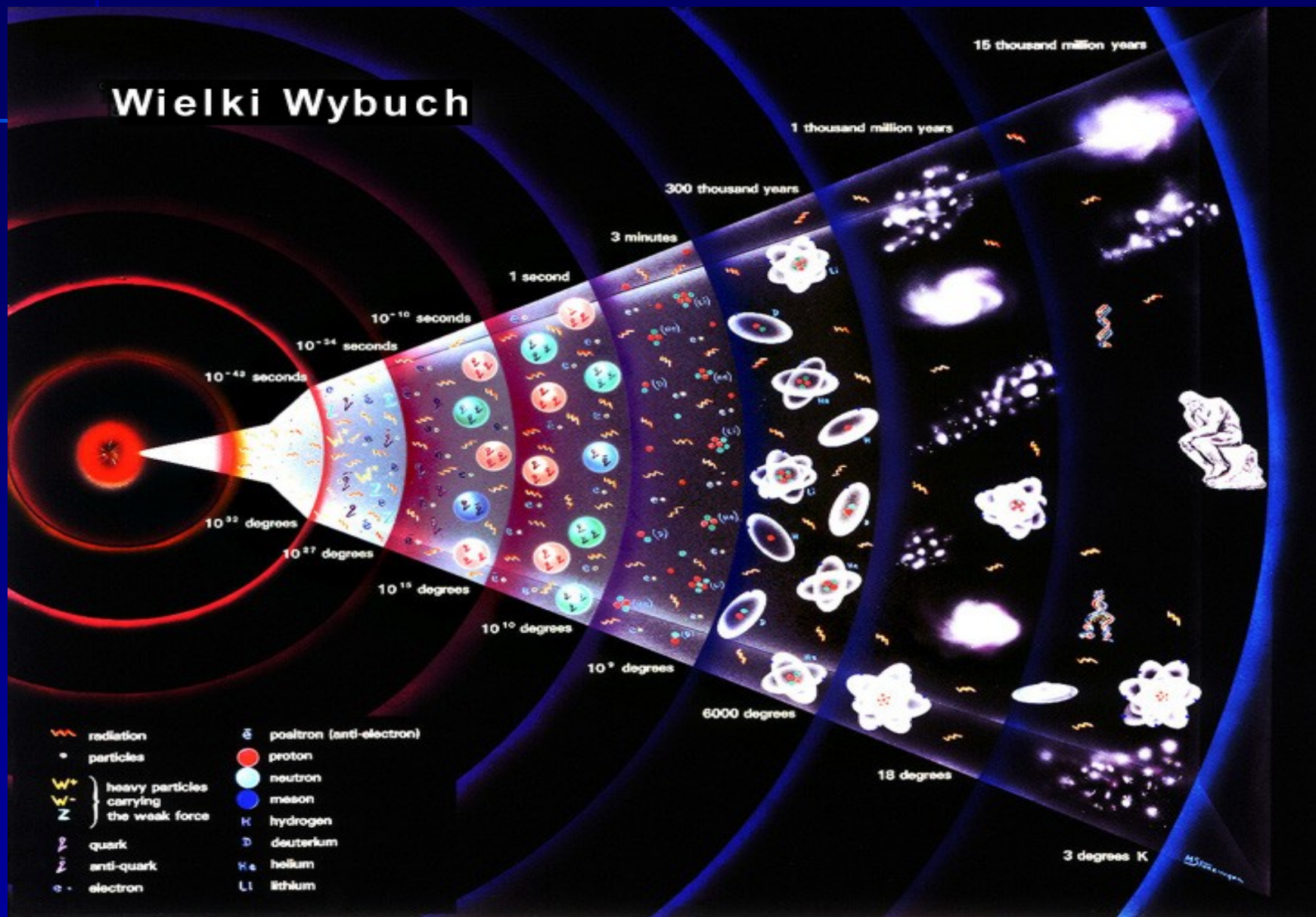
- **Literatura**

1. Martinus J.G. Veltman, Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics, World Scientific 2003
2. Frank Close, Kosmiczna Cebula - Kwarki i Wszechświat, PWN 1989
3. L. Lederman, D. Teresi, Boska cząstka, jeśli Wszechświat jest odpowiedzią, jak brzmi pytanie?, Prószyński i S-ka, Warszawa 2005
4. M. J. G. Veltman, The Higgs Boson, Scientific American 255:88-94,1986 (Issue no 5).
5. Y. Nambu, A Matter of Symmetry, Scientific American, May 1992, str. 37
6. DELTA 5/2000

Warunki zaliczenia / zaliczenia na ocenę:

1. obecność na wykładach
dopuszczona jest nieobecność na dwóch wykładach, kolejne nieobecności obniżają ocenę
2. 50% punktów z egzaminu testowego
termin egzaminu 16 czerwca 2008

Skąd ten tytuł wykładu?



Fizyka cząstek elementarnych

- Wiek XX – niezwykle rozwój fizyki, fundamentne idee pierwsza połowa to teoria względności, teoria grawitacji i teoria kwantów
- druga połowa – fizyka cząstek elementarnych
- Przestrzeń i czas w teorii grawitacji odgrywają podstawową rolę; materia definiuje własności przestrzeni a ruch materii wynika ze struktury przestrzeni.
- Einstein próbował opisać pola elektryczne i magnetyczne jako wynik własności czaso-przestrzeni. Do końca życia poszukiwał takiej jednolitej teorii - bezskuteczne.

Fizyka cząstek elementarnych

- Czasoprzestrzeń i prawa mechaniki kwantowej są „tłem” dla cząstek elementarnych
- Cząstki el. – dużo (1000) i różnorodne (Zoo)
Wiele zagadnień nadal niejasnych.
Niektóre cząstki występują w trzech postaciach, różniąc się masą np. o czynnik 35 000
- Do dziś nie rozumiemy grawitacji i jej związku z mechaniką kwantową

Cząsteczki, atomy, jądra atom. i cząstki el.

- Materia składa się z cząsteczek
 - np. woda H_2O atomy H=wodór, O=tlen
- Cząsteczki = stany związane atomów (92 różnych atomów w naturze)
- Atomy = stany związane jąder atomowych i elektronów; atomy są prawie puste
- Rozmiar atomu 1/100 000 000 cm,
jądro 100 000 mniejsze

Rutherford ustalił to w 1911 bombardując złoto ciężkimi cząstkami alfa (α)

nukleony

- Jądro = stany związane protonów i neutronów

Jądro atomowe = stan związany nukleonów

Nukleony

->protony (ładunek elektryczny= +1)

(elektron ma ładunek el. = -1)

->neutrony (ładunek el. =0)

Atomy są neutralne elektrycznie

Jeśli oderwiemy jeden lub więcej elektronów

-> jony (ładunek el. dodatni). Jonizacja.

Przykłady atomów:

Wodór $H=p+e$ - najlżejszy atom

Deuter $D=pn +e$ - ciężki wodór (-> ciężka woda)

Tryt $T =pnn +e$

Hel $He=ppnn +ee$

Fizyka jądrowa -> badanie jąder atomowych

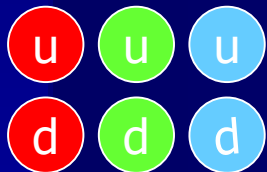
Nukleony i kwarki (oraz gluony)

Proton i neutron = 3 kwarki

(różne typy kwarków i ich nazwy...)

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

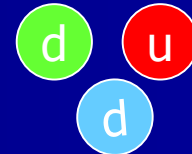
kwarki występują w 3 stanach (*barwach, kolorach*)
czerwone, zielone i niebieskie – to tylko nazwy



proton



neutron



Kwarki nie mają struktury! Są fundamentalne..

Ale nie występują jako cząstki swobodne – p i n tak

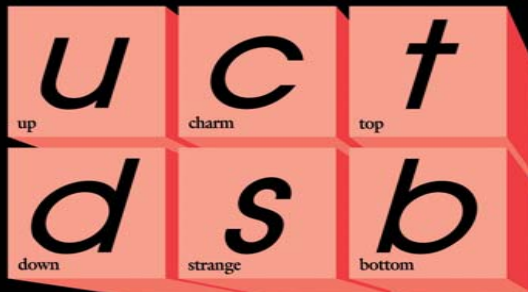
W nukleonach są gluony – sklejające całość (w atomie -> siły e-m, fotony)

Cząstki elementarne i cząstki fundamentalne

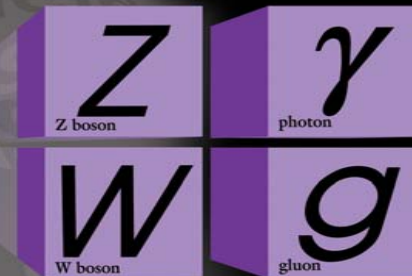
- Cząstki typu p, n to stany związane kwarków
Cząstki fundamentalne - punktowe cząstki bez struktury
Termin cząstki elementarne obszerniejszy i obejmuje wszystkie obiekty prostsze od jądra atomowego (wyjątek proton)
- Fizyka cząstek elementarnych zajmuje się obecnie poziomem fundamentalnym – cząstkami fundamentalnymi i ich oddziaływaniami
- Cząstki przenoszące oddziaływania fundamentalne – to też cząstki fundamentalne

Cząstki fundamentalne w Modelu Standardowym

Quarks



Forces



Leptons

Fotony – rok 1905

- 1900 Planck – światło jest emitowane oraz pochłaniane w porcjach; to była hipoteza dotycząca atomów i natury procesów emisji/absorpcji Kwant energii, stała Plancka $h=6,6 \cdot 10^{-27}$ erg cm, $E= h \nu$
Nagroda Nobla 1918 (ν – częstotliwość)

- 1905 Einstein – światło propaguje się w porcjach – pakietach o określonej energii. To była hipoteza dotycząca natury światła (prom. elektromagnetycznego wg Maxwella) – nieakceptowana przez następne 15 lat! Nawet przez Plancka. Dośw. Comptona – bilard, w 1921 – Nagroda Nobla dla Einsteina

Te pakiety to fotony (nazwa nadana w 1926 przez Lewisa) . Energia ich zależy od typu prom. elektromagnetycznego – fale radiowe mają mniejszą energię niż promienie X (Roetgena). Światło widzialne – większe energie niż radiowe (fioletowe b. energetyczne niż czerwone). W doświadczeniach z cząstkami elementarnymi fotony mają energię 100 000 000 000 razy większą niż w telefonie komórkowym

- Ale wiemy, że światło zachowuje się jak fala, czyli fotony też muszą mieć jakieś własności falowe – tu bije źródło mechaniki kwantowej (zwanej wtedy mechaniką falową).
Einstein wiedział o tym ale nigdy nie odkrył teorii kwantów, ale wręcz zwalczał ją

Antycząstki (antymateria)

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

Cząstki i antycząstki mają tę samą masę

- Np. elektron i pozyton – to para cząstka-antycząstka (ale która jest która 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
- Cząstka i antycząstka mogą oddziaływać b. gwałtownie – zniknąć i pojawiać się w parach
- Istnienie antycząstek wynika z prawa przyrody; cząstka może być swoją antycząstką – np. foton (ładunek el. zero)
- Oznaczenie – kreska nad symbolem cząstki np. kwark u i antykwark \bar{u}

Masa i energia

Energia – pojęcie podstawowe

Jeżeli prędkość obiektu mała (w porównaniu z prędkością światła) stosujemy opis nierelatywistyczny, gdzie związek energii kinetycznej z prędkością $E = \frac{1}{2} m v^2$; energia jest proporcjonalna do masy obiektu

Masa a waga -

Dla prędkości relatywistycznych → teoria względności, tu prędkość nie jest wygodną wielkością do opisu ruchu obiektu

Przykład: Około roku 1950 przyśpieszane protony miały energię 1 GeV. Prędkość światła $c = 300\ 000$ km/s → prędkość protonów 212 000 km/s. Ostatnia maszyna LEP (CERN) przyśpieszała elektrony do energii 100 GeV, czyli prędkości 299 999,6 km/s. LHC – przyśpieszanie protonów do energii 7000 GeV, $v = ?$

Pęd – lepsza wielkość $E = c \sqrt{p^2 + m^2 c^2}$, $E = mc^2$ dla $p = 0$

Notacja naukowa

- Atom wodoru – rozmiar 1 Angstrom
0.000 000 01 cm, lub 1/10 nanometra
inny zapis: $1 \text{ A} = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-10} \text{ m}$
- Duży rozmiar -> np. 10^{10} m

Nazwy: duże liczby

Deka, hekto, kilo, mega, giga, tera, peta, exa, zetta, yotta

10 10^2 10^3 10^6 10^9 10^{24}

Nazwy: małe liczby

Decy, centy, mili, mikro, nano, pico, femto, atto, zepto, yocto

10^{-1} 10^{-2} 10^{-3} 10^{-6} 10^{-9} 10^{-24}

Zdarzenia (events)

- W doświadczeniach z cząstkami el. mamy do czynienia ze zdarzeniami –
nie możemy przewidzieć ani kontrolować precyzyjnie tych zdarzeń
Nasze urządzenia pomiarowe są makroskopowe – musimy jakoś wydobywać informacje co się dzieje na poziomie cząstek
- Rozpady cząstek elementarnych (nawet tych fundamentalnych)
Np. neutron żyje średnio około 10 min – rozpada się na proton, elektron i neutrino elektronowe (w jądrze at. jest stabilny)
W opisie kwantowym – precyzyjny opis średnich wielkości, ale nic nie można powiedzieć o szansie indywidualnego zdarzenia
- Znikanie cząstek ale też ich powstawanie – to obserwuje się w tych urządzeniach (akceleratorach) . Rozpad neutronu to zamiana

