

Wszechświat cząstek elementarnych

Maria Krawczyk

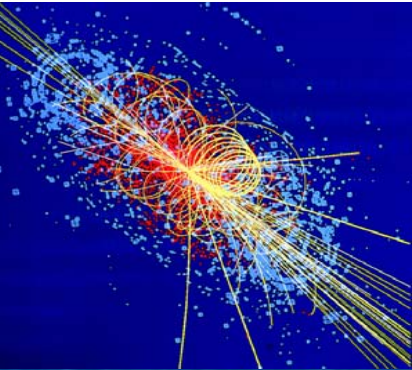
i

A. Filip Żarnecki

Instytut Fizyki Teoretycznej

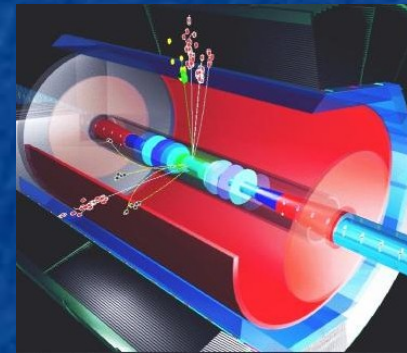
i

Instytut Fizyki Doświadczalnej



Wydział Fizyki UW
semestr letni, rok akad. 2009/10

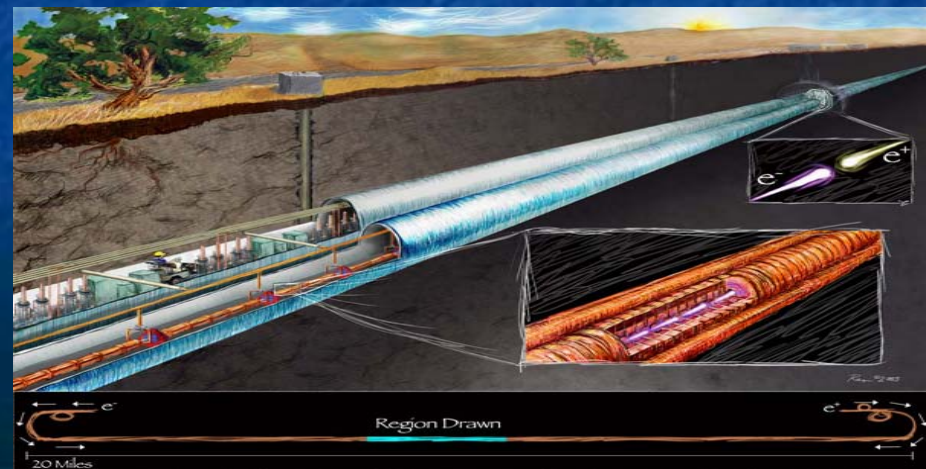
<http://www.fuw.edu.pl/~zarnecki/WCE/wce.html>



Large Hadron Collider



International Linear Collider



Program



1. Wprowadzenie
Ogólne informacje o Modelu Standardowym
2. Detekcje cząstek. Przyspieszacze i zderzacze.
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

Warunki zaliczenia :

1. obecność na wykładach

dopuszczona jest nieobecność na dwóch wykładach, kolejne nieobecności obniżają ocenę

2. 50% punktów z pisemnego egzaminu testowego

30 pytań (max 1 zdanie odpowiedzi)

Terminy egzaminów będą zaproponowane w najbliższej przyszłości

Skąd ten tytuł wykładu?



Notacja naukowa

- W fizyce mamy często do czynienia z bardzo dużymi lub bardzo małymi wielkościami. Chcemy łatwiej się nimi posługiwać.

Przykład: odległość Ziemia-Słońce $1 \text{ AU} = 150\,000\,000\,000 \text{ m}$

notacja naukowa: $1 \text{ AU} = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ 11 cyfr po 1

Przykład: atom wodoru – rozmiar $1 \text{ \AA} = 0.000\,000\,000\,1 \text{ m}$

notacja naukowa: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 1/10^{10} \text{ m}$ 1 na 10 miejscu

Notacja naukowa

Wykładnik potęgi 10 określa nam „rzęd wielkości”

1 rząd wielkości:
różnica o czynnik 10



~1 m



~10 m

Notacja naukowa

10 rzędów wielkości:
różnica o czynnik $10^{10} = 10\ 000\ 000\ 000$

Bardzo dużo !!!



$\sim 1\ \text{mm} = 10^{-3}\ \text{m}$



$\sim 10\ 000\ \text{km} = 10^7\ \text{m}$

Notacja naukowa

Aby ułatwić zapis wprowadzamy dedykowane nazwy

Duże liczby

deka, hekto, **kilo**, **mega**, **giga**, **tera**, peta, exa, zetta, yotta

da	h	k	M	G	T	10^{24}
10^1	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}		

Małe liczby

decy, centy, mili, mikro, nano, pico, **femto**, atto, zepto, yocto

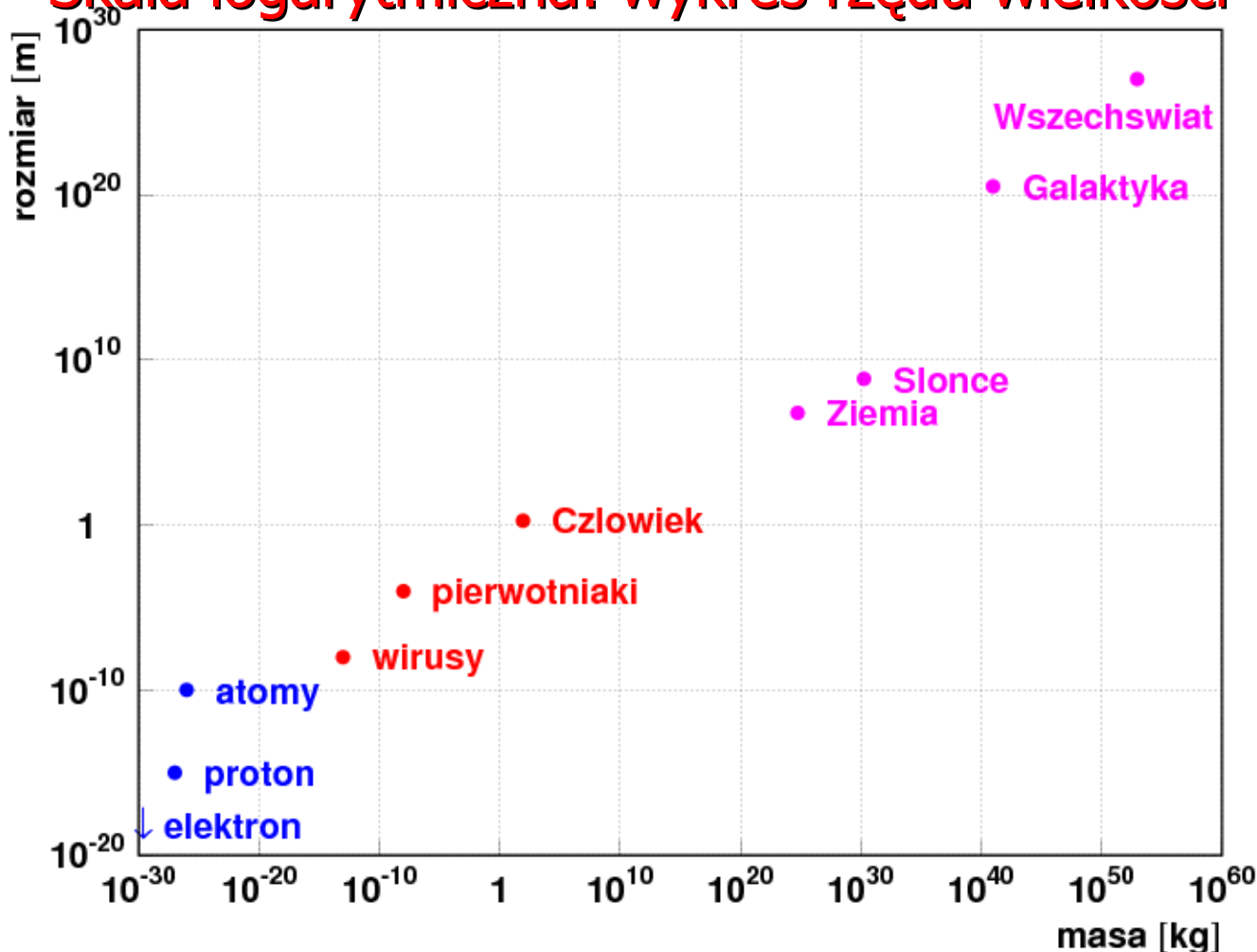
d	c	m	μ	n	p	f	10^{-24}
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}		

Przykład: 1 **fm** = 10^{-15} m 1 **TeV** = 10^{12} eV

Czym zajmuje się fizyka?

- Staramy się zrozumieć zjawiska zachodzące na najmniejszych i największych odległościach
- Szukamy praw opisujących zarówno zachowanie najmniejszych cząstek i ewolucję wszechświata

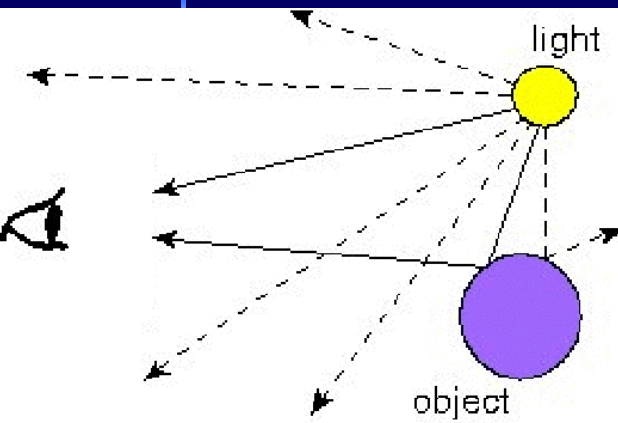
Skala logarytmiczna: wykres rzędu wielkości



Czym zajmuje się fizyka?



Jak badamy cząstki elementarne?



■ Przyglądamy się im...

źródło „światła” → obiekt → detektor

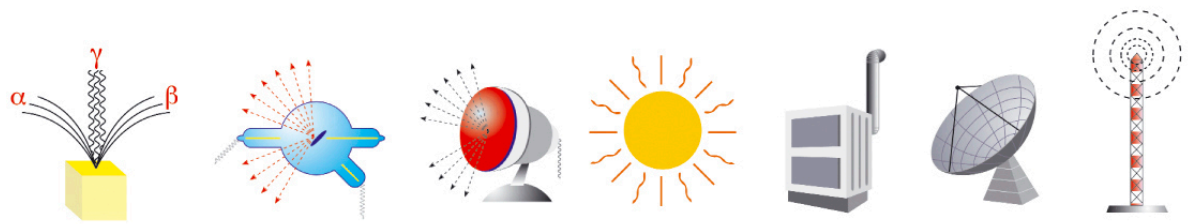
Niestety, cząstek nie możemy
zwyczajnie zobaczyć – światło
widzialne jest „za grube”

długość fali $\lambda \sim 300-600 \text{ nm}$

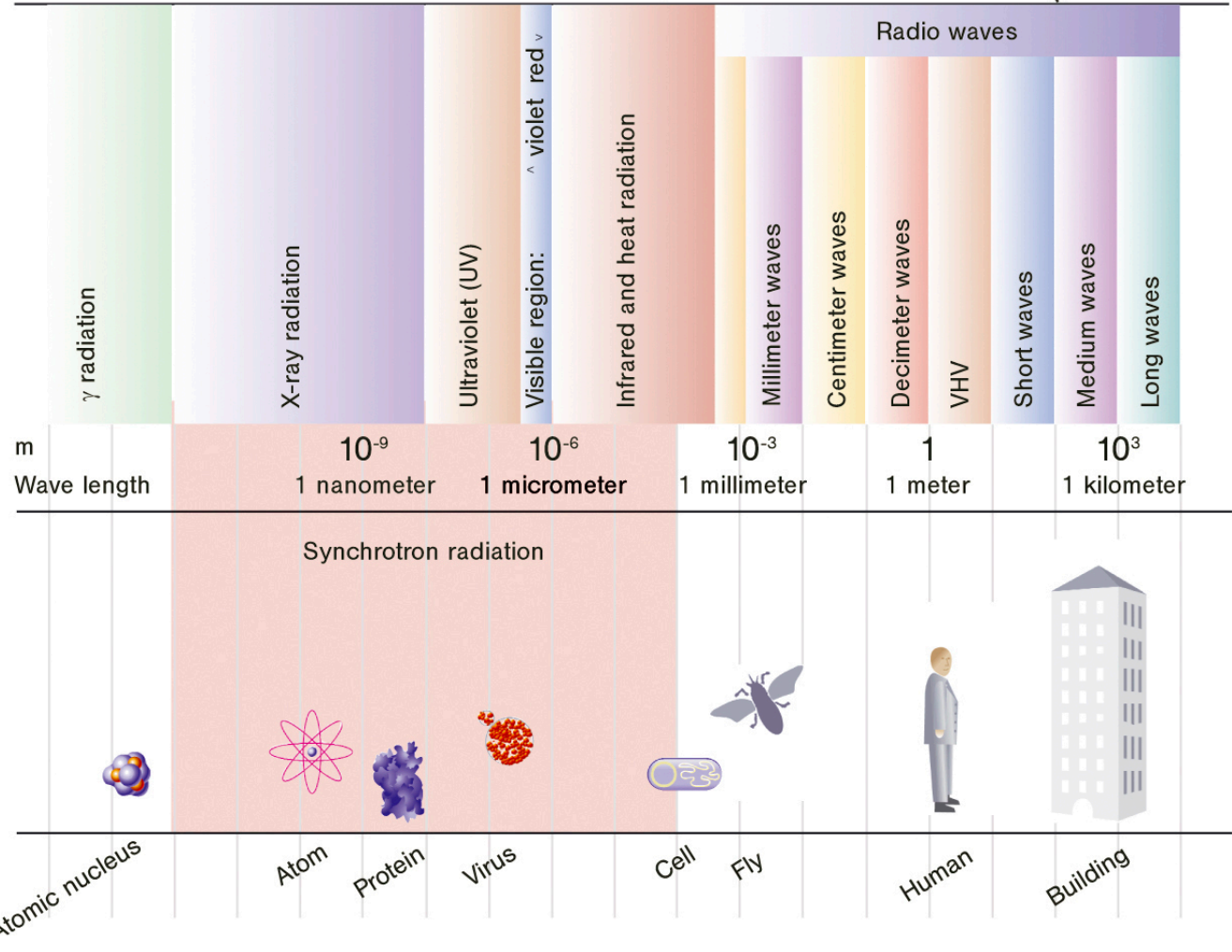
rozmiar atomu $\sim 0.1 \text{ nm}$

Musimy szukać innych metod, innych
„promieni” ...





Radioactive material X-ray tube UV lamp The sun Stove Radio telescope Transmitter



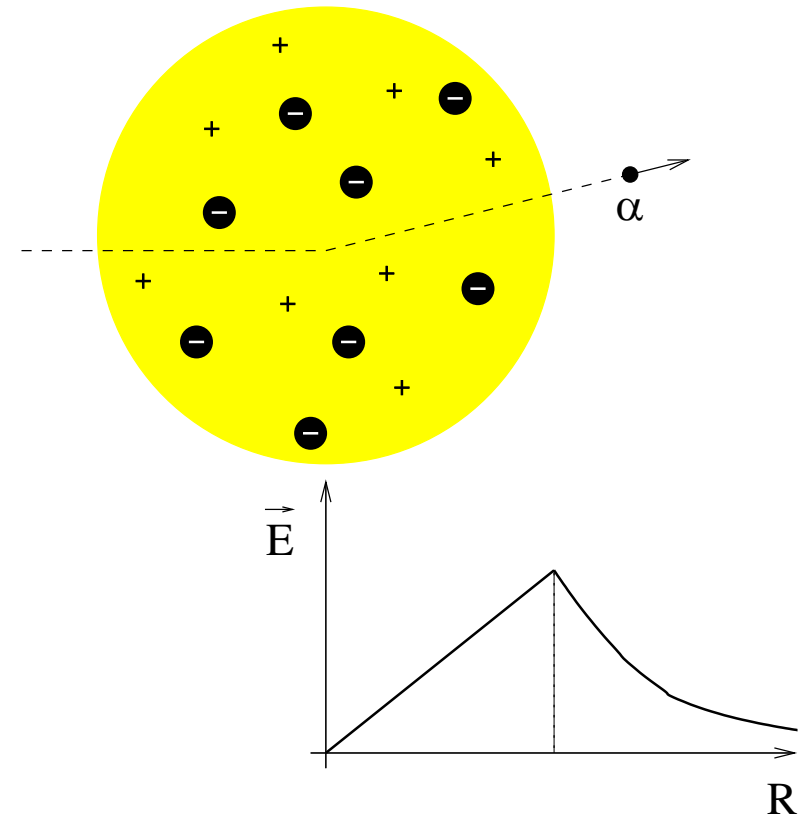
Odkrycie jądra atomowego

Doświadczenie Rutherforda

Rozpraszanie cząstek α na cienkiej złotej folii



Obserwowano błyski wywoływane przez padające cząstki na ekranie scyntylacyjnym



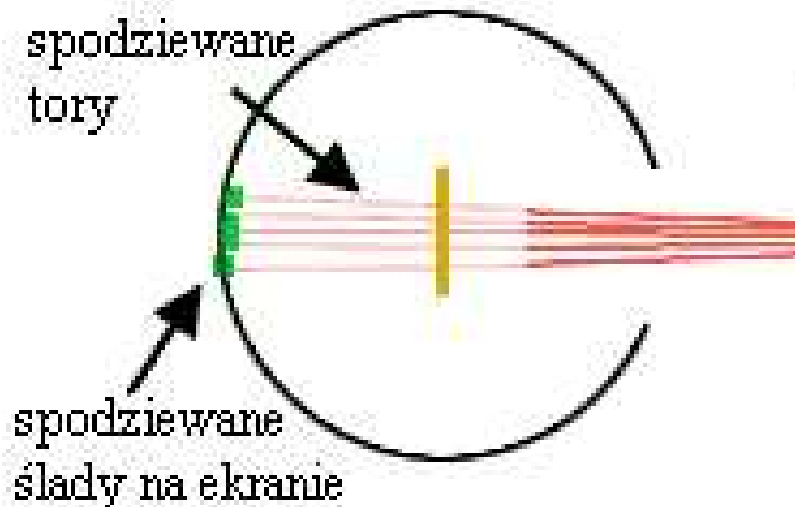
Model Thomsona: cała objętość atomu jednorodnie naładowana dodatnio ("ciasto"), a wewnątrz "pływają" elektrony ("rodzynki").

Odkrycie jądra atomowego

Doświadczenie Rutherforda

Wyniki pomiarów przeprowadzonych przez H.Geigera i E.Marsdena (1911):

Oczekiwane

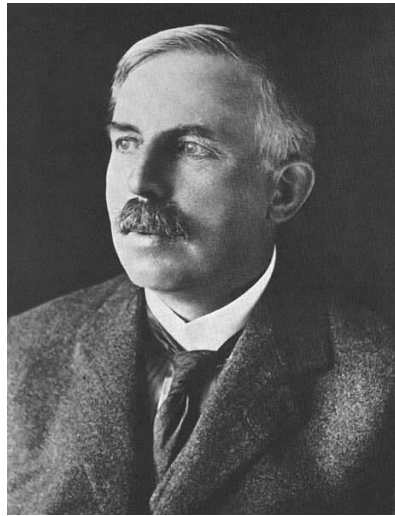


Uzyskane



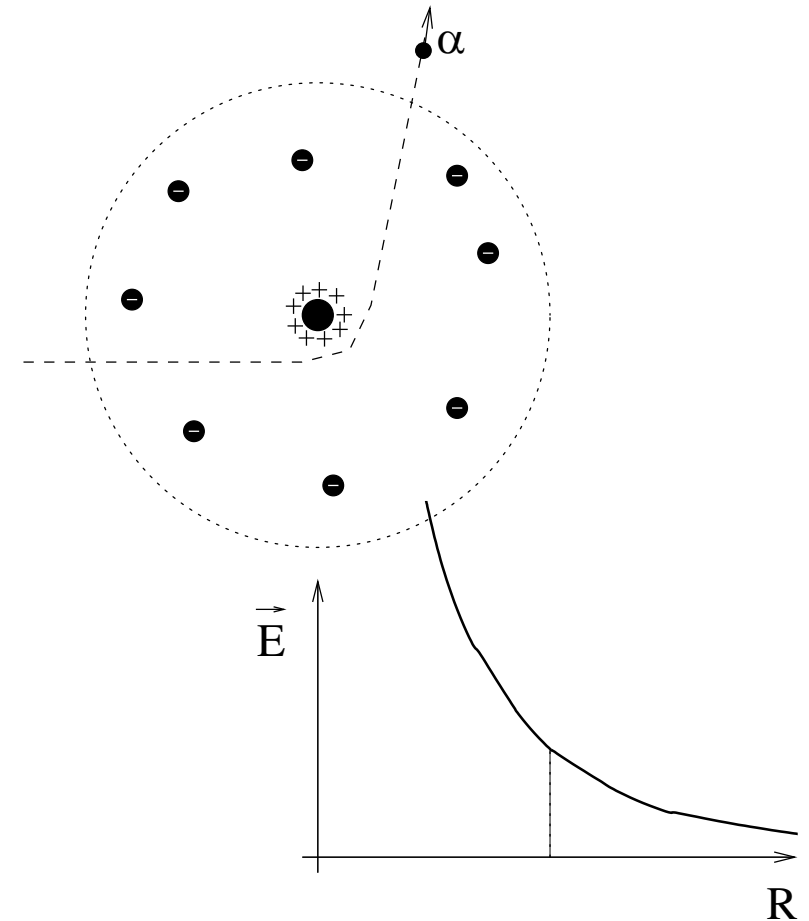
Odkrycie jądra atomowego

Model Rutherforda



Rutherford zaproponował
jądrowy model atomu.

Cały dodatni ładunek atomu (10^{-10} m)
skupiony jest w praktycznie **punktowym**
(10^{-14} m) **jądrze**



Cząstka α zawsze czuje
cały ładunek dodatni \Rightarrow
duże kąty rozproszenia



Jak badamy cząstki elementarne?

- Przyglądamy się im...
źródło „światła” → obiekt → detektor

- Rozbijamy je...
zderzając cząstka → ← cząstka

Patrzymy jakie są produkty zderzenia



Jak badamy cząstki elementarne?

- Przyglądamy się im...

źródło „światła” → obiekt → detektor

- Rozbijamy je...

zderzając cząstka → ← cząstka

Patrzemy jakie są produkty zderzenia

- „Podgrzewamy” ...

Dostarczamy dużej energii do układu wielu cząstek (np. w wyniku zderzenia)

patrzemy co „się ugotuje”

jakie cząstki powstaną na końcu



Jak badamy cząstki elementarne?

- Rozdzielczość „promieni” o energii E

$$\Delta x \sim \lambda = hc/E$$

h – stała Plancka, $h=6.626 \cdot 10^{-34}$ Js

c – prędkość światła

Aby badać materię na poziomie cząstek musimy używać fotonów (lub innych cząstek) o wysokich energiach...

- Energia odpowiadająca temperaturze T

$$E = k T$$

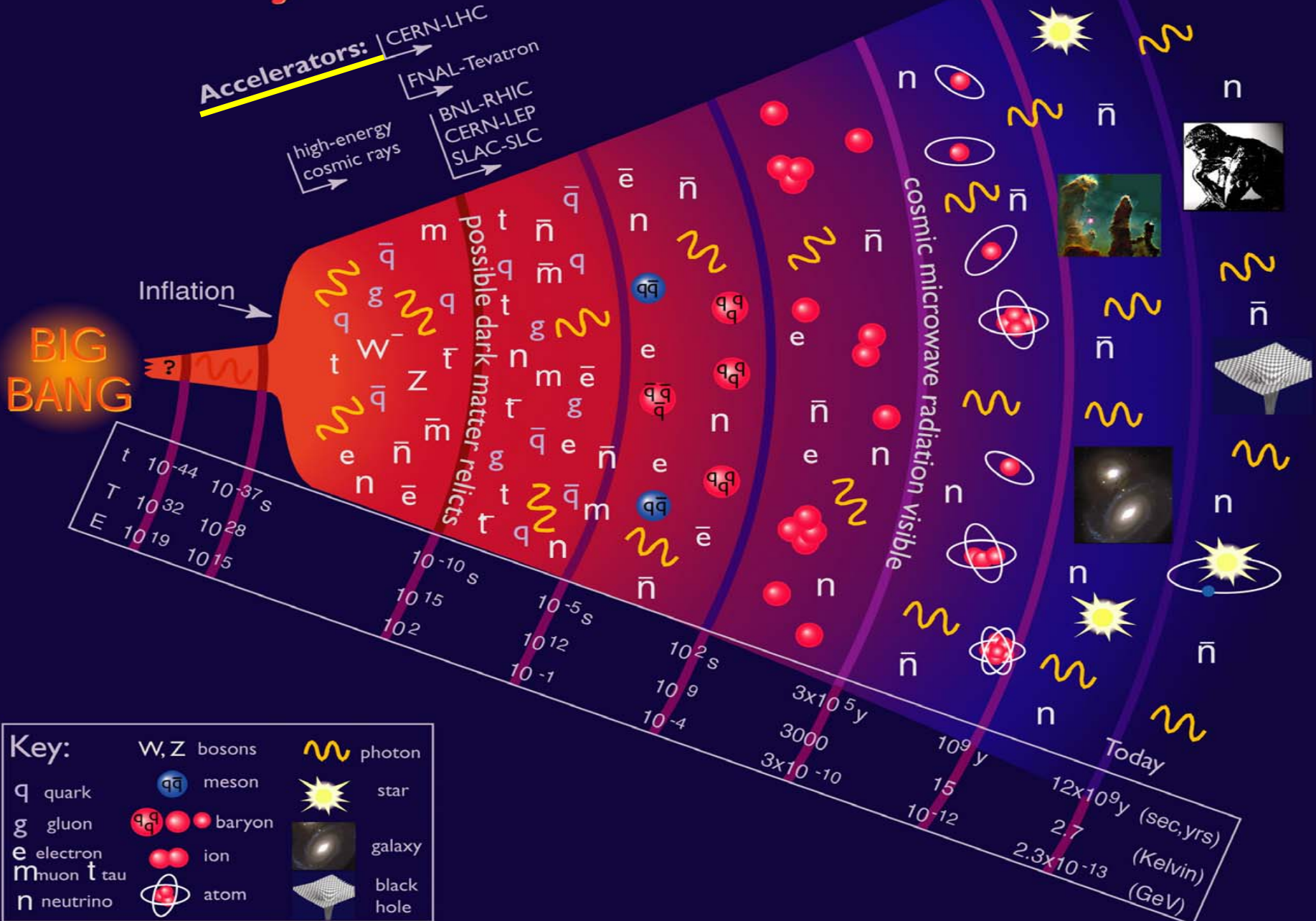
k – stała Boltzmana $k=1.4 \cdot 10^{-23}$ J/K

- Skale rozdzielczości i energii i temperatury są równoważne...

Jednostki energii

- Joule (J) jest jednostką „astronomiczną” w świecie cząstek, potrzebujemy bardziej praktycznej jednostki
- 1 eV (elektronowolt) = energia jaką elektron zyskuje w wyniku działania pola elektrycznego przy napięciu 1V
$$1 \text{ eV} = 1.6 * 10^{-19} \text{ J}$$
- Rozdzielczość: 1 eV ~ 1 μm
- Temperatura: 1 eV ~ 10^4 K
- Jednostki pochodne: 1 keV, 1 MeV, 1 GeV, 1 TeV...

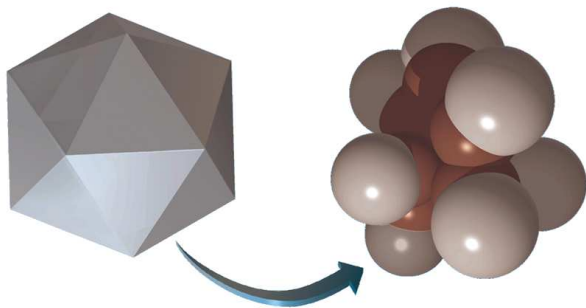
History of the Universe



Wprowadzenie

Budowa materii

Cząsteczka

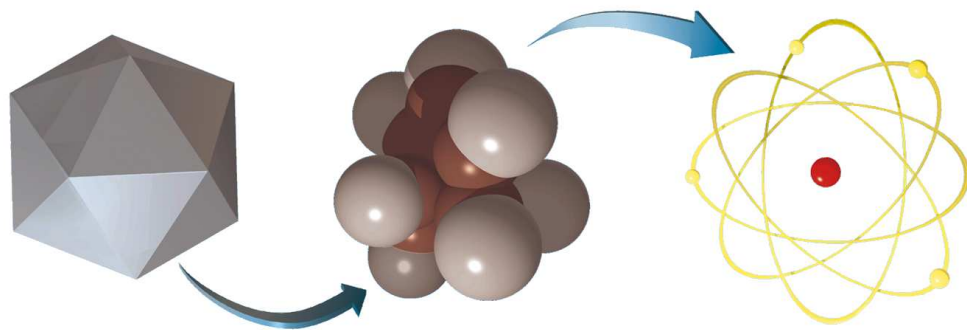


10^{-9} m

Wprowadzenie

Budowa materii

Atom

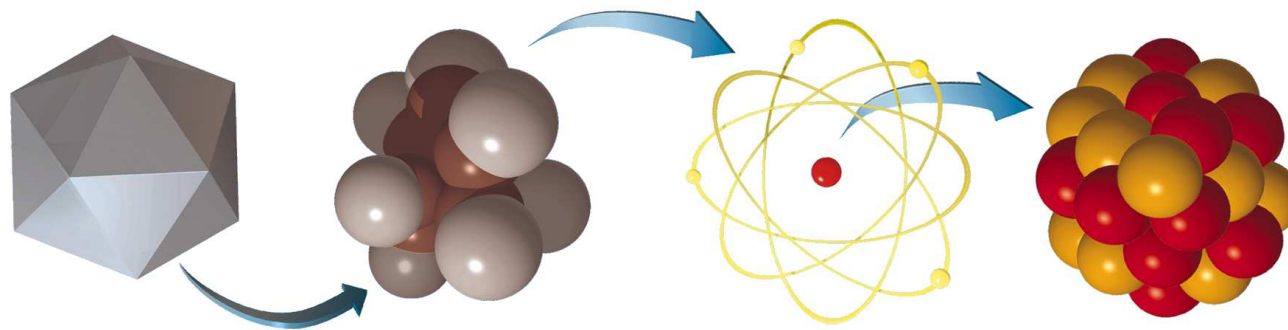


10^{-10} m

Wprowadzenie

Budowa materii

Jądro atomowe

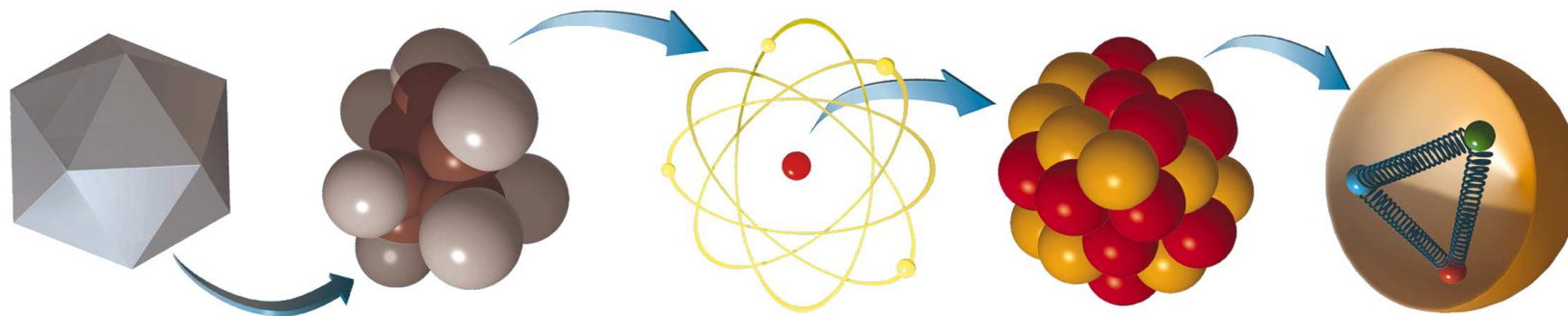


10^{-14} m

Wprowadzenie

Budowa materii

Nukleony



10^{-15} m

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)

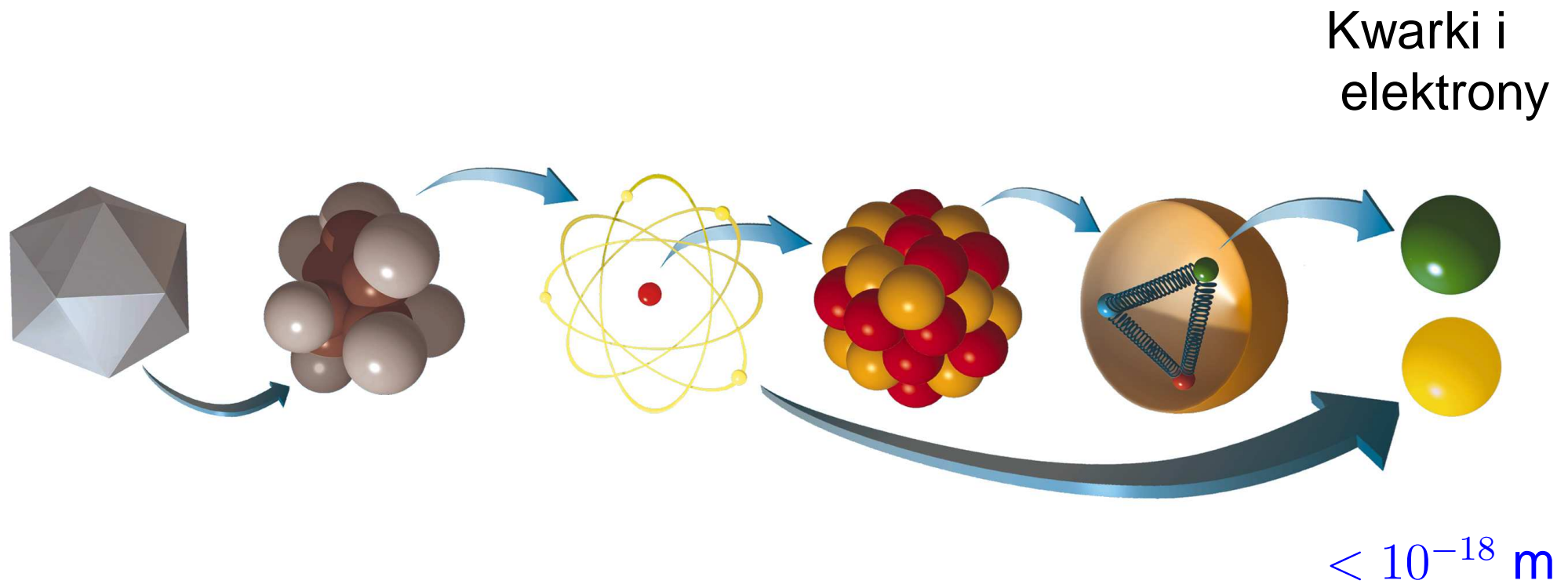
Tryt $T =pnn +e$

Hel $He=ppnn +ee$

Fizyka jądrowa -> badanie jąder atomowych

Wprowadzenie

Budowa materii



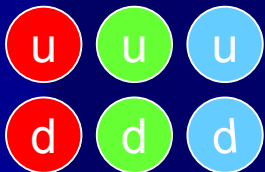
Nukleony i kwarki (oraz gluony)

Proton i neutron = 3 kwarki

(różne typy kwarków i ich nazwy...)

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

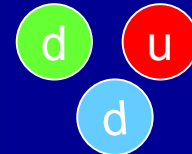
kwarki występują w 3 stanach (*barwach, kolorach*)
czerwone, zielone i niebieskie – to tylko nazwy



proton



neutron



Kwarki nie mają struktury! Są fundamentalne..

Ale nie występują jako cząstki swobodne – p i n tak

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

Model Standardowy

Budowa materii

Świat “codzienny”: 3 “cegielki” (elektron oraz kwarki u i d)

	leptony		kwarki	
	e <i>elektron</i>		d <i>down</i>	u <i>up</i>
ładunek [e]	-1		-1/3	+2/3

Model Standardowy

Budowa materii

Świat “codzienny”: 3 “cegielki” (elektron oraz kwarki u i d) + *neutrino*

	leptony		kwarki	
	e <i>elektron</i>	ν_e <i>neutrino el.</i>	d <i>down</i>	u <i>up</i>
ładunek [e]	-1	0	-1/3	+2/3

Model Standardowy

Budowa materii

Świat “codzienny”: 3 “cegietki” (elektron oraz kwarki u i d) + *neutrino*
 Fizyka cząstek \Rightarrow 12 fundamentalnych “cegietek” materii, fermionów

	leptony		kwarki	
pokolenie 1	e <i>elektron</i>	ν_e <i>neutrino el.</i>	d <i>down</i>	u <i>up</i>
pokolenie 2	μ <i>mion</i>	ν_μ <i>neutrino mionowe</i>	s <i>strange</i>	c <i>charm</i>
pokolenie 3	τ <i>taon</i>	ν_τ <i>neutrino taonowe</i>	b <i>beauty</i> <i>(bottom)</i>	t <i>top</i> <i>(truth)</i>
ładunek [e]	-1	0	-1/3	+2/3

Model Standardowy

Budowa materii

Świat “codzienny”: 3 “cegietki” (elektron oraz kwarki u i d) + *neutrino*
 Fizyka cząstek \Rightarrow 12 fundamentalnych “cegietek” materii, fermionów

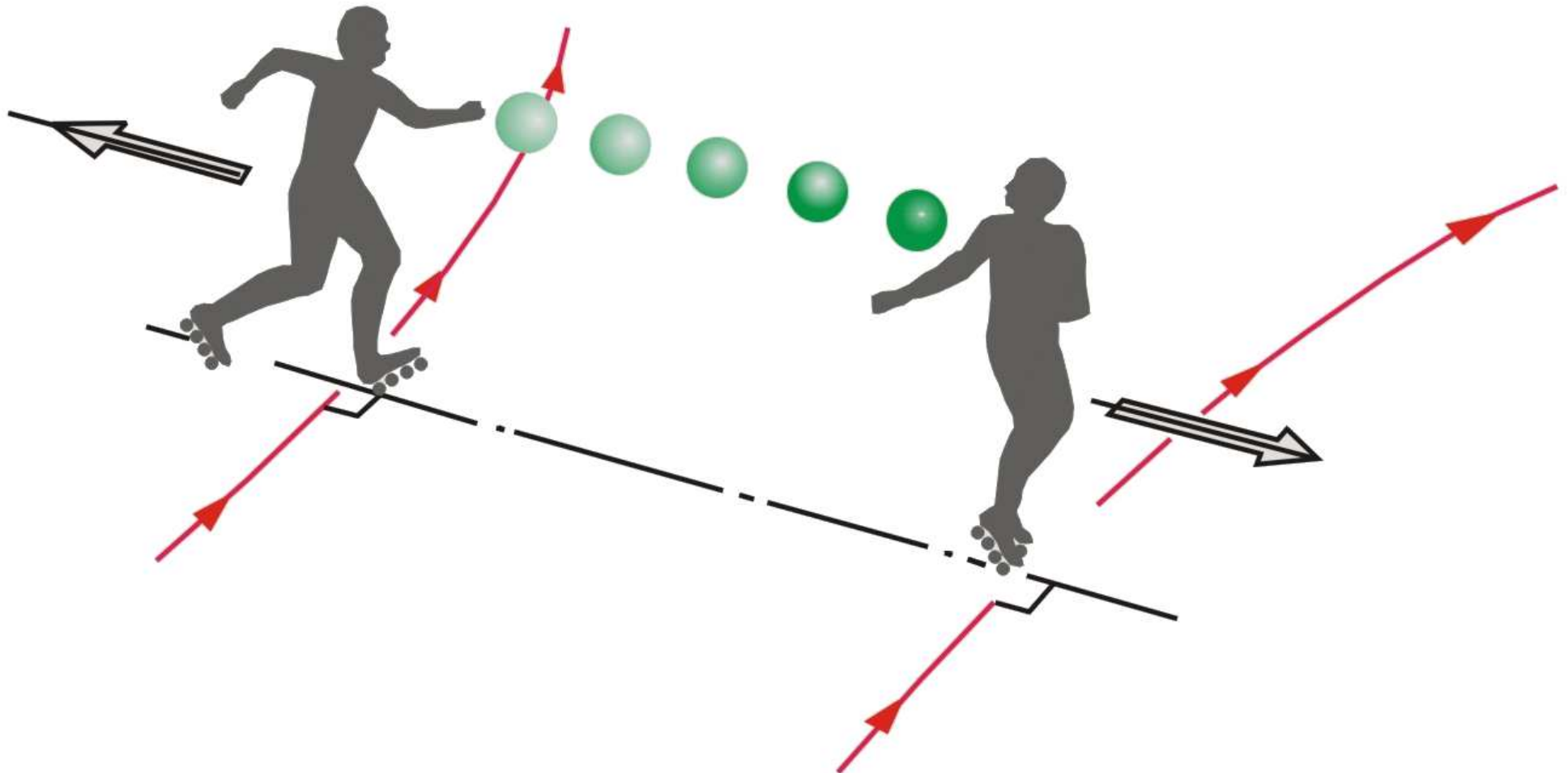
	leptony		kwarki	
pokolenie 1	e <i>elektron</i>	ν_e <i>neutrino el.</i>	d <i>down</i>	u <i>up</i>
pokolenie 2	μ <i>mion</i>	ν_μ <i>neutrino mionowe</i>	s <i>strange</i>	c <i>charm</i>
pokolenie 3	τ <i>taon</i>	ν_τ <i>neutrino taonowe</i>	b <i>beauty</i> <i>(bottom)</i>	t <i>top</i> <i>(truth)</i>
ładunek [e]	-1	0	-1/3	+2/3

+ **anty-fermiony** (kolejnych 12)

Model Standardowy

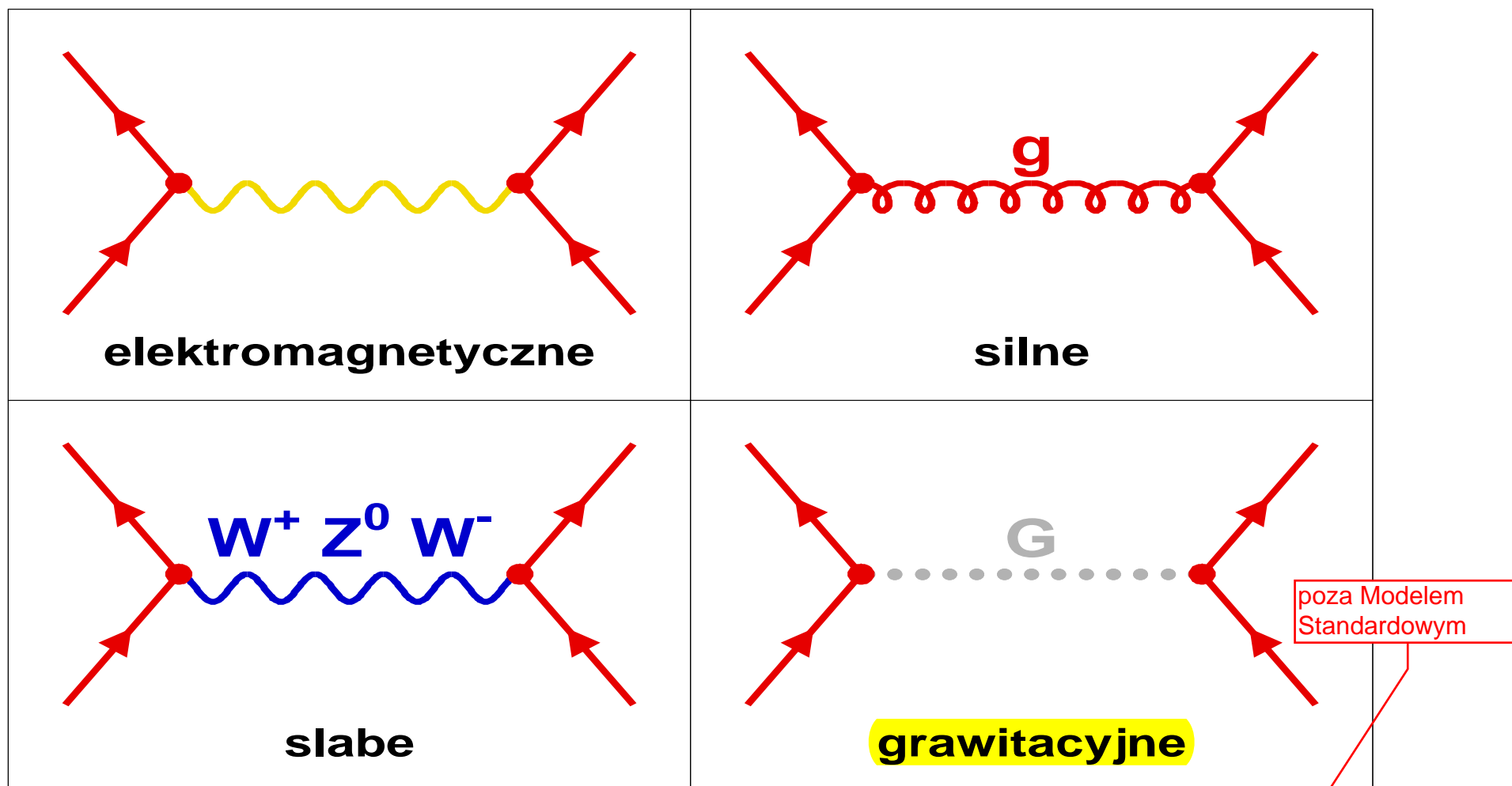
Oddziaływania

Opisujemy je jako wymianę cząstek - “nośników”



Model Standardowy

Wyróżniamy **cztery** podstawowe oddziaływania przenoszone przez odpowiednie nośniki



Model Standardowy

Oddziaływania

Nośnik oddziaływania przenosi **energię** i/lub **pęd** między cząstkami będącymi źródłami tego oddziaływania

<i>oddziaływanie</i>	<i>źródło</i>	<i>nośnik</i>		<i>masa</i>
grawitacyjne	masa	graviton	G	0
elektromag.	ładunek	foton	γ	0
silne	“kolor”	gluony	g	0
słabe	“ładunek słaby”	“bozony	W^\pm	80 GeV
		pośredniczące”	Z^0	91 GeV

1 GeV = 1 000 000 000 eV \approx masa protonu

Nośniki oddziaływań uważamy za **punktowe** i **niepodzielne**, tak jak kwarki i leptony...



Fizyka cząstek elementarnych

- Wiek XX – niezwykły rozwój fizyki, nowe, fundamentalne idee:
 - pierwsza połowa XX: teoria względności, teoria grawitacji i teoria kwantów
 - druga połowa: fizyka cząstek elementarnych, opis cząstek i oddziaływań w tzw. kwantowej teorii pola

Współczesna teoria cząstek opiera się na „fundamentach” teorii względności i mechaniki kwantowej !

Masa i energia

W fizyce cząstek praktycznie zawsze musimy uwzględniać teorię względności!
Cząstki na ogół poruszają się z prędkościami bliskimi c .

Prędkość przestaje być wygodnym parametrem do opisu procesów.

*Przykład: elektrony w LEP $v=0.999\ 999\ 999\ 995*c$ ($E=100\ GeV$),
protony w LHC $v=0.999\ 999\ 995*c$ ($E=7\ TeV$)*

Znacznie wygodniejsza do opisu ruchu cząstki jest energia i pęd

Energia w teorii względności :

- Energia spoczynkowa $E_0 = mc^2$ **wprowadzona przez Einsteina**
- Energia całkowita $E^2 = E_0^2 + (pc)^2$ **p – pęd ciała**
- Energia kinetyczna $E_k = E - E_0$

Masa jest równoważna energii !

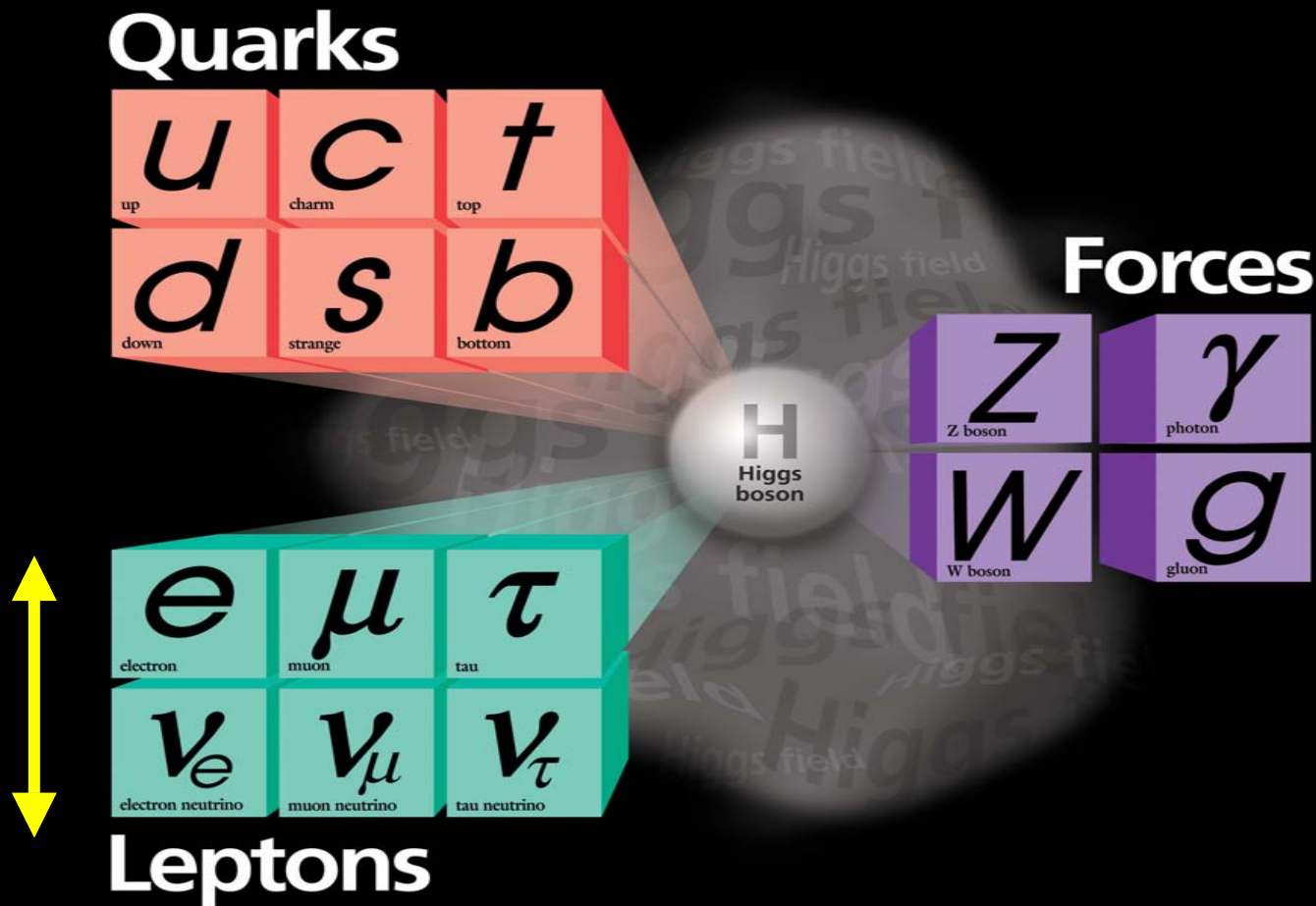
To nie jest „konwencja”. Zachowana jest tylko energia całkowita, energia kinetyczna może się zamieniać w masę, masa w energię kinetyczną !

⇒ Dzięki temu możemy produkować nowe cząstki i badać ich własności!

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



History of the Universe

