

Wstęp do fizyki

Fizyka jako nauka

Skale i zasięg badań fizyki

Wielkości i stałe w fizyce (SI)

Oddziaływania w fizyce

Unifikacje oddziaływań

Cząstki elementarne

Model Standardowy

Fizyka jako nauka

***Fizyka jest nauką badającą
elementarne składniki materii
i oddziaływania między nimi
zarówno w skali makro jak
i mikro***

- Definicja
- Rozwój fizyki
- Fizyka współczesna
- Podział fizyki - schemat

Fizyka jako nauka

- Definicja
- Rozwój fizyki
- Fizyka współczesna
- Podział fizyki - schemat

- ◆ **Zapoczątkowana w XVII w. przez Galileusza, I. Newtona, Ch. Huygensa**
- ◆ **W XVII w. sformułowano mechanikę klasyczną a na pocz. XIX w. podstawy elektromagnetyzmu**
- ◆ **Wiek XIX to dynamiczny rozwój optyki i elektromagnetyzmu**
- ◆ **Wiek XIX zakończył się odkryciem zjawisk związanych z promieniotwórczością**

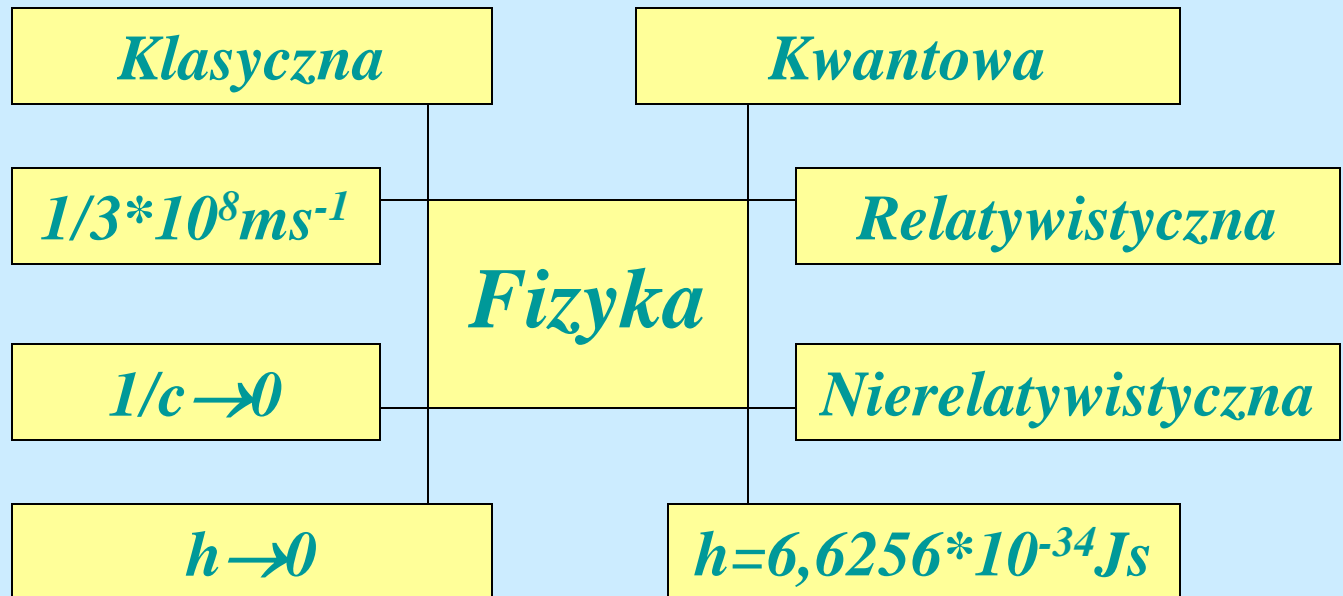
Fizyka jako nauka

- Definicja
- Rozwój fizyki
- Fizyka współczesna
- Podział fizyki - schemat

- ◆ ***W pierwszej połowie. XX w. sformułowano mechanikę kwantową i elektrodynamikę kwantową***
- ◆ ***W drugiej połowie XX w. rozwinęła się fizyka cząstek elementarnych, fizyki ciała stałego, oraz astrofizyki***

Fizyka jako nauka

Podział fizyki - schemat



- Definicja
- Rozwój fizyki
- Fizyka współczesna
- Podział fizyki - schemat

Skale i zasięg badań fizyki

Wymiary liniowe

Przykład	Wymiar liniowy (m)
Długość Plancka	$1,6 * 10^{-35}$
Promień atomów	$(0,5-2)*10^{-9}$
Długość fali światła fioletowego	$4*10^{-7}$
Grubość włosa	0,0001
Średnica piłki futbolowej	0,29
Najwyższy człowiek	2,72
Piramida Cheopsa	137
Obwód równika	$4,00750*10^7$
Odległość do Księżyca	$3,844*10^8$
Obserwowany wszechświat	$(1-2)*10^{26}$

Skale i zasięg badań fizyki

- Wymiary liniowe
 - Skala makro - Wszechświat
 - Skala mikro - Atom
 - Wielki wybuch
 - Promieniowanie reliktowe
 - Promieniowanie kosmiczne
- ◆ **Pierwsze badania Wszechświata - XVII w. Huyghens**
 - ◆ **Metoda triangulacji - 1838 Bessel**
 - ◆ **W XX w. odkryto Drogę Mleczną i oceniono rozmiar naszej Galaktyki ($10^{22}m$)**
 - ◆ **Odkryto obiekty pulsujące we Wszechświecie (kwazary) - 1960**
 - ◆ **Dzisiejszy znany Wszechświat ma rozmiary $10^{26} m$.**

Skale i zasięg badań fizyki

- Wymiary liniowe
- Skala makro
 - Wszechświat
- Skala mikro
 - Atom
- Wielki wybuch
- Promieniowanie reliktowe
- Promieniowanie kosmiczne

- ♦ **Rozmiary atomu zostały oszacowane 1865r. przez Loschimdta na $10^{-10}m$.**
- ♦ **Rozmiar jądra atomowego oszacowany został w 1911 r. przez Rutherforda na $10^{-14}m$**
- ♦ **W latach 30. XX wieku oszacowano rozmiar nukleonów na $10^{-15}m$**

Skale i zasięg badań fizyki

Jest to teoria według której ewolucja obserwowanego obecnie Wszechświata rozpoczęła się od wybuchu (Big Bang-WW) w osobliwym punkcie czasoprzestrzeni zawierającym całą materię Wszechświata. Ocenia się, że sytuacja taka powinna zaistnieć 10-20 mld lat temu.

- Wymiary liniowe
- Skala makro
- Wszechświat
- Skala mikro
- Atom
- Wielki wybuch
- Promieniowanie reliktowe
- Promieniowanie kosmiczne

Skale i zasięg badań fizyki

Historia Wszechświata

$10^{-43}s$ $10^{-33}s$ $10^{-10}s$ $1s$ $100s$ 300.000 lat 15 miliardów lat

Pierwszy moment

Pierwsza materia

Pierwsze jądra atomów

Pierwsze gwiazdy

Pierwsze siły

Pierwsze protony

Pierwsze atomy

Skale i zasięg badań fizyki

Odkryte w 1965 r. przez Arno Penziasa i Roberta Wilsona (Nobel z fizyki)

Po Wielkim Wybuchu powstała świetlna mgła. Wraz z tym jak rozpraszala się Wszechświat się rozrastał. Obraz tej mgły - ostatnia pozostałość początku świata mknie z prędkością 300 000 km/s

**promieniowaniem reliktowym – morze fotonów o małej energii
~1eV/cm³**

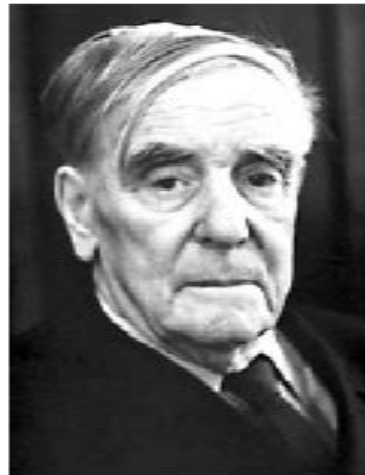
- Wymiary liniowe
- Skala makro - Wszechświat
- Skala mikro - Atom
- Wielki wybuch
- Promieniowanie reliktowe
- Promieniowanie kosmiczne



The Nobel Prize in Physics 1978

"for his basic inventions and discoveries in the area of low-temperature physics"

"for their discovery of cosmic microwave background radiation"



Pyotr Leonidovich Kapitsa

🕒 1/2 of the prize

USSR

Academy of Sciences
Moscow, USSR

b. 1894
d. 1984



Arno Allan Penzias

🕒 1/4 of the prize

USA

Bell Laboratories
Holmdel, NJ, USA

b. 1933
(in Munich, Germany)



Robert Woodrow Wilson

🕒 1/4 of the prize

USA

Bell Laboratories
Holmdel, NJ, USA

b. 1936

Skale i zasięg badań fizyki

- Wymiary liniowe
- Skala makro
 - Wszechświat
- Skala mikro
 - Atom
- Wielki wybuch
- Promieniowanie reliktowe
- Promieniowanie kosmiczne

◆ **Wykryte w 1912 roku**

◆ **Gęstość promieniowania wynosi
 $\sim 1 \text{ eV/cm}^3$**

◆ **Wypełnia całą Galaktykę,
a jest efektem świecenia gwiazd**

Inspirujące wydarzenia w fizyce w ostatnich latach –wrzesień 2011

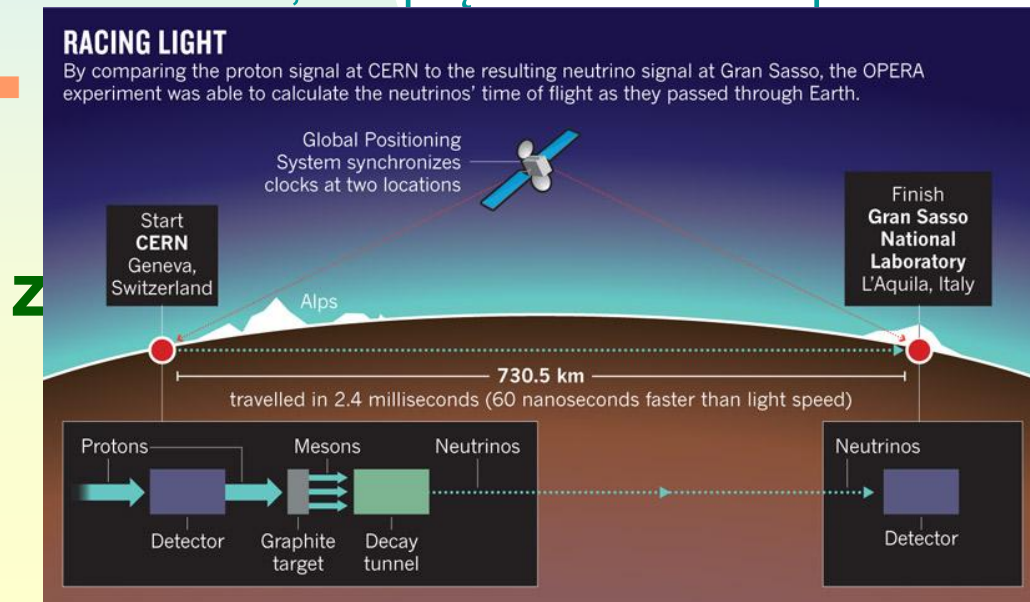
Pyt. Czy cząstki mogą poruszać z prędkością większą od c ?

Odpowiedź teoretyków **wykluczone** (już od 107 lat – od powstania szczególnej teorii względności)

Rezultat doświadczalny – **możliwe??**

Eksperyment OPERA (komunikat – 22.09.2011) –

Stwierdzono, że prędkość neutrin przekroczyła prędkość światła w próżni



Po weryfikacji:

Raczej niemożliwe.

Wyniki tego sensacyjnego eksperymentu nie do końca pewne.

Inspirujące wydarzenia w fizyce w ostatnich latach – lato 2012

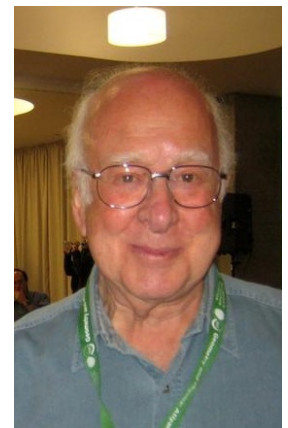
Pyt. Czy istnieje cząstka Higgsa (bozon Higgsa)?

Odpowiedź teoretyków: tak (jej istnienie to jeden z fundamentów tzw. **Modelu Standardowego**)

Rezultat doświadczalny z 2012 – cząstka Higgsa została zarejestrowana w eksperymencie z LHC. (??)

Ten bardzo długo (ponad 30 lat) wyczekiwany wynik doświadczalny będzie teraz podlegał procesowi weryfikacji.

Jeśli wynik się potwierdzi, to laureatem Nagrody Nobla w przyszłym roku będzie (niemal na pewno) profesor Peter Higgs.



Peter Higgs
1929-

Nagroda Nobla z Fizyki – niły polski wątek

$\frac{1}{4}$ Nagrody Nobla dla Marii Skłodowskiej-Curie (1903)

Maria Skłodowska-Curie dostała samodzielnie Nagrodę Nobla z Chemii (1911). Z okazji 100. lecia tej Nagrody rok 2011 był obchodzony jako Światowy Rok Chemii.



Nagroda Nobla – niły polski wątek

Joseph Rotblat

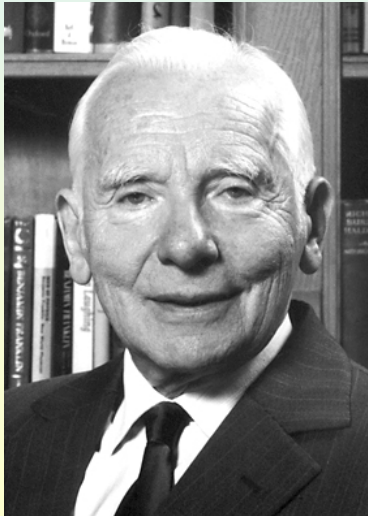
Born: 4 November 1908, Warsaw, Russian Empire (now Poland)

Died: 31 August 2005, London, United Kingdom

Residence at the time of the award: United Kingdom

Prize motivation: "for their efforts to diminish the part played by nuclear arms in international politics and, in the longer run, to eliminate such arms"

Field: Arms control and disarmament



Józef Rotblat

1908-2005

Doktorat z fizyki na UW

Nagroda Pokojowa 1995

Polskie osiągnięcia, jeśli chodzi o Nagrody Nobla dla fizyków są niewielkie:

$\frac{1}{4}$ Nagrody Nobla dla Marii Skłodowskiej-Curie (w 1903),

oraz ... Nagroda Pokojowa dla Józefa (Josepha) Rotblata.

Dla porównania:

Cambridge Univ.

ogółem **80** laureatów

Nagrody Nobla

The Nobel Prize in Physics 2011

Saul Perlmutter
Brian P. Schmidt
Adam G. Riess

one half awarded to Saul Perlmutter,
the other half jointly to Brian P. Schmidt and Adam G.
Riess

*"for the discovery of the accelerating expansion of the
Universe through observations of distant supernovae".*

Nagroda Nobla z Fizyki 2012

- **Physics was the prize area which Alfred Nobel mentioned first in his will. At that time, in the end of the nineteenth century, many people viewed physics as the foremost of the sciences, and perhaps Nobel saw it this way as well. His own research was also closely tied to physics.**
- **In 1901 the very first Nobel Prize in Physics was awarded to Wilhelm Röntgen for his discovery of X-rays. In more recent years, the Physics Prize has been awarded for both pioneering discoveries and groundbreaking inventions.**
- **The Nobel Prize in Physics is awarded by the Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm, Sweden.**

Announcement of the 2012 Nobel Prize in Physics

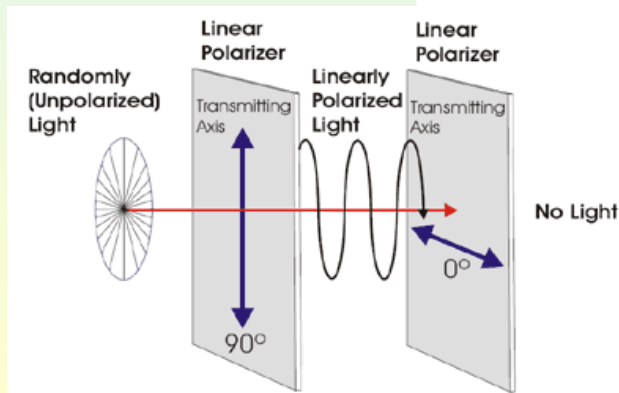
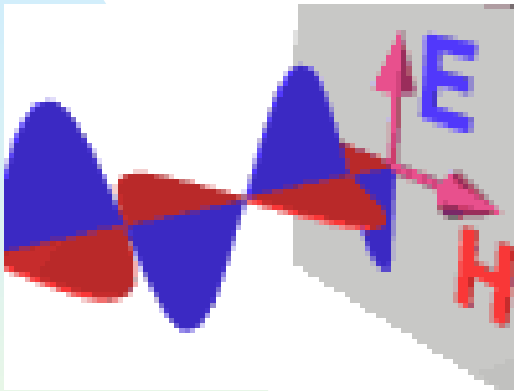
Tuesday 9 October, 11:45 a.m. at the earliest - The Nobel Prize in Physics

The prize will be announced by Staffan Normark, Permanent Secretary of the Royal Swedish Academy of Sciences

www.nobelprize.org

Zjawiska fizyczne i ich użyteczność w technice i w badaniach fizycznych

np. : polaryzacja światła



Zastosowania(niektóre):

- ekrany i wyświetlacze LCD,
- ekrany 3D, IMAX,
- mikroskopy polaryzacyjne,
- okulary i filtry polaryzacyjne (antyodbiciowe),
- urządzenia do badania naprężeń mechanicznych,
- ...

Związki fizyki z techniką

Fizyka - „System nauk o budowie oraz właściwościach materii i o oddziaływaniach” (jedna z wielu definicji)

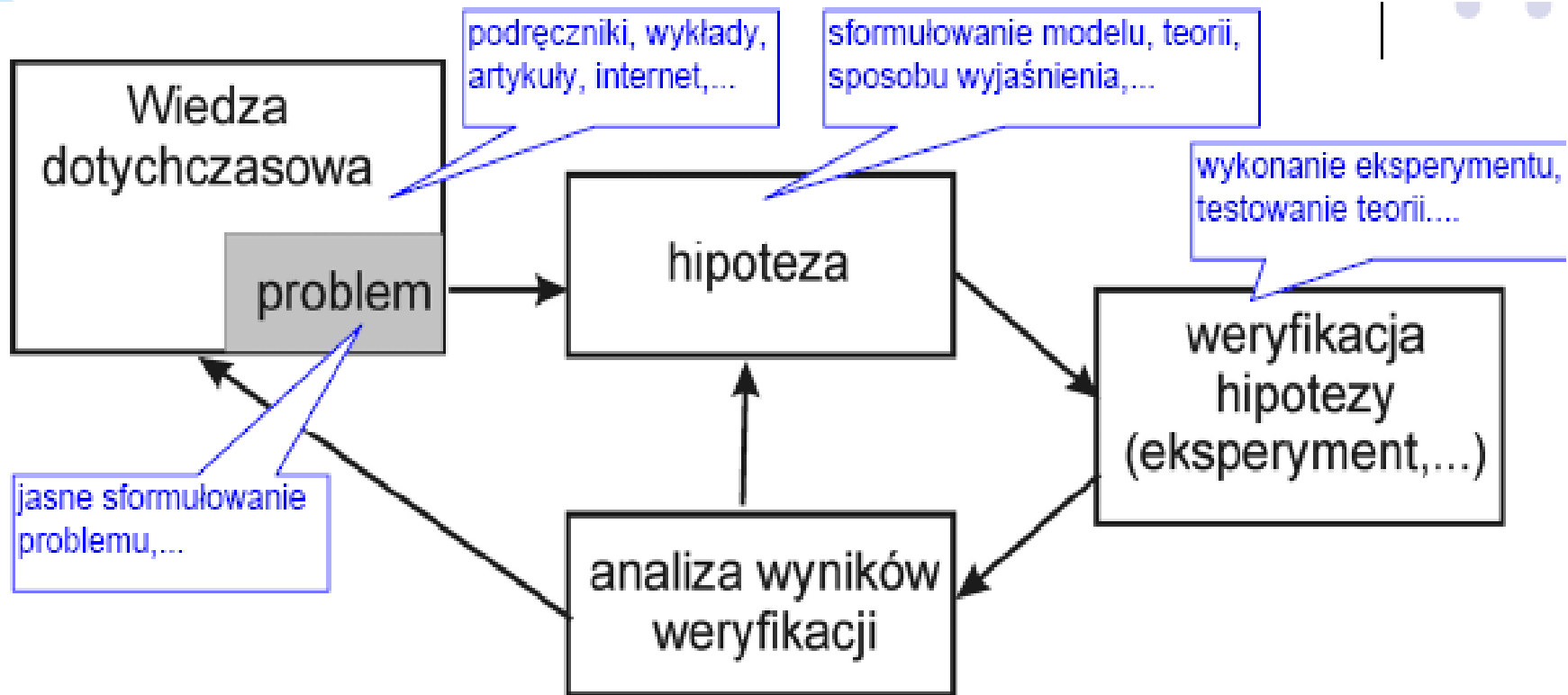
Działy fizyki	Nauki techniczne
mechanika	- mechanika (techniczna)...
elektrodynamika	- elektrotechnika...
termodynamika	- silniki cieplne, lodówki, procesy chemiczne...
Optyka - Fotonika	- lasery, holografia, światłowody...
fizyka jądrowa	- reaktory atomowe, medycyna (radioterapia)...
mechanika kwantowa	-szyfrowanie kwantowe, kropki kwantowe, druty kwantowe...
fizyka ciała stałego	- elektronika, półprzewodniki, nadprzewodniki, przewodniki superjonowe, magnetyki...

„Praktyczna” definicja fizyki

- If it smells it's **chemistry**
- If it's green or it wriggles it's **biology**
- If it doesn't work it's **physics**



Metoda naukowa fizyki



Decydującą rolę w rozstrzygnięciu, czy hipoteza jest prawdziwa czy nie ma wynik eksperymentu !

Rola matematyki w fizyce

Albert Einstein:

“Experience remains, of course, the sole criterion of the physical utility of a mathematical construction. But the creative principle resides in **Mathematics**. ... I hold it true that pure thought can grasp reality, as the ancients dreamed.”

Richard Feynman:

bardzo dosadne sformułowanie nt. relacji między matematyką a fizyką (można znaleźć w Internecie)

Metoda naukowa fizyki



Kartezjusz
RenéDescartes
(1596-1650)

Kartezjański schemat metody uniwersalnej (4 „prawidła”):

- wszystkie rzeczy, które poznajemy, nigdy nie mogą być uznane za pewne i oczywiste, dopóki za takie nie zostaną rozpoznane. W trakcie rozpoznawania, wrogiem jest pośpiech, jak również różnego rodzaju uprzedzenia, których trzeba pozbyć się. W trakcie rozpoznawania należy wyłuskiwać wszystko to, co jest pewne, jasne i niepodważalne.
- aby badanie było jak najdoskonalej przeprowadzone, wskazane jest dzielenie danego przedmiotu na części i badanie tych części. Dzielenie ma być przeprowadzane tak daleko, jak jest to tylko możliwe.
- punktem wyjścia w badaniu mają być przedmioty, które uważane są za najprostsze, a także najbardziej dostępne podczas poznawania. Dopiero od tych przedmiotów zalecane jest przechodzenie do bardziej szczegółowych i bardziej drobiazgowych części.
- przeprowadzając badanie, należy tak przeprowadzić analizę, aby mieć pewność, że nic nie zostało pominięte, ani zaniedbane. Prawdliwości pierwsze, same tworzą kryteria prawdziwego i pewnego poznania. Wszystkie inne prawidła są kontynuacją poprzednich i jednocześnie przygotowanie następnych prawideł.

Kartezjusz – Rozprawa o metodzie

Metoda naukowa fizyki

Bardzo mądre i naprawdę świetnie napisane podsumowanie podstaw metody naukowej i ogólniej metodologii nauk ścisłych, w tym fizyki można znaleźć w pracy z 1902 r.:

Henri Poincaré – Nauka i hipoteza
Science and Hypothesis
(Science et Hypothèse)
(dostępne za darmo w Internecie)



Henri Poincaré
1854-1912

Inna inspirująca praca H. Poincaré – Science and Value

Metodologia nauk fizycznych

Nauki fizyczne są naukami ilościowymi i opisują obiekty i procesy metodami matematycznymi

Aby móc ilościowo porównać określone **właściwości różnych** obiektów lub procesów wprowadza się **wielkości** fizyczne związane z tymi właściwościami (np. długość l , czas t , masa m , temperatura T , energia E ,...).

Właściwość	Wielkość fizyczna	Jednostka
rozmiar („długie – krótkie”)	długość l	metr [m]
czas („długo – krótko”)	czas t	sekunda [s]
„stan termiczny” („cieple-zimne”)	temperatura T	kelwin [K]
prąd elektryczny („duży – mały”)	natężenie prądu I	amper [A]
wysokość dźwięku („niski – wysoki”)	częstość f	hertz [Hz]=[s ⁻¹]
bezwładność	masa m	kilogram [kg]

Klasyfikacja wielkości fizycznych

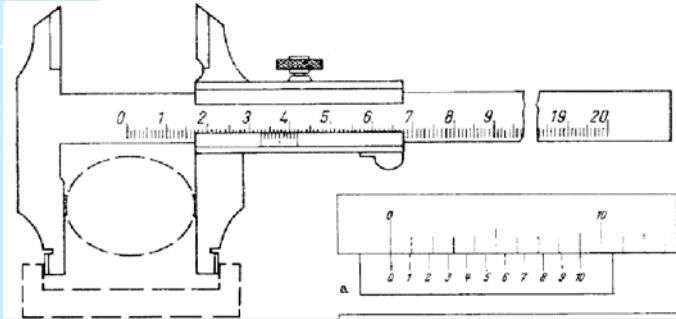
Wielkości fizyczne	Przykłady
skalarne (wartości są liczbami)	masa m , czas t , temperatura T , energia E , objętość V , praca W ,...
wektorowe („wartości” są wektorami)	położenie r , prędkość v , siła F
tensorowe („wartości” są macierzami)	moment bezwładności I , tensor naprężeń, tensor przenikalności elektrycznej ε

Związki między wielkościami fizycznymi (przykłady):

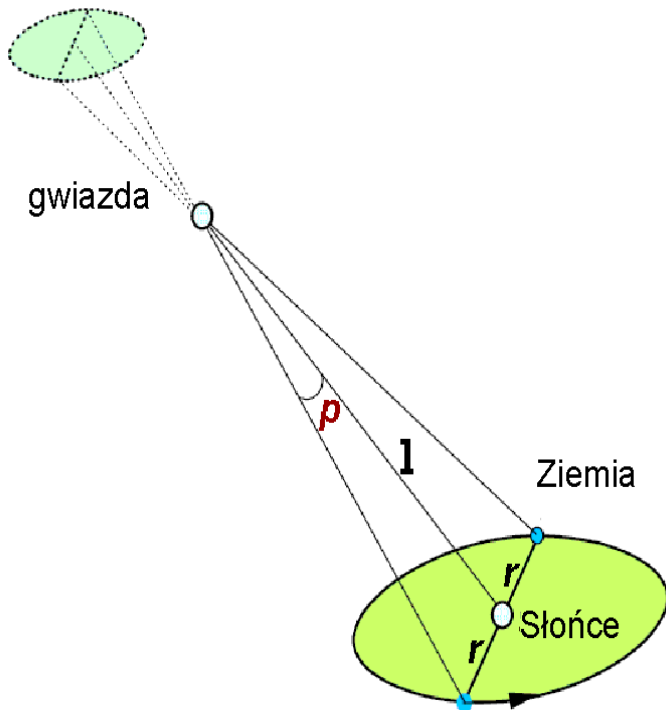
$$\vec{p} = m\vec{v}, \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}, \vec{F} = m\vec{a}, \vec{a} = d\vec{r}/dt, W = \vec{F} \cdot \vec{s}, \\ \Delta U = \Delta Q + \Delta W, \sigma = nq\mu, \vec{L} = I\vec{\omega}, \dots$$

Pomiary fizyczne

przykład – pomiary długości



Odległości z zakresu 0,01 mm do ok. 300 mm można mierzyć np. za pomocą suwmiarki lub śruby mikrometrycznej.



Położenia kątowe danej gwiazdy na niebie wyznaczone w odstępie pół roku różnią o ułamek sekundy kątowej.

Znając średnicę orbity Ziemi wokół Słońca można łatwo obliczyć.

Jednostka długości dla tej skali to parsek (pc)

1 pc = odległość, z której średnicę Ziemi widać pod kątem 1'' (1 sek. kątowej) ~3,26 roku świetlnego

Metodologia nauk fizycznych

- Wynik każdego pomiaru jest obciążony pewną niepewnością (niedokładnością). Jakość pomiaru jest tym lepsza, im mniejszą niepewnością jest obciążony jego wynik.
- Przykład: $m = 5,023 \pm 0,003$ [kg] lub $m = 5,023(3)$ [kg]

wartość $x \pm$ niepewność $|\Delta x|$ [jednostka]

- Niepewność względna wartości wielkości x to stosunek niepewności bezwzględnej $|\Delta x|$ do wartości $|x|$
- Typowa wartość względnej niepewności dla „zwykłego” pomiaru to około 0,1÷5%.
- W najlepszych eksperymentach, niepewność względna może być mniejsza od 10^{-8} , czasem jeszcze lepiej - 10^{-12} , a nawet 10^{-16} (najlepsze pomiary czasu lub częstości).
- Takimi elitarnymi pomiarami są pomiary wartości *fundamentalnych stałych fizycznych*

Fundamentalne stałe fizyczne

Istnieje grupa szczególnie ważnych obiektów i wielkości fizycznych, których wartości tworzą tzw. **fundamentalne stałe fizyczne**.

(wyznaczane są z wciąż lepszą dokładnością)

Coraz dokładniejsze pomiary tych stałych służą weryfikacji podstawowych teorii fizycznych, ale także stanowią podstawę metrologii.

Współczesne pomiary wartości stałych fizycznych - elita eksperymentów fizycznych !!!

<http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>

Wybrane fundamentalne stałe fizyczne:

- prędkość światła w próżni $c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- ładunek elementarny $e = 1,602176462(63) \times 10^{-19} \text{ C}$
- stała Plancka $h = 6,62606876(52) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- masa elektronu $m_e = 9,1093888(72) \times 10^{-31} \text{ kg}$
- masa protonu $m_p = 1,67262158(13) \times 10^{-27} \text{ kg}$
- stała grawitacyjna $G = 6,673(10) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- liczba Avogadro $N_A = 6,0221335(30) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
-

Do zapamiętania

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p = 1840 m_e$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ [SI]}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Fundamentalne stałe fizyczne

2010

~~2006~~ CODATA RECOMMENDED VALUES OF THE FUNDAMENTAL CONSTANTS OF PHYSICS AND CHEMISTRY NIST SP 959 (~~Aug/2008~~)

Values from: P. J. Mohr, B. N. Taylor, and D. B. Newell, *Rev. Mod. Phys.* ~~80~~, 633
(~~2008~~) and *J. Phys. Chem. Ref. Data* ~~37~~, 1187 (2008). The number in parentheses is
the one-sigma (1σ) uncertainty in the last two digits of the given value.

UPDATE
PUBS

Quantity	Symbol	Numerical value	Unit
speed of light in vacuum	c, c_0	299 792 458 (exact)	m s^{-1}
magnetic constant	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ (exact)	N A^{-2}
electric constant $1/\mu_0 c^2$	ϵ_0	$8.854 187 817... \times 10^{-12}$	F m^{-1}
Newtonian constant of gravitation	G	6.674 28(67) $\times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$
Planck constant	h	6.626 068 96(33) $\times 10^{-34}$	J s
$h/2\pi$	\hbar	1.054 571 628(53) $\times 10^{-34}$	J s
elementary charge	e	1.602 176 487(40) $\times 10^{-19}$	C
fine-structure constant $e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	α	7.297 352 5376(50) $\times 10^{-3}$	
inverse fine-structure constant	α^{-1}	137.035 999 679(94)	
Rydberg constant $\alpha^2 m_e c/2h$	R_∞	10 973 731.568 527(73)	m^{-1}
Bohr radius $\alpha/4\pi R_\infty$	a_0	0.529 177 208 59(36) $\times 10^{-10}$	m
Bohr magneton $e\hbar/2m_e$	μ_B	927.400 915(29) $\times 10^{-26}$	J T^{-1}

384(80)
957(29)
726(47)
565(35)
698(21)
074(94)
39(55)
1092(17)
68(20)

Układ SI - jednostki podstawowe

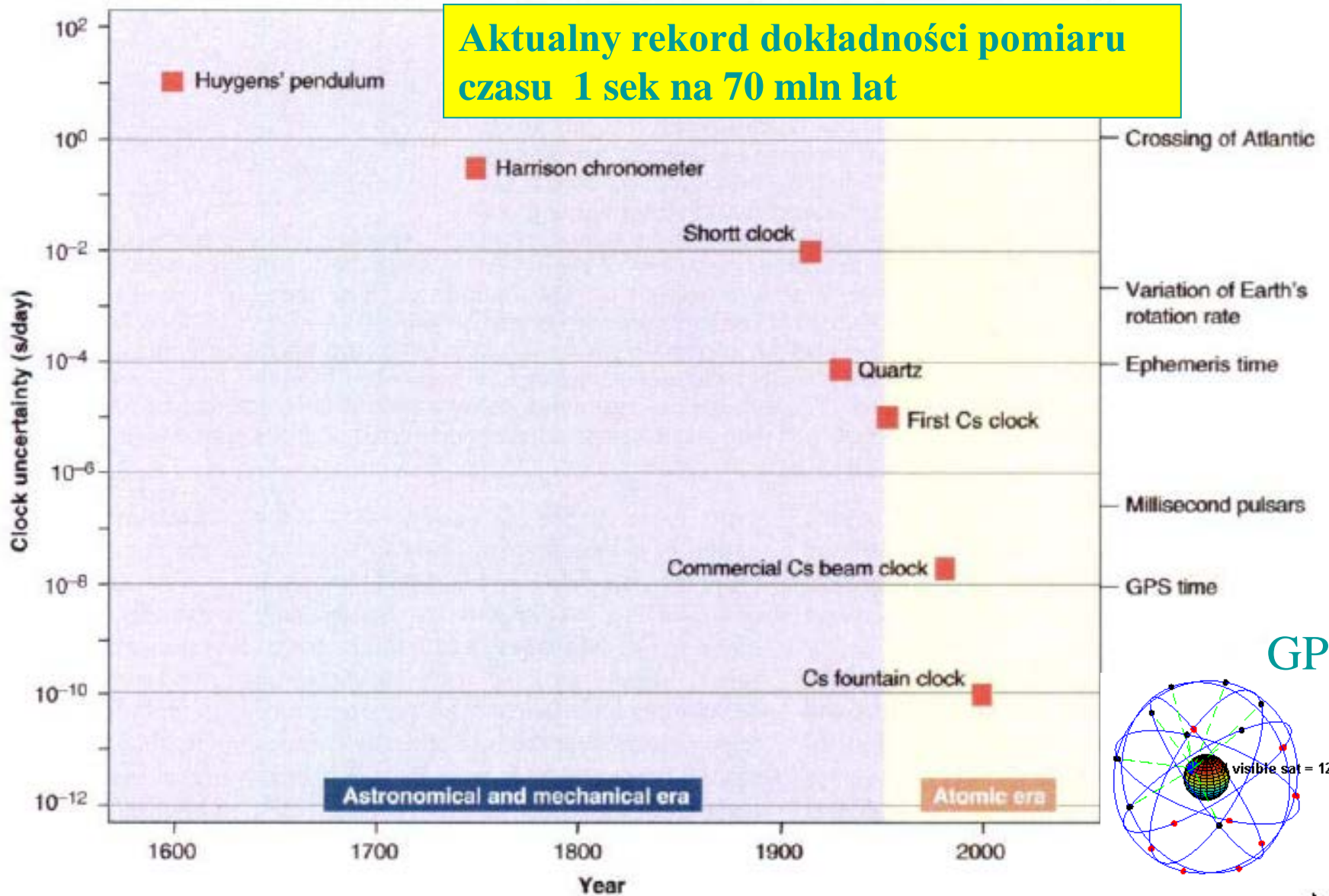
(SI = Système International)

Wielkość	Jednostka	Symbol	Definicja
długość	metr	m	Długość drogi przebytej przez światło w próżni w czasie 1/299 792 458 sekundy. (od 1983 r.)
masa	kilogram	kg	Masa wzorca znajdującego się w BIPM w Sèvres pod Paryżem (od 1901 r.) (obecnie sygnalizowana jest potrzeba zmiany wzorca)
czas	sekunda	s	Czas trwania 9 192 631 770 okresów promieniowania elektromagnetycznego odpowiadającego przejściu między dwoma nadsubtelnymi poziomami atomu cezu ¹³³ Cs znajdującego się w stanie podstawowym. (od 1967 r.)
natężenie prądu elektrycznego	amper	A	Natężenie prądu stałego, który płynąc w dwóch prostoliniowych, równoległych, nieskończenie cienkich przewodnikach znajdujących się w próżni i odległych od siebie o 1 m powoduje ich wzajemne oddziaływanie z siłą 2×10^{-7} N na każdy metr długości. (od 1948 r.)
temperatura	kelwin	K	Temperatura odpowiadająca 1/273,16 temperatury termodynamicznej punktu potrójnego wody. (od 1967 r.)
ilość (liczność) substancji	mol	mol	Ilość substancji, która zawiera tyle jednostek elementarnych, ile jest atomów w 0,012 kg węgla ¹² C. (od 1971 r.)
światłość	kandela	cd	Światłość, w danym kierunku, źródła światła emitującego promieniowanie monochromatyczne o częstotliwości 540×10^{12} Hz i mocy (w tym kierunku) równej 1/683 W na steradian. (od 1979 r.)

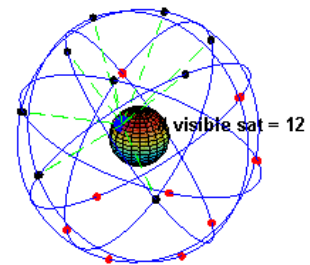
Jednostki podstawowe układu SI - dokładność

Wielkość	Jednostka	Symbol	błąd względny
długość	metr	m	10^{-12}
masa	kilogram	kg	10^{-8}
czas	sekunda	s	10^{-15}
natężenie prądu elektrycznego	amper	A	10^{-8}
temperatura	kelwin	K	10^{-7}
ilość (liczność) substancji	mol	mol	10^{-8}
światłość	kandela	cd	10^{-4}

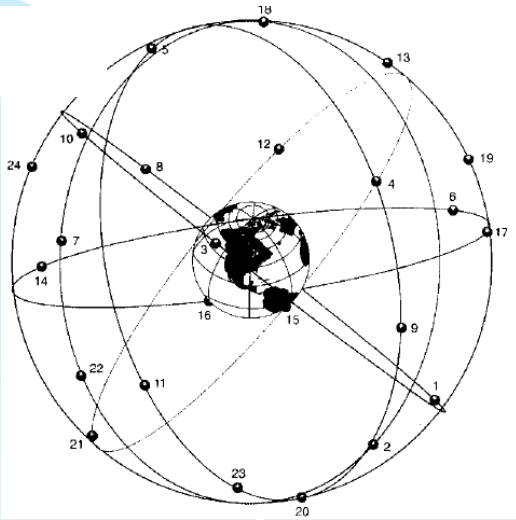
Dokładność wyznaczania czasu – historia



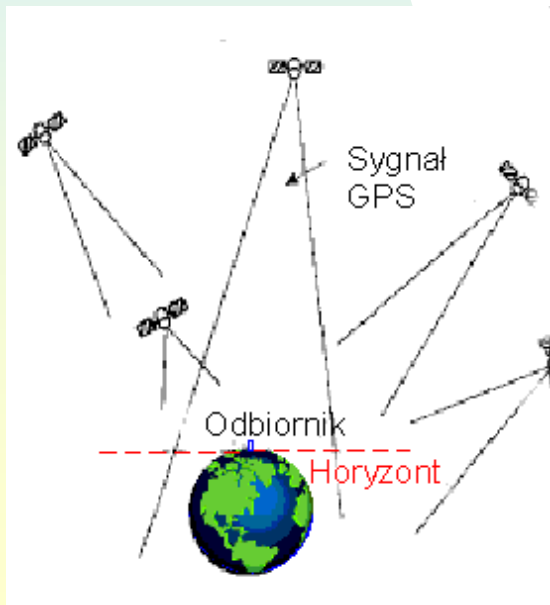
GPS



Wyznaczanie położenia obiektu na Ziemi za pomocą systemu GPS (Global Positioning System)



- 24 satelity na orbitach w odległości ok. 20 tys. km nad Ziemią, każdy z zegarem atomowym (cezowym)
- Ustalenie pozycji - na zasadzie analizy sygnałów z 4 satelitów widzianych przez odbiornik GPS.
- Absolutnie konieczna jest pełna synchronizacja czasu we wszystkich poszczególnych satelitach i możliwie mała niepewność pomiaru czasu.

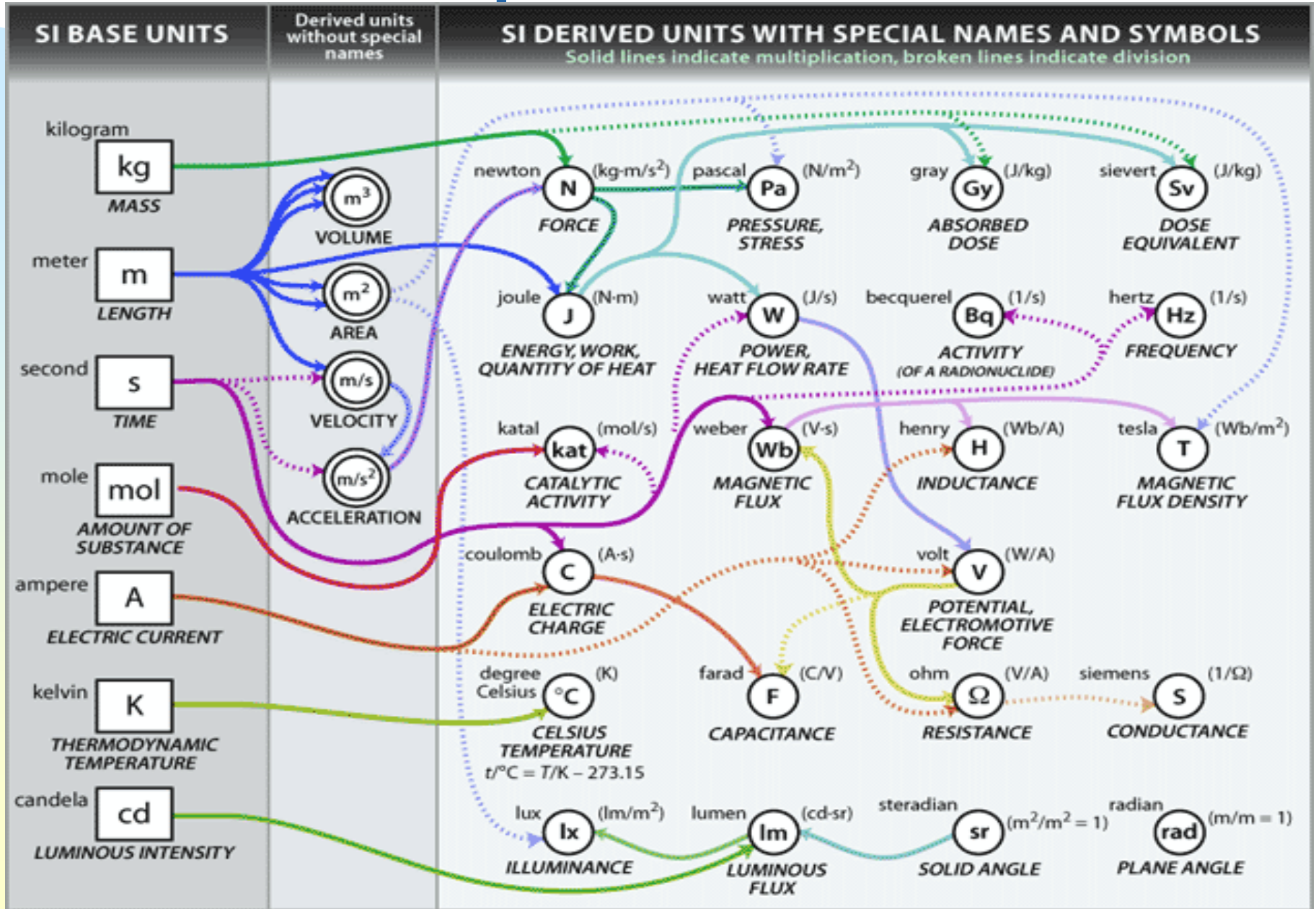


Jednostki pochodne układu SI

Wielkość	jednostka	symbol
strumień magnetyczny	weber	Wb
indukcyjność	henr	H
temperatura	° Celsjusza	° C
strumień świetlny	lumen	lm
natężenie oświetlenia	luks	lx
aktywność promieniotwórcza	bekerele	Bq
dawka pochłonięta	grey	Gy
równoważnik dawki	sievert	Sv
kąt płaski	radian	rad
kąt bryłowy	steradian	sr

Wielkość	jednostka	symbol
częstość	hertz	Hz
siła	niuton	N
ciśnienie	paskal	Pa
energia	dżul	J
moc	wat	W
ładunek elektryczny	kulomb	C
potencjał elektryczny	wolt	V
opór elektryczny	ohm	Ω
przewodność elektryczna	siemens	S
pojemność elektryczna	farad	F
indukcja magnetyczna	tesla	T

Jednostki pochodne układu SI



Przedrostki w układzie SI

Czynnik	Prefiks	Symbol	Czynnik	Prefiks	Symbol
10^{12}	tera	T	10^{-1}	decy	d
10^9	giga	G	10^{-2}	centy	c
10^6	mega	M	10^{-3}	mili	m
10^3	kilo	k	10^{-6}	mikro	μ
10^2	hekto	h	10^{-9}	nano	n
10^1	deka	da	10^{-12}	piko	p
			10^{-15}	femto	f
			10^{-18}	atto	a

Przykłady:

$$2 \text{ nm} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$7 \text{ pF} = 7 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

$$2,8 \text{ GHz} = 2,8 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$2 \text{ fs} = 2 \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

Uwaga:

1 billion (USA) = 1 miliard (wszędzie indziej) = 10^9

1 bilion (poza USA) = 10^{12}

Kilogram – wzorzec materialny (od 1889 r.) (Biuro Miar i Wag – BIPM - Sèvres, Francja)



Przed pomiarem kalibracyjnym wzorzec musi być oczyszczony „specjalną metodą”

W wyniku tego czyszczenia łączna masa wzorca uległa od 1889 r. zmniejszeniu o $\delta m < 10^{-7} \text{ kg}$

Po każdym czyszczeniu masa wzorca ulega w okresie ok. 2 miesięcy zwiększeniu o kilka μg (10^{-9} kg)



Figure 3



Figure 4

Propozycje nowej definicji kilograma

Wybrane propozycje wykorzystujące fundamentalne stałe fizyczne i zapewniające niepewność względną $\leq 5 \times 10^{-8}$

1. Kilogram to taka masa ciała będącego w spoczynku, dla której związana z nią energia odpowiada częstotliwości równej $[(299\,792\,458)^2/6626069311] \times 10^{43}$ Hz,
2. Kilogram to masa ciała, któremu, jeśli porusza się ono z prędkością 1 m/s, odpowiada fala de Broglie'a o długości równej dokładnie $6,626069311 \times 10^{-34}$ m,
3. Kilogram to masa dokładnie $5,0184512725 \times 10^{25}$ swobodnych spoczywających atomów izotopu węgla ^{12}C znajdujących się w stanie podstawowym,
4. 2011-2014 (stała Plancka), kwantowy efekt Halla (K. von Klitzing - Nobel 1985).....

Związki między wielkościami fizycznymi (Elementy analizy wymiarowej)

Wielkości fizyczne można przedstawić jako kombinację kilku wielkości podstawowych.

Wielkość	Jednostka	w jednostkach podstawowych
indukcja magnetyczna B	tesla [T]	$[T]=[kg]\cdot[s]^{-2}\cdot[A]^{-1}$ (ze wzoru $F=BIL$)
siła F	niuton [N]	$[N]=[kg]\cdot[m]\cdot[s]^{-2}$ (ze wzoru $F=ma$)
ciśnienie p	paskal [Pa]	$[Pa]=[kg]\cdot[m]^{-1}\cdot[s]^{-2}$ (ze wzorów $F=ma$ i $p=F/S$)
współczynnik lepkości η	[Pa·s]	$[Pa\cdot s]=[kg]\cdot[s]^{-1}[m]^{-1}$ (ze wzoru Stokesa $F=6\pi r\eta v$)
.....		

Oddziaływania w fizyce

Oddziaływania fizyczne - wpływ jednego elementu materii na inny jej element związany ze zmianą (przekazem) energii.

Wyróżniamy 4 oddziaływania fundamentalne:

- Definicja
- Grawitacyjne
- Elektro-
magnetyczne
- Silne (jądrowe)
- Słabe
- Cząstki
w oddziaływaniach

- **grawitacyjne**
- **elektromagnetyczne**
- **silne**
- **słabe**

Oddziaływania w fizyce

- Definicja
- Grawitacyjne
- Elektro-
magnetyczne
- Silne (jądrowe)
- Słabe
- Cząstki
w oddziaływaniach

- ◆ **Oddziaływanie grawitacyjne jest najsłabszym z oddziaływań**
- ◆ **Ma ono istotne znaczenie tylko dla obiektów makroświata. Dla obiektów mikroświata jest znikome.**
- ◆ **W ujęciu Einsteina siły grawitacyjne są analogiczne do sił bezwładności (tzw. zasada równoważności Einsteina)**

Oddziaływania w fizyce

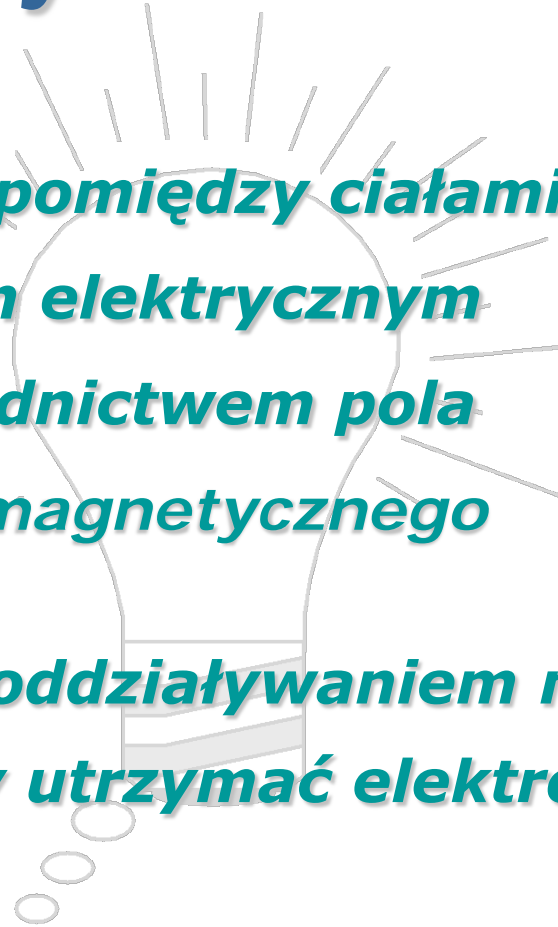
Oddziaływanie fundamentalne	Natężenie względne	Czas charakterystyczny w sek.
Grawitacyjne	$5,9 * 10^{-39}$	---
Elektromagnetyczne	$7,3 * 10^{-3}$	10^{-20} --- 10^{-16}
Silne (jądrowe)	1	10^{-24} --- 10^{-23}
Słabe	10^{-5}	10^{-10} --- 10^{-8}

- Def
 - Gra
 - Elek
 - Siln
 - Słab
 - Cz
- W OC

Oddziaływania w fizyce

- Definicja
- Grawitacyjne
- Elektro-
magnetyczne
- Silne (jądrowe)
- Słabe
- Cząstki
w oddziaływaniach

- ◆ **Zachodzi pomiędzy ciałami obdarzonymi ładunkiem elektrycznym za pośrednictwem pola elektromagnetycznego**
- ◆ **Jest oddziaływaniem na tyle silnym aby utrzymać elektron na orbicie.**



Oddziaływania w fizyce

Oddziaływanie fundamentalne	Natężenie względne	Czas charakterystyczny w sek.
Grawitacyjne	$5,9 * 10^{-39}$	---
Elektro- magnetyczne	$7,3 * 10^{-3}$	10^{-20} --- 10^{-16}
Silne (jądrowe)	1	10^{-24} --- 10^{-23}
Słabe	10^{-5}	10^{-10} --- 10^{-8}

- Def
 - Gra
 - Elek
 - Siln
 - Słab
 - Cz
- W OC

Oddziaływania w fizyce



- ◆ ***Jest to oddziaływanie występujące pomiędzy nukleonami w jądrze i powoduje iż atom nie rozpada się***
- ◆ ***Zasięg oddziaływania wynosi $10^{-15}m$***
- ◆ ***Jest oddziaływaniem krótkozasięgowym***

- Definicja
- Grawitacyjne
- Elektro-
magnetyczne
- Silne (jądrowe)
- Słabe
- Cząstki
w oddziaływaniach

Oddziaływania w fizyce

Oddziaływanie fundamentalne	Natężenie względne	Czas charakterystyczny w sek.
Grawitacyjne	$5,9 * 10^{-39}$	---
Elektro- magnetyczne	$7,3 * 10^{-3}$	10^{-20} --- 10^{-16}
Silne (jądrowe)	1	10^{-24} --- 10^{-23}
Słabe	10^{-5}	10^{-10} --- 10^{-8}

- Def
- Gra
- Elek
- Siln
- Słab
- Czają
- W OC

Oddziaływania w fizyce

- Definicja
- Grawitacyjne
- Elektro-
magnetyczne
- Silne (jądrowe)
- Słabe
- Cząstki
w oddziaływaniach

- ◆ ***Jest to oddziaływanie biorące udział przy rozpadzie beta***
- ◆ ***Jest oddziaływaniem 100 000 x słabsze od oddziaływania silnego.***
- ◆ ***Słabe oddziaływania powiązane są z oddziaływaniami elektromagnetycznymi, wspólnie noszą nazwę oddziaływań elektroślabych (mała unifikacja).***

Oddziaływania w fizyce

Oddziaływanie fundamentalne	Natężenie względne	Czas charakterystyczny w sek.
Grawitacyjne	$5,9 * 10^{-39}$	---
Elektro- magnetyczne	$7,3 * 10^{-3}$	10^{-20} --- 10^{-16}
Silne (jądrowe)	1	10^{-24} --- 10^{-23}
Słabe	10^{-5}	10^{-10} --- 10^{-8}

- Def

- Gra

- Elek

- Siln

- **Słab**

- Czają

W OC

Oddziaływania w fizyce

Cząstki uczestniczące w oddziaływaniach:

Bozony:

- *$W(+)$, $W(-)$, $Z(0)$ – 3 bozony masywne (słabe)*
- *Gamma – 1 foton bezmasowy (elmg)*
- *Gluony – 8 bezmasowych (silne)*
- *Grawitron (?)*

- Def
- Gra
- Elek
- Siln
- Słab
- Czą
- W OC

Unifikacje oddziaływań

Jest to pierwszy etap małej unifikacji.

Maxwell w XIX wieku sformułował cztery równania łączące oddziaływania elektrostatyczne i magnetyczne tworząc oddziaływania elektromagnetyczne

- Równania Maxwella
- Mała Unifikacja
- Wielka Unifikacja

Unifikacje oddziaływań

Mała unifikacja scala dwa z czterech fundamentalnych oddziaływań fizycznych:

oddziaływanie elektromagnetyczne i oddziaływanie słabe, zastępując je jednym oddziaływaniem elektroslabym.

- Równania Maxwella
- Mała Unifikacja
- Wielka Unifikacja

Unifikacje oddziaływań

Unifikacja wielka, GUT (skrót od angielskiego grand unified theory - "teoria wielkiej unifikacji"), teoria scalająca oddziaływania elektroslabe (unifikacja mała) i oddziaływanie silne.

Etap ten nie jest jeszcze zakończony

- Równania Maxwella
- Mała Unifikacja
- Wielka Unifikacja

Cząstki elementarne



Cząstka elementarna - cząstka nie posiadająca struktury

Cząstkami elementarnymi są:

- **bozony pośredniczące**
- **kwarki**
- **leptony oraz ich antycząstki**

Razem tworzą grupę ponad dwudziestu cząstek.

- Definicja
- Bozony pośredniczące
- Kwarki - hipoteza
- Trzy pokolenia kwarków
- Leptony
- Standardowy model wszechświata

Cząstki elementarne



Bozony pośredniczące – cząstki których istnienie przewidzieli S. Glashow, A. Salam i S. Weinberg

- ◆ **Jednoczą oddziaływania elektromagnetyczne i oddziaływania słabe**
- ◆ **Są bardzo masywne (masy rzędu 80 GeV/c²) i bardzo krótkożyciowe**

- Definicja
- Bozony pośredniczące
- Kwarki - hipoteza
- Trzy pokolenia kwarków
- Leptony
- Standardowy model wszechświata

Cząstki elementarne



**Hipoteza M. Gell-Manna i A. Zweiga
1964**

**Kwarki, fundamentalne cząstki
elementarne oddziałujące silnie oraz
słabo i elektromagnetycznie.**

**Są fermionami o spinie $1/2$
(w jednostkach stałej Plancka),
posiadają ułamkowe ładunki
elektryczne.**

- Definicja
- Bozony
pośredniczące
- Kwarki -
hipoteza
- Trzy pokolenia
kwarków
- Leptony
- Standardowy model
wszechświata

Cząstki elementarne

Trzy pokolenia kwarków

Pokolenie	Pierwsze	Drugie	Trzecie	?
Q = +2/3	u (up)	c (charm)	t (true, top)	?
Q = -1/3	d (down)	s (strange)	b (beauty, bottom)	?

Cząstki elementarne



Leptony - cząstki elementarne, fermiony o spinie $1/2$ (w jednostkach stałej Plancka)

◆ *Oddziałują słabo za pośrednictwem bozonów W i Z (bozony pośredniczące)*

◆ *Niektóre leptony oddziałują elektromagnetycznie.*

◆ *Leptony grupuje się w trzy generacje*

- Definicja
- Bozony pośredniczące
- Kwarki - hipoteza
- Trzy pokolenia kwarków
- Leptony
- Standardowy model wszechświata

Cząstki elementarne

Trzy generacje leptonów

Pokolenie	Pierwsze	Drugie	Trzecie
Q = 1	elektron (e ⁻)	mion, (μ ⁻)	taon (τ ⁻)
Q = 0	neutrino elektronowe (ν _e)	neutrino mionowe (ν _μ)	neutrino taonowe (ν _τ)

Cząstki elementarne

Standardowy model Wszechświata

Fermiony	6 leptonów $\nu_e, e^-, \nu_\mu, \mu^-, \tau^-, \nu_\tau$ 6 kwarków trójkolorowych u, d, c, s, t, b
Bozony	3 masywne bozony pośrednie W^+, W^-, Z^0 1 foton bezmasowy γ 8 bezmasowych gluonów g

- Defini
- Bozo
- pośr
- Kwar
- 1
- Trzy
- Lepto
- Stand
- v

Redukcjonizm fizyki

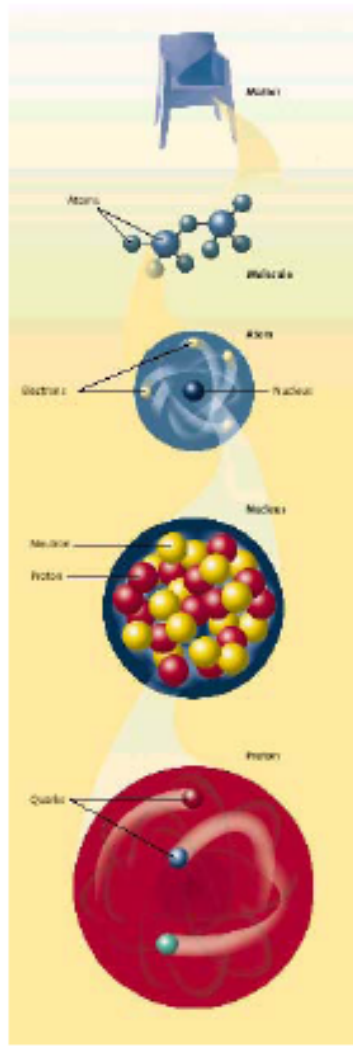
Dążenie do sprowadzania praw fizyki do coraz mniejszej liczby coraz ogólniejszych i bardziej fundamentalnych praw i zasad.

Aktualnie, zgodnie z tą tendencją, uważa się, że wszystkie siły w przyrodzie są przejawami czterech tzw. *oddziaływań fundamentalnych*:

- 👉 silnych,
- 👉 elektromagnetycznych,
- 👉 słabych oraz
- 👉 **grawitacyjnych***

a obiekty są zbudowane z *fermionów* tworzących materię: oddziałujących dzięki *bozonom*.

Budowa materii



$10^{-3} - 10^3 \text{ m}$ (1 mm – 1 km)
otaczające nas przedmioty

$10^{-10} - 10^{-9} \text{ m}$ (0,1-1 nm)
cząsteczki chemiczne

Cząsteczki chemiczne są złożone z atomów. Ich stabilność zapewniają wiązania chemiczne (oddziaływania elektromagnetyczne)

10^{-10} m (0,1 nm) -
atomy

Atomy są złożone z jąder i elektronów i (siły elektromagnetyczne)

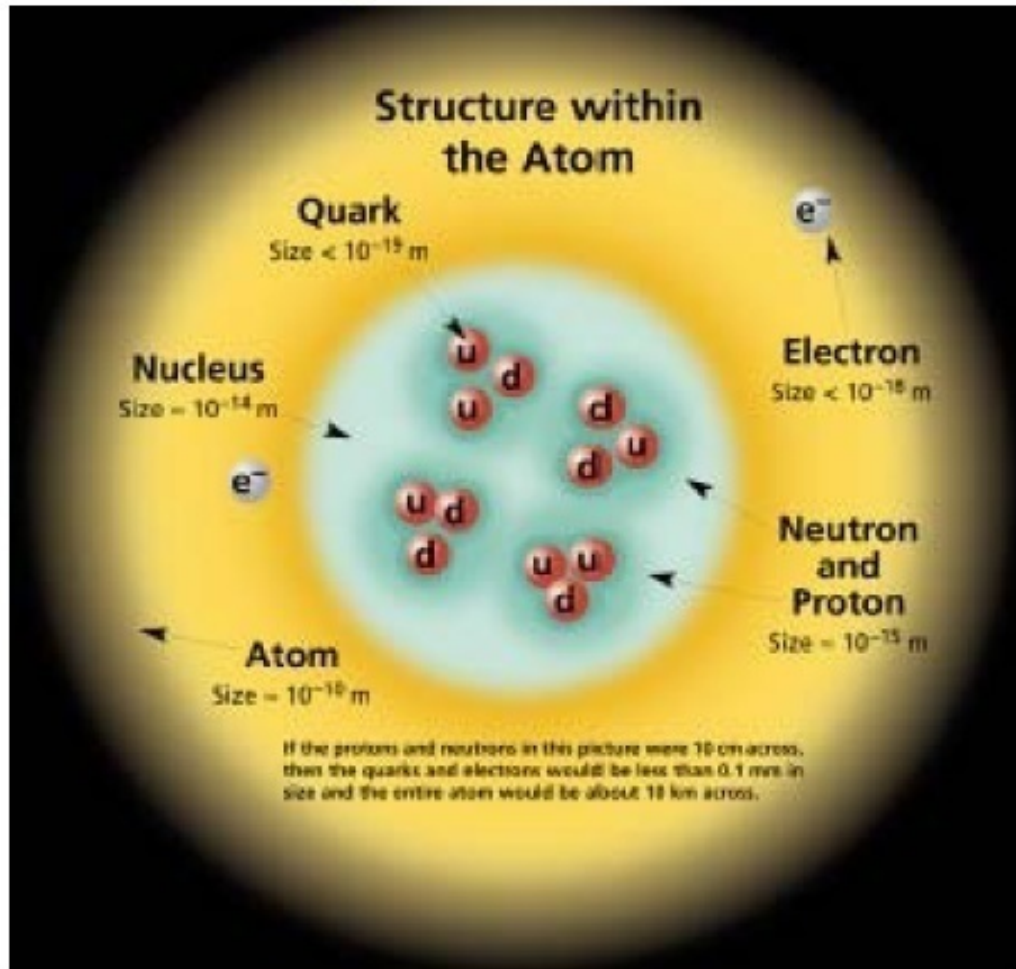
$10^{-15} - 10^{-14} \text{ m}$ (1-10 fm) -
jądra atomowe

Jądra atomowe złożone z protonów i neutronów (siły elektromagnetyczne - odpychające i silne - przyciągające)

10^{-15} m (1 fm) -
proton

Proton zbudowany z 3 kwarków i wiążących je gluonów. (siły elektromagnetyczne - odpychające i silne - przyciągające)

Struktura atomu i jądra atomowego



Rozmiary:

atom – ok. 10^{-10} m

jądro – ok. 10^{-14} m

proton – ok. 10^{-15}
m

kwark – ok. 10^{-19} m

Oddziaływania fundamentalne i podstawowe elementy budowy materii

Aktualnie uważa się, że wszystkie siły w przyrodzie są przejawami czterech tzw. *oddziaływań fundamentalnych*:

- silnych,
- elektromagnetycznych,
- słabych oraz
- **grawitacyjnych***

a obiekty materialne są zbudowane z **fermionów** :

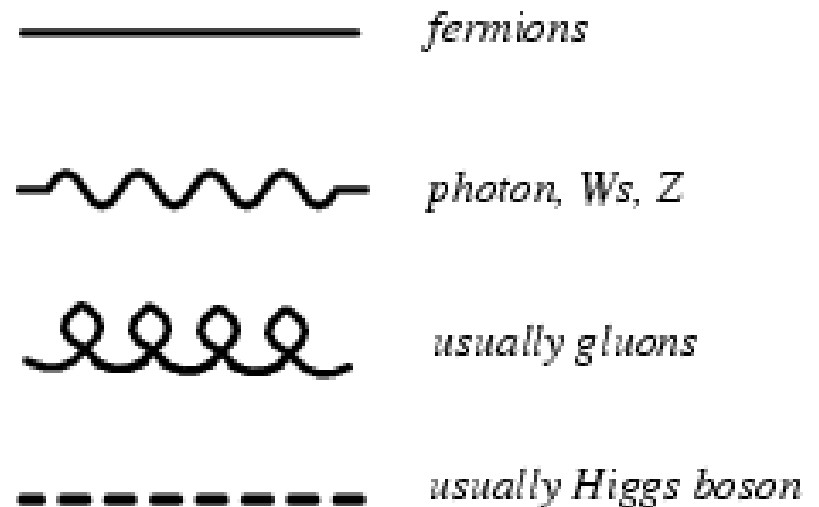
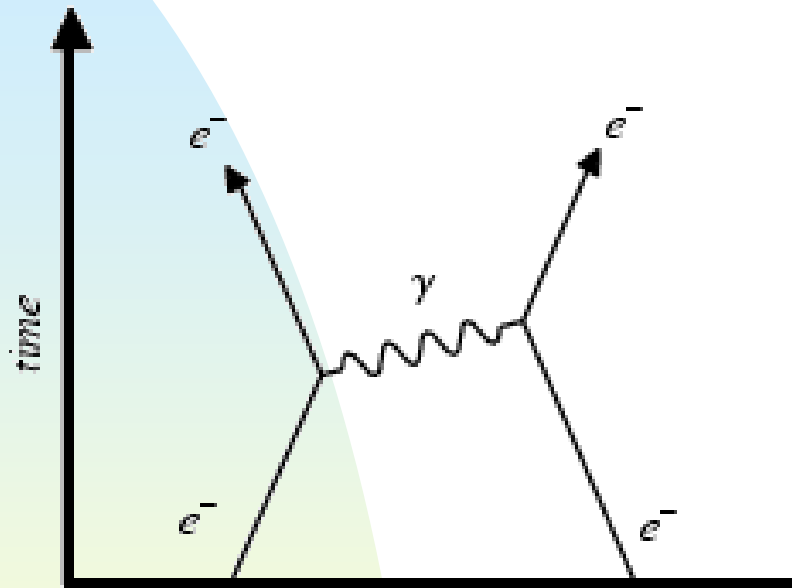
- 6 kwarków i 6 leptonów (oraz ich antycząstek)

oddziałujących między sobą dzięki **bozonom**:

- gluony (oddziaływania silne)
- fotony (oddziaływania elektromagnetyczne)
- bozony W i Z (oddziaływania słabe)
- **grawit(r)ony*** (oddziaływania grawitacyjne)

* Oddziaływania grawitacyjne nie są opisywane przez Model Standardowy

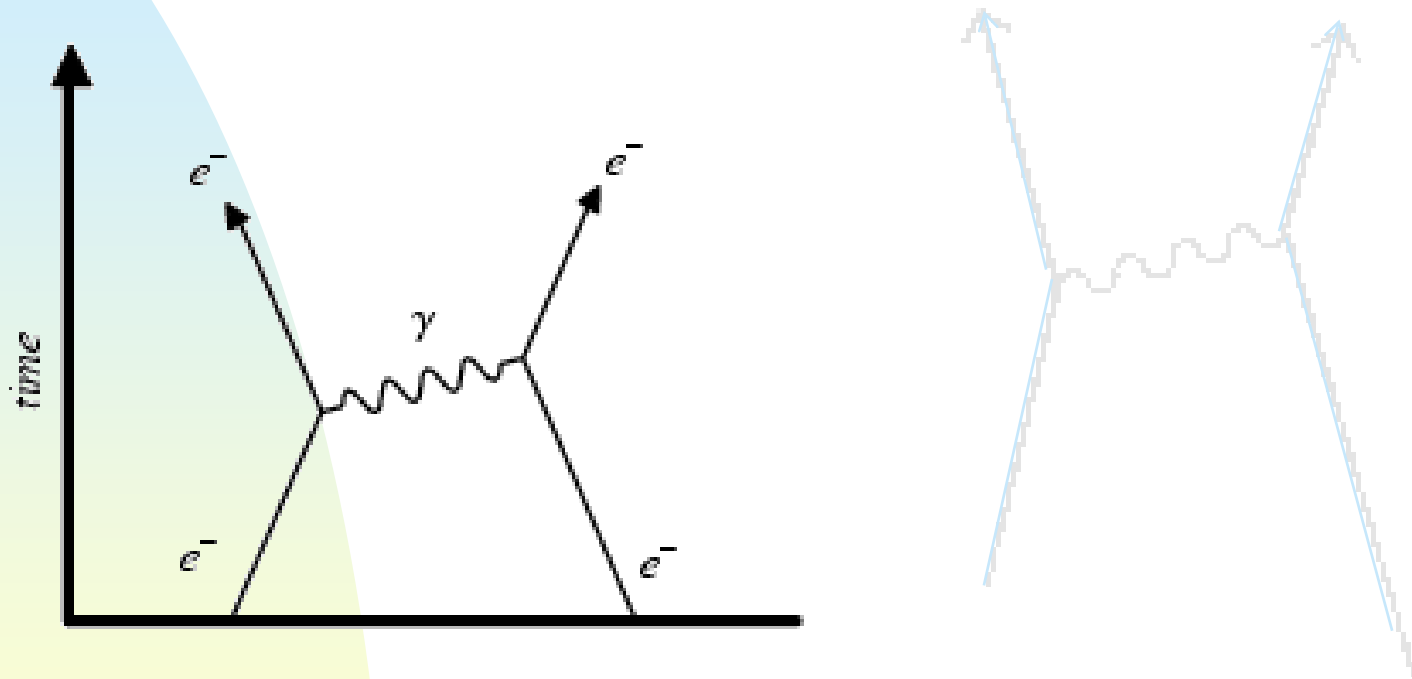
Schemat oddziaływania fundamentalnego (diagramy Feynmana)



Oddziaływanie elektromagnetyczne 2 elektronów (leptony) za pośrednictwem fotonu γ (bozon).

<http://scienceworld.wolfram.com/physics/FeynmanDiagram.html>

Schemat oddziaływania fundamentalnego (diagramy Feynmana)



Oddziaływanie elektromagnetyczne 2 elektronów
(leptony) za pośrednictwem fotonu γ (bozon)

Model Standardowy cząstek elementarnych i ich oddziaływań

- Teoria opisująca podstawowe oddziaływania w przyrodzie (oprócz grawitacyjnego) oraz podstawowe elementy budowy materii nosi nazwę Modelu Standardowego
- **Nagrody Nobla:** Sudarshan, Marshak, Feynman, Gell-Mann, Sakata, Glashow, Zweig, Nambu, Han, Cabibbo, Weinberg, Salam, Kobayashi, Maskawa, 't Hooft, Veltman, Gross, Politzer, Wilczek

Model Standardowy (od ok. 1960 r.)

Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum field-theoretic extension of special relativity and quantum chromodynamics (QCD) and electroweak theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

number conservation: spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons (spin = 1/2)			Quarks (spin = 1/2)		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
e^- electron	$<10^{-6}$	-1	u up	0.002	2/3
μ^- muon	0.105658	-1	d down	0.005	-1/3
τ^- tau	1.777	-1	c charm	1.3	2/3
ν_e electron neutrino	$<10^{-9}$	0	s strange	0.1	-1/3
ν_μ muon neutrino	$<10^{-9}$	0	t top	175	2/3
ν_τ tau neutrino	$<10^{-9}$	0	b bottom	4.3	-1/3

Structure within the Atom

BOSONS

force carriers spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak (spin = 1)			Strong (gluon) (spin = 1)		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W^\pm	80.4	± 1			
Z^0	91.1876	0			

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 1.0545718 \times 10^{-34}$ J·s.

Electric charge is measured in units of the proton's charge, e , with the electron charge of the proton $e = 1.6021766208 \times 10^{-19}$ coulombs.

The **strong** unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by an electron in crossing a potential difference of one volt. Masses are given in GeV^{-1} (where $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$), where $1 \text{ GeV}^{-1} = 1.97327 \times 10^{-16}$ m. The mass of the proton is $1.6726219 \times 10^{-27}$ kg $\approx 1.6726 \times 10^{-27}$ kg.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Property	Interaction	Gravitational	Weak	Electroweak (unified)	Strong
Acts on:		Mass-Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experiencing:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:		Graviton (not yet observed)	W^\pm, Z^0	γ, Z^0	Gluons
Strength (relative to gravity) at 1 fm:		10^{-37}	10^{-16}	1	10
Acts on:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons
Acts on:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons

Leptons (spin = 1/2)

Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 1.0545718 \times 10^{-34}$ J·s.

Symbol	Name	Mass (GeV/c ²)	Spin (h)	Life (s)	Stable
e^-	electron	0.000511	1/2	$>10^{26}$	Yes
μ^-	muon	0.105658	1/2	2.197×10^{-6}	No
τ^-	tau	1.777	1/2	2.91×10^{-13}	No
ν_e	electron neutrino	$<10^{-9}$	1/2	$>10^{26}$	Yes

MESONS (spin = 0)

Mesons are bosons (spin = 0, 2, ...).

Symbol	Name	Mass (GeV/c ²)	Spin (h)	Life (s)	Stable
π^+	pi plus	0.139	0	2.6×10^{-8}	No
π^0	pi zero	0.135	0	8.4×10^{-17}	No
ρ^+	rho plus	0.775	1	4.8×10^{-24}	No
ρ^0	rho zero	0.775	1	4.8×10^{-24}	No
ω	omega	0.783	0	7.8×10^{-23}	No

Hadrons (spin = 1/2)

Hadrons are fermions (spin = 1/2, 3/2, ...).

Symbol	Name	Mass (GeV/c ²)	Spin (h)	Life (s)	Stable
p^+	proton	0.938	1/2	$>10^{26}$	Yes
n^0	neutron	0.939	1/2	886.7×10^{-23}	No
Λ^0	lambda	1.116	1/2	2.6×10^{-10}	No
Σ^+	sigma plus	1.116	1/2	8×10^{-13}	No

Nucleon and Antinucleon

For every particle spin there is a corresponding antiparticle spin, and all particles have the same spin. Nucleons and antinucleons have identical mass and spin but opposite charge. Their electric, magnetic moment, J^P , C , parity, τ , and other J^P are their own antiparticle.

Figure

These diagrams are all which-compassion of physical processes. They are not meant and have no meaningful with. Downward arrow means the flow of quarks in the quark line, and not into the lower path.

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

$\bar{n} \rightarrow \bar{p} + e^- + \nu_e$

$p + \bar{p} \rightarrow \text{gluons}$

The Particle Adventure

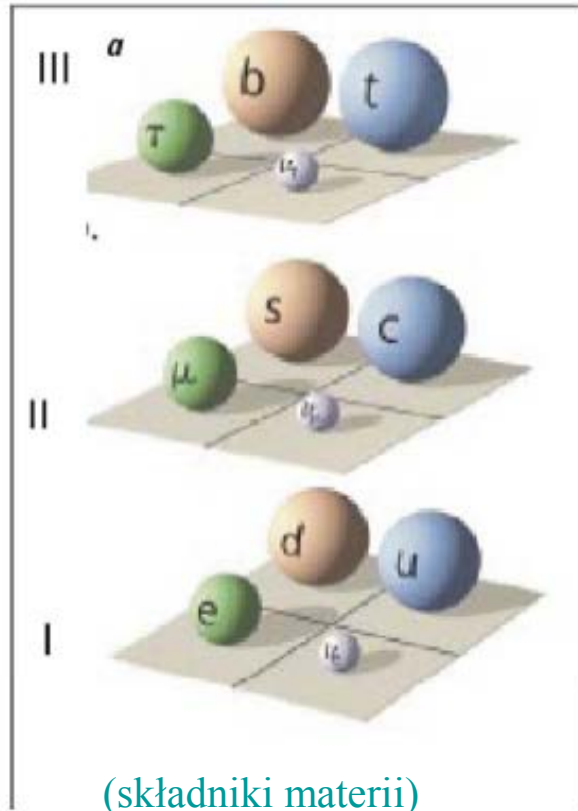
Visit our award-winning web feature: The Particle Adventure at <http://pdg.lbl.gov/particleadventure.html>

Spin: The spin has been made possible by the generous support of: U.S. Department of Energy, Lawrence Berkeley National Laboratory, National Science Foundation, Office of Particle and High Energy Physics, and the University of California, Berkeley.

WWW: <http://pdg.lbl.gov/cpep.html>

Elementy budowy materii według Modelu Standardowego

Cząstki elementarne
(kwarki i leptony)



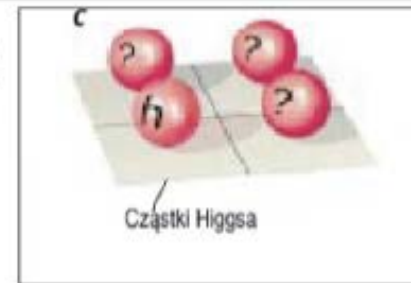
Model Standardowy

Cząstki wymiany

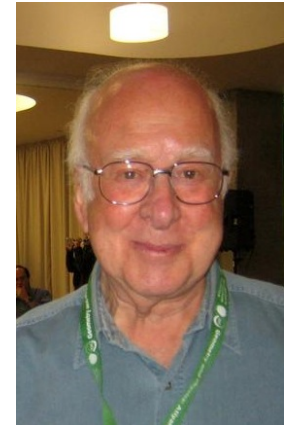
(odpowiedzialne za oddziaływania)



Cząstki Higgsa



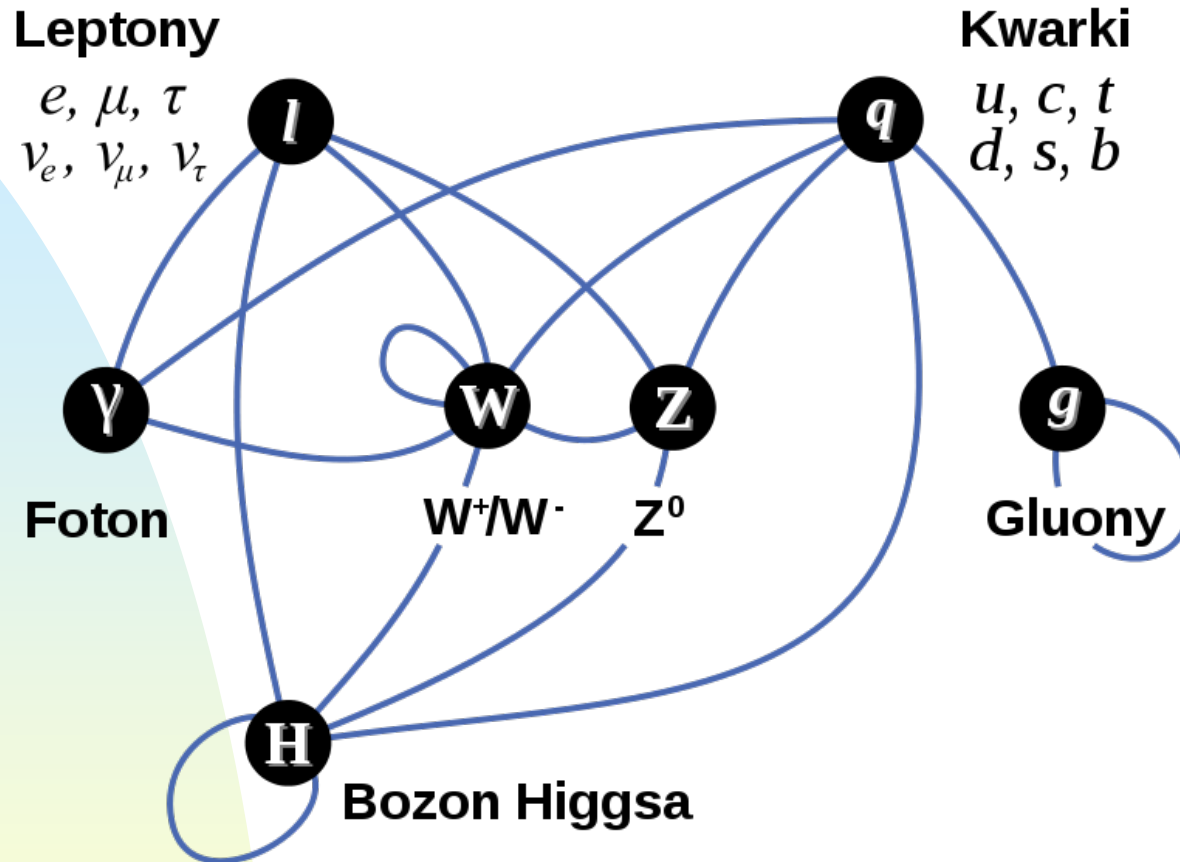
(odpowiedzialne za to, że cząstki mają masę) – w dużym uproszczeniu



Peter Higgs
1929-

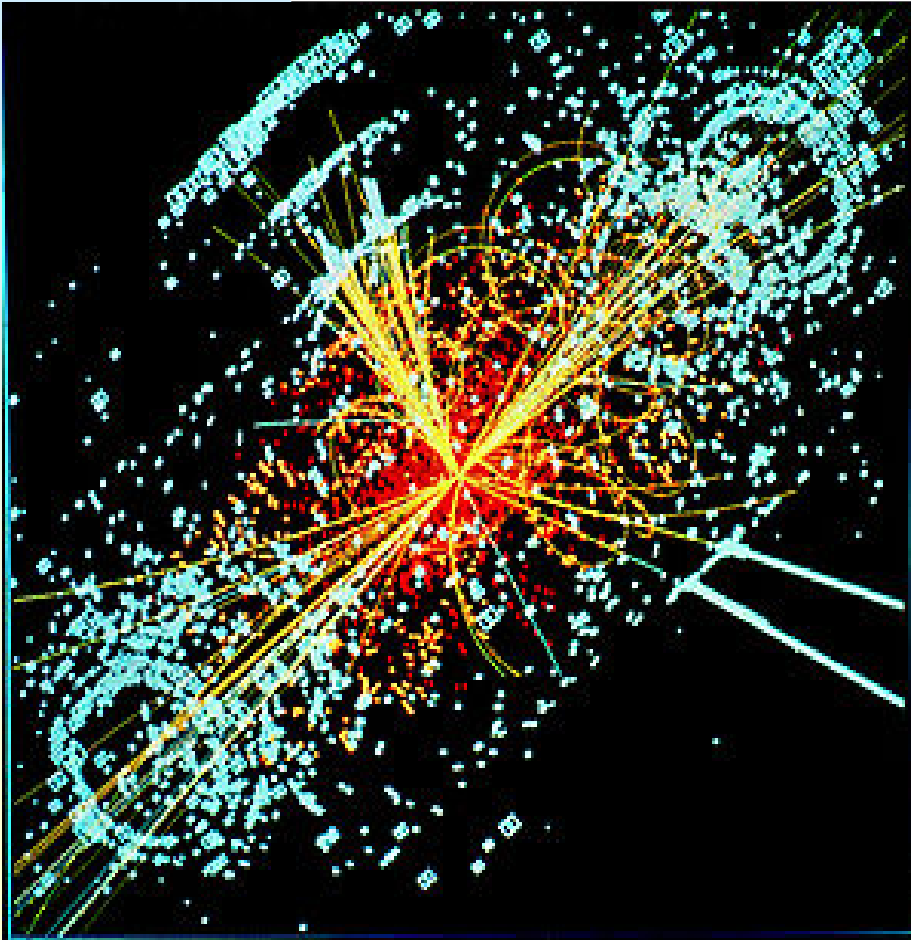
4.lipca 2012 r. eksperyment w LHC potwierdził (chyba) istnienie cząstki Higgsa

Model Standardowy



Cząstki elementarne z których zbudowana jest znana materia: sześć leptonów i sześć kwarków, oraz bozony cechowania przenoszące oddziaływania. Diagram przedstawia również dotychczas (nie)zaobserwowany bozon Higgsa, mający nadawać masę cząstkom z którymi oddziałuje.

Bozon Higgsa



Symulacja zobrazowania obecności, powstałego w wyniku kolizji 2 wysokoenergetycznych protonów w detektorze CMS w LHC.

Bozon Higgsa rozpada się niemal natychmiast tworząc tzw. **jety hadronowe**.

Występujące na obrazie linie proste reprezentują nowo powstałe elektrony

Elementy budowy materii według Modelu Standardowego

cząstka	nazwa	symbol	ładunek	masa [GeV/c ²]
I rodzina				
Kwarki	up (górnny)	u	+2/3e	5·10 ⁻³
	down (dolny)	d	-1/3e	8·10 ⁻³
Leptony	elektron	e	-e	5,11·10 ⁻⁴
	neutrino elektronowe	ν _e	0	0 ? (<1,5·10 ⁻⁸)
II rodzina				
Kwarki	charm (powabny)	c	+2/3e	1,3
	strange (dziwny)	s	-1/3e	0,14
Leptony	mion	μ	-e	0,106
	neutrino mionowe	ν _μ	0	0? (<1,7·10 ⁻⁸)
III rodzina				
Kwarki	top	t	+2/3e	174
	bottom	b	-1/3e	4,3
Leptony	taon	τ	-e	1,78
	neutrino taonowe	ν _τ	0	0 (?)

1 eV ≈ 1,6 · 10⁻¹⁹ J

1 GeV/c² ≈ 1,78 · 10⁻²⁷ kg

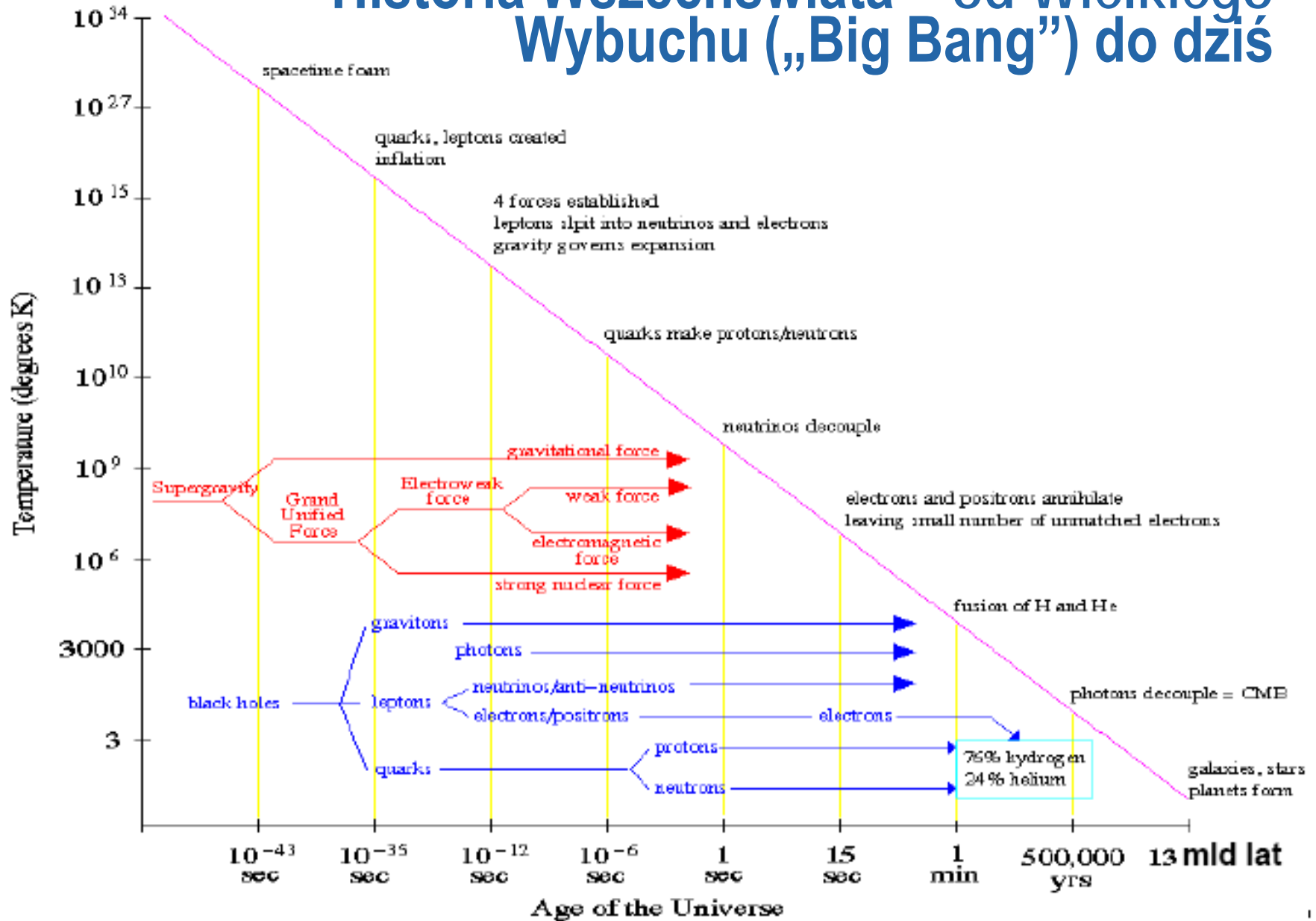
Trwała materia jest zbudowana z elementów z I rodziny

Oddziaływania fundamentalne wg Modelu Standardowego*

	oddziaływanie	względna siła	zasięg / charakter	cząstki pośredniczące	przykłady
elektrosłabe	silne (jądrowe)	1	10^{-15} m / przyciągające	gluony	siły spójności: jąder atomowych, protonów
	elektromagnetyczne	1/137	∞ / przyciągające i odpychające	fotony	siły elektryczne, magnetyczne, wiązania chemiczne, siły tarcia
	słabe (jądrowe)	10^{-5} (?)	10^{-14} m / ?	cząstki W i Z	przemiany jądrowe (rozpady promieniotwórcze β), reakcje syntezy termojądrowej, świecenie Słońca i gwiazd
	grawitacyjne	10^{-39}	∞ / przyciągające	„grawitony”	siły ciężenia, ruchy galaktyk, gwiazd, planet

* oddziaływania grawitacyjne nie są opisywane przez Model Standardowy!

Historia Wszechświata – od Wielkiego Wybuchu („Big Bang”) do dziś



Historia Wszechświata – od Wielkiego Wybuchu („Big Bang”) do dziś

