



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Fizyka I: **Mechanika**

prof. dr hab. Aleksander Filip Żarnecki
Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych
Instytut Fizyki Doświadczalnej

Wykład I:

- Informacje ogólne
- Wprowadzenie: czym zajmuje się fizyka, teoria a doświadczenie
- Pomiarы fizyczne, układ jednostek SI, błędy pomiarowe
- Modele w fizyce

Mechanika

Program wykładu

- Wprowadzenie, pomiary fizyczne
- Opis ruchu: kinematyka
- Prawa ruchu: dynamika
- Zasady zachowania
- Grawitacja
- Elementy mechaniki bryły sztywnej
- Kinematyka relatywistyczna
- Dynamika relatywistyczna
- Związek magnetyzmu z STW

Łącznie 13 wykładów

+ 2 kolokwia

- 16 listopada 2009
- 11 stycznia 2010

poniedziałki, 9⁰⁰–12⁰⁰

SDD + Aula (fizyka)

Aula DF (FM i NI)

Zasady zaliczania

Uzyskanie pozytywnej oceny końcowej z wykładu możliwe jest po pozytywnym zaliczeniu części rachunkowej i zdaniu egzaminu teoretycznego.

Część rachunkowa

Zaliczenie części rachunkowej odbywa się na podstawie obecności na ćwiczeniach, dwóch kolokwiów, punktów uzyskanych na ćwiczeniach i części rachunkowej egz. pisemnego.

- Obecność na ćwiczeniach jest obowiązkowa.

Bez usprawiedliwienia student może opuścić co najwyżej 2 ćwiczenia.

Zwolnienie możliwe jest jedynie w wyjątkowych przypadkach.

- W ramach ćwiczeń: do 5 punktów za kartkówki i do 5 punktów za aktywność.
- W ramach kolokwiów: po 3 zadania rachunkowe, maksymalnie po 5 punktów.
- Egzamin pisemny: 4 zadania rachunkowe, maksymalnie po 5 punktów.

Do zaliczenia konieczne jest uzyskanie łącznie przynajmniej 25 punktów.

Dopuszczenie do egzaminu pisemnego: przynajmniej 15 punktów z kolokwiów i ćwiczeń.

Zasady zaliczania

Zadania domowe

Nieobowiązkowe. Będą sprawdzane przez asystentów jeśli zostaną oddane w terminie. Mogą mieć wpływ na ocenę asystenta.

Umiejętność rozwiązywania zadań domowych sprawdzana na ćwiczeniach (kartkówki).

Część zadań kolokwialnych i egzaminacyjnych wzorowana na zadaniach domowych !

Część “teoretyczna”

Egzamin teoretyczny składa się z:

- testu pisemnego (30 pytań; w połączeniu z egzaminem rachunkowym)
- egzaminu ustnego
pod warunkiem zaliczenie części rachunkowej i testu pisemnego

W przypadku gdy wyniki części rachunkowej i testu pisemnego pozwolą na zaproponowanie oceny końcowej student może zrezygnować z egzaminu ustnego.

Literatura

Podręczniki

- R. Resnick, D. Halliday, [Fizyka](#), tom I
- H.D. Young, R.A. Freedman, [Sears and Zemansky's university physics](#)
- A.K. Wróblewski, J.A. Zakrzewski, [Wstęp do Fizyki t.1](#)
- C. Kittel, W.D. Knight, M.A. Ruderman, [Mechanika](#) (kurs berkeleyowski, t.1)

- A. Hennel, W. Krzyżanowski, W. Szuszkiewicz, K. Wódkiewicz,
[Zadania i problemy z fizyki](#)

Internet

Slajdy z wykładów będą sukcesywnie umieszczane na stronie:

<http://www.fuw.edu.pl/~zarnecki/fizyka1/fizyka1.html>

Obecnie dostępne są wykłady z lat ubiegłych...

Co to jest fizyka ?

Fizyka zajmuje się badaniem
najbardziej fundamentalnych i uniwersalnych
właściwości materii i zjawisk w otaczającym nas świecie.

“Nasza **wiedza** o świecie fizycznym dzieli się na dwie kategorie:
prawa przyrody i **warunki początkowe**. Fizyka w pewnym sensie
nie interesuje się warunkami początkowymi, pozostawiając je
badaniom astronomów, geologów, geografów, i tak dalej.”

Eugene Wigner

Staramy się znaleźć prawidłowości niezależne od “warunków początkowych”...

Te same prawa pozwalają czasami wyjaśnić zupełnie różne zjawiska...

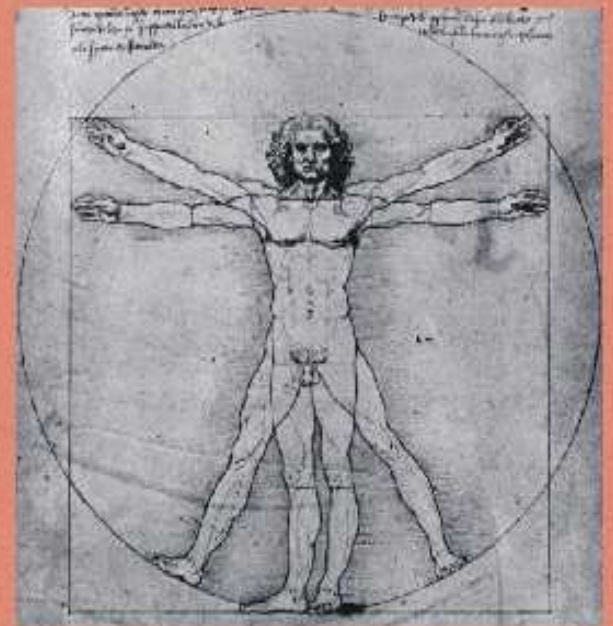
FROM THE UNIVERSE...
FROM THE UNIVERSE...
FROM THE UNIVERSE...



10^{26} m

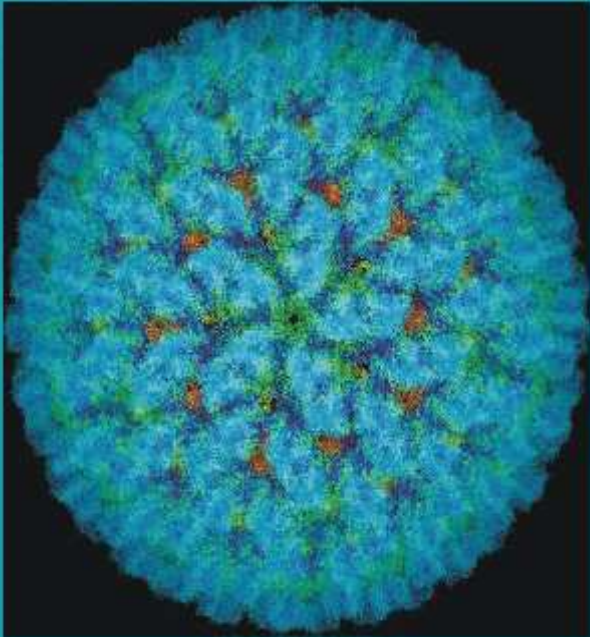


10^7 m

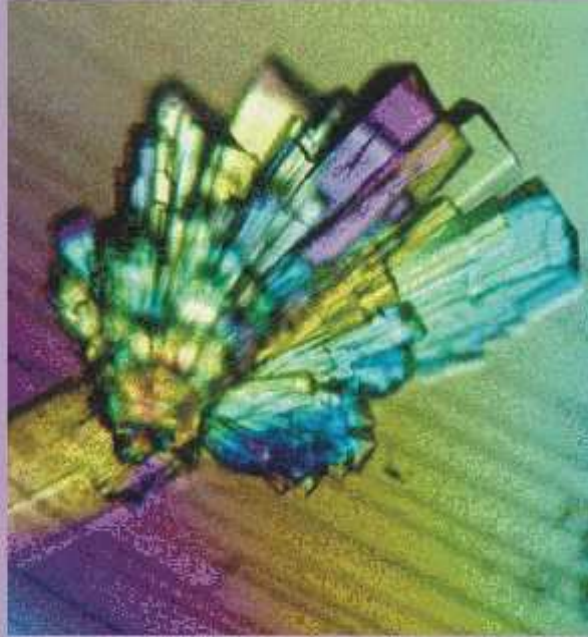


1 m

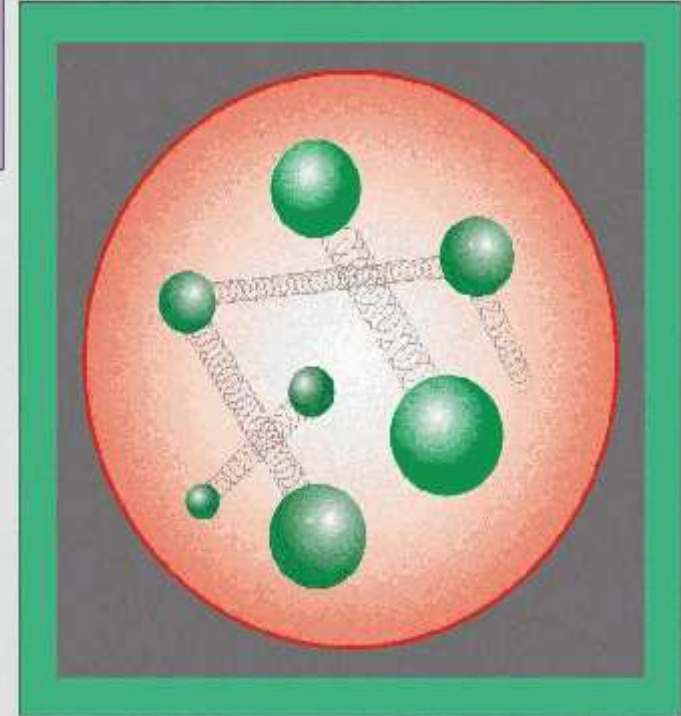
10^{-4} m



10^{-8} m



10^{-15} m

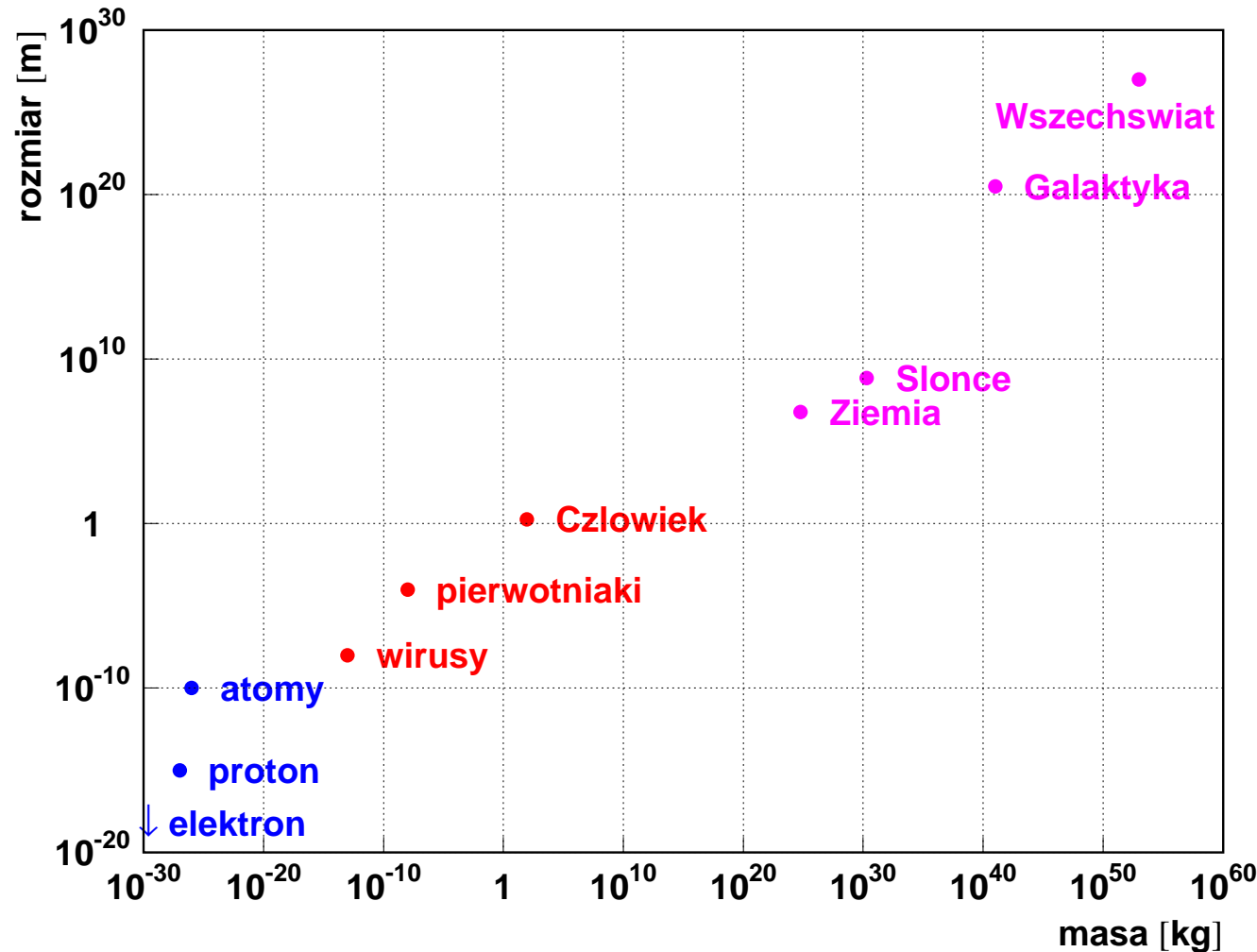


... TO QUARKS
... TO QUARKS
... TO QUARKS

Czym zajmuje się fizyka ?

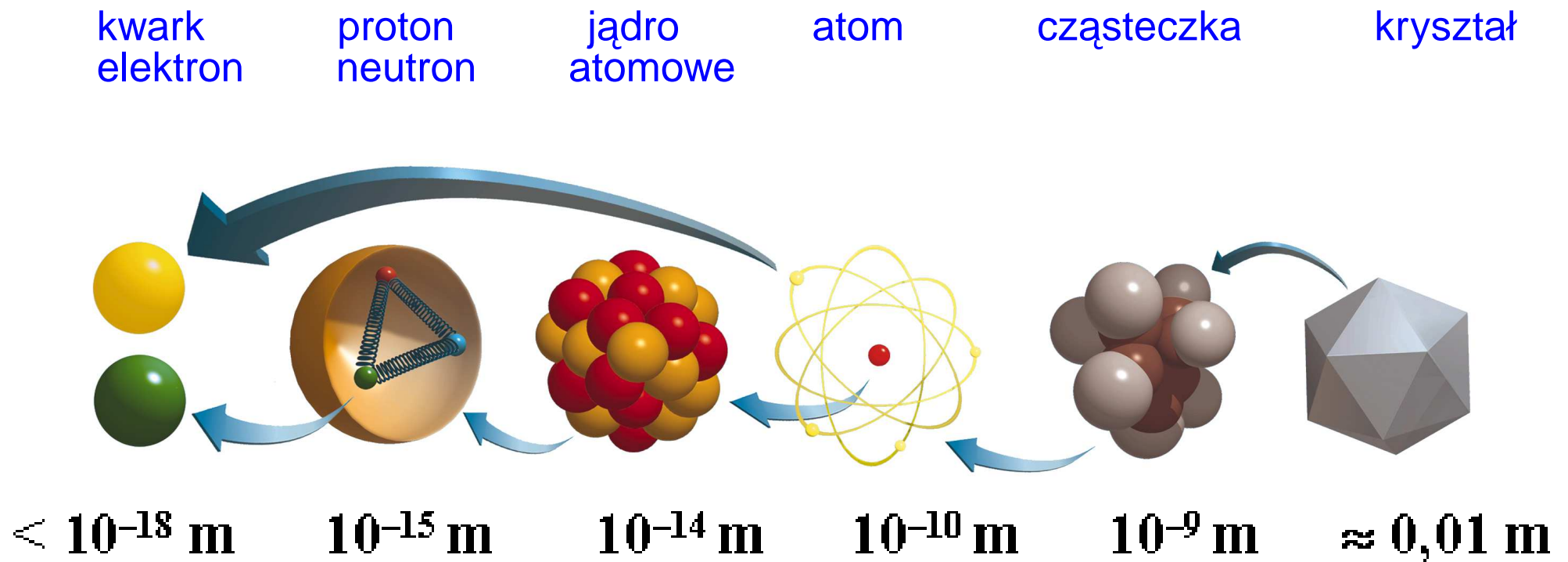
Staramy się zrozumieć zjawiska zachodzące na najmniejszych i największych odległościach...

Szukamy praw opisujących zachowanie najmniejszych cząstek elementarnych oraz ewolucję wszechświata...



Czym zajmuje się fizyka ?

Budowa materii



Teoria i doświadczenie

Doświadczenie

Skoro chcemy opisać otaczający nas świat (a nie jakąś rzeczywistość wirtualną) to oznacza, że niezbędnym elementem i punktem wyjścia wszystkich naszych rozważań powinno być doświadczenie.

Doświadczenie dostarcza nam danych, na podstawie których staramy się tworzyć modele opisujące rzeczywistość.

Teoria

Następnie od opisu zjawiska (model opisowy) staramy się przejść do wyjaśnienia jego mechanizmu - tworzymy model przyczynowy ("teorię")

Przykład:

ruch planet \Rightarrow prawa Keplera \Rightarrow prawo grawitacji Newtona

Rodzaje pomiarów

Zliczanie

Przykłady:

- liczba grzybów w barszczu
- liczba kropeł deszczu na szybie (w określonym okresie czasu)
- liczba rozpadów w próbce promieniotwórczej
- liczba cząstek wyprodukowanych w zderzeniach wysokiej energii

Liczymy jakieś elementy lub zdarzenia, w określonym przedziale czasu lub przestrzeni.

Szczególny przypadek: niewielka liczba możliwych wyników pomiaru:

- rzut kostką do gry
- pomiar stanu skupienia substancji (ciało stałe, ciecz lub gaz)
- rozpad pojedynczego jądra atomowego (rozpadł się albo nie)
- układy z dyskretnymi stanami dozwolonymi
(w szczególności układy kwantowe, np. atomy)

Rodzaje pomiarów

Pomiary ilościowe

Pomiary, których wynik wyrażamy poprzez podanie wartości liczbowej i jednostki.

Przykłady:

- długość stołu \Rightarrow 5.73 m
- masa ciała \Rightarrow 88 kg
- czas trwania wykładu \Rightarrow 45 min.
- natężenie prądu \Rightarrow 150 mA

Wartość liczbową wielkości fizycznej zależy od jednostki, w której jest wyrażona.

Wynik pomiaru porównujemy z przyjętą dla danej wielkości fizycznej jednostką.

Porównywać możemy jedynie wielkości tego samego rodzaju.

\Rightarrow ważne jest jednoznaczne zdefiniowanie jednostek

Układ jednostek SI

SI - Systéme Internationale

Międzynarodowy układ jednostek wprowadzony w 1960 roku.

Długość	metr	[m]
Masa	kilogram	[kg]
Czas	sekunda	[s]
Natężenie prądu elektrycznego	amper	[A]
Temperatura termodynamiczna	kelwin	[K]
Ilość substancji	mol	[mol]
Światłość	kandela	[cd]

Układ jednostek SI

1 sekunda

Sekunda jest to czas równy 9 192 631 770 okresom promieniowania emitowanego przez atom ^{133}Cs przy przejściu między dwoma poziomami nadsubtelnymi

Częstość promieniowania dla tej linii cezu wynosi z definicji 9 192 631 770 Hz.



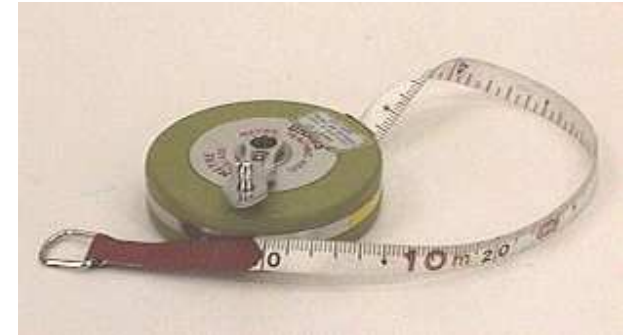
Historia

- 1/86400 część średniego dnia słonecznego (do 1960)
- odpowiednia część roku tropikalnego (do 1967)

Układ jednostek SI

1 metr

1 metr jest zdefiniowany jako odległość jaką pokonuje światło w próżni w czasie równym $1/299792458$ sekundy



Tym samym prędkość światła została zdefiniowana jako $c = 299792458$ m/s (dokładnie !)
wybrana wartość zgodna z wcześniejszymi pomiarami

Historia:

- 0.0000001 południka paryskiego, od bieguna do równika
- wzorzec platynowo-irydowy (do 1960)
- wielokrotność długości fali światła 86Kr (do 1983)

Układ jednostek SI

1 kilogram

Kilogram jest to masa **wzorca** jednego kilograma

Platynowo-irydowy wzorzec jednego kilograma przechowywany jest w Międzynarodowym Biurze Miar i Wag w Séveres pod Paryżem



Historia

- masa jednego decymetra sześciennego wody (do końca XVIII wieku)

Układ jednostek SI

Notacja naukowa

Ułatwia zapisywanie bardzo dużych i bardzo małych liczb:

- prędkość światła: $c \approx 300000000 \text{ m/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- rozmiar protonu: $r \sim 0.0000000000000001 \text{ m} = 10^{-15} \text{ m}$
- masa Ziemi: $m_Z \approx 5972000000000000000000000 \text{ kg} = 5.972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Wykładnik potęgi 10 określa nam “rząd wielkości”

Różnica o rząd wielkości to dużo, 2-3 rzędy to bardzo dużo, 10 rzędów to “przepaść”



$\Leftarrow \times 10^{10} \Rightarrow$



Układ jednostek SI

Jednostki pochodne

yotta	10^{24}	Y	decy	10^{-1}	d
zetta	10^{21}	Z	centy	10^{-2}	c
exa	10^{18}	E	mili	10^{-3}	m
peta	10^{15}	P	mikro	10^{-6}	μ
tera	10^{12}	T	nano	10^{-9}	n
giga	10^9	G	piko	10^{-12}	p
mega	10^6	M	femto	10^{-15}	f
kilo	10^3	k	atto	10^{-18}	a
hekto	10^2	h	zepto	10^{-21}	z
deka	10	da	yokto	10^{-24}	y

np. 1 nm = 10^{-9} m = 0.000 000 001 m

Układ jednostek SI

Zamiana jednostek

Przeliczanie jednostek nie może zmieniać wartości wielkości fizycznej.

Ale każdą wartość możemy pomnożyć przez 1 wyrażone poprzez stosunek jednostek.

Na przykład:

$$1 \text{ mila morska} = 1852 \text{ m} \Rightarrow 1 \equiv \frac{1852 \text{ m}}{1 \text{ NM}}$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s} \Rightarrow 1 \equiv \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

Przeliczanie prędkości statku: węzły \rightarrow m/s

$$\begin{aligned} v = 20 \text{ kn} &= 20 \frac{\text{NM}}{\text{h}} \cdot 1 \cdot 1 \\ &= 20 \frac{\text{NM}}{\text{h}} \cdot \frac{1852 \text{ m}}{1 \text{ NM}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = \frac{20 \cdot 1852}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 10.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Układ jednostek SI

Analiza wymiarowa

Zależności między jednostkami są **uniwersalne**. Każda zależność między wielkościami fizycznymi (**prawo przyrody albo wynik zadania**) musi je **respektować**.

Przeliczenie jednostek jest niezbędnym elementem rozwiązywania problemów fizycznych. Jest to bardzo silny **test poprawności** odpowiedzi!
Niejednokrotnie pozwala “zgadnąć” **postać rozwiązania...**

Przykład:

Jak zmieniłby się okres obiegu Ziemi dookoła Słońca, gdyby cały nasz świat (**Słońce, Ziemia, rozmiary orbity**) został zmniejszony 10 razy (**przy zachowaniu gęstości materii**)?

$$\text{Mamy: } [r_{SZ}] = [R_S] = [R_Z] = m, \quad [\rho_Z] = [\rho_S] = \frac{kg}{m^3}, \quad [G_N] = N \cdot \frac{m^2}{kg^2} = \frac{m^3}{s^2 kg}$$

$$\text{Szukamy: } [T] = s$$

Z analizy wymiarowej: $T \sim \sqrt{\frac{1}{\rho G_N}} \cdot f(r_{SZ}, R_S, R_Z)$, gdzie $f()$ - funkcja bezwymiarowa

\Rightarrow może zależeć wyłącznie od stosunków odległości i promieni!

Błędy pomiarowe

Rozkład Poissona

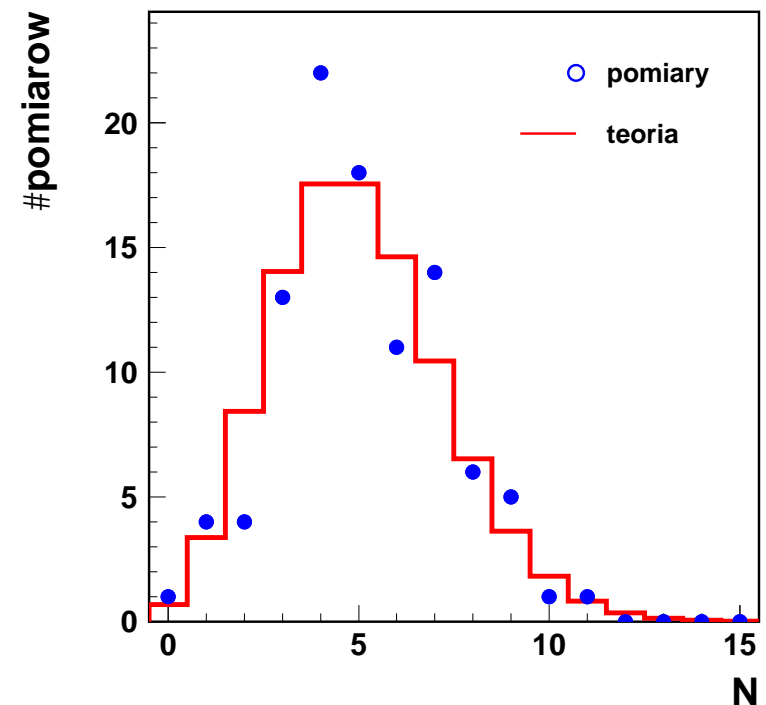
Z rozkładem Poissona mamy do czynienia wtedy, gdy w określonym przedziale (czasu lub przestrzeni) liczymy zdarzenia od siebie niezależne.

Jest to sytuacja z jaką często mamy do czynienia.

Np. liczba rejestrowanych rozpadów promieniotwórczych

Zestawienie wyników 100 pomiarów dla źródła dającego średnio 5 rozpadów na sekundę (każdy pomiar: 1 sekunda) \Rightarrow

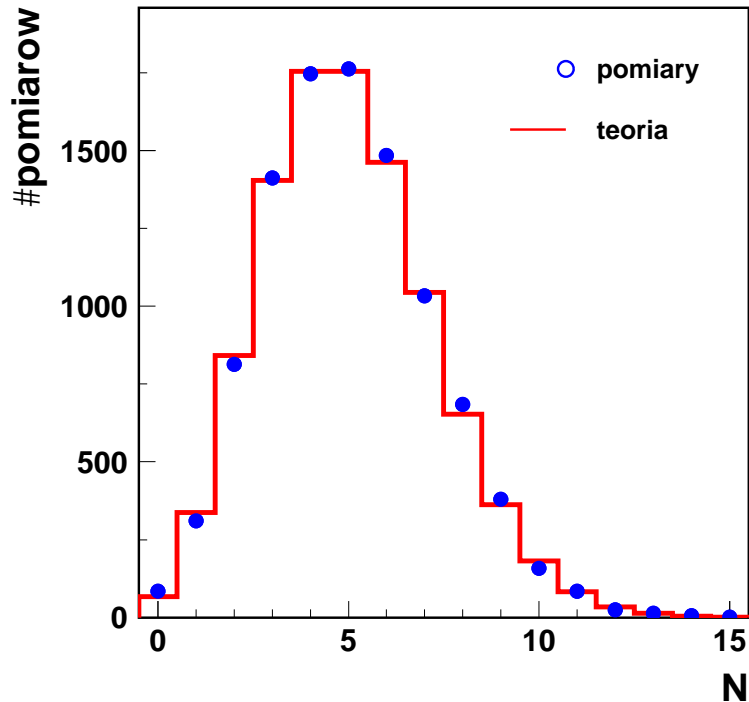
N - liczba zliczeń w jednym pomiarze



Błędy pomiarowe

Rozkład Poissona

Zestawienie wyników 10000 pomiarów:



Prawdopodobieństwo, że w kolejnym pomiarze zarejestrujemy N zliczeń wynosi:

$$p(N) = \frac{\mu^N e^{-\mu}}{N!}$$

Rozkład Poissona

μ - wartość oczekiwana rozkładu,
średnia liczba obserwowanych rozpadów

Błędy pomiarowe

Rozkład Poissona

W każdym pomiarze, mimo **identycznych warunków początkowych**, możemy otrzymać inny wynik.

Czasami są to wyniki bardzo rozbieżne od oczekiwanych.

Np. dla $\mu=5$ możemy zmierzyć

- $N=0$ rozpadów, z prawdopodobieństwem $\sim 0.7\%$
- $N \geq 10$ rozpadów, z prawdopodobieństwem $\sim 3.2\%$

Pomiar wielkości fizycznej opisanej rozkładem Poissona obarczony jest “naturalnym” błędem statystycznym

$$\text{Błąd} \sim \sqrt{\mu}$$

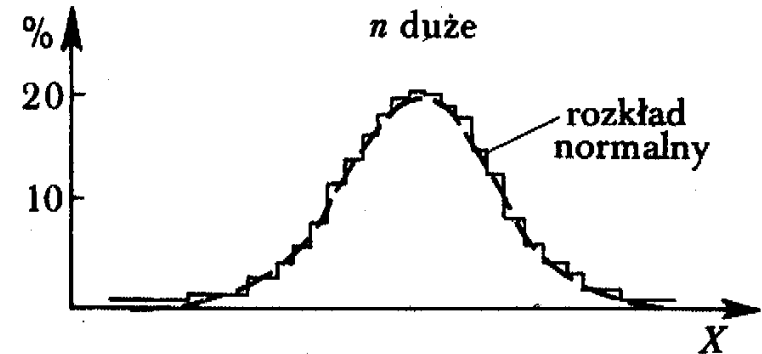
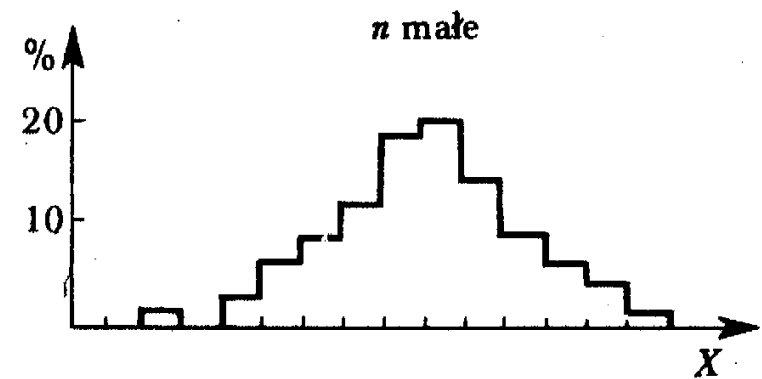
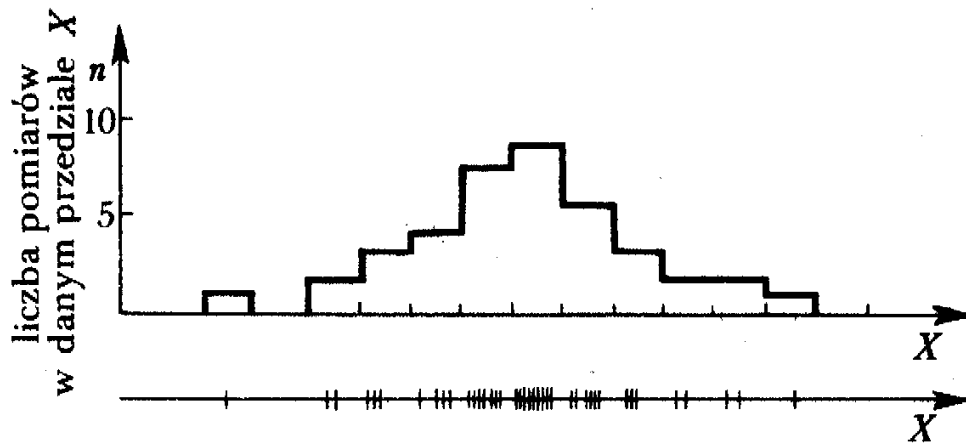
Względna dokładność pomiaru rośnie wraz ze wzrostem μ .

Staramy się (jeśli to możliwe) wydłużać czas pomiaru...

Błędy pomiarowe

Rozkład Gaussa

Przykładowe wyniki pomiarów ilościowych (np. długości stołu)



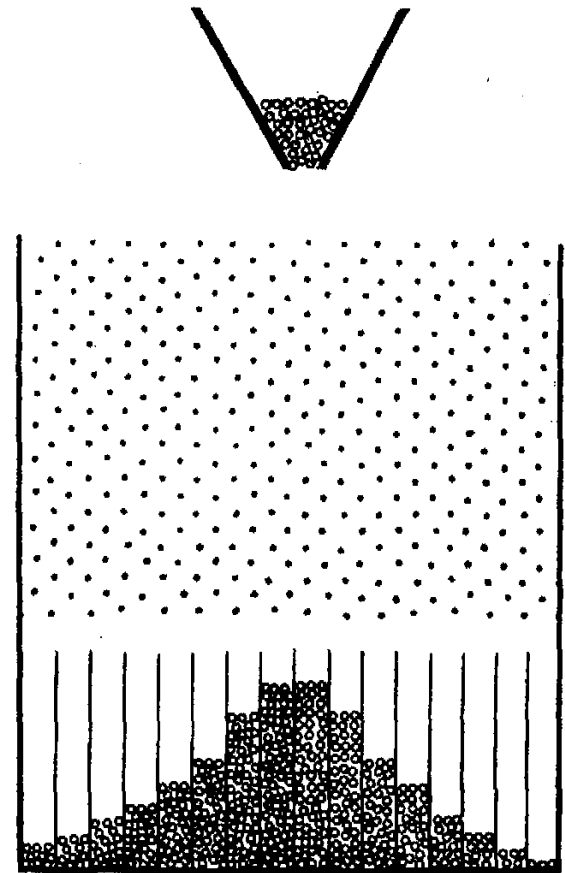
W przypadku wielkości fizycznych przyjmujących wartości rzeczywiste, wyniki pomiarów mają zazwyczaj rozkład normalny, nazywany też rozkładem Gaussa.

Błędy pomiarowe

Rozkład Gaussa

Rozkład Gaussa opisuje rozkład wyników pomiarów przy założeniu, że fluktuacje są wynikiem wielu niezależnych zaburzeń.

Model: deska Galtona \Rightarrow



Błędy pomiarowe

Rozkład Gaussa

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

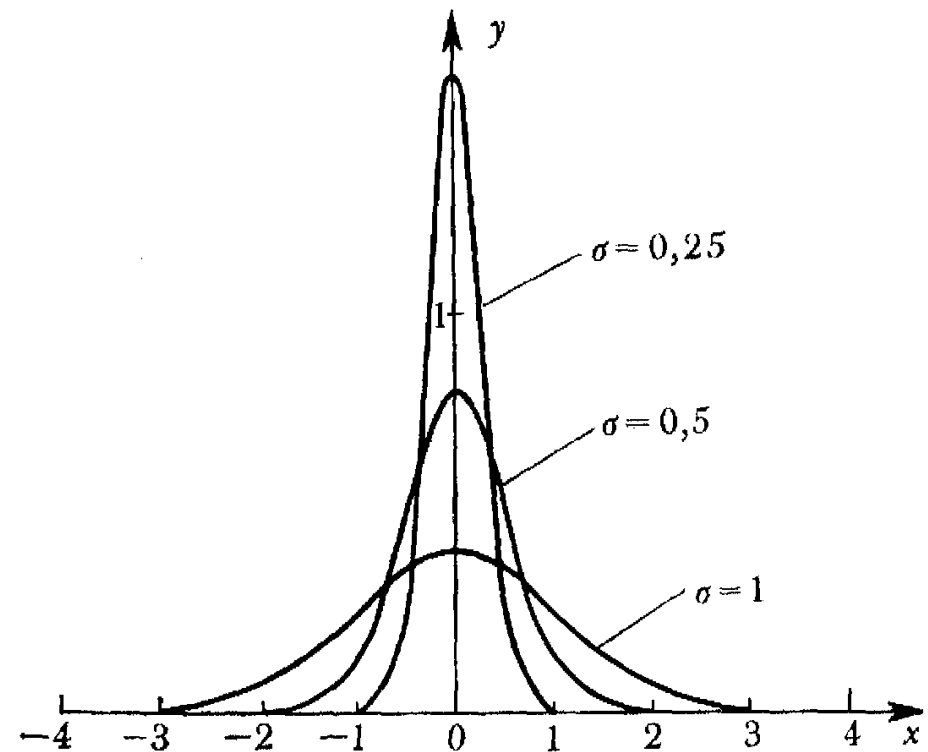
μ - wartość oczekiwana rozkładu,
średni wynik wielu pomiarów

σ - miara szerokości rozkładu

błąd pomiaru

średnie odchylenie kwadratowe:

$$\sigma^2 = \langle (x - \mu)^2 \rangle$$



Błędy pomiarowe

Rozkład Gaussa

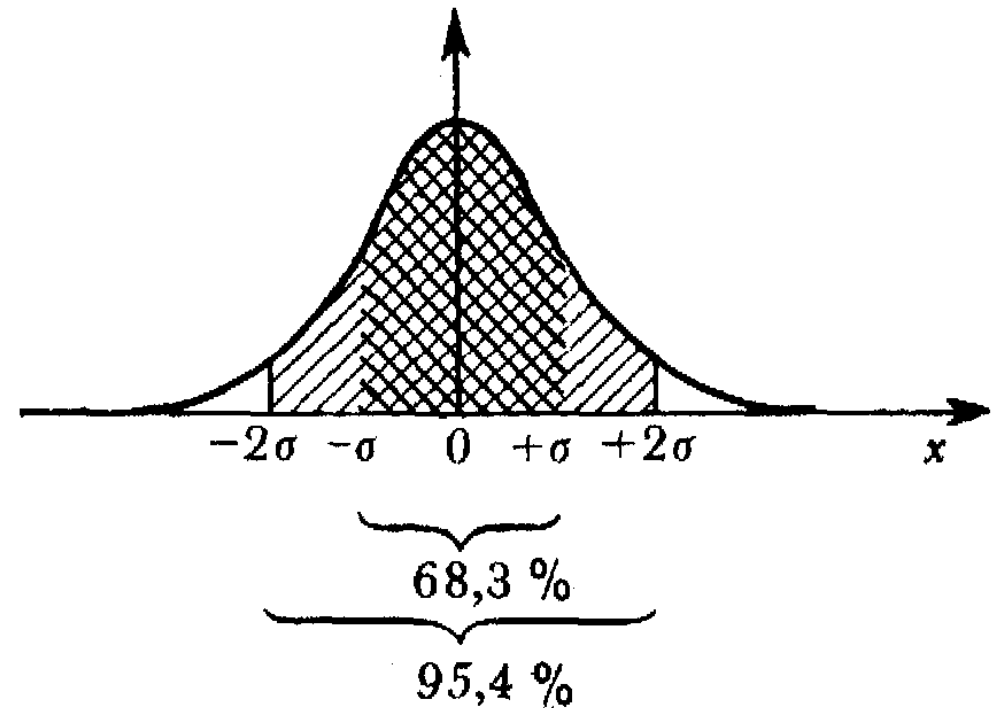
Błąd pomiaru wielkości fizycznej mówi nam o **oczekiwanej** (średniej kwadratowej) **wartości błędu**.

Możliwe są jednak wyniki pomiarów wielokrotnie przekraczające wartość błędu.

Prawdopodobieństwo odchylenia większego niż:

$\pm 1\sigma$	\Rightarrow	31.73	%
$\pm 2\sigma$	\Rightarrow	4.55	%
$\pm 3\sigma$	\Rightarrow	0.27	%
$\pm 4\sigma$	\Rightarrow	0.0063	%
$\pm 5\sigma$	\Rightarrow	0.000057	%

Rozkład prawdopodobieństwa



Błędy pomiarowe

Błędy przypadkowe (statystyczne)

Wynikają z fluktuacji (losowych zaburzeń) w przebiegu samego zjawiska, lub w procesie mierzenia. Nie wpływają na średni wynik pomiaru (wartość oczekiwaną).

Naogół opisujemy je rozkładem Gaussa lub Poissona

Błędy systematyczne

Stałe przesunięcie wyników pomiarów (wartości oczekiwanej) w stosunku do wartości prawdziwej.

Błąd systematyczny może się pojawić w wyniku:

- złej kalibracji (wyskalowania) urządzenia
- przyjęcia złej metody pomiaru
- zaniedbania istotnych poprawek

Właściwa ocena błędów systematycznych jest jednym z najtrudniejszych aspektów fizyki doświadczalnej...

Modele w fizyce

Aby opisać wyniki pomiarów tworzymy modele

Model opisowy

- pomiary
- ⇒ wybór parametrów istotnych dla rozważanego zagadnienia
które warunki początkowe można pominąć, a które nie
- szukanie zależności funkcyjnej
często poprostu ją zgadujemy (intuicja)
- dopasowanie parametrów funkcji
- porównanie z wynikami pomiarów
- ⇒ jeśli zgodność jest niezadawalająca, cofamy się o jeden lub kilka kroków

Modele w fizyce

Model opisowy

Przykład:

okres drgań wahadła matematycznego

- zależy tylko od długości wahadła l
nie zależy od masy kulki, koloru nici itp...
- wyniki dobrze opisuje zależność

$$T = A \cdot \sqrt{l [m]}$$

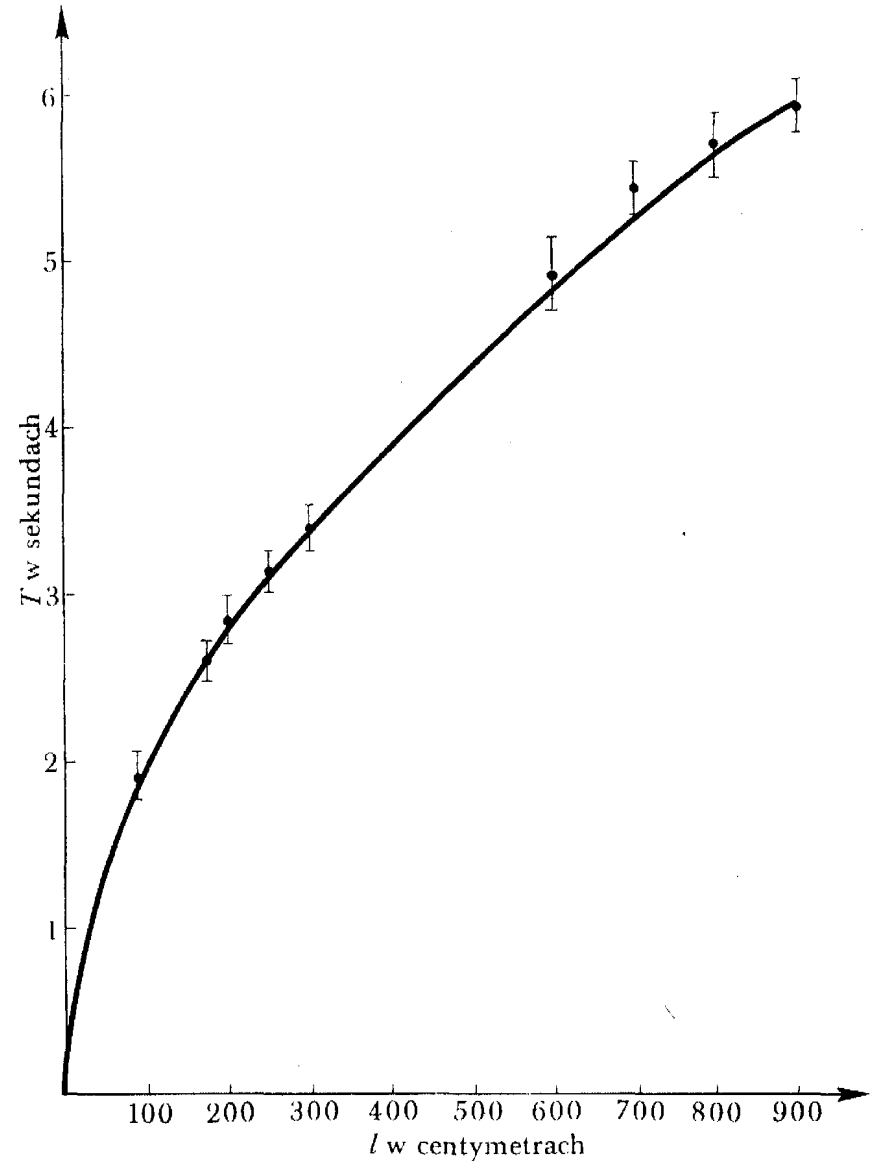
- dopasowanie

$$A = 1.99 \pm 0.07$$

$$T = 2 \cdot \sqrt{l [m]} \quad ???$$

- analiza wymiarowa

$$T = \frac{25}{4} \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \quad ???$$



Teoria i doświadczenie

Tworząc modele i teorie staramy się ująć **istotę zjawiska**.

Dlatego często posługujemy się **idealizacją** (np. punkt materialny, układ izolowany) i/lub **uogólniamy** wnioski wynikające z doświadczenia.

Staramy się też dostrzec uniwersalne zależności, symetrie lub prawa zachowania.

Podstawowe założenia: **niezbędne żeby móc zajmować się fizyką**

⇒ Prawa fizyki są wszędzie takie same.

Nawet w najdalszych zakątkach wszechświata...

⇒ Prawa fizyki nie zmieniają się w czasie.

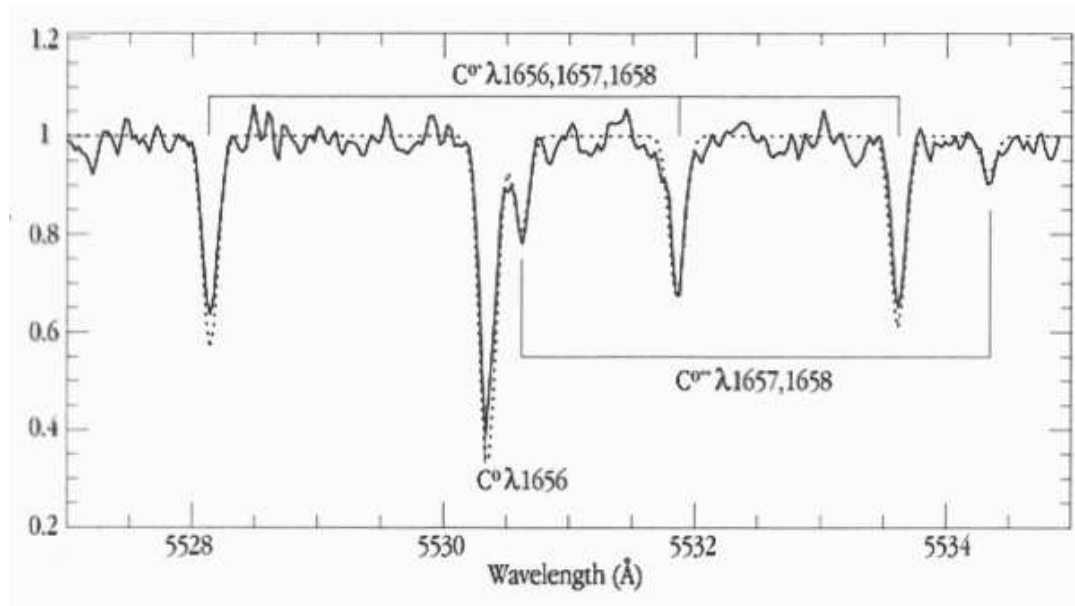
Są niezmiennie od chwili narodzin wszechświata...

też wynikają z doświadczenia...

Teoria i doświadczenie

Przykład:

Linie węgla w widmie kwazara PKS 1232+0815:



Przesunięcie linii widmowych (efekt Dopplera): $\lambda \approx 3.34\lambda_0$

⇒ prędkość oddalania $v \sim \frac{5}{6}c \approx 250\,000\text{ km/s}$

⇒ odległość od Ziemi (z prawa Hubble'a) $r \sim 10^{26}\text{ m}$

⇒ światło wysłane ok. 12 miliardów lat temu (wszechświat ~ 14 mld. lat)

Modele w fizyce

Model przyczynowy

Staramy się wniknąć w przyczyny obserwowanego zjawiska, mechanizm fizyczny danego procesu.

Wahadło matematyczne:

- ruch pod wpływem siły grawitacyjnej $\vec{F} = m\vec{g}$
- przybliżenie małych wychyleń

⇒ proste równanie różniczkowe:

$$l \frac{d^2\theta}{dt^2} = -g \theta$$

- rozwiązanie: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$
 $\frac{2\pi}{\sqrt{g}} \approx 2.03 \text{ s} \cdot \text{m}^{-\frac{1}{2}}$

Teoria i doświadczenie

Tworząc teorię często formułujemy pewne **założenia** nie wynikające wprost z doświadczenia, albo **sprawdzone** tylko w **ograniczonym obszarze** parametrów (!)

Kierujemy się kryteriami **prostoty i elegancji** modelu, staramy się dostrzec dodatkowe, głębsze **symetrie** rozważanego zagadnienia, czasami odwołujemy się także do “**naturalności**” modelu.

Jednak rozstrzygającym kryterium poprawności modelu jest **doświadczenie!**

Niestety, doświadczenie nigdy nie udowodni 100% poprawności teorii, gdyż nigdy nie jesteśmy w stanie wykonać wszystkich możliwych pomiarów. Może co najwyżej wskazać **zakres jej stosowalności**.

Natomiast pojedynczy pomiar może "obalić" teorię (ew. ograniczyć zakres jej stosowalności).

Musimy zawsze być przygotowani do rewizji poczynionych założeń!

przykład: symetria względem odbicia przestrzennego łamana w oddziaływaniach słabych

Teoria i doświadczenie

Analizując wyniki pomiarów, poszukując opisującego je modelu, trzeba dobrze zastanowić się nad wszystkimi założeniami.

Wielokrotnie już obalano najbardziej nawet utrwalone założenia.

Szczególne teoria względności jest jednym z przykładów.

Nawet najbardziej “oczywiste” założenia: (które przyjmuje w dalszej części wykładu)

- przestrzeń jest trójwymiarowa
- przestrzeń jest płaska

wcale nie muszą być spełnione!

Od kilku lat “modne” w fizyce cząstek stało się poszukiwanie “dodatkowych wymiarów”

Jak dobrze znamy “wymiar” świata w którym żyjemy ?

Czy mogą być więcej niż 3 wymiary przestrzenne ?!

⇒ **NIE** - jeśli pytamy o nieskończone wymiary

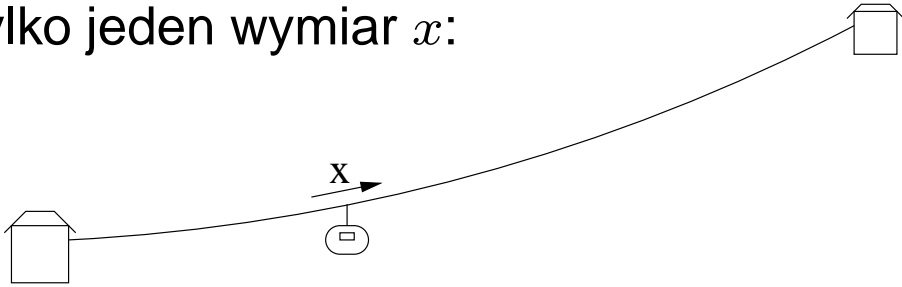
⇒ **TAK** - jeśli dopuścimy wymiary skończone

Ciekawostka

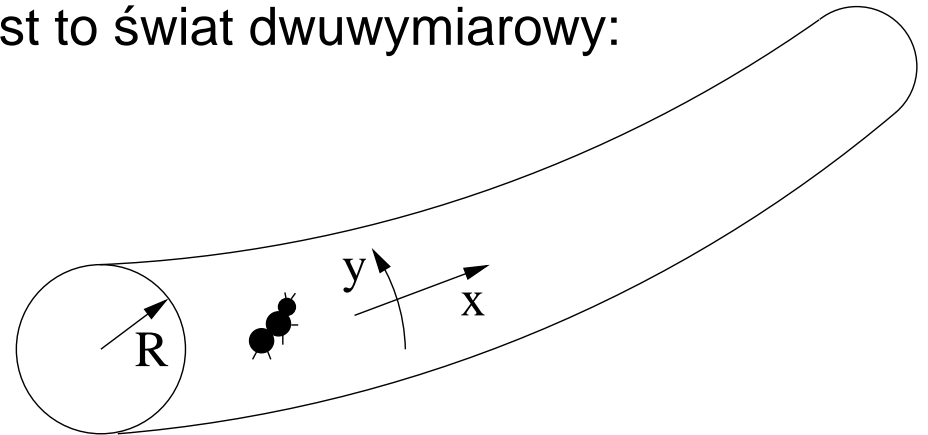
Dodatkowe wymiary

Przykład:

Gdy rozpatrujemy ruch wagonika kolejki linowej przyjmujemy, że lina ma tylko jeden wymiar x :



Ale dla mrówki, która idzie po tej linii jest to świat dwuwymiarowy:



y jest współrzędną cykliczną.

Dodatkowy wymiar zauważamy dopiero gdy przyglądamy się z rozdzielczością $\Delta < R$

Z pomiarów grawitacyjnych wykluczono dodatkowe wymiary z $R \geq 100\mu m$.

W fizyce cząstek wciąż moglibyśmy obserwować efekty dodatkowych wymiarów...

Istnienie dodatkowych wymiarów mogłoby wytłumaczyć wiele zagadek...



Grawitacja słaba, bo pole "ucieka" w dodatkowe wymiary...

Ogólna klasyfikacja zjawisk

Fizyka nierelatywistyczna (“klasyczna”)

Opisuje zachowanie obiektów makroskopowych poruszających się z “umiarkowanymi” prędkościami.

Fizyka “dnia codziennego”

Fizyka relatywistyczna

Wkracza wtedy, gdy prędkości względne stają się porównywalne z prędkością światła $c \equiv 299\,792\,458\text{ m/s} \approx 300\,000\text{ km/s}$.

Fizyka współczesna bardzo często wymaga stosowania podejścia relatywistycznego.

Bez uwzględnienia efektów relatywistycznych nie jest także możliwe pełne zrozumienie wielu “codziennych” zjawisk, np. oddziaływań magnetycznych!

Ogólna klasyfikacja zjawisk

Odejście od zasad fizyki klasycznej następuje też w przypadku obiektów mikroskopowych

Fizyka kwantowa

Wkracza gdy

$$\left. \begin{array}{l} \text{energia} \times \text{czas} \\ \text{pęd} \times \text{długość} \\ \text{moment pędu} \end{array} \right\} \sim h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

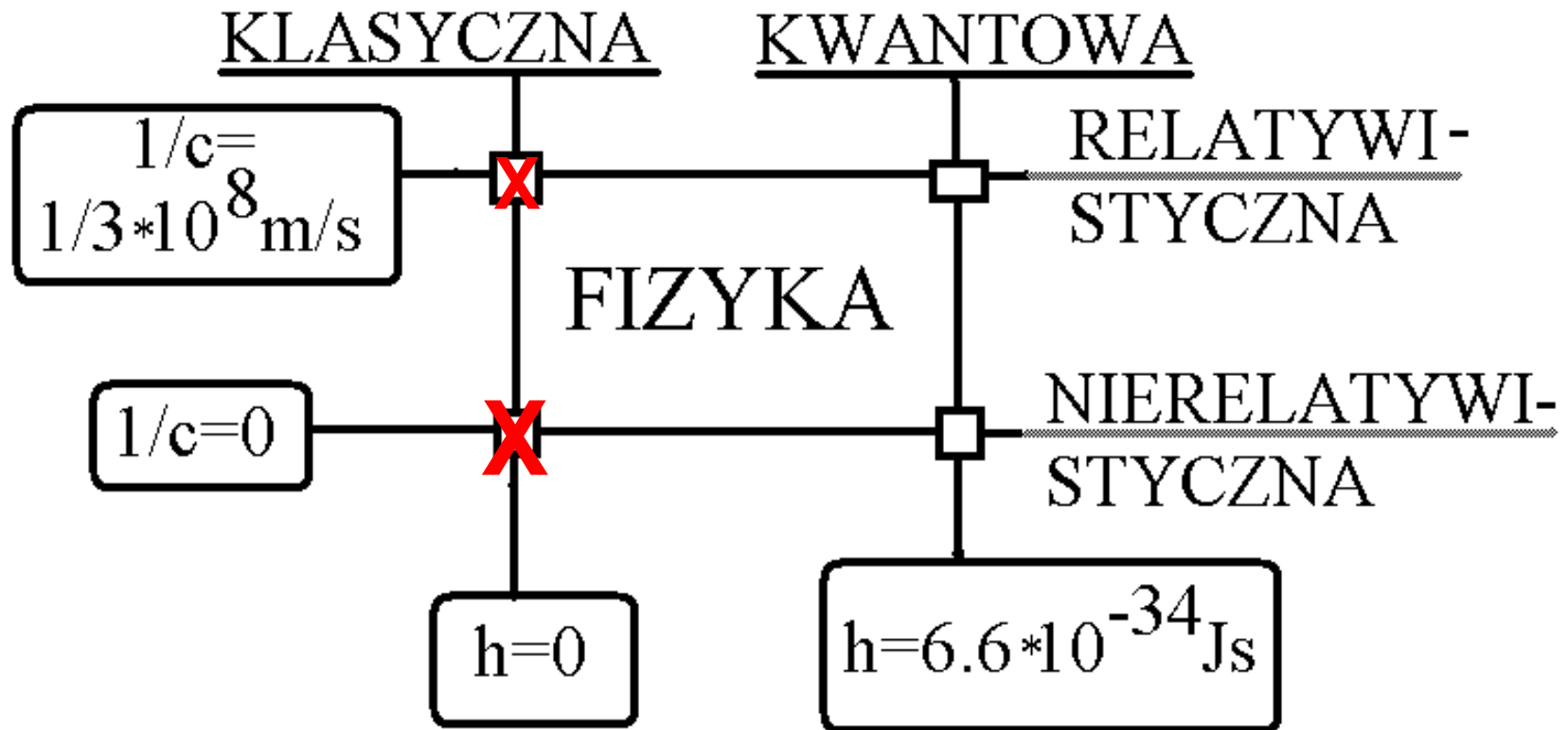
działanie stała Plancka

Stała Plancka jest niesłychanie mała.

Fizyka kwantowa potrzebna dopiero do opisu zachowania atomów, cząstek itp.

Dla wszelkich obiektów makroskopowych stosujemy fizykę klasyczną

Podsumowanie



X - ten wykład



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt **Fizyka wobec wyzwań XXI w.**
współfinansowany przez Unię Europejską
ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego
w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki