Pomiary fizyczne

Wstęp do Fizyki I (B+C)

Wykład II

Wykład II:

- Rodzaje pomiarów
- Układ jednostek SI
- Błedy pomiarowe
- Modele w fizyce

Rodzaje pomiarów

Zliczanie

Przykłady:

- liczba grzybów w barszczu
- liczba kropel 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 pojedyńczego 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 liczbowa 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

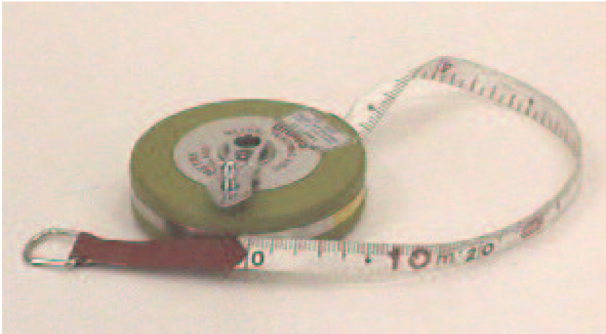
Częstość promieniowania dla tej lini cezu wynosi z definicji 9 192 631 770 Hz.

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:

- 10^{-7} 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

Jednostki pochodne

yotta	10^{24}	Y
zetta	10^{21}	Z
exa	10^{18}	E
peta	10^{15}	P
tera	10^{12}	T
giga	10^{9}	G
mega	10^{6}	M
kilo	10^{3}	k
hekto	10^{2}	h
deka	10	da

decy	10^{-1}	d
centy	10^{-2}	c
mili	10^{-3}	m
mikro	10^{-6}	μ
nano	10^{-9}	n
piko	10^{-12}	p
femto	10^{-15}	f
atto	10^{-18}	a
zepto	10^{-21}	z
yokto	10^{-24}	y

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

Błędy pomiarowe

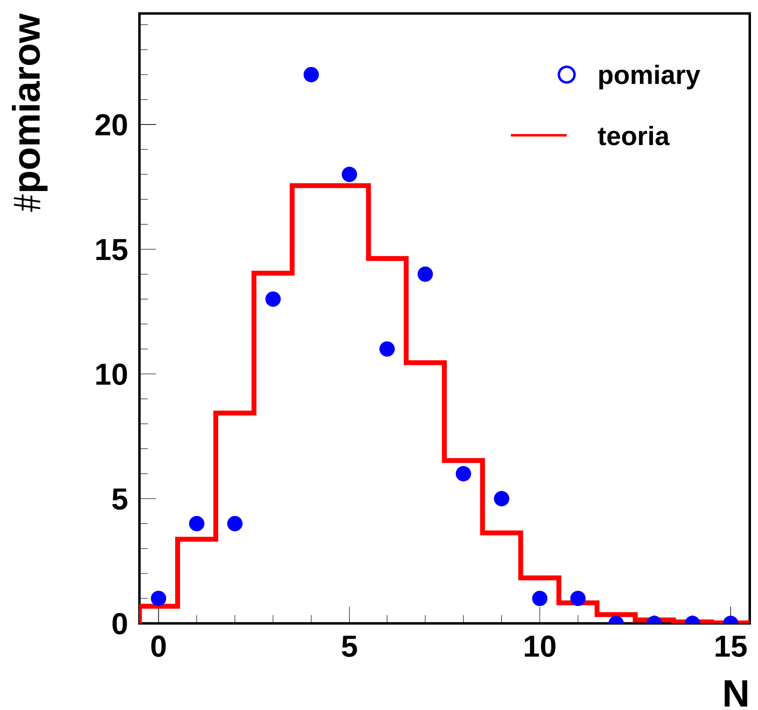
Rozkład Poissona

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 źródełka dającego średnio 5 rozpadów na sekundę (każdy pomiar: 1 sekunda) $\Rightarrow$

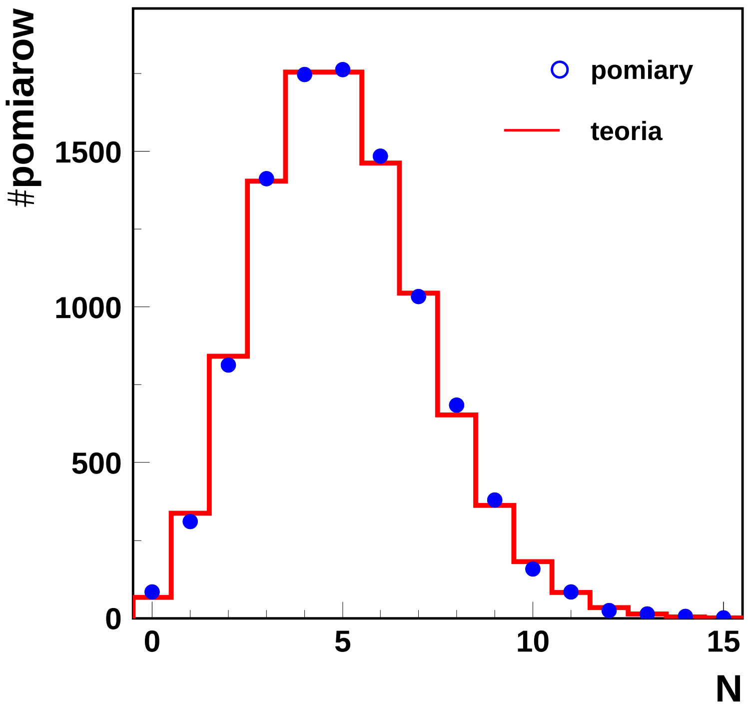


N - liczba zliczeń w jednym pomiarze

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 rozmieżne od oczekiwanych.

Np. dla μ=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" błedem statystycznym

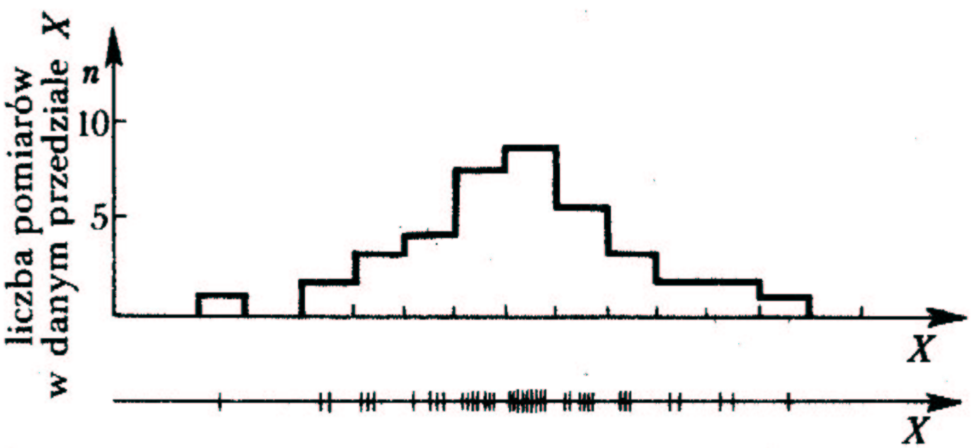
$$\boxed{\text{Błąd} \sim \sqrt{\mu}}$$

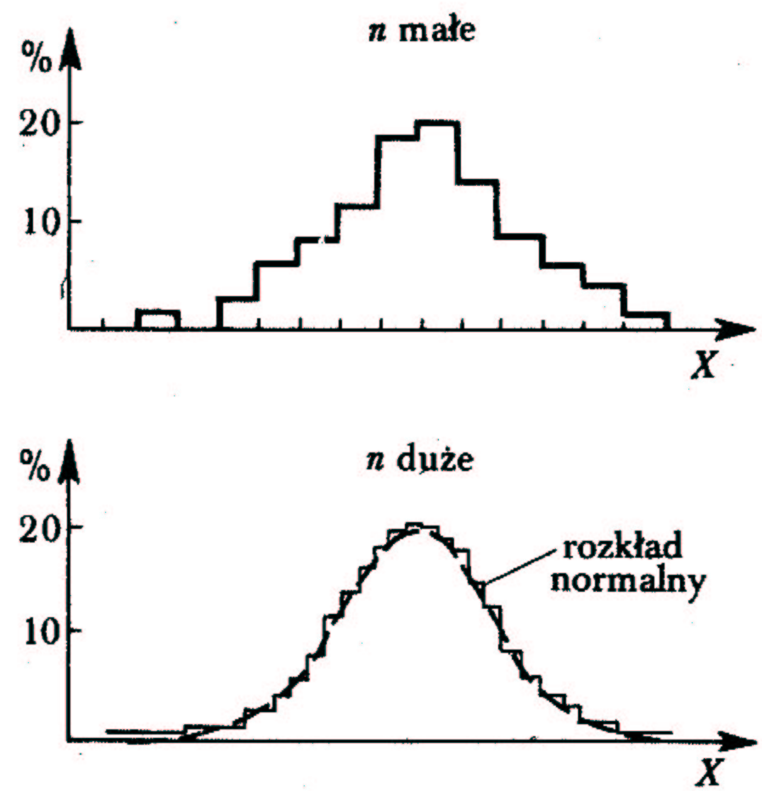
Względna dokładność pomiaru rośnie wraz ze wzrostem μ.
Staramy sie (jeśli to możliwe) wydłużać czas pomiaru...

Błędy pomiarowe

Rozkład Gaussa

Przykładowe wyniki pomiarów ilościowych (np. długości stołu)





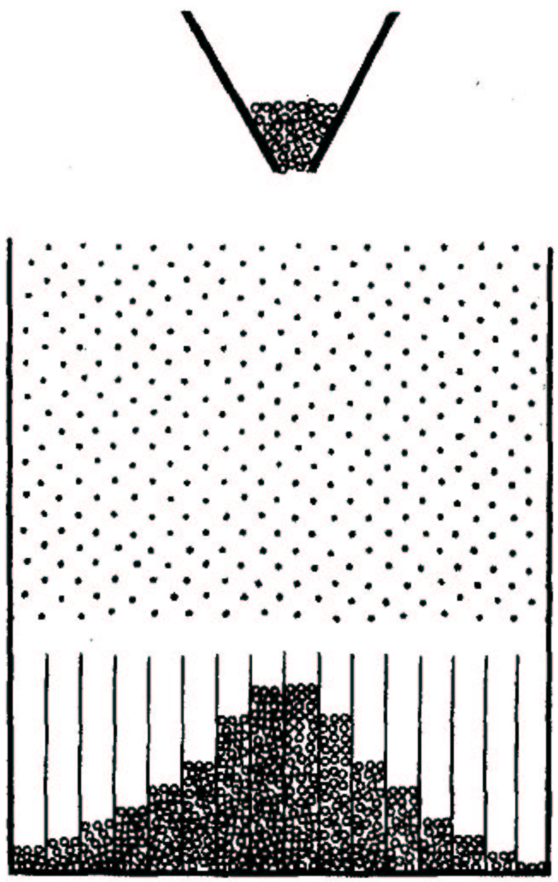
W przypadku wielkości fizycznych przyjmujących wartości rzeczywiste, wyniki pomiarów mają zazwyczaj rozkład normalny, nazywany też rozkładem Gaussa.

Błędy pomiarowe

Rozkład Gaussa

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

Model: deska Galtona $\Rightarrow$



Błędy pomiarowe

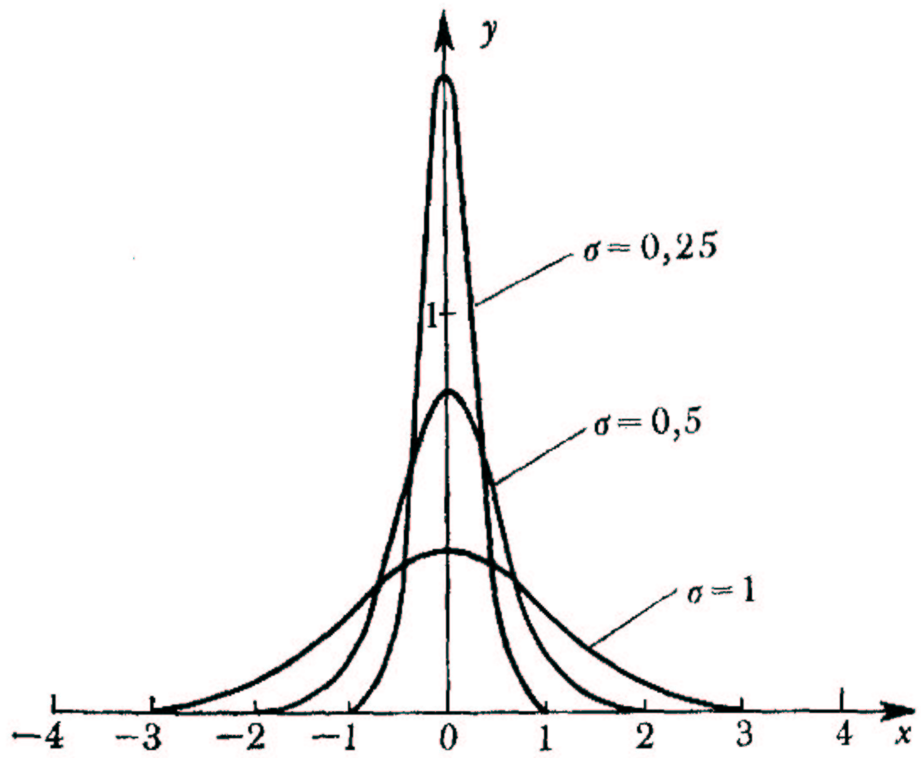
Rozkład Gaussa

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

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

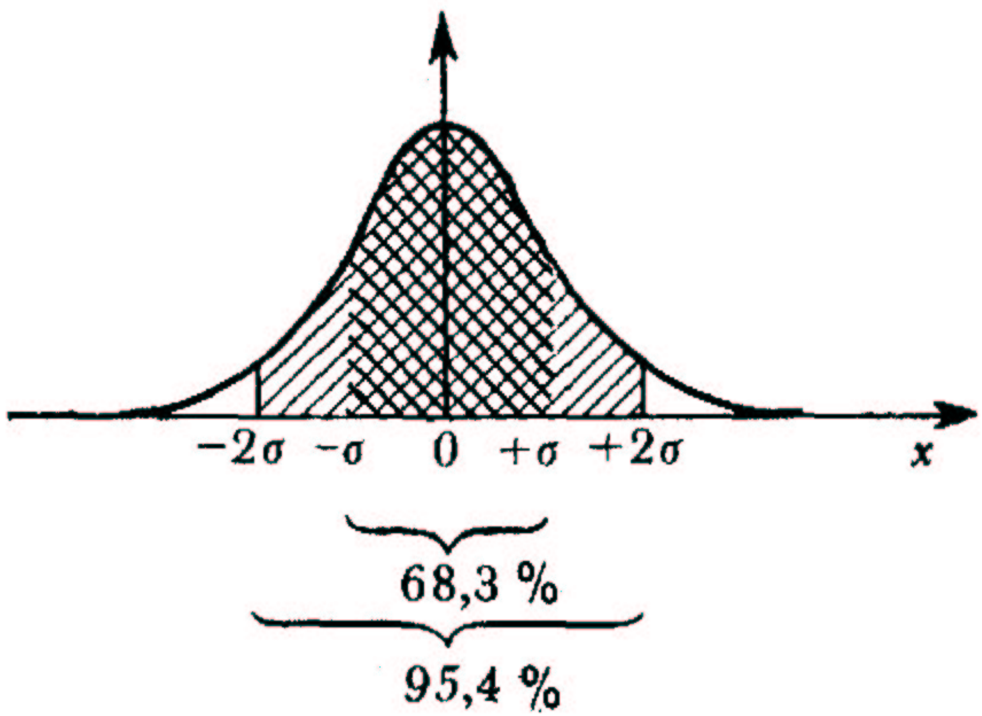
Błąd pomiaru wielkości fizycznej mówi nam o oczekiwanej (średniej kwadratowej) wartości błędu.

Możliwe są jednak wyniki pomiarów wielkrotnie 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...

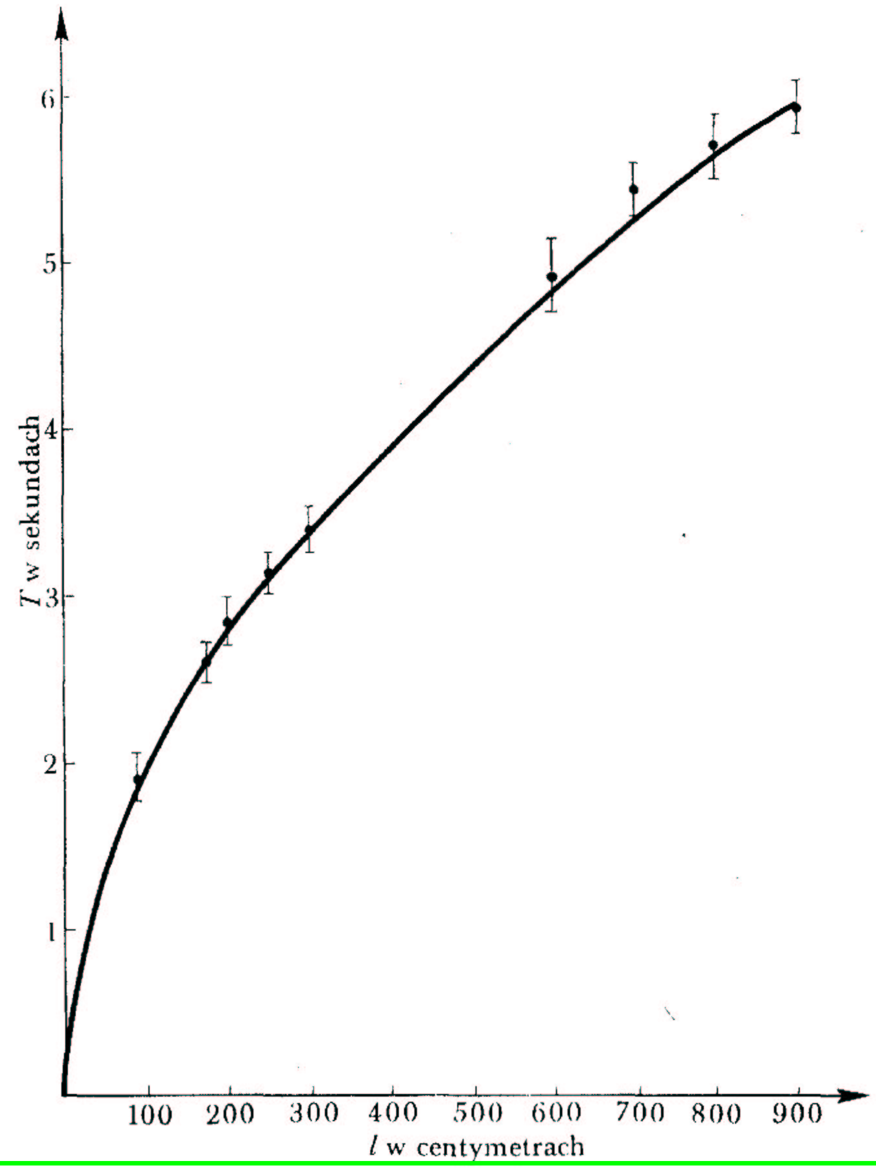
- wyniki dobrze opisuje zależność

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

- dopasowanie

$$A = 1.99 \pm 0.07$$

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



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

$\Rightarrow$ proste równanie różniczkowe:

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

- rozwiązanie: $$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\frac{2\pi}{\sqrt{g}} \approx 2.03\ s \cdot m^{-\frac{1}{2}}$$

Modele w fizyce

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

Wielokrotnie już doświadczenie obalało najbardziej nawet utrwalone założenia.

Ciekawostka

Ostatnio "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 ?!

$\Rightarrow$ **NIE** - jeśli pytamy o nieskończone wymiary

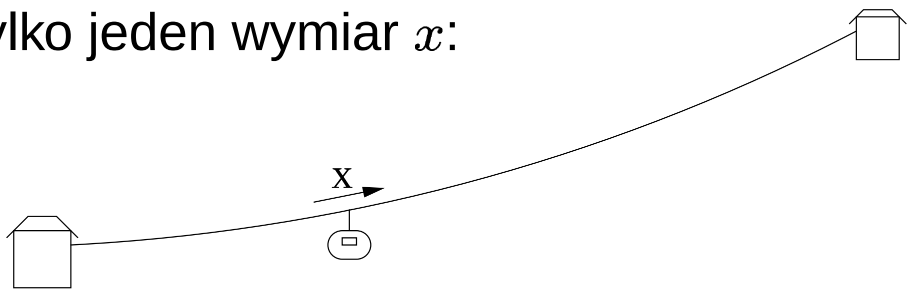
$\Rightarrow$ **TAK** - jeśli dopuścimy wymiary skończone

Ciekawostka

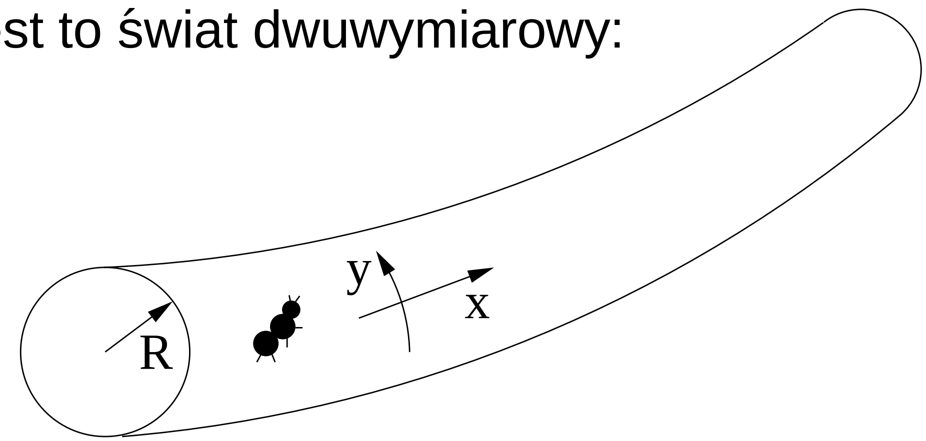
Dodatkowe wymiary

Przykład:

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



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



y jest współrzędną cykliczna.

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

Z pomiarów grawitacyjnych wykluczono dodatkowe wymiary z $R \geq 200 \mu\ m$.

Istnienie dodatkowych wymiarów mogłoby wytłumaczyć wiele zagadek...

Grawitacja słaba, bo pole “ucieka” w dodatkowe wymiary...