



Proszę o uwagę

FIZYKA 1

konsultacje:
Poniedziałek
godz. 12¹⁵-13⁰¹

prof. dr hab. inż. Leszek R. Jaroszewicz
czł. koresp. PAN

pok. 078/100
tel. 261-83-93-93
e-mail: jarosz@wat.edu.pl
www.jaroszewicz.com



Zanim przejdziemy do wykładu przedstawię Państwu krótko patrona tej auli:



Sylwester Damazy Kaliski (ur. 19 grudnia 1925 r. w Toruniu, zm. 16 września 1978 r. w Warszawie) – generał dywizji WP, profesor naukowiec,

- Komendant - rektor Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie w latach 1967-74
- Członek rzeczywisty Polskiej Akademii Nauk (1969-78)
- Minister Nauki Szkolnictwa Wyższego i Techniki (1974-78)

Jego zasadnicza dla WAT zasługa to zmiana statusu WAT z jednej z wielu szkół oficerskich na ważną wyższą uczelnię techniczną Polski.

W 1973 przeprowadził eksperyment kontrolowanej mikrosyntezy termojądrowej, osiągając temperaturę plazmy 10 milionów stopni (tzw. *Eksperyment „Focus”*). W 1976 utworzył Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy i został jego pierwszym dyrektorem. Był wybitnym specjalistą w dziedzinie teorii pól sprzężonych, badań termojądrowych, twórcą polskiej elektronofoniki.

1. Wprowadzenie do przedmiotu

1.1. Wiadomości wstępne

1.2. Metodologia fizyki:

- przedmiot fizyki
- układy jednostek
- metodologia pomiarów fizycznych:
 - pomiar,
 - rodzaje błędów (niepewności pomiarowych),
 - obliczanie niepewności pomiarowych,
 - prawo przenoszenia niepewności pomiarowych,
 - wykresy.



Rozliczenie godzinowe

Semestr	Forma zajęć			
	Razem	Wykłady	Ćwiczenia	Laboratoria
II	80	40	30	10
III	60	30	20	10
Suma	140	70	50	20

Treść programu (Fizyki 1)

- Elementy rachunku wektorowego
- Fizyczne podstawy mechaniki
- Dynamika bryły sztywnej
- Zasady zachowania w mechanice
- Fizyka relatywistyczna
- Ruch drgający
- Pola elektrostatyczne i magnetyczne
- Indukcja elektromagnetyczna

EFEKTY KSZTAŁCENIA

Po ukończeniu zajęć student:

- ma wiedzę w zakresie fizyki niezbędną do zrozumienia podstawowych zjawisk fizycznych
- zna podstawowe prawa i zasady fizyki z zakresu mechaniki i teorii pól
- zna podstawy rachunku wektorowego i różniczkowego
- **rozumie zjawiska fizyczne**
- ma umiejętność wykorzystania praw przyrody w technice i życiu codziennym
- potrafi stosować zapis matematyczny do ilościowego opisu zjawisk fizycznych
- ma świadomość ważności zachowywania się w sposób profesjonalny, konieczności przestrzegania zasad etyki zawodowej

Literatura

1. OpenStax: Fizyka dla szkół wyższych (wersja PDF i internetowa)
 - tom 1, <https://openstax.org/details/books/fizyka-dla-szkol-wyzszych-tom-1>
 - tom 2, <https://openstax.org/details/books/fizyka-dla-szkol-wyzszych-tom-2>
 - tom 3, <https://openstax.org/details/books/fizyka-dla-szkol-wyzszych-tom-3>
2. M. Demianiuk: Wykłady z fizyki dla inżynierów cz. I, II, i III, Wyd. WAT 2001
3. M. Demianiuk: Wybrane przykłady zadań do wykładów z fizyki dla inżynierów, Wyd. WAT 2002
4. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: Podstawy fizyki. Cz. I-V, PWN, Warszawa, 2003
5. A. Rogalski: Podstawy fizyki dla elektroników, Wyd. WAT 2002
6. Z. Raszewski: Fizyka ogólna. Przykłady i zadania z fizyki, cz. I. Rozwiązania i odpowiedzi do zadań z fizyki, cz.II. Wyd. WAT 1994
7. Materiały na stronie wydziału WTC: <http://www.wtc.wat.edu.pl/instytut-fizyki-technicznej/dydaktyka>
8. Moja strona www.jaroszewicz.com/lectures (Lecture since 2nd semester 2018/2019)

Przedmiot zaliczany jest na podstawie egzaminu, który jest przeprowadzany w formie pisemno-ustnej

Ćwiczenia rachunkowe – zaliczenie ćwiczeń rachunkowych odbywa się na podstawie ocen z 2 kolokwium przeprowadzonych na ćwiczeniach oraz aktywności studentów na zajęciach.

Laboratorium – zaliczenie ćwiczenia laboratoryjnego wymaga uzyskania pozytywnej oceny ze sprawdzianu przed rozpoczęciem ćwiczenia, wykonania ćwiczenia i oddania pisemnego sprawozdania z ćwiczenia.

Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest uzyskanie pozytywnych ocen z ćwiczeń rachunkowych i laboratoryjnych oraz egzaminu, gdzie **ocena śródkresowa na 11 oraz 2 połowie 20 zajęć ma istotny wpływ na ocenę z egzaminu**

Osiągnięcie efektów Wszystkie sprawdziany i referaty są oceniane wg następujących zasad:

- ocena 2 – poniżej 50% poprawnych odpowiedzi;
- ocena 3 – 51 ÷ 60% poprawnych odpowiedzi;
- ocena 3,5 – 61 ÷ 70% poprawnych odpowiedzi;
- ocena 4 – 71 ÷ 80% poprawnych odpowiedzi;
- ocena 4,5 – 81 ÷ 90% poprawnych odpowiedzi;
- ocena 5 – powyżej 91% poprawnych odpowiedzi.

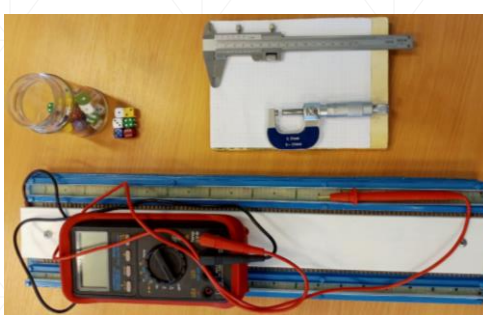
Ocenę **bardzo dobrą** otrzymuje student, który posiadał wiedzę, umiejętności i kompetencje przewidziane efektami kształcenia, a ponadto wykazuje zainteresowanie przedmiotem, w sposób twórczy podchodzi do powierzonych zadań i wykazuje się samodzielnością w zdobywaniu wiedzy, jest wytrwały w pokonywaniu trudności oraz systematyczny w pracy.

Plan zajęć laboratoryjnych

- zajęcia w budynku 100 (sztab) sale 139-143
- literatura:
 - **ĆWICZENIA LABORATORYJNE Z FIZYKI**, *Tomasz Kostrzyński, Jolanta Rutkowska, Konrad Zubko*, WAT 2008, Sygnatura 64662
<http://www.wtc.wat.edu.pl>
- 5 ćwiczeń laboratoryjnych wykonywanych w zespołach 2 osobowych w semestrze letnim jak i zimowym
- **Pierwsze zajęcia laboratoryjne:**
 - Wszyscy wykonują to samo ćwiczenie nr 1;
 - należy przygotować się z teorii do tego ćwiczenia, czyli rozkładu Gaussa;
 - wymagane: karta tytułowa, karta pomiarów, karta z istotą ćwiczenia, odpowiedź z teorii;
 - podział na podgrupy zostanie dokonany na podstawie list studentów,
 - w ramach Fizyki 1 wszystkie podgrupy realizują taki sam zestaw ćwiczeń (**1, 8, 46, 47, 48**).

ĆWICZENIE 1

Rozkład normalny



ĆWICZENIE 8

Wyznaczenie współczynnika lepkości cieczy metodą Stokesa



ĆWICZENIE 46

Wyznaczanie przyspieszenia grawitacyjnego za pomocą wahadła matematycznego



ĆWICZENIE 47

Wyznaczenie stałej sprężystości sprężyny



ĆWICZENIE 48

Badanie praw Kirchhoffa



Na stronie

<http://www.wtc.wat.edu.pl/instytut-fizyki-technicznej/dydaktyka/fizyka-cwiczenia-laboratoryjne/>

Znajduje się:

- Regulamin laboratorium fizyki
- Harmonogram ćwiczeń laboratoryjnych
- Prezentacja dotycząca zajęć wstępnych
- Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych
 - wstęp do teorii pomiarów
 - teoria pogrupowana działami
 - karta tytułowa
 - przykładowe sprawozdanie
 - przykładowe pytania
 - skrócone opisy ćwiczeń
- Instrukcje do ćwiczeń o numerach **46**, **47**, **48** znajdują się tylko w Internecie.

Czas trwania – 2 godz. lekcyjne

W tym czasie należy:

- oddać sprawozdanie z poprzednich zajęć
- zaliczyć sprawdzian teoretyczny
- zapoznać się z układem pomiarowym
- przeprowadzić część pomiarową
- Kartę Pomiarów przedstawić do podpisu
- uzyskać ewentualne wskazówki co do opracowania wyników

[Opracowanie sprawozdania, po zajęciach](#)

Sposób wykonania sprawozdania

- na kartkach papieru formatu A4. Sprawozdanie powinno zawierać:
 - kartę tytułową
 - kartę pomiarów
 - opis teoretyczny – opracowany odręcznie, istota ćwiczenia, 1-2 strony A4, bez powielania skryptu (ewentualnie odpowiedzi na przesłane przez prowadzącego pytania)
 - opracowanie ćwiczenia – czynności, wzory, przykładowe obliczenia, wyniki z niepewnościami w tabeli, rachunek jednostek, zaokrąglenia
 - wykresy na papierze milimetrowym A4
 - podsumowanie – przedstawianie rezultatów, ich ocena (analiza), podanie wniosków, w tym przyczyny błędów

Zasady zaliczenia

- ocena z ćwiczenia (teoria + sprawozdanie)
- należy zaliczyć wszystkie ćwiczenia (5 lab.)
- ocena końcowa = średnia ze wszystkich ćwiczeń
- są 3 podstawowe podejścia do zaliczenia każdego sprawozdania: 2 w I-szym terminie do sesji egzaminacyjnej, trzecie w sesji poprawkowej i ewentualni 4 w tzw. 3-cim terminie

Przykład karty tytułowej – górna połowa

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA ĆWICZENIA LABORATORYJNE Z FIZYKI

Termin wpisu do USOSu mija/...../..... prowadząc(a/y)

grupa podgrupa / sala zespół semestr zimowy / letni roku akademickiego 20...../20.....

student(ka)

SPRAWOZDANIE Z PRACY LABORATORYJNEJ nr

pomiary wykonano dnia jako ćwiczenie z obowiązujących

OCENA ZA TEORIE				
<i>data</i>				
podejście	1 (zasadnicze)	2 (poprawa)	3 (sesja poprawkowa)	4 (termin 3 USOS)
OCENA KOŃCOWA				
<i>data</i>				
Uwagi do sprawozdania:	<u>2. Istota ćwiczenia:</u> a) cele b) wielkości mierzone c) metody pomiaru d) metody opracowania	<u>3. Pomiary:</u> a) wstępne b) zasadnicze c) szacow. niepewności d) parametry stanowiska	<u>4. Opracowanie:</u> a) bilans jednostek b) wyznaczone wartości c) ich niepewności d) wykonanie wykresów	<u>5. Podsumowanie:</u> Zestawienie/ zaokrąglenia Analiza/ Synteza/
<u>1. Karta tytułowa:</u>				

Istota fizyki

- poszukiwanie i poznawanie podstawowych praw przyrody
- ścisły związek fizyki z techniką
- fizyka jest nauką ścisłą – matematyczny opis praw fizycznych
- fizyka opiera się na pomiarach



KURS ROCZNY
F I Z Y K I
EXPERYMENTALNEY

W CESARSKIM UNIWERSYTECIE
WILEŃSKIM,

PRESES

FELIXA DRZEWIŃSKIEGO

FILOZOFII DOKTORA

czwarty raz publicznie wykładany.

Z figurami w VII tablicach.

WILNO. NAKŁADEM I DRUKIEM A. MARCINOWSKIEGO.

1 8 2 3

W S T Ę P

Przedmiot Fizyki. O własnościach ogólnych materji.

FIZYKA nazwisko nauki pochodzące od wyrazu greckiego *Physis* natura, przyrodzenie, oznacza naukę poznawania natury. Przyrodzeniem, albo naturą zmysłową, zwiemy to wszystko cokolwiek działa na zmysły nasze, i sprawuje w nas czucie. Wszystkie więc rzeczy nas otaczające, których się dotykamy, na które patrzymy, to co słyszymy, co działa na zmysły smaku, i powonienia, wszystko to stanowi naturę zmysłową, i poznawanie tego wszystkiego do Fizyki należy. Preto Fizyka jest nauką poznawania rzeczy świat składających, badania i dochodzenia ich własności.

Rzeczy składające świat fizyczny, to jest zmysłom naszym dostępny, są niezmiernie liczne, i rozmaitemi własnościami obdarzone. Cała ziemia i części ją składające, istoty na niej i wewnątrz jey umieszczone, niebo i to co na niem postrzegamy, powietrze w którym żyjemy, budowa nas samych i innych podobnych nam jestestw, to wszystko stanowi świat zmysłowy. W epokach zaczęcia nauk, badania tych wszystkich rzeczy stanowiły jedną naukę mającą ogólne nazwisko Fizyki: taką miały fizykę starożytne narody Egipcyan, Greków, i Rzymian.

Jednostki układu SI

~~$10^3 \text{ kg} = \text{megagram} = \text{tona}$~~

- prędkość światła w próżni c równą $299\,792\,458$ [m/s],
- stałą Plancka h równą $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ [J s],
- ładunek elementarny e równy $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ [C],
- stałą Boltzmann k równą $1.380\,649 \times 10^{-23}$ [J/K],
- stała Avogadra N_A równą $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ [1/mol],
- częstotliwość nadsubtelnego przejścia w atomach cezu 133 w niezaburzonym stanie podstawowym, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ równą $9\,192\,631\,770$ [Hz],
- skuteczność świetlną monochromat. promieniowania o częstotliwości 540×10^{12} [Hz], K_{cd} , równą 683 [lm/W].

czynnik	przedrostek	symbol
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^{-2}	centy	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n

wielkość	nazwa	symbol	j. wielokrotne	
długość	metr	m	centymetr	cm
masa	kilogram	kg	gram	g
czas	sekunda	s	mikrosekunda	μs
prąd elektryczny	amper	A	nanoamper	nA
temperatura	kelwin	K	milikelwin	mK
liczność materii	mol	mol		17
światłość	kandela	cd		

Sekunda jest zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej częstotliwości cezowej $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, wyrażonej w jednostce [Hz] (częstotliwości nadsubtelnego przejścia w ^{133}Cs)

Metr jest zdefiniowany poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej prędkości światła w próżni c wyrażonej w jednostce [m/s], przy czym sekunda zdefiniowana jest za pomocą częstotliwości cezowej $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Kilogram jest zdefiniowany poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej stałej Plancka h , wyrażonej w jednostce [J s], przy czym metr i sekunda zdefiniowane są za pomocą c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$

Amper jest zdefiniowany poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej ładunku elementarnego e , wyrażonej w jednostce [C], gdzie sekunda zdefiniowana jest za pomocą $\Delta\nu_{\text{Cs}}$

Kelwin zdefiniowany poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej stałej Boltzmanna k , wyrażonej w jednostce [J/K], gdzie kilogram, metr i sekunda zdefiniowane są za pomocą h , c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$

Mol zawiera dokładnie $6,02214076 \times 10^{23}$ obiektów elementarnych. Liczba ta jest ustaloną wartością liczbową stałej Avogadra N_A wyrażonej w jednostce [1/mol].

Kandela jest zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej skuteczności świetlnej monochromatycznego promieniowania K_{cd} , wyrażonego w jednostce [lm/W], gdzie kilogram, metr i sekunda są zdefiniowane za pomocą h , c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Radian jest kątem płaskim o wierzchołku w środku koła, wycinającym z obwodu tego koła łuk o długości równej jego promieniowi.

Steradian jest kątem bryłowym o wierzchołku w środku kuli, wycinającym z powierzchni tej kuli pole równe kwadratowi jej promienia.

Jednostki pochodne

Za pomocą jednostek podstawowych definiuje się jednostki pochodne odpowiadające wszystkim pozostałym wielkością fizycznym

siła $F = ma$

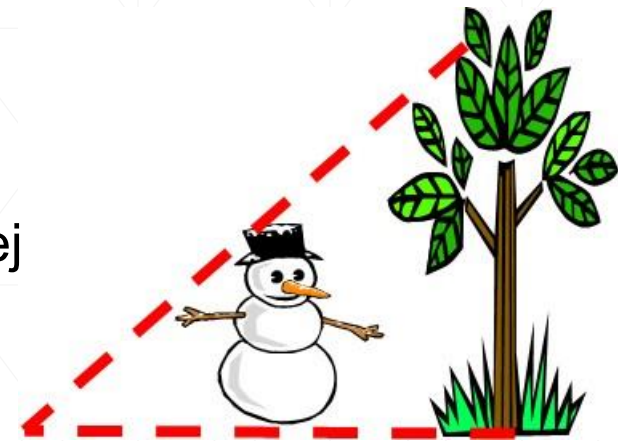
$$[1\text{Newton}] = [1\text{N}] = \left[1\text{kg} \frac{1\text{m}}{1\text{s}^2}\right]$$

moc $P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t}$

$$[1\text{wat}] = [1\text{W}] = \left[1\text{kg} \frac{1\text{m}^2}{1\text{s}^3}\right]$$

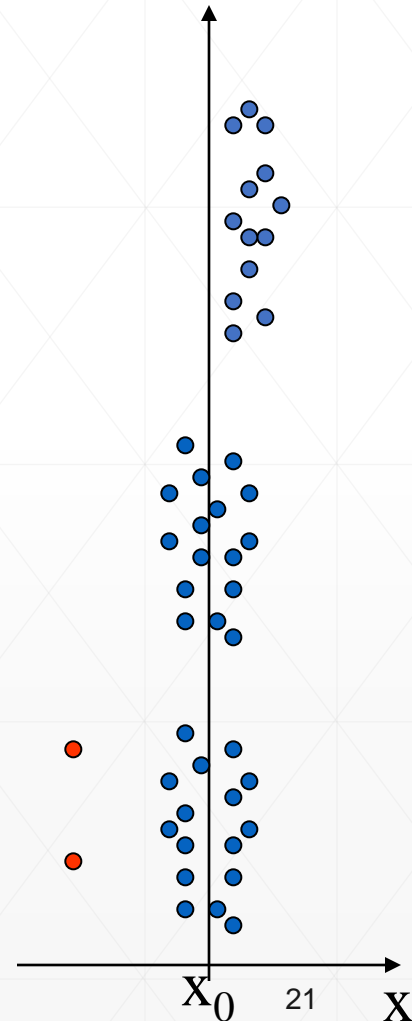
Pomiar fizyczny

- Pomiar fizyczny polega na porównaniu mierzonej wielkości fizycznej z ustalonym wzorcem:
 - pomiary bezpośrednie np. masa, długość, czas;
 - pomiary pośrednie np. gęstość (masa, długości, kąty), prędkość (droga, czas)
- pomiar absolutny jest niemożliwy, zawsze wynik pomiaru x różni się od wartości rzeczywistej x_R :
 - błąd bezwzględny (różnica między pomiarem a wielkością rzeczywistą)
$$\Delta x = |x - x_R|$$
 - w praktyce wartości x_R nie znamy – posługujemy się wartością zbliżoną do rzeczywistej, np. średnią $x_{\text{śr}}, \bar{x}$ a błąd pomiaru określamy w formie **niepewności pomiaru** (o tym za chwile)



Rodzaje błędów

- **systematyczne** – charakteryzują się stałą lub zmieniającą się wg. określonego prawa odchyłką od wartości rzeczywistej
- **przypadkowe** – gdy wynik zmienia się w sposób przypadkowy, losowy (podlega prawom statystycznym)
- **grube** – wyniki z nieuwagi lub pomyłek, zwykle bardzo duże odchyłki



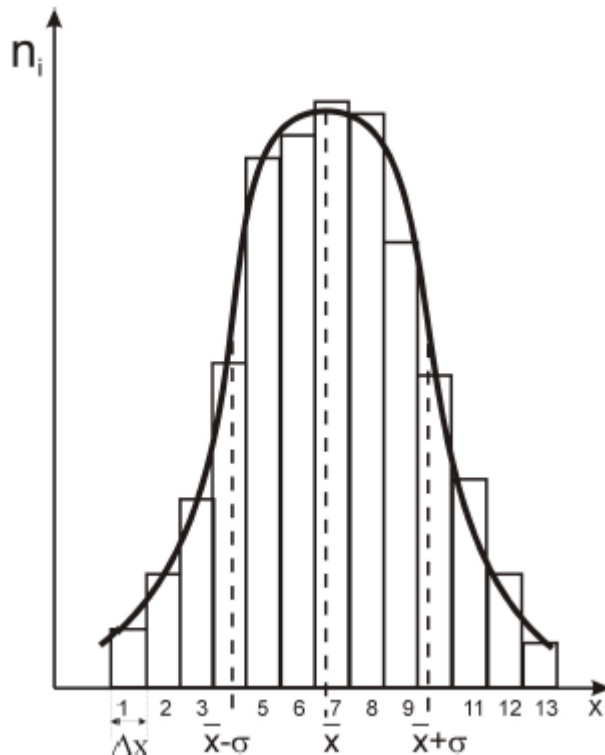
Niepewność pomiaru (błąd pomiaru)

- Opracowanie wyników pomiaru powinno zawierać także ocenę ich wiarygodności, czyli **niepewność pomiaru**.
- Niepewność pomiaru (dokładność) to parametr związany z rezultatem pomiaru, charakteryzujący rozrzut wyników.
- Pomiarom dokładniejszym jest pomiar o mniejszej niepewności.
- Miarą niepewności pomiarowej jest **niepewność standardowa**, która może być szacowana na dwa sposoby:
 - **ocena typu A** – wynika ze statystycznej analizy serii n równoważnych i nieskorelowanych obserwacji wielkości x podlegającej błędowi przypadkowemu;
 - **ocena typu B** – wynika z naukowego osądu eksperymentatora, biorącego pod uwagę wszystkie posiadane informacje o pomiarze i źródłach jego niepewności.
- Za symbol niepewności standardowej przyjęto oznaczenie $u(x)$ (od angielskiego słowa *uncertainty*)

Niepewność standardowa pomiarów bezpośrednich w ocenie typu A

- Jeżeli posiadamy wyniki serii n bezpośrednich pomiarów wielkości fizycznej x oznaczonych jako $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, to najlepszym oszacowaniem mierzonej wartości jest średnia arytmetyczna

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$



W serii wyniki pomiarów rozkładają się wokół wartości średniej w tzw. krzywą Gaussa – krzywą w kształcie dzwonu, a rozrzut pomiarów wokół wartości średniej określa tzw. **odchylenie standardowe σ** .

Im większe odchylenie standardowe tym krzywa jest bardziej płaska.

- Odchylenie standardowe σ w teorii pomiarów przyjmuje się za miarę rozrzutu wyników pomiaru i definiuje się jako **niepewność standardową pojedynczego pomiaru**, którą oblicza się przy pomocy wyrażenia:

$$u(x) = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{ćwiczenie 1})$$

- Natomiast dla wartości **średniej \bar{x}** uznawanej za wynik serii n pomiarów jako **niepewność standardową** przyjmuje się odchylenie standardowe wartości średniej $\sigma_{\bar{x}}$ i wynosi ona:

$$u(\bar{x}) = \sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{pozostałe ćwiczenia})$$

- Wartość niepewności standardowej wartości średniej jest \sqrt{n} razy mniejsza od niepewności standardowej pojedynczego pomiaru.
- Wartość \bar{x} na wykresie krzywej Gaussa określa jej maksimum a wartość σ określa położenie jej punktów przegięcia.
- Przy porównaniach wyniku z wartością teoretyczną często wprowadza się pojęcie **niepewności rozszerzonej $U(x)$**
 $U(x) = k \cdot u(x)$, gdzie k to współczynnik rozszerzenia.

Przykład niepewności pomiarowych typu A

Większość wykonywanych pomiarów jest obarczonych niepewnością, którą trudno ocenić na podstawie skali przyrządu.

Wykonujemy np. pomiar czasu stoperem – poza określeniem położenia wskazówki, ważne są chwila początku i końca pomiaru. Ten wpływ możemy eliminować wykonując kilka pomiarów i obliczając średnią.

Zmierzyliśmy (czymś) np. 5 razy okres drgań wahadła (więcej pomiarów to wynik bardziej dokładny):

$$t_1 = 2,40 \text{ s}; t_2 = 2,30 \text{ s}; t_3 = 2,40 \text{ s}; t_4 = 2,50 \text{ s}; t_5 = 2,40 \text{ s}$$

Wartość średnia okresu: $T = \bar{t} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 t_i = 2,40 \text{ s}$

Niepewność standardowa: $u(\bar{t}) = \sigma_{\bar{t}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (t_i - \bar{t})^2}{5(5-1)}} = 0,031 \text{ s}$

Wynik pomiaru okresu T

to wartość średnia **2,40 s** i jej niepewność standardowa **0,03 s**

Ale pamiętajmy, że:

- stoper może się np. spieszyć

wszystkie pomiary będą obarczone **błędem systematycznym**,

- **niepewność maksymalna ręcznego pomiaru** czasu stoperem to $\Delta T = 0,20 \text{ s}$.

Niepewność względna

Niepewność względna jest definiowana jako stosunek niepewności standardowej (której wymiar jest taki sam jak wymiar wielkości mierzonej) do wartości średniej wielkości mierzonej:

$$u_r(\bar{x}) = \frac{u(\bar{x})}{\bar{x}}$$

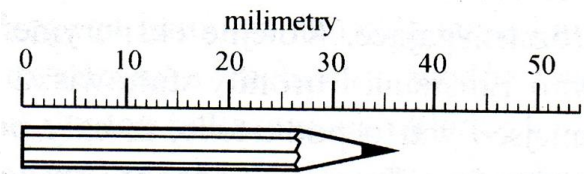
Niepewność względna jest wielkością bezwymiarową (można podawać w %), co umożliwia porównywanie za jej pomocą niepewności wielkości fizycznych posiadających różny wymiar.

Np. dla pomiaru okresu $T = 2,40$ i $u(T) = 0,03$ s, $\Delta T = 0,20$ s **niepewność względna** wynosiłaby:

$$u_r(T) = \frac{u(T)}{T} = \frac{0,03}{2,40} = 0,0125 = 1,25\%$$

Niepewność standardowa pomiarów bezpośrednich w ocenie typu B

- Ocena niepewności pomiarowej typu B jest stosowana, gdy statystyczna analiza serii pomiarów nie jest możliwa.
- Polega ona na oszacowaniu **niepewności maksymalnej**, oznaczanej symbolem Δx , czyli największej jaka może wystąpić w danym pomiarze.
- Jest to zazwyczaj klasa przyrządu lub działka elementarna.
- Może również wynikać z dokładność samego eksperymentatora - niepewności odczytu, czy niedoskonałości zmysłów,
- Zaleca się **niepewność standardową** wyrazić poprzez **niepewność maksymalną** za pomocą wzoru:



$$u(x) = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}}$$

Niepewność standardowa pomiarów pośrednich – niepewność złożona

W przypadku pomiarów bezpośrednich nieskorelowanych tzn. gdy każdą z wielkości x_1, x_2, \dots, x_k wyznacza się niezależnie, bezwzględną **niepewność złożoną** $u_c(y)$ wielkości y szacuje się przy pomocy wzoru:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2}$$

Np. jeżeli pomiar prędkości odbywa się na podstawie pomiarów:

- czasu t z niepewnością $u(t)$ oraz
- odległości d z niepewnością $u(d)$

to prędkość v i jej **niepewność standardowa złożona** wynoszą

$$v = \frac{d}{t} \quad u_c(v) = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial d} u(d) \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t} u(t) \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{u(d)}{t} \right)^2 + \left(\frac{-d}{t^2} u(t) \right)^2}$$

Reguły prezentacji wyniku pomiaru i niepewności pomiarowych

Po obliczeniu niepewności pomiarowych typu A zaokrąglamy je do **dwóch cyfr znaczących**, a następnie wynik zapisujemy z tą samą dokładnością.

Czyli **nie zapisujemy** wyniku pomiaru przyśpieszenia ziemskiego jako

$$~~g = 9,8231 \pm 0,02585 \frac{m}{s^2}~~$$

Tylko „obcinamy” wartość średnią i jej niepewność

$$g = 9,823 \frac{m}{s^2}, u(g) = 0,026 \frac{m}{s^2}$$

Inne reguły, np. zaokrąglanie w górę i w dół, zaokrąglenie do jednej cyfry znaczącej możemy wprowadzać w metodzie typu B.

Wyniku pomiaru prędkości jako $v = 6052,47 \pm 30 \frac{m}{s}$ jest źle zaokrąglony.

Prawidłowy zapis w postaci $v = 6050 \pm 30 \frac{m}{s}$ podaje wartość średnią prędkości oraz jej niepewność rozszerzoną zaokrągloną do jednej cyfry znaczącej.

Uwaga - jeśli podawany wynik jest skutkiem obliczeń to obliczenia te powinny być prowadzone co najmniej o jeden rząd dokładniej.

Wykresy – skale liniowa, wykładnicza, logarytmiczna

Podstawowe pytanie w analizie wyników eksperymentu fizycznego brzmi:

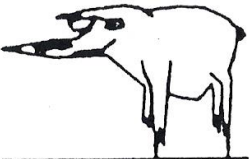
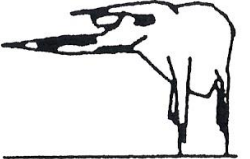
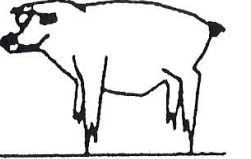
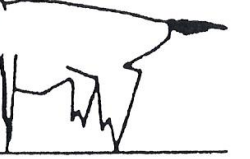
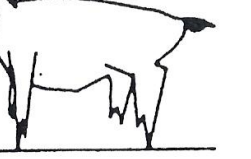
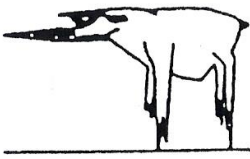
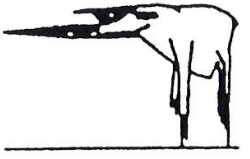
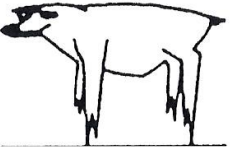

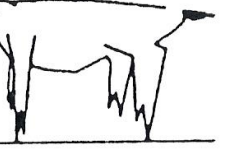
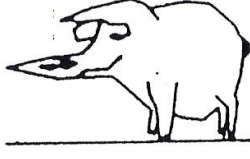

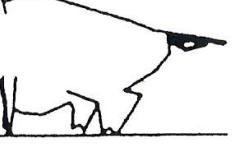
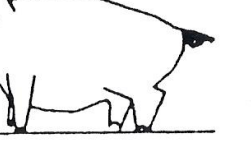



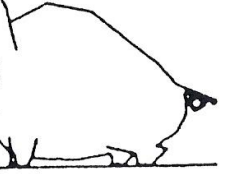
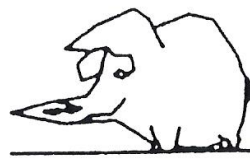

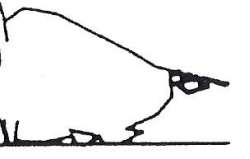
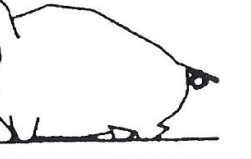
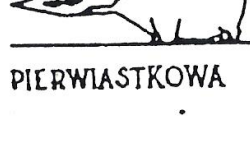
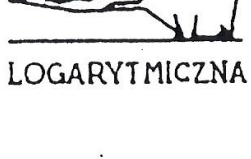

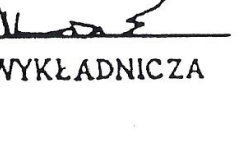
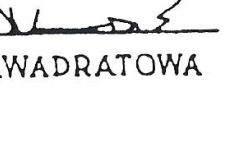





w jaki sposób wielkość fizyczna Y zależy od wielkości X

aby to uwidocznic najwygodniej jest wyniki pomiaru przedstawic graficznie.

Ale tu pojawia się problem - jaką skalę wybrać ?? – czyli w jaki sposób liczbom otrzymanym z pomiaru przyporządkować punkty na osi współrzędnych:

- skala liniowa – proporcjonalna do liczby;
- skala kwadratowa – proporcjonalna do kwadratu liczby;
- skala logarytmiczna – proporcjonalna do logarytmu liczby;
- skala ...

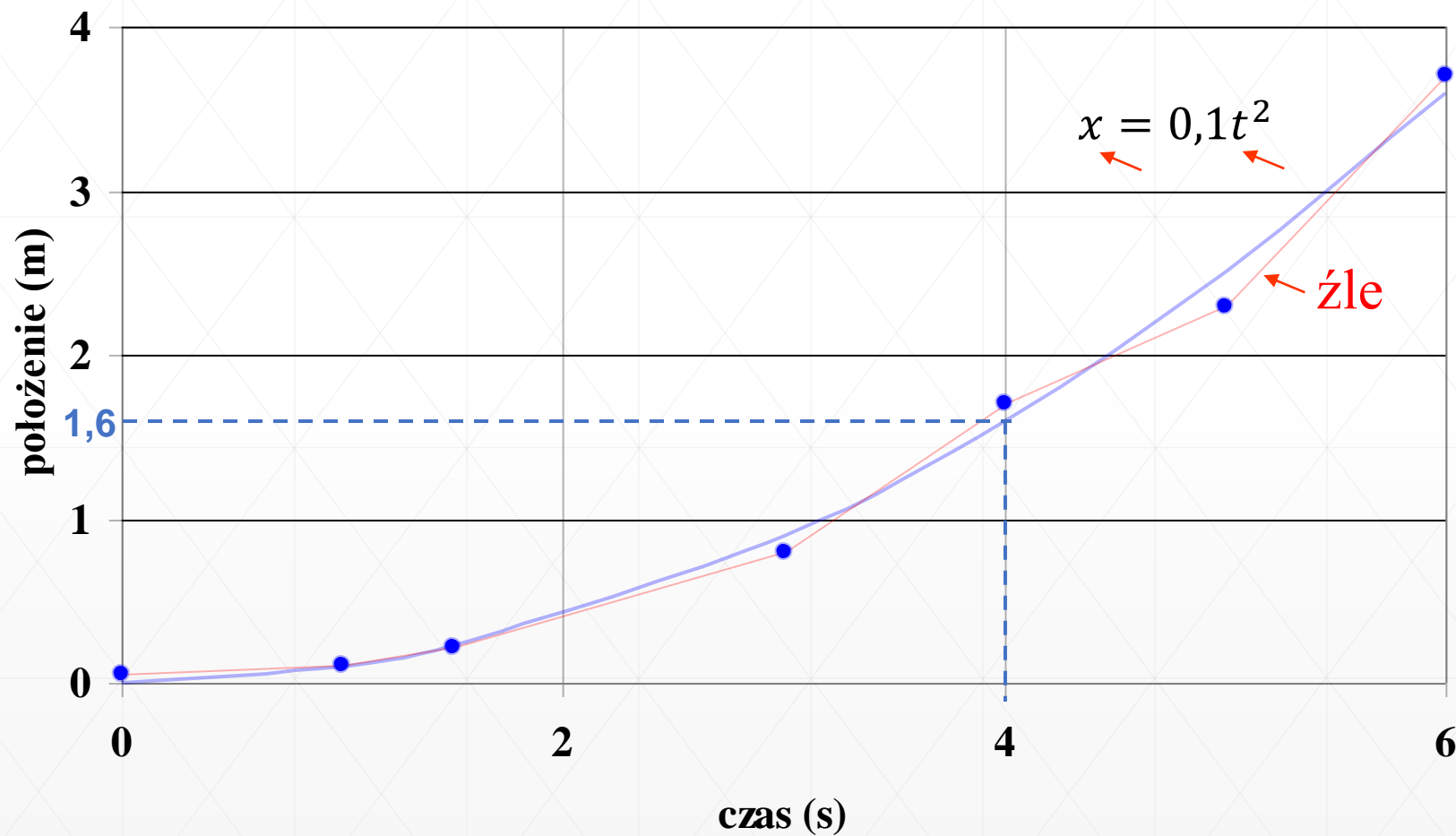
Na kolejnym slajdzie możemy zobaczyć jak wybierając nierozsądnie skalę można zdeformować analizowana wielkość.

PIERWIĄSTKOWA								
LOGARYTMICZNA								
SKALA LINIOWA			<p>Jakie zwierzę przedstawiają rysunki</p>					
WYKŁADNICZA								
KWADRATOWA								
PIERWIĄSTKOWA								
LOGARYTMICZNA								
			SKALA					

Zasady sporządzania wykresów

- wykresy wykonujemy odręcznie na papierze milimetrowym A4
- data i podpis wykonawcy
- tytuł wykresu, jeżeli używamy symboli, to je wyjaśniamy
- odpowiednio opisane i wyskalowane osie
 - jednostka skali wielokrotnością 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 ...
 - dobór wielkości skali aby wykres wypełniał prawie całą kartkę (osie prowadzimy z odstępem np. 1 cm od krawędzi kartki)
- punkty pomiarowe przedstawiamy z niepewnościami
- gdy jest znana to podajemy postać funkcyjna zależności (np. wyznaczone równanie prostej)
- jeżeli punkty pomiarowe łączymy to linią gładą, a nie łamaną

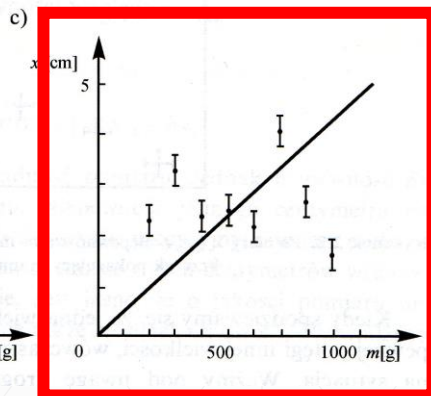
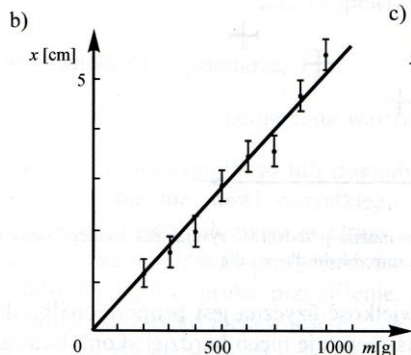
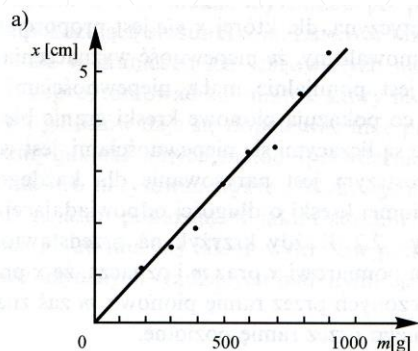
Położenie ciała w funkcji czasu dla ruchu jednostajnie przyspieszonego



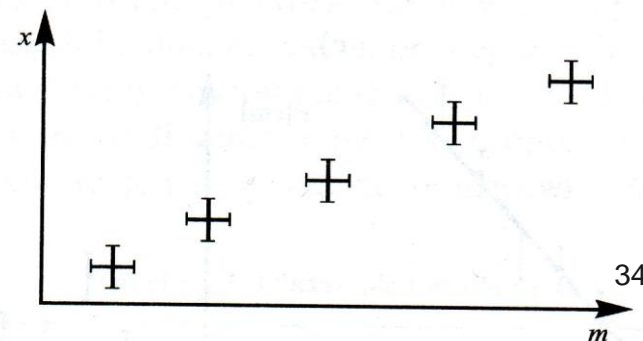
Graficzne sprawdzanie proporcjonalności

Rysunki obok przedstawiają wyniki pomiarów wydłużenia sprężyny w zależności od obciążenia (prawo Hooke). Na rysunku:

- wyniki zaznaczono bez oznaczenia granic niepewności
- zaznaczono niepewność pomiaru wydłużenia sprężyny (niepewność pomiaru masy jest zanedbywalna)
- inny zestaw wyników – niezgodny z oczekiwaniami (prawem Hooke) – należy dokładnie przeanalizować przyczyny



Jeśli obie mierzone wielkości są obarczone niepewnością pomiaru dla każdego punktu stawiamy krzyżyk lub otaczamy prostokątem pokazujący granice niepewności.



Podsumowanie

- Na stronie www.wtc.wat.edu.pl/instytut-fizyki-technicznej/dydaktyka/fizyka-cwiczenia-laboratoryjne/ proszę zapoznać się z regulaminem laboratorium i ustaleniami w sprawie wykonywania sprawozdań,
- znać rodzaje błędów (niepewności pomiarowych),
- potrafić obliczać niepewności pomiarowe:
 - standardowe,
 - względne,
 - pojedynczego pomiaru i wartości średniej,
 - niepewności złożone.



Dziękuję za uwagę