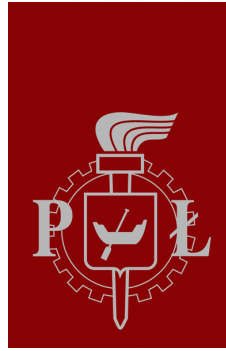




INSTYTUT  
**INŻYNIERII**  
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY  
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



# Podstawy Procesów i Konstrukcji Inżynierskich

## Wprowadzenie do przedmiotu

Prowadzący: dr inż. Marta Kamińska

**Kierunek Wyróżniony przez PKA**



INZYNIERIAMATERIALOWAPL

# Wykładowcy

**Kierownik przedmiotu:**

**prof. dr hab. Bogdan Walkowiak**

Pozostali wykładowcy:

dr inż. Marta Kamińska, dr inż. Marian Cłapa

Ćwiczenia:

dr inż. Marian Cłapa

Wykłady dostępne na [www.biofizyka.p.lodz.pl](http://www.biofizyka.p.lodz.pl) w zakładce DYDAKTYKA



INSTYTUT  
INŻYNIERII  
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY  
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



INZYNIERIA MATERIAŁOWA PL

# Zasady zaliczenia przedmiotu

## Semestr zimowy -

1. Kolokwium z ćwiczeń rachunkowych,
2. Dwa kolokwia wykładowe  
I kolokwium - obejmuje wykłady 1-8,  
II kolokwium – obejmuje wykłady 9-15

Zaliczenie I semestru po pozytywnym zaliczeniu ćwiczeń. Na ocenę składają się oceny z ćwiczeń i dwóch kolokwiów wykładowych.

## Semestr letni –

3. Pozytywne zaliczenie laboratorium
4. Kolokwium wykładowe z semestru letniego.

Na ocenę końcową składają się wszystkie oceny z punktów 1-4.



# Literatura

## 1. Treść wykładu

## 2. Podręczniki:

- J. Orear: Fizyka tom 1 i 2 WNT-1998
- D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: Podstawy fizyki, tom 1-5, WNT W-wa 2003
- R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands: Feynmana wykłady z fizyki, PWN W-wa, 2004
- A. Wróblewski, J. Zakrzewski: Wstęp do fizyki (tom 1 i 2), WNT Warszawa 1991

Obecność – **OBOWIĄZKOWA** – na wszystkich formach zajęć. Lista obecności.



INSTYTUT  
INŻYNIERII  
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY  
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



INZYNIERIAMATERIALOWAPL

# Ruch mechaniczny

Ruch mechaniczny – zmiana z upływem czasu wzajemnego położenia ciał w przestrzeni lub jednych ich części względem drugich.

Układ mechaniczny - zbiór ciał wyróżniony w celu ich opisu



INSTYTUT  
INŻYNIERII  
MATERIAŁOWEJ



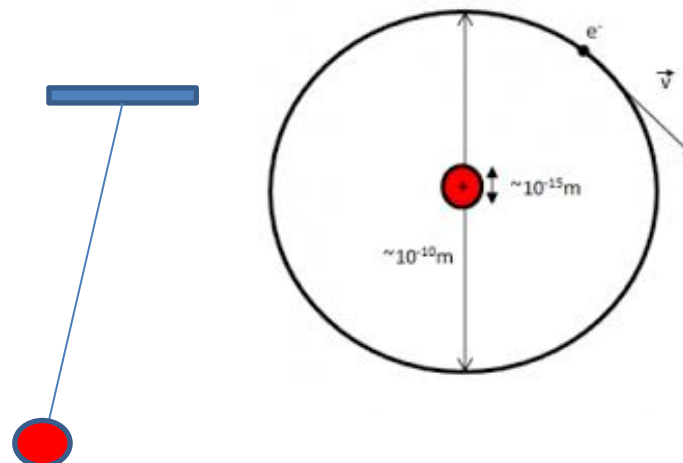
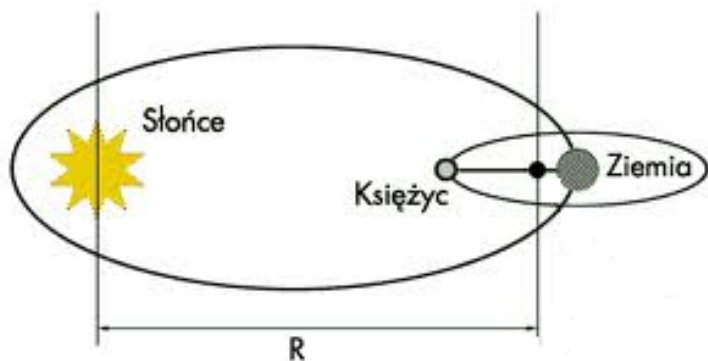
WYDZIAŁ MECHANICZNY  
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



INZYNIERIA MATERIAŁOWA PL

# Ruch mechaniczny

- Punkt materialny – ciało, którego rozmiary w warunkach danego zagadnienia są



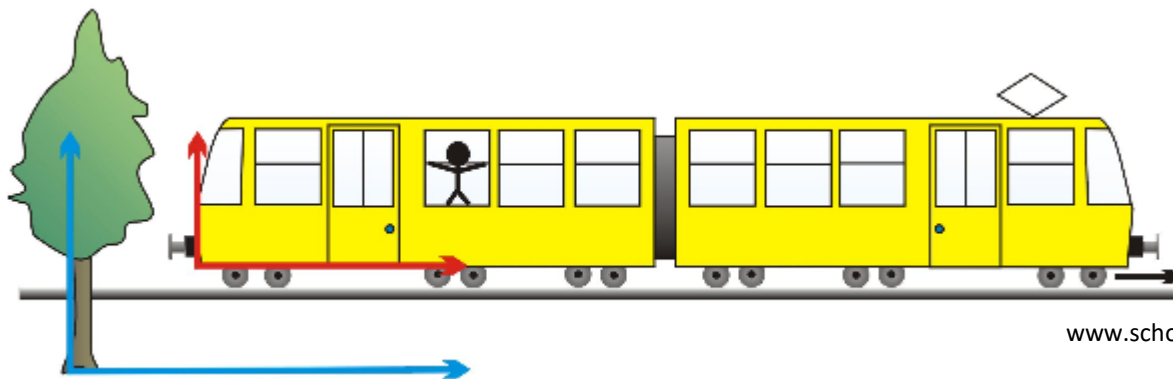
Ciało doskonale sztywne to takie, którego odkształcenia można pominąć w warunkach danego zagadnienia.



# Ruch mechaniczny

Przestrzeń i czas to nieodłączne formy istnienia materii.

Układ odniesienia – zbiór nieruchomych względem siebie ciał, który służy do rozpatrywania ruchu innych ciał oraz odmierzający czas zegar. Do opisu położenia ciała stosuje się układ współrzędnych związany z danym układem odniesienia.



[www.scholaris.pl/resources/run/id/62981](http://www.scholaris.pl/resources/run/id/62981)

*Pasażer nie zmienia położenia względem wagonu – nie porusza się w układzie współrzędnych związanym z wagonem.*

*Pasażer pasażer porusza się względem drzewa – porusza się w układzie współrzędnych związanym z drzewem.*



INSTYTUT  
INŻYNIERII  
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY  
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



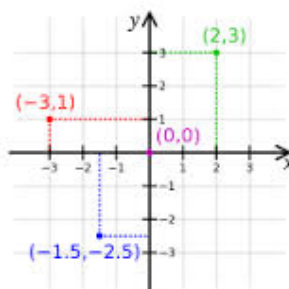
INZYNIERIAMATERIALOWAPL

# Ruch mechaniczny

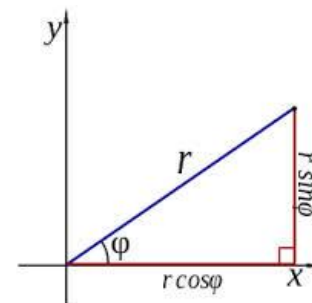
Aby wyznaczyć położenie ciała w danym momencie czasu podajemy jego współrzędne.



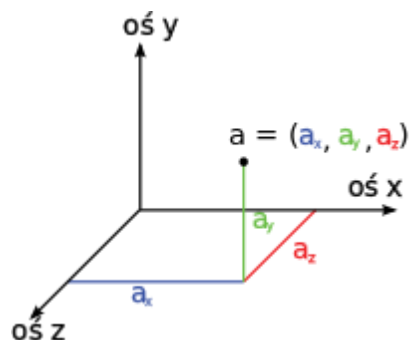
jednowymiarowy



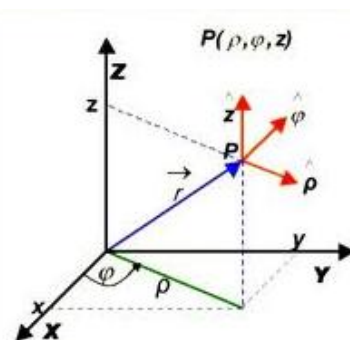
dwuwymiarowy



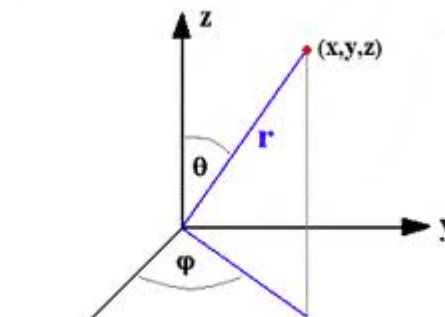
biegunowy



trójwymiarowy



cylindryczny (walcowy)



sferyczny (kulisty)





# Wektory, skalary

Wielkość fizyczna – właściwość fizyczna ciała lub zjawiska, którą można określić ilościowo, czyli zmierzyć. W fizyce występują dwa rodzaje wielkości fizycznych: skalary i wektory.

**Skalarem** nazywamy taką wielkość fizyczną, którą po przyjęciu określonej jednostki miary można w zupełności określić za pomocą jednej liczby (mianowanej).

## Przykłady w fizyce:

$t$  – czas,  $x$  – długość,  $m$  – masa,  $T$  – temperatura,  $W$  – praca,  $p$  - ciśnienie

Dowolna operacja algebraiczna wykonana na wielkościach skalarnych daje w wyniku skalar.



# Wektory, skalary

**Wektorem** nazywamy odcinek skierowany (strzałkę), charakteryzujący się wartością (długość), kierunkiem i zwrotem wyznaczonym przez to uporządkowanie, pozwalające wyróżnić początek (A) i koniec (B) wektora oznaczony grotem.

**Wektor** ( ) charakteryzowany jest przez:

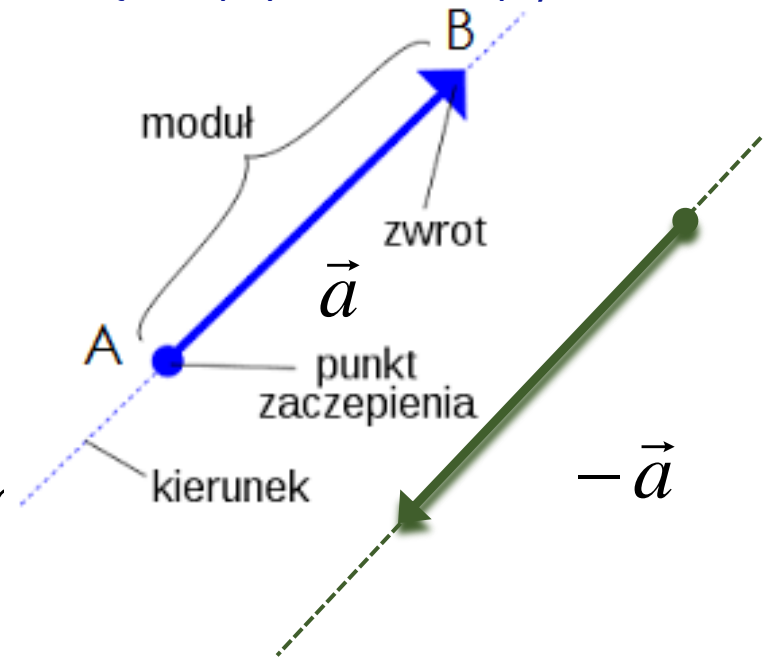
1. wartość czyli długość wektora:

2. kierunek

3. zwrot

**Przykłady w fizyce:**

- wektor położer
- prędkość,
- przyspieszenie,
- siła,
- pęd



# Wektory, skalary

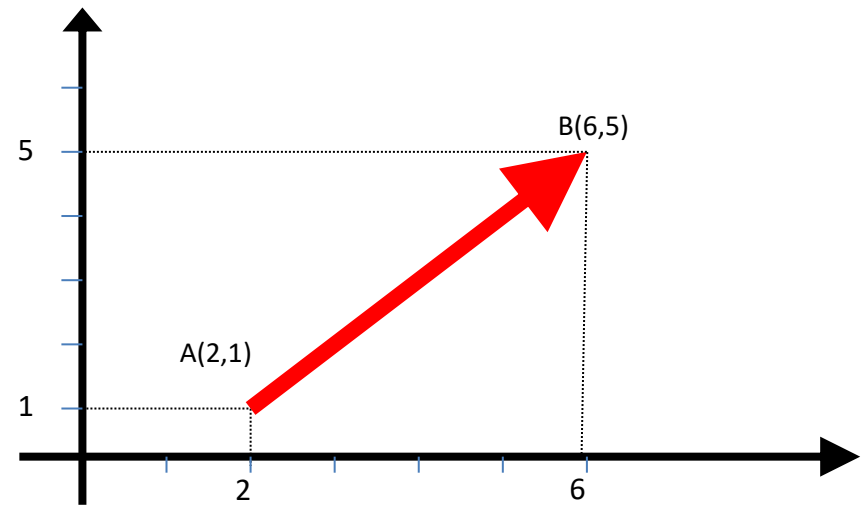
Jak poznać, czy symbol literowy wielkości oznacza wielkość wektorową, czy skalarną?

Wektory	Skalary
<p>Wektory zapisuje się najczęściej na dwa sposoby:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. jako literę oznaczającą wielkość fizyczną ze strzałką.</li><li>2. drukiem <b>pogrubionym</b> (często też pochyłym). - np. <b>F</b> (wektor siły F).</li></ol>	<p>Skalary w tekście, to po prostu zwykłe litery, drukowane zazwyczaj <i>czcionką pochyłą</i> - np. <i>m</i>, <i>t</i>, <i>q</i> - czyli masa, czas, ładunek.</p>



# Wektory

Prezentacja geometryczna wektora



Prezentacja arytmetyczna wektora

$$W = (4,4)$$



INSTYTUT  
INŻYNIERII  
MATERIAŁOWEJ

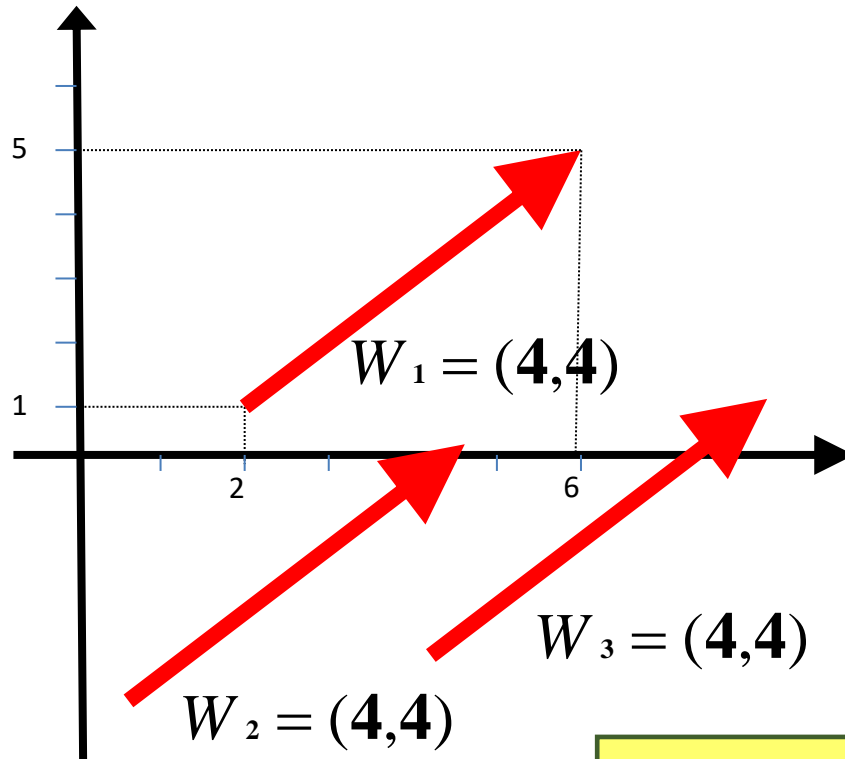


WYDZIAŁ MECHANICZNY  
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



INZYNIERIAMATERIALOWAPL

# Równość wektorów



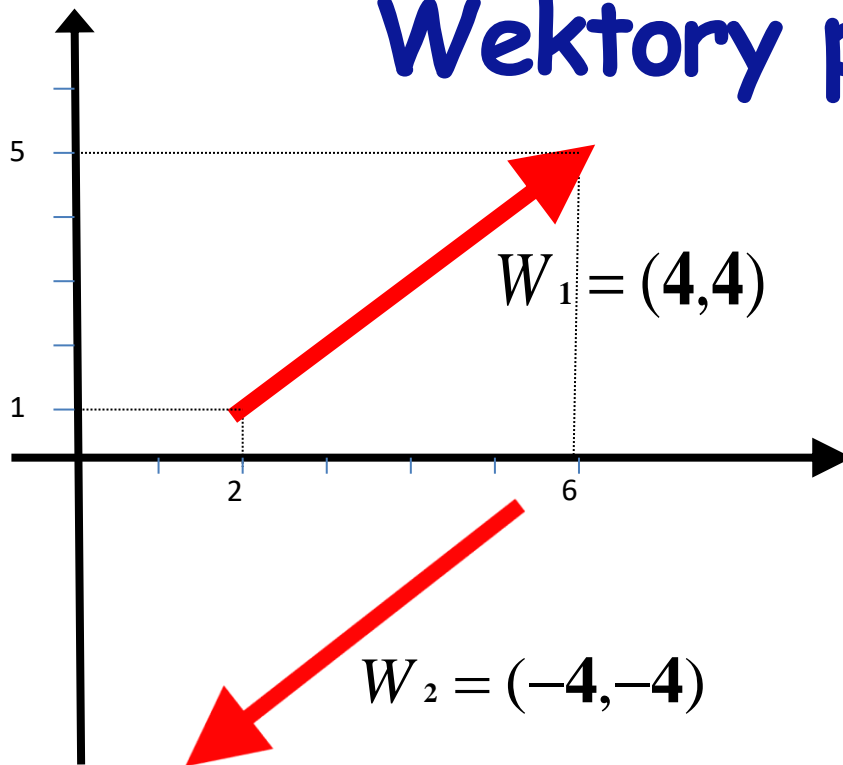
$$W_1 = W_2 = W_3$$

**Wektory równe mają:**

- Takie samo nachylenie do osi X (albo Y)
- Taką samą długość (wartość)



# Wektory przeciwnie



$$W_2 = -W_1$$

Jeżeli mamy tylko dwie siły działające na jeden punkt i siły te mają przeciwne wektory, to o siłach takich mówimy, że się równoważą.

## Wektory przeciwnie:

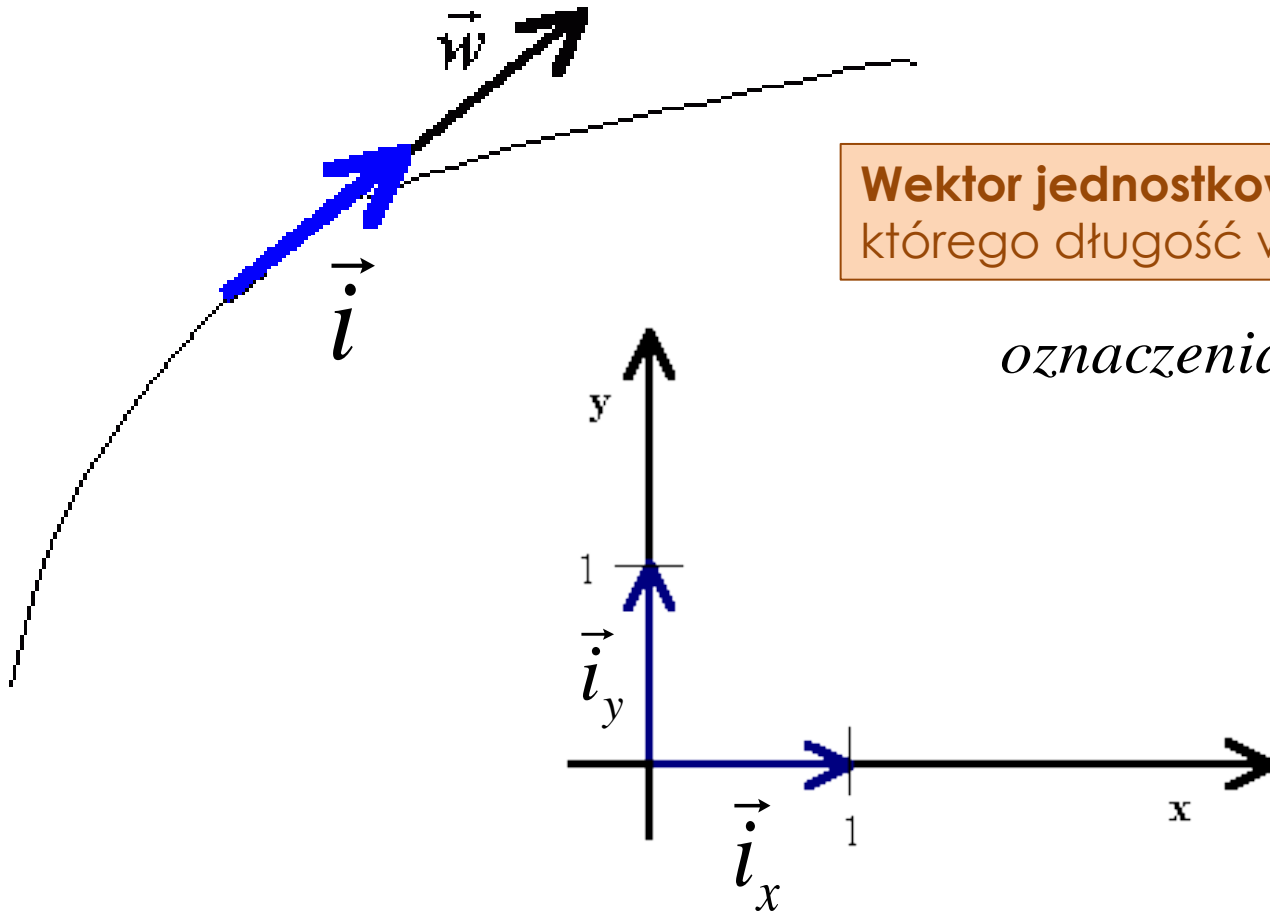
- są do siebie równoległe (mają takie same kierunki)
- mają takie same długości (wartości)
- mają przeciwne zwroty



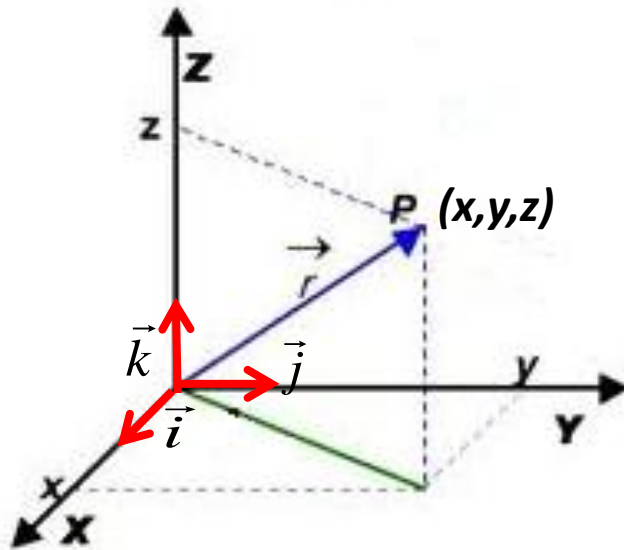
# Wektory jednostkowe

Wektor jednostkowy (wersor) to wektor którego długość wynosi 1,

oznaczenia:  $|\vec{i}|, |\vec{e}|, |\vec{k}|, |\vec{j}|$  lub  $\hat{e}$



# Rzuty wektora na osie



wektor położenia  
punktu materialnego

wektory jednostkowe  
(wersory) w kierunku osi  
OX, OY, OZ

$$|\vec{i}| = |\vec{j}| = |\vec{k}| = 1$$

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

współrzędne wektora położenia w  
układzie kartezjańskim

Długość wektora położenia

$$r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$



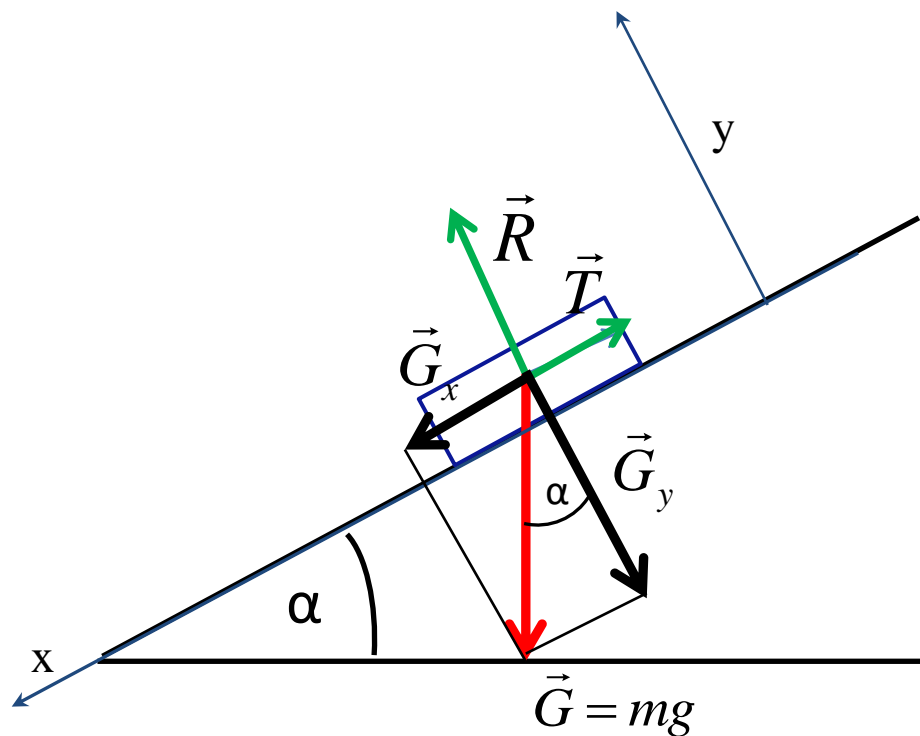
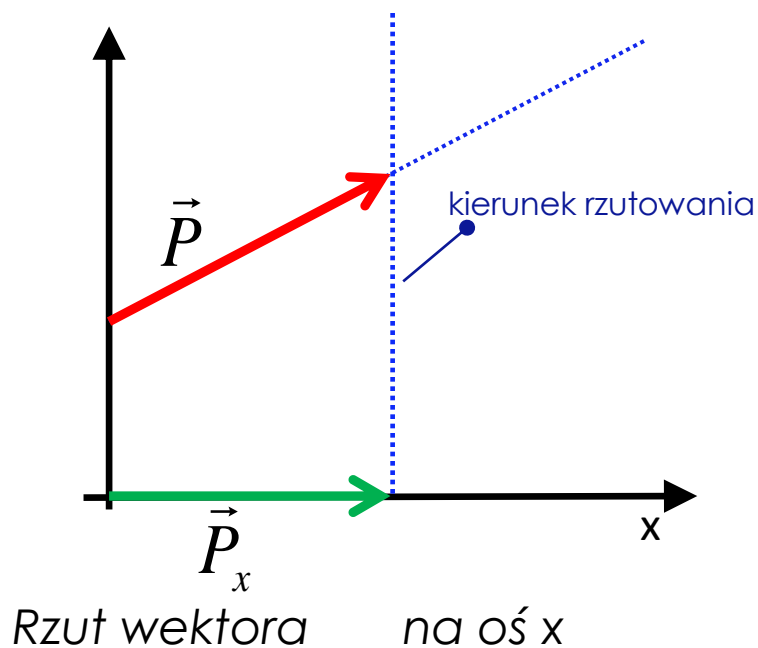


# Różnice między skalarami, a wektorami

	posiadają	opisują wielkości	możliwe działania matematyczne
<b>wektory</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• kierunek</li><li>• zwrot</li><li>• wartość</li><li>• punkt przyłożenia</li></ul>	działające w jakimś kierunku np.: siła, pęd, prędkość, przyspieszenie, wektor pola elektrycznego, indukcja magnetyczna	<ul style="list-style-type: none"><li>• dodawanie</li><li>• odejmowanie</li><li>• mnożenie i dzielenie przez liczbę</li><li>• mnożenie skalarne</li><li>• mnożenie wektorowe</li><li>• wyznaczanie wartości wektora</li></ul>
<b>skalary</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• wartość</li></ul>	wielkości bezkierunkowe - np. temperatura, masa, ładunek, gęstość, ciśnienie	<ul style="list-style-type: none"><li>• dodawanie</li><li>• odejmowanie</li><li>• mnożenie</li><li>• dzielenie</li><li>• potęgowanie itp.</li></ul>



# Rozkład wektora na kierunki składowe



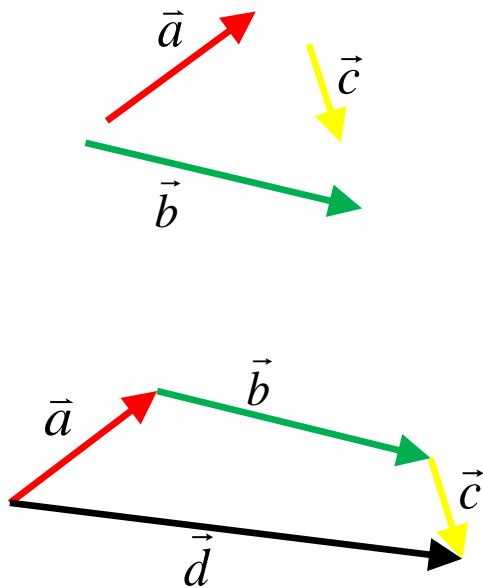
Wektor  $\vec{G}$  po zrzutowaniu - wektor rozłożony na wektory  $\vec{G}_x$  i  $\vec{G}_y$

# Działania na wektorach - dodawanie

Gdy znamy współrzędne wektorów:

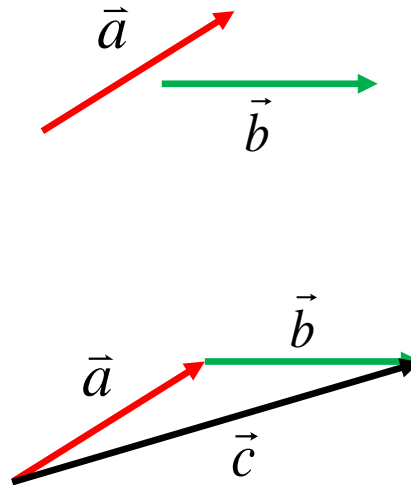
$$(a_x, a_y) + (b_x, b_y) = (a_x + b_x, a_y + b_y)$$

dodawanie wielu wektorów

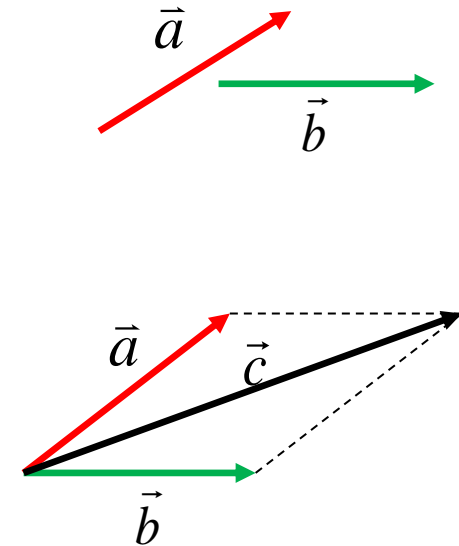


dodawanie dwóch wektorów

Metoda trójkąta



Metoda równoległoboku



INSTYTUT  
INŻYNIERII  
MATERIAŁOWEJ



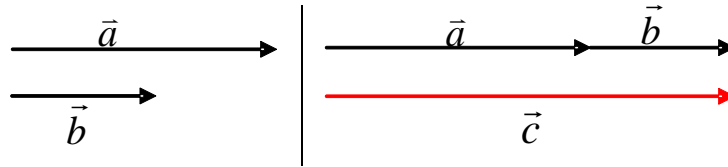
WYDZIAŁ MECHANICZNY  
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



INZYNIERIA MATERIAŁOWA PL

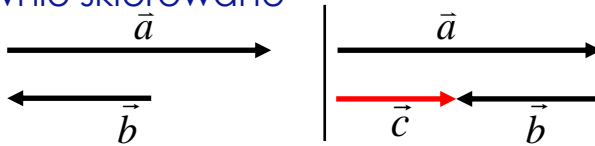
# Działania na wektorach - dodawanie

wektory zgodnie skierowane



$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}, a + b = c$$

wektory przeciwnie skierowane



$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}, a - b = c$$

wektory prostopadłe



$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}, \vec{c} = \sqrt{a^2 + b^2}$$



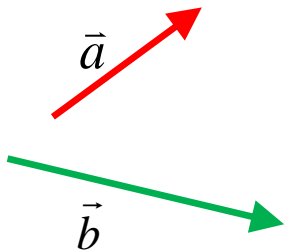
# Działania na wektorach - odejmowanie

Gdy znamy współrzędne wektorów:

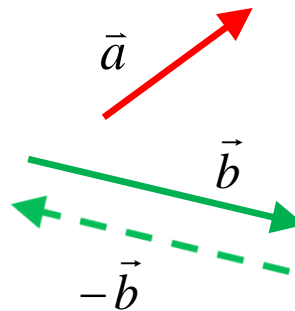
$$(a_x, a_y) - (b_x, b_y) = (a_x - b_x, a_y - b_y)$$

## Odejmowanie wektorów

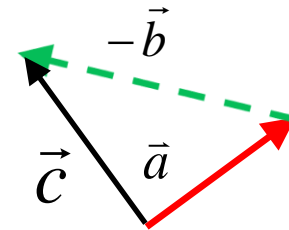
Mamy dwa wektory



2. Rysujemy wektor przeciwny do wektora



3. Dodajemy wektory  $\vec{a}$  i  $-\vec{b}$  do siebie.



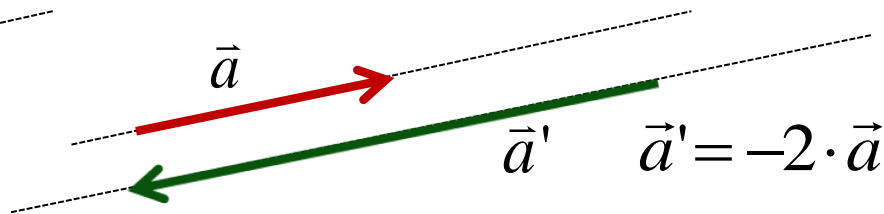
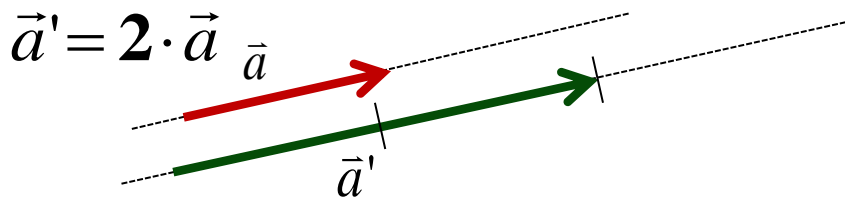
$$\vec{c} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$



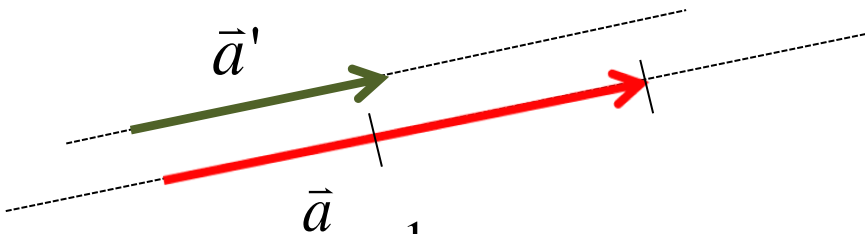
# Działania na wektorach - mnożenie wektora przez liczbę

$$\vec{a}' = k \cdot \vec{a}$$

otrzymujemy nowy wektor



Wektor  $\vec{a}'$  o długości  $ka$  ma kierunek i zwrot wektora  $\vec{a}$  gdy:  $k > 0, \vec{a} \neq \mathbf{0}$



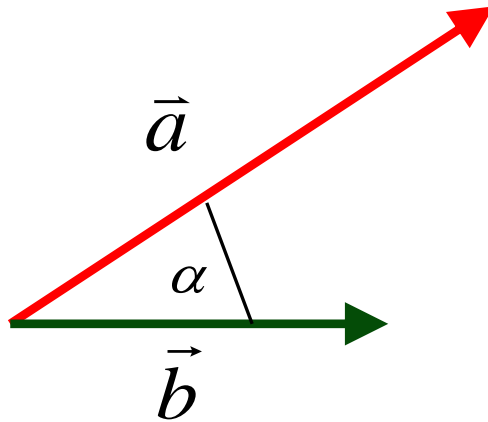
Wektor  $\vec{a}'$  o długości  $\frac{1}{k}a$  ma kierunek wektora  $\vec{a}$  i zwrot przeciwny do wektora  $\vec{a}$  gdy:

$k < 0, \vec{a} \neq \mathbf{0}$

# Działania na wektorach - iloczyn skalarny

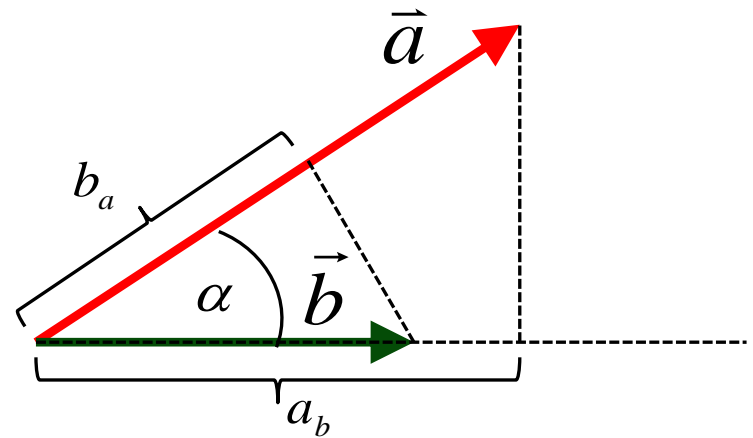
$$\vec{a} \circ \vec{b} = a \cdot b \cdot \cos \alpha$$

otrzymujemy skalar



$$\vec{a} \circ \vec{b} = \vec{b} \circ \vec{a}$$

działanie przemiennie



$$\vec{a} \cdot \cos \alpha = a_b \quad \vec{b} \cdot \cos \alpha = b_a$$

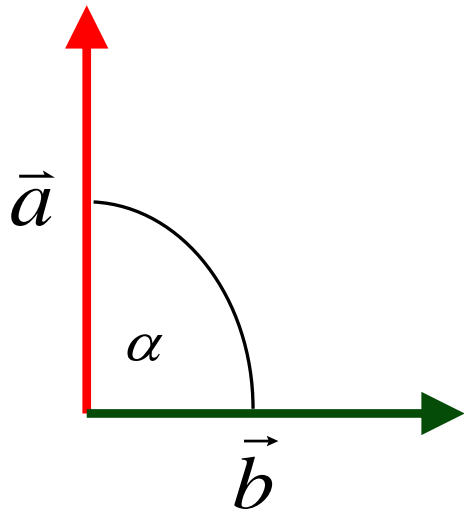
$$\vec{a} \circ \vec{b} = a_b \cdot b = a \cdot b_a$$



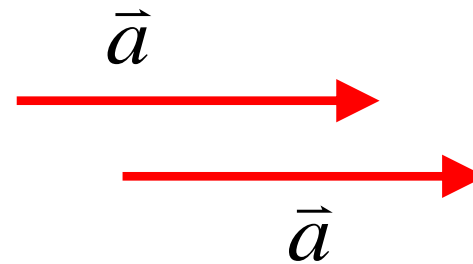
# Działania na wektorach - iloczyn skalarny

$$\vec{a} \circ \vec{b} = a \cdot b \cdot \cos 0^\circ = 0$$

Jeżeli wektory są prostopadłe to ich iloczyn skalarny jest równy 0



$$\vec{a} \circ \vec{a} = a^2$$



$$\alpha = 0$$

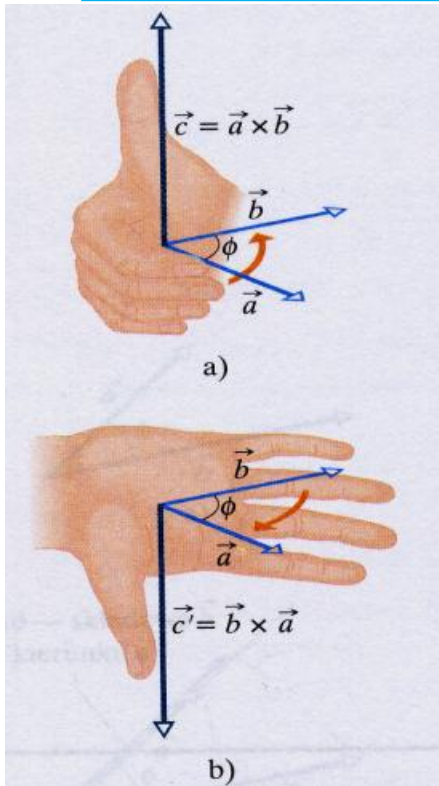




# Działania na wektorach - iloczyn wektorowy

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = a \cdot b \cdot \sin \alpha$$

otrzymujemy nowy **wektor** prostopadły do obu wektorów wyjściowych



zwrot wektora  $\vec{c}$  ustalamy w oparciu o regułę śruby prawoskrętnej

$$\vec{a} \times \vec{b} = -\vec{b} \times \vec{a}$$

Działanie to nie jest przemienne

Jeżeli jeden z wektorów jest zerowy lub wektory są równoległe

$$\vec{a} \times \vec{b} = \mathbf{0}$$



# Jednostki stosowane w fizyce

**Układ jednostek SI** - franc. Systeme International d'Unites

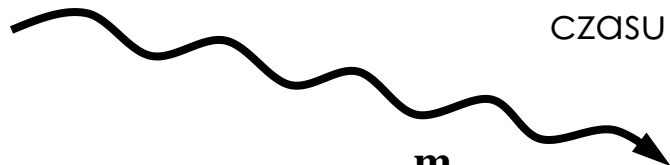
Układ SI → układ **MKS**      **M**etr, **K**ilogram, **S**ekunda

Jednostki podstawowe układu SI		
Nazwa wielkości	nazwa jednostki	skrót literowy
długość	metr	m
masa	kilogram	kg
czas	sekunda	s
natężenie prądu	amper	A
temperatura	kelwin	K
ilość substancji	mol	mol
światłość źródła światła	kandela	cd



# Jednostki stosowane w fizyce

**1 metr** jest równy drodze jaką przebywa w próżni światło w ciągu czasu  $t = 1/299792458$  sekundy



$$c = 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**1 sekunda** jest to czas równy 9 192 631 770 okresom promieniowania związanego z przejściem między dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego atomu cezu Cs - 133.



**1 kilogram** jest masą międzynarodowego wzorca kilograma

$$1u = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

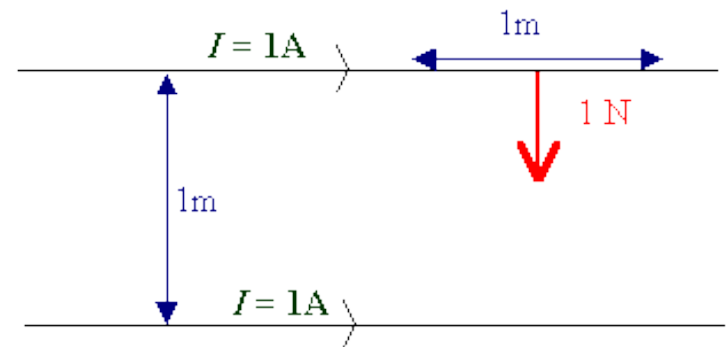


# Jednostki stosowane w fizyce



**1 kelwin** jest to jednostka temperatury termodynamicznej równa  $1/273,16$  temperatury termodynamicznej punktu potrójnego wody.

**1 amper** jest to natężenie takiego prądu stałego, który płynąc w dwu nieskończenie długich, nieskończenie cienkich przewodach prostoliniowych umieszczonych równolegle w próżni w odległości 1m od siebie wywołałby między nimi siłę magnetyczną o wartości  $2 \times 10^{-7}$  N na każdy metr długości przewodnika.



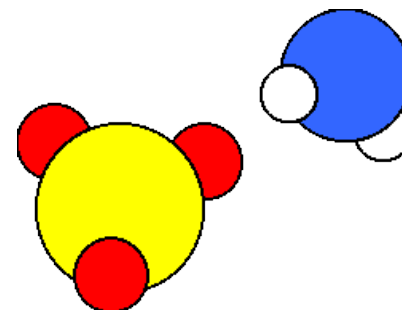
# Jednostki stosowane w fizyce



**1 kandela** jest to światłość, jaką ma w danym kierunku źródło emitujące monochromatyczne promieniowanie o częstotliwości  $540 \cdot 10^{12}$  Hz i mające w tym kierunku wydajność energetyczną  $1/683$  W/Sr

**1 mol** jest jednostką liczności materii. Jest to ilość substancji zawierająca tyle molekuł (atomów, cząsteczek, jonów), ile atomów znajduje się w 12 g izotopu węgla  $^{12}\text{C}$

Liczba Avogadra ( $N_A$ ) =  $6,022140857(74) \times 10^{23}$



# Jednostki stosowane w fizyce

## Jednostki pochodne

$$1 \text{ wat} = 1 \text{ W} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$$

Kombinację jednostek po prawej stronie odczytujemy jako: kilogram razy metr kwadrat na sekundę do sześćcianu.

$$3\,560\,000\,000 = 3,56 \cdot 10^9 \text{ m}$$

$$0,000\,000\,492 \text{ s} = 4,92 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$1,27 \cdot 10^9 \text{ wata} = 1,27 \text{ gigawata} = 1,27 \text{ GW}$$

$$2,35 \cdot 10^{-9} \text{ sekundy} = 2,35 \text{ nanosekundy} = 2,35 \text{ ns}$$

Potega o podstawie 10	W metrach	Symbol	Nazwa
$10^{18}$	1 000 000 000 000 000 000	E	exa
$10^{15}$	1 000 000 000 000 000	P	peta
$10^{12}$	1 000 000 000 000	T	tera
$10^9$	1 000 000 000	G	giga
$10^6$	1 000 000	M	mega
$10^3$	1 000	k	kilo
$10^2$	100	h	hecto
$10^1$	10	da	deka
$10^{-1}$	0,1	d	decy
$10^{-2}$	0,01	c	centy
$10^{-3}$	0,001	m	mili
$10^{-6}$	0,000 001	$\mu$	micro
$10^{-9}$	0,000 000 001	n	nano
$10^{-12}$	0,000 000 000 001	p	piko
$10^{-15}$	0,000 000 000 000 001	f	femto
$10^{-18}$	0,000 000 000 000 000 001	a	atto



# Dokładność pomiarów fizycznych

**Dokładność pomiaru** jest miarą porównania pomiędzy wynikiem pomiaru danej wielkości a wartością rzeczywistą (prawdziwą) tej mierzonej wielkości.

Pomiary fizyczne dzielimy na:

1. Bezpośrednie, których wartość liczbową danej wielkości ustalamy w wyniku bezpośredniego pomiaru np.: pomiar masy za pomocą wagi.
2. Pośrednie, które nie dają bezpośredniego wyniku interesującej nas wielkości fizycznej ale pozwalają ją obliczyć np.: wyznaczanie prędkości ze wzory  $v=s/t$



INSTYTUT  
INŻYNIERII  
MATERIAŁOWEJ



WYDZIAŁ MECHANICZNY  
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



INZYNIERIA MATERIAŁOWA PL

# Dokładność pomiarów fizycznych

Każdy pomiar daje wynik tylko z pewną dokładnością a więc obciążony jest :

1. Niepewnością pomiarową związanego ze sposobem wyznaczania wyniku pomiaru.
2. Błędem pomiarowym czyli odstępstwem wyniku jednostkowego pomiaru od wartości prawdziwej, której wielkości na ogół nie znamy. Błąd pomiaru jest bezpośrednio związany z metodą pomiaru.

„Niepewność” oznacza wątpliwość co do wartości wyniku pomiaru.

Niepewność pomiaru (ISO/IEC Guide 98-3) jest parametrem związanym z wynikiem pomiaru, charakteryzującym rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej. „Niepewność” jest zawsze liczbą.

Błąd to różnica między wynikiem pomiaru a wartością prawdziwą wielkości mierzonej.

Dwa znaczenia słowa „błąd” (ISO/IEC Guide 98-3 ):

- 1) **ilościowe** - jako różnicę (nieznaną) między wartością zmierzoną i prawdziwą,
- 2) **jakościowe** - używane w terminach takich jak: błąd systematyczny, przypadkowy i grubość.





# Dokładność pomiarów fizycznych

Błąd bezwzględny

$$\Delta X = X - X_p$$

$\Delta X$  – błąd bezwzględny  
 $X$  – wartość mierzona  
 $X_p$  – wartość rzeczywista

Błąd względny

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_p} = \frac{X - X_p}{X_p}$$

$\delta X$  – błąd względny

Błąd względny procentowy

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_p} \cdot 100\%$$



# Dokładność pomiarów fizycznych

## Klasyfikacja błędów pomiarowych

1) **błędy systematyczne** – wynika z niedokładności użytych przyrządów, błędnej metody pomiaru lub działania trudno zauważalnych czynników zewnętrznych.

a) Błędy podstawowe są to błędy przyrządów pomiarowych

b) Błędy dodatkowe są to błędy, których źródłem są zmiany właściwości przyrządów pomiarowych i obiektu pomiaru pod wpływem zmian warunków pomiaru w stosunku do przyjętych jako warunki odniesienia.

c) Błędy metody wynikają głównie z oddziaływania przyrządów pomiarowych na obiekt pomiaru,

2) **błędy przypadkowe** – wstępujące w sposób przypadkowy, losowy, podczas wykonywania dużej liczby pomiarów tej samej wielkości w warunkach praktycznie niezmiennych,

3) **błędy nadmierne** (grube) - wynikają z nieprawidłowego wykonania pomiarów.

