Wykładowca: **dr Barbara Oleś**

Telefon: 637 06 66 wew.41

e-mail: pk.tutor@gmail.com

Instytut Fizyki PK, p.117

Plan wykładu:

1. *Podstawy mechaniki klasycznej.*
2. *Drgania i zjawiska falowe. Akustyka.*
3. *Wybrane zagadnienia z elektrodynamiki.*
4. *Elementy optyki falowej.*
5. *Wprowadzenie do fizyki współczesnej (szczególnej teorii względności i mechaniki kwantowej).*

Warunki zaliczenia przedmiotu:

Uzyskanie zaliczenia z ćwiczeń rachunkowych oraz zdany egzamin (część pisemna i ustna).

Podręczniki:

1. D.Halliday,R.Resnick,J.Walker: **Podstawy fizyki**, PWN, Warszawa 2007.
2. I.W.Sawieliew: **Kurs fizyki**.
3. B. Oleś: **Wykłady z fizyki**, Wyd.PK, Kraków 2005.
4. A.K.Wróblewski: **Wstęp do fizyki**, t.1., PWN, Warszawa 1984.

Przypomnienie materiału z liceum:

1. M.Fiałkowska, K.Fiałkowski, B.Sagnowska: Fizyka dla szkół ponadgimnazjalnych.
2. J.Salach, M.Fiałkowska, K.Fiałkowski, B.Sagnowska: Fizyka dla szkół ponadgimnazjalnych, treści rozszerzające, cz.1 i 2.

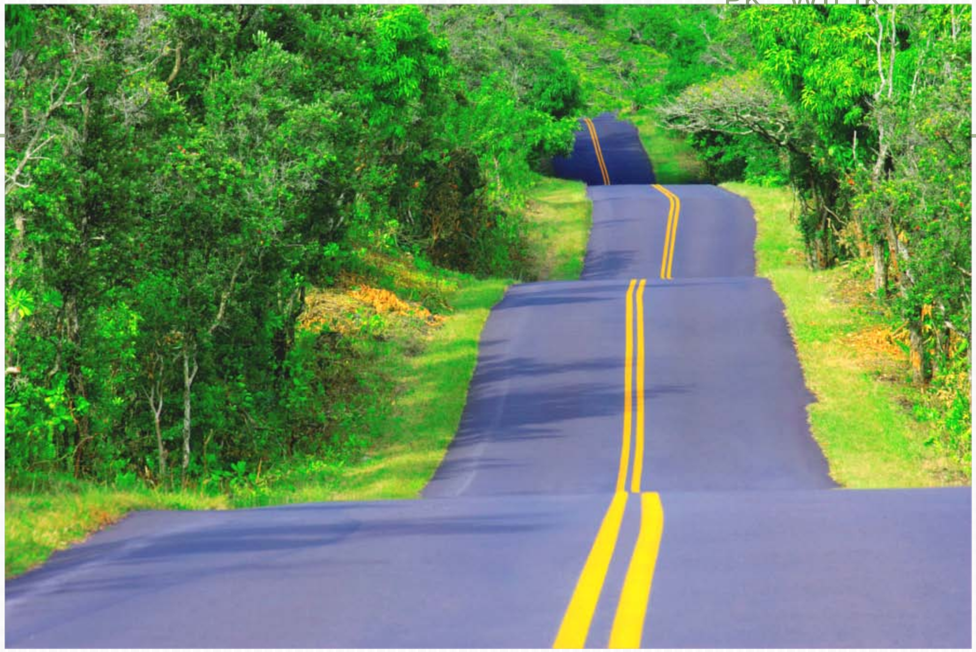
Zaliczenie z ćwiczeń rachunkowych:

- Pozytywne oceny z dwóch kolokwiów w semestrze (ew. pozytywna ocena z kolokwium zaliczeniowego na koniec semestru).
- Aktywność na ćwiczeniach mająca wpływ na ocenę końcową. (Studenci są zobowiązani do posiadania notatek z wykładów, przygotowania się do ćwiczeń na podstawie wykładów, rozwiązywania zadań i prowadzenia notatek.)
- W przypadku nieusprawiedliwionej nieobecności na ćwiczeniach istnieje obowiązek przedstawienia rozwiązań przerabianych na nich zadań.
- Dopuszczalne jest jednorazowe zgłoszenie nieprzygotowania.

Obecność na wykładach obowiązkowa - będzie sprawdzana obecność!

Egzamin składa się z części pisemnej (4 zagadnienia do opracowania w ciągu 2h) oraz z części ustnej. Osoby, które uzyskają z części pisemnej ocenę db, pdb i bdb są zwolnione z części ustnej, z wyjątkiem sytuacji, gdy chciałyby tę ocenę poprawić.

Twoja droga do sukcesu …

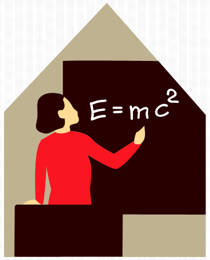


… czyli do zaliczenia fizyki wiedzie poprzez

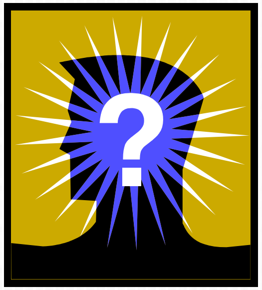
1. *Uczęszczanie na zajęcia i konsultacje*
2. *Systematyczną naukę*
3. *Korzystanie z konsultacji*
4. *Uczestnictwo w zajęciach wyrównawczych .*

uwagi

Jeśli pojawi się ten znak, należy zapisać komentarz ustny.



Zawsze przepisuj obliczenia i notatki z tablicy!



Nie rozumiesz? Podejrzewasz, że coś jest błędnie zapisane?

Pytaj! Aktywność jest mile widziana!

WSTĘP

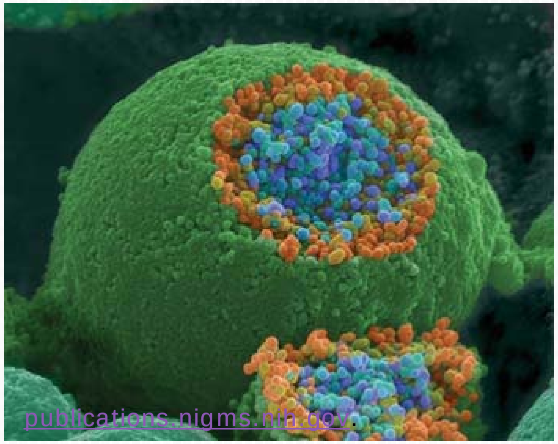
Fale morskie

Zorza polarna

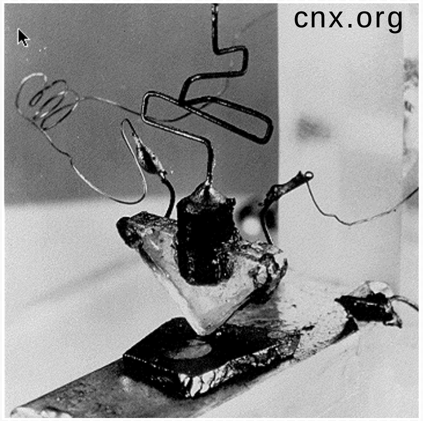
Lewitacja magnesu nad nadprzewodnikiem

Fizyka jest nauką przyrodniczą zajmującą się badaniem właściwości materii i zjawisk w otaczającym nas świecie.

Wyniki badań fizycznych uzyskane w laboratoriach wcześniej lub później znajdują zastosowanie praktyczne.

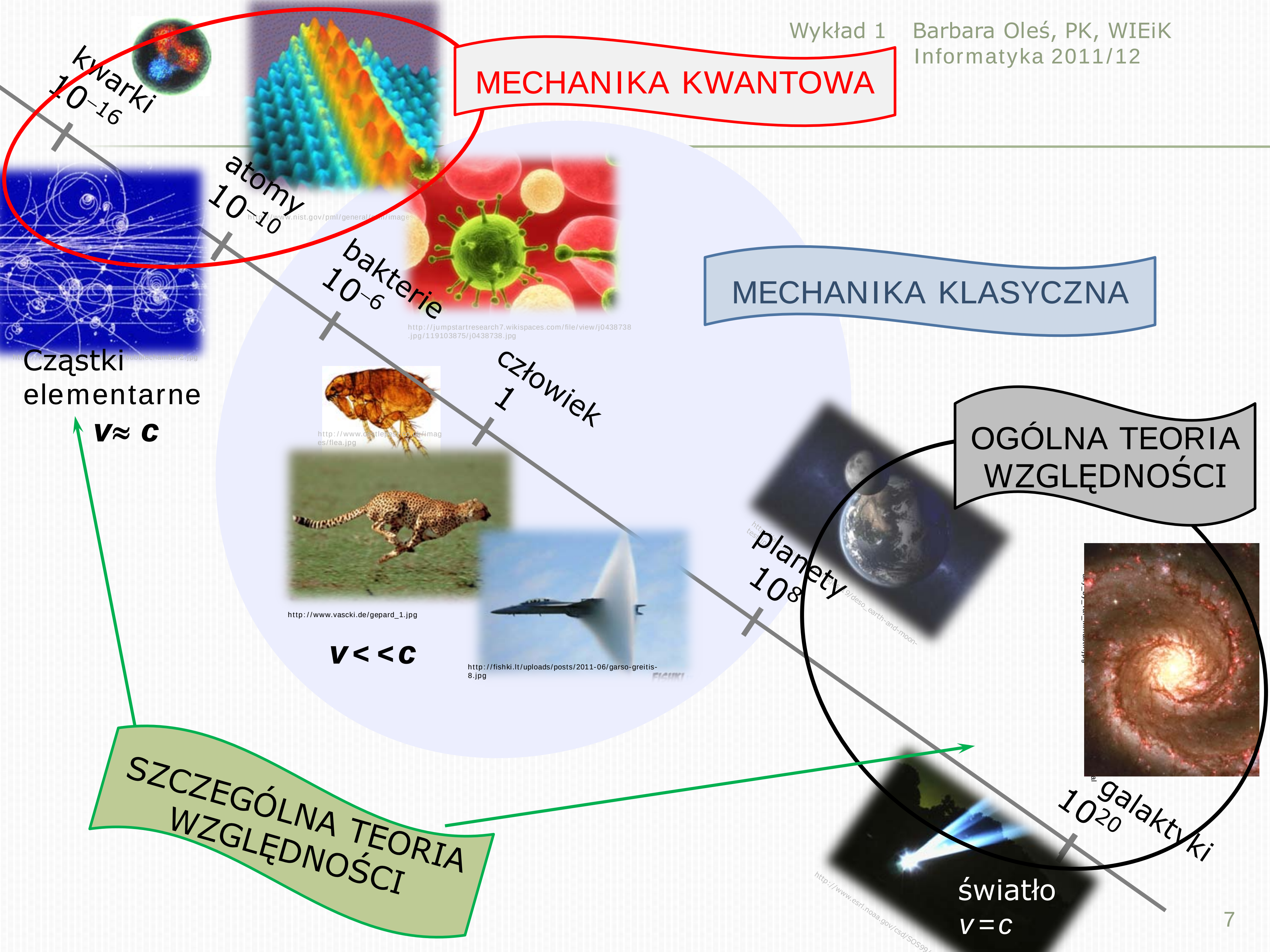


Zakończenie nerwu –zdjęcie z elektronowego mikroskopu skaningowego



1947 r. Tranzystor J.Bardeena, W.Brattaina, W.Shockley'a

… i obecnie produkowany


MECHANIKA KWANTOWA
MECHANIKA KLASYCZNA
OGÓLNA TEORIA WZGLĘDNOŚCI
SZCZEGÓLNA TEORIA WZGLĘDNOŚCI
kwarki 10^{-16}
atomy 10^{-10}
bakterie 10^{-6}
człowiek 1
planety 10^{8}
galaktyki 10^{20}
Cząstki elementarne
$v \approx c$
$v << c$
światło
$v = c$
http://jumpstartresearch7.wikispaces.com/file/view/j0438738.jpg/119103875/j0438738.jpg
http://www.vascki.de/gepard_1.jpg
http://fishki.lt/uploads/posts/2011-06/garso-greitis-8.jpg

Fizykę możemy podzielić na fizykę klasyczną i fizykę współczesną, do której zaliczamy szczególną i ogólną teorię względności oraz fizykę kwantową.

Fizyka klasyczna poprawnie wyjaśnia zjawiska związane z obiektami o rozmiarach większych od atomów a mniejszych od Słońca oraz poruszających się z szybkościami dużo mniejszymi od szybkości światła w próżni, $c \cong 3{\cdot}10^8$ m/s.

Fizyka kwantowa pozwala opisywać zjawiska zachodzące w mikroświecie, gdy rozmiary ciał są rzędu protonów, elektronów, kwarków.

Szczególna teoria względności wyjaśnia zjawiska towarzyszące ruchowi obiektów z szybkościami porównywalnymi z szybkością światła.

Ogólna teoria względności dotyczy zjawisk zachodzących w skali bardzo dużych mas, takich jak gwiazdy, galaktyki.

Prawa fizyki klasycznej są prawami przybliżonymi i stanowią graniczny przypadek ogólniejszych praw:

- mechaniki kwantowej i
- szczególnej teorii względności.

Niezbędna szczypta matematyki

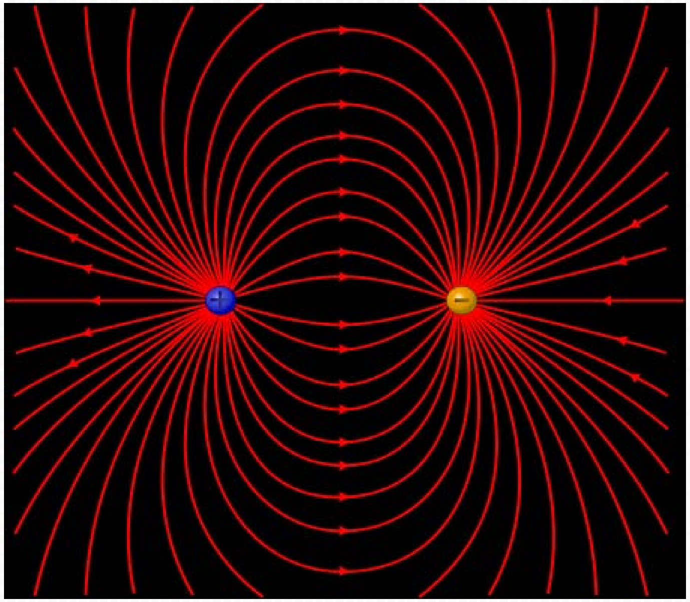
Wielkości fizyczne możemy podzielić na <u>skalarne</u> i <u>wektorowe</u>.

Podając temperaturę, ciśnienie czy masę ciała wystarczy podać liczbę i jednostkę.

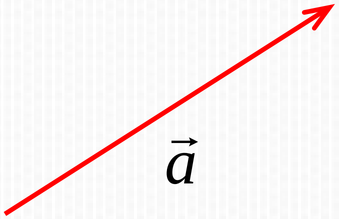
$T = 120$ K, $m = 15{,}3$ kg

Natomiast do dokładnego określenia siły, prędkości czy natężenia pola elektrycznego oprócz wartości musimy jeszcze podać kierunek i zwrot.

$$\vec{E} = (2{,}0\,\vec{i} + 1{,}0\,\vec{j})\ \mathrm{V/m}$$



Dla zaznaczenia, że mamy do czynienia z wektorem, nad symbolem wielkości piszemy $\rightarrow$, np. $\vec{a}, \vec{F}, \vec{r}$.



$\vec{a}$

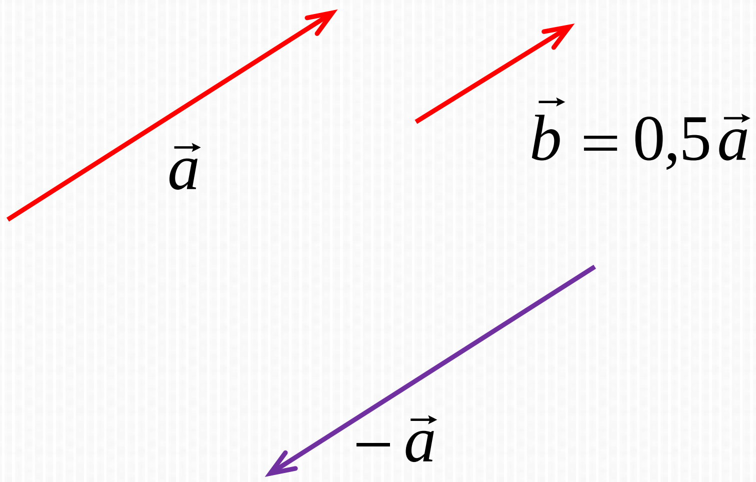
Wektory można mnożyć przez liczbę.

Zmienia się wówczas wartość wektora, ale nie kierunek.

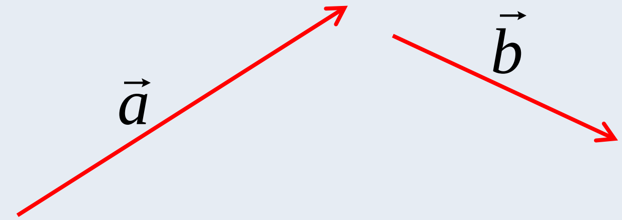
Jeśli liczba jest dodatnia, to nie ulega zmianie zwrot wektora, a jeśli ujemna, to zwrot zmienia się na przeciwny:

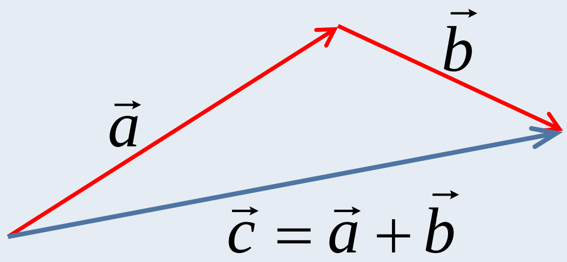
$$\vec{b} = -\vec{a},$$

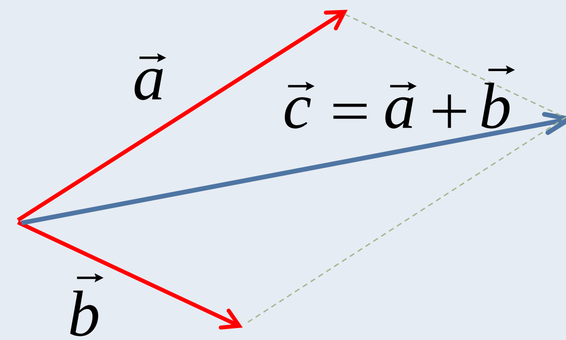
$$\vec{b} = m\vec{a}, \quad m$$ - dowolna liczba



Wektory możemy dodawać (odejmować).
Znajdowanie sumy geometrycznej wektorów (wypadkowej) przedstawiają rysunki.







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

Wektory można mnożyć:

- skalarnie i w wyniku dostajemy liczbę,
- wektorowo – w wyniku dostajemy wektor.

<u>Iloczyn skalarny </u>dwóch wektorów: $c = \vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cos\angle(\vec{a}, \vec{b})$

Iloczyn ten jest przemienny: $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a}$,

$\vec{a} \perp \vec{b}$ to $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{0}$,

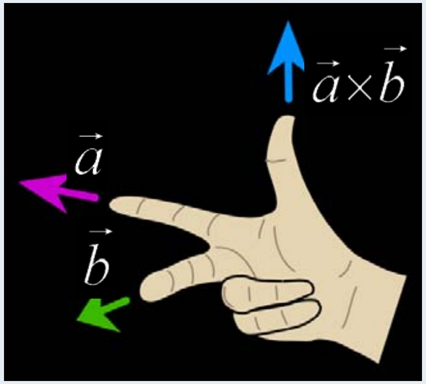
$\vec{a} \cdot \vec{a} = a^2$,

<u>Iloczyn wektorowy</u>: $\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b},$

wartość iloczynu wektorowego: $|\vec{c}| = |\vec{a} \times \vec{b}| = |\vec{a}||\vec{b}| \sin \angle(\vec{a}, \vec{b}),$

kierunek wektora $\vec{c}$ jest prostopadły do płaszczyzny, w której leżą wektory $\vec{a}$ i $\vec{b}$,

zwrot $\vec{c}$ wyznaczamy regułą śruby prawoskrętnej (regułę prawej dłoni).

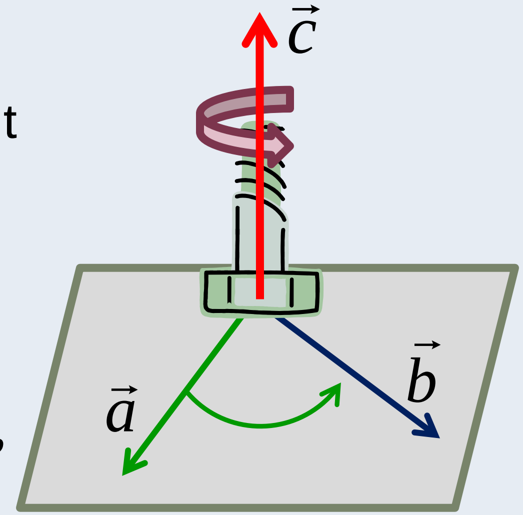


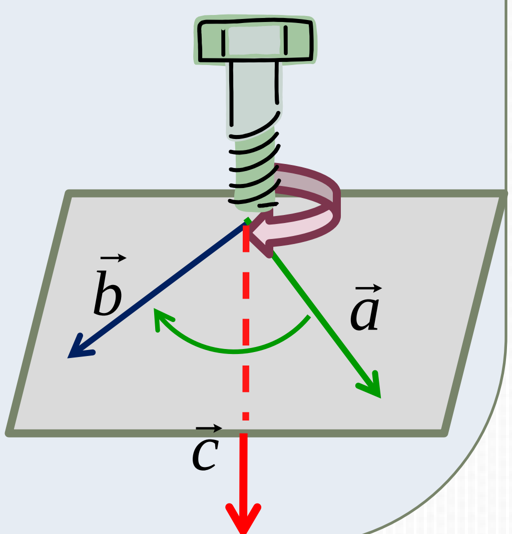
Iloczyn wektorowy jest antyprzemienny:

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

$$\vec{a} \perp \vec{b} \text{ to } |\vec{a} \times \vec{b}| = |\vec{a}||\vec{b}|,$$

$$\vec{a} \parallel \vec{b} \text{ to } |\vec{a} \times \vec{b}| = 0,$$

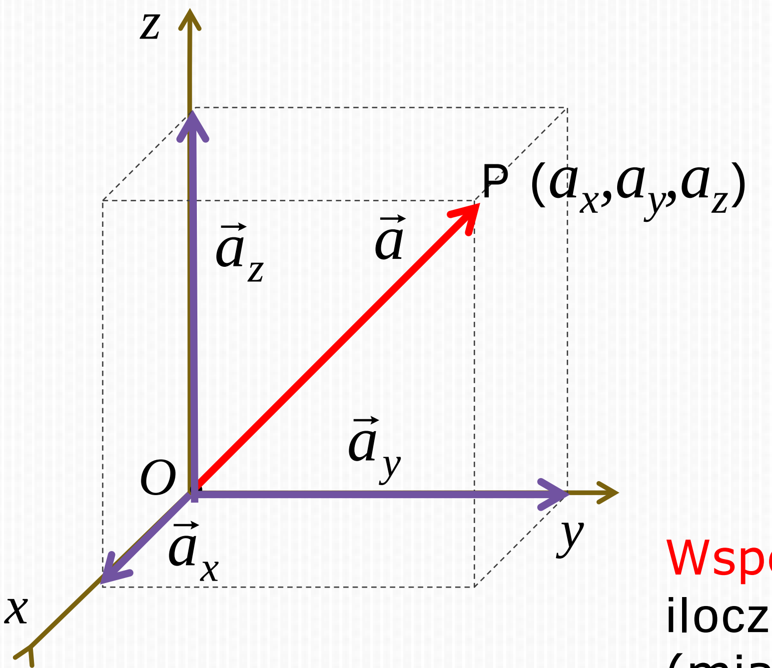




Wektor w kartezjańskim układzie współrzędnych xyz

- możemy rozłożyć na wektory składowe $\vec{a}_x, \vec{a}_y, \vec{a}_z$ i zapisać w postaci sumy:

$$\boxed{\vec{a} = \vec{a}_x + \vec{a}_y + \vec{a}_z}$$



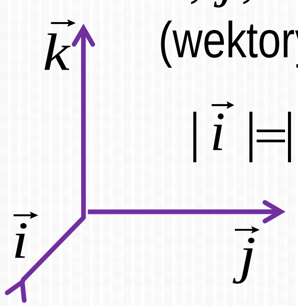
- Lub sumę iloczynów składowych (współrzędnych) wektora a_x, a_y, a_z i wektorów jednostkowych $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$:

$$\boxed{\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}}$$

Współrzędną wektora na danej osi nazywamy iloczyn skalarny tego wektora i wersora tej osi (miara rzutu wektora na daną oś):

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – wersory (wektory jednostkowe):

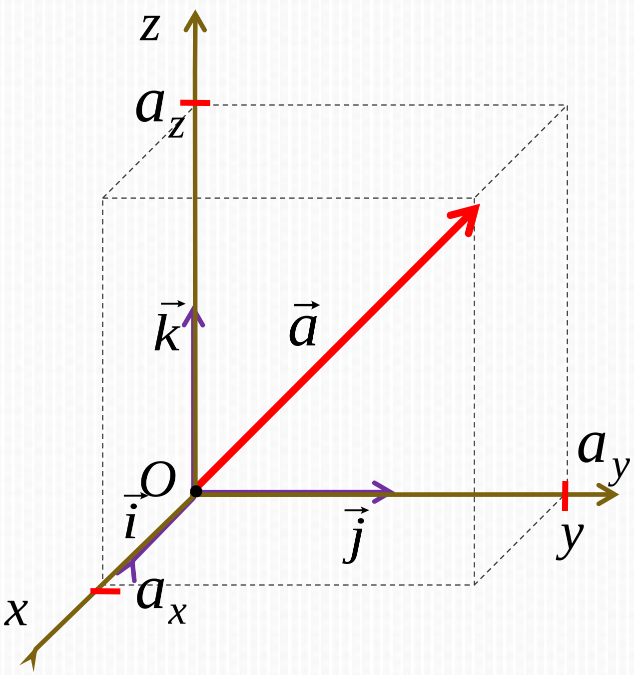
$$|\vec{i}| = |\vec{j}| = |\vec{k}| = 1$$



$$a_x = \vec{a} \cdot \vec{i} = |\vec{a}||\vec{i}|\cos\angle(\vec{a}, \vec{i}),$$

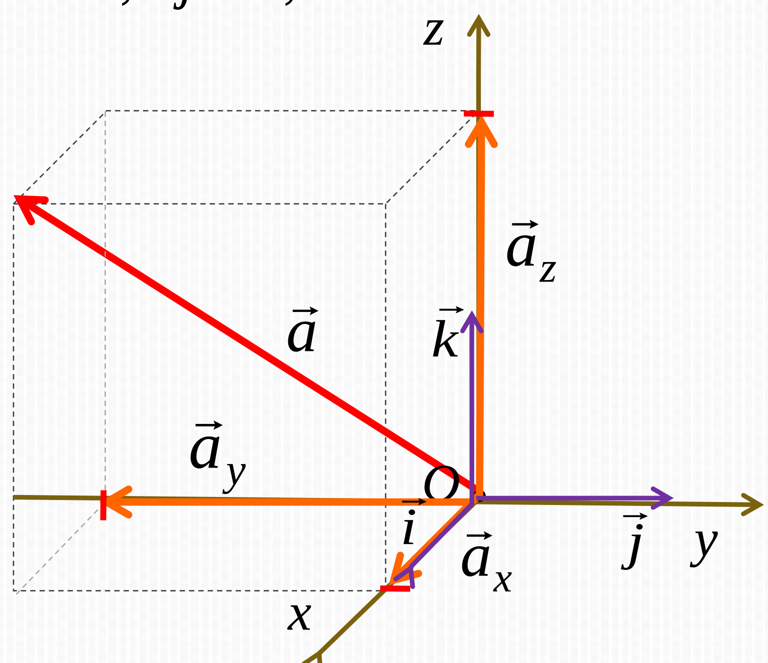
$$a_y = \vec{a} \cdot \vec{j} = |\vec{a}||\vec{j}|\cos\angle(\vec{a}, \vec{j}),$$

$$a_z = \vec{a} \cdot \vec{k} = |\vec{a}||\vec{k}|\cos\angle(\vec{a}, \vec{k}).$$



Jeśli zwrot wektora składowego jest zgodny ze zwrotem osi, to współrzędna (składowa wektora) na tej osi jest liczbą dodatnią, a liczbą ujemną, gdy zwroty tych wektorów są przeciwne.

np. $\vec{a} = 1{,}5\vec{i} + 2{,}0\,\vec{j} + 2{,}0\,\vec{k}.$



$\vec{a} = 1{,}5\vec{i} - 2{,}0\,\vec{j} + 2{,}0\,\vec{k}.$

Dodawanie wektorów:

$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b} = (\vec{a}_x + \vec{b}_x) + (\vec{a}_y + \vec{b}_y) + (\vec{a}_z + \vec{b}_z) =$$

$$= (a_x + b_x)\vec{i} + (a_y + b_y)\vec{j} + (a_z + b_z)\vec{k}.$$

Mnożenie skalarne wektorów:

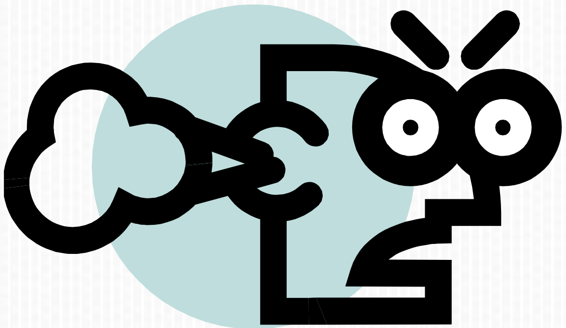
$$c = \vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z,$$

$$\cos\angle(\vec{a},\vec{b}) = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|} = \frac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{|\vec{a}||\vec{b}|}.$$

Iloczyn wektorowy:

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} a_y & b_y \\ a_z & b_z \end{vmatrix} \vec{i} - \begin{vmatrix} a_x & b_x \\ a_z & b_z \end{vmatrix} \vec{j} + \begin{vmatrix} a_x & b_x \\ a_y & b_y \end{vmatrix} \vec{k},$$

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = (a_y b_z - a_z b_y)\vec{i} + (a_z b_x - a_x b_z)\vec{j} + (a_x b_y - a_y b_x)\vec{k}.$$



Prosimy o wykazanie jeszcze odrobiny cierpliwości!
Te wszystkie wiadomości będą nam w przyszłości bardzo potrzebne!

Pochodna funkcji jednej zmiennej

Pochodna funkcji jednej zmiennej $y = f(x)$ jest to nowa funkcja zmiennej x, równa dla każdej wartości x granicy stosunku przyrostu funkcji Δy do odpowiadającego mu przyrostu zmiennej niezależnej Δx, gdy Δx dąży do zera:

$$f'(x) = \frac{df}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

Obliczanie pochodnej nazywamy różniczkowaniem funkcji $f(x)$.

f(x)	*pochodna*	*f(x)*	*pochodna*
Stała, np. 2	0	$\cos x$	$-\sin x$
x	1	$\sin x$	$\cos x$
x^n	nx^{n-1}	$a\,f(x)$	$a\,f'(x)$
$\sqrt{x}$	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$	$\ln x$	$\frac{1}{x}$

funkcje	*pochodna*
$y = g(x),\ f(g(x))$	$\frac{df}{dy} \cdot \frac{dg}{dx}$
$f(x) + g(x)$	$\frac{df}{dx} + \frac{dg}{dx}$
$f(x) \cdot g(x)$	$\frac{df}{dx} g(x) + f(x) \frac{dg}{dx}$
$\frac{f(x)}{g(x)}$	$\frac{f \cdot \frac{dg}{dx} - g \cdot \frac{df}{dx}}{g^2}$

Np. po zróżniczkowaniu funkcji $f(x) = 3x^2 + \cos(4x)$

dostajemy $f'(x) = \frac{df}{dx} = 6x - 4\sin(4x)$

http://indianapublicmedia.org/amomentofscience/files/2009/07/ant.jpg

Niepewności i cyfry znaczące

Przypuśćmy, że obliczamy szybkość mrówki, która w czasie 7,1s pokonała odcinek 0,13m.

Obliczamy na kalkulatorze, że szybkość wynosi 0,13m : 7,1s = 0,0183098592m/s. Uff! Jak to odczytać?

Pomiar zawsze jest obarczony niepewnością.

Dokładność zmierzonej wielkości z uwzględnieniem niepewności możemy zapisać w postaci:

56,47±0,02 j

1,47 j - domyślnie ostatnia cyfra jest niepewna

Pamiętajmy, że wykonując działania na liczbach o skończonej dokładności, należy stosować się do następujących zasad:

1. Sumę zaokrąglamy do miejsca znaczącego odpowiadającego najmniej dokładnemu składnikowi.
2. W iloczynie lub ilorazie liczb przybliżonych zachowujemy co najwyżej tyle cyfr znaczących, ile jest w czynniku który ma ich najmniej.

Stosując powyższe reguły podamy wynik: szybkość=0,018m/s=$1{,}8\cdot 10^{-2}$ m/s.

I. PODSTAWY MECHANIKI KLASYCZNEJ Z ELEMNETAMI MECHANIKI REALTYWISTYCZNEJ

Mechanika zajmuje się badaniem ruchu obiektów oraz przyczynami ruchów.

Wykład zaczynamy od kinematyki punktu materialnego, działu fizyki, który zajmuje się opisem ruchu bez analizowania jego przyczyn.

1. Opis ruchu: położenie, prędkość, przyspieszenie

http://www.astronomia.biz.pl/images/krater.jpg

Krater w Arizonie o średnicy 1200 m jest pozostałością po uderzeniu w naszą planetę asteroidy przed 50 tys. lat.

Do podobnego zagrożenia z kosmosu może dojść w bliższej lub dalszej przyszłości.

Astronomowie nieustannie śledzą takie obiekty i starają się obliczyć prawdopodobieństwo ich kolizji z Ziemią.

http://a.abcnews.com/images/Technology/gty_asteroid_near_earth_ll_110627_wg.jpg

Chcąc ustalić, czy asteroida może zagrozić Ziemi należy umieć określić jej **położenie** i **opisać ruch**.

1.1. Względność położenia i ruchu

Położenie i ruch są *pojęciami względnymi* – zależą od wyboru układu odniesienia.

Układem odniesienia może być jakiś obiekt (*tzw. ciało, cząstka*), np. obserwatorium astronomiczne na Ziemi.

W celu uproszczenia analizy problemu zastosujemy *model punktu materialnego.*

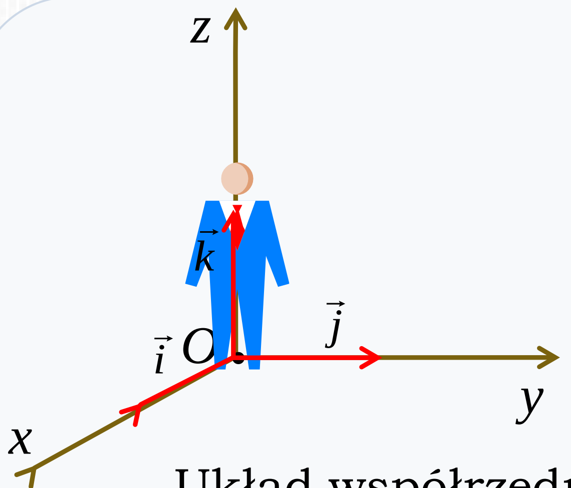
Asteroida może być traktowana jako punkt materialny w przestrzeni kosmicznej, ale należy uwzględnić jej rozmiary w momencie uderzenia w Ziemię.

1.2. Położenie

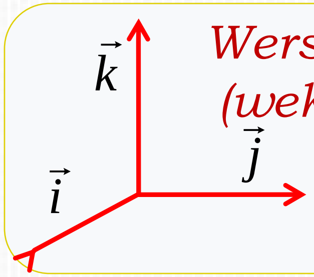
Położenie ciała (w naszym przykładzie asteroidy) w przestrzeni podajemy w wybranym układzie współrzędnych za pomocą:

- *współrzędnych*, np. kartezjańskich (x, y, z)
- *wektora położenia*

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

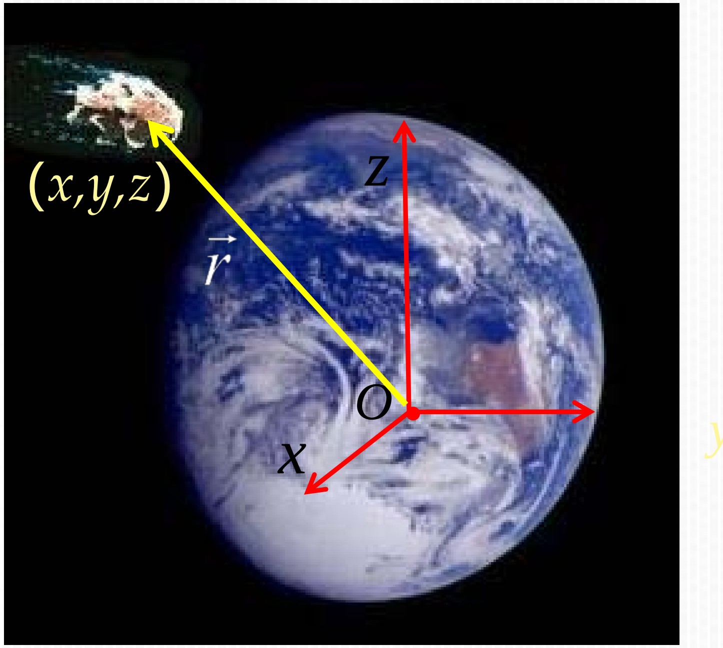


Układ współrzędnych kartezjańskich

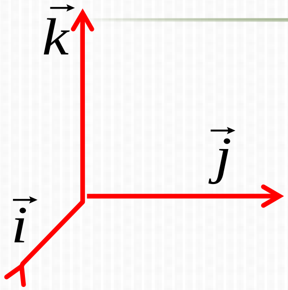


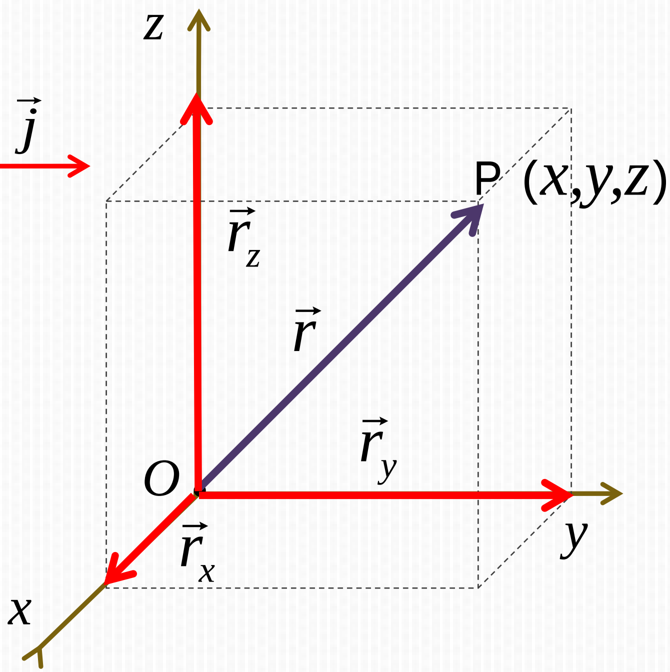
Wersory (wektory jednostkowe):

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



Jeszcze raz wektor położenia ...

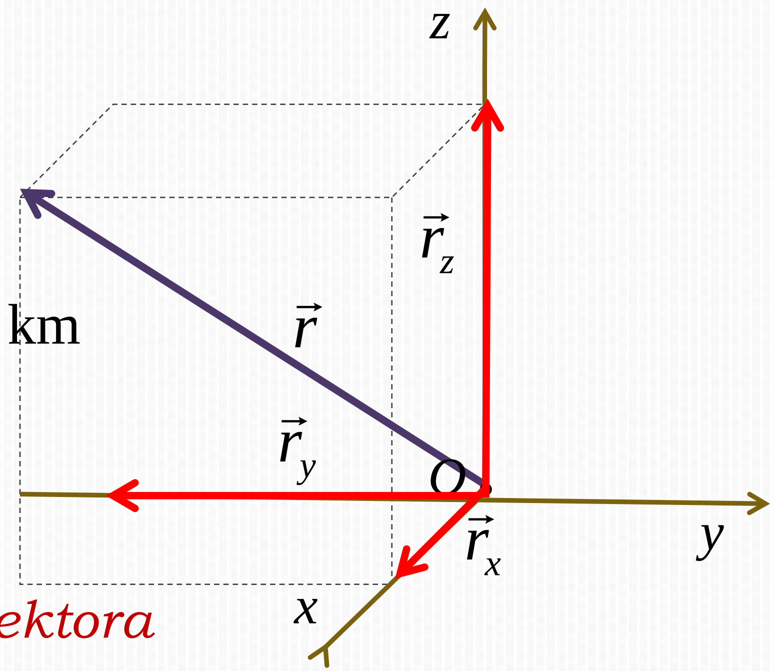




$$\boxed{\begin{aligned}\vec{r} &= x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} = \\ &= \vec{r}_x + \vec{r}_y + \vec{r}_z\end{aligned}}$$

Np. $\vec{r} = (10{,}00\vec{i} + 16{,}88\vec{j} + 20{,}03\vec{k})\,\mathrm{km}$

lub $\vec{r} = (10{,}00\vec{i} - 16{,}88\vec{j} + 20{,}03\vec{k})\,\mathrm{km}$

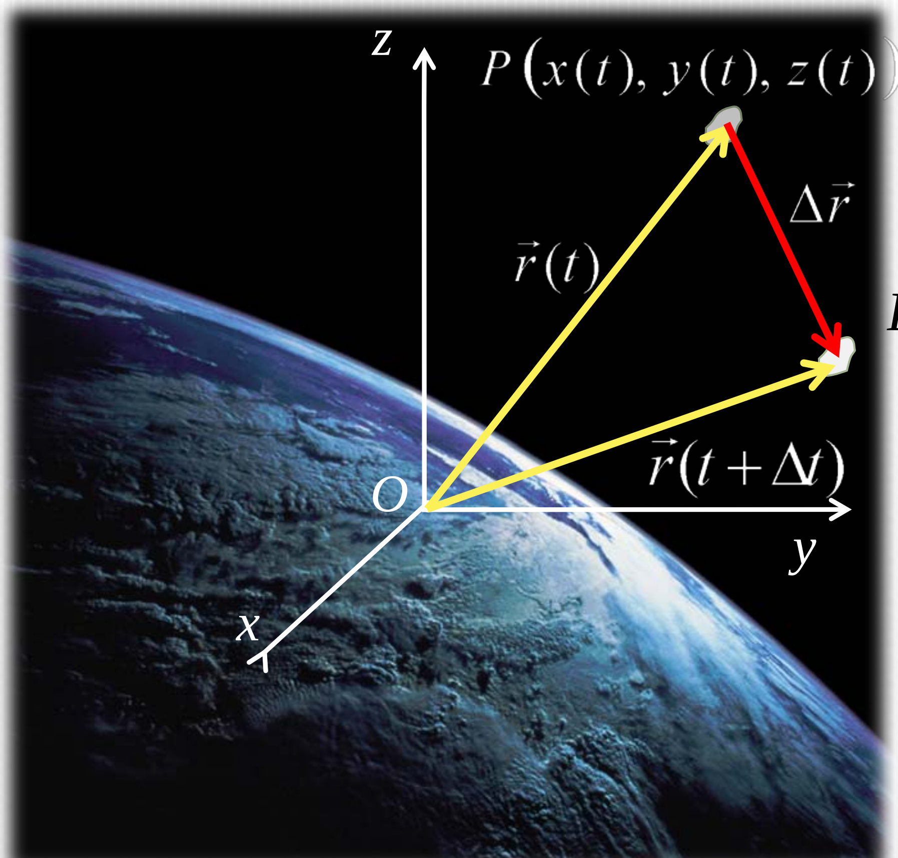


Odległość P od początku układu:

$\boxed{r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$ - *długość wektora*

Zmiana położenie ciała dana jest przez *wektor przemieszczenia*:

$$\boxed{\begin{aligned}\Delta\vec{r} &= \vec{r}(t+\Delta t)-\vec{r}(t)=\\ &=[x(t+\Delta t)-x(t)]\,\vec{i}+[y(t+\Delta t)-y(t)]\,\vec{j}+[z(t+\Delta t)-z(t)]\,\vec{k}\end{aligned}}$$

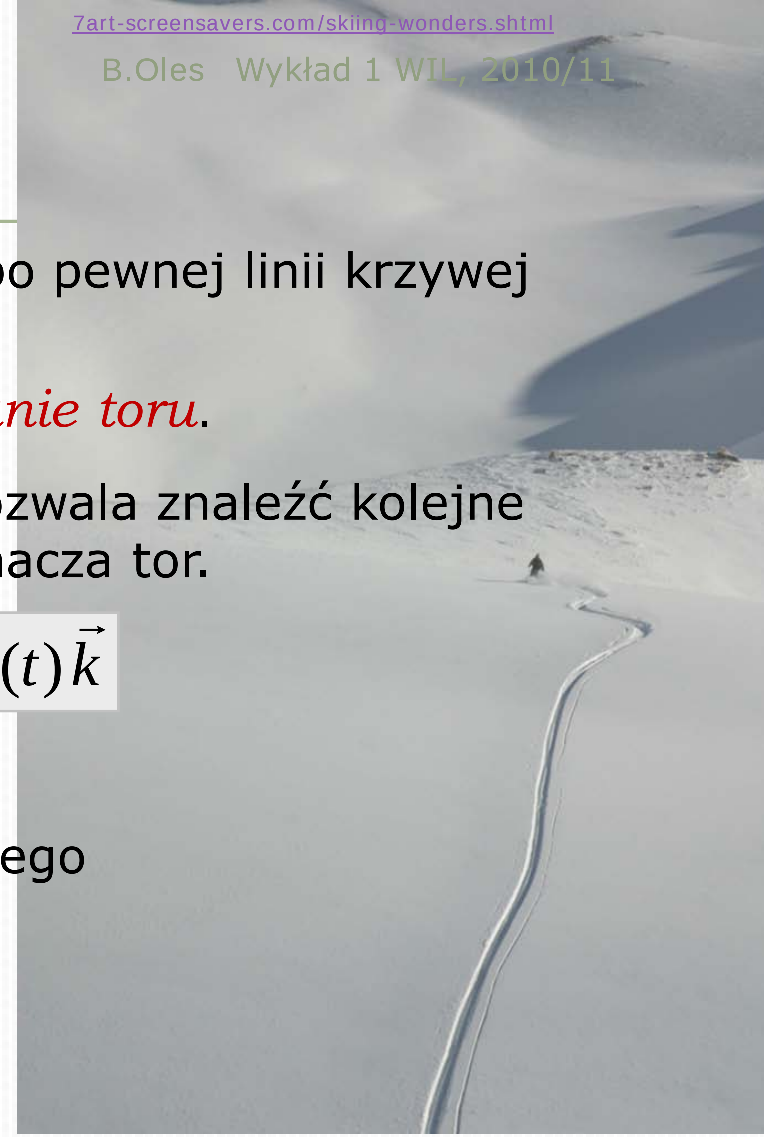


$P'\left(x(t'), y(t'), z(t')\right)$,

$t' = t + \Delta t$

http://lightonthepage.com/wp-content/uploads/2011/05/earth1.jpg

1.3. Równanie toru, droga



Każde ciało będące w ruchu porusza się po pewnej linii krzywej lub prostej, którą nazywamy torem.

Jego matematycznym opisem jest *równanie toru*.

Zależność wektora położenia od czasu pozwala znaleźć kolejne położenia ciała podczas ruchu, czyli wyznacza tor.

$$\vec{r}(t) = x(t)\,\vec{i} + y(t)\,\vec{j} + z(t)\,\vec{k}$$

Natomiast długości odcinka toru przebytego przez ciało nazywamy *drogą s.*

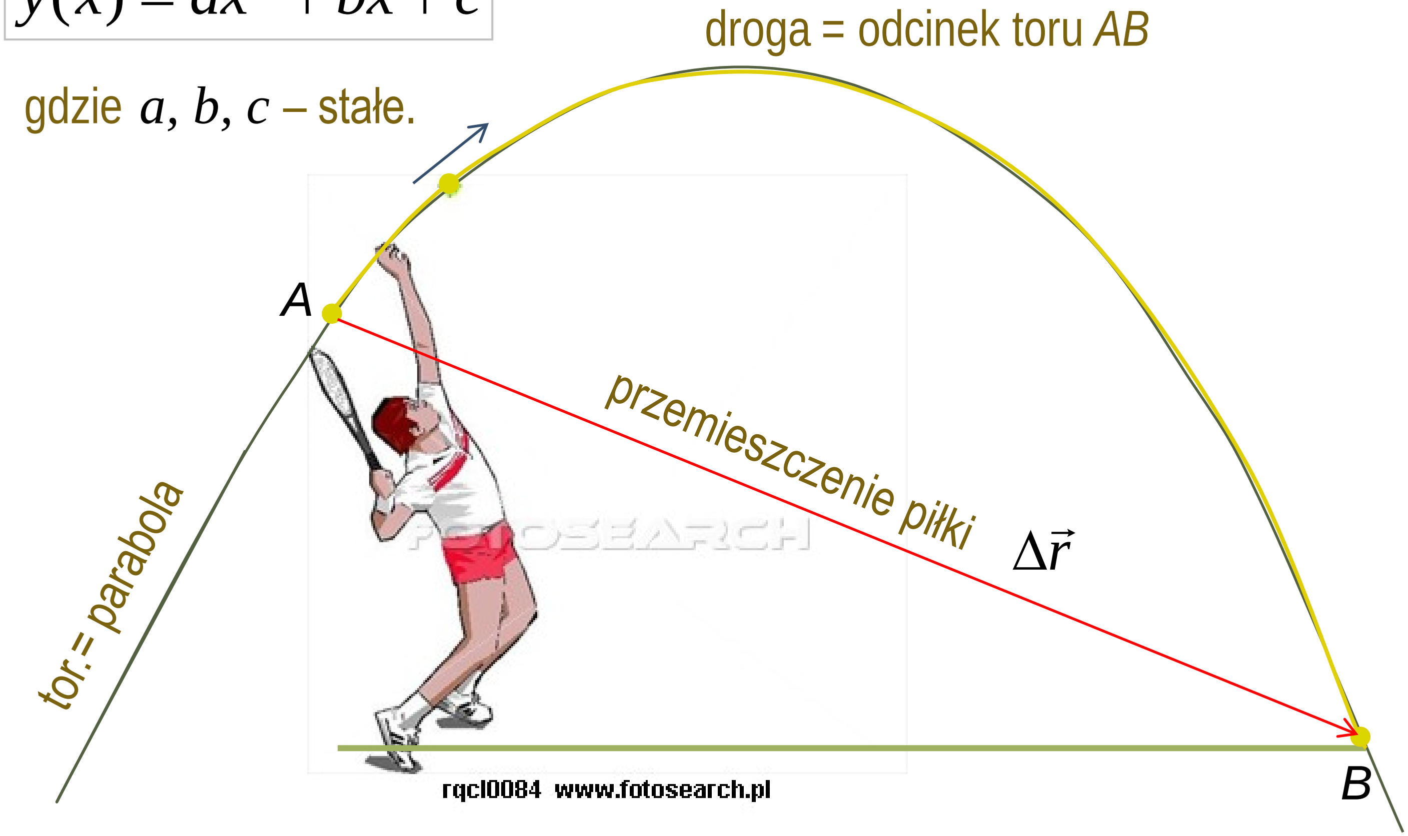
Zapamiętaj!

Droga s jest skalarem, a przemieszczenie $\Delta\vec{r}$ jest wektorem i jego wartość – z wyjątkiem ruchu prostoliniowego – jest różna od s !

Z codziennych obserwacji wiemy, że ciało rzucone pod pewnym kątem w górę porusza się po torze przypominającym parabolę. Gdyby nie istniał opór powietrza tor ciała byłby dany równaniem:

$$y(x) = ax^2 + bx + c$$

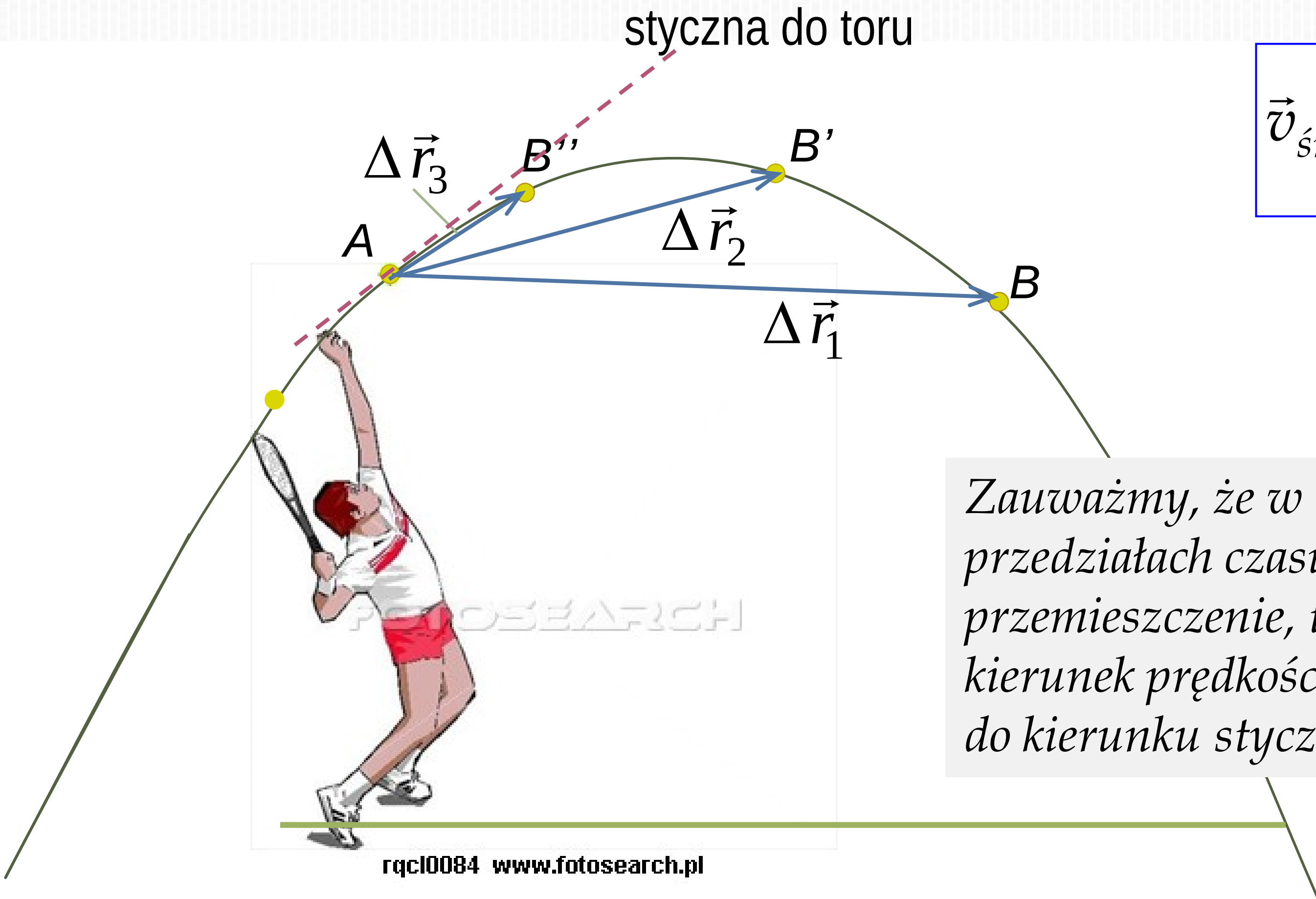
gdzie a, b, c – stałe.



Ze względu na tor ruchy dzielimy na **prostoliniowe** i **krzywoliniowe**.

1.4. Prędkość

Prędkość średnia definiowana jest jako stosunek przemieszczenia $\Delta\vec{r}$ do czasu Δt, w którym to przemieszczenie nastąpiło:



$$\vec{v}_{śr} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

Zauważmy, że w im mniejszych przedziałach czasu rozpatrujemy przemieszczenie, tym bardziej kierunek prędkości średniej zbliża się do kierunku stycznej do toru w A.

Przy opisie ruchu ciała posługujemy się zwykle *prędkością chwilową*

równą stosunkowi przemieszczenia i przedziału czasu Δt, w którym to przemieszczenie nastąpiło, przy $\Delta t \to 0$:

$$\boxed{\vec{v} = \left(\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}\right)_{\Delta t \to 0} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\vec{r}(t+\Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t} \,,}$$

$\vec{v}$ jest pochodną wektora położenia $\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$ względem czasu:

$$\boxed{\vec{v} = \vec{r}\,'(t) = \frac{\mathrm{d}\vec{r}(t)}{\mathrm{d}t}}$$

$$\vec{v}(t) = v_x(t)\vec{i} + v_y(t)\vec{j} + v_z(t)\vec{k} \,,$$

gdzie

$$v_x(t) = \frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t}, \quad v_y(t) = \frac{\mathrm{d}y(t)}{\mathrm{d}t}, \quad v_z(t) = \frac{\mathrm{d}z(t)}{\mathrm{d}t}.$$

Prędkość chwilowa jest zawsze styczna do toru!

Wartość wektora prędkości nazywamy **szybkością**:

$$\upsilon = |\vec{\upsilon}| = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2 + \upsilon_z^2} \ .$$

Jeśli znamy drogę s przebytą przez ciało jako funkcję czasu t, to

$\upsilon = \dfrac{ds}{dt}$ jest szybkością ciała, czyli wartością jego prędkości!

Ale **nie** prędkością, która jest wektorem!

Zapamiętaj!

Tylko w przypadku ruchu jednostajnego prostoliniowego szybkość jest równa stosunkowi drogi i czasu.

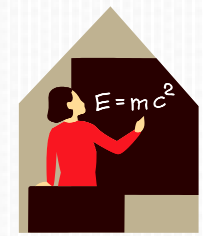
Prędkość chwilowa jest wektorem stycznym do toru i nie możemy powiedzieć, że jest równa s/t !

Przykład

Przypuśćmy, że w pewnym przedziale czasu, w pewnym układzie odniesienia, wektor położenia asteroidy dany był wyrażeniem:

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k} = b\cos\omega t \cdot \vec{i} + b\sin\omega t \cdot \vec{j}$$

gdzie $b,\ \omega$ – stałe.



Obliczmy prędkość chwilową asteroidy:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}(t)}{dt} = \frac{dx(t)}{dt}\vec{i} + \frac{dy(t)}{dt}\vec{j} + \frac{dz(t)}{dt}\vec{k} =$$

$$= -b\omega\sin\omega t \cdot \vec{i} + b\omega\cos\omega t \cdot \vec{j}\ .$$

I jej wartość: $$v = |\vec{v}| = \omega\sqrt{b^2\sin^2\omega t + b^2\cos^2\omega t} =$$

$$= b\omega.$$

Porównaj wyrażenia na prędkość i szybkość.
Czy dostaliśmy identyczne wyniki?

Wektor położenia zależny od czasu informuje o kolejnych położeniach asteroidy, które leżą na krzywej zwanej torem :

$$\vec{r}(t) = b\cos\omega t \cdot \vec{i} + b\sin\omega t \cdot \vec{j}$$

$$x(t) = b\cos\omega t, \quad y = b\sin\omega t.$$

Jej równanie dostaniemy eliminując czas:

$$x^2 + y^2 = b^2.$$

Jest to równanie okręgu o promieniu *b*. Po jednym pełnym okrążeniu Ziemi (gdyby stałą się satelitą Ziemi) asteroida przebyłaby drogę $s=2\pi b$ w czasie $t=2\pi/\omega$. Jej prędkość ma stałą wartość $v=b\omega$, ale kierunek w każdej chwili jest styczny do toru!

1.5. Przyspieszenie

Często mamy do czynienia z ruchem, w którym prędkość zmienia się w czasie:

$$\vec{v}(t) = v_x(t)\vec{i} + v_y(t)\vec{j} + v_z(t)\vec{k}$$

O jej zmianie informuje *przyspieszenie chwilowe*, zdefiniowane jako pochodna prędkości względem czasu:

www.glosmsinfo.org.uk/News.htm

$$\boxed{\vec{a} = \left(\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}\right)_{\Delta t \to 0} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\vec{v}(t+\Delta t) - \vec{v}(t)}{\Delta t}}$$

$$\boxed{\vec{a} = \vec{v}'(t) = \frac{d\vec{v}}{dt} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}\,,}$$

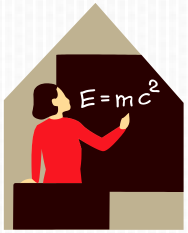
gdzie

$$a_x(t) = v'_x(t) = \frac{dv_x(t)}{dt}, \quad a_y(t) = v'_y(t) = \frac{dv_y(t)}{dt}, \quad a_z(t) = \frac{dv_z(t)}{dt}.$$

Kontynuacja przykładu

Obliczmy przyspieszenie asteroidy, której prędkość dana jest wzorem:

$$\vec{v} = -b\omega \sin \omega t \cdot \vec{i} + b\omega \cos \omega t \cdot \vec{j}$$



$$\vec{a} = \frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\vec{i} + \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\vec{j} + \frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\vec{k} =$$

$$= -b\omega^2 \cos \omega t \cdot \vec{i} - b\omega^2 \sin \omega t \cdot \vec{j}$$

Wektor przyspieszenia ma kierunek wektora prędkości, ale przeciwny zwrot!

$$\vec{a} = -\omega^2 \vec{r}\,.$$

Przyspieszenie nie zależy od czasu.

Podsumowując, możemy powiedzieć, że jest to przykład ruchu jednostajnego po okręgu – wartość prędkości jest stała, a przyspieszenie związane jest ze zmianą kierunku prędkości i ma stałą wartość.

Ze względu na przyspieszenie wyróżniamy ruchy:

- Jednostajne prostoliniowe $\vec{v} = \overrightarrow{\mathrm{const}}, \vec{a} = 0$,
- Jednostajnie przyspieszone $\vec{a} = \overrightarrow{\mathrm{const}}$,
- Zmienne $\vec{a} \neq \overrightarrow{\mathrm{const}}$.

Ze względu na tor ruchy dzielimy na:

- prostoliniowe
- krzywoliniowe.