WPROWADZENIE

Czym jest fizyka?

Fizyka odgrywa dziś rolę tego co dawniej nazywano filozofią przyrody i z czego zrodziły się współczesne nauki przyrodnicze. Można powiedzieć, że **fizyka stanowi system podstawowych idei uogólniających dane eksperymentalne i odzwierciedlających obiektywne prawa przyrody**.

Parametr	Wartość
Promień Wszechświata	10^{26} m (10^{10} lat świetlnych)
Odległość Ziemi do Słońca	1.5×10^{11} m
Promień Ziemi	6.4×10^{6} m
Liczba protonów i neutronów we Wszechświecie	10^{80}
Słońce	10^{57} atomów
Ziemia	4×10^{51}
Człowiek	10^{16} komórek
Komórka	10^{12}–10^{14} atomów

Teoria w fizyce nie jest traktowana jako prawda ostateczna, lecz jedynie jako model stosowany do rozwiązywania zagadnień i prowadzący do rozwiązań ściśle zgodnych z danymi eksperymentalnymi.

Fizyka klasyczna – opis makroświata
Fizyka współczesna –opis mikroświata

Słupy graniczne w tym podziale:

- teoria względności
- mechanika kwantowa

Oddziaływania fundamentalne

Oddziaływanie	Źródło	Intensywność względna	Promień działania
Grawitacyjne	Masa	10^{-39}	Dalekozasięgowe
Słabe	Wszystkie cząstki elementarne	10^{-15}	Krótkozasięgowe (10^{-15} m)
Elektromagnetyczne	Ładunki elektryczne	10^{-2}	Dalekozasięgowe
Jądrowe (silne)	Hadrony (protony, neutrony, mezony)	1	Krótkozasięgowe (10^{-15} m)

Podstawowe jednostki układu SI

Wielkość	Nazwa	Symbol
długość	metr	m
masa	kilogram	kg
czas	sekunda	s
prąd elektryczny	amper	A
temperatura	kelwin	K
liczność materii	mol	mol
światłość	kandela	cd

Jednostki pochodne

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

Siła

$$1\text{Newton} = 1\text{N} = 1\text{kg}\frac{1\text{m}}{1\text{s}^2}$$

Moc

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

Do zapisu bardzo małych lub bardzo dużych wielkości $\Rightarrow$ zapis potęgowy

Czynnik	Przedrostek	Symbol
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^{-2}	centy	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p

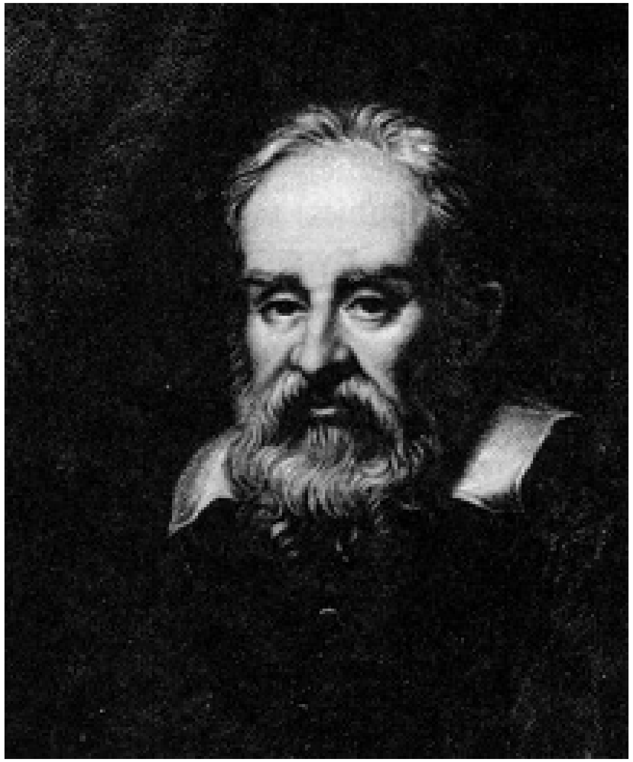
Jednostki długości, czasu i masy

- **długość – metr (m)** – długość drogi, jaką przebywa światło w próżni w czasie 1/299 792 458 s (1983 r)
- **czas – sekunda (s)** – czas 9 192 631 770 drgań promieniowania wysyłanego przez atom cezu –133 (1967)
- **masa – kilogram (kg)** – masa wzorca walca z platyny i irydu
- **jednostka mas atomów (μ)** – 1/12 masy węgla C^{12} – **1 μ** = $1{,}6605402 \times 10^{-27}$ kg

KINEMATYKA I DYNAMIKA

Kinematyka (badanie ruchu) –Galileusz, XVII w.

Dynamika (badania przyczyn ruchu) – Newton, XVIII w



Galileo Galilei (1564–1642)

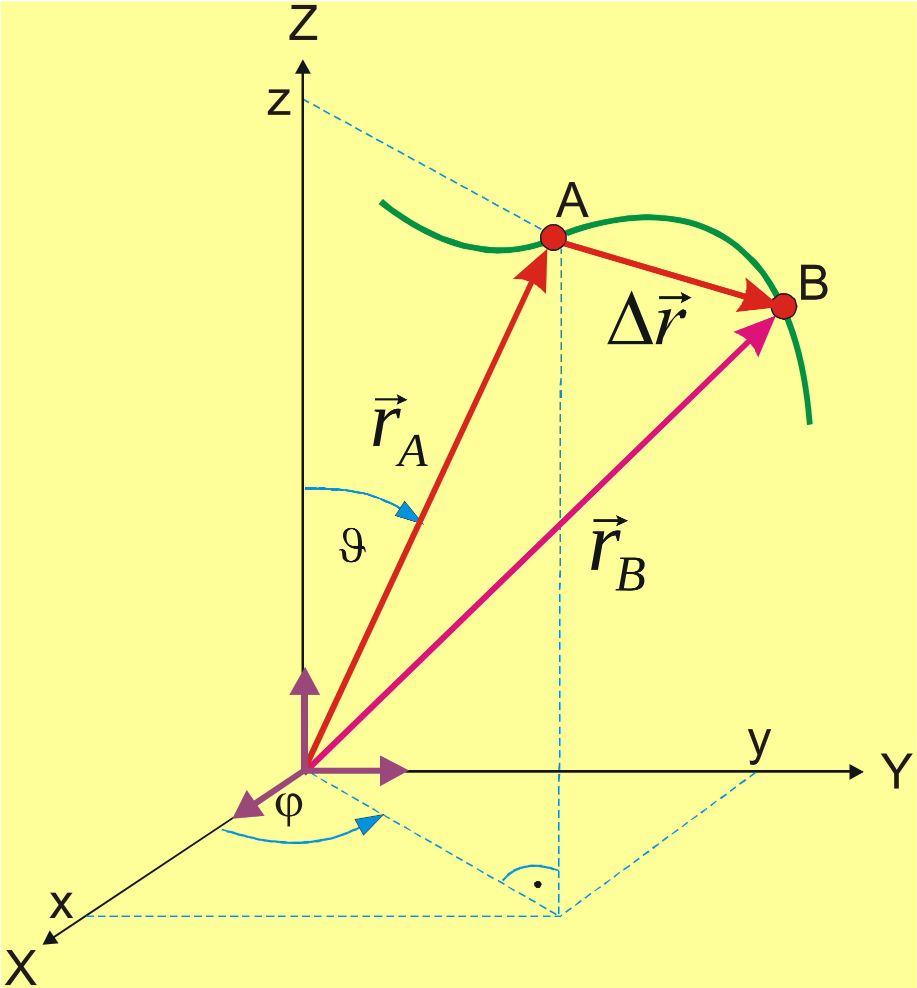
Isaac Newton (1642–1727)

PODSTAWY KINEMATYKI

Kinematyka – klasyfikacja i porównywanie różnych ruchów (jak zmiany ruchu zależą od czasu?)

- **Ruch mechaniczny – zmiana położenia ciała $\Rightarrow$ konieczne wskazanie innych ciał względem, których ruch się odbywa (względne przemieszczanie się ciał)**
- **Ruch – zmiana w przestrzeni i w czasie**
- **Układ odniesienia – zbiór nieruchomych względem siebie ciał służący do rozpatrywania ruchu innych ciał i zegar odmierzający czas**
- **Ruch tego samego ciała względem różnych układów odniesienia $\Rightarrow$ różny charakter (pasażer w pociągu)**
- **Opis ruchu – podanie położenia dla każdej chwili czasu**
- **Punkt materialny – ciało o znikomo małych rozmiarach w warunkach danego zagadnienia, o danej masie i położeniu, które można określić jak położenie punktu geometrycznego**

Ruch w trzech wymiarach



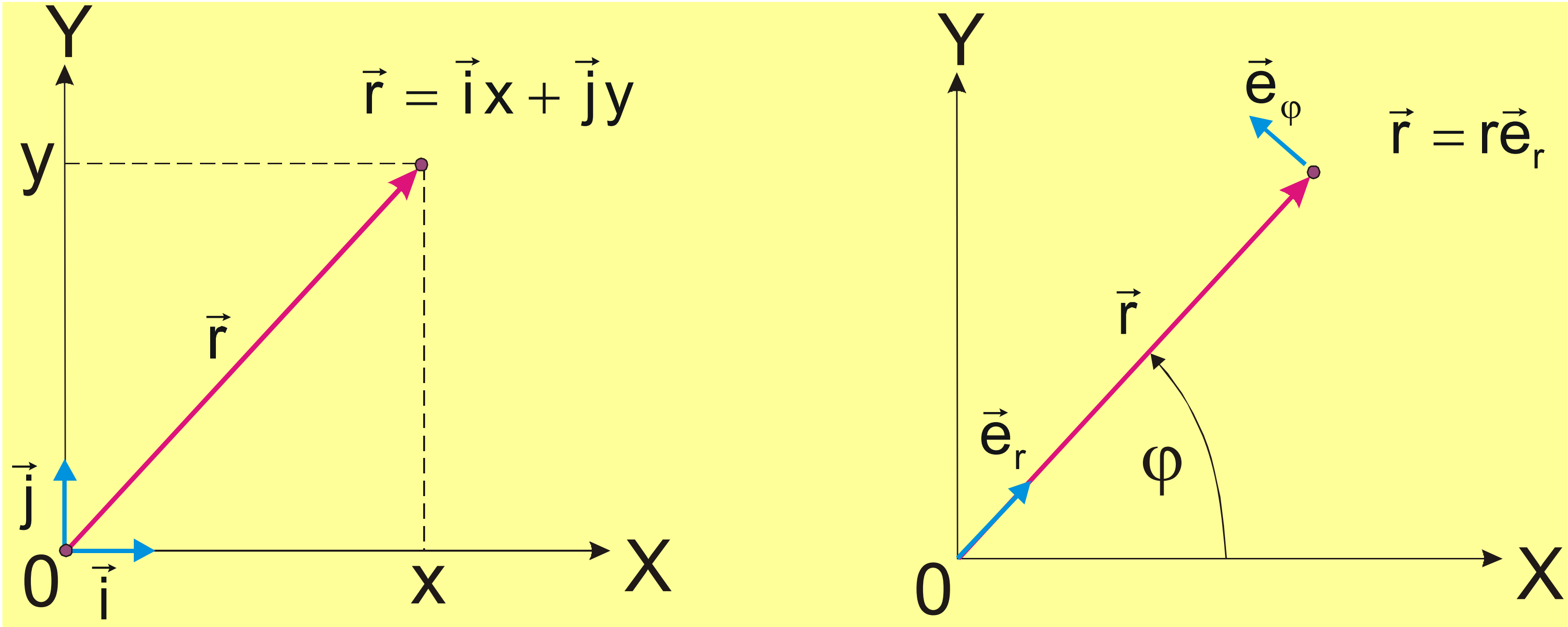
- układ odniesienia – kartezjański układ współrzędnych prostokątnych
- punkt materialny – ciało o znikomo małych rozmiarach o danej masie i położeniu
- położenie cząstki – podanie współrzędnych cząstki (wektor położenia)

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

- ruch – zmiana położenia względem układu odniesienia
- tor (trajektoria) cząstki – linia którą zakreśla poruszająca się cząstka
- przemieszczenie

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$$

Układy odniesienia na płaszczyźnie



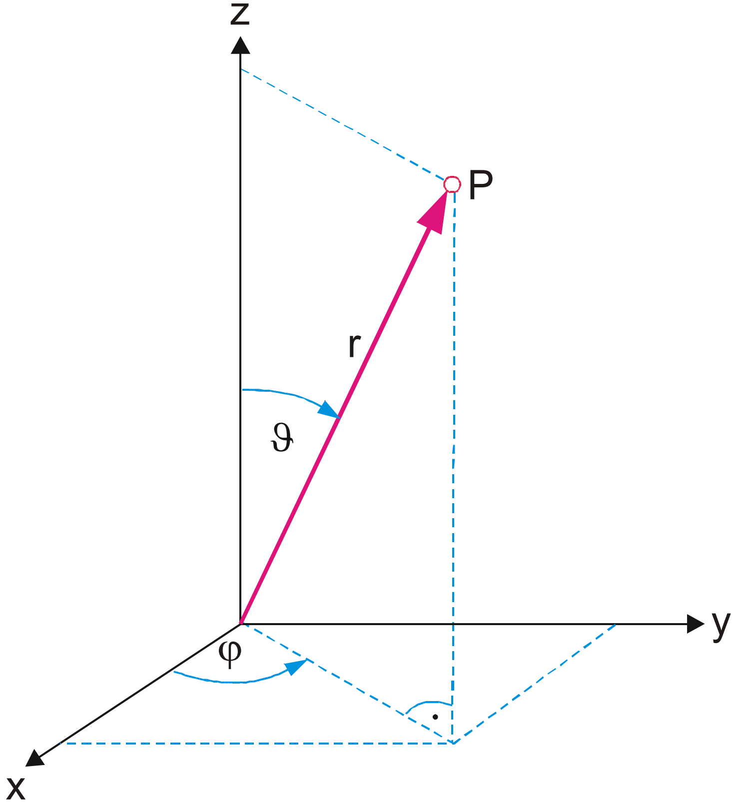
Kartezjański układ współrzędnych prostokątnych

Układ biegunowy

- **położenie punktu** – wektor położenia $\vec{r}$ [współrzędne wektora r(x,y) lub r(r,φ)],
- **wersory osi układu** – wektory o jednostkowej długości, skierowane zgodnie ze zwrotem osi współrzędnych

Układy odniesienia w przestrzeni

- kartezjański układ – $\vec{r} = \vec{r}(x, y, z,) = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$
- układ sferyczny – $\vec{r} = \vec{r}(r, \varphi, \upsilon)$
- układ walcowy



Kartezjańskie (*x,y,z*) i sferyczne (*r,ϑ,φ*) współrzędne punktu *P*

Układ sferyczny

Położenie określone jest przez promień wodzący r, kąt biegunowy ϑ i kąt azymutalny φ.

$$x = r \sin\vartheta \cos\varphi$$

$$y = r \sin\vartheta \sin\varphi$$

$$z = r \cos\vartheta$$

Prędkość

Cząstka porusza się po krzywoliniowym torze z punktu A do B w czasie Δt przebywając drogę Δs

- prędkość średnia:

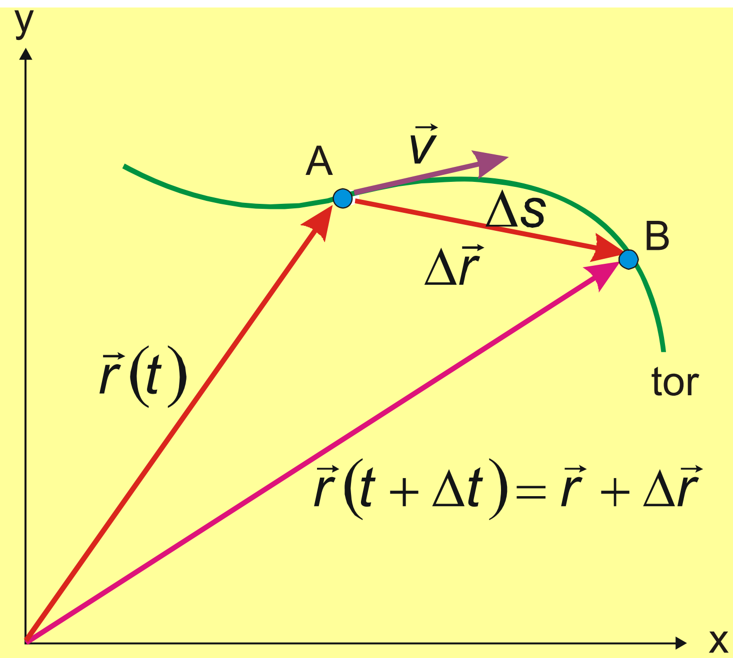
$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

- prędkość chwilowa:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

- wartość liczbowa prędkości jest równa pochodnej drogi względem czasu:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$



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

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

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \qquad \vec{v} = v\,\vec{i}_t$$

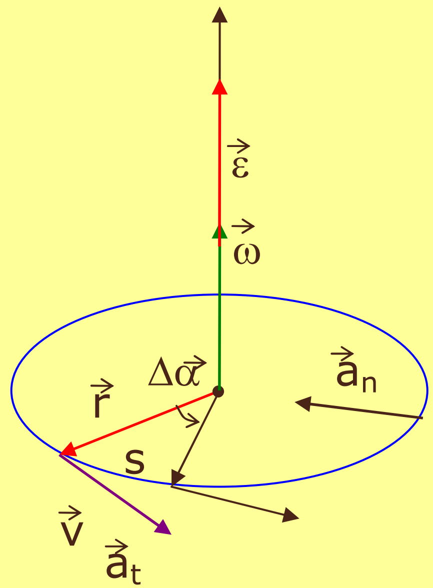
Ruch po okręgu

tożsamość

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

Przypadek ruchu krzywoliniowego, gdy *r* = const

$$\vec{v} = \vec{\omega}\times\vec{r} \qquad \vec{\omega} = \frac{d\vec{\alpha}}{dt} \qquad \vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$



gdzie:

ω – prędkość kątowa

ε – przyspieszenie kątowe

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n = \vec{\varepsilon}\times\vec{r} - \omega^2\cdot\vec{r}$$

Przyspieszenie styczne i normalne

Trzy prawa ruchu Newtona

Drugie prawo

Dla dwóch izolowanych cząstek

$$m_A \frac{d\vec{v}_A}{dt} = -m_B \frac{d\vec{v}_B}{dt}$$

Ponieważ $\vec{a} = d\vec{v} / dt$, mamy

$$m_A \vec{a}_A = -m_B \vec{a}_B$$

Przyśpieszenia są odwrotnie proporcjonalne do mas bezwładnych, tj. *a = F(1/m),* gdzie *F* jest stałą proporcjonalności.

Definicja siły

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Siła działająca na ciało jest równa iloczynowi przyspieszenia i masy tego ciała.

Trzecie prawo

$\vec{F}_A$ jest siłą jaką cząstka B wywiera na cząstkę A, a $\vec{F}_B$ jest siłą jaką cząstka A wywiera na cząstkę B, czyli

$$\vec{F}_A = -\vec{F}_B$$

Jest to zasada akcji i reakcji zwana trzecim prawem Newtona.

Pierwsze prawo

Dla pojedynczej swobodnej cząstki zarówno $\vec{F} = 0$, jak i $\vec{a} = 0$ oraz $\vec{a} = d\vec{v}\,/\,dt$. Stąd

$$\vec{v} = const$$

Prawo bezwładności: ***ciało nie poddane oddziaływaniu żadnych innych ciał pozostaje w spoczynku, albo porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym***.

Drugie prawo można zapisać w postaci:

$$F = \frac{d}{d\,t}(m\,\vec{v})$$

czyli

$$\vec{F}dt = d(m\,\vec{v})$$

Jeżeli siła działa w ciągu skończonego czasu *t*, to mamy

$$\int_0^t \vec{F}dt = m\vec{v} - m\vec{v}_o$$

Całka ta zwana jest popędem siły $\vec{F}$. Widzimy, że jest równa zmianie pędu wywołanej działaniem siły w ciągu czasu *t.*

Inercjalny układ odniesienia

Układy odniesienia:

- inercjalne,
- nieinercjalne.

Układ inercjalny: ***ciała lub układ ciał, na które nie działają żadne siły, musi być w spoczynku lub poruszać się ruchem jednostajnym prostoliniowym***.

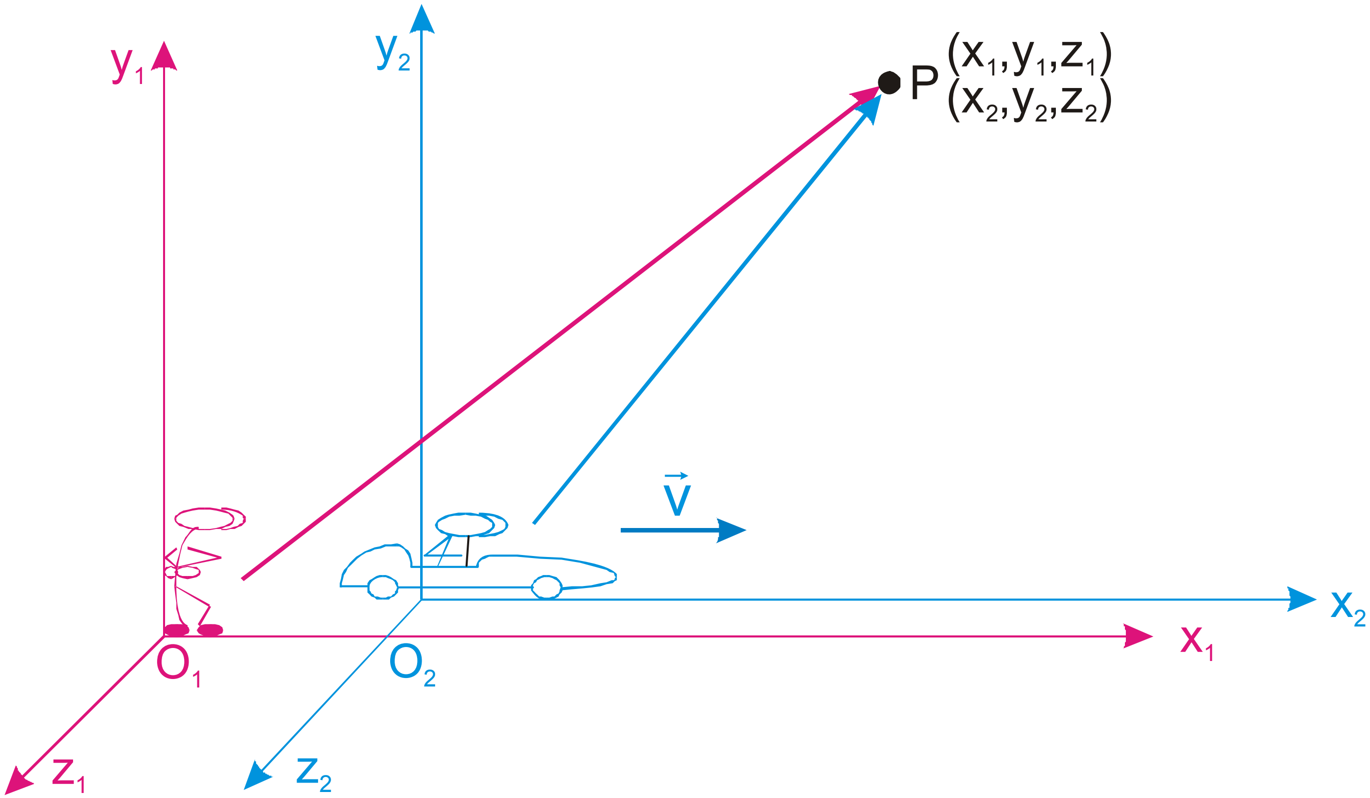
W układzie inercjalnym obowiązuje mechanika klasyczna.

Pierwsza zasada dynamiki Newtona nie jest prawem przyrody, lecz postulatem układu inercjalnego w przyrodzie.

***Istnienie ”podstawowego układu odniesienia”, jako takiego układu w którym spełnione są prawa Newtona, jest postulatem mechaniki newtonowskiej i teorii grawitacji, zwanym zasadą Macha*.**

Fundamentalną trudność polegającą na tym, że do sformułowania praw mechaniki klasycznej koniecznym było postulowanie układu odniesienia, którego nie sposób zrealizować w praktyce, przezwyciężyła dopiero ogólna teoria względności Einsteina.

Układ związany z Ziemią jest przybliżeniem układu inercjalnego (przyśpieszenie związane z ruchem obrotowym Ziemi jest bardzo małe).



Punkt P nieruchomy w stacjonarnym układzie 0_1 obserwowany jest z układu 0_2 poruszającego się z prędkością $\vec{v}$ względem układu 0_1

Punkt P jest nieruchomy w układzie 0_1; porusza się w układzie 0_2 z prędkością $-\vec{v}$. Zatem

$$x_2 = x_1 - vt$$

Pozostałe współrzędne *y* i *z* pozostają bez zmian

$$y_2 = y_1 \qquad ; \qquad z_2 = z_1$$

Postulat Galileusza: czas biegnie jednakowo w obu układach

$$t_2 = t_1$$

Transformacje Galileusza to układ powyższych równań wiążący współrzędne i czas dwóch układów inercjalnych. Mogą być stosowane tylko w przypadku gdy $v \ll c$.

Czas we wszystkich układach inercjalnych jest taki sam, "płynie" tak samo.

Różniczkując względem czasu związki transformacyjne mamy

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{dx_1}{dt} - v\frac{dt}{dt} \qquad \text{czyli} \qquad v_2 = v_1 - v$$

W zapisie wektorowym

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_2 + \vec{v}$$

co opisuje klasyczne, galileuszowskie dodawanie prędkości.

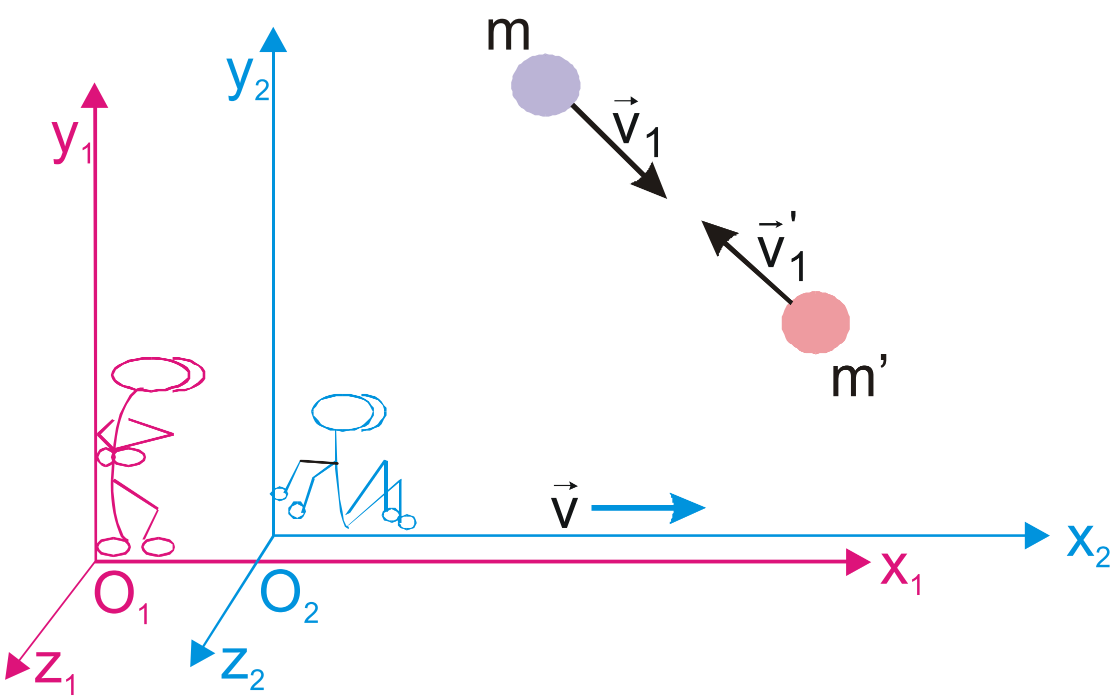
Przyśpieszenie jest niezmiennikiem względem transformacji Galileusza

$$\frac{d\vec{v}_1}{dt} = \frac{d\vec{v}_2}{dt} + \frac{d\vec{v}}{dt}$$

czyli

$$\vec{a}_2 = \vec{a}_1 \qquad \text{gdyż} \qquad \frac{d\vec{v}}{dt} = 0$$

Również ***prawo zachowania pędu pozostaje niezmiennicze we wszystkich układach inercjalnych***.



Całkowity pęd cząstek o masach *m* i *m'* jest wielkością niezmienniczą przy transformacji do układu inercjalnego 0_2

Prawo zachowania pędu w układzie 0_1 napiszemy w postaci

$$m\vec{v}_1 + m'\vec{v}_1' = const$$

gdzie $\vec{v}_1$ i $\vec{v}_1'$ są prędkościami odpowiednio masy *m* i *m'*. Niech teraz $\vec{v}_2$ i $\vec{v}_2'$ będą odpowiednio prędkościami tych samych dwóch cząstek względem układu 0_2.

Wiemy, że

$$\vec{v}_1 = \vec{v} + \vec{v}_2$$

$$\vec{v}'_2 = \vec{v} + \vec{v}'_2$$

Podstawienie tych wyrażeń do równania daje

$$m(\vec{v} + \vec{v}_2) + m'(\vec{v} + \vec{v}_2') = const$$

stąd

$$m\,\vec{v}_2 + m'\vec{v}_2' = const - (m + m')\vec{v}$$

Ponieważ *(m + m')v = const*, więc

$$m\,\vec{v}_2 + m'\vec{v}_2' = const$$

Prawo zachowania pędu pozostaje niezmiennicze we wszystkich układach inercjalnych, poruszających się względem siebie ze stałymi prędkościami.

Zasada względności Galileusza: **istnieje nieskończenie wiele układów inercjalnych w których spełniona jest pierwsza i druga zasada dynamiki Newtona. Wszystkie te układy są równoważne i żaden z nich nie jest wyróżniony.**

Układy nieinercjalne

Układ porusza się ruchem niejednostajnym prostoliniowym z prędkością $\vec{v}$ i przyspieszeniem $\vec{a}$:

- Przyspieszenie (siła) nie są niezmiennicze przy przejściu z jednego układu do drugiego

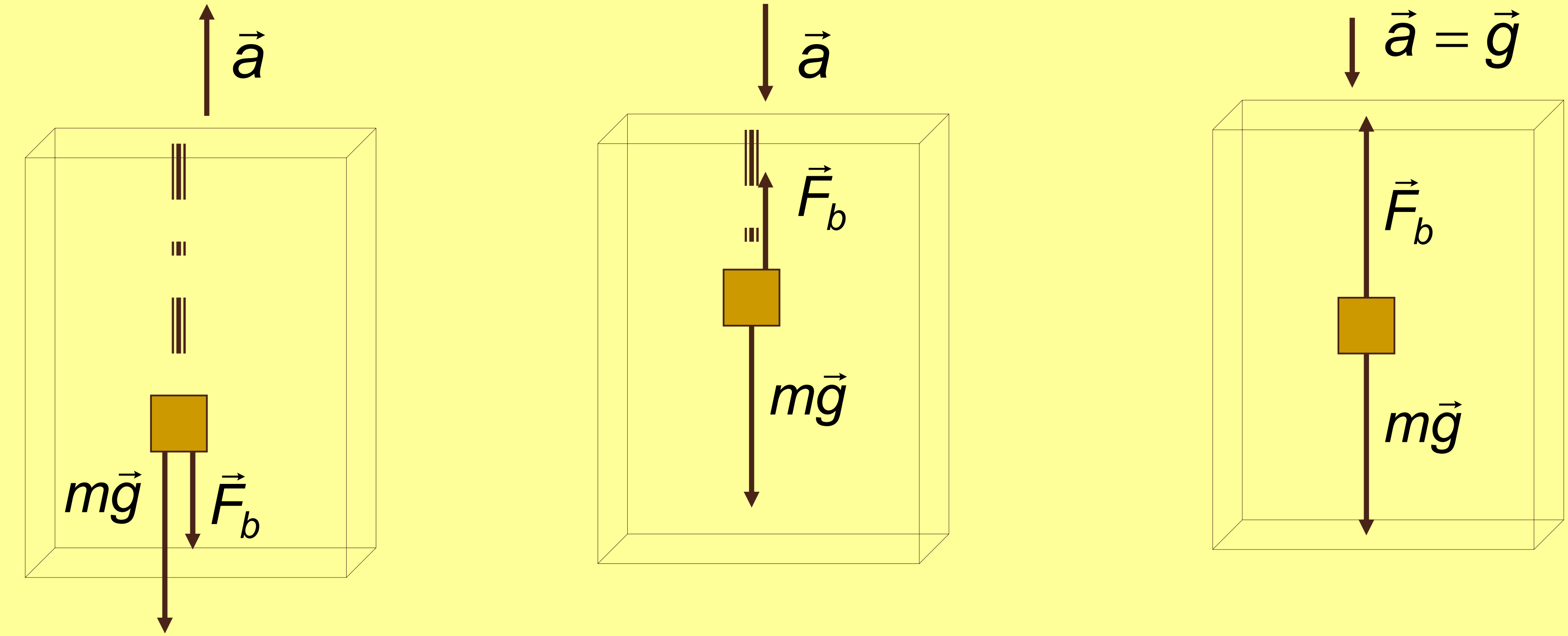
$$m\vec{a}_2 = m\vec{a}_1 - m\vec{a} \qquad m\vec{a}_2 = \vec{F} + \vec{F}_b$$

gdzie $\vec{F}_b = -m\vec{a}$ siła bezwładności

- W układzie nieinercjalnym do sił rzeczywiście działających trzeba dodać siły bezwładności – zmodyfikowane drugie prawo Newtona

PRZYKŁAD

Winda poruszająca się ruchem niejednostajnym



$$\vec{F}_2 = \vec{F} + \vec{F}_b \qquad \vec{F}_2 = \vec{F} - \vec{F}_b \qquad \vec{F}_2 = 0$$

Prawo powszechnego ciążenia

Isaac Newton (1642–1727)

Sformułowane przez Izaaca Newtona w 1665 r.

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Zakładając średnią gęstość Ziemi $\rho = 5\times10^3$ kg/m^3
($\rho_{Si} = 2{,}8\times10^3$ kg/m^3, $\rho_{Fe} = 7{,}9\times10^3$ kg/m^3)
i promień Ziemi $R_Z = 3{,}7\times10^6$ m^3,
można oszacować stałą grawitacji G.

Zgodnie z II zasadą Newtona

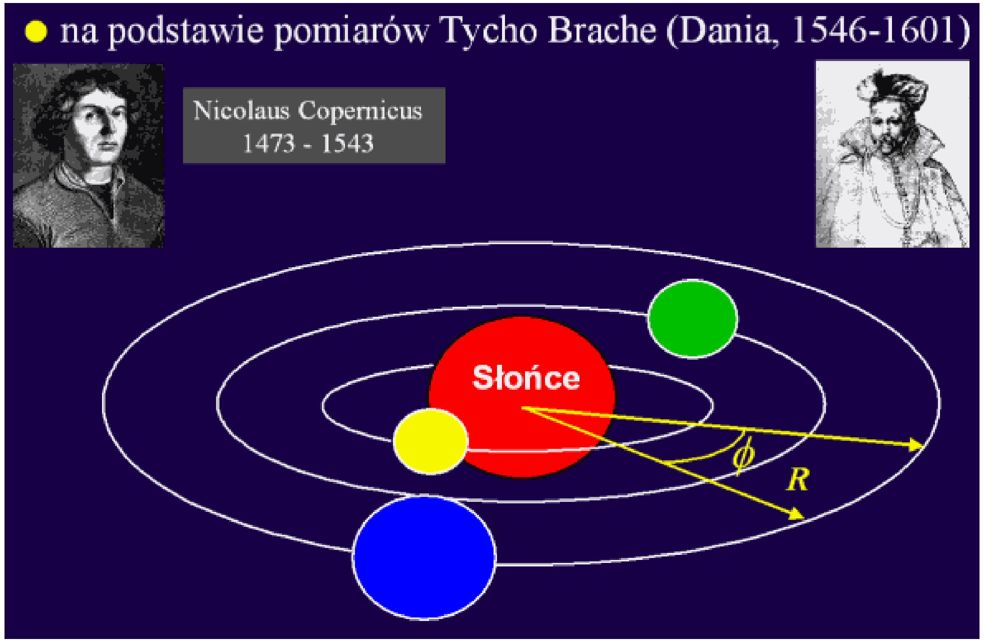
$$G\frac{mM_Z}{R_Z^2} = mg$$

Ponieważ $M_Z = \rho V_Z$

$$G = \frac{gR_Z^2}{M_Z} = \frac{gR_Z^2}{\rho(4/3)\pi R_Z^3} = \frac{3g}{4\pi\rho R_Z}$$

Z ostatniego wzoru otrzymamy $G = 7{,}35\times10^{-11}$ Nm^2/kg^2 co jest wartością tylko o 10% większą niż ogólnie przyjęta wartość $6{,}67\times10^{-11}$ Nm^2/kg^2.

Prawa Keplera ruchu planet (1609–1619)

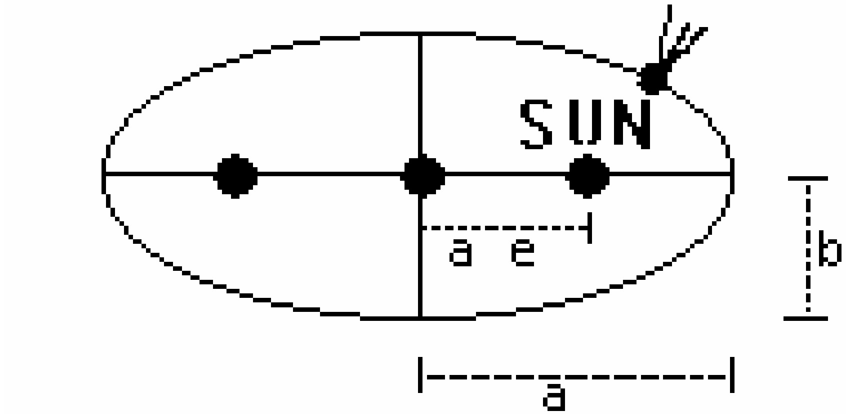


Obserwacje T. de Brahe z 1576 r

Johannes Kepler (1571–1630): ruch planet stosuje się do trzech prostych praw.

Pierwsze prawo Keplera

Każda planeta krąży po orbicie eliptycznej, ze Słońcem w jednym z ognisk tej elipsy.

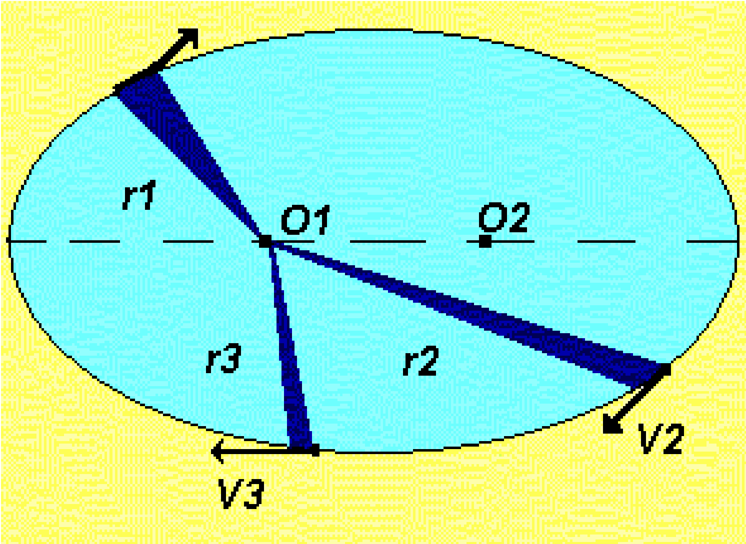


Równanie elipsy

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

Drugie prawo Keplera (prawo równych pól)

Linia łącząca Słońce i planetę zakreśla równe pola w równych odstępach czasu.



Drugie prawo Keplera wynika z zasady zachowania pędu

Trzecie prawo Keplera

Sześciany półosi wielkich orbit dowolnych dwóch planet mają się do siebie jak kwadraty ich okresów obiegu.

Półoś wielka jest połową najdłuższej cięciwy elipsy. Dla orbit kołowych:

$$\frac{R_1^3}{R_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2}$$

Newton wykazał później, że prawa Keplera wynikają z jego prawa powszechnego ciążenia