

Dr Marek Sierakowski

Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej

Gm. Fizyki pok 301, tel (0-22-234) 7277

Konsultacje:

wtorki: 15-16 (301 GF)

czwartki: 16-17 (301 GF)

**Wykład z podstaw fizyki,
Wydz. Elektryczny, 2008/2009**

PROGRAM WYKŁADU Z FIZYKI

Wydz. Elektryczny, 2008/2009

Wstęp

Przedmiot i zadania fizyki

Fizyczne podstawy mechaniki

Elementy kinematyki

Dynamika klasyczna

Zasady zachowania w fizyce

Symetria w fizyce - zasady zachowania

Powszechna grawitacja

Teoria relatywistyczna i elementy kosmologii

Szczególne teoria względności: kinematyka i dynamika

Powszechna grawitacja a ogólna teoria względności

Teoria Wielkiego Wybuchu

Ruch drgający i fale

Drgania harmoniczne

Ruch falowy

Elementy termodynamiki i fizyki statystycznej

Zasady termodynamiki

Funkcje stanu: pojęcie entropii

Rozkłady statystyczne

Elektrostatyka

Pojęcie pola elektrostatycznego: natężenie, potencjał, prawo Gaussa

Pole elektryczne w dielektrykach i w przewodnikach

Energia pola elektrycznego

Magnetostatyka

Pole magnetyczne: prawo Ampère'a , prawo Gaussa

dia-, para- i ferromagnetyzm

Energia pola magnetycznego

Pole magnetyczne jako efekt relatywistyczny

Zjawiska elektromagnetyczne

Indukcja elektromagnetyczna: prawo Faradaya

Uogólnione prawo Ohma; prąd przesunięcia

Równania Maxwella: postać różniczkowa oraz całkowa

Promieniowanie i fale elektromagnetyczne

Optyka falowa: interferencja, dyfrakcja, polaryzacja

Koherencja światła, zjawiska nieliniowe w optyce

Optyka światłowodowa oraz fizyka laserów

Optyka ośrodków anizotropowych: ciekłe kryształy

Elementy mechaniki kwantowej

Falowa natura materii i kwantowa natura promieniowania

Obserwacje i operatory

Równanie Schrödingera; funkcja falowa cząstki

Cząstka w studni potencjału: efekt tunelowy

Zalecana literatura uzupełniająca

1. J. Sawieliew, Kurs Fizyki, tom 1, 2, 3, PWN 1987
2. J. Orear, Fizyka, tom 1, 2, wyd. 2 WNT 1993

Literatura rozszerzająca

3. Wykłady Feynmana z fizyki, PWN, 1975.

NARODZINY FIZYKI

Okres "przednaukowy"- ok. XV – X w. p.n.e

Mezopotamia: Sumerowie- Asyryjczycy – Babilończycy

wynalezienie pisma, zapisu liczb (sześćdziesiątka , później pozycyjny),
podstawy matematyki

Początki nauki : filozofia – ok. VII w. p.n.e ÷ III w. ne

Wybrzeże Morza Śródziemnego (Grecja, Cesarstwo Rzymskie)

Tales z Miletu (ok. 640-546)

Anaksymander z Miletu (ok. 610-540)

Anaksymenes z Miletu (ok. 610-550)

Pitagoras (ok. 582-507)

Ksenofanes z Elei (ok. 575-480)

Heraklit z Efezu (ok. 540-480)

Anaksagoras z Klazomeny (ok. 500-430)

Empedokles z Agrygentu (ok. 490-430)

Leucyp z Miletu

Demokryt z Abdery

Grecja

VII. -V. w. p.n.e.

Filolaos

Sokrates (ok. 469-399)

Hipokrates (ok. 460-377)

Platon (ok. 427-347)

Arystoteles ze Stagirus (ok. 384-322)

Euklides

Archimedes z Syrakuz

Arystarch z Samotraki

Apoloniusz z Rodos

Arystofanes z Bizancjum

Hipparch

Grecja

V. - II. w. p.n.e.

Piliniusz Starszy

Galen (130-200)

Ptolemeusz

Aleksandria, Cesarstwo Rzymskie

II. w. n.e.

Kontynuacja rozwoju po upadku Cesarstwa Rzymskiego

Wybrzeże Morza śródziemnego i Bliski Wschód - okres arabski

Al-Chuwarizmi (ok. 801 r.)

twórcą podstaw algebry

Awicenna (980-1037)

lekarz, filozof i poeta

Alhazen

autor „Optyki”

Obszar panowania arabskiego

VII – XII w. n.e.

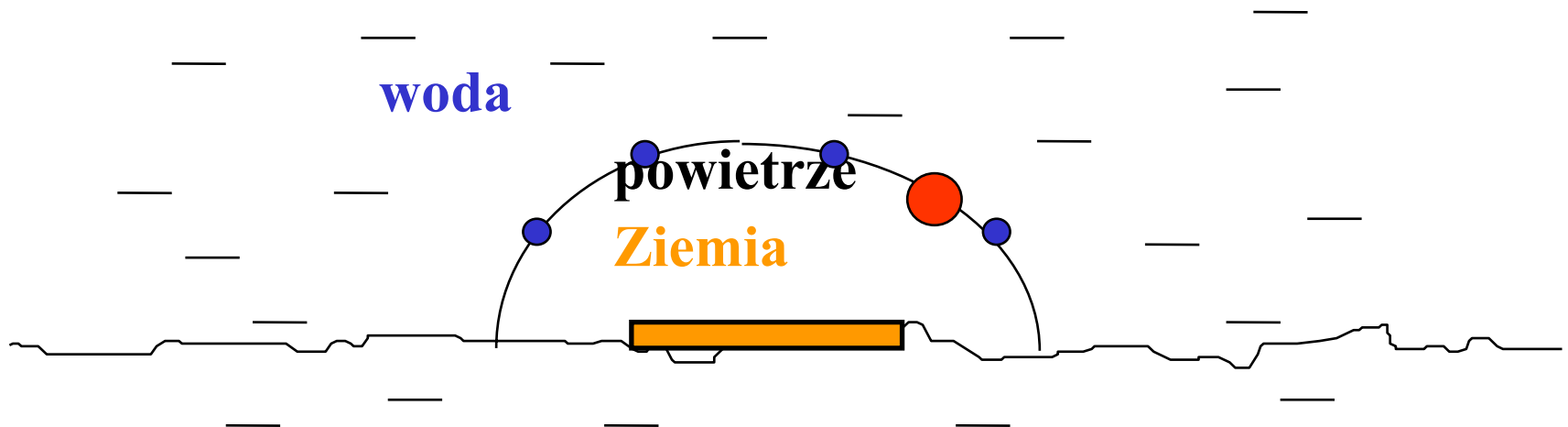
Próby zrozumienia przyrody i stworzenia modelu świata sięgają odległej starożytności. Pierwsze modele świata były koncepcjami filozoficznymi, opartymi na rozważaniach myślowych i argumentach estetycznych, bez żadnej próby weryfikacji doświadczalnej

Tales z Miletu

Filozof, matematyk, kosmolog; (przewidział zaćmienie Słońca w dn. 28.05.546r. p.n.e.)

pierwszy odrzuca mitologię

bogów, rydwany Słońca, kosmiczne żółwie zrodzone z węża Chaosu
i poszukuje obrazu świata w racjonalnej koncepcji



Heraklit z Efezu uogólnił powszednią obserwację
do **zasady powszechnego ruchu w świecie**

"Panta rhei" – wszystko płynie,

"Nie można dwa razy wejść do tej samej rzeki"

Anaksagoras z Kladzomen pierwszy przedstawił pogląd, że świat
zbudowany jest z wielkiej liczby małych elementów;

Tę koncepcję później przejęli i rozwinęli

Leucyp z Miletu i Demokryt z Abdery.

Demokryt uważał, że świat jest zbudowany z niepodzielnych
atomów. Zaproponował również **zasadę wyjaśniania zjawisk
bez odwoływania się do pomocy sił nadprzyrodzonych**

Empedokles

Filozof, mistyk i dziwak ubierający się w szaty maga , i purpurowy turban; w/g legendy zginął skacząc do krateru Etny

**4 elementy Wszechświata: ogień, woda, powietrze i ziemia +
2 siły: Miłość i Nienawiść**

Na początku świata panowała **Miłość** łącząca wszystkie elementy
w jedną całość („magę”)

Stopniowo pod wpływem **Nienawiści** magma zróżnicowała się
tworząc różne kombinacje 4 elementów –
to świat jaki obecnie widzimy

Na końcu jednak **Nienawiść** rozdzieli wszystko
i nasz świat zniknie

Następnie znów pojawi się **Miłość**
i wszystko zacznie się od początku

Oto empedoklesowskie misterium powstawania Świata:

„...pierwsze zwierzęta i rośliny nie powstawały w całości, lecz w oddzielnych kawałkach. Na Ziemi narodziło się wiele głów bez szyi, nagie ręce błąkały się bez ramion, oczy krążyły pozbawione czoła, samotne członki błądziły chcąc się połączyć. W przypadkowych kombinacjach powstawały stworzenia o stopach obracających się podczas marszu, o niezliczonych dłoniach i splątanych członkach. Wiele z nich narodziło się z kilkoma twarzami i piersiami zwróconymi w różnych kierunkach. Niektóre były potomkami byków, ale miały twarze ludzkie, inne znów przeciwnie- zrodzone z ludzi miały głowy byków. Powstały też istoty, u których natura męska pomieszana była z żeńską. Potem z nadmiaru elementów i pożądania stworzenia te zaczęły się mnożyć bo rodziły się jedne z drugich. Zgodnie ze swoim temperamentem wybierały życie w wodzie, na Ziemi lub w powietrzu.”

J.P.Lentin, „Myślę więc się mylę”

Ta surrealistyczna koncepcja przejawiała zadziwiającą długowieczność - przetrwała 20 wieków. Posługiwano się nią jeszcze w leczeniu w XIX w. ! (Hipokrates: medyczna fizjologia 4 „humorów” = *krew, żółć, żółć czarna, i flegma*)

Filolaos

filozof, kosmolog; *centralny ogień, harmonia sfer*

Pitagoras

matematyk i myśliciel, twórca matematycznej szkoły pitagorejczyków opartej na racjonalnym dowodzeniu

Próby stworzenia koncepcji świata

zbudowanej na kombinacjach liczbowych;

np. 5= miłość, 6= rozum, rozsądek, itp. ;

upadły wraz z wykryciem liczb niewymiernych

(nie dają się przedstawić za pomocą żadnej kombinacji liczb – była to ściśle strzeżona tajemnica pitagorejczyków; w.g. legendy jeden z nich, Hippiasos z Metapontu został za jej zdradzenie wykluczony ze szkoły i w tajemniczy sposób zginął w morzu).

Platon

założyciel Akademii Platońskiej, uczeń Sokratesa

Arystoteles

wielki myśliciel, twórca Liceum Ateńskiego,

uczeń Platona, nauczyciel Aleksandra Wielkiego

astronom, matematyk, fizyk, geolog, biolog, botanik,

pozostawił po sobie ogromny dorobek w wielu dziedzinach wiedzy;

w tym - co naturalne - także szereg błędnych teorii

W kosmologii (astronomii) teoria geocentryczna z nieruchomą Ziemią i planetami na idealnych kołowych orbitach (*symetria!*)

„... gdyby Ziemia się obracała, wystrzelone pociski nie leciałyby do przodu, lecz do tyłu, ptaki gubiłyby się w przestworzach, a wszystko zmiołyby huraganowe wiatry...”

W fizyce teoria ruchu (dynamika)

„...wszystko ma swoje przyrodzone miejsce w Kosmosie. Kamień spada dlatego, że jego miejsce jest na dole, płomień unosi się, bo ma miejsce na górze. Ruch poziomy możliwy jest wtedy, gdy ciało znajduje się w bezpośrednim kontakcie z motorem, czyli siłą napędową. Strzała wypuszczona z łuku porusza się dalej tylko dlatego, że cząstki powietrza toczą ją na swych plecach...”

Pierwsze wieki nowej ery - schyłek epoki filozofów:

Piliniusz Starszy kompiluje spuściznę starożytnych Greków;

Galen (nadworny lekarz cesarza Marka Aureliusza) przejmuje teorie Hipokratesa (błędne) i komplikuje je jeszcze

Ptolemeusz rozbudowuje koncepcję systemu planetarnego z nieruchomą Ziemią w środku

*Wreszcie płonie Biblioteka Aleksandryjska (47 p.n.e., ost. 391 n.e.)
a także wiele innych,*

i ginie bezpowrotnie większa część dorobku Starożytności

(część tego dziedzictwa przetrwała szczęśliwie europejskie

Średniowiecze dzięki działalności uczonych - filozofów arabskich)

Europa pogrąża się w mroku Średniowiecza

Dogmat religijny

Teorie Arystotelesa, także te błędne, przetrwały do czasów Renesansu w wyniku religijnego dogmatu, jako niepodważalne i bezdyskusyjne, [hamując na 2000 lat rozwój nauki](#).

Do roku 1600 obowiązuje ściśle naukowy dogmat biblijno-antyczny: wszystko jest zawarte i objaśnione w Biblii oraz u starożytnych filozofów (tj. Arystotelesa, ustanowionego przez Kościół za niepodważalny autorytet oraz Ptolemeusza w kosmologii i Galena w medycynie)

Każda próba krytycznej dyskusji lub budowy innego obrazu świata jest miażdżona, a autorzy prześladowani. Tu i ówdzie płoną stosy. Obowiązuje zakaz badań w wielu dziedzinach; przynosi on katastrofalne skutki zwłaszcza w medycynie



Wreszcie nadchodzi

Odrodzenie

Więzy dogmatu jednak nie pękają szybko

W kosmologii i astronomii przełom zapoczątkował traktat **Kopernika** wydany w 1542 r. (zawierający *błędą teorię ruchu planet, ale odchodzący od systemu geocentrycznego*)

Giordano Bruno (1548-1600), zwolennik teorii Kopernika sformułował teorię o „wielości światów”.

Został przez Inkwizycję spalony na stosie za herezję

W matematyce René Descartes (Kartezjusz 1595-1690) w swej „*Rozprawie o metodzie*” opracował metodę dowodzenia w nauce.

Leonardo da Vinci (1452-1519) wszechstronny artysta, filozof, anatom, fizyk zajmował się grawitacją, akustyką i optyką, geologią, techniką (był autorem wielu konstrukcji maszyn i urządzeń), badał anatomię człowieka.

W medycynie niderlandczyk **Andreas Vesale** krytykuje (b. ogólnie, niebezpośrednio) Galena i wydaje własną anatomię z fizjologią opartą na własnych potajemnych badaniach. *Spotyka go ostracyzm i nieprzyjemności - przezywany jest Vesanus (szaleniec); po latach rozgoryczony i prześladowany pali własny rękopis*

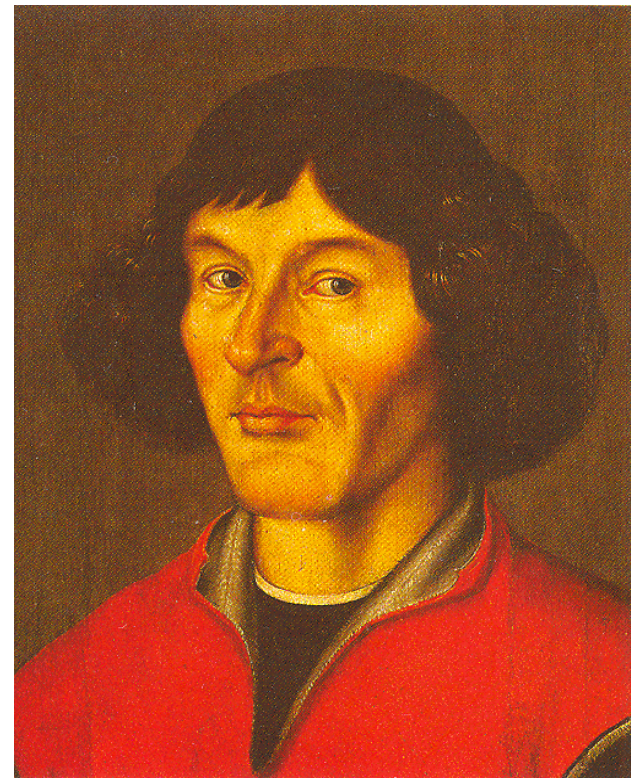
W fizyce **Galileusz** tworzy współczesną fizykę opartą na uważnej obserwacji, racjonalnym dowodzeniu, i weryfikacji doświadczalnej hipotez

Więzy dogmatu jednak nie pękają szybko

W kosmologii i astronomii

przełom zapoczątkował traktat **Kopernika** wydany w 1542 r. (*rok przed jego śmiercią*) (*zawierający błędną teorię ruchu planet, ale odchodzący od systemu geocentrycznego*) **Giordano Bruno** (1548-1600), zwolennik teorii Kopernika sformułował teorię o „wielości światów”.

Został przez Inkwizycję spalony na stosie za herezję



W matematyce René Descartes (Kartezjusz 1595-1690) w swej „*Rozprawie o metodzie*” opracował metodę dowodzenia w nauce.

Początek współczesnej nauki: wiek XVI

Galileusz (Galileo Galilei) 1564 – 1642

- odkrycie zasady ruchu wahadła
- opracowanie i budowa teleskopu i termometru;
obserwacje Księżyca, astronomiczne i opisy ruchu planet
- badania kinematyczne;
teoria względności ruchu – „transformacja Galileusza”
- napisał m.in. podręcznik fizyki – „*Rozprawy i dowody matematyczne*”

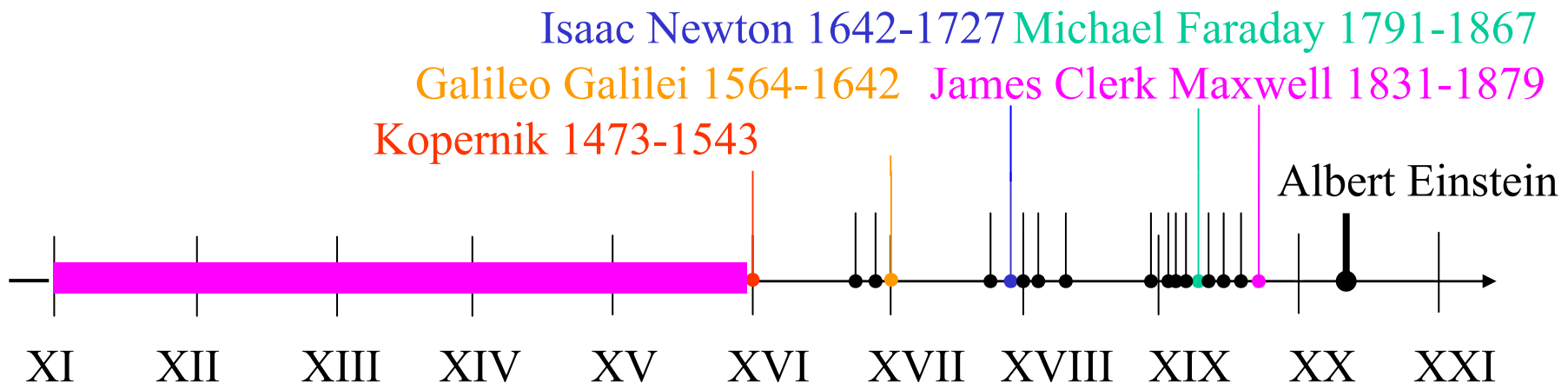
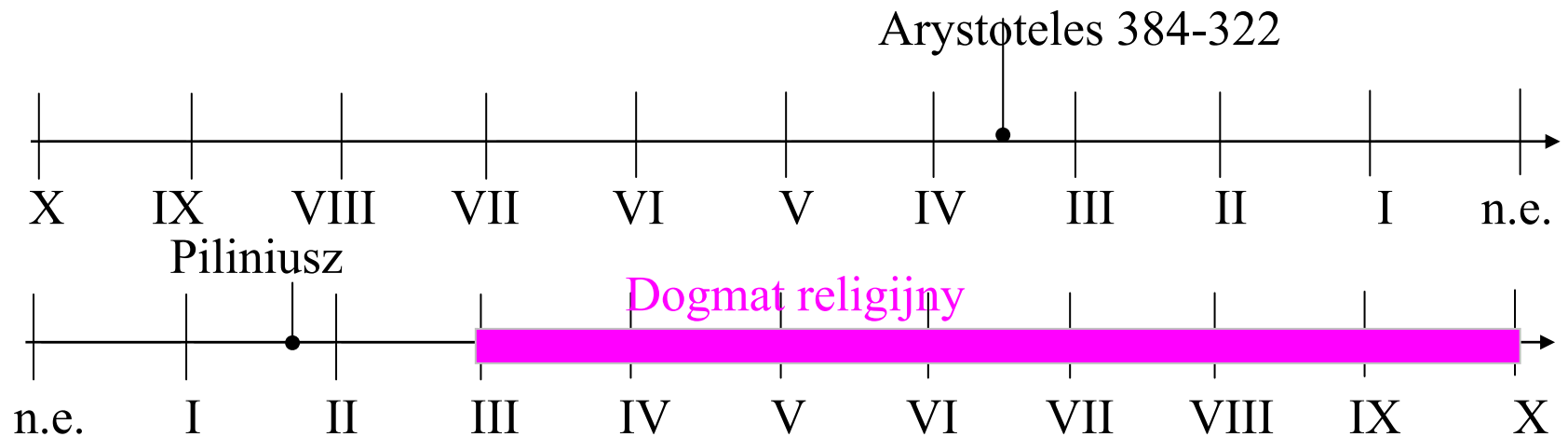


Uznany za winnego herezji dwukrotnie sądzony i skazany przez Trybunał Św. Inkwizycji
„Rozprawy..” przemycono z Włoch i wydrukowano w 1638 r w Lejdzie



Galileo Galilei

Drzewo genealogiczne fizyki:



1. Mikołaj Kopernik 1473-1543

2. Galileusz 1564-1642

odkrycie ruchu wahadła

opracowanie i budowa teleskopu

obserwacje astronomiczne i szczegółowe opracowanie teorii Kopernika

prace z kinematyki ; tw. o względności ruchu, transformacja Galileusza

3. Tycho de Brache 1546-1601 *astronomia*

4. Johann Kepler 1571-1630 *astromomia*

5. Robert Hook 1635-1703, *mechanika, optyka*

6. Christiaan Huygens 1629-1695 *mechanika, optyka*

7. Robert Boyle 1660 *chemia, termodynamika*

8. Isaac Newton 1642-1727

fundamenty dynamiki,

grawitacja,

optyka (teoria korpuskularna!)

**XVIII-XIX
wiek**

- 9 Euler 1707-1783; *mechanika*
- 10 Fahrenheit 1686-1736 ; *ciepło*
- 11 Bernouli 1700-1782; *mechanika, hydrodynamika*
- 12 Celsiusz 1701-1744; *ciepło*
- 13 Benjamin Franklin 1706-1790; *elektryczność*
- 14 Charles Coulomb 1736-1806; *elektryczność*
- 15 Sadi Carnot 1796-1832; *termodynamika*
- 16 Joule 1818-1889, *ciepło*
- 17 Clausius 1822-1888; *termodynamika*
- 18 Kelvin 1824-1907; *ciepło, termodynamika*
- 19 Thomas Young, 1773-1829; *optyka eksperymentalna*
- 21 Fresnel, 1780-1827.
- 22 Alessandro Volta, 1745-1827.
- 23 Ampe're, 1775-1836
- 24 Michael Faraday, 1791-1867
- 25 James Clerk Maxwell 1831-1879

FIZYKA KLASYCZNA

Przedmiot fizyki – skala zjawisk:

$1 \mu\text{m} \Rightarrow$ kilka milionów km

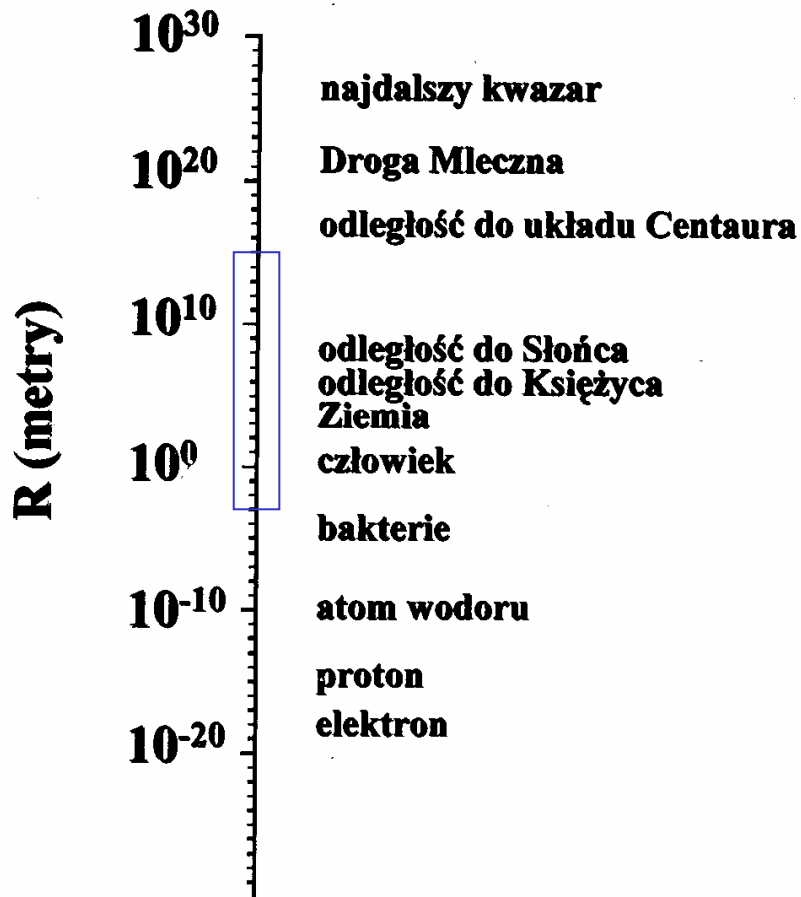
$1 \mu\text{g} \Rightarrow$ masa Ziemi

Prędkości $<$ kilka tysięcy km/s

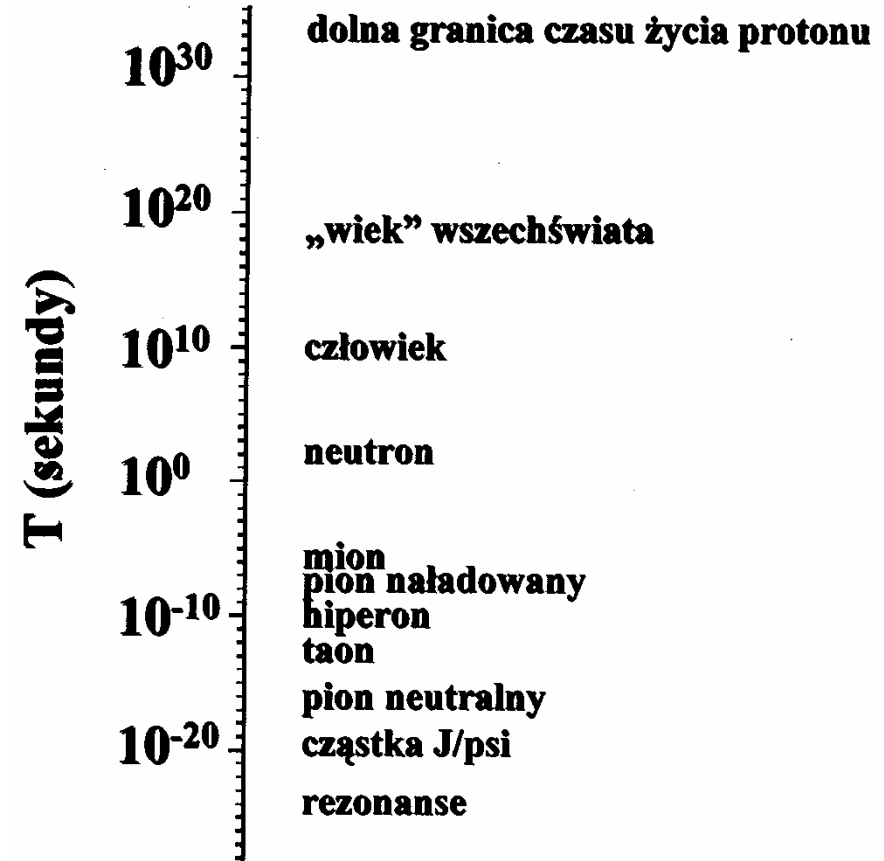
Fizyka jako naukowy obraz świata :

Teoria \Leftrightarrow eksperyment

Świat zjawisk fizycznych



Świat zjawisk fizycznych



Wprowadzenie do algebry wektorów

Wektory:

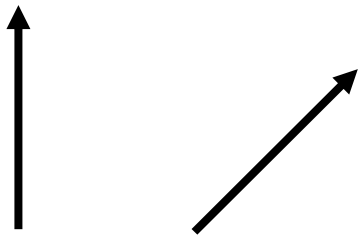
- wartość liczbowa = długość, moduł (skalar, dodatni)
- kierunek i zwrot
- operacje dodawania - reguła równoległoboku

Symbolika:

wektor: $\mathbf{a}, \mathbf{r}, \underline{a}, \underline{r}, \vec{a}, \vec{r}$

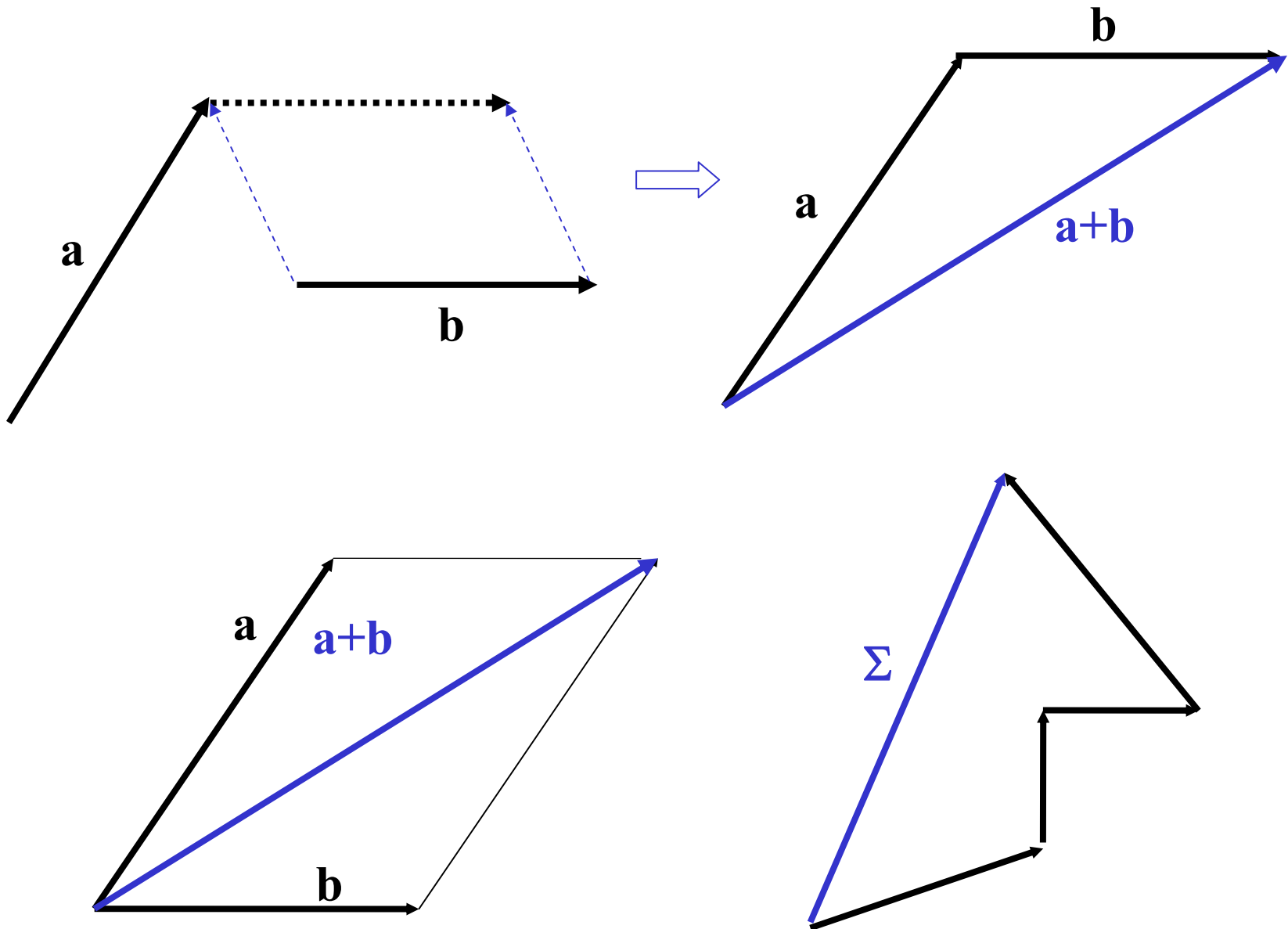
moduł wektora (długość): $a, r, |\mathbf{a}|, |\mathbf{r}|, a, r$

graficzna



wektory *kolinearne, komplanarne, swobodne*

Dodawanie wektorów



Mnożenie wektora \mathbf{r} przez skalar $k \rightarrow$ = wektor \mathbf{p} :

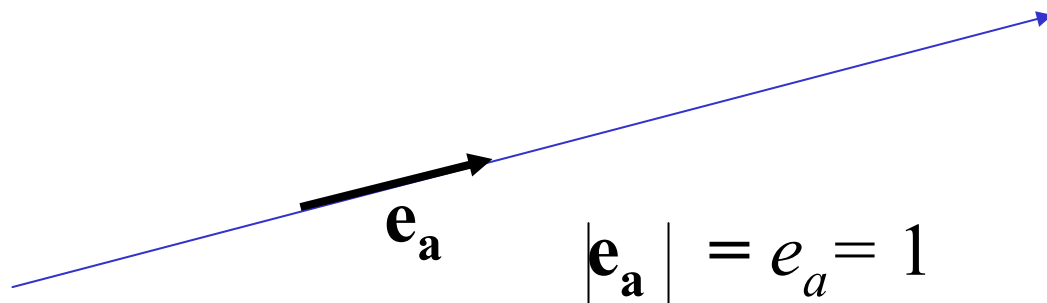
$$\mathbf{p} = k \mathbf{r}$$

kierunek i zwrot zachowane,

moduł (długość) zmieniona k -krotnie

Wersor \mathbf{e}_a wektora \mathbf{a} (osi):

$$\mathbf{a} = a \mathbf{e}_a$$

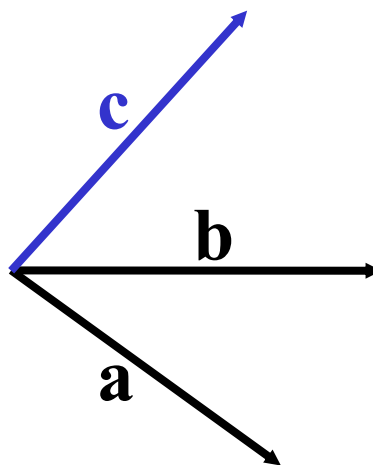


Odejmowanie wektorów $\mathbf{a} - \mathbf{b} = \mathbf{a} + (-\mathbf{b})$

Liniowa zależność wektorów (niekolinearnych):

trzy dowolne wektory komplanarne $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$
spełniają zależność:

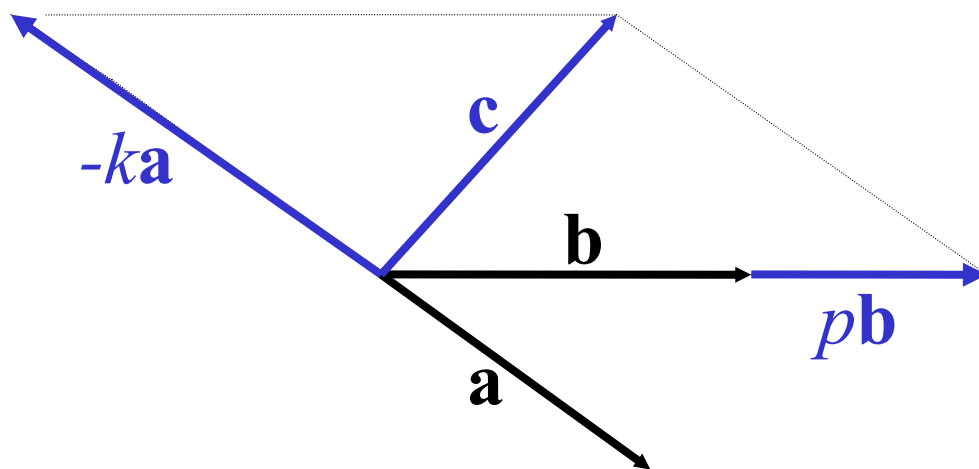
$$\mathbf{c} = k \mathbf{a} + p \mathbf{b},$$



Liniowa zależność wektorów (niekolinearnych):

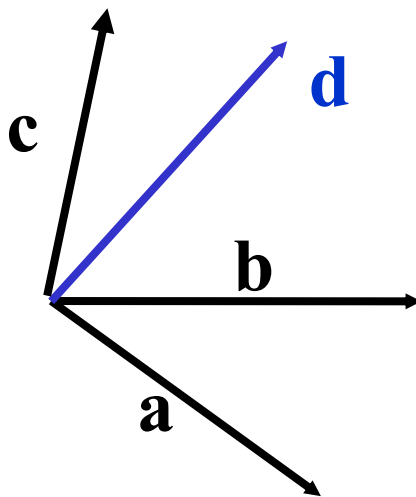
trzy dowolne wektory komplanarne $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$
spełniają zależność:

$$\mathbf{c} = k \mathbf{a} + p \mathbf{b},$$



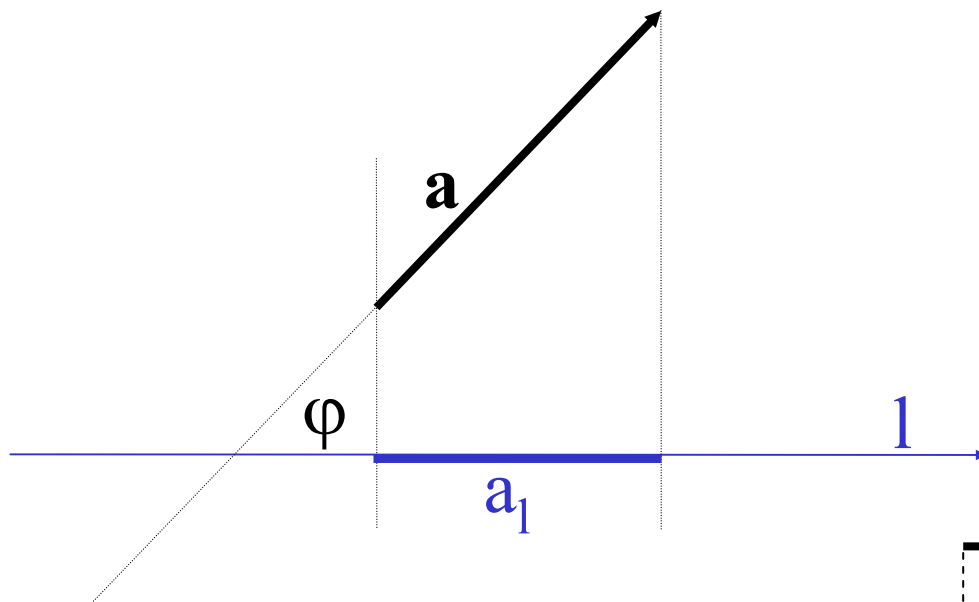
Liniowa zależność wektorów (niekomplanarnych):
podobnie dowolny wektor \mathbf{d} można wyrazić
za pomocą kombinacji liniowej trzech innych:

$$\mathbf{d} = k \mathbf{a} + p \mathbf{b} + s \mathbf{c}$$



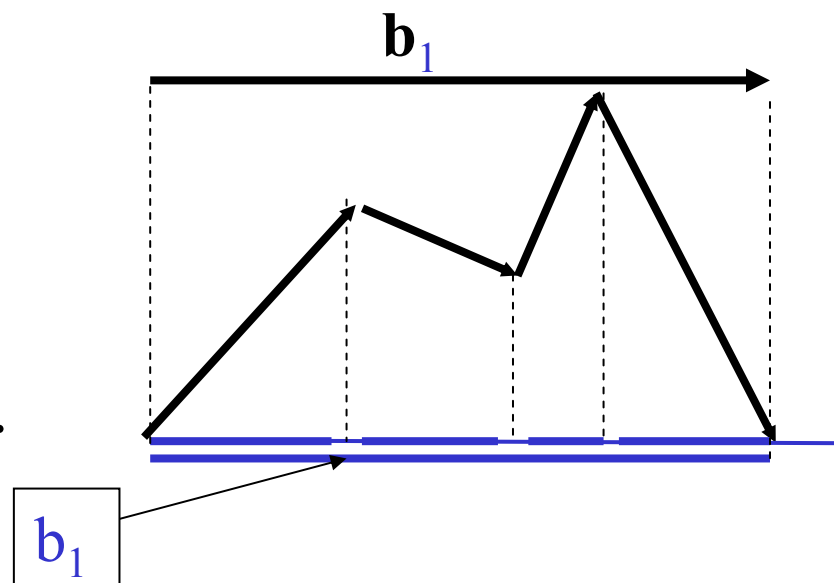
Rzut prostopadły a_1 wektora \mathbf{a} na oś l

$$a_1 = a \cos \varphi$$



Rzut b_1 sumy wektorów

$$b_1 = b_{11} + b_{21} + b_{31} + \dots$$



Osie układu prostokątnego (kartezjańskiego)

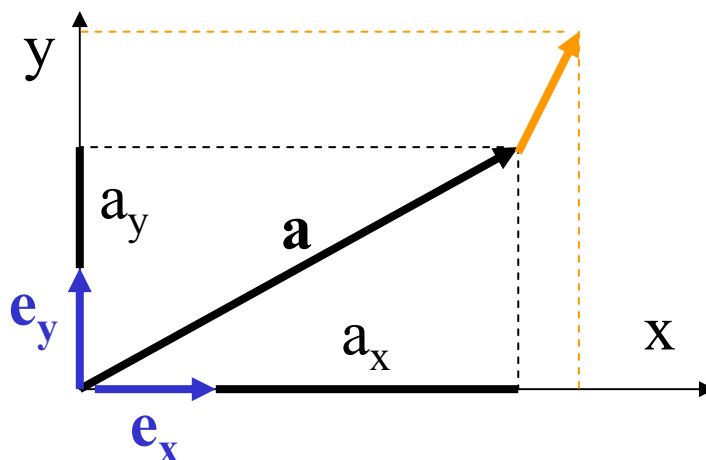
wersory $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ (baza)

dowolny wektor

$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{e}_x + a_y \mathbf{e}_y + a_z \mathbf{e}_z,$$

rzuty prostopadłe - składowe wektora \mathbf{a}

$$a_x = x, \quad a_y = y, \quad a_z = z,$$
$$a^2 = x^2 + y^2 + z^2$$



Ponieważ rzut \mathbf{b}_1 sumy wektorów

$$\mathbf{b}_1 = \mathbf{b}_{11} + \mathbf{b}_{21} + \mathbf{b}_{31} + \dots$$

równa się sumie rzutów poszczególnych składowych,

to także dla składowych ortonormalnych (*kartezjańskich*):

jeśli $\mathbf{a} = a_x \mathbf{e}_x + a_y \mathbf{e}_y + a_z \mathbf{e}_z ,$

$$\mathbf{b} = b_x \mathbf{e}_x + b_y \mathbf{e}_y + b_z \mathbf{e}_z ,$$

to $\mathbf{a} + \mathbf{b} = (a_x + b_x) \mathbf{e}_x + (a_y + b_y) \mathbf{e}_y + (a_z + b_z) \mathbf{e}_z$

Iloczyn skalarny wektorów

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = ab \cos \varphi$$

podobnie, w zapisie kartezjańskim

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z \quad \text{skalar!}$$

$$a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z = \text{inv (obr)}$$

Iloczyn wektorowy wektorów

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = (ab \sin \varphi) \mathbf{n},$$

\mathbf{n} - wektor normalny do \mathbf{a} i \mathbf{b}

\mathbf{a} , \mathbf{b} , \mathbf{n} tworzą układ prawoskrętny

w zapisie kartezjańskim

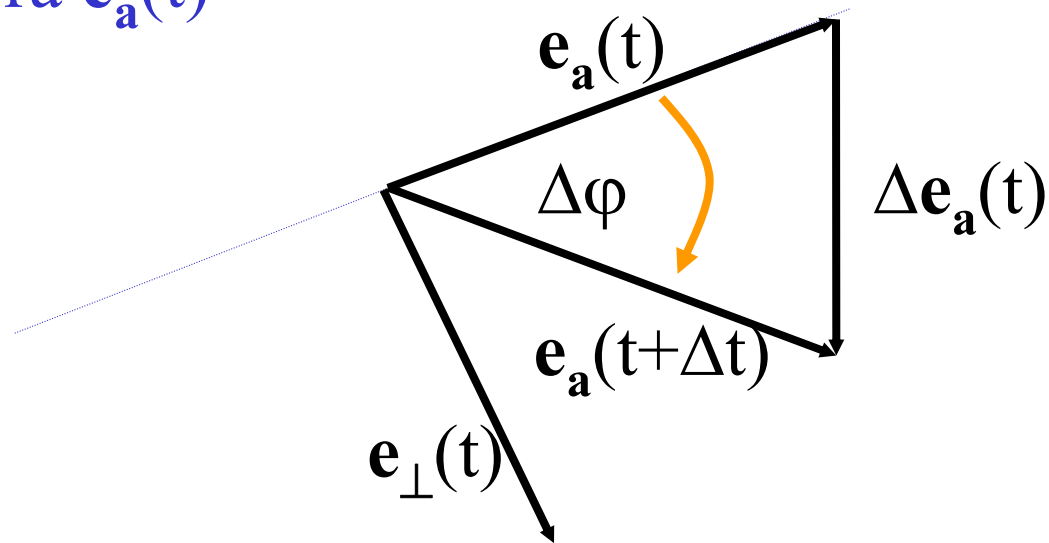
$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = \begin{vmatrix} \mathbf{e}_x & \mathbf{e}_y & \mathbf{e}_z \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

Uwaga: $\mathbf{a} \times \mathbf{b} = -\mathbf{b} \times \mathbf{a}$

Pochodna wektora $\mathbf{a}(t) = a_x(t) \mathbf{e}_x + a_y(t) \mathbf{e}_y + a_z(t) \mathbf{e}_z$:

$$d\mathbf{a}/dt = (da_x/dt) \mathbf{e}_x + (da_y/dt) \mathbf{e}_y + (da_z/dt) \mathbf{e}_z$$

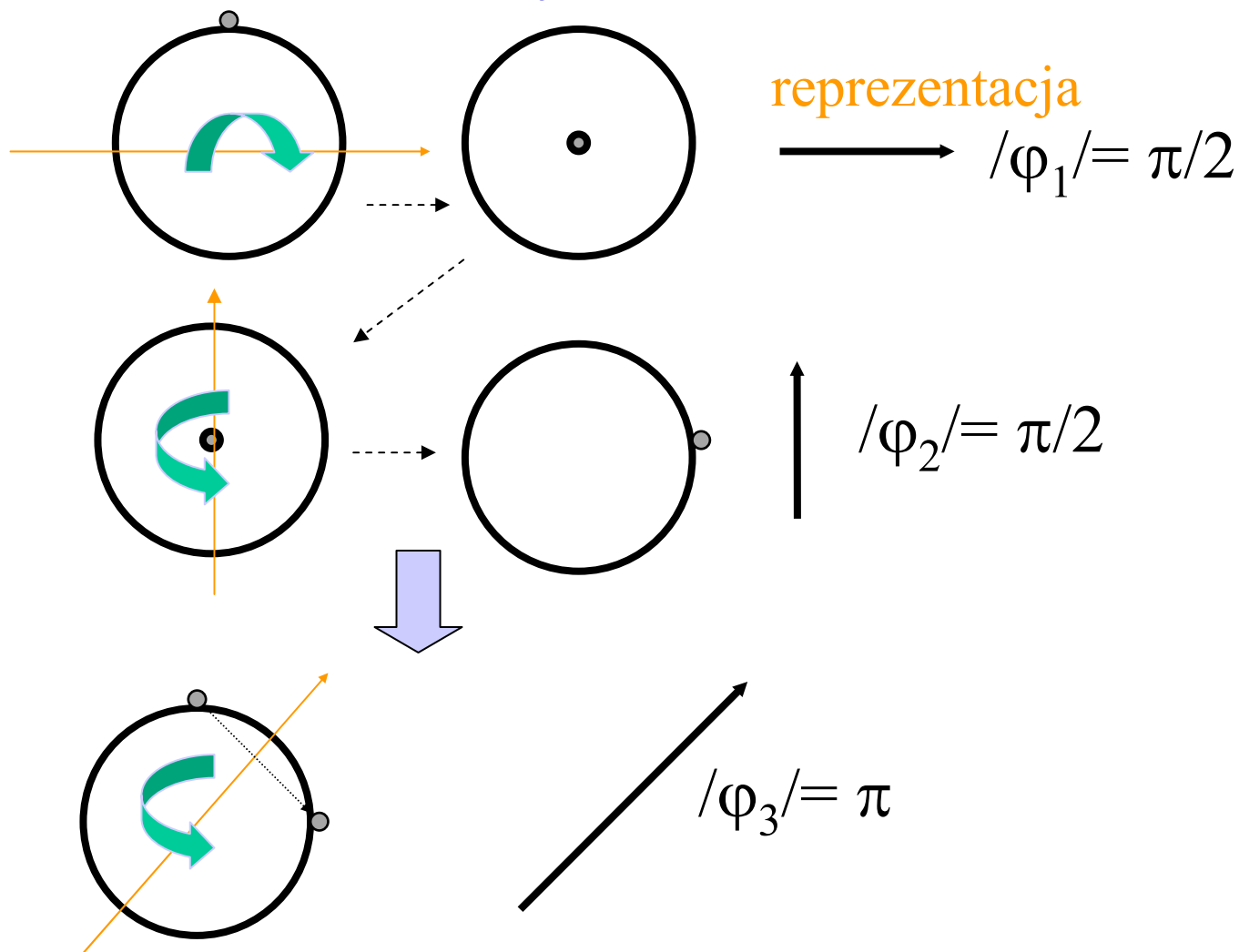
Pochodna wiersora $\mathbf{e}_a(t)$



$$|d\{\mathbf{e}_a(t)\}| = d\varphi \quad |\mathbf{e}_a(t)| = 1$$

$$d\overrightarrow{\{\mathbf{e}_a(t)\}} / dt = (d\varphi/dt) \overrightarrow{\mathbf{e}_\perp(t)}$$

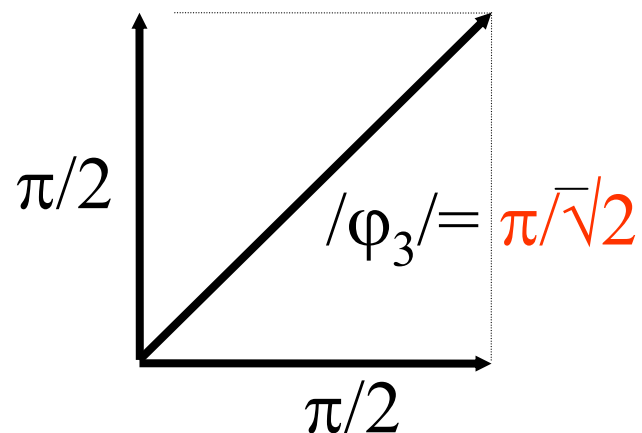
Obroty



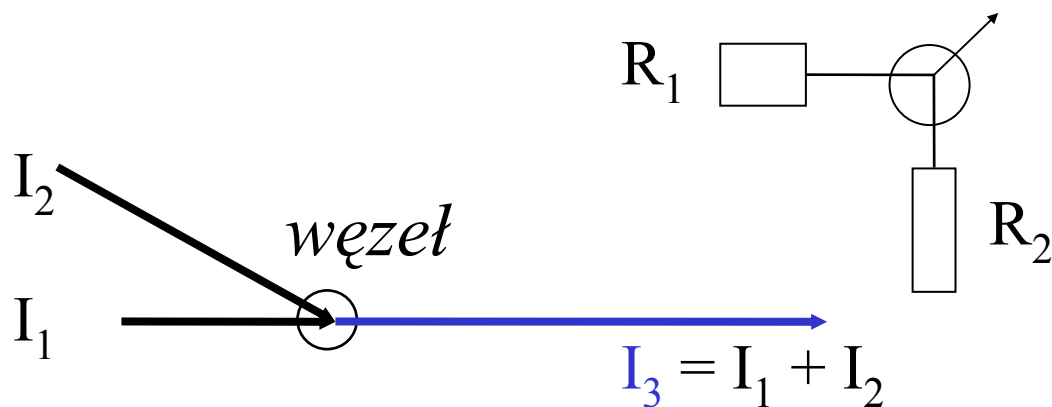
$$\vec{\varphi}_1 + \vec{\varphi}_2 = \vec{\varphi}_3, \text{ (}\pi/2 + \pi/2 = \pi\text{)}$$

dla wektorów: $\varphi_3 = \pi\sqrt{2}/2$

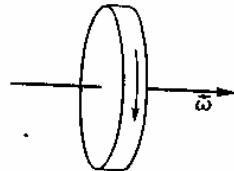
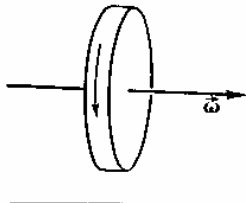
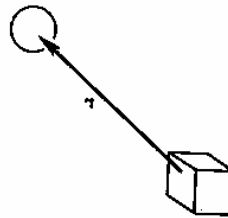
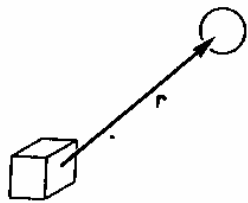
z metody równoległoboku :



natężenie prądu I - wartość, kierunek i zwrot



Wektory osiowe i biegunowe (pseudowektory)



odbicie zwierciadlane



wektory (biegunowe)
niezmiennicze

pseudowektory (wektory osiowe)
zmiana znaku (odwrócenie)

Iloczyn wektorowy wektorów biegunowych z powodu umownego wyboru skrętności układu (przestrzeni) **jest wektorem osiowym**

 w operacji odbicia ulega odwróceniu (zmiana znaku)

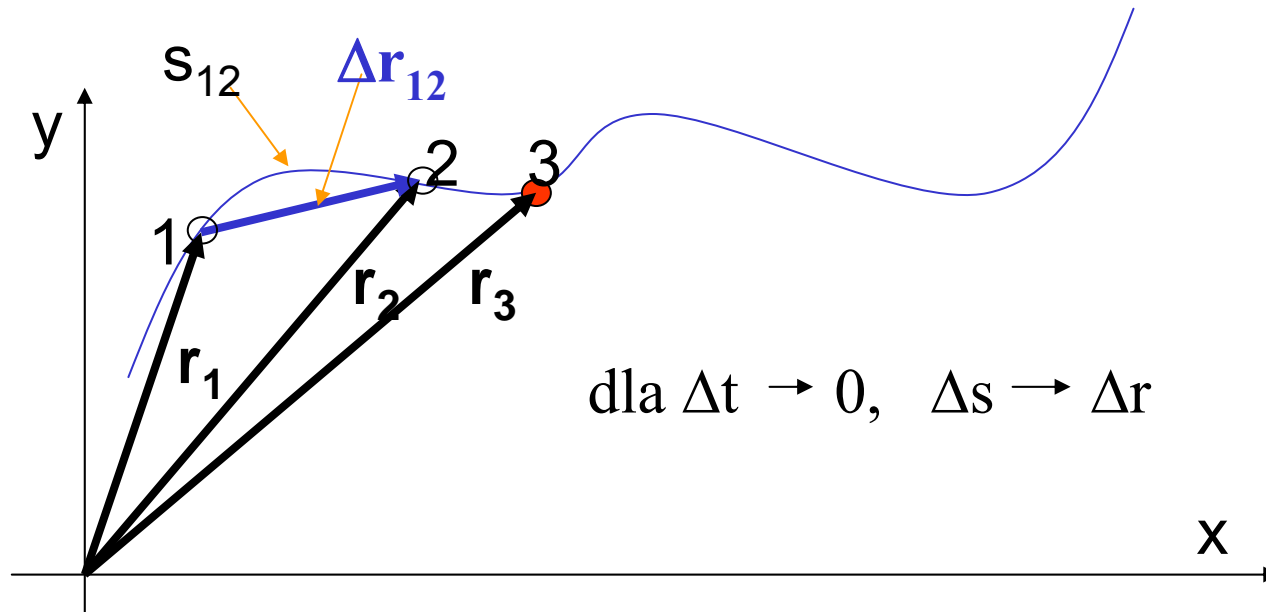
Kinematyka punktu materialnego

Pojęcia i definicje

Tor : linia, po której porusza się punkt materialny (*zbiór geometryczny punktów w których znajduje się poruszające się ciało – punkt - w kolejnych czasach*)

Droga s_{12} - odległość między punktami 1,2 wzdłuż toru

Przemieszczenie $\Delta \mathbf{r}_{12}$: wektor o początku w punkcie 1 i końcu w punkcie 2,
$$\Delta \mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$$



Równanie toru w układzie odniesienia (Oxyz) to
wzajemny, niezależny od czasu związek współrzędnych
przestrzennych : $f(x,y,z) = F$

Równanie ruchu: zależność czasowa położenia ciała,
np. promień wodzący jako funkcja czasu - $\mathbf{r}(t)$ (w układzie Oxyz):

$$\overrightarrow{\mathbf{r}(t)} = r_x(t) \overrightarrow{\mathbf{e}_x} + r_y(t) \overrightarrow{\mathbf{e}_y} + r_z(t) \overrightarrow{\mathbf{e}_z},$$

lub w postaci parametrycznej:

$$x_p = x(t)$$

$$y_p = y(t)$$

$$z_p = z(t)$$

Parametry ruchu:

prędkość

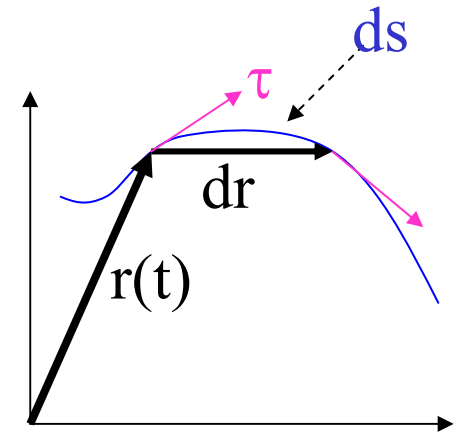
$$\mathbf{v} = d[\mathbf{r}(t)]/dt$$

$$v = |\mathbf{v}| = |d\mathbf{r}/dt| = |d\mathbf{r}|/dt = ds/dt$$

$$(v \neq d|\mathbf{r}|/dt \neq s/t !)$$

w układzie Oxyz : $\mathbf{v} = v_x \mathbf{e}_x + v_y \mathbf{e}_y + v_z \mathbf{e}_z$

w odniesieniu do toru: $\mathbf{v} = v \boldsymbol{\tau}$



przyspieszenie

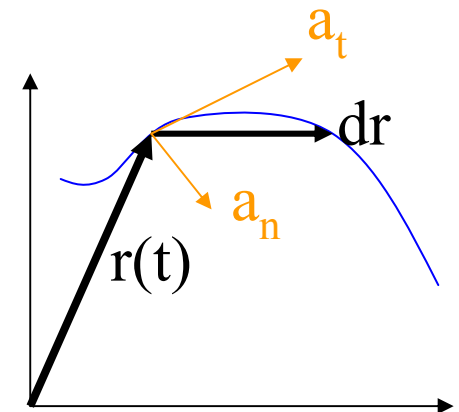
$$\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt = d^2\mathbf{r}/dt^2$$

w układzie Oxyz : $\mathbf{a} = a_x \mathbf{e}_x + a_y \mathbf{e}_y + a_z \mathbf{e}_z$

w odniesieniu do toru $\vec{\mathbf{a}} = a_\tau \vec{\boldsymbol{\tau}} + a_n \vec{\mathbf{n}}$

$$a_\tau = dv/dt,$$

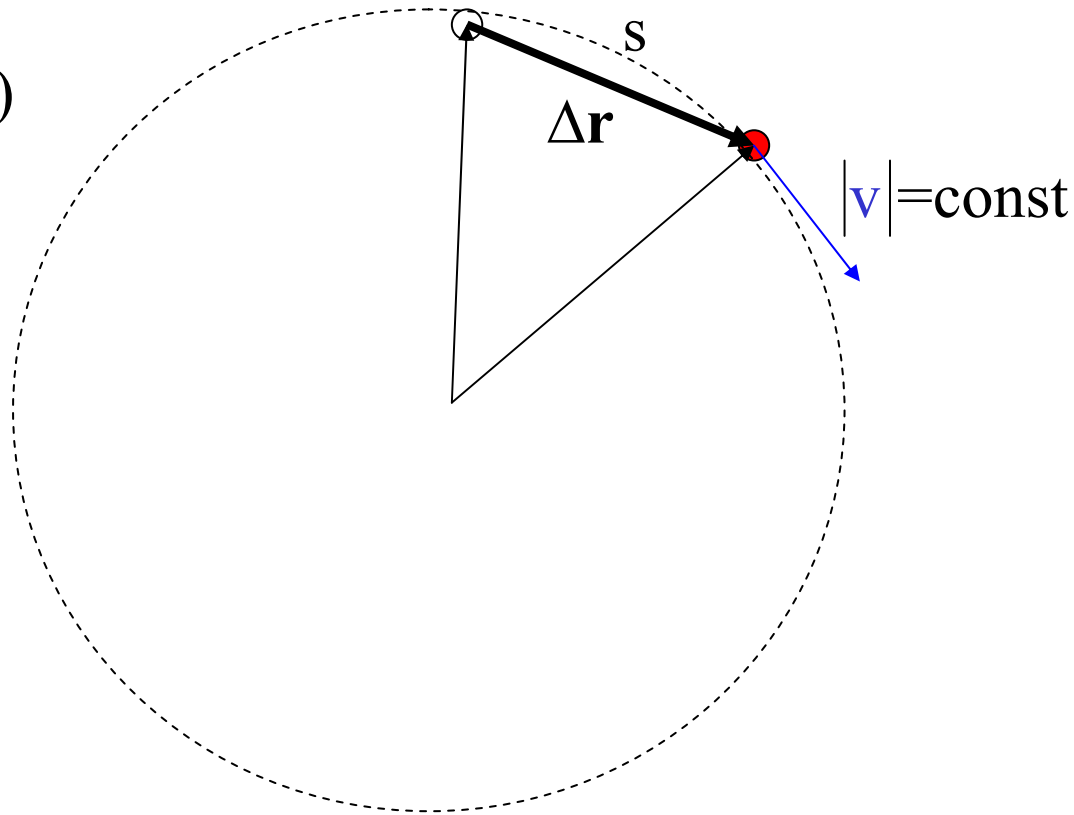
$$a_n = v^2/\rho$$



$$\vec{a} = \frac{d(v\vec{\tau})}{dt} = \vec{\tau} \frac{d(v)}{dt} + v \frac{d(\vec{\tau})}{dt} = a_t \vec{\tau} + v \frac{d(\varphi)}{dt} \vec{n} + a_t \vec{\tau} + v \frac{d(s/\rho)}{dt} \vec{n}$$

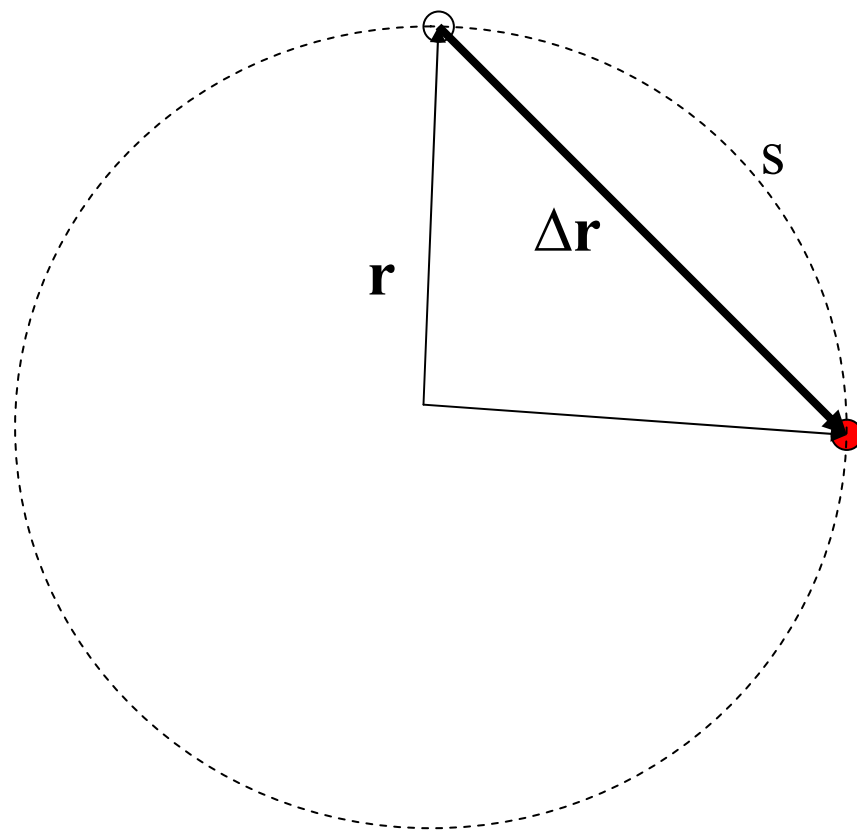
$$\vec{a} = \frac{d(v\vec{\tau})}{dt} = \vec{\tau} \frac{d(v)}{dt} + v \frac{d(\vec{\tau})}{dt} = a_t \vec{\tau} + v \frac{d(\varphi)}{dt} \vec{n} + a_t \vec{\tau} + v \frac{d(s/\rho)}{dt} \vec{n}$$

($v \neq d|\mathbf{r}|/dt \neq s/t$!)



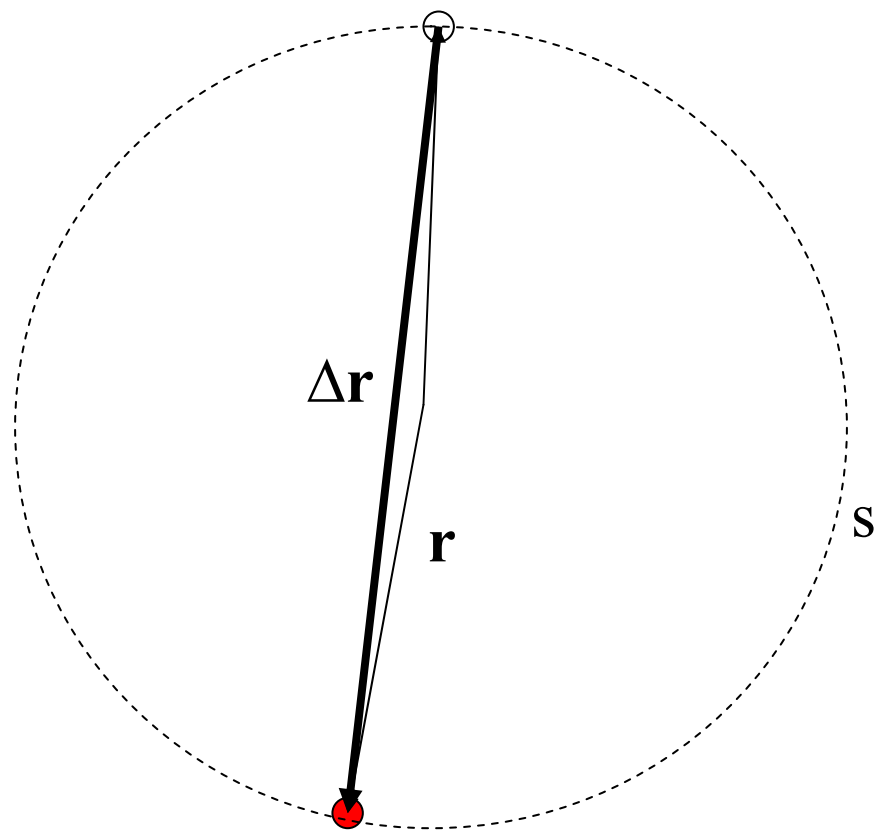
$$v \neq d|\mathbf{r}|/dt$$

$$v \neq \Delta \mathbf{r} / t$$



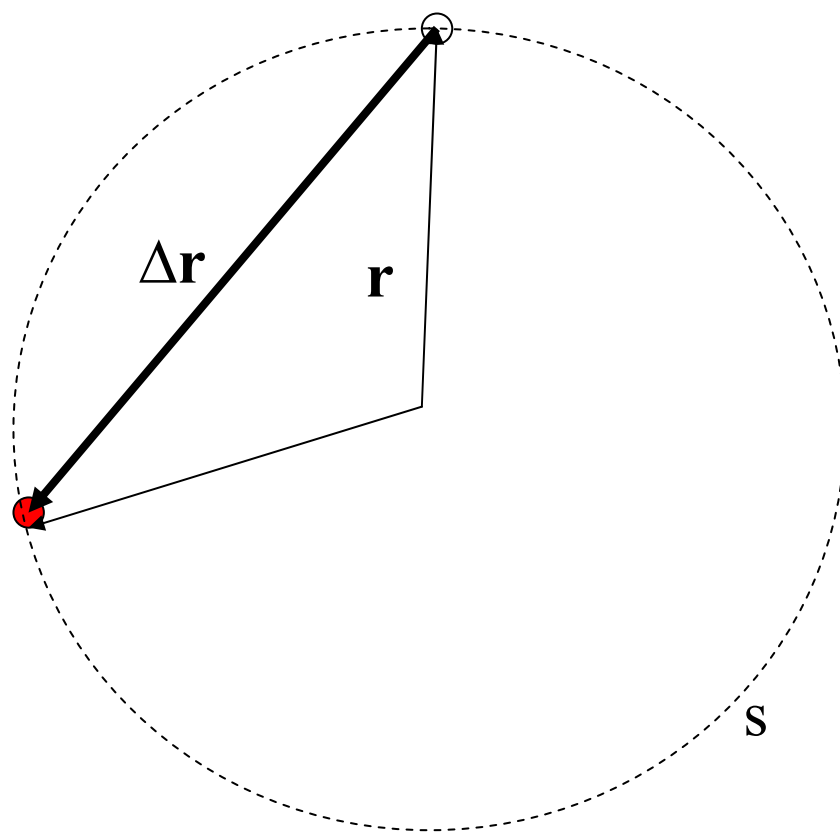
$$v \neq d|\mathbf{r}|/dt$$

$$v \neq \Delta \mathbf{r} / t$$



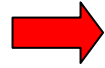
$$v \neq d|\mathbf{r}|/dt$$

$$v \neq \Delta \mathbf{r} / t$$



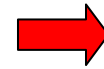
$$|\mathbf{r}| = \text{const}, d|\mathbf{r}|/dt = 0$$

oraz $\Delta\mathbf{r} \neq 0$, ale $v \neq 0$

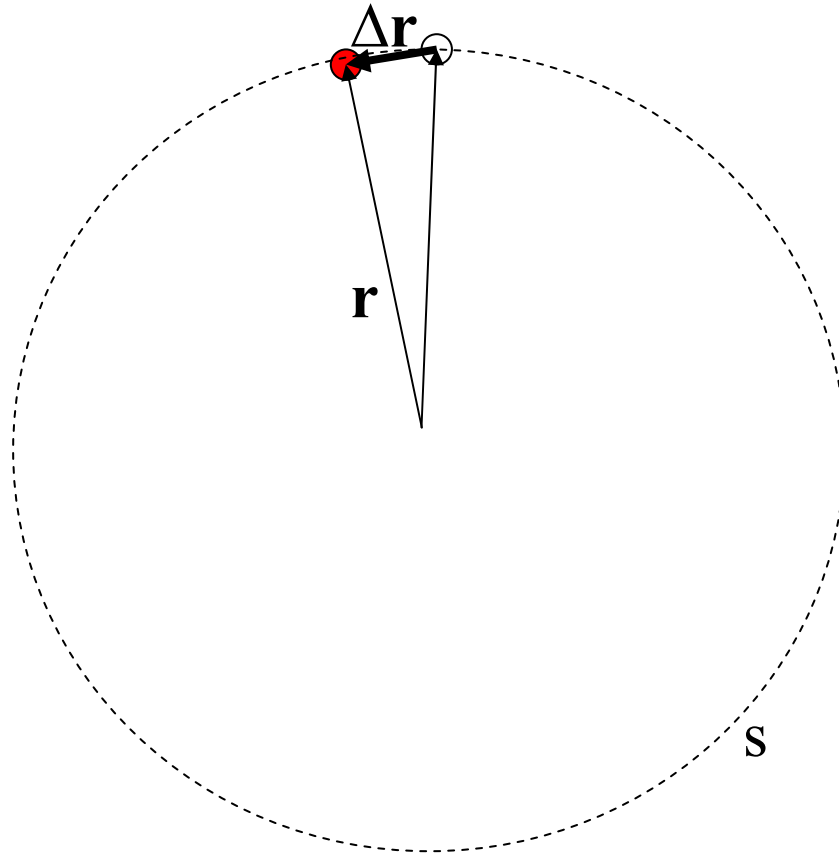


$$|\mathbf{v}| \neq d|\mathbf{r}|/dt$$

$$|\mathbf{v}| \neq \Delta\mathbf{r}/t$$



$$|\mathbf{v}| = |d\mathbf{r}|/dt$$



Relacje odwrotne

$$\Delta r_{12} = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt, \quad s_{12} = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt,$$

$$v(t) = \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt$$

$$v_{sr} = \langle v \rangle = s_{12}/t_{12} \implies v_{sr} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$$

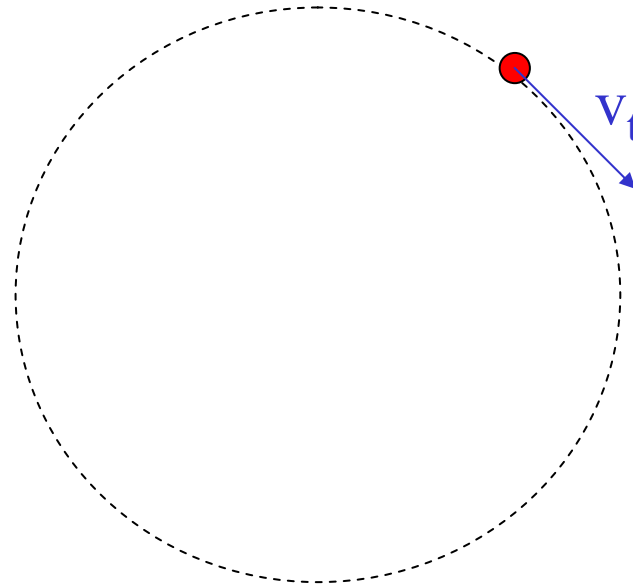
ale nie :

$$v_{sr} \neq \frac{v_1 + v_2 + \dots v_n}{n}$$

Przykład:

Ciało, porusza się po okręgu o promieniu R ze stałą prędkością o wartości $|\vec{v}| = v_t$ tj. ruchem jednostajnym po okręgu.

Opisać ten ruch. Przyjąć dane: $R = 0,5 \text{ m}$, $v_t = 5 \text{ m/s}$

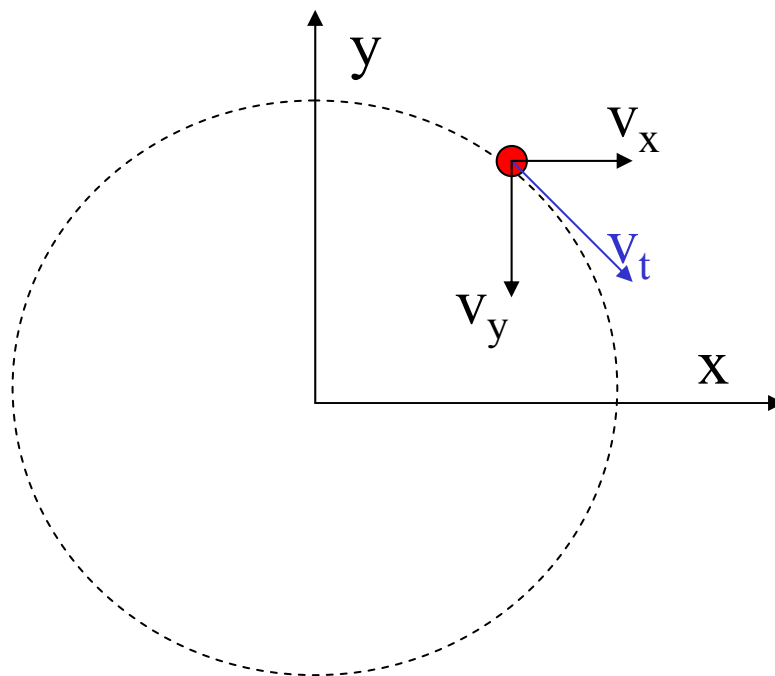


Przykład:

Równanie ruchu

$$x(t) = ? \quad | \quad |$$

$$y(t) = ?$$



Przykład:

Szukamy: równanie ruchu

$$x(t) = ? \quad | \quad |$$

$$y(t) = ?$$

dane:

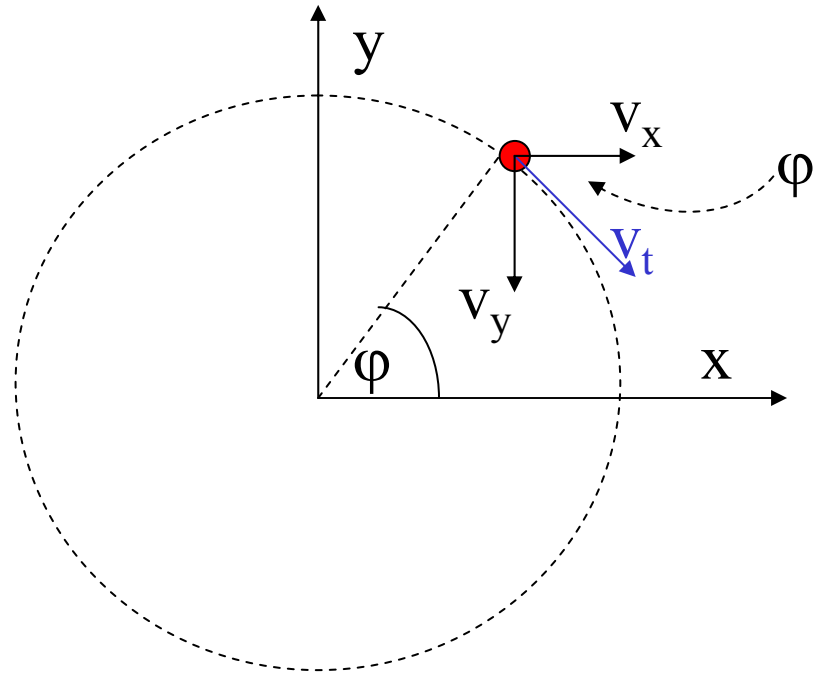
$$v_x = v_t \cos \varphi$$

$$v_y = v_t \sin \varphi$$

$$\varphi = \omega t, \quad \omega = \text{const}$$

$$v_x(t) = v_t \cos(\omega t)$$

$$v_y(t) = v_t \sin(\omega t)$$



Przykład:

Równanie ruchu

$$s(t) = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt \Rightarrow x(t) = \int_t v_x dt, \dots y(t) = \int_t v_y dt$$

$$x(t) = \int_t v_t \cos(\omega t) dt = \frac{v_t}{\omega} \sin \omega t,$$

$$y(t) = -\int_t v_t \sin(\omega t) dt = \frac{v_t}{\omega} \cos \omega t$$

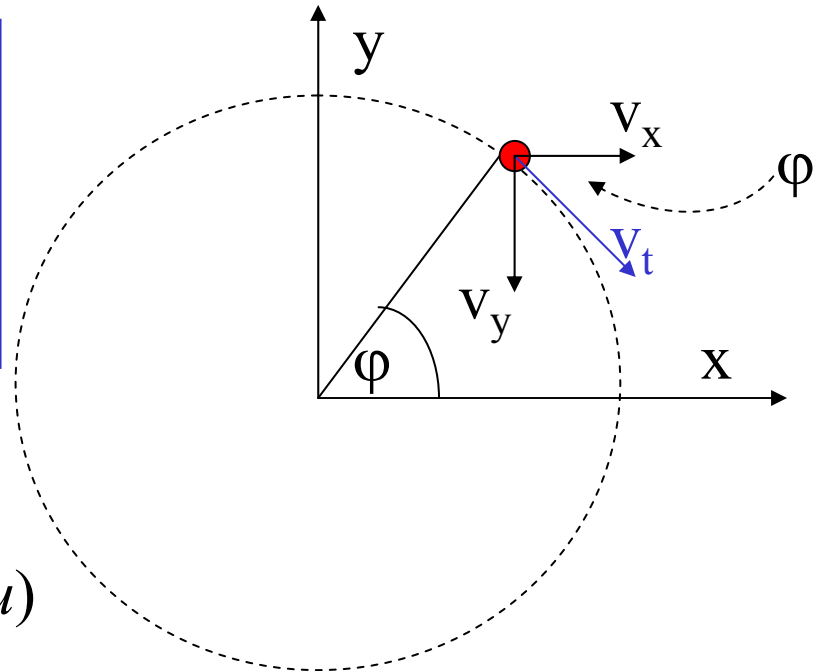
$(\omega = \text{const})$

Równanie toru:

(eliminacja czasu z równania ruchu)

$$x^2(t) + y^2(t) = \left(\frac{v_t}{\omega}\right)^2 \sin^2(\omega t) + \left(\frac{v_t}{\omega}\right)^2 \cos^2(\omega t)$$

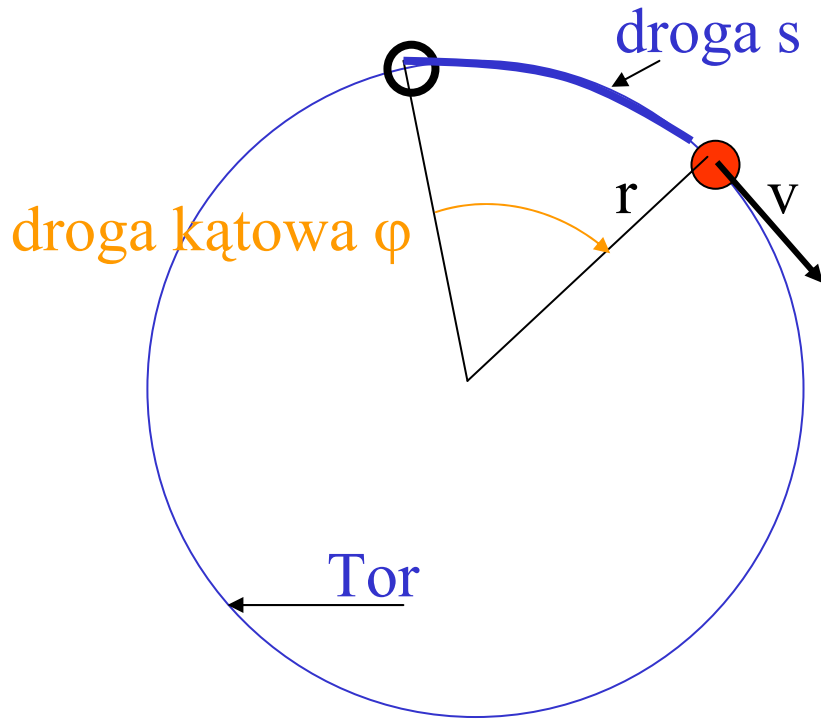
$$x^2 + y^2 = \left(\frac{v_t}{\omega}\right)^2 \Rightarrow \text{równanie okr. o promieniu } R = \frac{v_t}{\omega}$$



Parametry ruchu obrotowego

W ruchu obrotowym każdy punkt ciała porusza się po okręgu

Definicja drogi kątowej φ : $\varphi = s/r$; więc droga liniowa $s = r \varphi$



prędkość kątowa

$$\boxed{\omega = d\varphi/dt} \quad \rightarrow$$

$$\omega = (1/r) ds/dt = (1/r) v = \frac{v}{r}$$

Przyspieszenie kątowe

$$\alpha = d\omega/dt = (1/r) dv/dt$$

$$\alpha = (1/r) a_t = \frac{a_t}{r}$$

Porównanie parametrów ruchu liniowego i obrotowego

droga: $s = \varphi r$, prędkość: $v = \omega r$, przyspieszenie: $a_t = \alpha r$

związki skalarne !

Wielkości wektorowe ruchu obrotowego

Droga kąтова (kąt obrotu) φ :
reprezentacja kąta φ
(o długości odpowiadającej drodze s)

nie jest wektorem

Jednak $\vec{d\varphi}$ (o długości odp. przemieszczeniu \vec{dr})

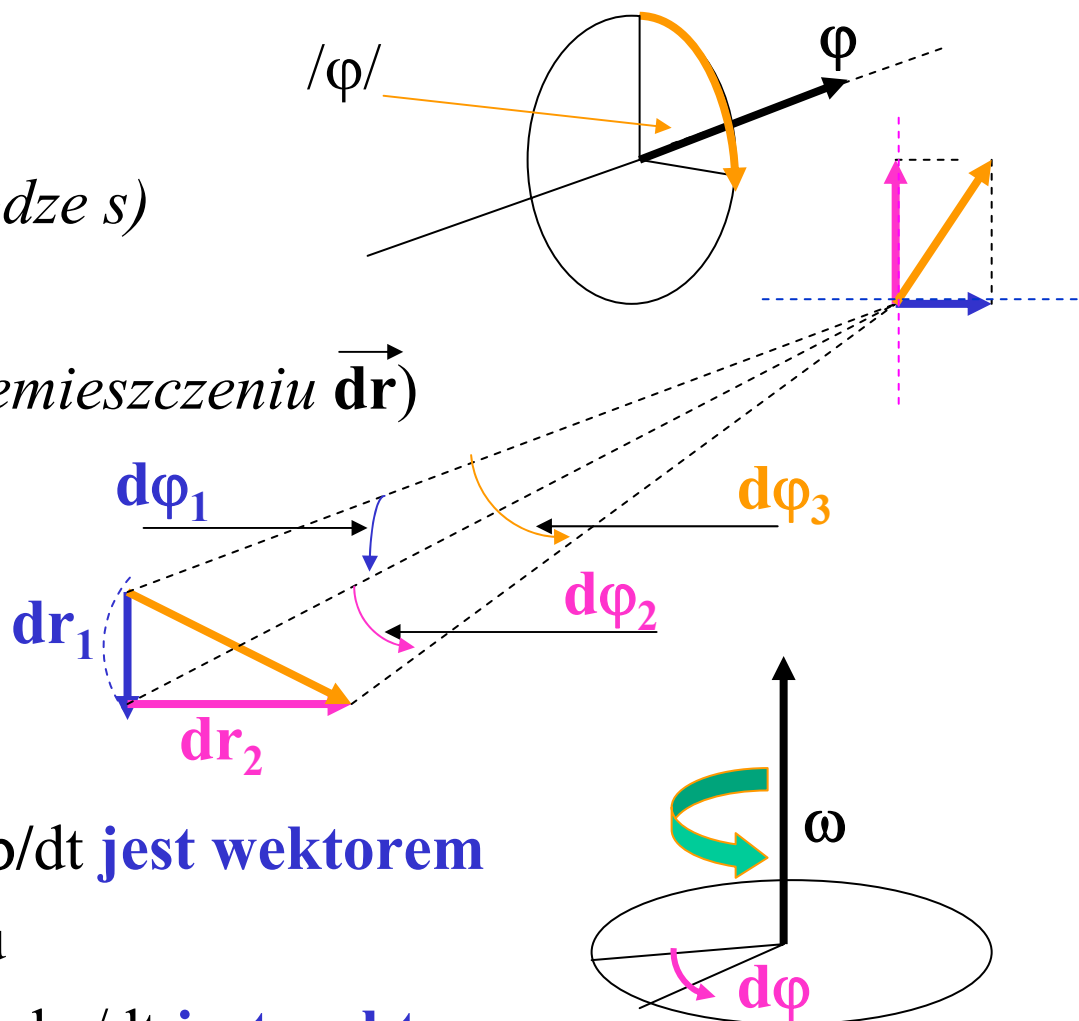
jest wielkością wektorową

$$d\varphi_3 = d\varphi_1 + d\varphi_2$$

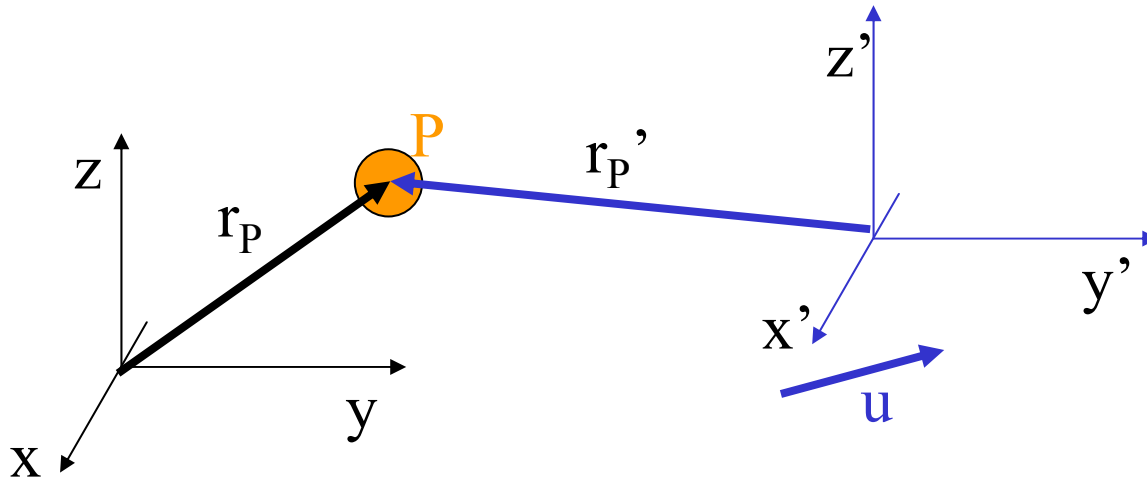
$$\text{bo } dr_3 = dr_1 + dr_2$$

Zatem prędkość kąтова $\omega = d\varphi/dt$ **jest wektorem**
skierowanym wzdłuż osi obrotu

oraz przyspieszenie kątové $\alpha = d\omega/dt$ **jest wektorem**



Transformacja Galileusza

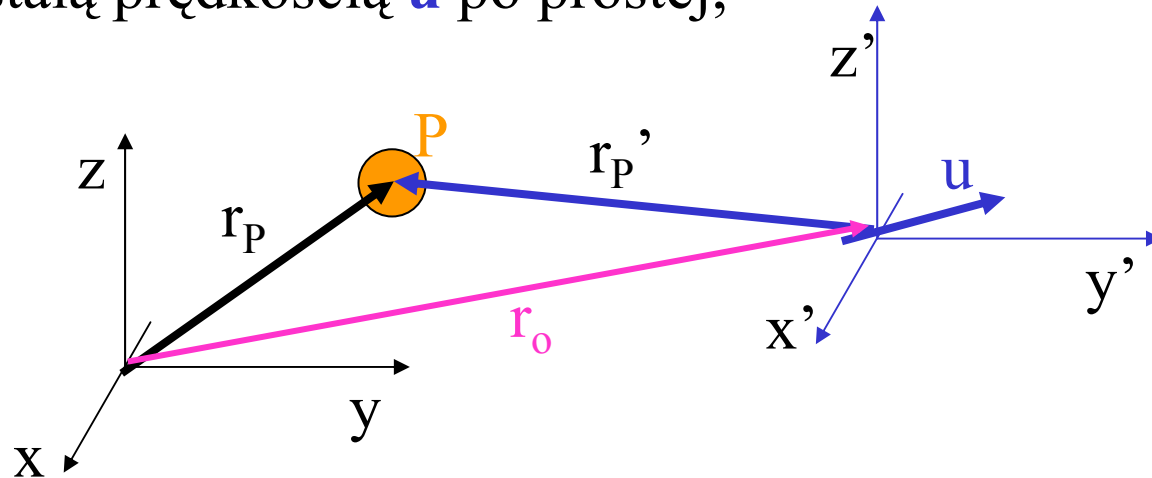


Układ $(Ox'y'z')$ porusza się względem układu $(Oxyz)$
ze stałą prędkością u po prostej,
ruch ciała P opisać można w obu układach; oba opisy wiąże ze sobą
transformacja Galileusza ($Oxyz \Rightarrow Ox'y'z'$):

Transformacja Galileusza:

opis ruchu w różnych układach odniesienia

Układ $(Ox'y'z')$ porusza się względem układu $(Oxyz)$ ze stałą prędkością \mathbf{u} po prostej,



\vec{r} - wektor wodzący ciała P w układzie O

\vec{r}' - wektor wodzący ciała P w układzie O'

\vec{r}_0 - wektor wodzący układu O' w układzie O

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}'$$

Prędkość \vec{v} ciała P możemy obliczyć jako $\frac{d\vec{r}}{dt}$

→ $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0 = \vec{v}' + \vec{u}$

natomiast przyspieszenie $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ czyli $\mathbf{a} = \mathbf{a}'$

transformacja Galileusza ($Ox'y'z' \Rightarrow Oxyz$):

→ $\mathbf{u} = \text{const}, \quad \mathbf{v} = \mathbf{v}' + \mathbf{u}, \quad \mathbf{a} = \mathbf{a}';$

lub: $v_x = v_x' + u_x; \quad v_y = v_y' + u_y; \quad v_z = v_z' + u_z;$

oraz: $x = x' + u_x t; \quad y = y' + u_y t; \quad z = z' + u_z t;$

Układ O' może dodatkowo wykonywać ruch rotacyjny. Wówczas do powyższego wzoru dojdzie czynnik prędkości kątowej:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \mathbf{u} + \vec{\omega} \times \vec{r}'$$

Transformacja Galileusza jest wyrazem względności ruchu

Analiza ruchu wymaga pomiaru czasu i odległości

Pomiar czasu

Definicja czasu ?

Wzorzec czasu \Rightarrow powtarzające się regularnie (okresowe) zjawisko

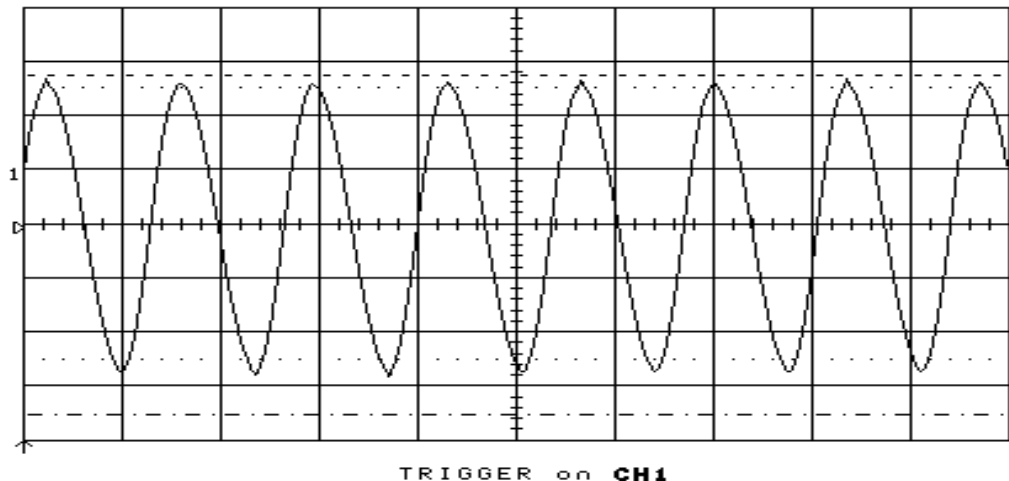
-puls

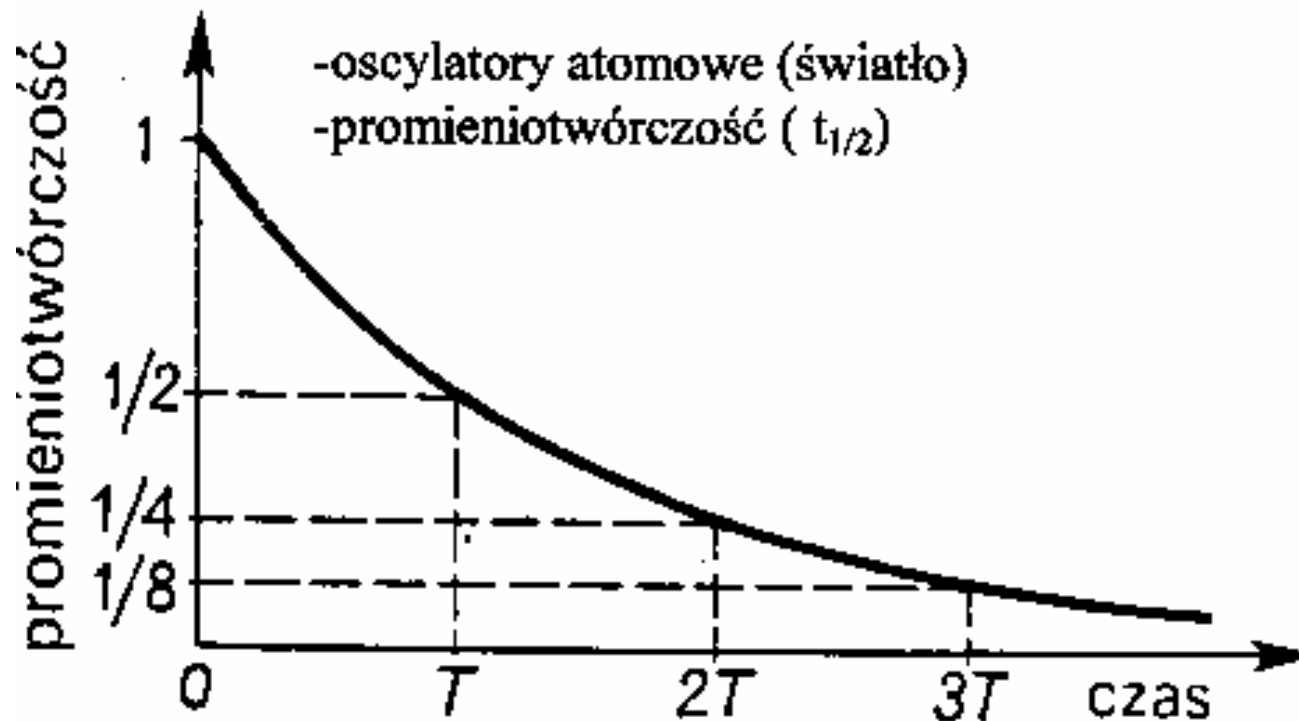
-wahadło

-astronomia (dzień, rok)

-oscylatory elektroniczne

(Galileusz)





Jednostki

[s] = 1/86400 średniej doby
9 192 631 770 okresów linii $_{55}^{133}\text{Cs}$

obecna dokładność pomiaru czasu 1/1 000 000 000s ($> 10^{-9}\text{s}$)

$$\Delta t = h/\Delta E$$

Pomiar drogi

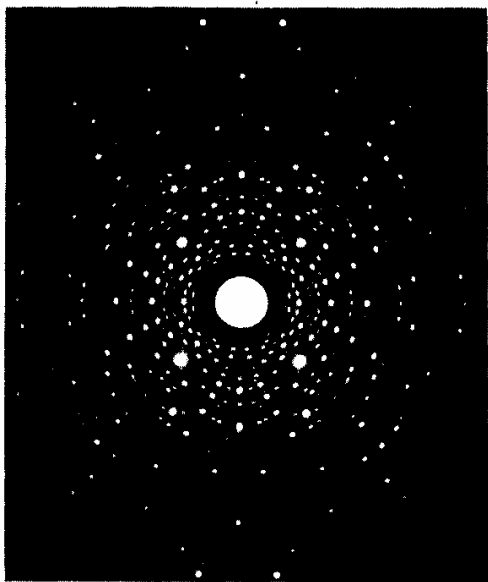
Definicja: odległość między punktami (*wzdłuż toru*)

Wzorzec odległości

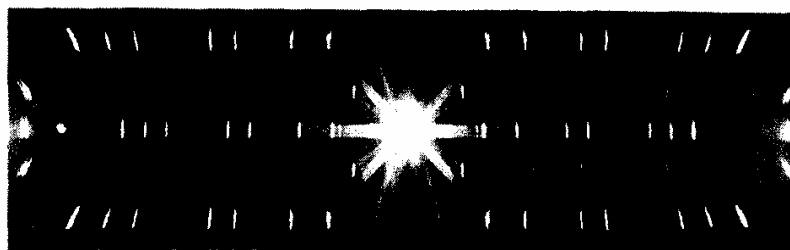
- antropogenetyczny, dłoń, łokieć
- standaryzowana jednostka, np. pręt
- astronomiczny (Równik, odl. Ziemia-Słońce, Ziemia-gwiazda)
 - rok świetlny
 - atomowy

Metody pomiaru

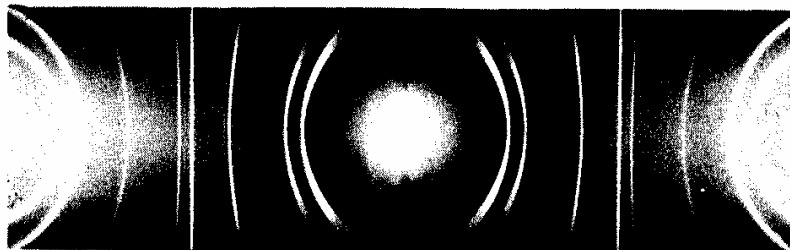
- porównawcze
- triangulacyjne
- ”radarowe”
- dyfrakcyjne



Rys. 1. Rentgenogram uzyskany metodą Lauego



Rys. 2. Rentgenogram chlorku sodowego uzyskany metodą obracanego kryształu



Rys. 3. Rentgenogram metalicznego niklu uzyskany metodą proszkową

Jednostki $[m] = 1/40\,000\,000$ Równika

wzorzec w Sevre

1 650 763,73 λ pomarańczowej linii $_{36}^{86}\text{Kr}$

Obecna dokładność pomiaru długości $1/10\,000\,000\,000$ s ($> 10^{-10}\text{m}$)

granica dokładności $\Delta x = h/\Delta p$