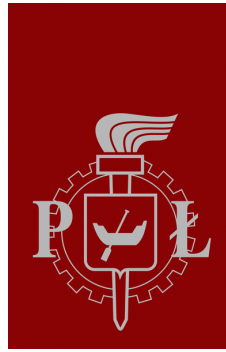




INSTYTUT
INŻYNIERII
MATERIAŁOWEJ

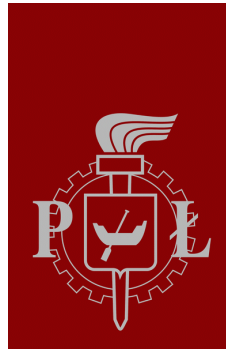


WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



Podstawy Procesów i Konstrukcji Inżynierskich

Elementy mechaniki relatywistycznej



Czym zajmuje się teoria względności?

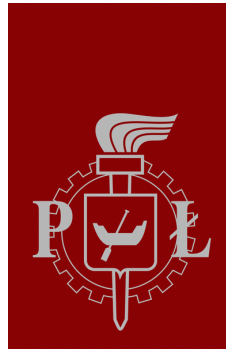
Teoria względności to pomiary zdarzeń – ustalenia, gdzie i kiedy one zachodzą, a także jaka odległość dzieli je w czasie i przestrzeni. Ponadto teoria względności zajmuje się transformacjami wyników pomiarów tego typu pomiędzy poruszającymi się względem siebie układami odniesienia.

- szczególna teoria względności
- ogólna teoria względności

relatywistyczny - od ang. "relative" – względny

Nie wszystko
jest tak,
jak się
wydaje...



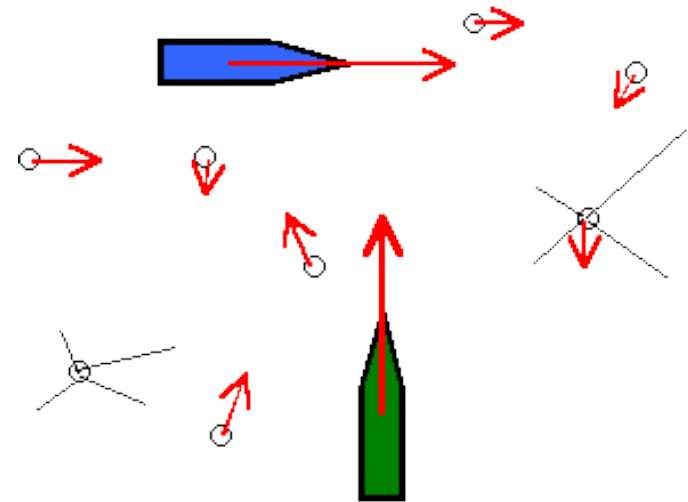


Postulaty

Postulat względności

Dla wszystkich obserwatorów w inercjalnych układach odniesienia prawa fizyki są takie same. Żaden z układów nie jest wyróżniony

Chmura atomów z jądrami gotowymi do rozpadu dryfuje gdzieś we wszechświecie. Pilot każdej z rakiet może zarejestrować ten sam rozpad inaczej – po pierwsze w innej odległości od rakiety, atom mógł też poruszać się z różną prędkością względem każdej z rakiet.





Postulaty

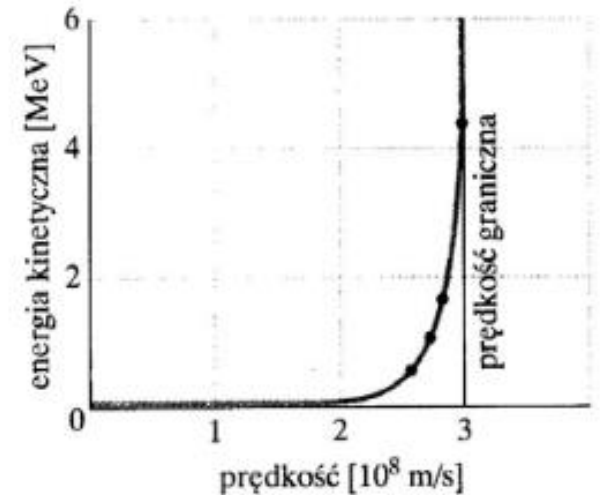
Postulat stałej prędkości światła

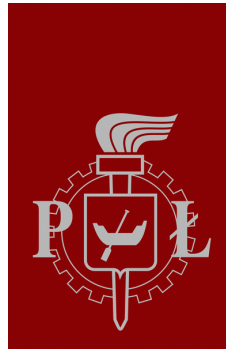
We wszystkich inercjalnych układach odniesienia i we wszystkich kierunkach światło rozchodzi się w próżni z taką samą prędkością.

1964 r. - Eksperyment Bertozziego – wykazał istnienie ograniczenia prędkości przyspieszania elektronów.

Prędkość graniczna c jest zdefiniowana jako równa dokładnie:

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$



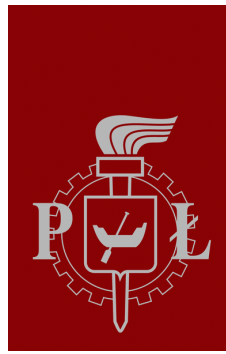


Światło nośnikiem informacji

Z punktu widzenia teorii względności światło jest istotne jeszcze z jednego powodu, nie wynikającego bezpośrednio z fizycznych właściwości. Jest nim fakt, że światło (a bardziej ogólnie - fala elektromagnetyczna) jest **nośnikiem informacji o zdarzeniu**

$$x_{\text{wysłania sygnału}} = x_{\text{odbioru sygnału}} + \text{droga jaką przebył sygnał}$$

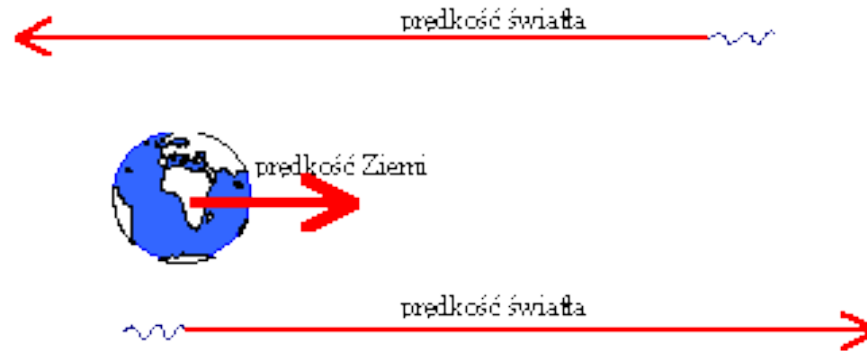
$$t_{\text{wysłania sygnału}} = t_{\text{odbioru sygnału}} + t_{\text{lotu sygnału}}$$



Prędkość światła

Światło **nie podlega** klasycznemu prawu dodawania prędkości

W doświadczeniu wykonanym przez fizyków amerykańskich – przez Michelsona i Morleya - próbowano sprawdzić prędkość rozchodzenia się światła w układzie związanym z Ziemią.



Wykrywana prędkość światła względem Ziemi jest niezależna od tego, czy jest skierowana zgodnie, czy przeciwnie względem prędkości naszej planety.

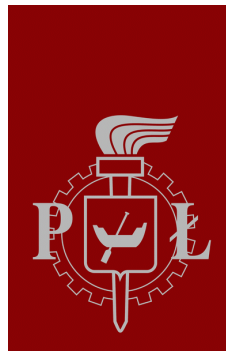


Transformacje

Istnieje aparat matematyczny, który po podstawieniu liczb do odpowiednich równań pozwala na ścisłe ustalenie co zmierzy obserwator w innym układzie odniesienia. Taki układ równań tłumaczący świat jednego obserwatora, na świat innego, nazywany jest **transformacją**.

Transformacja Galileusza – jest to transformacja współrzędnych przestrzennych i czasu z jednego układu odniesienia do innego, poruszającego się ruchem jednostajnym prostoliniowym względem pierwszego. W transformacji tej czas i odległości pomiędzy dwoma dowolnymi punktami pozostają stałe, czyli są niezależne od układu odniesienia.

Transformacja Lorentza (przekształcenie Lorentza) – umożliwiające obliczenie wielkości fizycznych w pewnym układzie odniesienia, jeśli znane są te wielkości w układzie poruszającym się względem pierwszego. Przekształceniu temu podlegają np. współrzędne w czasoprzestrzeni, energia i pęd,, pole elektryczne i magnetyczne. Wzory transformacyjne zostały wyprowadzone przez Lorentza w oparciu o założenie, że prędkość światła jest stała i niezależna od prędkości układu.



Zdarzenie

Podstawowym pojęciem obu transformacji jest **zdarzenie**.

Zdarzenie – jednoczesne określenie czasu i położenia

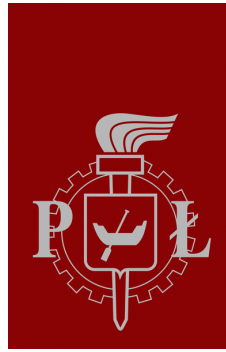
ZDARZENIE = CZAS + POŁOŻENIE

W teorii względności przestrzeń i czas są wzajemnie powiązane, dlatego współrzędne czasu i położenia nazywa się *współrzędnymi czasoprzestrzennymi*.

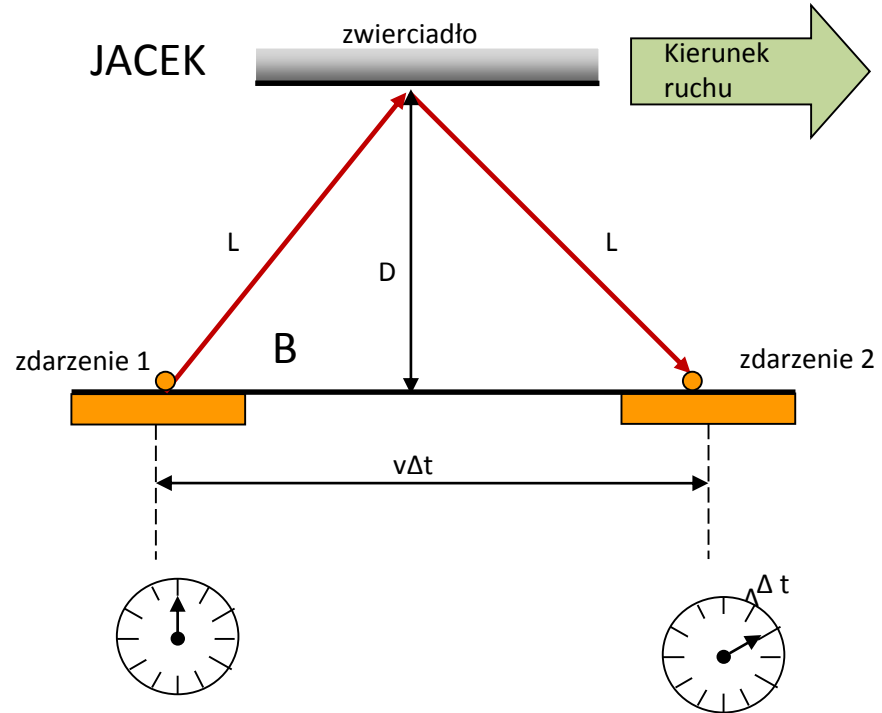
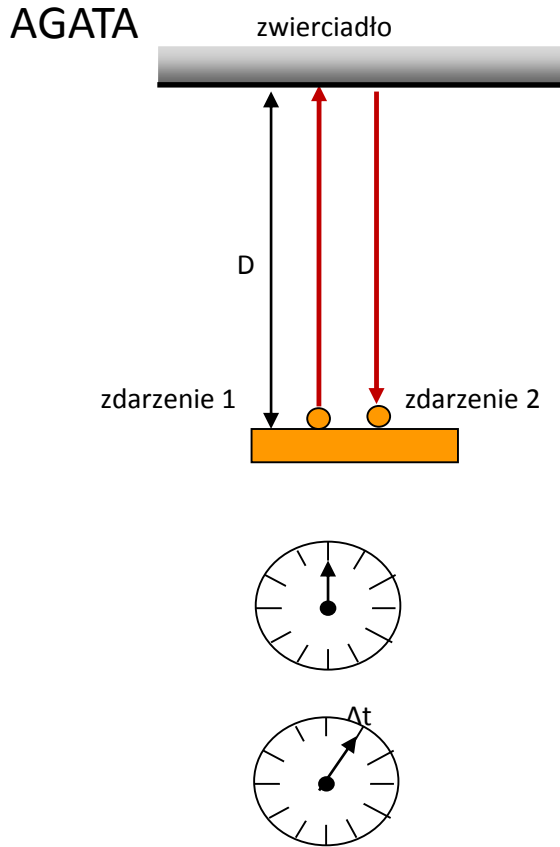
Dla małych prędkości układów odniesienia - transformacja Galileusza = Lorentza...

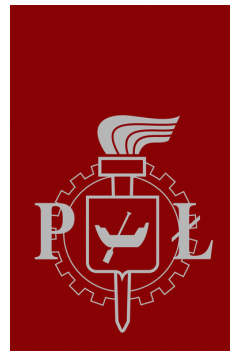
Dla prędkości porównywalnych z prędkością światła:

- wydłużenie czasu
- skrócenie długości



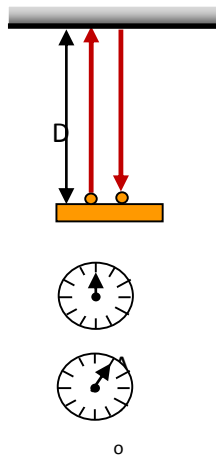
Dylatacja czasu



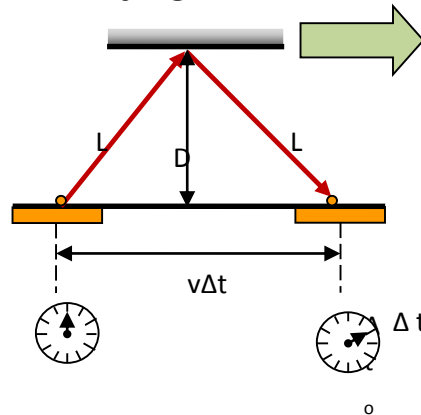


Dylatacja czasu

AGATA



JACEK



Agata mierzy odstęp czasu Δt_o między dwoma zdarzeniami

$$\Delta t_o = \frac{2D}{c}$$

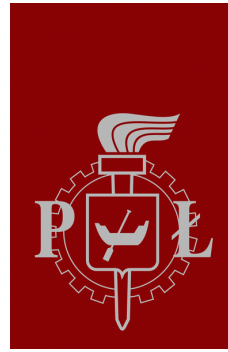
Odstęp czasu Δt między zdarzeniami, które zmierzył Jacek

$$\Delta t = \frac{2L}{c} \quad \text{gdzie} \quad L = \sqrt{\left(\left(\frac{1}{2}v\Delta t\right)^2 + D^2\right)}$$

Korzystając z równania Agaty

$$L = \sqrt{\left(\left(\frac{1}{2}v\Delta t\right)^2 + \left(\frac{1}{2}c\Delta t_o\right)^2\right)}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_o}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$



Dylatacja czasu

$$\Delta t = \frac{\Delta t_o}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

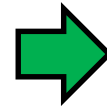
↓

$$v/c = \beta$$



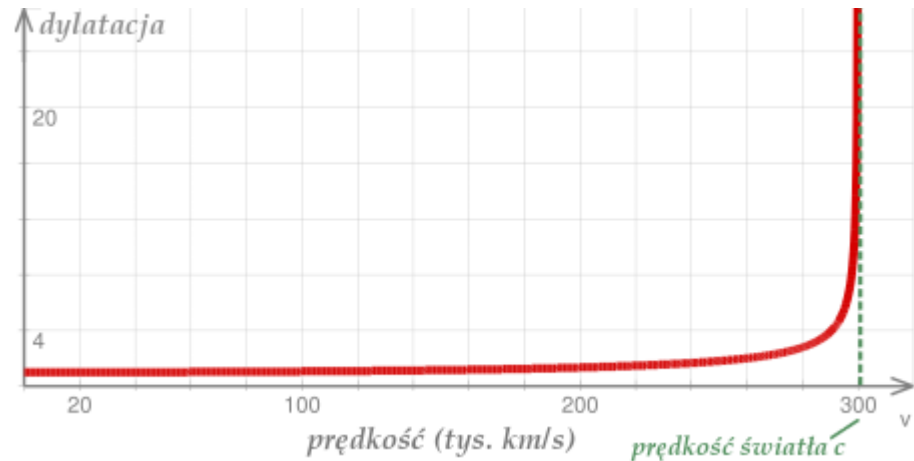
Współczynnik
Lorentza

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$



$$\Delta t = \gamma \Delta t_o$$

Dylatacja czasu



Dylatacja czasu – zjawisko różnic w pomiarze czasu dokonywanym równoległe w dwóch różnych układach odniesienia, z których jeden przemieszcza się względem drugiego. Pomiar dotyczy czasu trwania tego samego zjawiska



Skrócenie długości

JACEK

$$L_o = v\Delta t$$

AGATA

$$L = v\Delta t_o$$



$$\frac{L}{L_o} = \frac{v\Delta t_o}{v\Delta t} = \frac{1}{\gamma}$$

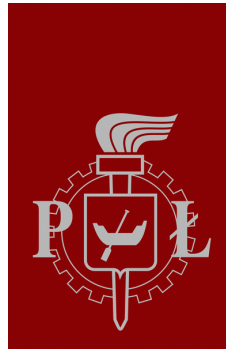


$$L = \frac{L_o}{\gamma}$$

Skrócenie długości

Prędkość	Skrócenie $l=S-S'$ [m]
1 m/s	$5,563 \cdot 10^{-18}$
0,1 c	0,0050
0,9 c	0,564
0,999 c	0,9553

Skrócenie długości – wzór na skrócenie odległości (skrócenie Lorentza) mierzonej w kierunku ruchu, w układzie odniesienia poruszającym się. Efekty są tym donioślejsze, im prędkość względna układów odniesienia jest bliższa prędkości światła.



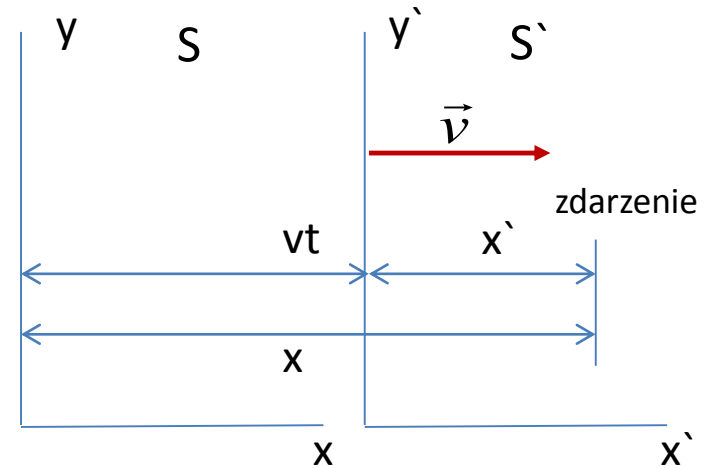
Transformacja Lorentza

Transformacja Galileusza

$$x' = x - vt$$

$$t' = t$$

prawdziwa dla
małych prędkości



Transformacja Lorentza

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \gamma(t - vx/c^2)$$

prawdziwa dla wszystkich
fizycznie dozwolonych
prędkości



Równoważność masy i energii

$$E = mc^2$$

$$E_{\text{spoczynkowa}} = m_{\text{spoczynkowa}} c^2$$

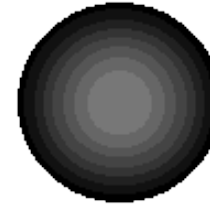
$$E_{\text{całkowi}} = m_{\text{spoczynkowa}} c^2 + E_k$$

$$p^2 = 2E_k m$$

$$E_{\text{całkowi}}^2 = m_{\text{spoczynkowa}}^2 c^4 + p^2 c^2$$

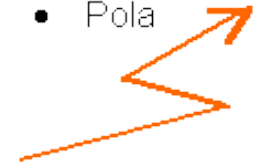
Masa:

- Ciężar
- Bezwładność



Energia:

- Promieniowanie
- Ruch
- Pola



gdzie

$$m_{\text{rel}} = \frac{m_{\text{sp}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$