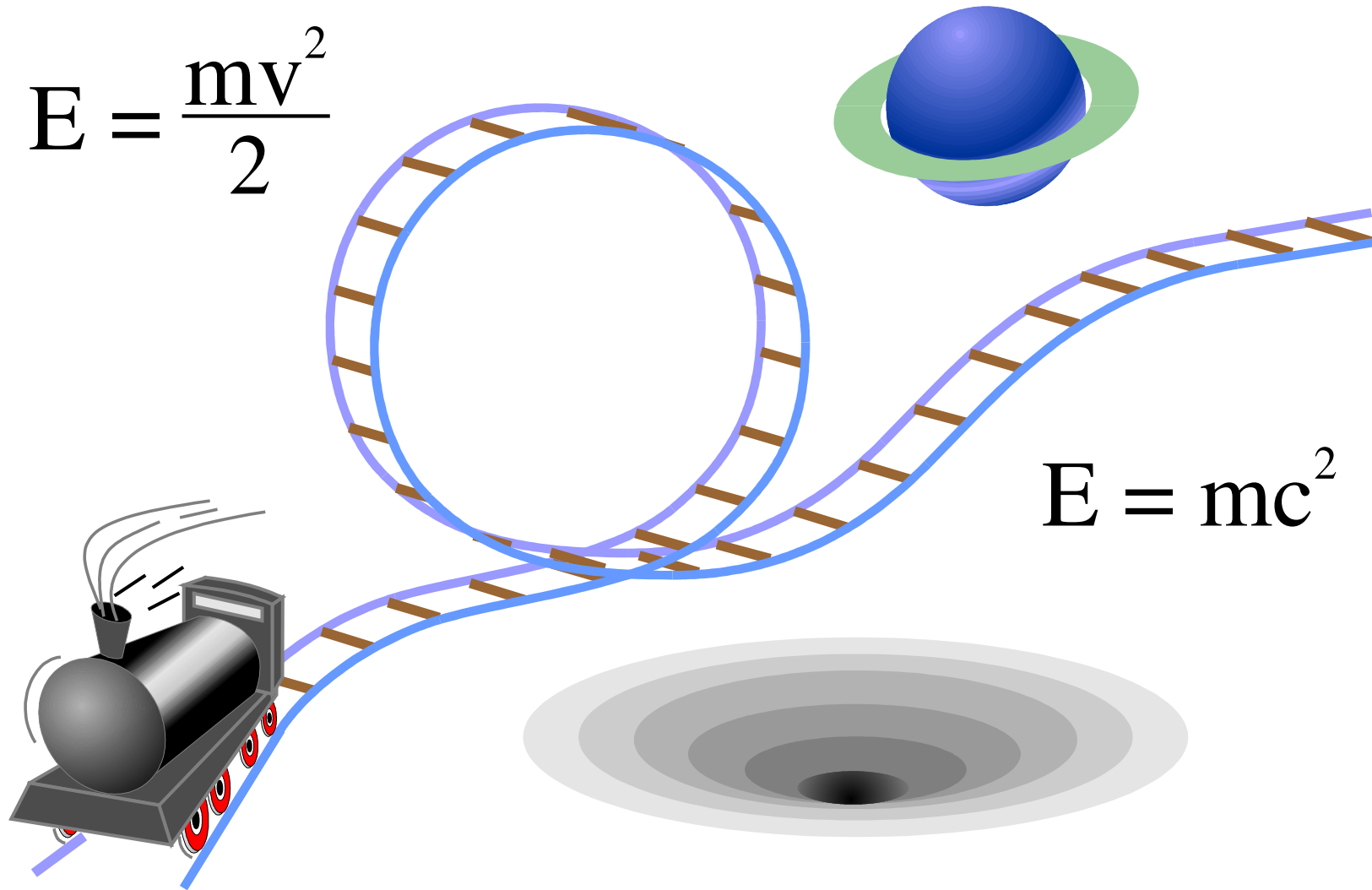


Mechanika od Newtona do Einsteina

Wykład PTF, 22 V 2010

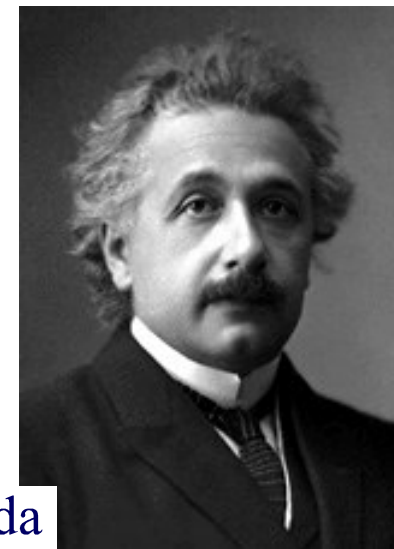
$$E = \frac{mv^2}{2}$$



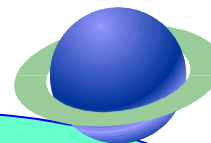
$$E = mc^2$$



Mechanika



$$c = 300000 \text{ km/s}$$



zasada względności
Galileusza

zasada
względności
Einsteina

**Mechanika
klasyczna**

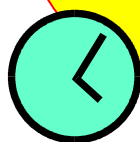
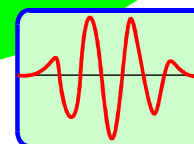
zasady zachowania
energii, pędu i
momentu pędu

**Mechanika
kwantowa**

zasada
nieoznaczoności
Heisenberga

równanie
Schrodingera

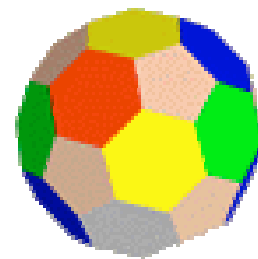
$$h = 0.000004 \text{ eV*ns}$$



Siła i ruch

Co możemy przewidzieć?

Hydrostatyka - prawo Archimiedesa



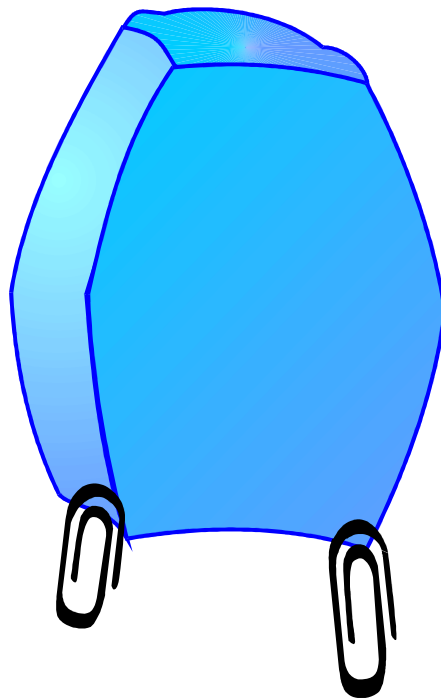
Archimedes
287 p.n.e. - 212 p.n.e.
Mieszkał w
Syrakuzach na Sycylii

dwudziestościan ścięty,
czyli piłka nożna lub
fulleren
- jedna z 13 brył
archimedesowych

Prawo Archimiedesa:

Ciało zanurzone w płynie (cieczy, gazie) traci na wadze tyle, ile waży wyparty przez nie płyn.

Balon z worka na śmieci



Arystoteles ze Stagiry

384 - 322 p.n.e.

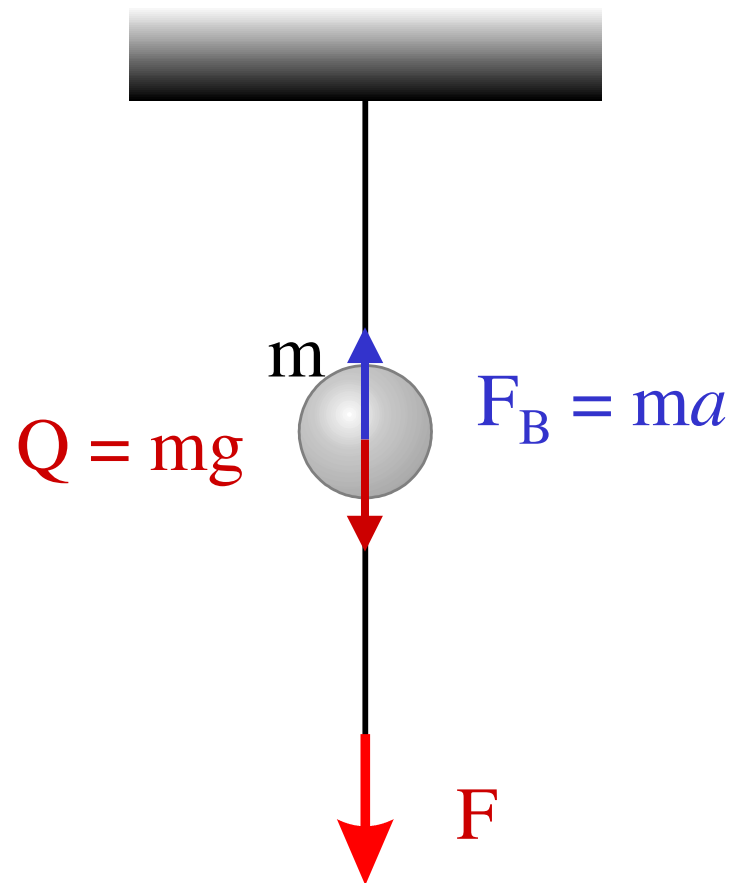
- Do **istnienia** ruchu potrzebna jest siła.
- Ciała spadają ze stałą prędkością, proporcjonalną do ciężaru.
- Powietrze podtrzymuje ruch.
- Natura nie znosi próżni.

Izaak Newton

1643 - 1727 n.e.

- Ruch jednostajny nie wymaga siły.
- Powietrze stawia opór.
- W próżni wszystkie ciała, niezależnie od ciężaru, spadają z tym samym przyspieszeniem.

Bezwładność



Masa jest miarą bezwładności danego ciała.

Zasady dynamiki Newtona

Pierwsza zasada

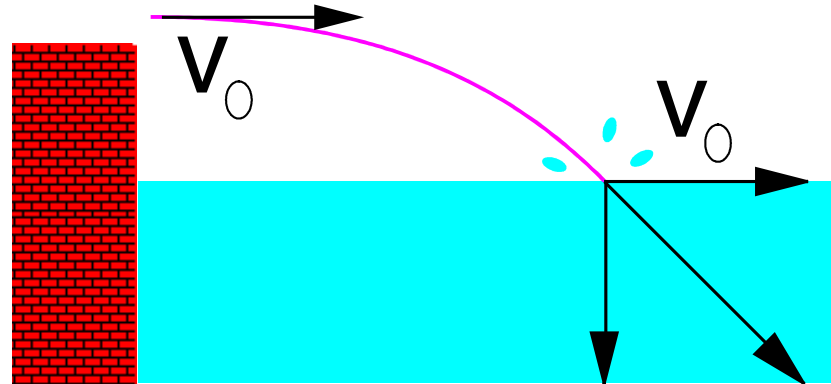
Ciało, na które nie działa żadna siła, albo działają siły równoważące się, pozostaje w spoczynku albo porusza się ruchem jednostajnym po linii prostej.

Druga zasada

Przyspieszenie wywołane przez wypadkową siłę jest wprost proporcjonalne do tej siły a odwrotnie proporcjonalne do masy ciała. Kierunek i zwrot przyspieszenia są zgodne z kierunkiem i zwrotem wypadkowej siły.

Rzut poziomy

W przypadku rzutu poziomego zakładamy, że prędkość w poziomie jest stała.



Ponieważ położenie w poziomie, x , jest proporcjonalne do czasu, kształt krzywej, $h(x)$, będzie taki sam jak kształt krzywej $h(t)$ (czyli zależności wysokości od czasu):

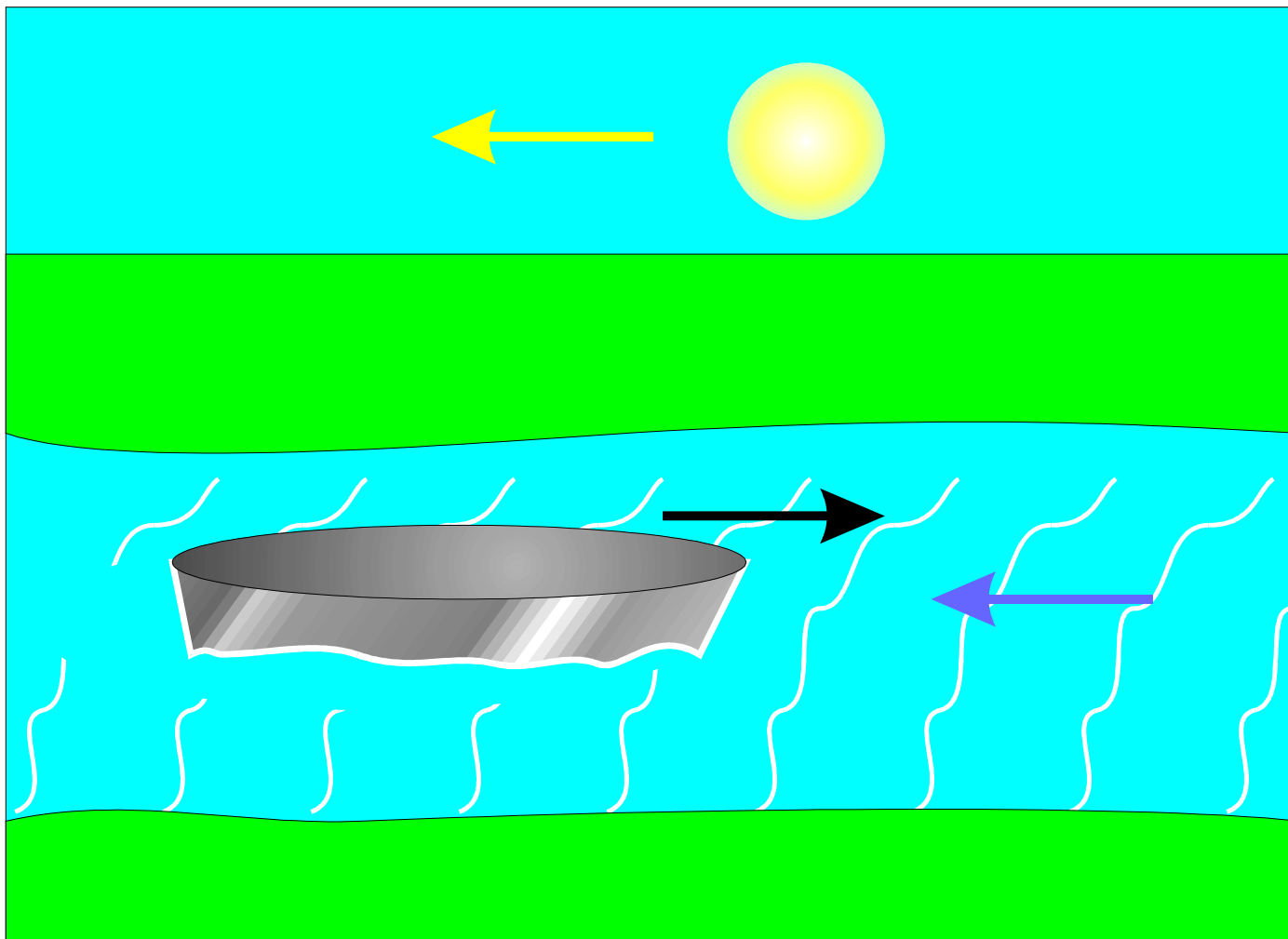
$$h(t) = h_0 - \frac{gt^2}{2}$$

g - przyspieszenie ziemskie
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Trzecia zasada dynamiki Newtona

Akcji towarzyszy reakcja: siła równa co do wartości i przeciwnie skierowana.

Zasada względności Galileusza

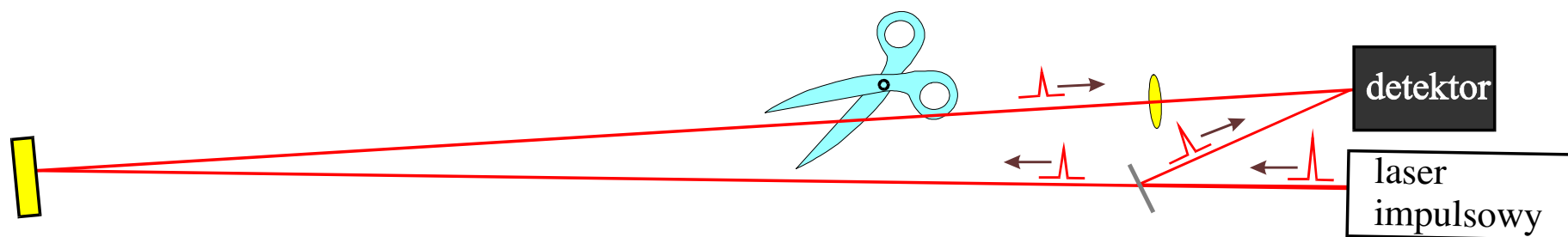


Każdy układ poruszający się ze stałą prędkością jest równoważny.
Wszystkie prawa fizyki w takich układach są identyczne.

Pomiar prędkości światła

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

$$c \approx 300\,000 \text{ km/s} = \mathbf{0,3 \text{ m/ns}}$$



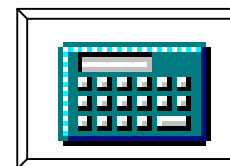
$$1 \text{ Hz} = 1 / 1 \text{ s}$$

$$1 \text{ kHz} = 1 / 1 \text{ ms}$$

$$1 \text{ MHz} = 1 / 1 \text{ }\mu\text{s}$$

$$1 \text{ GHz} = 1 / 1 \text{ ns}$$

$$1 \text{ THz} = 1 / 1 \text{ ps}$$

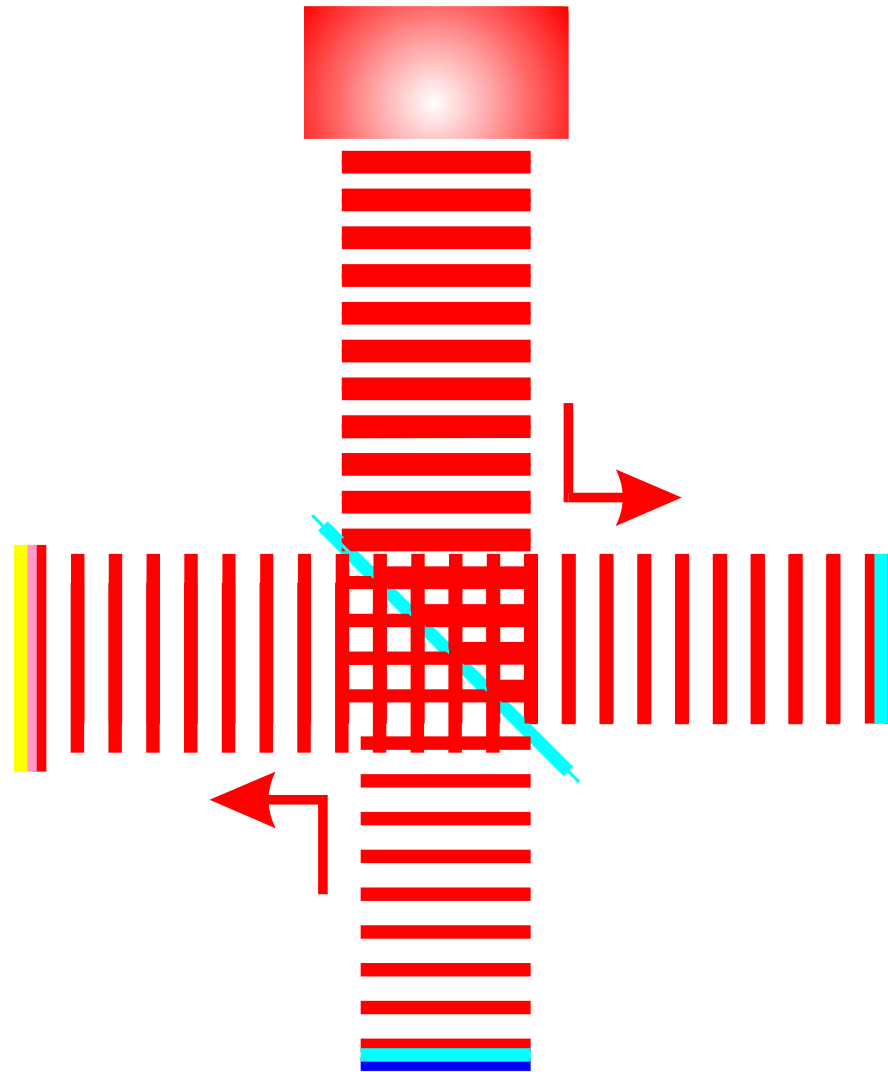


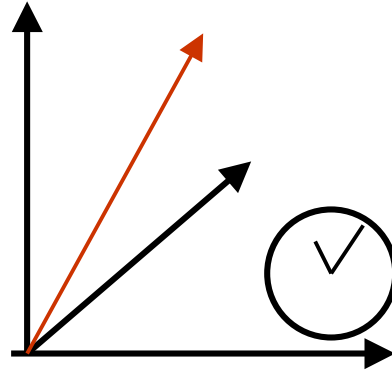
Zasada względności Einsteina

We wszystkich układach poruszających się ze stałą prędkością, prędkość światła jest taka sama.

Aby prędkość światła była stała, czas musi płynąć wolniej, a odległości muszą ulec skróceniu. Oznacza to, że geometria czasoprzestrzeni jest inna, niż nam się wydaje.

Doświadczenie Michelsona-Morleya 1





Aby prędkość światła była stała, czas musi płynąć wolniej, a odległości muszą ulec skróceniu. Oznacza to, że geometria czasoprzestrzeni jest inna niż nam się wydaje.

Elektrony w lampach kineskopowych poruszają się z prędkościami relatywistycznymi.

Z powodu spowolnienia czasu wywołanego prędkością, zegary na satelitach GPS spóźniałyby się o $7 \mu\text{s}$ na dobę. Różnica czasu $1 \mu\text{s}$ daje różnicę położenia 300 m.

Materia

Z czego zbudowany jest świat?

Wielkości niezmiennie - atomy



Zmienia się objętość, ale liczba atomów pozostaje stała.

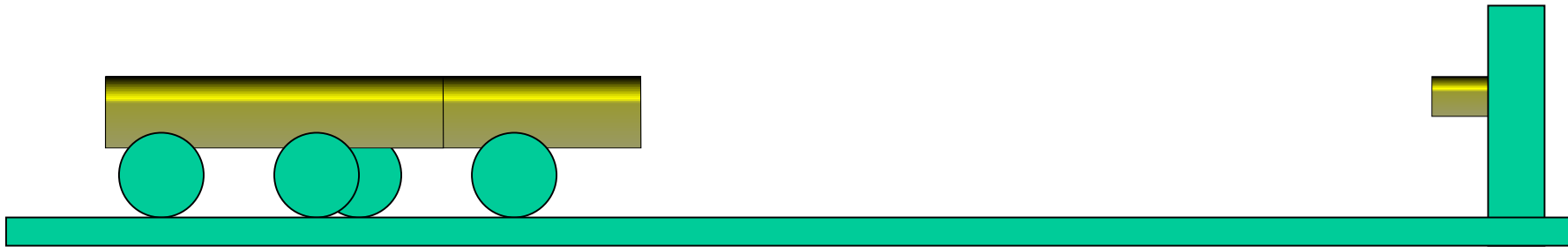
Demokryt z Abdery (460 - 370 p.n.e.)

wszechstronny naukowiec, myśliciel i podróżnik,
uczeń Leucypa znany jako "śmiejący się filozof".

*"Istnieją jedynie atomy i pusta przestrzeń;
cała reszta to tylko poglądy"*

Liczba atomów jest wielkością zachowywaną w przemianach chemicznych. Nie zmienia się też całkowita **masa**.

Dlaczego armata jest odrzucana do tyłu?



Odp. 1. Na skutek trzeciej zasady Newtona: reakcja równa się akcji.

Odp. 2. Jest to konsekwencja zasady zachowania pędu.

Armata ma dużą masę, M , i uzyskuje niewielką prędkość do tyłu, v .

Pocisk ma niewielką masę, m , ale uzyskuje dużą prędkość V .

Doświadczenie (i obliczenia) pokazują, że iloczyn masy i prędkości pozostaje stały: $m*V = -M*v$.

Iloczyn masy i prędkości nazywamy **pędem**:

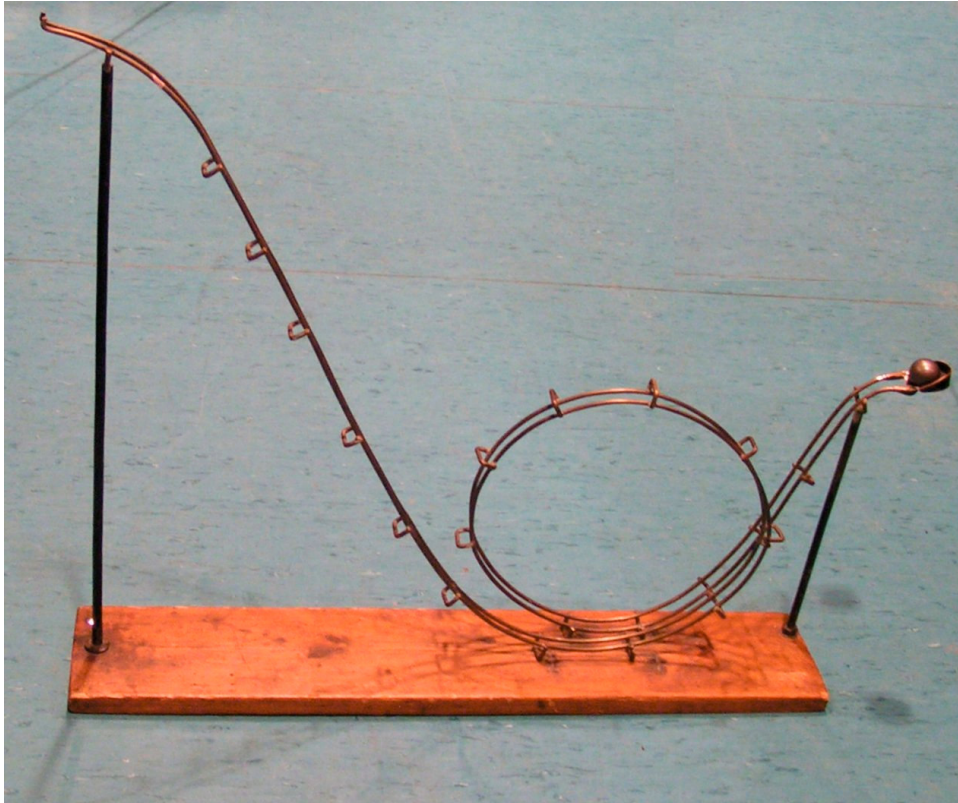
$$\vec{p} = m*\vec{v}$$

Zasada zachowania pędu

Jeżeli suma sił działających na dany układ równa się zero, to pęd układu nie zmienia się.

Jeśli jakieś siły występują, to zawsze możemy znaleźć większy układ obejmujący siłę i reakcję na nią.

Energia



W ruchu: energia kinetyczna:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2.$$

Źródłem energii ruchu jest energia podniesionego ciężaru.

Energia potencjalna:

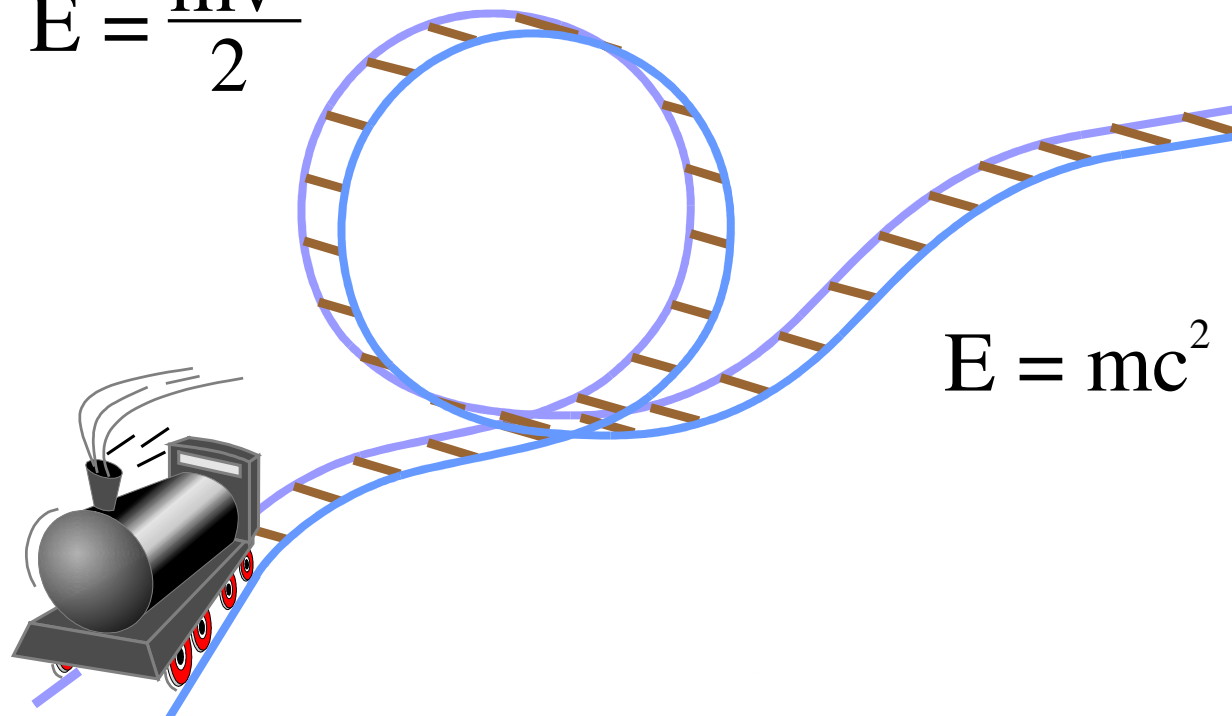
$$E = mgh.$$

$$g = 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\text{N}}{\text{kg}} \right]$$

Zasada zachowania energii

**W układzie odosobnionym
całkowita energia nie zmienia się.**

$$E = \frac{mv^2}{2}$$



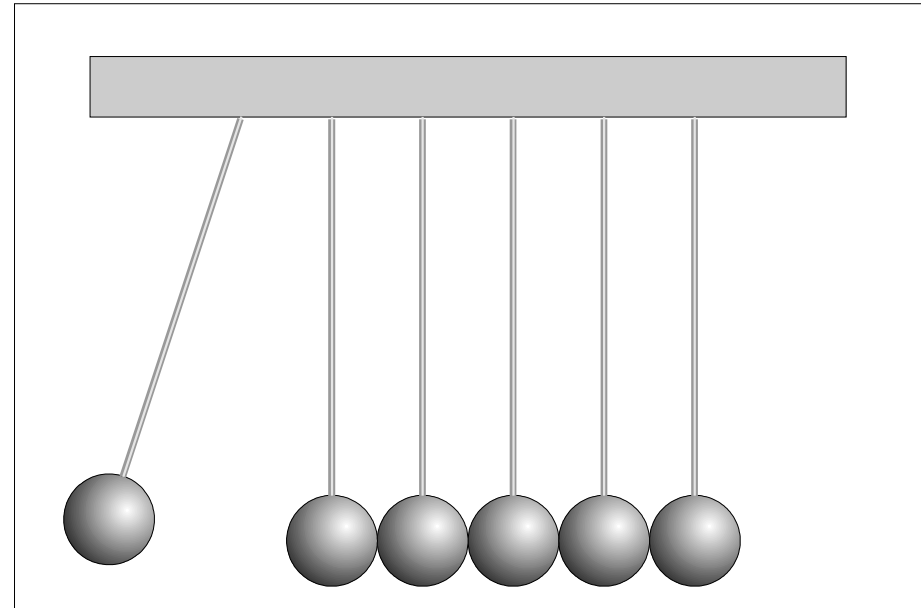
$$E = mc^2$$

Kołyska Newtona

Zasada zachowania pędu:

W układzie zamkniętym, na który nie działają żadne zewnętrzne siły, całkowity pęd pozostaje stały.

$$\Sigma p_i = \Sigma m_i v_i = \text{const}$$



Kołyska Newtona

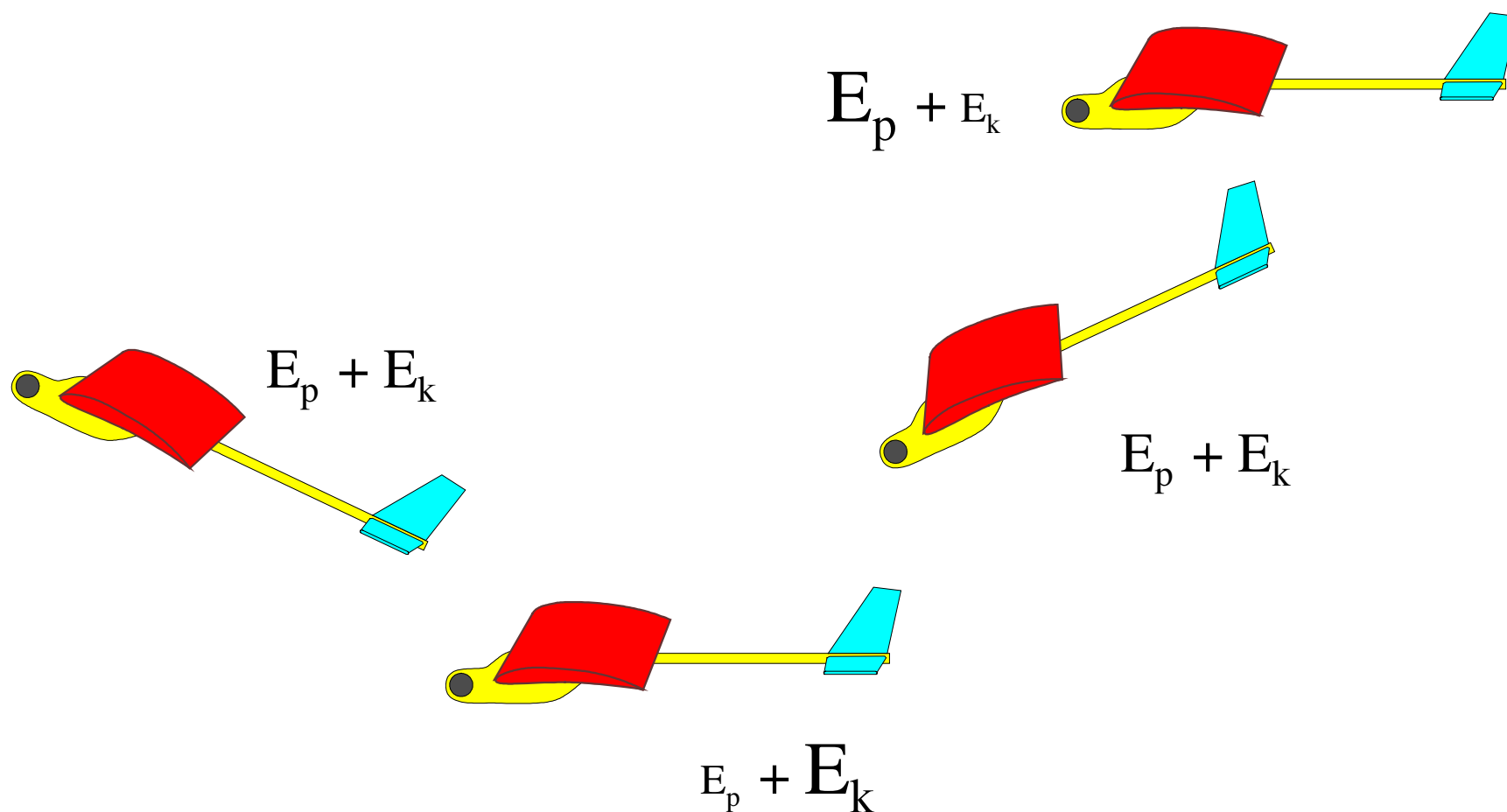
Zasada zachowania energii kinetycznej:

W układzie zamkniętym, na który nie działają żadne zewnętrzne siły, całkowita energia kinetyczna pozostaje stała.

$$\Sigma E_i = \frac{1}{2} \Sigma m_i v_i^2 = \text{const}$$

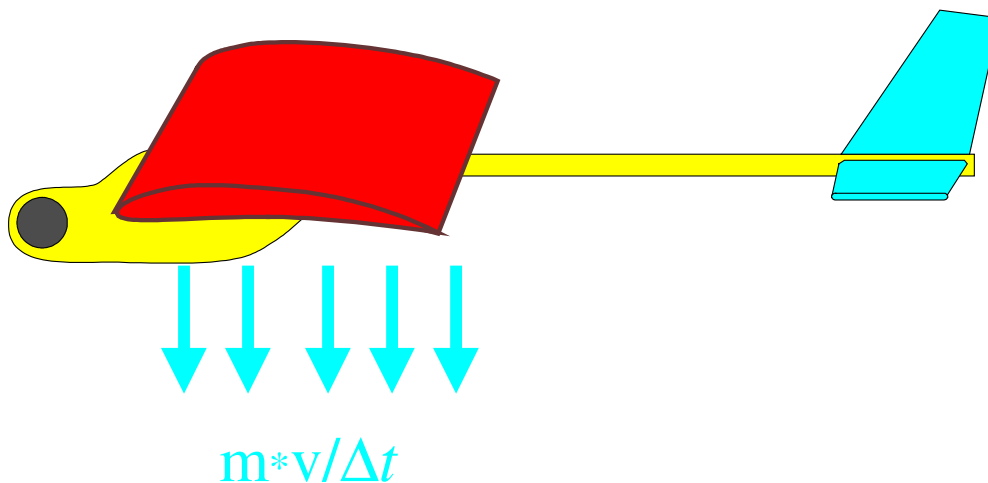
$$v_k = v_0$$
$$m_k = m_0$$

Do utrzymania się w powietrzu
samolot potrzebuje energii



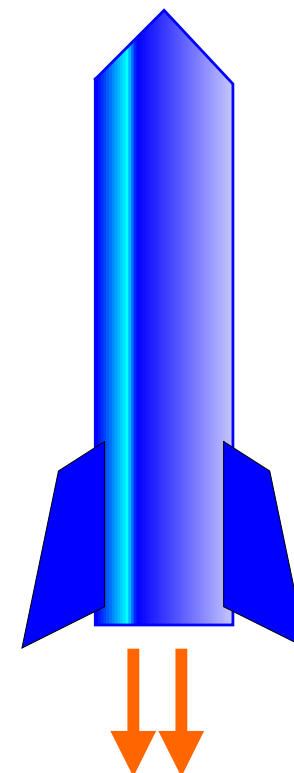
Siła nośna i siła ciągu

Potrzebna jest siła nośna.



Zmiana pędu (popęd) $\Delta p = F \cdot \Delta t$

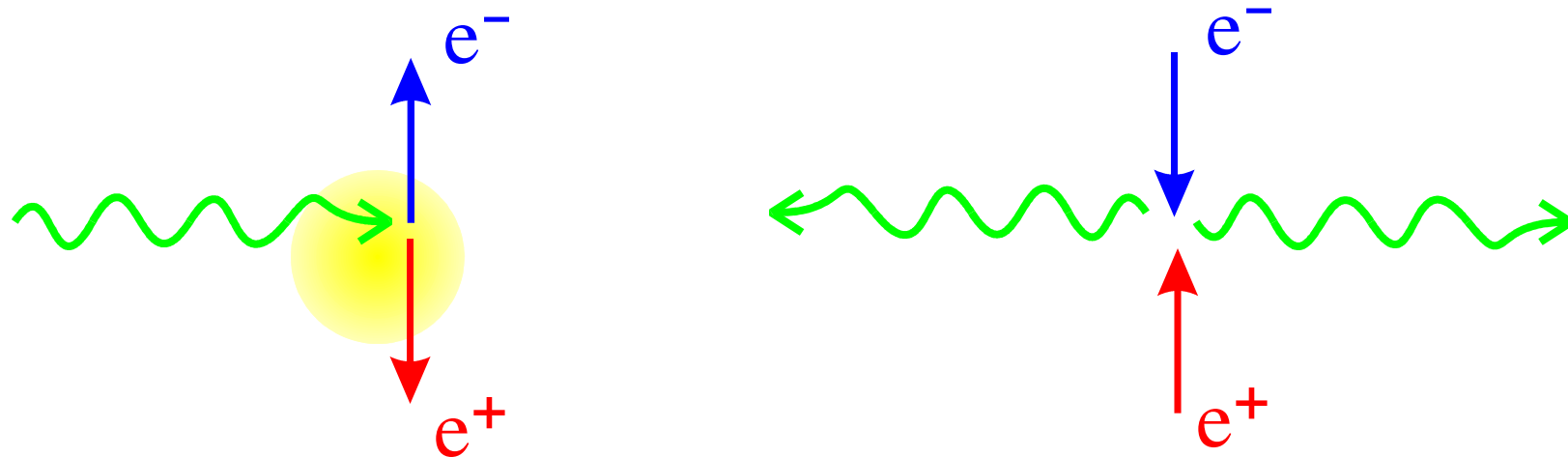
A więc siła to: $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$



Wyrzucając gazy
uzyskujemy siłę
ciągu.

Energia relatywistyczna

$$E = mc^2$$



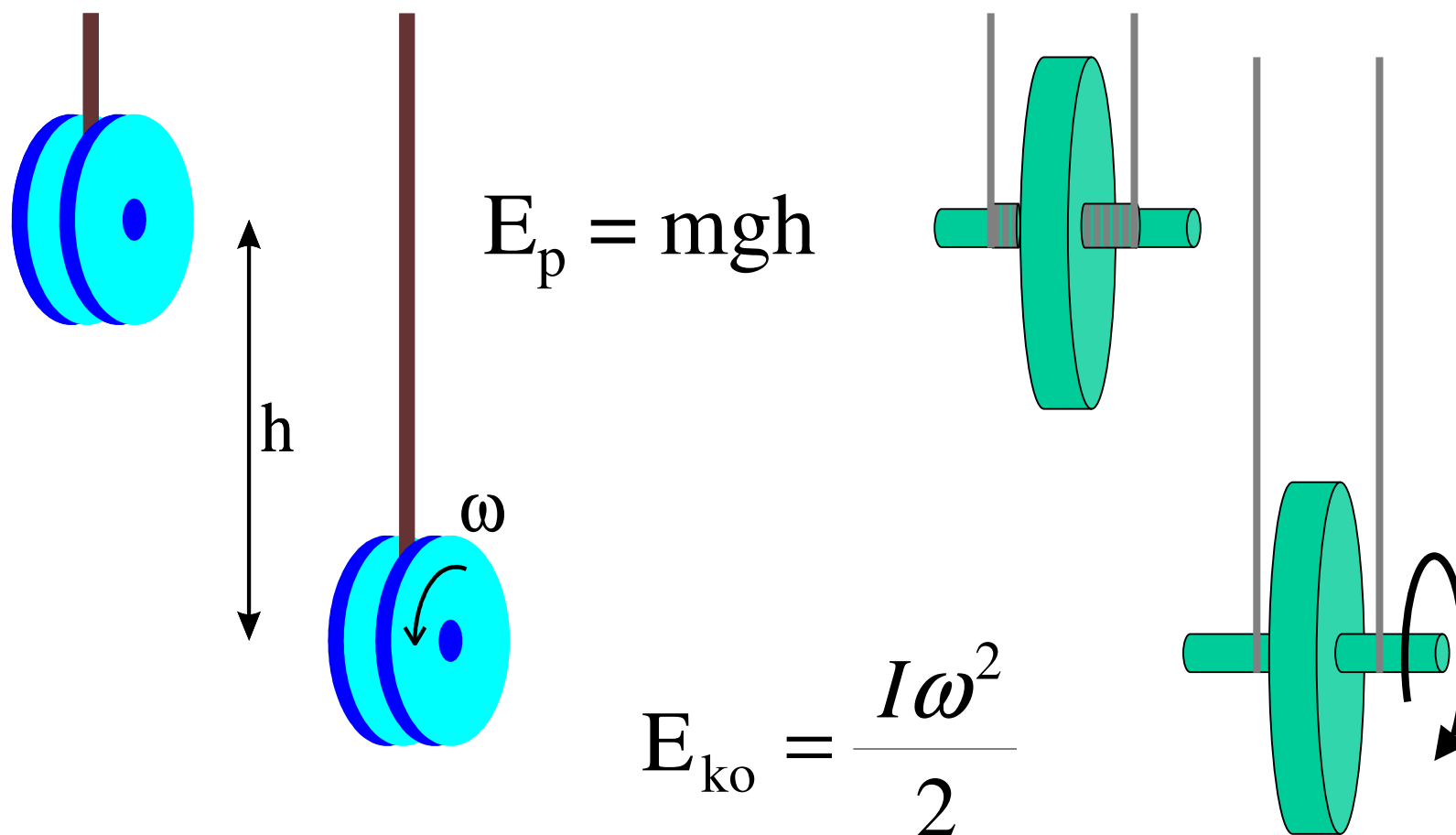
W teorii względności energia jest składową czterowektora pędu.

Położenie w czasoprzestrzeni: (ct, x, y, z) .

Czterowektor energii i pędu: $(E/c, p_x, p_y, p_z)$.

Długość czterowektora jest niezmiennikiem równym masie ciała.

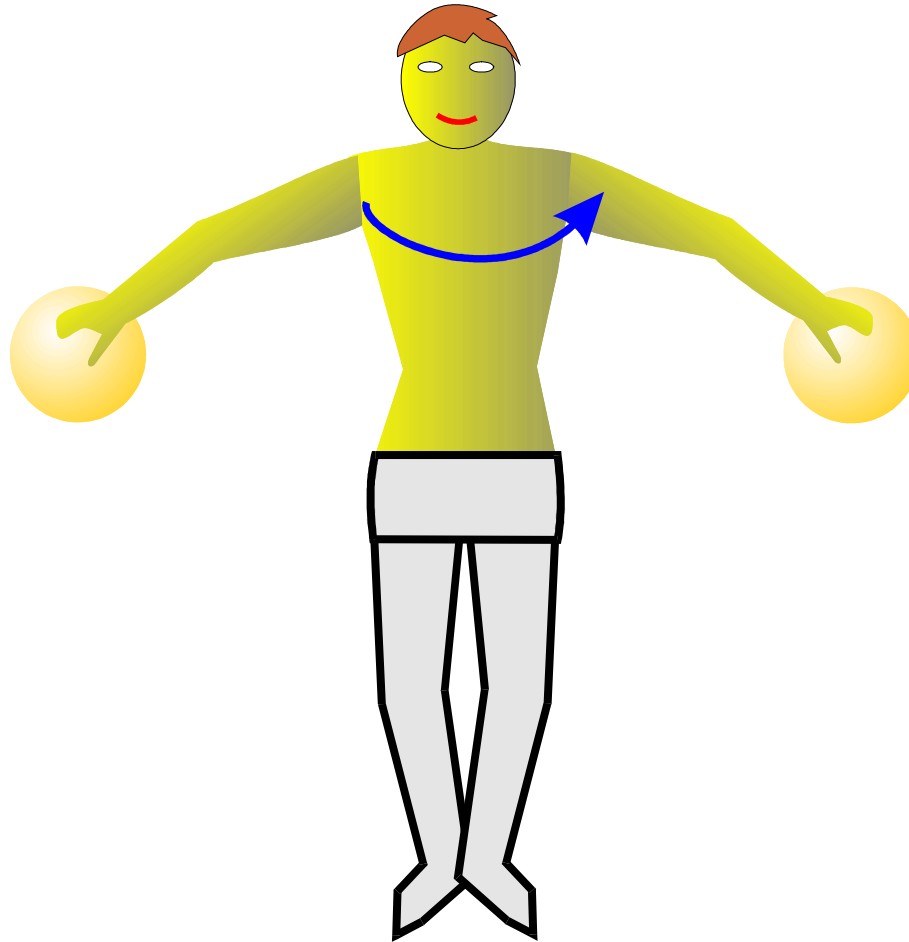
Jojo albo wahadło Maxwella



E_{ko} - energia kinetyczna ruchu obrotowego

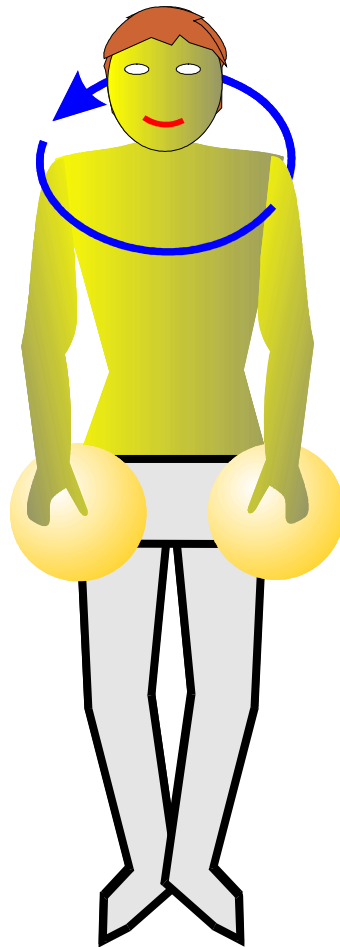
Masę m zastępuje moment bezwładności I , a prędkość v - prędkość kątową ω .

Jak wykonać piruet?



Należy zacząć się lekko obracać z rozłożonymi rękami.

Jak wykonać piruet?



Następnie trzeba szybko ściągnąć ręce.

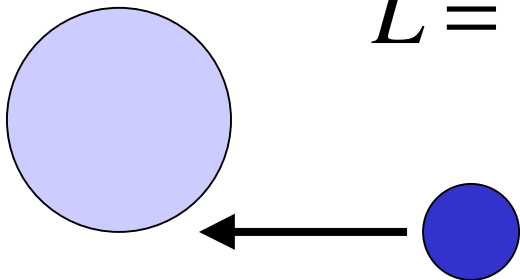
Zasada zachowania momentu pędu:

W układzie zamkniętym, na który nie działają żadne momenty sił (lub suma momentów wynosi zero),
moment pędu jest stały.

$$\vec{L} = mr^2 \vec{\omega} = \text{const},$$

lub

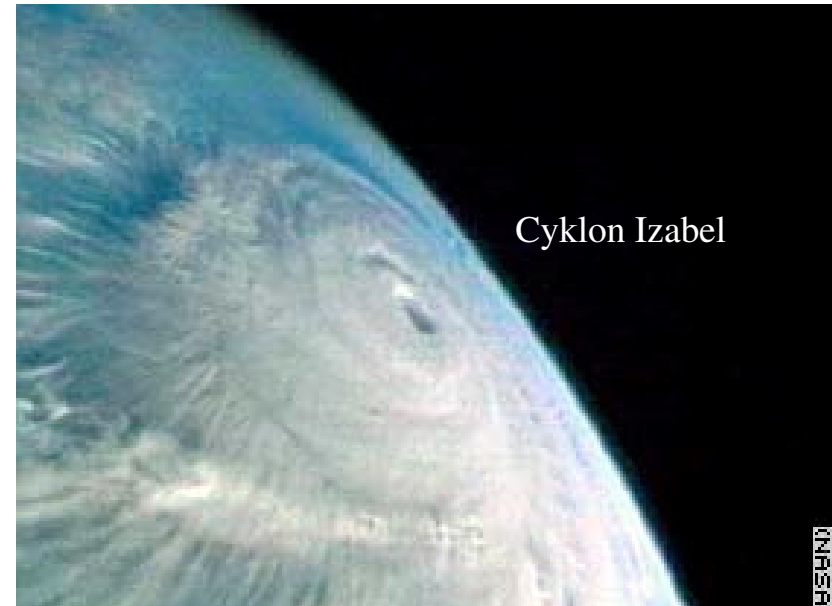
$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \text{const}.$$



Wir w butelce



Jak powstaje ten
charakterystyczny kształt?

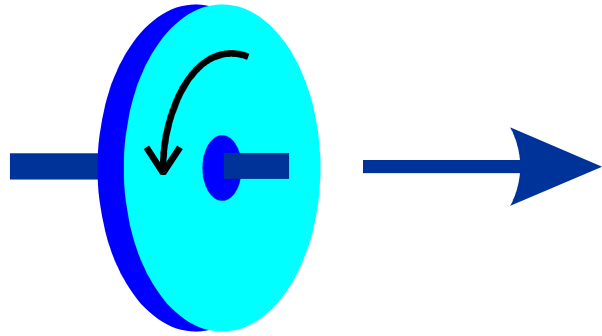


NSSL photo by Steve Tegtmeier



Tornado in Colorado, © public domain

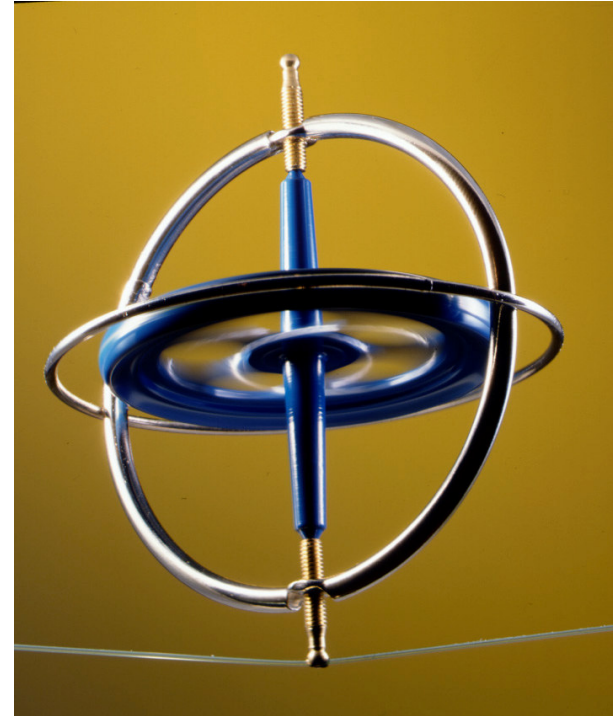
Lewitujące koło rowerowe



$$\vec{L} = \hat{I}\vec{\omega} = \text{const},$$

Moment pędu jest wektorem i zachowuje nie tylko wartość, ale również kierunek.

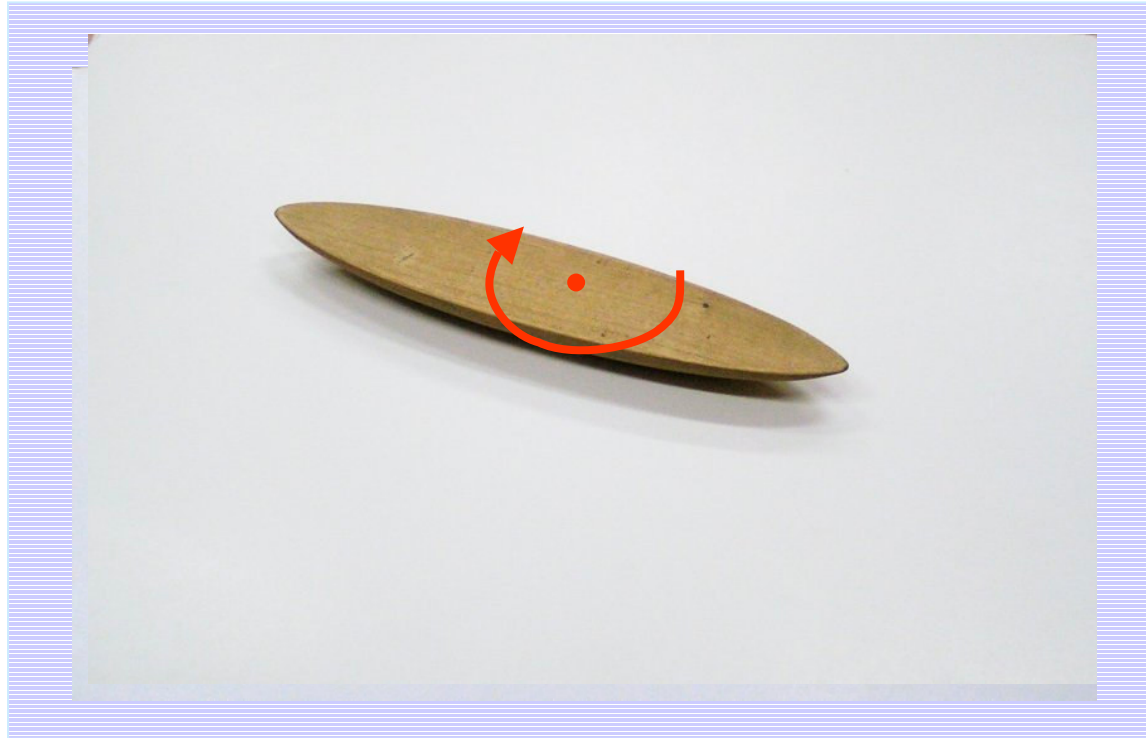
Zasada zachowania momentu pędu przewyższa grawitację.



Żyroskop

Żyroskop utrzymuje kierunek, bo nie może zmienić kierunku swojego momentu pędu.

Kamień celtycki:



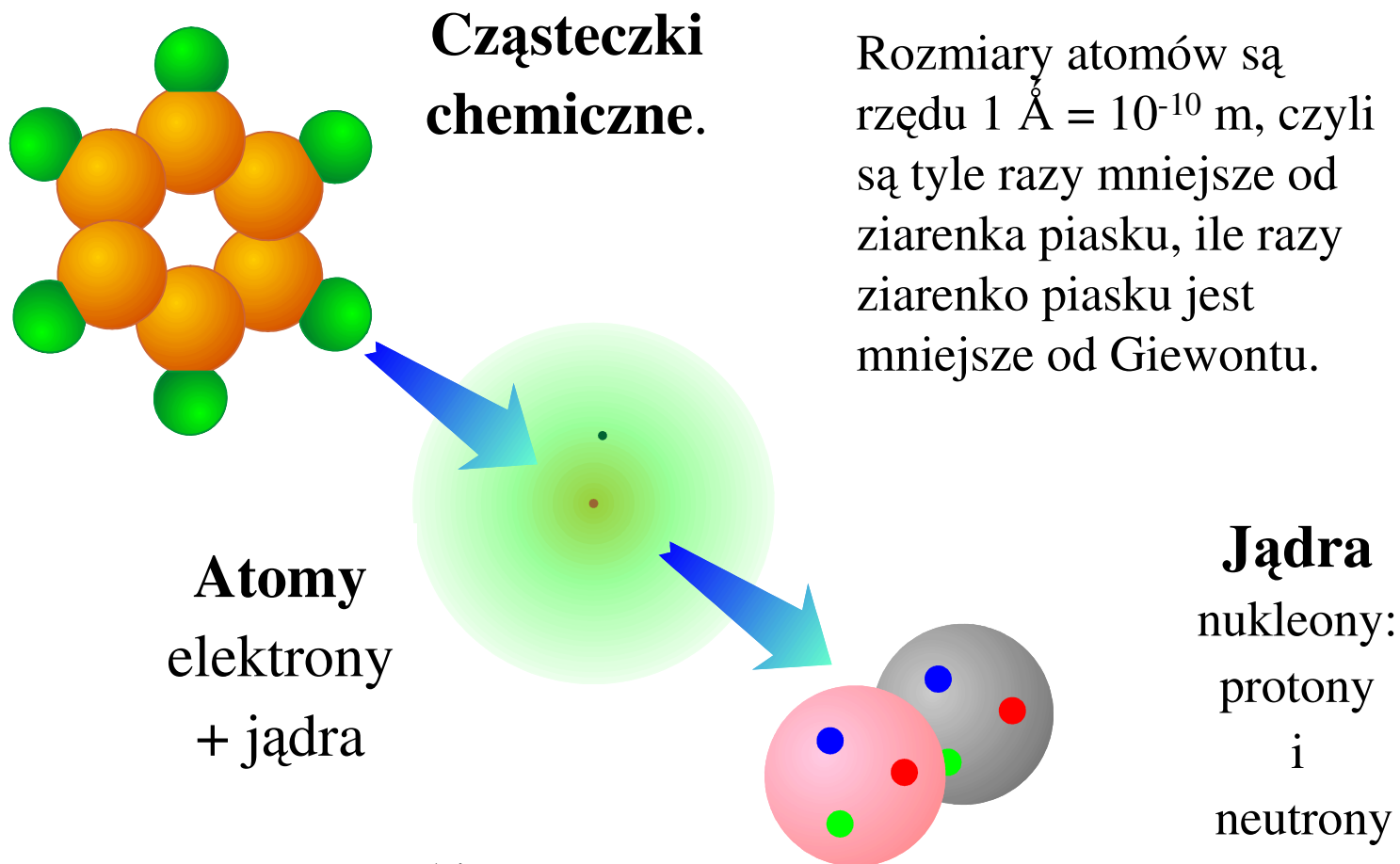
Kamień celtycki działa dzięki przelewaniu się energii ruchu obrotowego w drgający i z powrotem.

Sprężenie zachodzi poprzez tarcie. Moment siły ma odpowiednią zależność od wychylenia dzięki asymetrycznemu rozłożeniu masy w kamieniu.

Wielkości zachowywane

- **Liczba atomów i cząstek**
- **Masa, m** (miara materii, źródło pola grawitacyjnego)
- **Ładunek, spin** (źródło pola elektrycznego i magnetycznego)
- **Pęd ($p = m \cdot v$)**
- **Energia ($E = mgh$, $E_k = mv^2/2$, $E_o = I\omega^2/2$)**
suma energii: potencjalnej, kinetycznej, obrotowej itd.
- **W teorii względności: masy, energia i pęd to to samo**
- **Moment pędu ($L = I\omega$)**

Struktura materii



Elektrony uważane są za cząstki punktowe. Sprawdzono, że są mniejsze niż 10^{-18} m , czyli są co najmniej tyle razy mniejsze od atomu, ile razy atom jest mniejszy od kuli bilardowej.

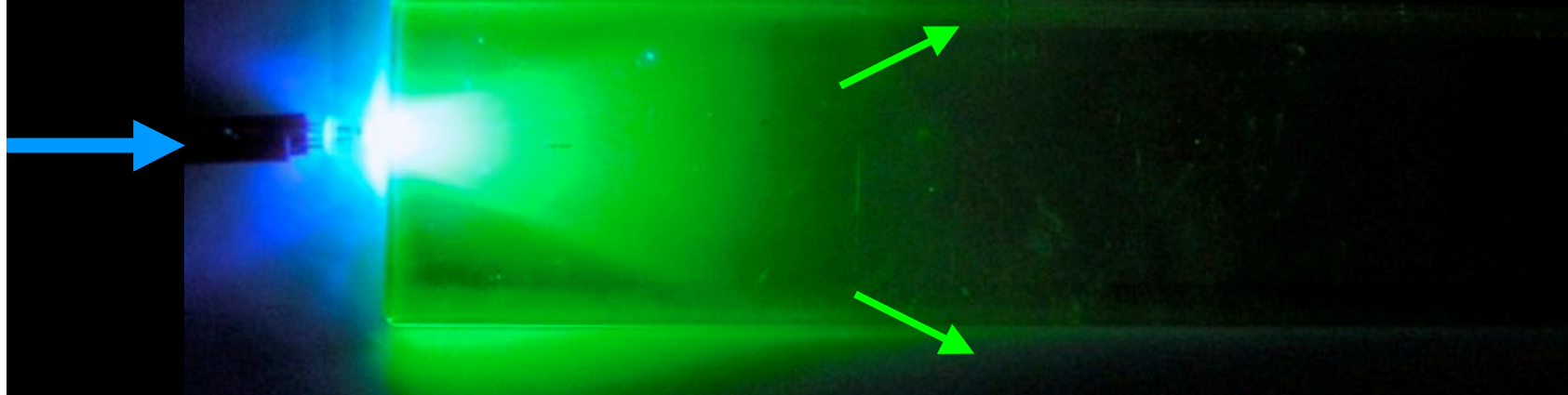
Nukleony
zbudowane są z kwarków.

Składniki materii - dziś

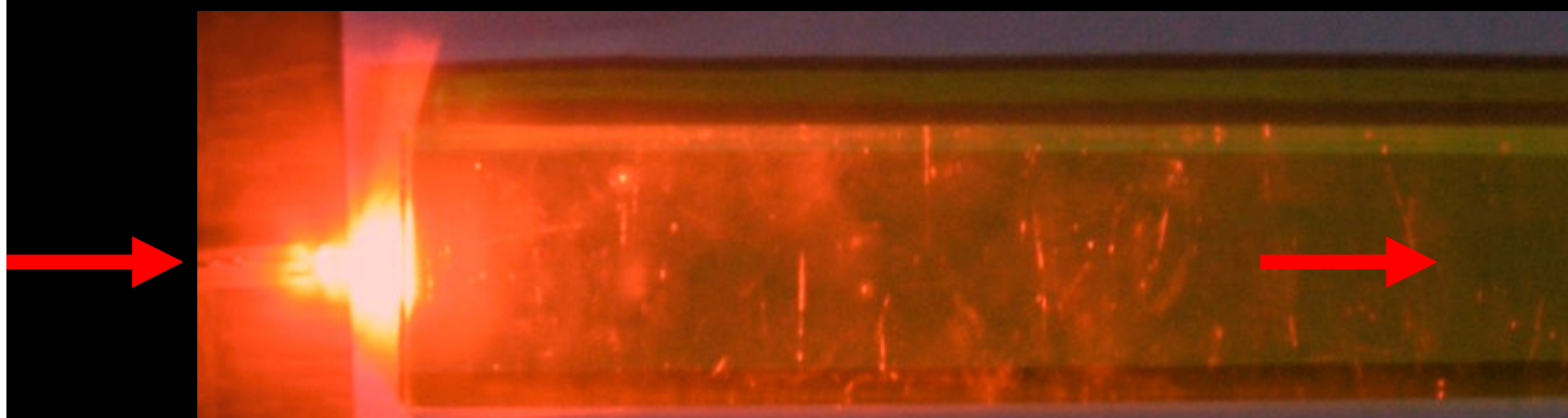
protony, neutrony, elektrony i fotony

f e r m i o n y				i	b o z o n y	
k w a r k i		l e p t o n y				
u	d	e^-	ν_e			γ
up - górny	down - dolny	elektron	neutrino e			foton
c	s	μ^-	ν_μ		g	
charm - powabny	strange - dziwny	mion	neutrino μ		gluony	
t	b	τ^-	ν_τ			W^+, W^-, Z^0
top - wysoki	bottom - niski	taon	neutrino τ			bozony słabe
$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	-1	0			

Luminescencja



Wysokoenergetyczne (niebieskie) fotony mogą pobudzać elektrony na wyższe poziomy. Elektrony rekombinując emitują fotony o niższej energii (zielone). Zjawisko to nazywamy fotoluminescencją.



Światło czerwone przechodzi nie wzbudzając świecenia.

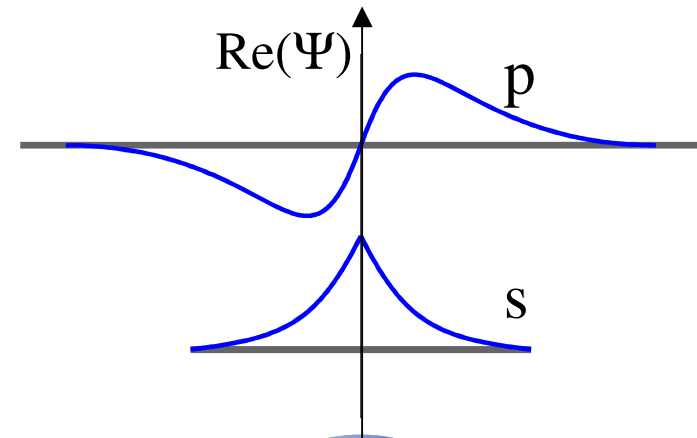
Świecenie atomów



577 i 579 nm	546.07 nm	435.83 nm	404.7 nm	365.02 nm
520 i 518 THz	549 THz	688 THz	741 THz	822 THz

Elektrony w atomach

Fale w atomie są analogiem fal stojących na strunie lub we flecie.



grupy																		O													
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII	VIII	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	0														
S ¹	S ²	(n-1)d ¹⁻¹⁰ ns ¹⁻²										S ² p ¹	S ² p ²	S ² p ³	S ² p ⁴	S ² p ⁵	S ²														
1	2											3	4	5	6	7	8	9	10												
H	He											B	C	N	O	F	Ne														
1	2											3	4	5	6	7	8	9	10												
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar														
3	4											13	14	15	16	17	18														
Na	Mg											K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
11	12											19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr														
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36														
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe														
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54														
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn														
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86														
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	113	114	115	116		118														
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116		118														
lantanowce:																		Ce	Pr	Nb	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
aktynowce:																		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
																		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103