

# Wykłady z Fizyki 15



Zbigniew Osiak

**Stałe  
Uniwersalne  
i Jednostki**

## **ORCID**

Linki do moich publikacji naukowych i popularnonaukowych, e-booków oraz audycji telewizyjnych i radiowych są dostępne w bazie ORCID pod adresem internetowym:

<http://orcid.org/0000-0002-5007-306X>

## **OZNACZENIA**

**B** – notka biograficzna

**C** – ciekawostka

**D** – propozycja wykonania doświadczenia

**H** – informacja dotycząca historii fizyki

**I** – adres strony internetowej

**K** – komentarz

**P** – przykład

**U** – uwaga

**Zbigniew Osiak** (Tekst)

**WYKŁADY Z FIZYKI**  
Stałe Uniwersalne i Jednostki

**Małgorzata Osiak** (Ilustracje)

© Copyright 2013 by  
Zbigniew Osiak (text) and Małgorzata Osiak (illustrations)

Wszelkie prawa zastrzeżone.  
Rozpowszechnianie i kopiowanie całości lub części publikacji  
zabronione bez pisemnej zgody autora tekstu i autorki ilustracji.

Portret autora zamieszczony na okładkach przedniej i tylnej  
Rafał Pudło

Wydawnictwo: Self Publishing

ISBN: 978-83-272-3970-9

e-mail: [zbigniew.osiak@gmail.com](mailto:zbigniew.osiak@gmail.com)

“*Wykłady z Fizyki – Stałe Uniwersalne i Jednostki*” są ostatnim z piętnastu tomów pomocniczych materiałów do jednorocznego kursu fizyki prowadzonego przeze mnie na różnych kierunkach inżynierskich. W ostatnim tomie zostały zebrane stałe uniwersalne i jednostki, które pojawiały się w prezentowanym kursie fizyki.

Uzupełnieniem piętnastego (ostatniego) tomu są eBooki:

Z. Osiak: *Encyklopedia Fizyki*. Self Publishing (2012).

Z. Osiak: *Zadania Problemowe z Fizyki*. Self Publishing (2011).

Z. Osiak: *Angielsko-polski i polsko-angielski słownik terminów fizycznych*. Self Publishing (2011).

Zapis wszystkich trzydziestu wykładów zgrupowanych w piętnastu tomach zostanie zamieszczony w internecie w postaci eBooków.

- 
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Mechanika.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Akustyka.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Hydromechanika.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Grawitacja.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Termodynamika.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Elektryczność.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Magnetyzm.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Elektromagnetyzm.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Optyka.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Kwanty.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Ciało Stałe.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Jądra.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Cząstki Elementarne.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Teoria Względności.*
  - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Stałe Uniwersalne i Jednostki.*

# Stałe uniwersalne i jednostki

**dr Zbigniew Osiak**

- Stałe uniwersalne 09
- Jednostki 34



- Elementarny ładunek elektryczny 11
- Komptonowska długość fali 12
- Liczba Avogadra 13
- Liczba Loschmidta 14
- Magneton Bohra 15
- Masa elektronu 16
- Masa neutronu 17
- Masa protonu 18
- Przenikalność elektryczna próżni 19
- Przenikalność magnetyczna próżni 20
- Stała Boltzmannna 21
- Stała Coulomba 22
- Stała Faradaya 23
- Stała gazowa 24
- Stała grawitacyjna 25
- Stała Plancka 26

- Stała Richardsona 27
- Stała Rydberga 28
- Stała Stefana-Boltzmannna 29
- Stała struktury subtelnej 30
- Stała Wiena 31
- Stałe uniwersalne 32
- Wartość prędkości światła w próżni 33

- Elementarny ładunek elektryczny ( $e$ )  $\Leftrightarrow$  bezwzględna wartość ładunku elektronu. Elementarny ładunek elektryczny jest fundamentalną stałą uniwersalną.

$$e = 1,60217653 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- Komptonowska długość fali ( $\lambda_C$ )  $\Leftrightarrow$  współczynnik proporcjonalności, we wzorze opisującym przyrost długości światła rozproszonego w wyniku zjawiska Comptona, będący kombinacją masy elektronu ( $m_e$ ), stałej Plancka ( $h$ ) oraz wartości prędkości światła w próżni w układzie inercyjnym ( $c$ ).

$$\lambda_C = \frac{h}{m_e c} = 2,426310238 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

**B** Arthur Holly Compton (1892-1962), amerykański fizyk, laureat Nagrody Nobla w 1927.

- Liczba Avogadra ( $N_A$ )  $\Leftrightarrow$  liczba cząsteczek znajdujących się w jednym molu substancji. Liczba Avogadra jest fundamentalną stałą uniwersalną.

$$N_A = 6,0221415 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$

**B** Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro di Quaregna (1776-1856), włoski fizyk i chemik.

- Liczba Loschmidta ( $N_L$ )  $\Leftrightarrow$  liczba cząsteczek gazu doskonałego znajdujących się w jednym metrze sześciennym w warunkach normalnych (273,15 K; 101,325 kPa).

$$N_L = 2,6867773 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

**B** Johann Josef Loschmidt (1821-1895), austriacki chemik.

- Magneton Bohra ( $\mu_B$ )  $\Leftrightarrow$  stała, mająca wymiar momentu magnetycznego, wyrażona przez elementarny ładunek elektryczny ( $e$ ), stałą Plancka ( $h$ ) oraz masę elektronu ( $m_e$ ).

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi m_e} = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9,27400949 \cdot 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

**P** Rzut spinowego momentu magnetycznego elektronu na kierunek wektora ( $\mathbf{B}$ ) pola magnetycznego, w którym znajduje się elektron, może przyjmować tylko wartość  $(+\mu_B)$  lub  $(-\mu_B)$ .

**B** Niels Henrik David Bohr (1885-1962), duński fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1922.

- Masa elektronu ( $m_e$ )

$$m_e = 9,1093826 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

- Masa elektronu jest fundamentalną stałą uniwersalną.



- Masa neutronu ( $m_n$ )

$$m_n = 1,67492728 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

- Masa protonu ( $m_p$ )

$$m_p = 1,67262171 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

- Przenikalność elektryczna próżni ( $\epsilon_0$ )  $\Leftrightarrow$  fundamentalna stała uniwersalna pojawiająca się w równaniach elektrodynamiki, zwana też stałą elektryczną.

$$\epsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

- Przenikalność magnetyczna próżni ( $\mu_0$ )  $\Leftrightarrow$  stała uniwersalna pojawiająca się w równaniach elektrodynamiki, zwana też stałą magnetyczną.

$$\mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c^2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$$

- Stała Boltzmannna ( $k, k_B$ )  $\Leftrightarrow$  fundamentalna stała uniwersalna pojawiająca się w równaniach termodynamiki.

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,3806505 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

- $R$  – stała gazowa
- $N_A$  – liczba Avogadra

**B** Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906), austriacki fizyk teoretyk.

- Stała Coulomba ( $k$ )  $\Leftrightarrow$  współczynnik proporcjonalności w prawie Coulomba. Stała Coulomba pojawia się również w innych równaniach elektrodynamiki.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,9875529 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

**B** Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), francuski fizyk.

- Stała Faradaya (F)  $\Leftrightarrow$  stała pojawiająca się między innymi w drugim prawie elektrolizy Faradaya oraz w definicji potencjału elektrochemicznego.

$$F = N_A e = 9,64853383 \cdot 10^7 \frac{\text{C}}{\text{kmol}}$$

- $e$  – elementarny ładunek elektryczny
- $N_A$  – liczba Avogadra

**B** Michael Faraday (1791-1867), brytyjski fizyk i chemik.

- Stała gazowa (R)  $\Leftrightarrow$  stała w równaniu stanu gazu doskonałego oraz w wielu innych równaniach termodynamiki.

$$R = kN_A = 8,314472 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

- k – stała Boltzmann
- $N_A$  – liczba Avogadra



- Stała grawitacyjna (G)  $\Leftrightarrow$  współczynnik proporcjonalności w prawie powszechnego ciężenia oraz w wielu innych równaniach związanych z oddziaływaniami grawitacyjnymi. Stała grawitacyjna jest fundamentalną stałą uniwersalną.

$$G = 6,6742 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

- Stała Plancka ( $h$ )  $\Leftrightarrow$  fundamentalna stała uniwersalna, występująca w równaniach fizyki kwantowej.

$$h = 6,6260693 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,13566743 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05457168 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 6,58211915 \cdot 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

- Stała ( $\hbar$ ) nazywana jest zredukowaną stałą Plancka lub “ $\hbar$  kreślone”, a jej symbol wprowadził Dirac.

**B** Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), niemiecki fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1918.

**B** Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984), angielski fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1933.

- Stała Richardsona (C)  $\Leftrightarrow$  współczynnik proporcjonalności w prawie Richardsona.

$$C = \frac{4\pi m_e k^2}{h^3} = 1,20173 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^2}$$

- $m_e$  – masa elektronu
- $k$  – stała Boltzmann
- $h$  – stała Plancka

**B** Sir Owen Willans Richardson (1879-1959), angielski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1928.

- Stała Rydberga ( $R_\infty$ )  $\Leftrightarrow$  współczynnik proporcjonalności we wzorze opisującym serie widmowe atomu wodoru, będący kombinacją masy elektronu ( $m_e$ ), elementarnego ładunku elektrycznego ( $e$ ), przenikalności elektrycznej próżni ( $\epsilon_0$ ), stałej Plancka ( $h$ ) oraz wartości prędkości światła w próżni ( $c$ ).

$$R_\infty = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} = 10\,973\,731,568525 \frac{1}{\text{m}}$$

**B** Johannes Robert Rydberg (1854-1919), szwedzki fizyk.

- Stała Stefana-Boltzmannna ( $\sigma$ )  $\Leftrightarrow$  współczynnik proporcjonalności w prawie Stefana-Boltzmannna, będący kombinacją stałej Plancka ( $h$ ), wartości prędkości światła w próżni ( $c$ ) oraz stałej Boltzmannna ( $k$ ).

$$\sigma = \frac{2 \pi^5 k^4}{15 h^3 c^2} = 5,670400 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

**B** Josef Stefan (1835-1893), austriacki fizyk.

**B** Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906), austriacki fizyk teoretyk.

- Stała struktury subtelnej ( $\alpha$ )  $\Leftrightarrow$  bezwymiarowa stała fizyczna wprowadzona przez Sommerfelda, będąca kombinacją elementarnego ładunku elektrycznego ( $e$ ), stałej Plancka ( $h$ ), wartości prędkości światła w próżni ( $c$ ) oraz przenikalności elektrycznej próżni ( $\epsilon_0$ ) lub przenikalności magnetycznej próżni ( $\mu_0$ ).

$$\alpha = \frac{e^2}{2\epsilon_0 hc} = \frac{e^2 c \mu_0}{2h} = 7,297352568 \cdot 10^{-3} \approx \frac{1}{137}$$

**B** Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1868-1951), niemiecki fizyk.

- Stała Wien ( $b$ )  $\Leftrightarrow$  stała występująca w prawie przesunięć Wien.

$$b = \frac{hc}{k} \cdot \frac{1}{4,965114231} = 2,8977685 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

- $h$  – stała Plancka
- $k$  – stała Boltzmann
- $c$  – wartość prędkości światła w próżni

**B** Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien (1864-1928), niemiecki fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1911.

• Stałe uniwersalne  $\Leftrightarrow$  wielkości skalarne, których wartości są stałe w całym wszechświecie. Fundamentalnymi stałymi uniwersalnymi są: stała Plancka, stała grawitacyjna, wartość prędkości światła w próżni, przenikalność elektryczna próżni, elementarny ładunek elektryczny, masa elektronu, stała Boltzmanna oraz liczba Avogadra. Inne znane stałe uniwersalne, jak na przykład komptonowska długość fali, magneton Bohra, przenikalność magnetyczna próżni, stała Coulomba, stała Faradaya, stała gazowa, stała Richardsona, stała Rydberga, stała Stefana-Boltzmanna, stała struktury subtelnej oraz stała Wiena są kombinacjami fundamentalnych stałych uniwersalnych.

**I** Fundamental Physical Constants:

<http://physics.nist.gov/cuu/Constants/>



- Wartość prędkości światła w próżni ( $c$ )  $\Leftrightarrow$  stała wartość prędkości fal elektromagnetycznych rozchodzących się w próżni, niezależna od wyboru inercjalnego układu odniesienia.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 2,99792458 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- $\mu_0$  – przenikalność magnetyczna próżni
- $\epsilon_0$  – przenikalność elektryczna próżni
- Wartość prędkości światła w próżni jest fundamentalną stałą uniwersalną.

**U** Ponieważ nie ma globalnych układów inercjalnych, kwestią otwartą pozostaje ciągle, czy wartość prędkości światła w próżni jest stała względem układów nieinercjalnych.

- Amper 38
- Barn 39
- Bekerel 40
- Bel 41
- Centymetr 42
- Czas Plancka 43
- Deg 44
- Dioptria 45
- Długość Plancka 46
- Dyna 47
- Dzul 48
- Elektronowolt 49
- Erg 50
- Ersted 51
- Farad 52
- Fon 53

- Godzina 54
- Gram 55
- Grej 56
- Henr 57
- Herc 58
- Jednostka masy atomowej 59
- Kaloria 50
- Kandela 61
- Kelwin 62
- Kilogram 63
- Kilowatogodzina 64
- Kiur 65
- Kulomb 66
- Litr 67
- Luks 68
- Lumen 69

- Ładunek Plancka 70
- Masa Plancka 71
- Metr 72
- Minuta 73
- Mol 74
- Niuton 75
- Om 76
- Paskal 77
- Przedrostki jednostek układu SI 78
- Rad 79
- Rok świetlny 80
- Sekunda 81
- Simens 82
- Siwert 83
- Steradian 84
- Temperatura Plancka 85

- Tesla 86
- Tor 87
- Układ jednostek naturalnych 88
- Układ SI 90
- Wat 91
- War 92
- Weber 93
- Wolt 94
- Woltoamper 95
- Analiza jednostek 96

• Amper (A)  $\Leftrightarrow$  jednostka natężenia prądu elektrycznego w układzie SI. Przepływ prądu stałego o natężeniu jednego ampera (1A) przez dwa nieskończenie długie przewody o znikomym małym polu powierzchni kołowego przekroju poprzecznego, znajdujące się w próżni w odległości 1m od siebie, powoduje ich oddziaływanie wzajemne z siłą  $2 \cdot 10^{-7} \cdot N$  na 1m długości przewodu.

**C** Nazwa amper pochodzi od nazwiska Ampère.

**B** André Marie Ampère (1775-1836), francuski fizyk i matematyk.

- Barn (b)  $\Leftrightarrow$  jednostka przekroju czynnego.

$$1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$$

- Bekerel (Bq)  $\Leftrightarrow$  jednostka aktywności źródła w układzie SI. 1 Bq jest aktywnością źródła promieniotwórczego, w którym zachodzi jeden rozpad w ciągu jednej sekundy.

$$1 \text{ Bq} = \frac{1}{1 \text{ s}}$$

**C** Nazwa bekerel pochodzi od nazwiska Becquerel.

**B** Henri Becquerel (1852-1908), francuski chemik i fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1903.



- Bel (B)  $\Leftrightarrow$  jednostka poziomu natężenia dźwięku. Poziom natężenia dźwięku o natężeniu ( $I$ ) wynosi ( $n$ ) beli, gdy

$$\frac{I}{I_0} = 10^n, \quad I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}, \quad [n] = \text{B}$$

**C** Nazwa bel pochodzi od nazwiska Bell.

**B** Alexander Graham Bell (1847-1922), amerykański fizjolog, fizyk i wynalazca pochodzenia szkockiego.

- Centymetr (cm)  $\Leftrightarrow$  jednostka długości.

$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$$

- Czas Plancka ( $t_p$ )  $\Leftrightarrow$  podstawowa jednostka czasu w naturalnym układzie jednostek Plancka.

$$t_p = 5,39121 \cdot 10^{-44} \text{ s}$$

**B** Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), niemiecki fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1918.

- Deg  $\Leftrightarrow$  skrót od angielskiego słowa *degree* (stopień), stosowany dla podkreślenia, że różnica temperatur ( $\Delta T$ ) może być mierzona w skali Kelvina lub Celsjusza.

$$[\Delta T] = \text{deg} = {}^{\circ}\text{C} = \text{K}$$

**B** Anders Celsius (1701-1744), szwedzki astronom.

**B** Sir William Thomson [Lord Kelvin of Largs] (1824-1907), brytyjski fizyk.

- Dioptria ( $\delta$ , D, dpt.)  $\Leftrightarrow$  jednostka zdolności skupiającej układu optycznego. Układ optyczny (soczewka) o ogniskowej 1m posiada zdolność skupiającą  $1\delta$ .

$$1 \delta = \frac{1}{1 \text{ m}}$$

- Długość Plancka ( $l_p$ )  $\Leftrightarrow$  podstawowa jednostka długości w naturalnym układzie jednostek Plancka.

$$l_p = 1,61624 \cdot 10^{-35} \text{ m}$$

**B** Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), niemiecki fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1918.

- Dyna (dyn)  $\Leftrightarrow$  jednostka siły. Siła jednej dyny, działając w kierunku ruchu, nadaje swobodnemu ciału o masie 1g przyspieszenie  $1\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$ .

$$1 \text{ dyn} = \frac{1 \text{ g} \cdot 1 \text{ cm}}{1 \text{ s}^2} = 10^{-5} \text{ N}$$

- Dżul (J)  $\Leftrightarrow$  jednostka pracy, energii i ciepła w układzie SI. Pracę 1J wykonuje siła 1N, działając na ciało w kierunku ruchu i przemieszczając go po torze prostoliniowym na drodze 1m.

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

- C** Nazwa dżul pochodzi od nazwiska Joule.
- B** James Prescott Joule (1818-1889), brytyjski fizyk.



- Elektronowolt (eV)  $\Leftrightarrow$  jednostka pracy, energii i ciepła.
- Elektronowolt jest równy przyrostowi energii kinetycznej elektronu przyspieszanego w polu elektrycznym przez różnicę potencjałów wynoszącą 1 V.

$$1 \text{ eV} = 1,60217653 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- Erg (erg)  $\Leftrightarrow$  jednostka pracy, energii i ciepła. Pracę jednego erga wykonuje siła 1 dyny, działając na ciało w kierunku ruchu i przemieszczając go po torze prostoliniowym na drodze 1 cm.

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn} \cdot 1 \text{ cm} = 10^{-7} \text{ J}$$

- Ersted (Oe)  $\Leftrightarrow$  jednostka natężenia pola magnetycznego.

$$1 \text{ Oe} = \frac{1000}{4\pi} \cdot \frac{\text{A}}{\text{m}} \approx 79,577 \cdot \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

**C** Nazwa ersted pochodzi od nazwiska Oersted.

**B** Hans Christian Oersted (1777-1851), duński fizyk.

- Farad (F)  $\Leftrightarrow$  jednostka pojemności elektrycznej w układzie SI. Pojemność kondensatora wynosi 1F, gdy różnoimienne ładunki zgromadzone na jego okładkach, z których każdy jest równy co do bezwzględnej wartości 1C, powodują powstanie na okładkach różnicy potencjałów 1V.

$$1 \text{ F} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ V}} = \frac{1 \text{ s}^4 \cdot 1 \text{ A}^2}{1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}^2}$$

**C** Nazwa farad pochodzi od nazwiska Faraday.

**B** Michael Faraday (1791-1867), brytyjski fizyk i chemik.

---

- Fon  $\Leftrightarrow$  jednostka głośności dźwięku. Dla danego słuchacza głośność badanego tonu wynosi (n) fonów, jeżeli słyszy on badany ton tak samo głośno, jak ton wzorcowy o częstotliwości 1000 Hz i poziomie natężenia wynoszącym (n) decybeli.

**C** Tylko dla częstotliwości badanego dźwięku równej 1000 Hz skale fonowa i decybelowa są identyczne.

- Godzina (h)  $\Leftrightarrow$  jednostka czasu.

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

- Gram (g)  $\Leftrightarrow$  jednostka masy.

$$1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$$

- Grej (Gy)  $\Leftrightarrow$  jednostka dawki pochłoniętej w układzie SI. 1 Gy jest dawką pochłoniętego przez ośrodek promieniowania jonizującego w ilości 1 J na 1 kg.

$$1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}} = \frac{1 \text{ m}^2}{1 \text{ s}^2}$$

- C** Nazwa grej pochodzi od nazwiska Gray.
- B** Louis Harold Gray (1905-1965), brytyjski fizyk.



- Henr (H)  $\Leftrightarrow$  jednostka indukcyjności w układzie SI. Cewka posiada indukcyjność 1H, gdy jednostajna zmiana natężenia prądu o 1A w czasie 1s powoduje powstanie w cewce siły elektromotorycznej 1V.

$$1 \text{ H} = \frac{1 \text{ V} \cdot 1 \text{ s}}{1 \text{ A}} = \frac{1 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ kg}}{1 \text{ s}^2 \cdot 1 \text{ A}^2}$$

- C** Nazwa henr pochodzi od nazwiska Henry.
- B** Joseph Henry (1797-1878), amerykański fizyk.

- Herc (Hz)  $\Leftrightarrow$  jednostka częstotliwości w układzie SI. Częstotliwość drgań wynosi 1Hz, gdy w czasie 1s wykonywane jest jedno pełne drganie.

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

- C** Nazwa herc pochodzi od nazwiska Hertz.
- B** Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), niemiecki fizyk.

- Jednostka masy atomowej ( $u$ ,  $\text{amu}$ ,  $m_u$ )  $\Leftrightarrow$  jednostka masy równa  $1/12$  masy atomu izotopu węgla  $^{12}\text{C}$ .

$$u = \text{amu} = m_u = 1,66053886 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

- Kaloria (cal)  $\Leftrightarrow$  jednostka ciepła. 1 cal jest ilością ciepła potrzebną do ogrzania 1g wody o 1°C od temperatury 14,5°C do 15,5°C pod ciśnieniem jednej atmosfery.

$$1 \text{ cal} = 4,1855 \text{ J}$$

- Kandela (cd)  $\Leftrightarrow$  jednostka światłości w układzie SI. 1cd jest światłością, jaką ma w danym kierunku źródło emitujące monochromatyczne promieniowanie o częstotliwości  $540 \cdot 10^{12} \cdot \text{Hz}$  i którego natężenie w tym kierunku wynosi  $(1/683) \cdot \text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$ .

---

- Kelwin (K)  $\Leftrightarrow$  jednostka temperatury w układzie SI równa  $1/273,16$  temperatury punktu potrójnego wody.

**C** Nazwa kelwin pochodzi od nazwiska Kelvin.

**B** Sir William Thomson [Lord Kelvin of Largs] (1824-1907), brytyjski fizyk.

- 
- Kilogram (kg)  $\Leftrightarrow$  jednostka masy w układzie SI równa masie międzynarodowego wzorca kilograma.

- Kilowatogodzina (kWh)  $\Leftrightarrow$  jednostka energii. 1kWh jest energią, jaką zużywa w czasie 1h urządzenie elektryczne o mocy 1000W.

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}$$



- Kiur (Ci)  $\Leftrightarrow$  jednostka aktywności źródła promieniotwórczego.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

**C** Nazwa kiur pochodzi od nazwiska Curie.

**B** Pierre Curie (1859-1906), francuski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1903.

**B** Maria Skłodowska-Curie (1867-1934), polsko-francuska chemiczka, laureatka Nagrody Nobla z fizyki w 1903 oraz z chemii w 1911.

- Kulomb (C)  $\Leftrightarrow$  jednostka ładunku elektrycznego w układzie SI. 1C jest ładunkiem, jaki przepływa w czasie 1s przez poprzeczny przekrój przewodnika, w którym płynie prąd stały o natężeniu 1A.

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 6,24150636309402780020 \cdot 10^{18} \text{ e}$$

**C** Nazwa kulomb pochodzi od nazwiska Coulomb.

**B** Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), francuski fizyk.

- Litr (l)  $\Leftrightarrow$  jednostka objętości.

$$1\text{ l} = 10^{-3}\text{ m}^3 = 1\text{ dm}^3$$

- Luks (lx)  $\Leftrightarrow$  jednostka natężenia oświetlenia w układzie SI. 1lx jest równy natężeniu oświetlenia dawanemu przez jednorodny strumień świetlny 1lm padający na powierzchnię 1m<sup>2</sup>.

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} = \frac{1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ sr}}{1 \text{ m}^2}$$

- Lumen (lm)  $\Leftrightarrow$  jednostka strumienia świetlnego w układzie SI. 1lm jest strumieniem świetlnym emitowanym przez punktowe źródło światła o światłości 1cd w kąt bryłowy 1sr.

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ sr}$$

- Ładunek Plancka ( $q_p$ )  $\Leftrightarrow$  podstawowa jednostka ładunku w naturalnym układzie jednostek Plancka.

$$q_p = 1,8755459 \cdot 10^{-18} \text{ C}$$

**B** Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), niemiecki fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1918.

- Masa Plancka ( $m_p$ )  $\Leftrightarrow$  podstawowa jednostka masy w naturalnym układzie jednostek Plancka.

$$m_p = 2,17645 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$$

**B** Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), niemiecki fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1918.

- 
- Metr (m)  $\Leftrightarrow$  jednostka długości w układzie SI. 1m to odległość jaką przebywa w próżni płaska fala elektromagnetyczna w czasie  $(1/299792458) \cdot s$ .



- Minuta (min)  $\Leftrightarrow$  jednostka czasu.

$$1\text{min} = 60\text{ s}$$

- 
- Mol (mol)  $\Leftrightarrow$  jednostka liczności materii (n) w układzie SI. Jeden mol zawiera tyle atomów lub cząsteczek, ile jest atomów w 0,012 kg izotopu węgla  $^{12}\text{C}$ .

$$[n] = \text{mol}$$

- Niuton (N)  $\Leftrightarrow$  jednostka siły w układzie SI. Siła 1N, działając w kierunku ruchu, nadaje swobodnemu ciału o masie 1kg przyspieszenie  $1\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

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

**C** Nazwa niuton pochodzi od nazwiska Newton.

**B** Sir Isaac Newton (1643-1727), angielski fizyk i matematyk.

- Om ( $\Omega$ )  $\Leftrightarrow$  jednostka oporu elektrycznego w układzie SI.  $1\Omega$  jest oporem elektrycznym między dwoma punktami jednorodnego prostoliniowego przewodnika, gdy stałe napięcie  $1\text{V}$ , przyłożone między tymi punktami, powoduje przepływ prądu o natężeniu  $1\text{A}$ .

$$1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}} = \frac{1\text{m}^2 \cdot 1\text{kg}}{1\text{s}^2 \cdot 1\text{A}^2}$$

- C** Nazwa om pochodzi od nazwiska Ohm.
- B** Georg Simon Ohm (1787-1854), niemiecki fizyk.

- Paskal (Pa)  $\Leftrightarrow$  jednostka ciśnienia w układzie SI. 1 Pa jest ciśnieniem wywieranym przez siłę 1 N działającą prostopadle na powierzchnię  $1\text{ m}^2$ .

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

**C** Nazwa paskal pochodzi od nazwiska Pascal.

**B** Blaise Pascal (1623-1662), francuski matematyk i filozof.

- Przedrostki jednostek układu SI

Przedrostek	Skrót	Mnożnik
piko	p	$10^{-12}$
nano	n	$10^{-9}$
mikro	$\mu$	$10^{-6}$
mili	m	$10^{-3}$
centy	c	$10^{-2}$
decy	d	$10^{-1}$
deka	da	10
hekto	h	$10^2$
kilo	k	$10^3$
mega	M	$10^6$
giga	G	$10^9$
tera	T	$10^{12}$

- Rad  $\Leftrightarrow$  jednostka dawki pochłoniętej.

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$$

- Nazwa **rad** pochodzi od pierwszych liter angielskich słów **r**adiation **a**bsorbed **d**ose.

- Rok świetlny (ly)  $\Leftrightarrow$  droga przebyta przez światło w próżni w ciągu średniego roku słonecznego.

$$1 \text{ ly} = 9,460536 \cdot 10^{15} \text{ m}$$



- 
- Sekunda (s)  $\Leftrightarrow$  jednostka czasu w układzie SI. 1 s to przedział czasu równy 9192631770 okresom fali elektromagnetycznej emitowanej przy przejściu między dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego atomu cezu  $^{133}_{55}\text{Cs}$ .

- Simens (S)  $\Leftrightarrow$  jednostka przewodnictwa elektrycznego (konduktancji) w układzie SI.

$$1\text{ S} = \frac{1}{1\ \Omega} = \frac{1\text{ s}^2 \cdot 1\text{ A}^2}{1\text{ m}^2 \cdot 1\text{ kg}}$$

**C** Nazwa simens pochodzi od nazwiska Siemens.

**B** Ernst Werner von Siemens (1816-1892), niemiecki inżynier, przemysłowiec i wynalazca.

- Siwert (Sv)  $\Leftrightarrow$  jednostka równoważnika dawki pochłoniętej w układzie SI.

$$1 \text{ Sv} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}} = \frac{1 \text{ m}^2}{1 \text{ s}^2}$$

**C** Nazwa siwert pochodzi od nazwiska Sievert.

**B** Rolf Maximilian Sievert (1896-1966), szwedzki lekarz i fizyk.

- 
- Steradian (sr)  $\Leftrightarrow$  jednostka kąta bryłowego w układzie SI. 1 sr jest kątem bryłowym o wierzchołku w środku kuli wycinającym z jej powierzchni pole równe kwadratowi promienia.

- Temperatura Plancka ( $T_p$ )  $\Leftrightarrow$  podstawowa jednostka temperatury w naturalnym układzie jednostek Plancka.

$$T_p = 1,416 \cdot 10^{32} \text{ K}$$

**B** Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), niemiecki fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1918.

- Tesla (T)  $\Leftrightarrow$  jednostka indukcji magnetycznej w układzie SI. 1T jest indukcją magnetyczną jednorodnego pola magnetycznego, w którym strumień indukcji magnetycznej 1 Wb przenika przez powierzchnię  $1\text{m}^2$ .

$$1\text{ T} = \frac{1\text{ Wb}}{1\text{ m}^2} = \frac{1\text{ kg}}{1\text{ s}^2 \cdot 1\text{ A}}$$

- W jednorodnym polu magnetycznym o indukcji magnetycznej 1T na ładunek 1C, poruszający się z prędkością  $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , prostopadłą do linii sił, działa siła 1N.

**C** Nazwa tesla pochodzi od nazwiska Tesla.

**B** Nikola Tesla (1856]-1943), chorwacko-amerykański fizyk i wynalazca.

- Tor (Tr)  $\Leftrightarrow$  jednostka ciśnienia.

$$1 \text{ Tr} = 1 \text{ mm Hg} = \frac{101325}{760} \text{ Pa} \approx 133,322 \text{ Pa}$$

**C** Nazwa tor pochodzi od nazwiska Torricelli.

**B** Evangelista Torricelli (1608-1647), włoski matematyk i fizyk.

- Układ jednostek naturalnych  $\Leftrightarrow$  układ jednostek zaproponowanych przez Plancka w 1899, bazujący na założeniu, że wybrane stałe uniwersalne są równe jedności. Są nimi wartość prędkości światła w próżni ( $c$ ), stała grawitacyjna ( $G$ ), zredukowana stała Plancka ( $\hbar$ ), stała Coulomba ( $1/4\pi\epsilon_0$ ) oraz stała Boltzmannna ( $k$ ).

$$c = G = \hbar = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = k = 1$$

- W układzie tym jednostkami podstawowymi są czas Plancka ( $t_p$ ), długość Plancka ( $l_p$ ), masa Plancka ( $m_p$ ), ładunek Plancka ( $q_p$ ) oraz temperatura Plancka ( $T_p$ ).



$$t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 5,39121 \cdot 10^{-44} \text{ s}$$

$$l_p = ct_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1,61624 \cdot 10^{-35} \text{ m}$$

$$m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2,17645 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$$

$$q_p = 2\pi\sqrt{\hbar c \epsilon_0} = 1,8755459 \cdot 10^{-18} \text{ C}$$

$$T_p = \frac{m_p c^2}{k} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G k^2}} = 1,416 \cdot 10^{32} \text{ K}$$

**B** Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), niemiecki fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1918.

**I** Jednostki naturalne: [http://pl.wikipedia.org/wiki/Jednostki\\_naturalne](http://pl.wikipedia.org/wiki/Jednostki_naturalne)

---

- Układ SI  $\Leftrightarrow$  układ jednostek miar oparty na siedmiu jednostkach podstawowych (metr [m], kilogram [kg], sekunda [s], amper [A], kelwin [K], kandela [cd], mol [mol]) oraz dwóch jednostkach uzupełniających (radian [rad], steradian [sr]). Skrót SI pochodzi od francuskiej nazwy *Système International d'Unités*.

**I** The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty:

<http://physics.nist.gov/cuu/>

- Wat (W)  $\Leftrightarrow$  jednostka mocy w układzie SI. Moc wynosi 1W, gdy praca 1J jest wykonywana w czasie 1s.

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

**C** Nazwa wat pochodzi od nazwiska Watt.

**B** James Watt (1736-1819), szkocki matematyk i wynalazca.

- War  $\Leftrightarrow$  jednostka mocy biernej prądu zmiennego.

$$1 \text{ var} = 1 \text{ W}$$

- Weber (Wb)  $\Leftrightarrow$  jednostka strumienia indukcji magnetycznej w układzie SI. 1 Wb jest strumieniem magnetycznym, który przenikając przez obwód składający się z jednego zwoju, wytwarza w nim siłę elektromotoryczną 1 V, gdy jest zmniejszany jednostajnie do zera w czasie 1 s.

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2 = \frac{1 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ kg}}{1 \text{ s}^2 \cdot 1 \text{ A}}$$

- W jednorodnym polu magnetycznym 1 Wb jest strumieniem indukcji magnetycznej o wartości 1 T przenikającym przez płaską powierzchnię  $1 \text{ m}^2$  ustawioną prostopadle do wektora indukcji magnetycznej.

**C** Nazwa weber pochodzi od nazwiska Weber.

**B** Wilhelm Eduard Weber (1804-1891), niemiecki fizyk.

- Wolt (V)  $\Leftrightarrow$  jednostka potencjału elektrycznego, napięcia elektrycznego oraz siły elektromotorycznej w układzie SI. 1 V jest różnicą potencjałów między dwoma punktami przewodnika, w którym płynie prąd stały o natężeniu 1 A, gdy moc ciepła wydzielonego w tym fragmencie przewodnika wynosi 1 W.

$$1 \text{ V} = \frac{1 \text{ W}}{1 \text{ A}} = \frac{1 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ kg}}{1 \text{ s}^3 \cdot 1 \text{ A}}$$

**C** Nazwa wolt pochodzi od nazwiska Volta.

**B** Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827), włoski fizyk.

- Woltoamper (VA)  $\Leftrightarrow$  jednostka mocy pozornej prądu zmiennego.

$$1 \text{ V} \cdot \text{A} = 1 \text{ W}$$

- 
- Analiza jednostek  $\Leftrightarrow$  prosta procedura umożliwiająca wykrycie ewentualnych błędów w równaniach fizyki.
  - Jeżeli jednostki po obu stronach równania są różne, to równanie jest błędne.





# Wykłady z Fizyki 15



Zbigniew Osiak

**Stałe  
Uniwersalne  
i Jednostki**