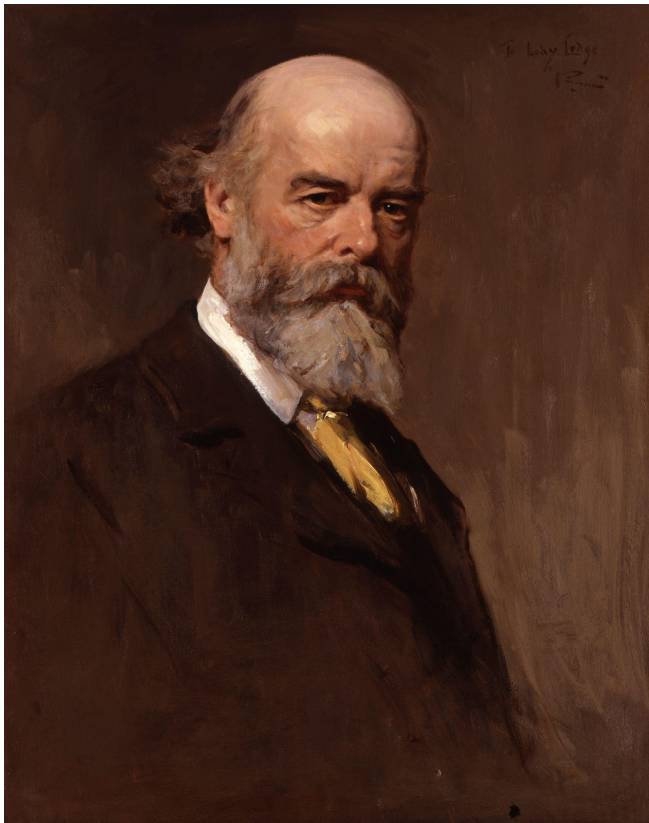


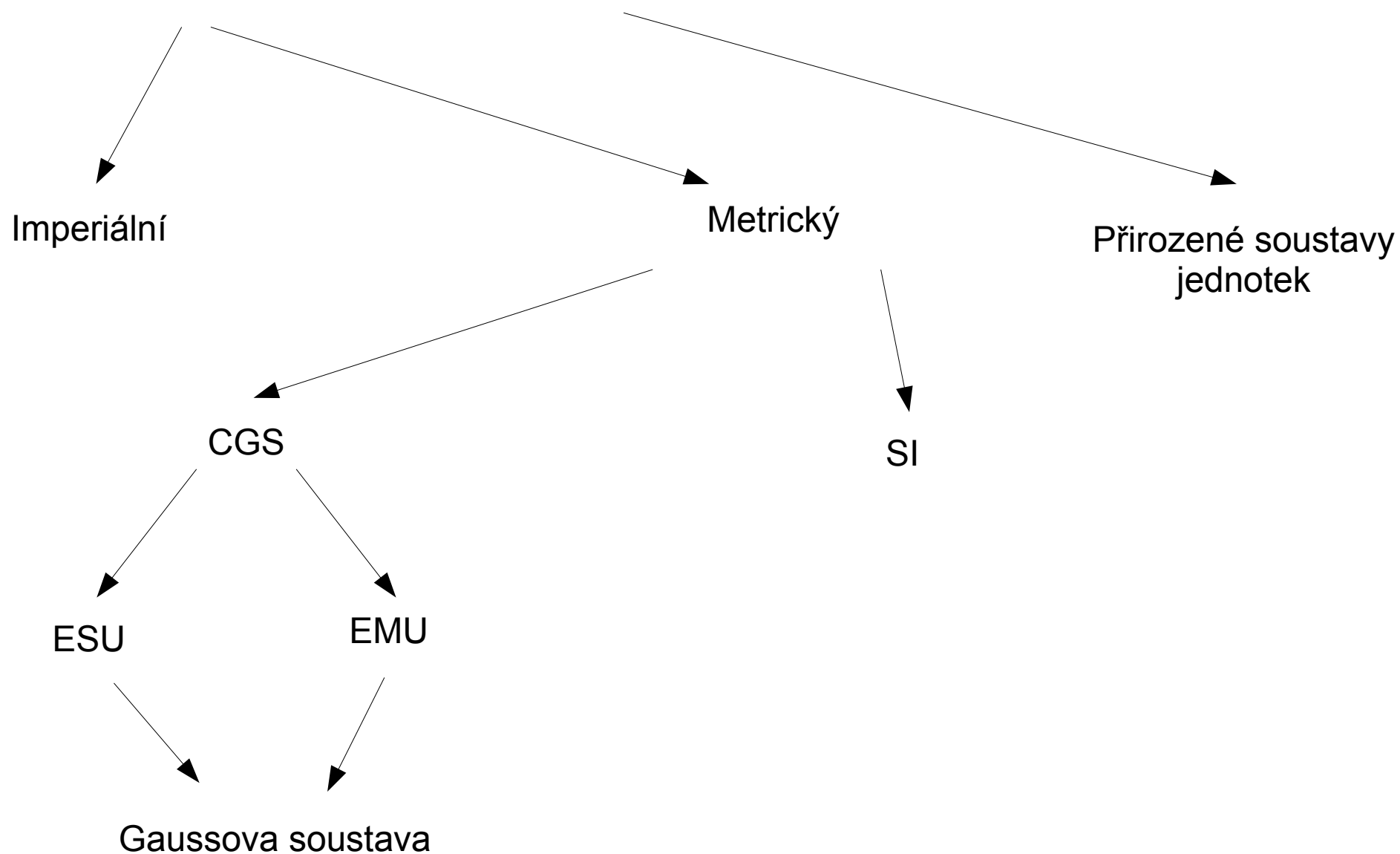
Srovnání systému jednotek



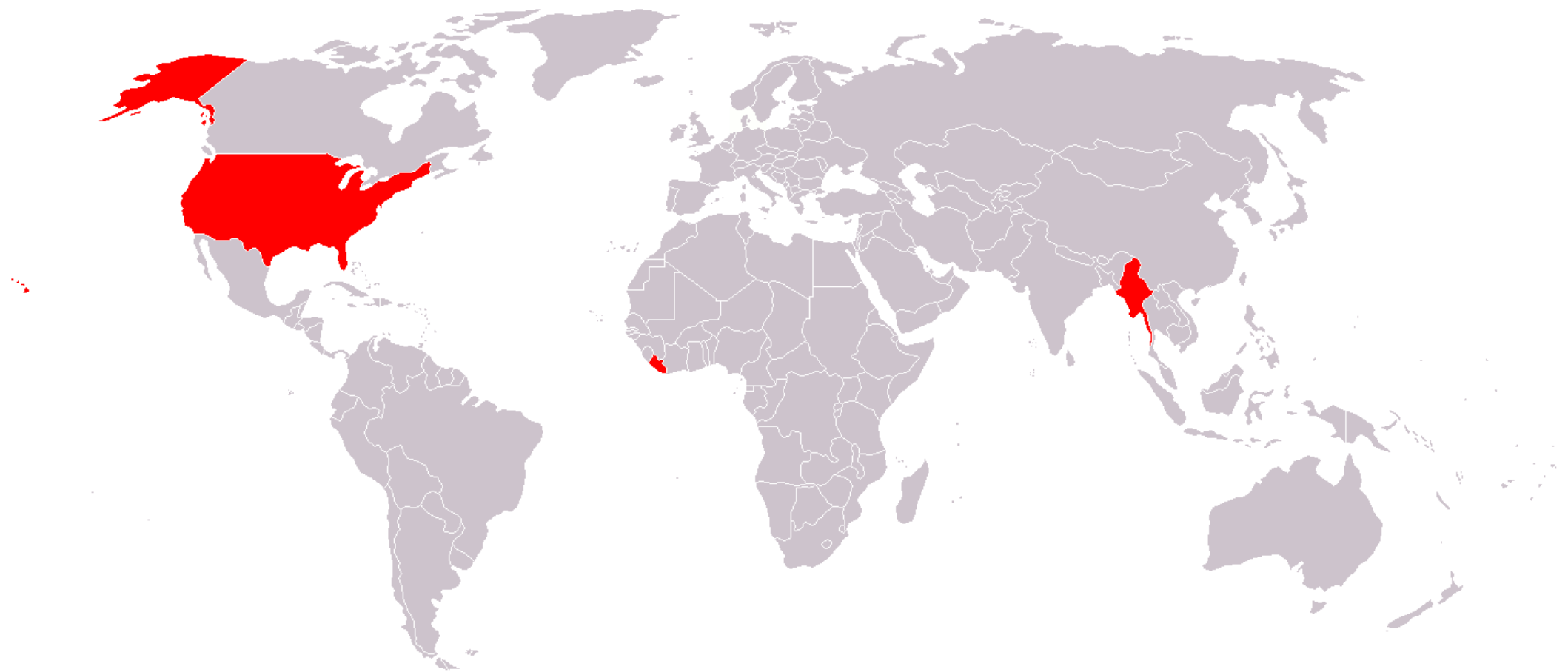
Sir Oliver Lodge (1919)

“Changing the units does not affect the velocity of light. Whether you say light travels at 186,000 miles a second or whether you say it is so many inches an hour makes no difference to the velocity. An algebraic symbol ought to represent the thing itself, not a mere number of units. Altering the numerical specifications — which is what you do by altering units — means no difference to the thing itself.”

Systemy jednotek



Imperiální jednotky



USA, Barma/Myanmar, Libérie

Unit	Relative to previous	Feet	Millimetres	Metres
<i>thou</i> (th)		1/12000	0.0254	0.0000254
<i>inch</i> (in)	1000 thou	1/12	25.4	0.0254
<i>foot</i> (ft)	12 inches	1	304.8	0.3048
<i>yard</i> (yd)	3 feet	3	914.4	0.9144
<i>chain</i> (ch)	22 yards	66	20116.8	20.1168
<i>furlong</i> (fur)	10 chains	660		201.168
<i>mile</i> (mi)	8 furlongs	5,280		1,609.344

Unit	Pounds	grams	kilograms
<i>grain</i> (gr)	1/7000	0.064 798 91	
<i>drachm</i> (dr)	1/256	1.771 845 195 3125	
<i>ounce</i> (oz)	1/16	28.349 523 125	
<i>pound</i> (lb)	1	453.592 37	0.453 592 37
<i>stone</i> (st)	14	6,350.293 18	6.350 293 18
<i>quarter</i> (qtr)	28		12.700 586 36
<i>hundredweight</i> (cwt)	112		50.802 345 44
<i>ton</i> (t)	2240		1,016.046 9088

Metrický systém

1586 - Simon Stevin - De Thiende

“zavedení desítkových hmotností, vah a platidel je pouze otázka času”

1668 - John Wilkins - *An Essay towards a Real Character and a Philosophical Language*

kyvadlo, které mělo periodu 1 sekundu, mělo být základem pro jednotkovou délku

1670 - Gabriel Mouton

zavedení miliard - (minuta oblouku poledníku) po dělení 10 další jednotky (centuria, decuria, virga, virula, decima, centesima a millesima)

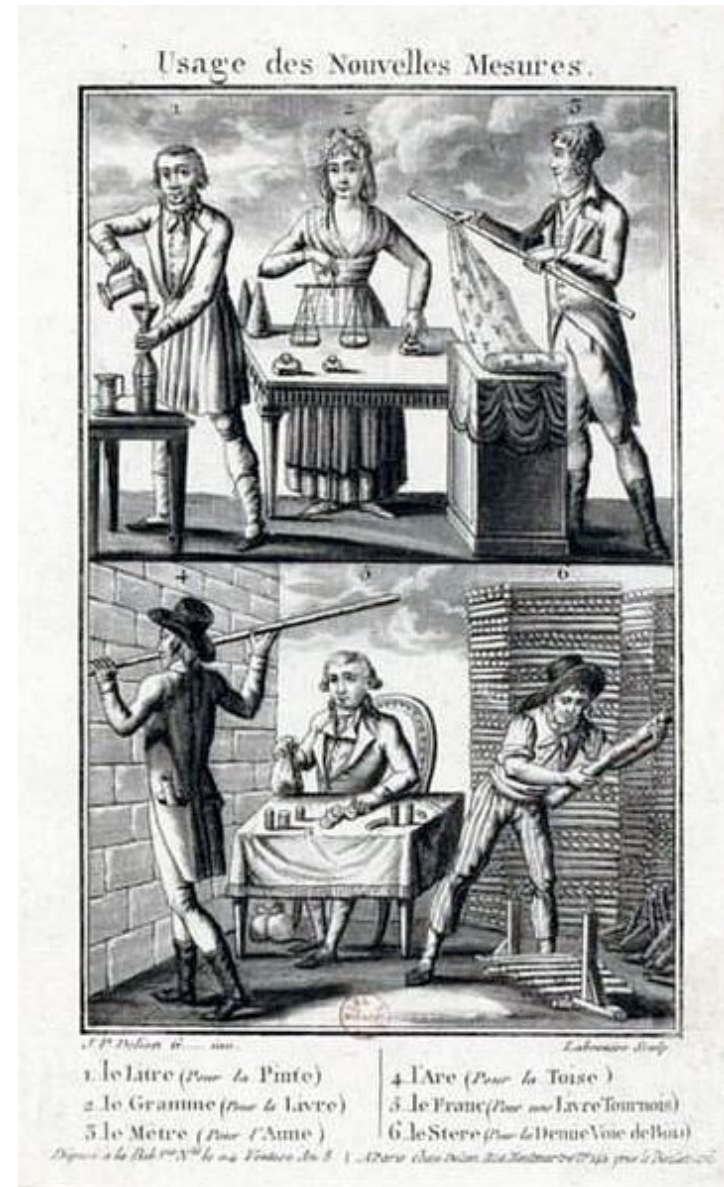
1789 - Francouzská revoluce - “Výbor pro míry a váhy” (Laplace, Legendre, Lavoisier...)

(7. duben 1795) 5 základních jednotek:

mètre, are (100 m²), stère (1 m³), litre (1 dm³), gramme

Pouze několik předpon (milli, myria - desetitisícina)

Francie oficiálně přešla na metrický systém v roce 1799





1875 - 2/3 Evropy používá metrický systém

Ve stejném roce “Convention du Mètre”
MKS systém (metr-kilogram-sekunda)

1893 - definice Ampéru a Ohmu pomocí
MKS.

1901 - Giorgi - MKSC, MKSA systémy

Variants of the metric system

Quantity	CGS	MKS	MTS
distance, displacement, length, height, etc. (d, \mathbf{x}, l, h , etc.)	centimetre (cm)	metre (m)	metre
mass (m)	gram (g)	kilogram (kg)	tonne (t)
time (t)	second (s)	second	second
speed, velocity (v, \mathbf{v})	cm/s	m/s	m/s
acceleration (a)	gal (Gal)	m/s^2	m/s^2
force (F)	dyne (dyn)	newton (N)	sthene (sn)
pressure (P or p)	barye (Ba)	pascal (Pa)	pieze (pz)
energy (E, Q, W)	erg (erg)	joule (J)	kilojoule (kJ)
power (P)	erg/s	watt (W)	kilowatt (kW)
viscosity (μ)	poise (p)	$\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\text{pz}\cdot\text{s}$

SI

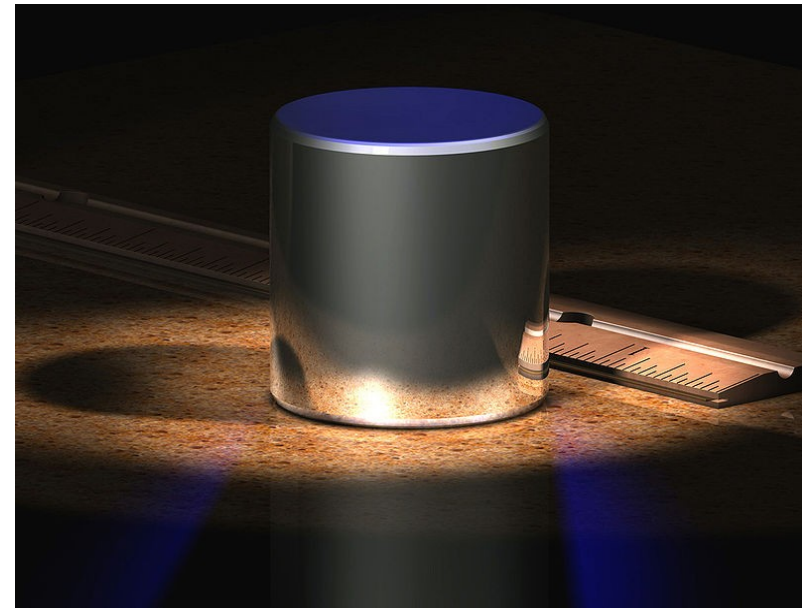
Le Système international d'unités

1954

Veličina	Název jednotky	Značka
<u>délka</u>	metr	m
<u>hmotnost</u>	kilogram	kg
<u>čas</u>	sekunda	s
<u>elektrický proud</u>	ampér	A
<u>termodynamická teplota</u>	kelvin	K
<u>svítivost</u>	kandela	cd
látkové množství	mol	mol

Definice jednotek

- metr - délka, kterou urazí světlo ve vakuu za $1/299\,792\,458$ s
(1793) - 10^{-8} poledníku, který prochází Paříží, Severním pólem a přes rovník
- kilogram - prototyp kilogramu
1793(hmotnost kubického decimetru čisté vody při teplotě tuhnutí)



Definice jednotek

- sekunda - doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu $_{133}\text{Cs}$.

(středověk) - 1/86400 dne

- ampér - Ampér je stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzájemné vzdálenosti 1 metr vyvolá mezi nimi stálou sílu o velikosti $2 \cdot 10^{-7}$ newtonu na 1 metr délky vodiče.

(1881) - 1/10 abA

Definice jednotek

- kelvin - $1/273.16$ trojného bodu vody
- mol - Množství látky, které obsahuje tolik elementárních částic jako 0.012 kg atomu ^{12}C
- kandela - svítivost světelného zdroje, který v daném směru emituje (vyzařuje) monochromatické záření o frekvenci $540 \cdot 10^{12}$ hertzů a jehož zářivost (zářivá intenzita) v tomto směru činí $1/683$ wattů na jeden steradián.

CGS

Quantity	Symbol	CGS unit	CGS unit abbreviation	Definition	Equivalent in SI units
length, position	L, x	centimetre	cm	1/100 of metre	$= 10^{-2}$ m
mass	m	gram	g	1/1000 of kilogram	$= 10^{-3}$ kg
time	t	second	s	1 second	$= 1$ s
velocity	v	centimetre per second	cm/s	cm/s	$= 10^{-2}$ m/s
acceleration	a	gal	Gal	cm/s^2	$= 10^{-2}$ m/s^2
force	F	dyne	dyn	$\text{g}\cdot\text{cm/s}^2$	$= 10^{-5}$ N
energy	E	erg	erg	$\text{g}\cdot\text{cm}^2/\text{s}^2$	$= 10^{-7}$ J
power	P	erg per second	erg/s	$\text{g}\cdot\text{cm}^2/\text{s}^3$	$= 10^{-7}$ W
pressure	p	barye	Ba	$\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}^2)$	$= 10^{-1}$ Pa
dynamic viscosity	μ	poise	P	$\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s})$	$= 10^{-1}$ Pa·s
kinematic viscosity	ν	stokes	St	cm^2/s	$= 10^{-4}$ m^2/s
wavenumber	k	kayser	cm^{-1}	cm^{-1}	$= 100$ m^{-1}

gal - Galileo, dyne - dynamis, erg - ergon (řecky práce), barye - barus (franc. těžký), Poise - fyzik Poiseuille, Stokes - Irský fyzik, Kayser - německý fyzik

ESU

Electrostatic system of units

$$k_c = 1$$

“two equal point charges spaced 1 centimetre apart are said to be of 1 franklin each if the electrostatic force between them is 1 dyne”

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \longrightarrow \quad F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

(SI) (ESU)

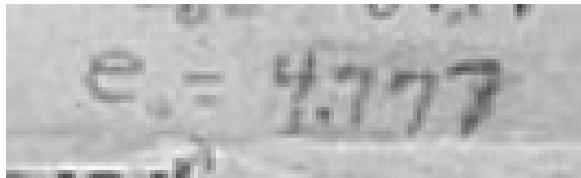
Jednotka náboje:

$$1 \text{ Fr} = 1 \text{ statcoulomb} = 1 \text{ esu charge} = 1 \text{ cm} \sqrt{\text{dyne}} = 1 \text{ g}^{1/2} \cdot \text{cm}^{3/2} \cdot \text{s}^{-1}$$

ESU

Millikanovo měření náboje

$$e = 4.777 * 10^{-10} \text{ esu}$$



- Dnešní hodnota
- $e = 4.803 * 10^{-10} \text{ esu} = 1.602 * 10^{-19} \text{ C}$

EMU

*“The **biot** is that constant current which, if maintained in two straight parallel conductors of infinite length, of negligible circular cross-section, and placed one **centimetre** apart in vacuum, would produce between these conductors a force equal to two **dynes** per **centimetre** of length.”*

$$1 \text{ Bi} = 1 \text{ abampere} = 1 \text{ emu current} = 1 \sqrt{\text{dyne}} = 1 \text{ g}^{1/2} \cdot \text{cm}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}.$$

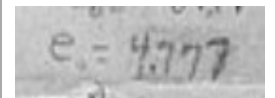
Předpona ab-

ESU + EMU => Gauss

Quantity Name	ESU dimensions			EMU dimensions		
	cm	g	s	cm	g	s
Electric charge	+3/2	+1/2	-1	+1/2	+1/2	+0
Electric potential (voltage)	+1/2	+1/2	-1	+3/2	+1/2	-2
Magnetic flux	+1/2	+1/2	+0	+3/2	+1/2	-1
Current	+3/2	+1/2	-2	+1/2	+1/2	-1
Electric flux density	-1/2	+1/2	-1	-3/2	+1/2	+0
Electric field strength	-1/2	+1/2	-1	+1/2	+1/2	-2
Magnetic flux density	-3/2	+1/2	+0	-1/2	+1/2	-1
Magnetic field strength	+1/2	+1/2	-2	-1/2	+1/2	-1
Capacitance	+1	+0	+0	-1	+0	+2
Inductance	-1	+0	+2	+1	+0	+0
Permittivity	+0	+0	+0	-2	+0	+2
Permeability	-2	+0	+2	+0	+0	+0
Resistance	-1	+0	+1	+1	+0	-1

Konstanty v CGS

Constant	Symbol	Value
Atomic mass unit	u	$1.660\,538\,782 \times 10^{-24} \text{ g}$
Bohr magneton	μ_B	$9.274\,009\,15 \times 10^{-21} \text{ erg/G (EMU, Gaussian)}$
		$2.780\,278\,00 \times 10^{-10} \text{ statA}\cdot\text{cm}^2 \text{ (ESU)}$
Bohr radius	a_0	$5.291\,772\,0859 \times 10^{-9} \text{ cm}$
Boltzmann constant	k	$1.380\,6504 \times 10^{-16} \text{ erg/K}$
Electron mass	m_e	$9.109\,382\,15 \times 10^{-28} \text{ g}$
Elementary charge	e	$4.803\,204\,27 \times 10^{-10} \text{ Fr (ESU, Gaussian)}$
		$1.602\,176\,487 \times 10^{-20} \text{ abC (EMU)}$
Fine-structure constant	$\alpha \approx 1/137$	$7.297\,352\,570 \times 10^{-3}$
Gravitational constant	G	$6.674\,28 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/(\text{g}\cdot\text{s}^2)$
Planck constant	h	$6.626\,068\,85 \times 10^{-27} \text{ erg}\cdot\text{s}$
	\hbar	$1.054\,5716 \times 10^{-27} \text{ erg}\cdot\text{s}$
Speed of light in vacuum	c	$\equiv 2.997\,924\,58 \times 10^{10} \text{ cm/s}$



$e = 4.777$



Quantity	Symbol	SI unit	Gaussian unit
electric charge	q	1 C	$\leftrightarrow (10^{-1} c) \text{ Fr}$
electric current	I	1 A	$\leftrightarrow (10^{-1} c) \text{ Fr/s}$
electric potential voltage	φ V	1 V	$\leftrightarrow (10^8 c^{-1}) \text{ statV}$
electric field	E	1 V/m	$\leftrightarrow (10^6 c^{-1}) \text{ statV/cm}$
magnetic induction	B	1 T	$\leftrightarrow (10^4) \text{ Gs}$
magnetic field strength	H	1 A/m	$\leftrightarrow (4\pi 10^{-3}) \text{ Oe}$
magnetic dipole moment	μ	1 A·m ²	$\leftrightarrow (10^3) \text{ erg/Gs}$
magnetic flux	Φ_m	1 Wb	$\leftrightarrow (10^8) \text{ Gs}\cdot\text{cm}^2$
resistance	R	1 Ω	$\leftrightarrow (10^9 c^{-2}) \text{ s/cm}$
resistivity	ρ	1 $\Omega\cdot\text{m}$	$\leftrightarrow (10^{11} c^{-2}) \text{ s}$
capacitance	C	1 F	$\leftrightarrow (10^{-9} c^2) \text{ cm}$
inductance	L	1 H	$\leftrightarrow (10^9 c^{-2}) \text{ s}^2/\text{cm}$

Quantity	In Gaussian base units	Gaussian unit of measure
E	$\text{cm}^{-1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$	statV/cm
D	$\text{cm}^{-1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$	statC/cm ²
P	$\text{cm}^{-1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$	statC/cm ²
B	$\text{cm}^{-1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$	Gs
H	$\text{cm}^{-1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$	Oe
M	$\text{cm}^{-1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$	Mx/cm ² or emu/cm ³ [8]

SI vs Gauss

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{SI}),$$

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{G}),$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{SI})$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho \quad (\text{CGS}).$$

$$A^\mu = \left(\frac{\phi}{c}, \mathbf{A}\right) \quad (\text{SI})$$

$$A^\mu = (\phi, \mathbf{A}) \quad (\text{CGS})$$

$$F^{\mu\nu} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{(\mathbf{E})^x}{c} & \frac{(\mathbf{E})^y}{c} & \frac{(\mathbf{E})^z}{c} \\ -\frac{(\mathbf{E})^x}{c} & 0 & (\mathbf{B})^z & -(\mathbf{B})^y \\ -\frac{(\mathbf{E})^y}{c} & -(\mathbf{B})^z & 0 & (\mathbf{B})^x \\ -\frac{(\mathbf{E})^z}{c} & (\mathbf{B})^y & -(\mathbf{B})^x & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{SI})$$

$$F^{\mu\nu} = \begin{bmatrix} 0 & (\mathbf{E})^x & (\mathbf{E})^y & (\mathbf{E})^z \\ -(\mathbf{E})^x & 0 & (\mathbf{B})^z & -(\mathbf{B})^y \\ -(\mathbf{E})^y & -(\mathbf{B})^z & 0 & (\mathbf{B})^x \\ -(\mathbf{E})^z & (\mathbf{B})^y & -(\mathbf{B})^x & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{CGS}).$$

Lorentz-Heavisidovy jednotky

$$\vec{E} \rightarrow \frac{\vec{E}}{\sqrt{4\pi}}$$

$$\vec{B} \rightarrow \frac{\vec{B}}{\sqrt{4\pi}}$$

$$\vec{A} \rightarrow \frac{\vec{A}}{\sqrt{4\pi}}$$

$$e \rightarrow e\sqrt{4\pi}$$

(HL)

(G)

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 4\pi\rho \quad (\text{G})$$



$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \rho \quad (\text{HL})$$

V Maxwellových rovnicích zůstává c

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{J}$$

Přirozené soustavy jednotek

Na základě univerzálních fyzikálních konstant.

Konstanta	Symbol	Rozměry	Hodnota v SI
Rychlost světla ve vakuu	c	LT^{-1}	$299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Gravitační konstanta	G	$L^3M^{-1}T^{-2}$	$6,673\,84(80)\cdot 10^{-11}\text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$
Redukovaná Planckova konstanta	\hbar	L^2MT^{-1}	$1,054571726(47)\cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$
Coulombova konstanta	$(4\pi\epsilon_0)^{-1}$	$L^3MT^{-2}Q^{-2}$	$8,987\,742\,438\dots\cdot 10^9\text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$
Boltzmanova konstanta	k_B	$L^2MT^{-2}\theta^{-1}$	$1,380\,6488(13)\cdot 10^{-23}\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$

Stoneyho jednotky 1874

“Nature presents us with three such units: and that if we take these as our fundamental units instead of choosing them arbitrarily, we shall bring our quantitative expressions into a more convenient and doubtless into a more intimate relation with Nature as it actually exists”

$$e = c = G = 4\pi\epsilon_0 = 1$$

Quantity	Expression	Metric value
Length (L)	$l_S = \sqrt{\frac{Ge^2}{c^4(4\pi\epsilon_0)}}$	$1.381 \times 10^{-36} \text{ m}$
Mass (M)	$m_S = \sqrt{\frac{e^2}{G(4\pi\epsilon_0)}}$	$1.859 \times 10^{-9} \text{ kg}$
Time (T)	$t_S = \sqrt{\frac{Ge^2}{c^6(4\pi\epsilon_0)}}$	$4.605 \times 10^{-45} \text{ s}$
Temperature (Θ)	$T_S = \sqrt{\frac{c^4e^2}{G(4\pi\epsilon_0)k_B^2}}$	$1.210 \times 10^{31} \text{ K}$
Electric charge (Q)	$q_S = e$	$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

Planckovy jednotky

$$l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 10^{-35} \text{ m},$$

$$t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \approx 10^{-43} \text{ s},$$

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

$$E_p = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} \approx 10^{19} \text{ GeV}.$$

$$G = \hbar = c = (4\pi\epsilon_0)^{-1} = k = 1$$

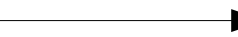
$$\sigma = \frac{\pi^2 k_B^4}{60 \hbar^3 c^2}$$



$$\sigma = \pi^2/60$$

h

$$E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$$



$$E^2 = m^2 + p^2$$

...ihre Bedeutung für alle Zeiten und für alle, auch außerirdische und außermenschliche Kulturen notwendig behalten und welche daher als »natürliche Maßeinheiten« bezeichnet werden können...

...These necessarily retain their meaning for all times and for all civilizations, even extraterrestrial and non-human ones, and can therefore be designated as "natural units"...

Hartreeovy atomové jednotky

$$m_e = e = \hbar = 1/4\pi\epsilon_0 = 1$$

Dimension	Name	Symbol	Expression	Value in SI units
length	Bohr radius	a_0	$4\pi\epsilon_0\hbar^2/(m_e e^2) = \hbar/(m_e c\alpha)$	$5.291\,772\,0859(36) \times 10^{-11} \text{ m}$
energy	Hartree energy	E_h	$m_e e^4 / (4\pi\epsilon_0 \hbar)^2 = \alpha^2 m_e c^2$	$4.359\,744\,17(75) \times 10^{-18} \text{ J}$
time			\hbar/E_h	$2.418\,884\,326\,505(16) \times 10^{-17} \text{ s}$
velocity			$a_0 E_h / \hbar = \alpha c$	$2.187\,691\,2633(73) \times 10^6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
force			E_h/a_0	$8.238\,7225(14) \times 10^{-8} \text{ N}$
temperature			E_h/k_B	$3.157\,7464(55) \times 10^5 \text{ K}$
pressure			E_h/a_0^3	$2.942\,1912(19) \times 10^{13} \text{ Pa}$
electric field			$E_h/(ea_0)$	$5.142\,206\,52(11) \times 10^{11} \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$
electric dipole moment			ea_0	$8.478\,353\,26(19) \times 10^{-30} \text{ C}\cdot\text{m}$

Rydbergovy atomové jednotky

$$2m_e = e^2/2 = \hbar = 1/4\pi\epsilon_0 = 1$$

$$E_{\text{Ryd}} \equiv \frac{e^2}{2a_0} = \frac{me^4}{2\hbar^2} = 1 \approx 2.18 \cdot 10^{-11} \text{ erg} \approx 13.6 \text{ eV}$$

$$a_0 \equiv \frac{\hbar^2}{me^2} = 1 \approx 5.29 \cdot 10^{-9} \text{ cm}$$

Length	ℓ	$1=a_0$	$5.2917725 \cdot 10^{-11} \text{ m} \approx 0.5 \text{ \AA}$
Mass	m	$1=2m_e$	$1.8218779 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$
Time	t	1	$4.8377687 \cdot 10^{-17} \text{ s} \approx 1/20 \text{ fs}$
Frequency	ν	1	$2.0670687 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$
Speed	v	1	$1.0938457 \cdot 10^6 \text{ m/s}$
Momentum	p	1	$1.9928534 \cdot 10^{-24} \text{ kg}\cdot\text{m/s}$
Force	F	1	$4.1193647 \cdot 10^{-8} \text{ N}$
Power	P	1	45.059494 mW
Energy	E	$1=E_{\text{Ryd}}$	$2.1798741 \cdot 10^{-18} \text{ J} \approx 13.6 \text{ eV}$

Výhody a nevýhody přirozených soustav

- + zjednodušené rovnice
- + fyzikální interpretace
- + žádné prototypy
- méně přesné měření
- rozporuplnost

speed	speed of light in vacuum (n.u.)	c
action	Planck constant divided by 2π (n.u.)	\hbar
mass	electron rest mass (n.u. and a.u.)	m_e
electric charge	elementary charge (a.u.)	e
length	Bohr radius (a.u.)	a_0
energy	Hartree energy (a.u.)	E_h
time	ratio of action to energy (a.u.)	\hbar / E_h