

# **Obecná chemie C1020**

**Jiří Pinkas**

**Ústav chemie – Univerzitní kampus Bohunice**

**Budova A12, 2. patro, místnost 224**

**Tel. 54949 6493**

**[jpinkas@chemi.muni.cz](mailto:jpinkas@chemi.muni.cz)**

# **Obecná chemie C1020**

**Přednáška - A11/132**

- **Út 12 - 14.00**
- **Čt 10 - 12.00**

**Odpadne 4.10. a 17.11., poslední Po 19.12.**

**Materiály z přednášky budou vystaveny v ISu**

**Řešené úlohy**

**Zkouška písemná - leden a únor 2017**

**Každý týden jeden zk. termín**

**Nebudou předtermíny**

**Seminář C1040 - Test 0 (0 - 100 %)**

**Konzultace: Pátek od 13 - 14.00 v A12/311 (od 14.10.)** <sup>2</sup>

# Obecná chemie C1020

Příhoda - Toužín. *Pomůcka pro seminář z obecné chemie.*

Brno : Masarykova univerzita, 2012.

**KUK** – 225 ks a v ISu jako pdf

Klikorka - Hájek - Votinský. *Obecná a anorganická chemie 1989 a. 2. nezměn. vyd. Praha : SNTL*

Hála. *Pomůcka ke studiu obecné chemie.*

Brno : Masarykova univerzita, 1993.

Růžička - Toužín. *Problémy a příklady z obecné chemie.*

*Názvosloví anorganických sloučenin*

Brno : Masarykova univerzita, 2000 - 2010.

# Obecná chemie C1020

**KUK**

Zumdahl, Steven S. - Zumdahl, Susan A.

**Chemistry**

Hill, John W.

**General Chemistry**

Bruce E. Bursten, Catherine Murphy, H. Eugene H. LeMay,  
H. Eugene Lemay Jr., Patrick Woodward, Theodore E.

Brown, Theodore L. Brown,

**Chemistry The Central Science**

# Počátky chemie

## První písemná zmínka o chemii

Mezopotámie 1200 př. n. l.

**Tapputi-Belatekallim** - výrobkyně parfémů



# Věda a výzkum

**Technologie** – aplikace znalostí k přeměně okolí, výrobky k prodeji a použití

**Aplikovaný výzkum** – krátkodobý, používá poznatky základního výzkumu, praktické aplikace

**Základní výzkum** – dlouhodobý, cílem nejsou aplikace ale objevování nových přírodních zákonů a získávání nových poznatků a principů – výzkumné skupiny Ústavu chemie, biochemie, RECETOX, NCBR a CEITEC

## Věda a vědecká metoda

**Věda** – Kvantitativní studium přírody a přírodních zákonů.  
Proces, při kterém se získávají nové poznatky a formulují zákony popisující přírodní jevy.

**Empirické** postupy řešení problému - pokusy a pozorování.

Zabývá se pouze **racionálními** výroky, které lze potvrdit nebo vyvrátit pozorováním nebo experimenty.



Sir Francis Bacon  
(1561-1626)

*Zakladatel  
empirismu*



# Věda

- Systematizovaný soubor **znalostí, vědomostí a zobecnění**, které jsou považovány za pravdivé
- Vědecká metoda, jíž jsou tyto znalosti získávány - **pozorování, pokus, dedukce** – vedoucí k objektivním zákonům
- Vědecký jazyk - přesně definované **pojmy**

**1605 - Francis Bacon**

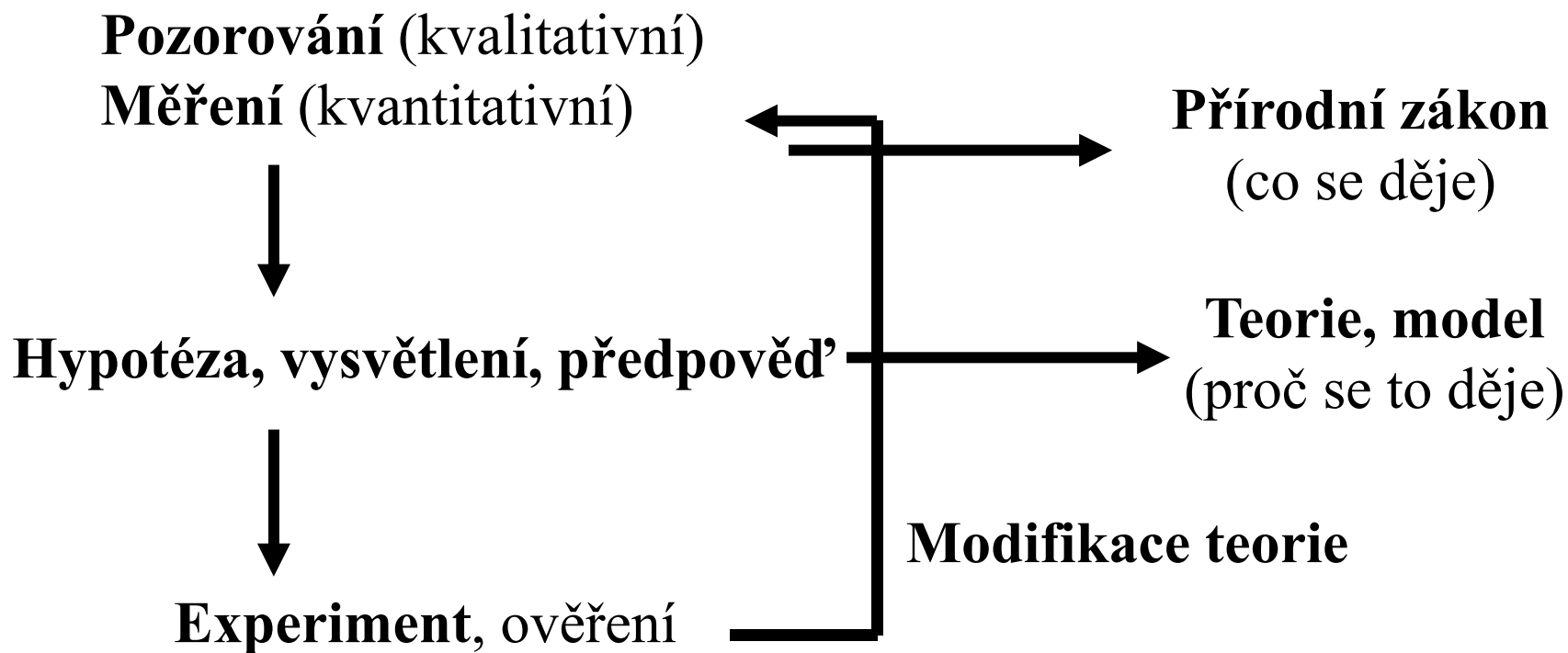
**The Proficiency and Advancement of Learning**

**Formulace vědecké metody**





# Věda a vědecká metoda



Správně navržený pokus (např. měřit jednu proměnnou, ostatní konstantní) potvrdí nebo vyvrátí pravdivost hypotézy. Hypotéza, která neobstojí musí být odmítnuta. Pokusy potvrzující hypotézu musí být reprodukovatelné.

## **Pozorování a vysvětlení**

První vysvětlení přírodního jevu – **hypotéza úspěšně testovaná vyplněnou předpovědí:**

**Tháles Milétský** (624 - 543 př. n. l.)

**Vysvětlil** zatmění Slunce – měsíc v novu přejde přes sluneční kotouč

**Předpověď** dalšího zatmění Slunce 585 př. n. l.  
(21.8.2017 USA)

Počátek vědeckého myšlení, racionální přístup bez mystiky a náboženských představ

**Chemie** - Základní prvek je **voda**



1543 Mikoláš Koperník



Johann Joachim Becher  
(1635 - 1682)

První konzistentní vysvětlení několika  
přírodních jevů:

- 1) Hoření uhlí = uvolnění **flogistonu**
- 2) Hoření kovů = uvolnění **flogistonu** + vznik oxidu
- 3) Reakce uhlí s oxidy kovů (rudy) = redukce na kov  
přenos **flogistonu** z uhlí na oxid (kov = oxid + flogiston)

Počátky **kvantitativních** experimentů

PROBLÉM: Kov hoří = oxid + **flogiston**

Při oxidaci kovů je hmotnost produktů **vyšší** = flogiston má<sub>12</sub>  
negativní hmotnost ☹



Georg Ernst Stahl  
(1660 - 1734)  
**Flogiston**

## Pozorování a vysvětlení

Vyvracením **flogistonové teorie** se vytvářela moderní chemie. Nesprávná teorie je postupně vyvracena na základě experimentů, které odpovídají nové teorii.

hoření = slučování s  $O_2$ ,  
vyšší hmotnost produktů - **vážení**

**Zákon zachování hmoty**

**flogiston =  $-O_2$**

**Zahřívání HgO**

(redukce na kov bez flogistonu z uhlíku)



Antoine Laurent Lavoisier  
(1743 – 1794)

## Tři objevitelé kyslíku



Carl Wilhelm Scheele  
(1742 – 1786)  
1771 připravil  $O_2$   
publikoval až 1777  
(ochutnával chemikálie)



Joseph Priestley  
(1733 – 1804)  
přípravu publikoval  
1774, plyn nazval  
deflogistonovaný  
vzduch



Antoine Lavoisier  
(1743 – 1794)  
1783  
Oxygen = **prvek**

**Zahřívání  $HgO$ ,  $Ag_2CO_3$ ,  $Mg(NO_3)_2$ ,  $NaNO_3$**

# Přírodní zákony a teorie

## Přírodní zákon

– tvrzení, které sumarizuje opakovaná pozorování přírodních jevů, mění se jen zřídka (Coulombův zákon, Periodický zákon, ~~Trestní~~)  
Pravdivý, univerzální, absolutní, stabilní, reverzibilní, jednoduchý.

## Teorie

– tvrzení, které vysvětluje známá fakta a zákony z nich vyplývající, jsou produktem **lidského myšlení** a mohou se měnit nebo být úplně odmítnuty pod vlivem vývoje nových experimentálních metod, přesnějších měření

**Objektivita** – platí vždy při splnění potřebných podmínek

**Schopnost předpovědi** – předpoví existenci dosud nepozorovaných jevů

# Periodický zákon

**IUPAC Periodic Table of the Elements**

1 <b>H</b> hydrogen [1.007, 1.009]																	18 <b>He</b> helium 4.003		
3 <b>Li</b> lithium [6.938, 6.997]	4 <b>Be</b> beryllium 9.012											5 <b>B</b> boron [10.80, 10.83]	6 <b>C</b> carbon [12.00, 12.02]	7 <b>N</b> nitrogen [14.00, 14.01]	8 <b>O</b> oxygen [15.99, 16.00]	9 <b>F</b> fluorine 19.00	10 <b>Ne</b> neon 20.18		
11 <b>Na</b> sodium 22.99	12 <b>Mg</b> magnesium [24.30, 24.31]											13 <b>Al</b> aluminium 26.98	14 <b>Si</b> silicon [28.08, 28.09]	15 <b>P</b> phosphorus 30.97	16 <b>S</b> sulfur [32.05, 32.08]	17 <b>Cl</b> chlorine [35.44, 35.46]	18 <b>Ar</b> argon 39.95		
19 <b>K</b> potassium 39.10	20 <b>Ca</b> calcium 40.08	21 <b>Sc</b> scandium 44.96	22 <b>Ti</b> titanium 47.87	23 <b>V</b> vanadium 50.94	24 <b>Cr</b> chromium 52.00	25 <b>Mn</b> manganese 54.94	26 <b>Fe</b> iron 55.85	27 <b>Co</b> cobalt 58.93	28 <b>Ni</b> nickel 58.69	29 <b>Cu</b> copper 63.55	30 <b>Zn</b> zinc 65.38(2)	31 <b>Ga</b> gallium 69.72	32 <b>Ge</b> germanium 72.63	33 <b>As</b> arsenic 74.92	34 <b>Se</b> selenium 78.96(3)	35 <b>Br</b> bromine [79.90, 79.91]	36 <b>Kr</b> krypton 83.80		
37 <b>Rb</b> rubidium 85.47	38 <b>Sr</b> strontium 87.62	39 <b>Y</b> yttrium 88.91	40 <b>Zr</b> zirconium 91.22	41 <b>Nb</b> niobium 92.91	42 <b>Mo</b> molybdenum 95.96(2)	43 <b>Tc</b> technetium	44 <b>Ru</b> ruthenium 101.1	45 <b>Rh</b> rhodium 102.9	46 <b>Pd</b> palladium 106.4	47 <b>Ag</b> silver 107.9	48 <b>Cd</b> cadmium 112.4	49 <b>In</b> indium 114.8	50 <b>Sn</b> tin 118.7	51 <b>Sb</b> antimony 121.8	52 <b>Te</b> tellurium 127.6	53 <b>I</b> iodine 126.9	54 <b>Xe</b> xenon 131.3		
55 <b>Cs</b> caesium 132.9	56 <b>Ba</b> barium 137.3	57-71 lanthanoids	72 <b>Hf</b> hafnium 178.5	73 <b>Ta</b> tantalum 180.9	74 <b>W</b> tungsten 183.8	75 <b>Re</b> rhenium 186.2	76 <b>Os</b> osmium 190.2	77 <b>Ir</b> iridium 192.2	78 <b>Pt</b> platinum 195.1	79 <b>Au</b> gold 197.0	80 <b>Hg</b> mercury 200.6	81 <b>Tl</b> thallium [204.3, 204.4]	82 <b>Pb</b> lead 207.2	83 <b>Bi</b> bismuth 209.0	84 <b>Po</b> polonium	85 <b>At</b> astatine	86 <b>Rn</b> radon		
87 <b>Fr</b> francium	88 <b>Ra</b> radium	89-103 actinoids	104 <b>Rf</b> rutherfordium	105 <b>Db</b> dubnium	106 <b>Sg</b> seaborgium	107 <b>Bh</b> bohrium	108 <b>Hs</b> hassium	109 <b>Mt</b> meitnerium	110 <b>Ds</b> darmstadtium	111 <b>Rg</b> roentgenium	112 <b>Cn</b> copernicium			114 <b>Fl</b> flerovium			116 <b>Lv</b> livermorium		
			57 <b>La</b> lanthanum 138.9	58 <b>Ce</b> cerium 140.1	59 <b>Pr</b> praseodymium 140.9	60 <b>Nd</b> neodymium 144.2	61 <b>Pm</b> promethium	62 <b>Sm</b> samarium 150.4	63 <b>Eu</b> europium 152.0	64 <b>Gd</b> gadolinium 157.3	65 <b>Tb</b> terbium 158.9	66 <b>Dy</b> dysprosium 162.5	67 <b>Ho</b> holmium 164.9	68 <b>Er</b> erbium 167.3	69 <b>Tm</b> thulium 168.9	70 <b>Yb</b> ytterbium 173.1	71 <b>Lu</b> lutetium 175.0		
			89 <b>Ac</b> actinium	90 <b>Th</b> thorium 232.0	91 <b>Pa</b> protactinium 231.0	92 <b>U</b> uranium 238.0	93 <b>Np</b> neptunium	94 <b>Pu</b> plutonium	95 <b>Am</b> americium	96 <b>Cm</b> curium	97 <b>Bk</b> berkelium	98 <b>Cf</b> californium	99 <b>Es</b> einsteinium	100 <b>Fm</b> fermium	101 <b>Md</b> mendelevium	102 <b>No</b> nobelium	103 <b>Lr</b> lawrencium		



## Vědecký jazyk - přesná definice pojmů



Joachim Jungius  
(1587 - 1657)

Zakladatel vědeckého jazyka  
Potřeba přesné definice pojmů  
Základem vědy je experiment  
a závěry z něho vyvozené

- Chemické názvosloví (jména prvků, obecné a systematické názvy sloučenin)
- Názvy laboratorního nádobí a přístrojů (Bunsenův kahan, Erlenmeyerova baňka, Soxletův extraktor)
- Jmenné reakce (Grignard, Wittig, Heck, Suzuki)
- Názvy zákonů, rovnic a principů (Boyle, Schroedinger, Boltzman, Avogadro, Arrhenius)

## Vědecký jazyk - přesná definice pojmů

Guyton de Morveau 1782

Počátky systematického chemického názvosloví

Lavoisier, Berthollet, de Fourcroy, Berzelius, Werner

Jan Svatopluk Presl - Lučba čili chemie zkusná  
(1791–1849)

P = Kostík, Cr = Barvík

English

IUPAC

**Red Book** – názvosloví anorganické chemie

**Blue Book** – názvosloví organické chemie

**Green Book** – názvosloví fyzikální chemie

**White Book** – názvosloví biochemie

**Gold Book** – kompendium chemické terminologie

## Model



**Reálný svět** existuje. (Matrix)

**Model** je pokus popsat reálné objekty pomocí myšlených ideálních objektů. Vysvětlit přírodní jevy na mikroskopické úrovni (např. atomy) pomocí pozorování a zkušeností na makroskopické úrovni.

**Model** je zjednodušený obraz skutečnosti, který usnadní vysvětlení problému. Používá **idealizace** a **aproximace**.

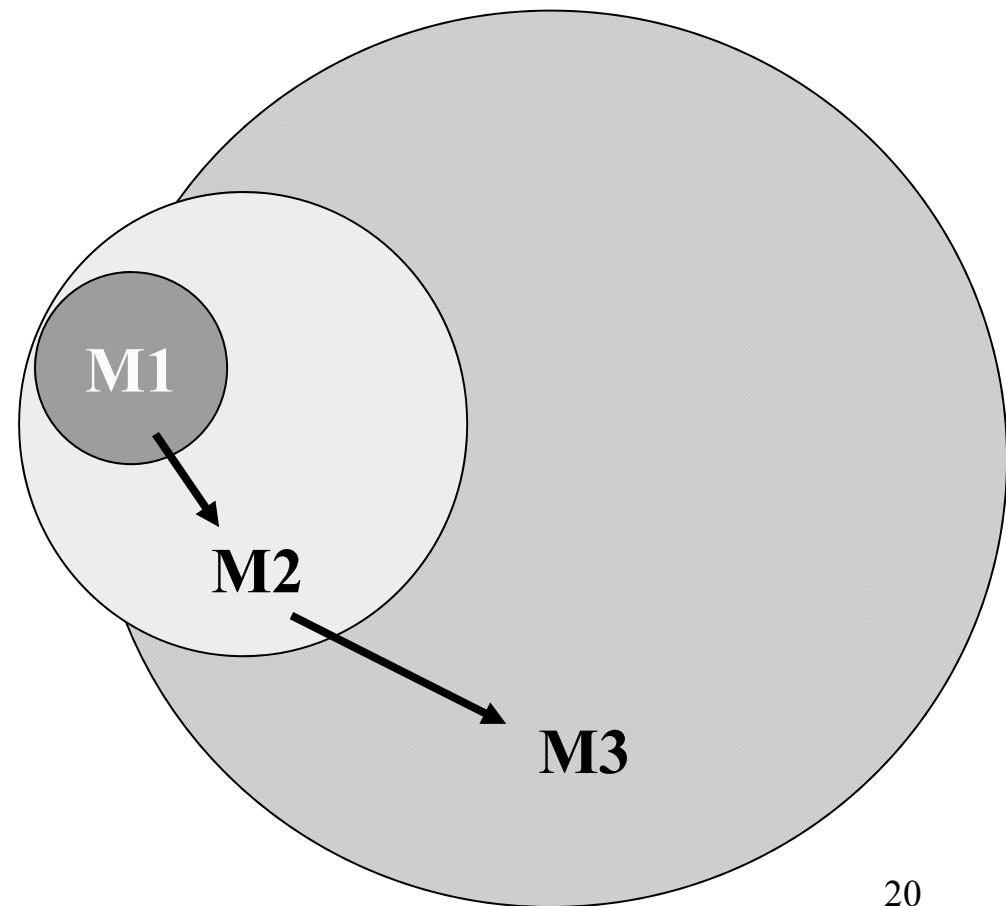
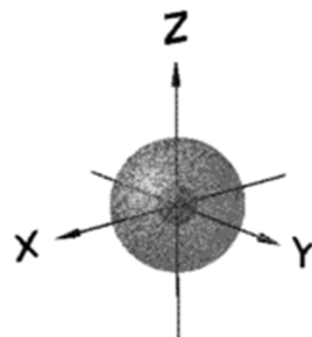
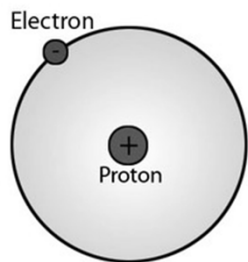
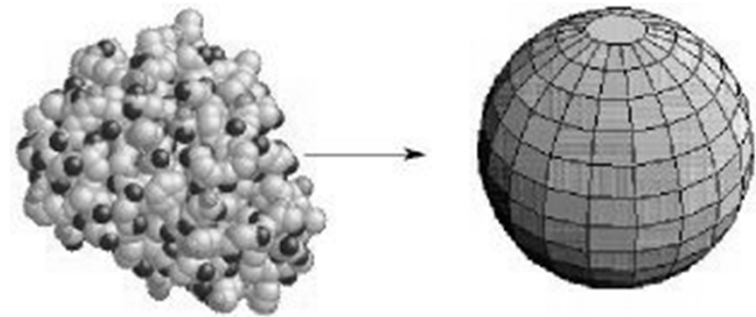
**Model není totožný s realitou**, je to lidský výtvar založený na nedokonalém poznání a pochopení přírody.

**Modely** se stávají komplikovanějšími a podrobnějšími s vývojem našeho poznání.

**Nový přesnější model s**  
příchodem přesnějších  
metod měření.

**Pokročilejší model**  
obsahuje předešlé (správné)  
modely jako zvláštní  
případy  
(poloměr H atomu).

**Model**



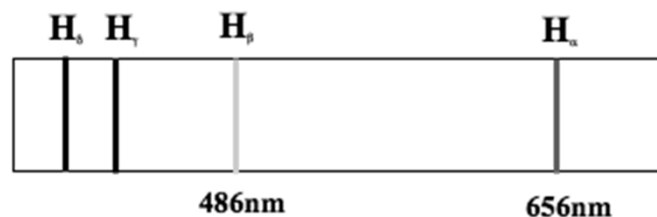
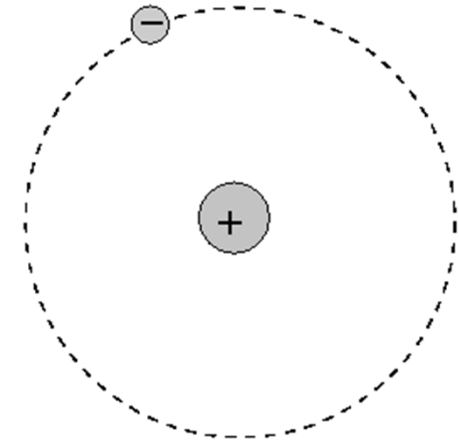
## Model

Jednoduché modely obsahují mnoho **zjednodušujících** a **omezujících** podmínek a předpokladů, mohou tedy poskytnout jen kvalitativní informace

Atom H – Bohrov model

Pro efektivní použití modelu je nutno znát jeho předpoklady a omezení, jeho přednosti a slabiny. Lze klást jen takové otázky, na které může daný model odpovědět.

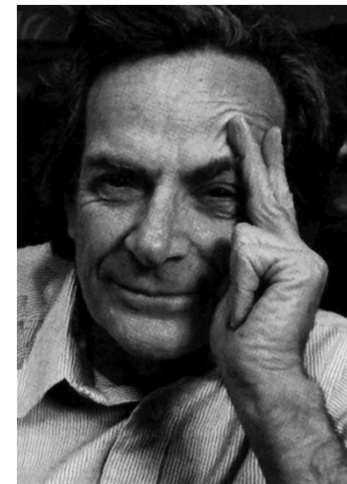
I když je model užitečný pro vysvětlení velkého počtu jevů, nelze předpokládat, že bude fungovat v každém případě.



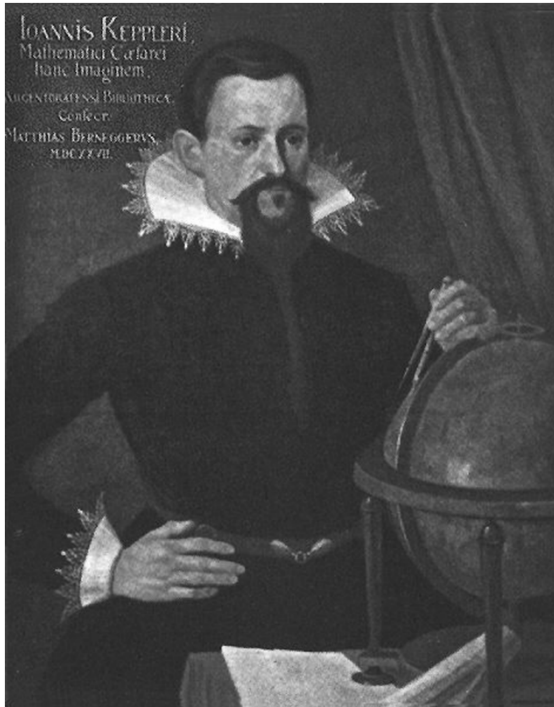
# Model

*"Jediné, co mě zajímá, je najít soubor pravidel, která by souhlasila s chováním přírody, a nezkoušet jít příliš daleko za to. Zjistil jsem, že většina filozofických diskuzí je psychologicky užitečná, ale nakonec, když se podíváte zpátky do historie, zjistíte, že to, co bylo kdysi řečeno s takovou pádností, je téměř vždy - do jisté míry - nesmyslné!"*

Richard P. Feynman  
(1918 – 1988)  
NP za fyziku 1965  
Manhattan Project  
Nanotechnologie



# Teorie a experiment



Ubi materia, ibi geometria

Kde je hmota, tam je geometrie

**měření**

Johannes Kepler  
(1571 – 1630)

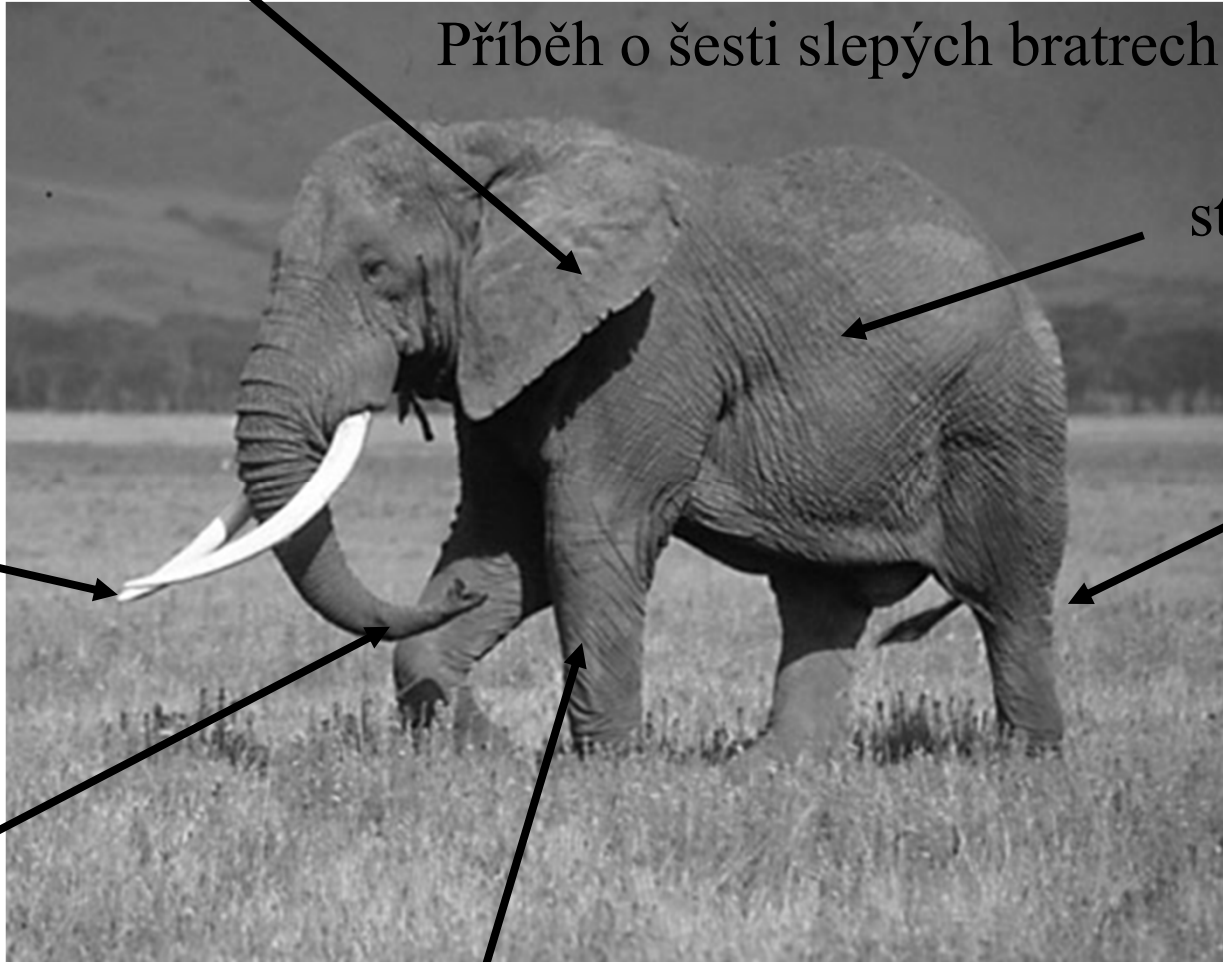
Aby byl experiment přijat za pravdivý,  
musí být **nezávisle** verifikovaný, zopakovaný.

**Samočisticí vlastnost vědecké metody**

# Experiment

vějíř

Příběh o šesti slepých bratrech



stěna

kopí

provaz

had

strom



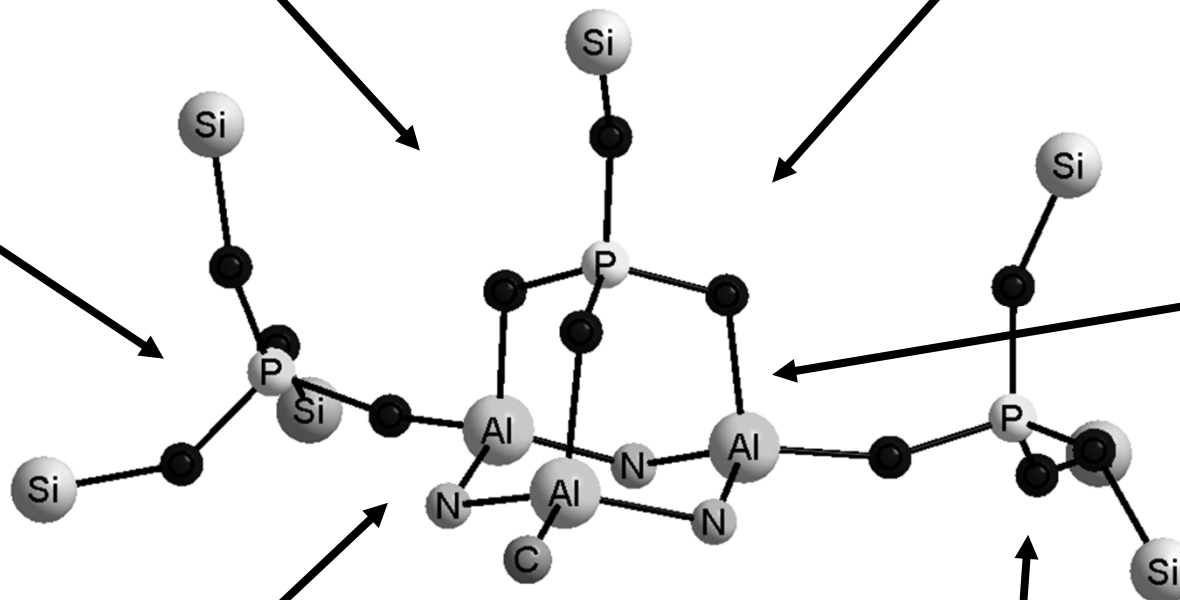
Elementární analýza

# Experiment

RTG strukturní analýza

NMR

UV-vis



Hmotnostní spektrometrie, MS

Vibrační spektroskopie, IR, RA

# Kvantitativní experiment

Johann Baptista van Helmont  
(1579 - 1644)

Robert Boyle  
(1627 - 1691)

Joseph Black  
(1728 - 1799)

Henry Cavendish  
(1731 - 1810)

**Měření**



Objemy plynů

Hmotnost reaktantů a produktů

# **Kvantitativní experiment = měření**

**Hmotnost, délka, čas - od nepaměti**

**Teplota - 1724 Daniel Fahrenheit (1686–1736)**

Messen heist Wissen

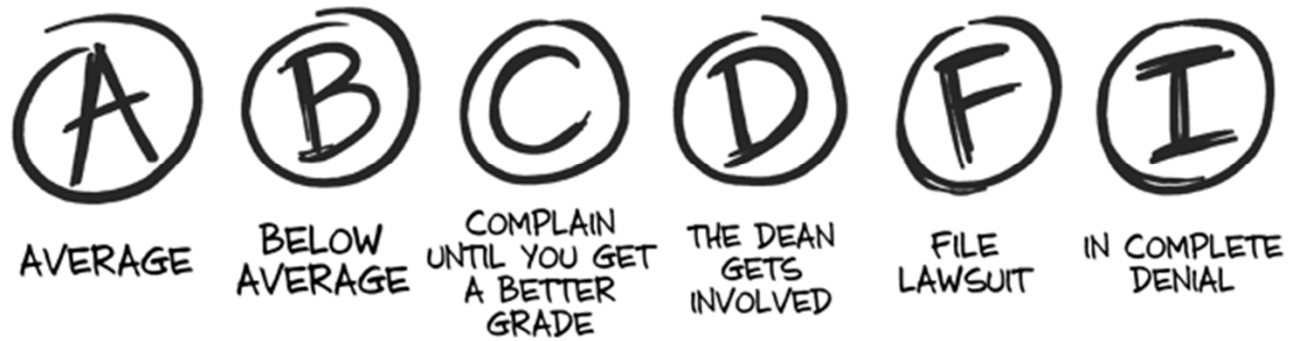
**"When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind. It may be the beginning of knowledge, but you have scarcely, in your thoughts, advanced to the stage of science."**



**Lord Kelvin  
(William Thomson)  
(1824–1907)**

# Kvantitativní experiment = měření

## GRADE INFLATION



WWW.PHDCOMICS.COM

JORGE CHAM © 2013

## Veličiny, Rozměry, Jednotky

Příklad:

<http://www.labo.cz/mftabulky.htm>

Veličina:  $E$ , energie

Rozměr:  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$

Jednotka: J, eV, kalorie,.....

Základní rozměry: délka, čas, hmotnost, elektrický náboj, mol,...

Složené rozměry: rychlost = délka  $\times$  (čas)<sup>-1</sup>

Frekvence?

Bezrozměrné veličiny:

Poměry dvou stejných veličin (např. molární zlomek)

Argumenty ln, exp, sin, cos, tan

## Základní jednotky SI

Veličina	Jednotka	Zkratka
<b>Hmotnost</b>	<b>Kilogram</b>	<b>kg</b>
<b>Délka</b>	<b>Metr</b>	<b>m</b>
<b>Čas</b>	<b>Sekunda</b>	<b>s</b>
<b>Teplota</b>	<b>Kelvin</b>	<b>K</b>
<b>Elektrický proud</b>	<b>Amper</b>	<b>A</b>
<b>Látkové množství</b>	<b>Mol</b>	<b>mol</b>
<b>Svítivost</b>	<b>Kandela</b>	<b>cd</b>

## **Základní jednotky SI**

**1 m = délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu  
za  $1/299\,792\,458$  sekundy**

**1 kg = hmotnost mezinárodního prototypu kilogramu  
uloženého v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry v Sévres u  
Paříže (*jediná jednotka definovaná na materiálním objektu*)**

**1 s = doba rovnající se 9 192 631 770 periodám záření, které  
odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné  
struktury základního stavu atomu cesia-133**

## Základní jednotky SI

**1 A = 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  
 $2 \cdot 10^{-7}$  newtonu na 1 metr délky vodiče**

**1 K = 1/273.16 termodynamické teploty *trojného bodu vody***



## Základní jednotky SI

**1 mol = látkové množství soustavy, která obsahuje právě tolik částic (atomů, molekul, elektronů, nebo jiných entit), kolik je atomů v 0,012 kilogramu (přesně) nuklidu uhlíku  $^{12}\text{C}$   
tj. ....6,022  $10^{23}$**

### Počítání atomů vážením

**1 cd = svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření o kmitočtu  $540 \cdot 10^{12}$  hertzů a jehož zářivost v tomto směru je  $1/683$  wattu na steradián**

## Násobky – předpony

<b>Y</b>	<b>Yotta</b>	<b><math>10^{24}</math></b>
<b>Z</b>	<b>Zetta</b>	<b><math>10^{21}</math></b>
<b>E</b>	<b>Exa</b>	<b><math>10^{18}</math></b>
<b>P</b>	<b>Peta</b>	<b><math>10^{15}</math></b>
<b>T</b>	<b>Tera</b>	<b><math>10^{12}</math></b>
<b>G</b>	<b>Giga</b>	<b><math>10^9</math></b>
<b>M</b>	<b>Mega</b>	<b><math>10^6</math></b>
<b>k</b>	<b>kilo</b>	<b><math>10^3</math></b>
<b>1</b>		<b><math>10^0</math></b>

<b>1</b>		<b><math>10^0</math></b>
<b>m</b>	<b>mili</b>	<b><math>10^{-3}</math></b>
<b>μ</b>	<b>mikro</b>	<b><math>10^{-6}</math></b>
<b>n</b>	<b>nano</b>	<b><math>10^{-9}</math></b>
<b>p</b>	<b>piko</b>	<b><math>10^{-12}</math></b>
<b>f</b>	<b>femto</b>	<b><math>10^{-15}</math></b>
<b>a</b>	<b>atto</b>	<b><math>10^{-18}</math></b>
<b>z</b>	<b>zepto</b>	<b><math>10^{-21}</math></b>
<b>y</b>	<b>yokto</b>	<b><math>10^{-24}</math></b>

## Násobky – předpony

$$\% = 0,01 = 1 \text{ v } 10^2$$

$$\text{‰} = 0,001 = 1 \text{ v } 10^3$$

**ppm = 1 g v 1 t nebo 1 atom v  $10^6$  atomech  
(part per million)**

**ppb = 1 mg v 1 t nebo 1 atom v  $10^9$  atomech**

**ppt = 1  $\mu\text{g}$  v 1 t nebo 1 atom v  $10^{12}$  atomech**

## Hmotnost $m$ / kg

Atomová hmotnostní jednotka

1/12 hmotnosti atomu **nuklidu**  $^{12}\text{C}$

$$1 \text{ u} = (1 \text{ amu}) = 1.6606 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$



A. Einstein: hmotnost tělesa v pohybu je větší než hmotnost v klidu

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Rychlost tělesa  $v$

Klidová hmotnost tělesa  $m_0$

Rychlost světla  $c = 2.9979 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

## **Budoucí definice 1 kg ?**



**Koule z velmi čistého  $^{28}\text{Si}$**

**Objem koule změřen laserovou interferometrií**

**Objem na jeden atom Si z rtg. difrakce**

**Počet atomů v kouli**

**Avogadrova konstanta**

## Látkové množství $n$ / mol

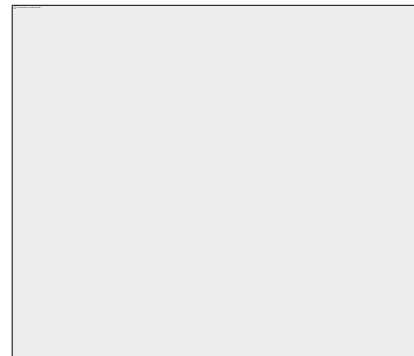
**Avogadrova konstanta** = počet atomů uhlíku  
v 0.012 kg (12 g) nuklidu  $^{12}\text{C}$

$$N_A = 6.022\ 140\ 78\ (18)\ 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$$

Látkové množství  $n$ , jednotka mol

$n$  = podíl počtu částic  $N$  (atomů, molekul, elektronů,...) a  $N_A$

$$n = \frac{N}{N_A}$$



## Atomová a molární hmotnost

Atomová  $A_m$  a molární hmotnost  $M_m$

Hmotnost 1 molu látky,  $\text{kg mol}^{-1}$

$$\begin{aligned} A_m(^{12}\text{C}) &= 12 \times u \times N_A = \\ &= 12 \times 1.6606 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \times 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = \\ &= 0.01200 \text{ kg mol}^{-1} = 12.00 \text{ g mol}^{-1} \end{aligned}$$

## Délka $l$ / m

1 Ångström =  $10^{-10}$  m  
(není SI jednotka)

1 Å = 100 pm = 0.1 nm

Bohrův poloměr  
 $a_0 = 5.3 \cdot 10^{-11}$  m = 0.53 Å

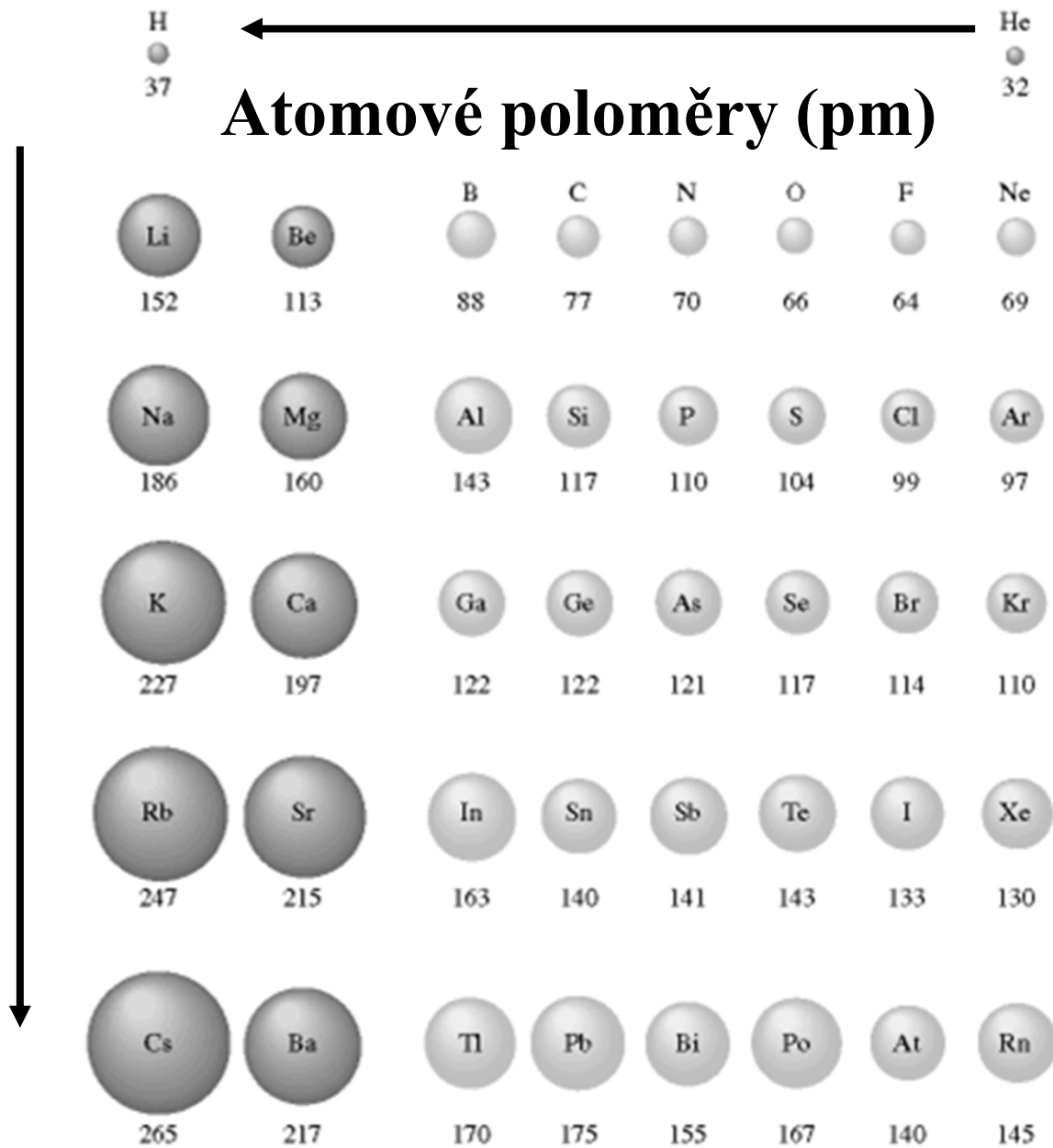
Délky vazeb v molekulách 1 až 4 Å  
Průměr atomu Cu je 2.55 Å

Průměr vesmíru: 17 miliard světelných let =  $1.6 \cdot 10^{26}$  m  
Průměr atomového jádra =  $10^{-15}$  m



Anders Jonas Ångström  
(1814 - 1874)





1 Å = 100 pm

## Vazebné vzdálenosti

### Vazebné vzdálenosti (v Å)

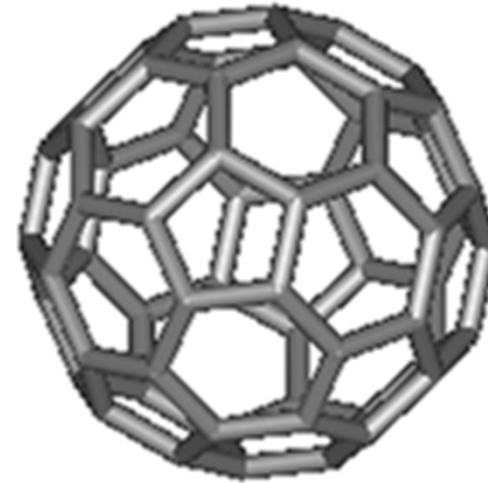
Vazba	CC	CN	CO	CH	NH	OH
Jednoduchá	1.53	1.47	1.42	1.09	1.00	0.96
Dvojná	1.34	1.27	1.21			
Trojná	1.20	1.15				

**Kolik pm?**

## Objem $V$

$$1 \text{ pm}^3 = 10^{-6} \text{ \AA}^3$$

Objem molekuly fullerenu  $\text{C}_{60}$   
asi  $500 \text{ \AA}^3$



Molární objem ideálního plynu = objem 1 molu plynu

při teplotě  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a tlaku  $101\,325 \text{ Pa}$  (STP)

$$V_M = \mathbf{22.414} \text{ l mol}^{-1}$$

při teplotě  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a tlaku  $100\,000 \text{ Pa}$  (1 bar)

$$V_M = \mathbf{22.71} \text{ l mol}^{-1}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**g cm<sup>-3</sup>**

Hustota závisí  
na teplotě a tlaku

## Hustota $\rho$

Látka	Hustota při 20 °C / g cm <sup>-3</sup>	Stav
Kyslík	0.00133	g
Benzen	0.880	l
Lithium	0.535	s
Voda	0.9982 (1.00 pro lab. výpočty)	l
Hliník	2.70	s
Železo	7.87	s
Olovo	11.34	s
Rtuť	13.6	l
Zlato	19.32	s
Iridium	22.65	s

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\text{g cm}^{-3}$

## Měření hustoty



Hustota závisí na teplotě

**Pyknometr**

Při 20 °C

**Nádoba na dolití IN**  
**Nádoba na vylití EX**



# Čas

## Kinetika dějů, chemických reakcí

$t / s$	Událost
$10^{-21}$	Jaderné srážky
$10^{-15}$	Excitace elektronu fotonem, femtosekundová sp.
$10^{-12}$	Radikálové reakce, přenos energie, valenční vibrace
$10^{-9}$	Fluorescence, rotace, přenos protonu
$10^{-6}$	Fosforescence, difuze, konformační
$10^{-3}$	Rychlé bimolekulární reakce
$10^0$	Úder srdce, pomalé bimolekulární reakce

## Rychlost $v$

### Rychlost světla ve vakuu

$$c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

(přesně)

$$3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$300\,000 \text{ km s}^{-1}$$

$$E = m c^2 \quad v \lambda = c$$



Albert Abraham Michelson  
(1852 - 1931)  
NP za fyziku 1907

# Frekvence, vlnová délka, vlnočet

Počet periodických dějů za časový interval

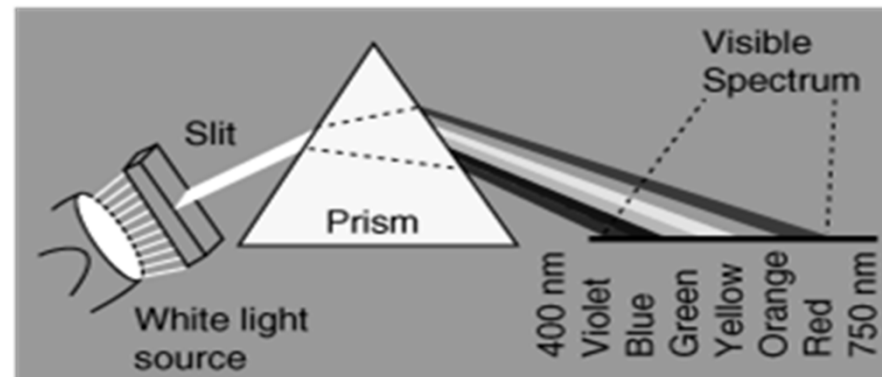
Frekvence  $\nu = 1/t$ ,  $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$

Kmity

Vibrace

Rotace

Srážky molekul



Vzdálenost mezi dvěma maximy

Vlnová délka  $\lambda$ , m

$$\nu \lambda = c$$

$$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Počet vln na jednotku délky

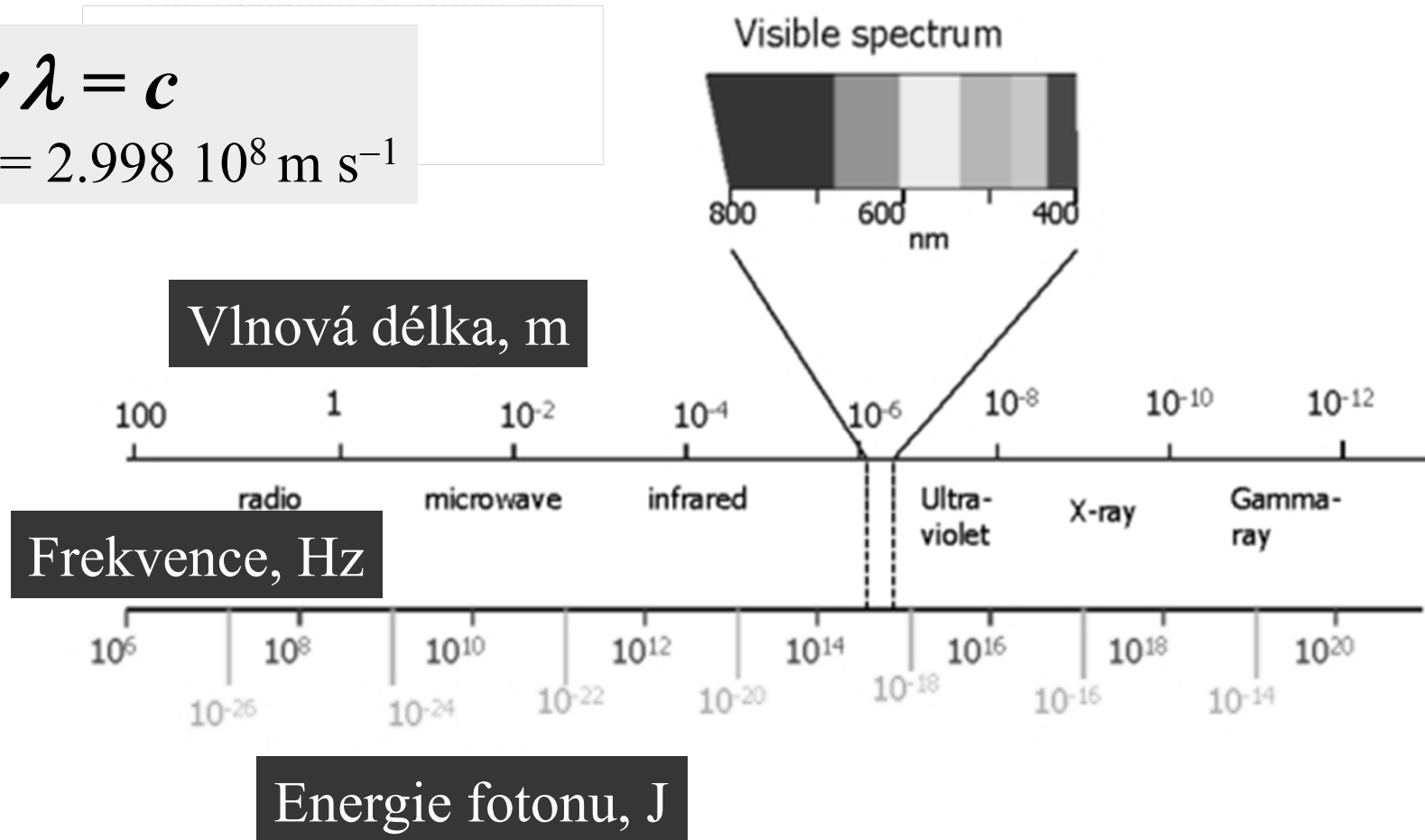
Vlnočet  $\tilde{\nu} = 1/\lambda$ ,  $\text{cm}^{-1}$



# Frekvence, vlnová délka, vlnočet

$$\nu \lambda = c$$

$$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$



Vlnová délka, m

Frekvence, Hz

Energie fotonu, J

$$\Delta E = h \nu$$

# Čtyři základní síly - interakce

**Gravitační**

**Elektromagnetická**

(e-e repulze, p-e přitažlivost)

**Silné interakce**

(jaderné, drží protony pohromadě)

**Slabé interakce**

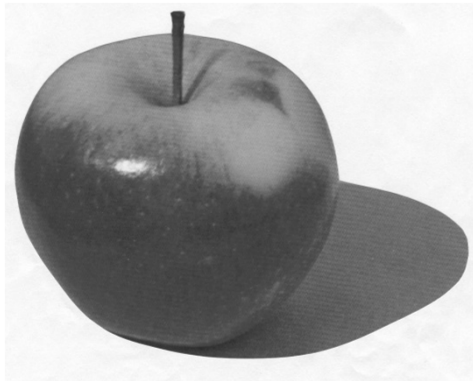
(drží p a e pohromadě v neutronu)



LIGO - Laser Interferometer  
Gravitational-Wave  
Observatory 2015

## Síla $F$

1 Newton = gravitační síla působící na jablko



$$F = m g$$

$$g = 9.80665 \text{ m s}^{-2}$$



Isaac Newton  
(1642 - 1727)

## Elektrický náboj $q$

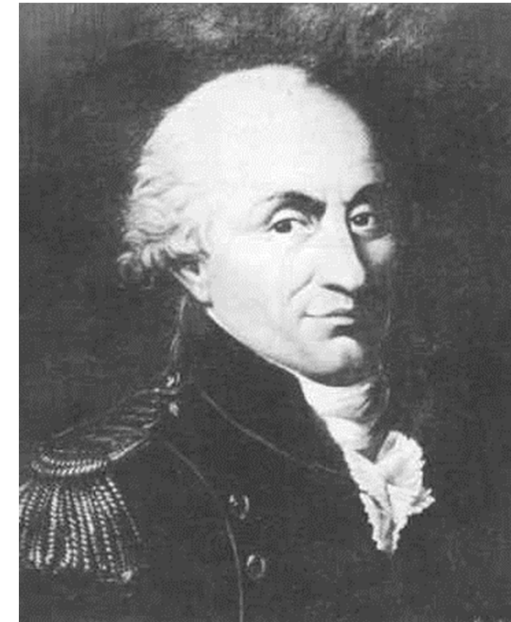
### Elementární náboj, $e$

$$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad 1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$$

Všechny náboje jsou celistvým násobkem  $e$   
 $q = Z e$

### Coulombův zákon

Přitažlivá síla  $F$  mezi dvěma náboji opačného znaménka je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti  $r$  mezi nimi a přímo úměrná velikosti nábojů  $q$ .



Charles Augustin Coulomb  
(1736 - 1806)

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

## **Tlak $p$**

1 Pascal = tlak kterým působí jablko na 1 m<sup>2</sup>

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2}$$

$$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa} = 760 \text{ mm Hg (Torr)} = 1.01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$$

$$\textbf{Standardní tlak} = \textbf{1 bar} = \textbf{100\,000 Pa}$$

## Teplota $T$

Kelvin, K

Absolutní nula 0 K je nedosažitelná

Entropie dosahuje minima

– 273.15 °C

Současný rekord: ~100 pK

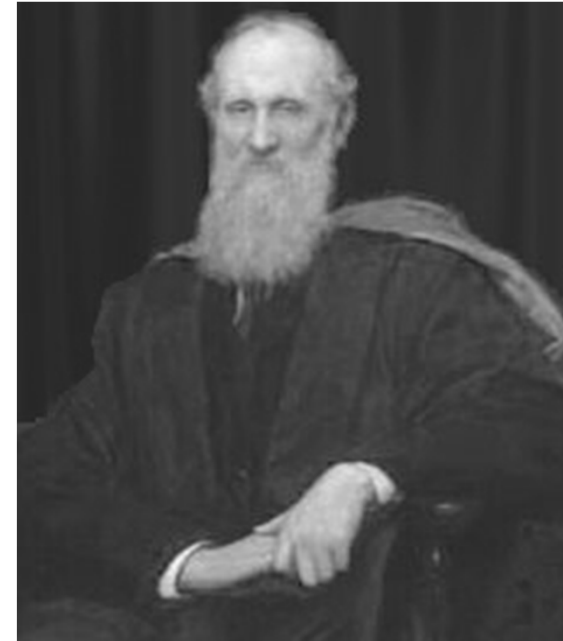
Kvantové efekty

Celsius, °C

0 °C = 273.15 K

$T[°C] = T[K] - 273.15$

**Standardní teplota (termodynamika) = 25 °C = 298 K**



Lord Kelvin  
(William Thomson)  
(1824 - 1907)

1592 Galileo

## Teploměr

1629 teploměr plněný brandy

Joseph Solomon Delmedigo, lékař a rabín

1724 Daniel Fahrenheit (1686–1736) Hg

Změna fyzikální vlastnosti závislé na teplotě:

- Objemová roztažnost rtuti
- Délková roztažnost kovů
- Elektrický odpor kovů
- Stav kapalných krystalů

Definice Celsiovy stupnice

Teplota tání ledu při 1 atm = 0 °C

Teplota varu vody při 1 atm = 100 °C

Rozděl na 100 dílků

ITS-90 Mezinárodní teplotní stupnice

Trojný bod vody = 273.16 K



# ITS-90

ITS-90 Mezinárodní teplotní stupnice

T = Trojný bod

Interpolace

Kalibrace

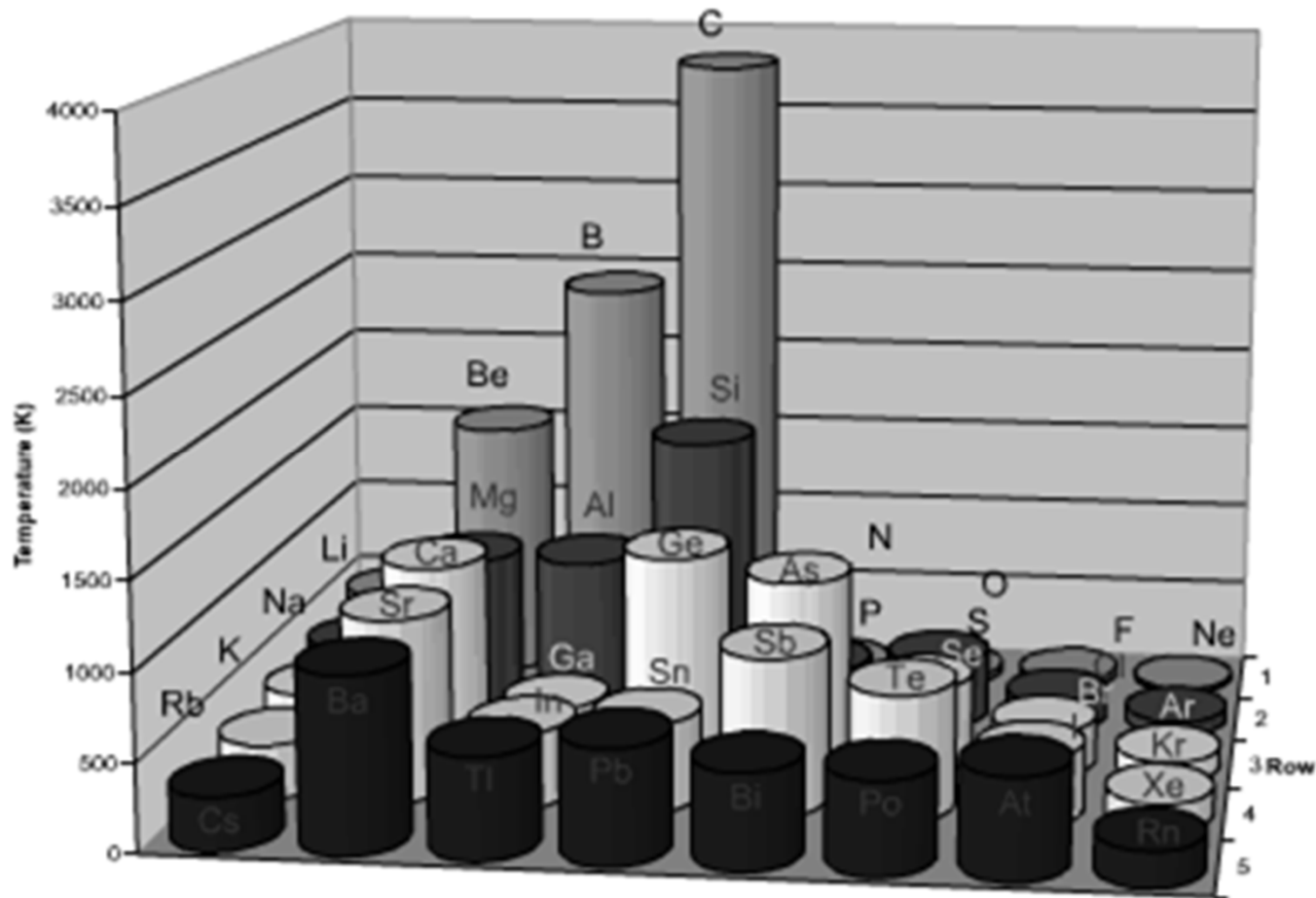
	T, K
e-Hydrogen (T)	13,8033
Neon (T)	24,5561
Oxygen (T)	54,3584
Argon (T)	83,8058
Mercury (T)	234,3156
Water (T)	273,16
Gallium	302,9146
Indium	429,7485
Tin	505,078
Zinc	692,677
Aluminium	933,473
Silver	1234,93
Gold	1337,33
Copper	1357,77



# Teplota tání

Teploty tání prvků

Kapalné prvky



## Energie $E$

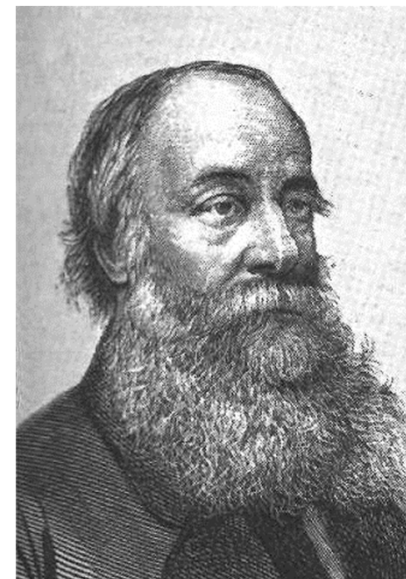
1 Joule = energie úderu lidského srdce  
Zákon ekvivalence mechanické práce a tepla

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$

1 eV = kinetická energie elektronu,  
který je urychlen potenciálem 1 V

$$E = e U = 1,60210 \cdot 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = \\ = 1 \text{ eV} = 1,60210 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ eV (molekula)}^{-1} = 1 \text{ eV} \times N_A = 96\,485 \text{ J mol}^{-1}$$



James Prescott Joule  
(1818 - 1889)  
žák J. Daltona

## Energie $E$

$$E = m c^2 = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \times (3.00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1})^2 = 1.49 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$1 \text{ amu} = 931.4 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{3}{2} k T$$

$$k = 1.380662 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1} \quad \text{Boltzmannova konstanta}$$

$$kT = 1 \text{ zJ pro laboratorní teplotu}$$

$$E = h \nu$$

$$h = 6.626176 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \quad \text{Planckova konstanta}$$

## Energie $E$

$$E_{\text{celk}} = E(\text{elektronová}) + E(\text{vibrační}) + E(\text{rotační}) + E_{\text{ost}}$$

$E(\text{elektronová})$

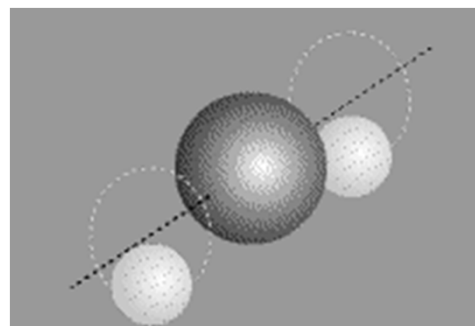
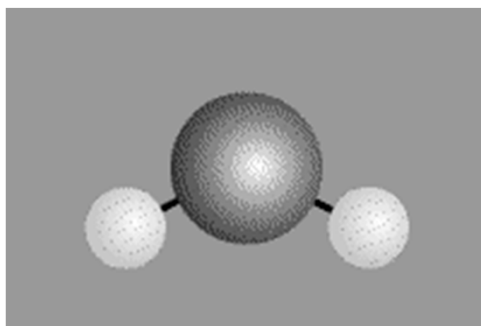
100 kJ mol<sup>-1</sup>

$E(\text{vibrační})$

1.5 – 50 kJ mol<sup>-1</sup>

$E(\text{rotační})$

0.1 – 1.5 kJ mol<sup>-1</sup>

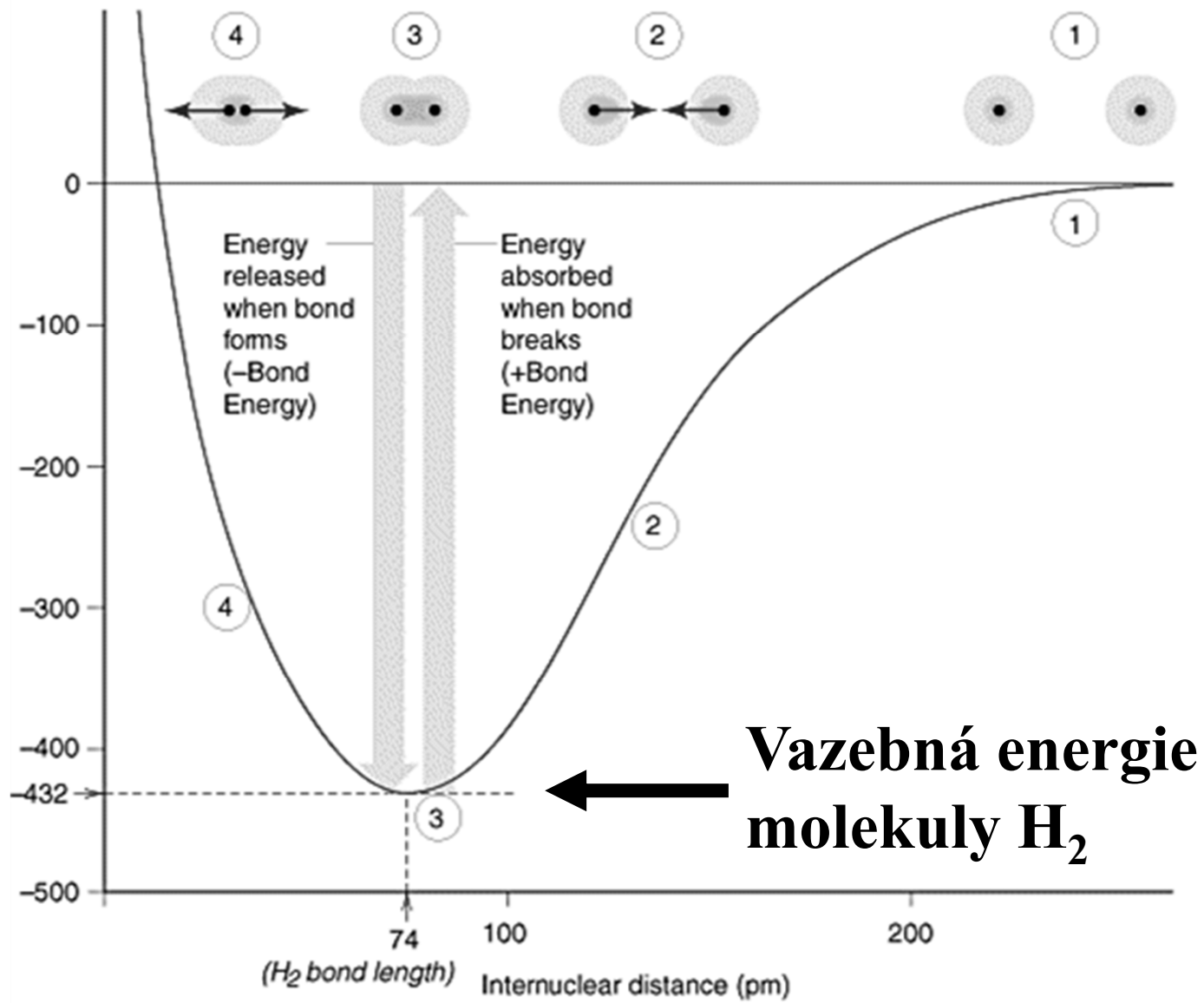


**Vazebné energie, kJ mol<sup>-1</sup>  
(jednoduché vazby)**

	<b>H</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>S</b>	<b>F</b>	<b>Cl</b>	<b>Br</b>	<b>I</b>
--	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	----------

<b>H</b>	<b>432</b>								
<b>C</b>	<b>411</b>	<b>346</b>							
<b>N</b>	<b>386</b>	<b>305</b>	<b>167</b>						
<b>O</b>	<b>459</b>	<b>358</b>	<b>201</b>	<b>142</b>					
<b>S</b>	<b>363</b>	<b>272</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>226</b>				
<b>F</b>	<b>565</b>	<b>485</b>	<b>283</b>	<b>190</b>	<b>284</b>	<b>155</b>			
<b>Cl</b>	<b>428</b>	<b>327</b>	<b>313</b>	<b>218</b>	<b>255</b>	<b>249</b>	<b>240</b>		
<b>Br</b>	<b>362</b>	<b>285</b>	<b>---</b>	<b>201</b>	<b>217</b>	<b>249</b>	<b>216</b>	<b>190</b>	
<b>I</b>	<b>295</b>	<b>213</b>	<b>---</b>	<b>201</b>	<b>---</b>	<b>278</b>	<b>208</b>	<b>175</b>	<b>149</b>

Potenciální energie  $\text{kJ mol}^{-1}$



Vazebná vzdálenost v molekule  $\text{H}_2$

# Vazebná energie N<sub>2</sub>

$$E_{\text{vaz}} = 942 \text{ kJ mol}^{-1}$$

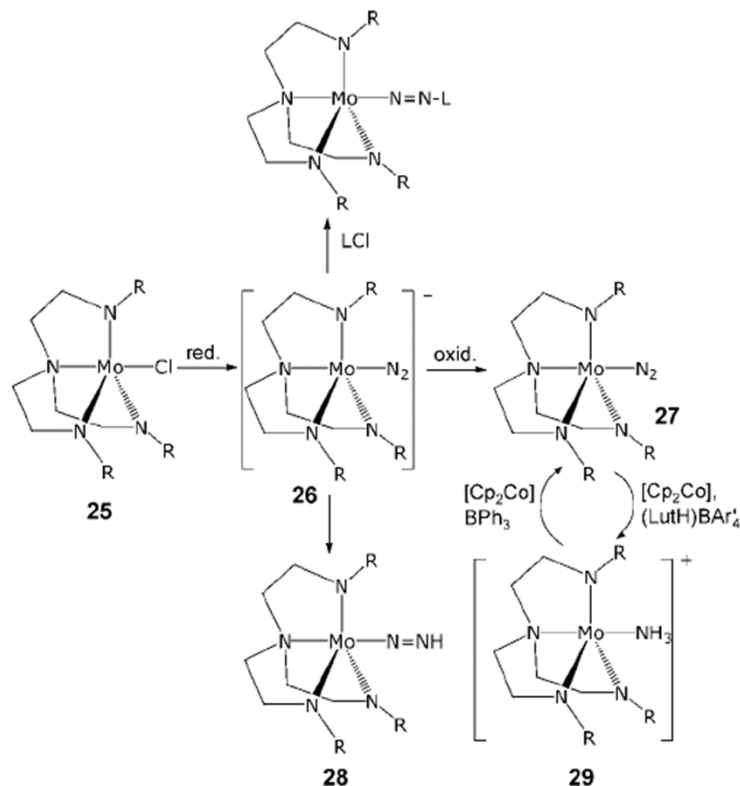


Použití

80% hnojiva

10% plasty

5% výbušniny



1909 Fritz Haber

N<sub>2</sub>(g) + H<sub>2</sub>(g) exo

500 °C, 250 atm, Fe katalyzátor

výtěžek 20%

NP za chemii 1918