

Ako vieme, že existujú atómy a z čoho sa skladajú

Juro Tekel

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK

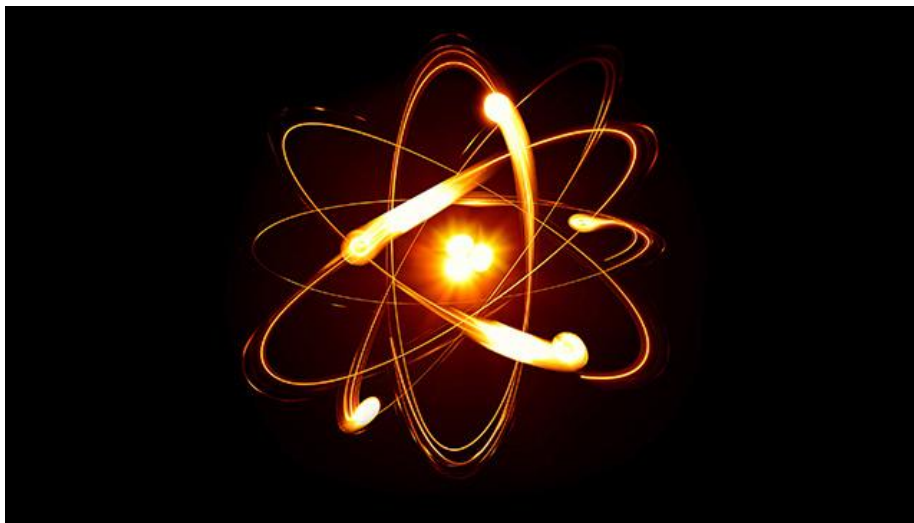
13.3.2019

**Viac-menej
všetkému
rozumíme na
základe
existencie
atómov.**

Čo sú atómy?

Čo sú atómy?

- Atómy sú ako pixle na digitálnom obrázku.
- Z diaľky vyzerá súvislý, ale keď si ho priblížime uvidíme, že sa skladá z malých štvorčekov.
- Podobne sa náš svet skladá z atómov.

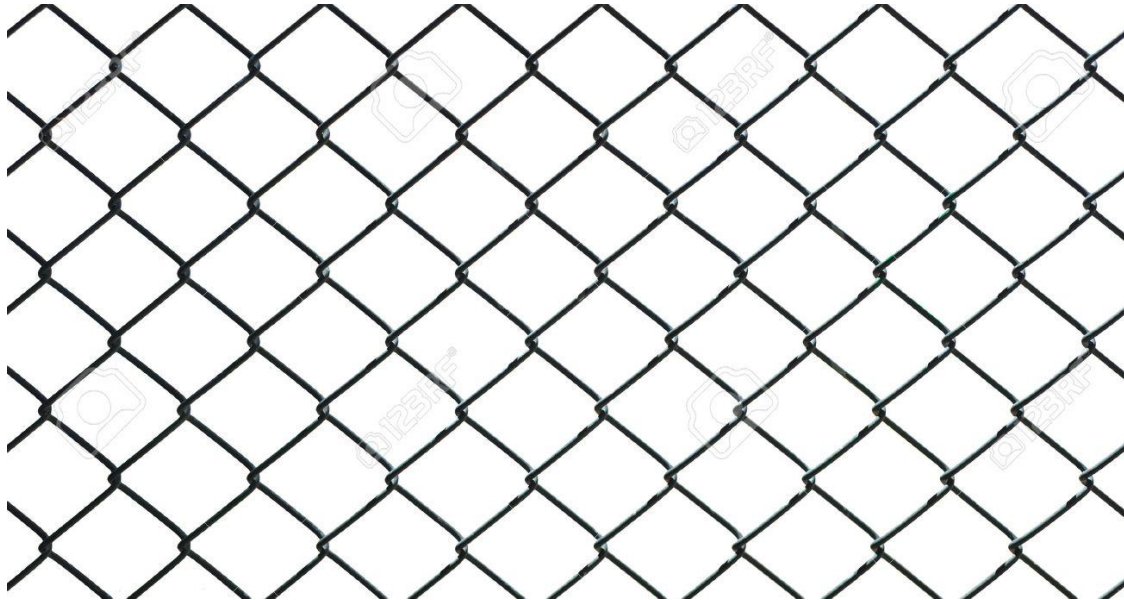


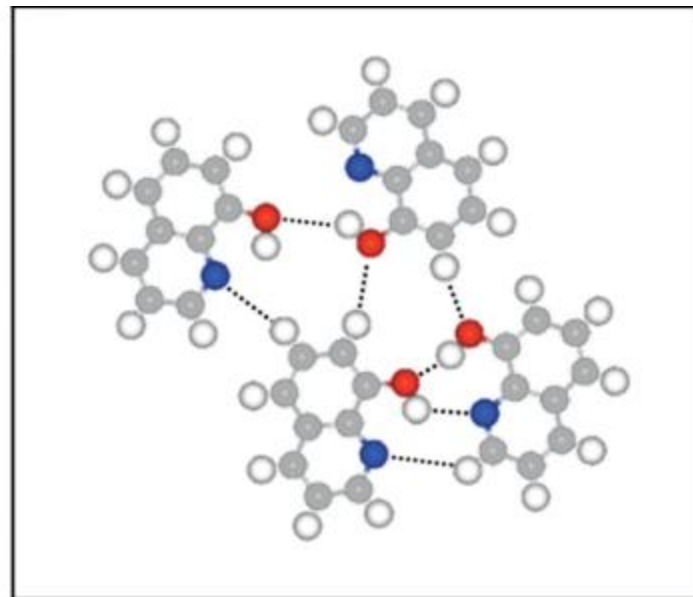
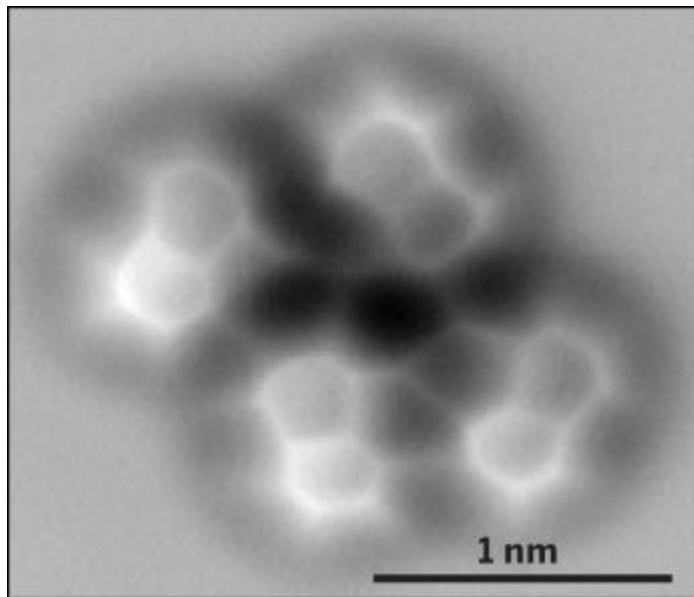
Čo sú atómy?

- Atómy sú veľmi, veľmi, malé. Až **nepredstaviteľne malé**.
- Veľkosť atómov a molekúl je približne 10^{-10} m.
- Najväčšie veci, ktoré dokážeme ešte ako-tak vnímať majú asi 10 km, najmenšie 0,1 mm. To je pomer 10^8 .

Čo sú atómy?

- Atómy sú tak malé, že sa ich principiálne **nedá vidieť**.
- Veľkosť fotónov viditeľného svetla je približne 10^{-7} m, čo je asi 1000 krát viac ako veľkosť atómov.





**Atómy sú fakt
malé.**

Antický atomizmus

Antický atomizmus

- Idea neviditeľnej štruktúry hmoty sa v starovekých filozofiách objavila viac krát.
- **V modernom ponímaní vedy výstrel od pása.**



Démokritos z Abdér
približne 460 - 370 pr. n. l.



Leukippos z Milétu,
5. storočie pr. n. l.

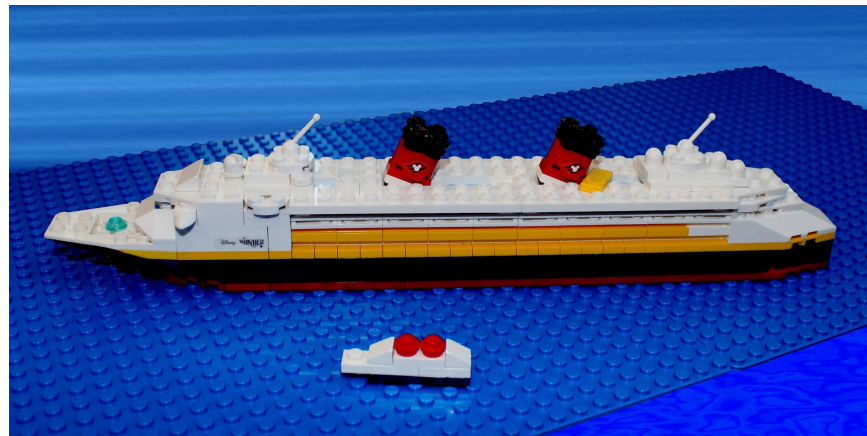
Antický atomizmus

- Všetko sa skladá z atómov, ktoré sú nedeliteľné a nezničiteľné.
- Atomon - nedeliteľný
- Atómy sa vedia spájať do komplikovanejších útvarov a tak vznikajú rôzne makroskopické látky.
- Viedol ich filozofický dôvod. Chceli **z jednoduchosti dostať rozmanitosť**.

Antický atomizmus

- Podobne ako lego.







Aristoteles,
384 - 322 pr. n. l.

Atomizmus chemikov

Atomizmus chemikov

- V moderných časoch si ako prvý všimli existenciu atómov chemici. Chemická reakcia je totiž veľa rovnakých **procesov priamo na atomárnej úrovni**.
- Chemické recepty sú veľmi iné ako kuchynské recepty.

Atomizmus chemikov

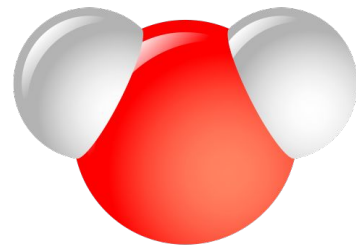
Gin&Tonic

- 0,5 dl ginu
- 1 dl toniku
- rez limetky



Voda

- 88,81 g kyslíka
- 11,19 g vodíka



Atomizmus chemikov

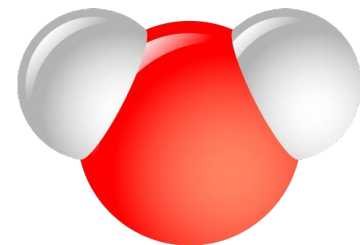
Gin&Tonic

- 0,6 dl ginu
- 1 dl toniku
- rez limetky



Voda

- 88,81 g kyslíka
- 11,19 g vodíka



Atomizmus chemikov

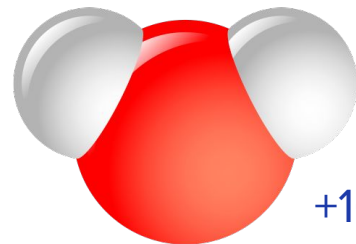
Gin&Tonic

- 0,6 dl ginu
- 1 dl toniku
- rez limetky

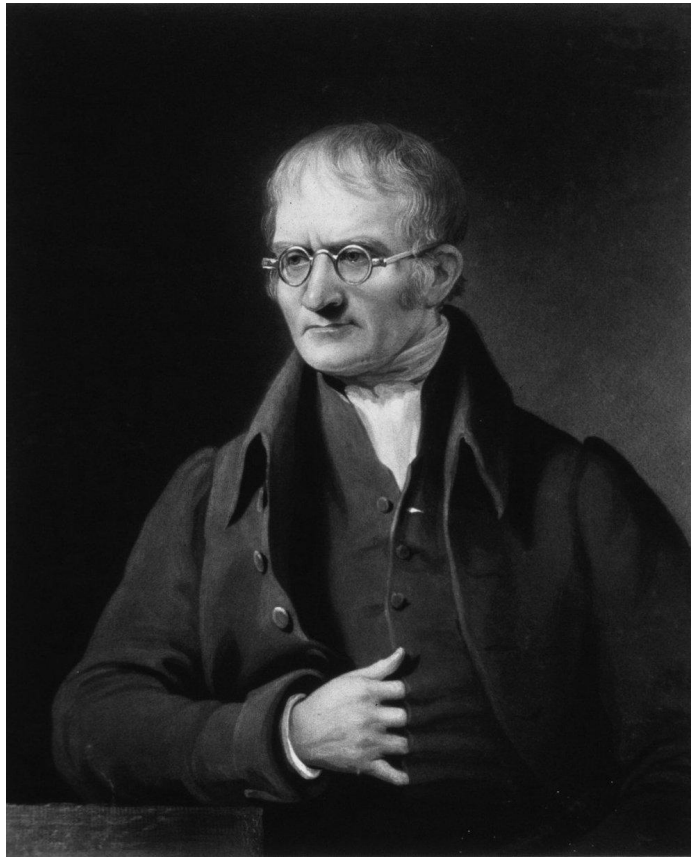


Voda

- 88,81 g kyslíka
- 11,19 g vodíka



+10g kyslíka



John Dalton,
1766 - 1844

Atomizmus chemikov

- Existencia atómov veľmi dobre vysvetľuje tieto tri empirické zákony chémie (1805):
 - Zákon zachovania hmotnosti.
 - Zákon stálych hmotnostných (zlučovacých) pomerov.
 - Zákon množných hmotnostných (násobných zlučovacých) pomerov.
- Prvý pôsobí ako samozrejmosť, ale v čase jeho objavu to tak nebolo
- Druhý zákon hovorí to, že chemikálie sa pri reakciách nemôžu miešať ľubovoľne a ak pridáme jednu, musíme **v patričnom pomere pridať aj ostatné.**

Atomizmus chemikov

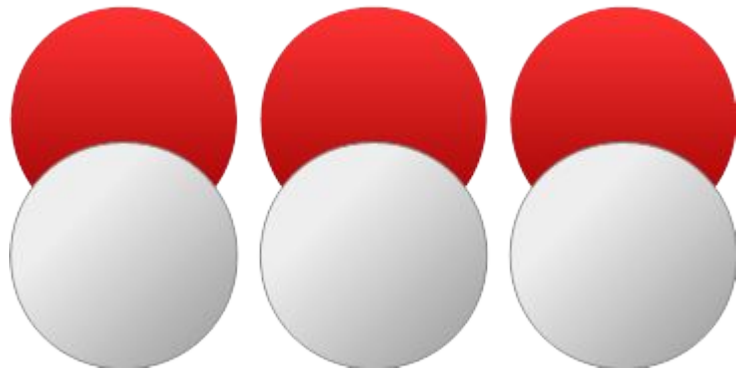
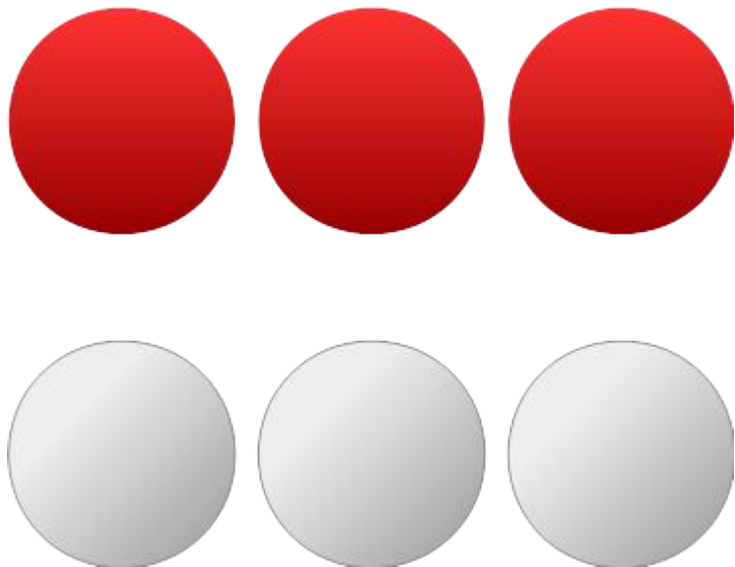
- Ak dva prvky vedia reagovať viac ako jedným spôsobom, potom pomery hmotností prvkov v reakciách sú v pomeroch **malých celých čísel**.
- Napríklad kyslík a vodík
 - 88,81 g kyslík + 11,19 g vodík = 100g voda
 - 94,07 g kyslík + 5,93 g vodík = 100 g peroxid vodíka
- Ak vydělíme tieto dve čísla, dostaneme dvakrát väčšie číslo ako v prípade vzniku vody.

$$\frac{88,81g}{11,19g} / \frac{94,07g}{5,93g} = \frac{1}{2}$$

- Pre iné prvky to nemusí byť dva, ale vždy takto dostaneme rozumný zlomok.

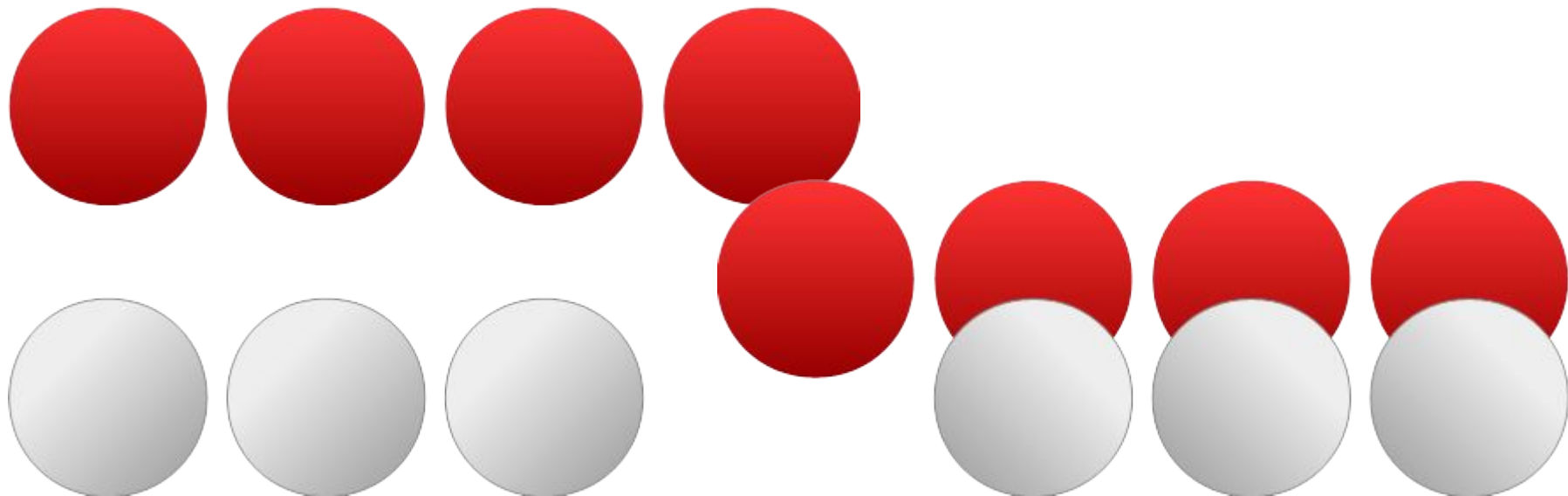
Atomizmus chemikov

- Atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako, v chemických reakciách sa nemenia, len sa podľa istých pravidiel rôzne viažu do molekúl.



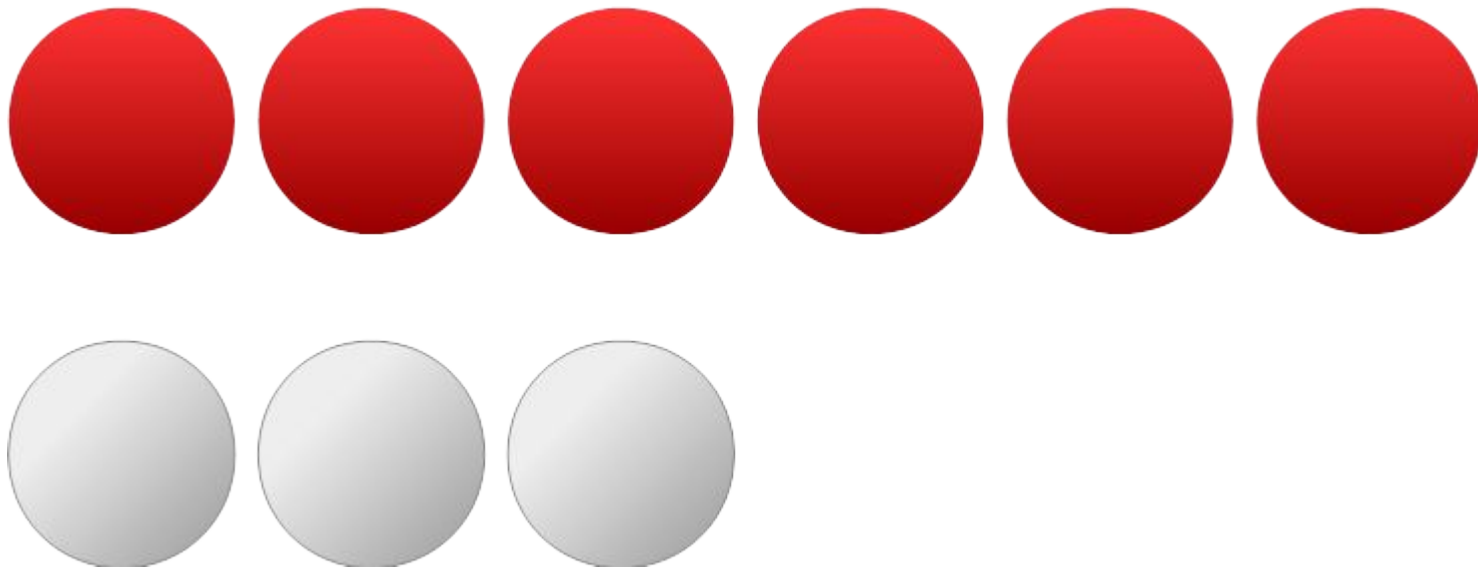
Atomizmus chemikov

- Atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako, v chemických reakciách sa nemenia, len sa podľa istých pravidiel rôzne viažu do molekúl.



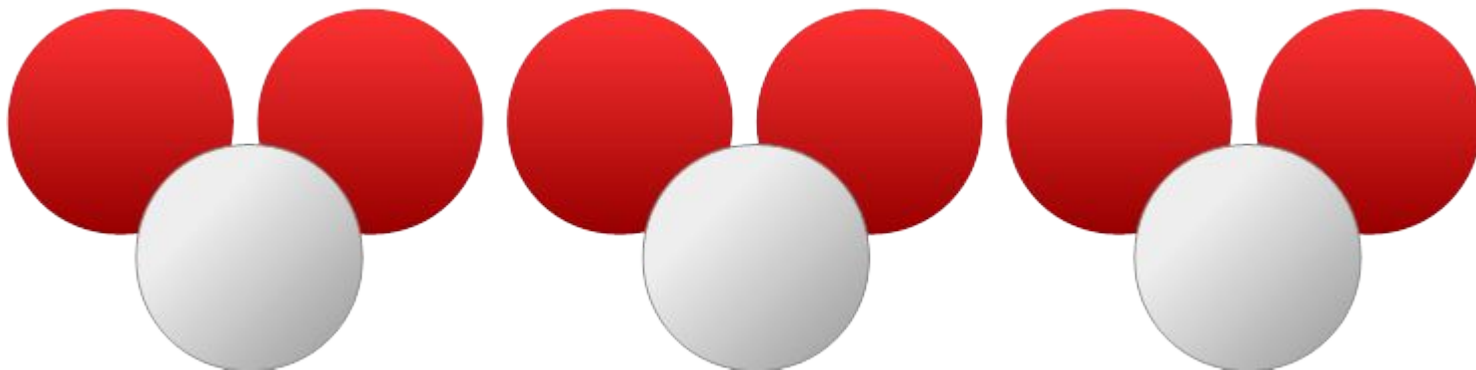
Atomizmus chemikov

- Atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako, v chemických reakciách sa nemenia, len sa podľa istých pravidiel rôzne viažu do molekúl.



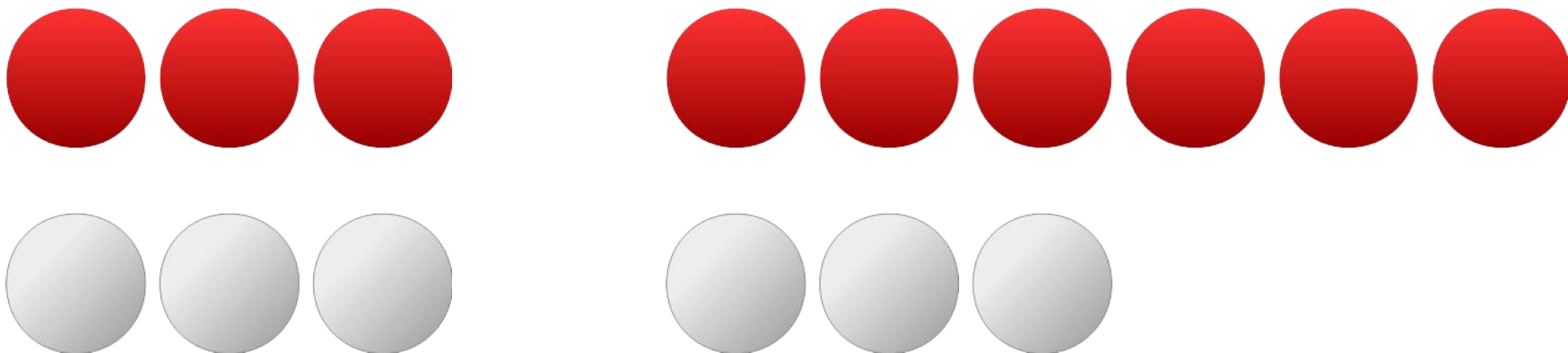
Atomizmus chemikov

- Atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako, v chemických reakciách sa nemenia, len sa podľa istých pravidiel rôzne viažu do molekúl.



Atomizmus chemikov

- Atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako, v chemických reakciách sa nemenia, len sa podľa istých pravidiel rôzne viažu do molekúl.



$$\frac{88,81g}{11,19g} / \frac{94,07g}{5,93g} = \frac{1}{2}$$

Atomizmus chemikov

- Takto ale dostávame

kyslík + vodík → voda

2 kyslík + vodík → peroxid vodíka

- Vieme, že to je

kyslík + 2 vodík → 2 voda

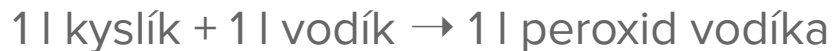
kyslík + vodík → peroxid vodíka



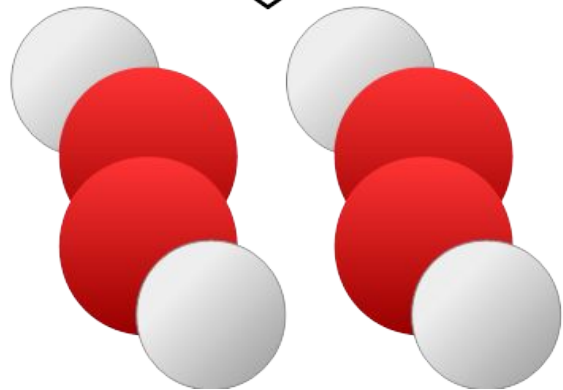
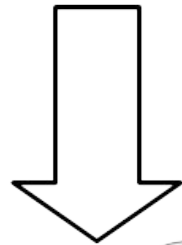
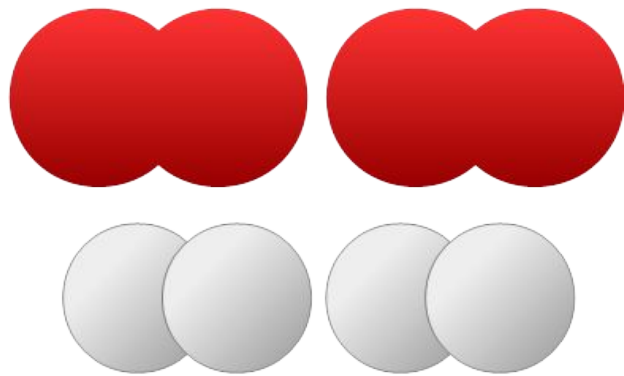
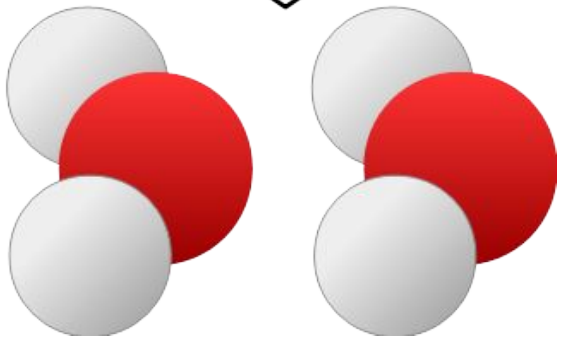
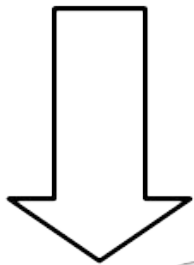
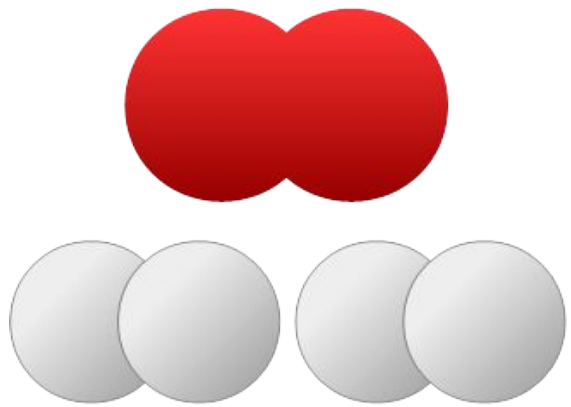
Joseph Louis Gay-Lussac,
1778 - 1850

Atomizmus chemikov

- Ak máme dočinenia s plynmi a pozeráme sa na **objemy**, objavia sa **pomery malých celých čísel**.



- Riešenie: rovnaký objem plynu obsahuje rovnaký počet častíc bez ohľadu na ich hmotnosť.



Atomizmus chemikov

- Určenie relatívnych atómových hmotností je komplikovaná hádanka, v ktorej treba robiť predpoklady o atómovom obsahu jednotlivých zlúčenín a testovať konzistentnosť všetkých známych reakcií.
- Tak sa dajú určiť relatívne atómové hmotnosti prvkov a táto snaha viedla k Mendelejevovej periodickej tabuľke (1869).
- Atómová hypotéza bola silná vo vysvetlení známych procesov, ale nepriniesla žiadne nové predpovede a zostala na úrovni užitočného pracovného nástroja.
- Existencia atómov ako reálnych objektov nebola univerzálne prijatá.

**Existencia atómov by
vysvetl'ovala
štruktúru
chemických reakcií.**

Atomizmus fyzikov

Atomizmus fyzikov

- Aj vo fyzike sú makroskopické procesy, ktorými atómy nepriamo prezrádzajú svoju existenciu.
- Najvýraznejšie **pri plynoch** a mnohé vlastnosti plynov sa dajú jednoducho vysvetliť predpokladom, že sa skladajú z maličkých častíc.
- Tlak vzniká pri odrazoch týchto častíc od stien nádoby, teplota súvisí s kinetickou energiou ich pohybu a podobne.



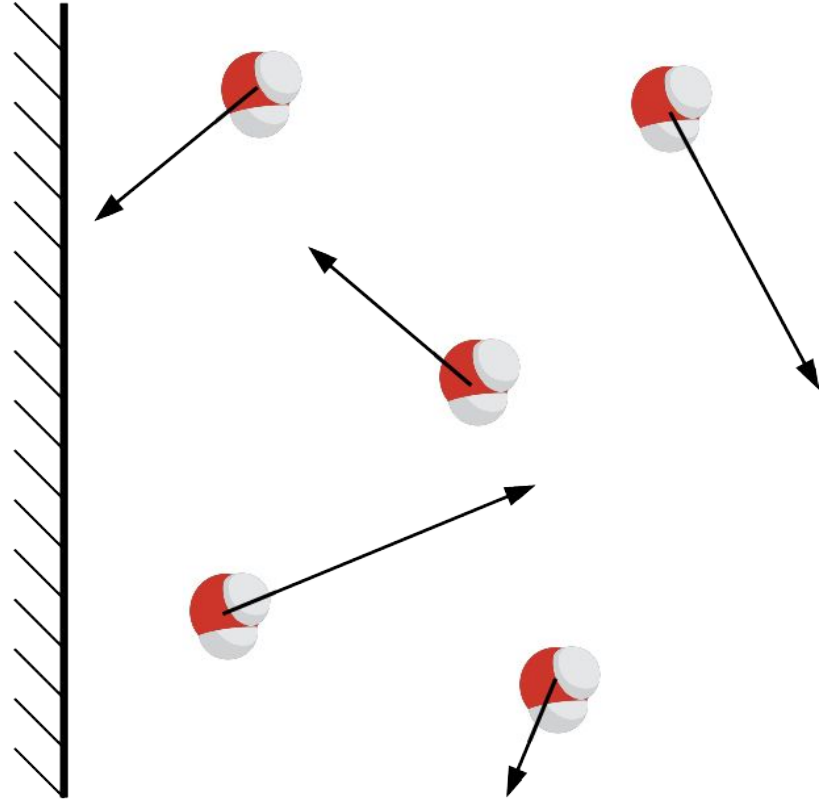
Daniel Bernoulli,
1700 - 1782

Atomizmus fyzikov

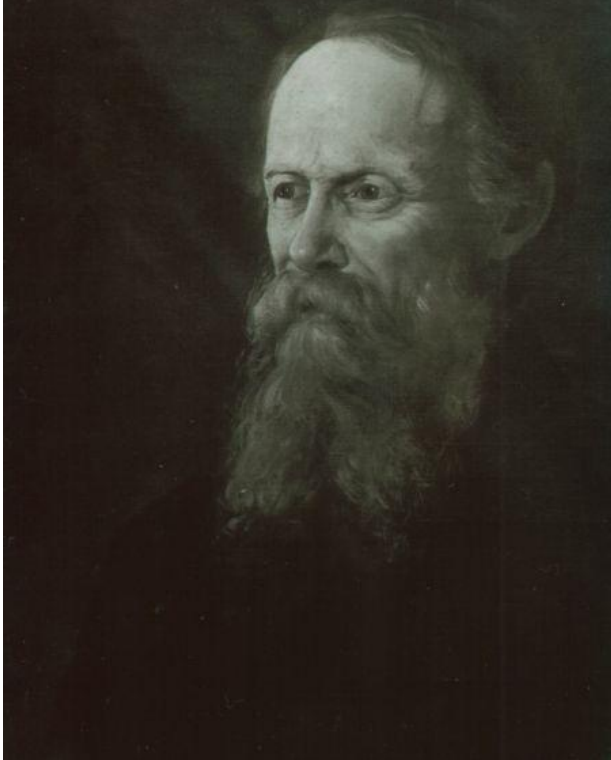
- V roku 1738 si to všimol švajčiarsky matematik Daniel Bernoulli, ale do polovice 19. storočia zostala táto myšlienka nepovšimnutá.
- Za znovuobjavením tejto myšlienky sú dôkazy proti alternatívnym vysvetleniam termodynamických dejov a čoraz väčšia popularita atómov medzi chemikmi.
- Okrem vzťahu medzi tlakom, teplotou a objemom popísali mnohé iné termodynamické a mechanické vlastnosti.
- Napríklad vnútorné trenie v plyne, viskozitu.

Atomizmus fyzikov

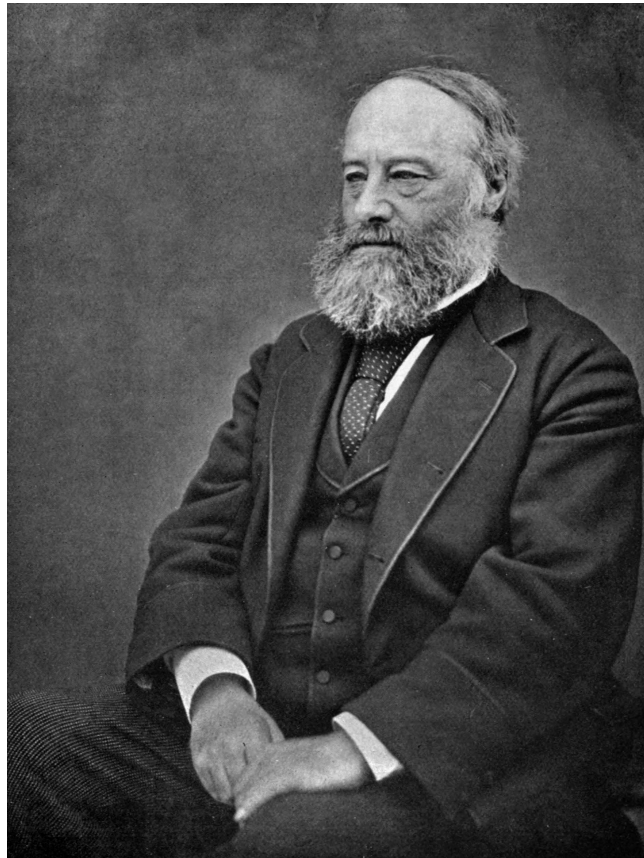
- Zo známej viskozity vzduchu sa prvýkrát podarilo odhadnúť veľkosť molekúl.
- Viskozitu spôsobujú zrážky medzi molekulami a frekvencia zrážok súvisí s tým, aké sú molekuly veľké.
- Takto roku **1885** rakúsky fyzik a chemik Johann Loschmidt odhadol veľkosť molekúl vo vzduchu na **10^{-9} m.**



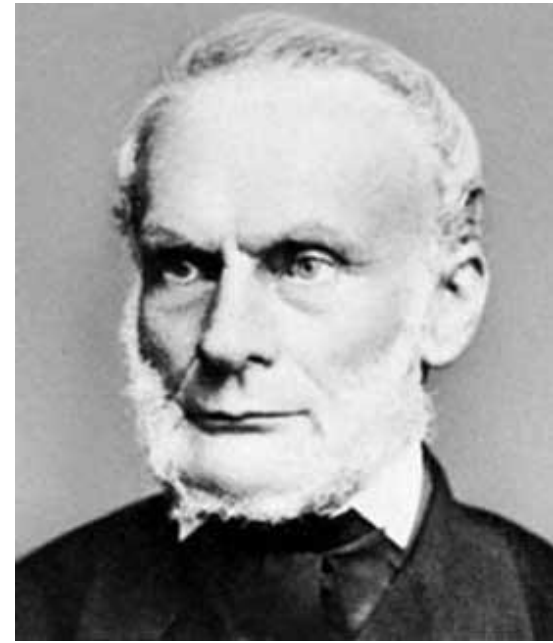
Josephus Loschmidt. Philos. Doctor. Physicae Professor
ordinarius publicus. Academiae Scientiarum Vindobonensis Socius.



Johann Josef Loschmidt,
1821 - 1895



James Prescott Joule,
1818 - 1889



Rudolf Clausius,
1822 - 1888

Atomizmus fyzikov

- V druhej polovici 19. storočia sa množstvo vedcov podujalo postupne odvodiť makroskopické vlastnosti látok z hypotézy, že sa skladajú z atómov.
- Túto snahu nazývame **štatistická fyzika**.
- Je založená na tom, že polohy a rýchlosti všetkých molekúl nemôžeme poznať, lebo ich je ohromne veľa. To však **ani nepotrebujeme**, lebo stav látky je určený iba niekoľkými veličinami.



Ludwig Eduard Boltzmann,
1844 - 1906



James Clerk Maxwell,
1831 - 1879

**Z atómovej hypotézy
dovtedy nič nevyplývalo,
existencia atómov vecí
iba vysvetľovala spätne,
ale nič nepredpovedala.**

Brownov pohyb

Brownov pohyb

- Pohyb veľmi malých častíc na hladine kvapaliny pozorovaný pod mikroskopom, pri ktorom **častice rýchlo a chaoticky poskakujú**.
- Prvýkrát to boli častice uhoľného prachu, ktoré pozoroval holandský lekár Jan Ingenhousz koncom 18. storočia
- Neskôr pozorovania zrníčok peľu anglickým botanikom Robertom Brownom z roku **1827**.



J.INGENHOUSZ.C.ET ARCHIAT.CÆS.
OB CAESAREAM PROLEM
INSITIONE VARIOLARUM SERVATAM

Jan Ingenhousz,
1730 - 1799



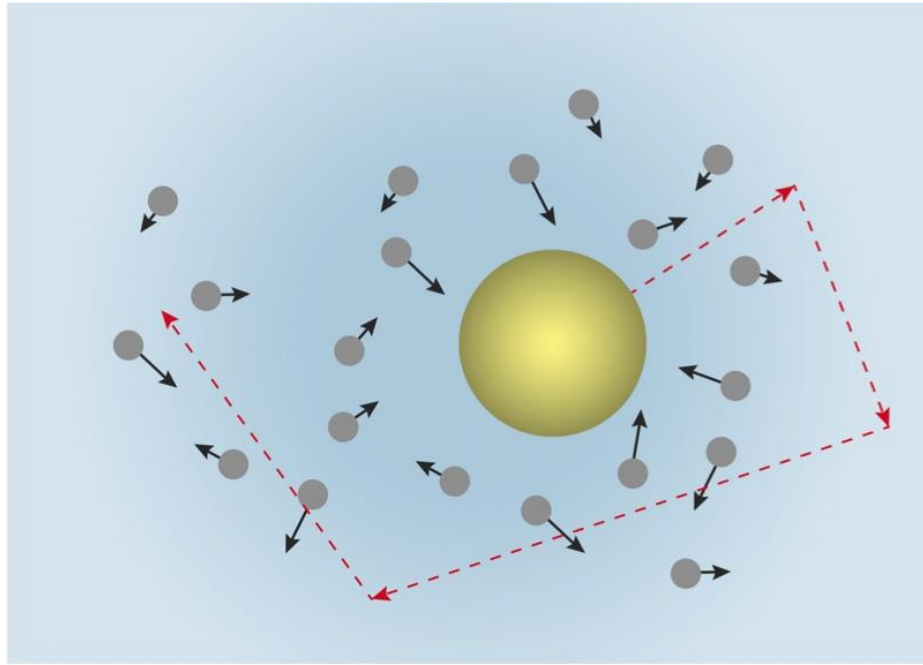
Robert Brown,
1773 - 1858



Albert Einstein,
1879 - 1955

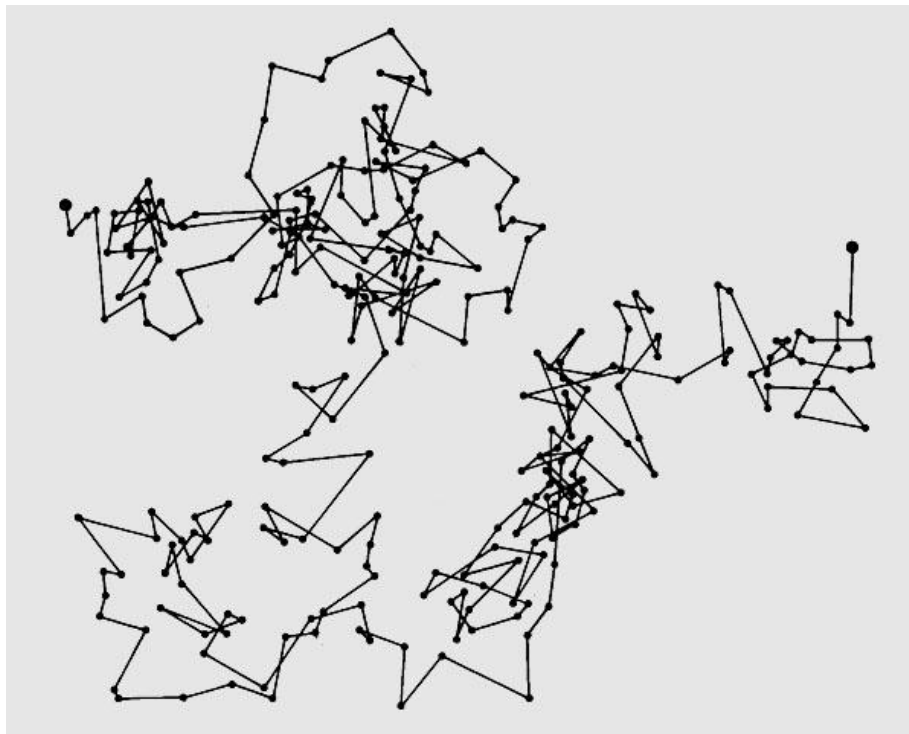
Brownov pohyb

- Idea je podobná ako pri tlaku plynu, ale pre malú a ľahkú časticu nebude efekt nárazov rovnovážny.



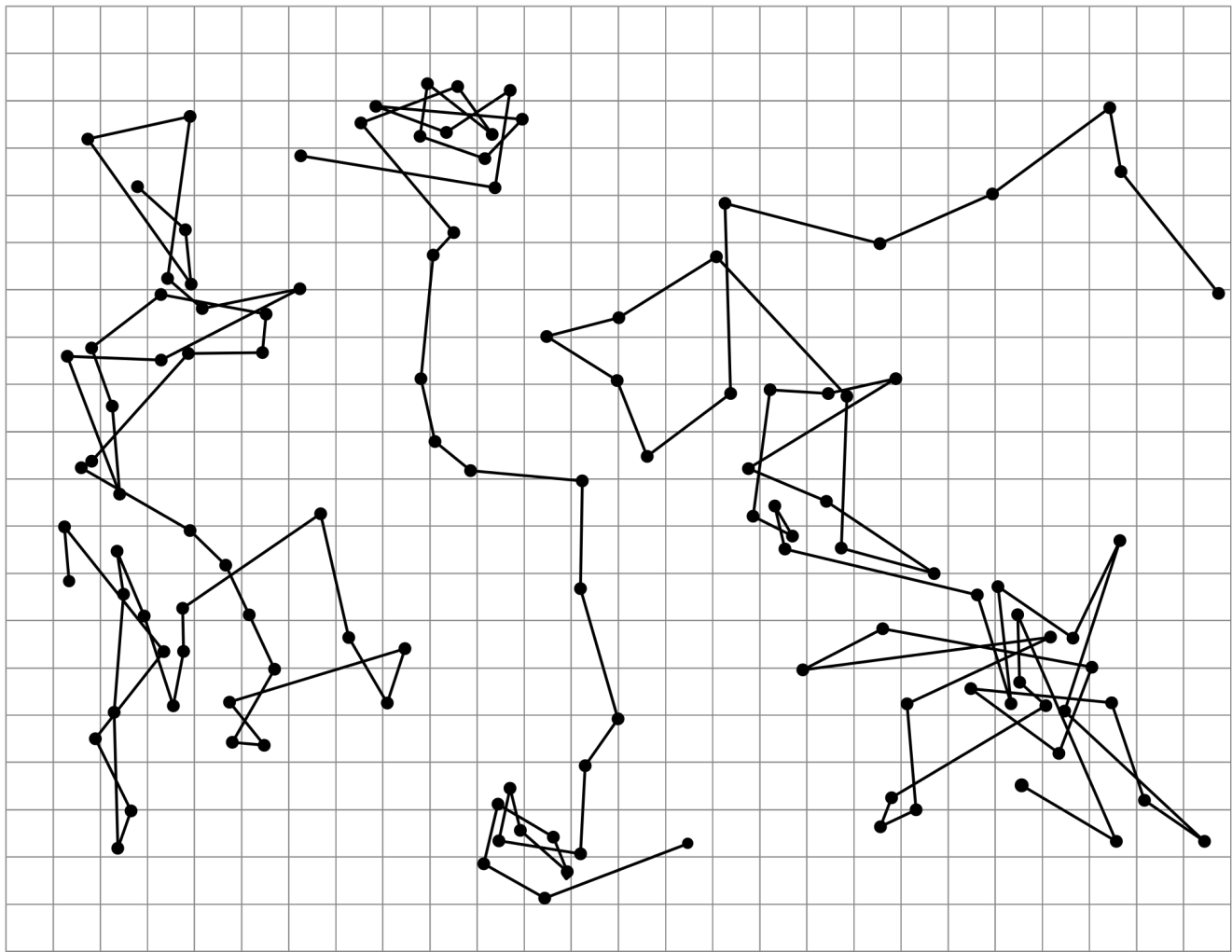
Brownov pohyb

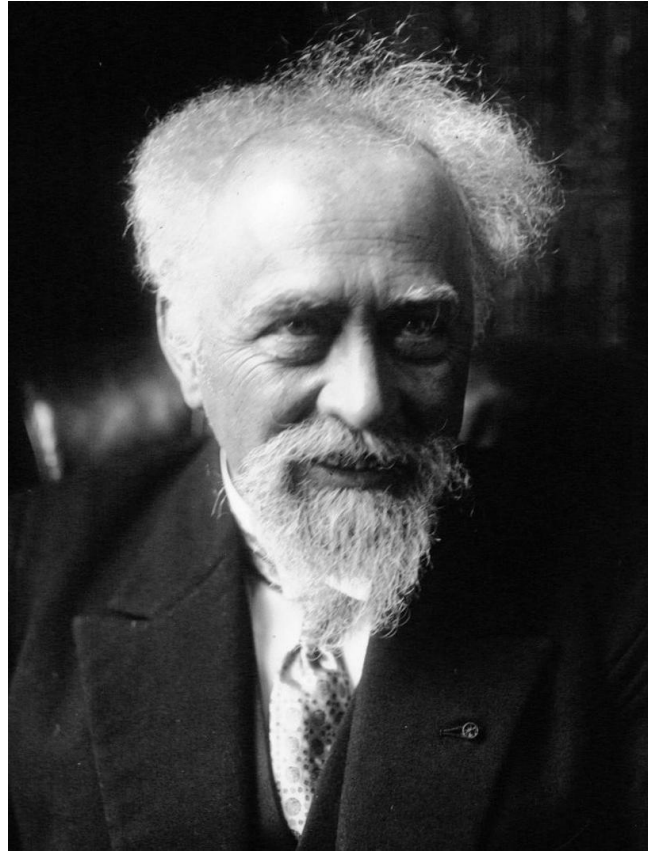
- Jej pohyb bude náhodný a neusporiadaný.



Brownov pohyb

- Einstein z predpokladov štatistickej fyziky a atómovej hypotézy v roku 1905 odvodil presný vzťah pre priemernú veľkosť kroku, ktorú za daný čas malá častica spraví.
- Predpoveď existencie atómov bola na svete.
- Píše: *"Ak bude tento pohyb pozorovaný ... bude možné presné určenie atomárnych veľkostí ... Ak sa ale predpovede tohto pohybu ukážu nesprávne, znamenalo by to silný argument proti molekulárno-kinetickej teórii tepla."*
- Po publikácii Einsteinovho článku sa podujalo overiť túto predpoveď niekoľko experimentátorov.





Jean Baptiste Perrin,
1870 - 1942

**Od roku 1908 bola
existencia atómov
všeobecne prijatá.**

Náznaky štruktúry v atómoch

Periodická tabuľka

- Hmotnosti chemických prvkov nie sú ľubovoľné, ale sú **násobkom hmotnosti najľahšieho**, vodíka.
- Chemické vlastnosti sa medzi prvkami **periodicky menia**.
- To je bez hlbšej štruktúry vo vnútri atómov veľmi nepravdepodobné.
- Predstava o zatiaľ neobjavenej štruktúre vo vnútri atómov. Ako prvý si to krátko po svojom objave všimol Mendelejev.

SKUPINA I. A

PERIODICKÁ SÚSTAVA CHEMICKÝCH PRVKOV



VIII. A

1	H 1,008 1,1
2	Li 6,941 1,0
3	Na 22,990 0,9
4	K 39,098 1,9
5	Rb 85,468 0,8
6	Cs 132,905 0,7
7	Fr (223,020) 0,7

II. A	He 4,003 2,1
	Be 9,012 2,1,5
	Mg 24,305 1,2
	Ca 40,078 1,3
	Sr 87,62 1,0
	Ba 137,327 0,9
	Ra (226,025) 0,9



III. A	B 10,811 2,0	IV. A	C 12,011 2,5	V. A	N 14,007 3,0	VI. A	O 16,000 3,5	VII. A	F 18,999 4,0	VIII. A	Ne 20,180 10
	Al 26,982 3		Si 28,086 4,4		P 30,973 3,5		S 32,065 2,1,2		Cl 35,453 3,5,6,7		Ar 39,948 18
	Ga 69,723 3		Ge 72,610 4,4		As 74,922 2,1,2		Se 78,96 2,4,6		Br 79,904 2,4,6		Kr 83,80 3,6
	In 114,820 1,3		Sn 118,710 2,4		Sb 121,750 3,5		Te 127,60 2,4,6		I 126,905 2,5		Xe 131,290 2,4,6
	Tl 204,383 1,3		Pb 207,200 2,4		Bi 208,980 3,5		Po (209,967) 2,4,6		At (210,987) 2,4,6		Rn (222,018) 2

PERIÓDA

PERIÓDA

6	Ce 140,115 3,4	Pr 140,908 3,4	Nd 144,240 3	Pm (146,915) 3,1,2	Sm 150,360 2,3	Eu 151,965 2,3	Gd 157,250 3,1,1	Tb 158,925 3,4	Dy 162,500 3,1,2	Ho 164,930 3	Er 167,260 3,2	Tm 168,934 2,3	Yb 173,040 2,3	Lu 174,967 1,1
7	Th 232,038 4	Pa (231,036) 4,5	U 238,029 3,4,5,6	Np (237,048) 3,4,5,6,7	Pu (244,064) 3,4,5,6	Am (243,061) 3,4,5,6	Cm (247,070) 3,4	Bk (247,070) 3,4	Cf (251,080) 2,3,4	Es (252,083) 2,3	Fm (257,095) 2,3	Md (258,099) 2,3	No (259,101) 2,3	Lr (260,105) 3

LANTANOIDY
AKTINOIDY

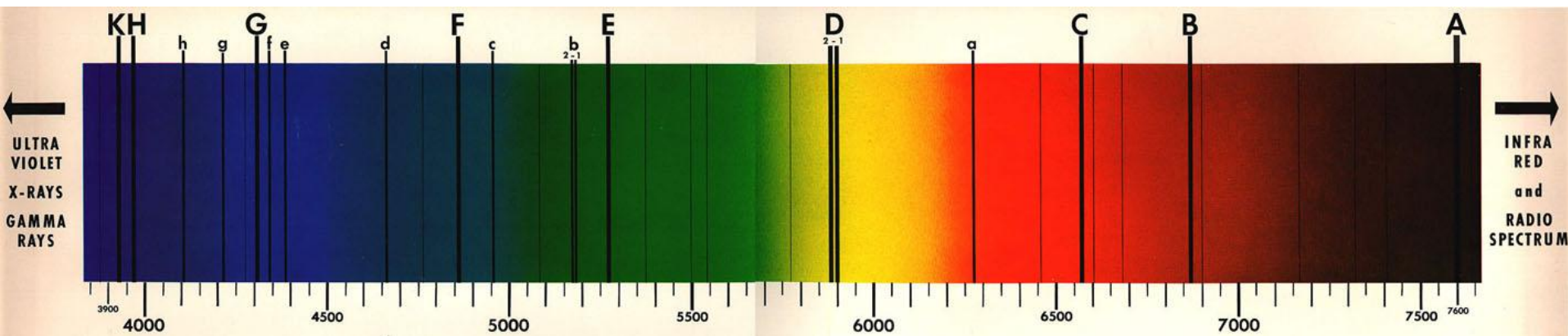
SLOVENSKÝ NÁZOV
LATINSKÝ NÁZOV
RELATIVNÁ ATOMOVÁ HMOTNOSŤ
ZNAČKA PRVKU
PROTONOVÉ ČÍSLO
PAULINGOVA ELEKTRONEGATIVITA
OXIDAČNÉ ČÍSLA

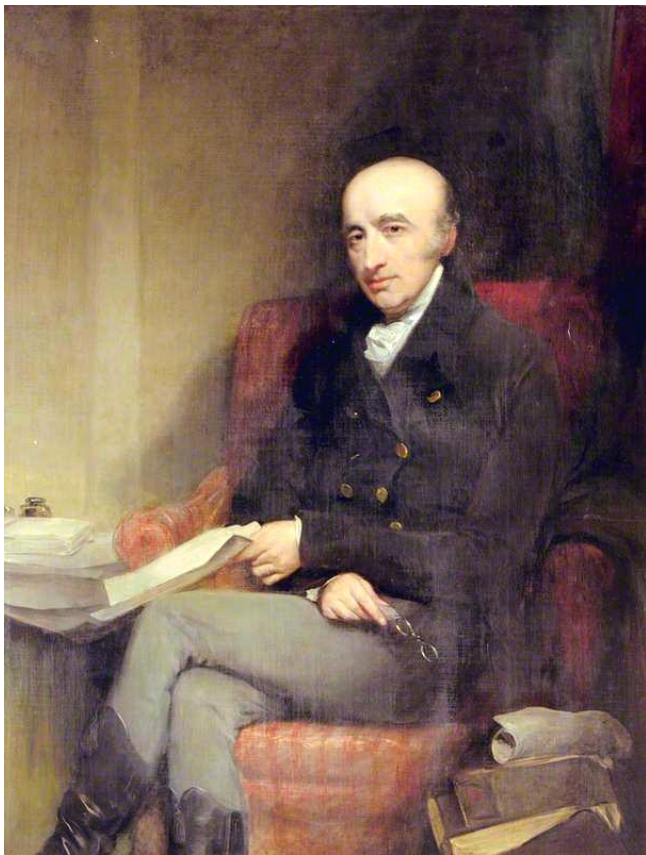
H 1,008 1,1

Odporúčajú Ministerstvom školstva SR ako učebnú pomôcku pod číslom 4087/95-155.

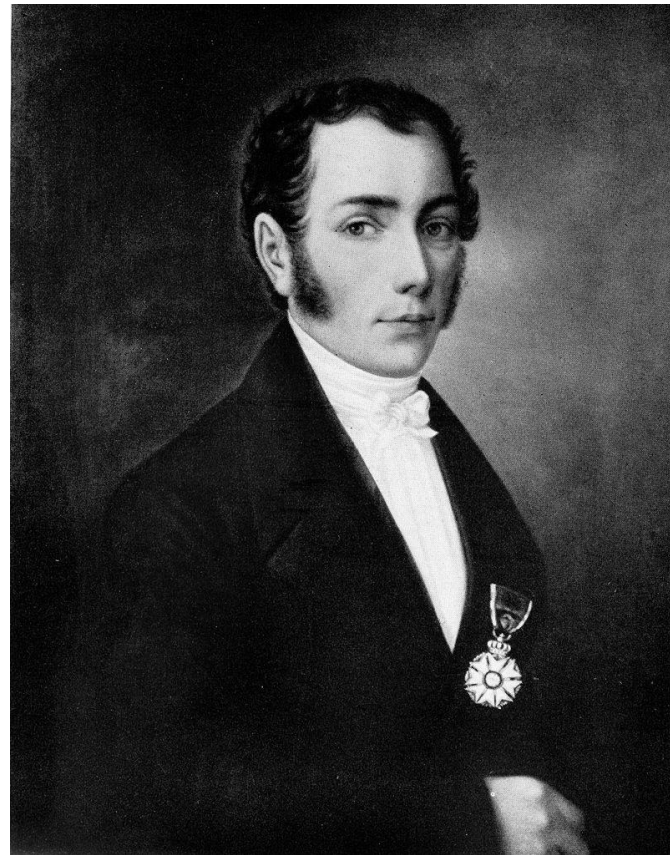
Spektrá prvkov

- V roku 1802 si anglický chemik William Wollaston všimol, že **slnéčné spektrum má medzery**.
- Tie neskôr dôkladne študoval bavorský fyzik Joseph von Fraunhofer.





William Wollaston,
(1766 – 1828)



Joseph von Fraunhofer,
(1787 – 1826)



Hydrogen



Sodium



Helium



Neon



Mercury

Spekrá prvkov

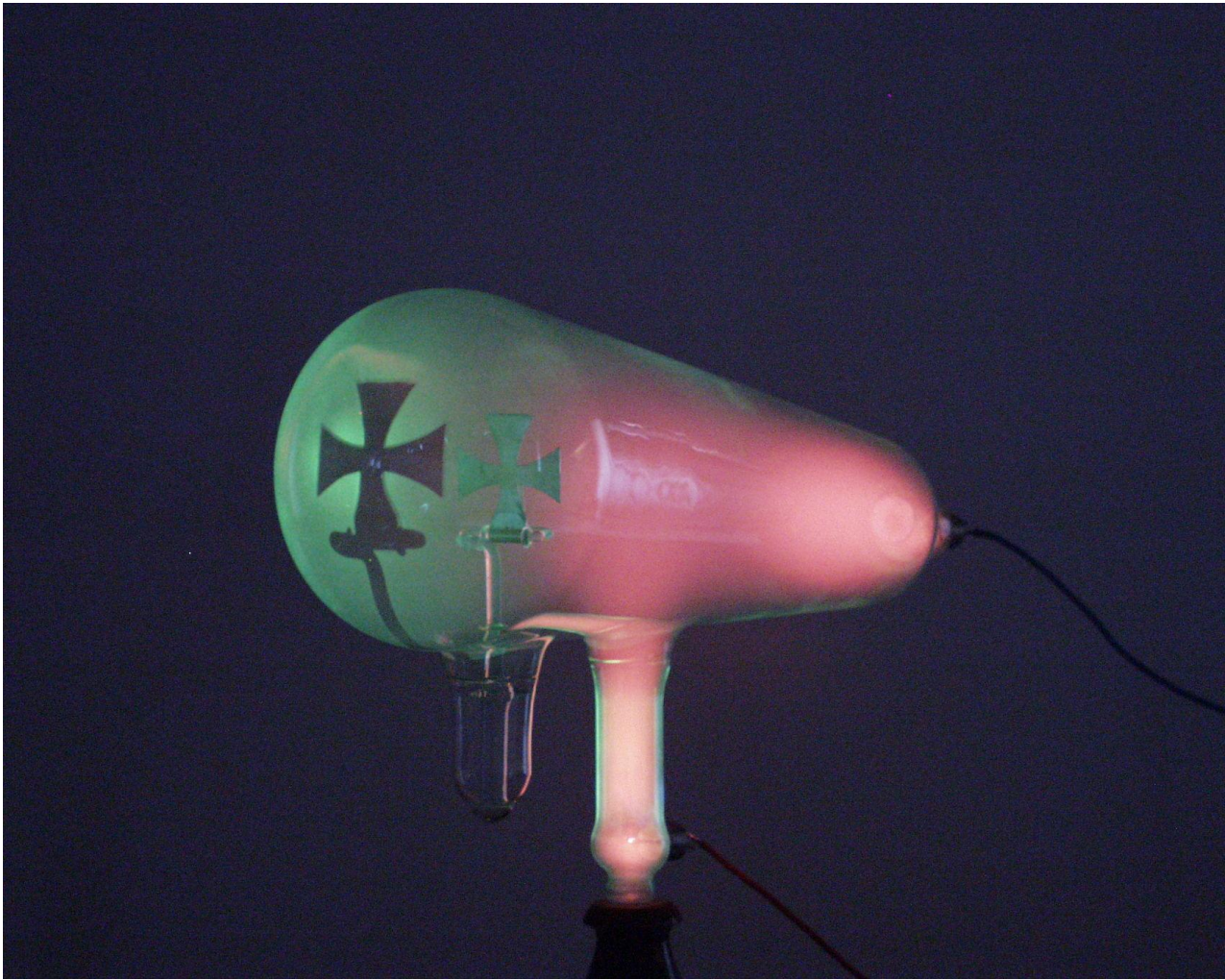
- Ak do ohňa kahana vložíme chemikáliu, vo vzniknutom svetle sa na niektorých miestach **podobné čiary začnú objavovať**.
- A niektoré zodpovedajú medzerám v slnečnom svetle.
- V roku **1885** objavil v čiarach prekvapivú štruktúru.
- Charakterizovaná celými číslami.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$



Johann Balmer,
(1825 – 1898)

Katódové žiarenie



Katódové lúče

- Objavené v roku **1858**.
- V roku **1897** potvrdil, že ide o častice.
- Zo zakrivenia dráhy lúčov v magnetickom poli a z ohrievania sklenenej nádoby.
- Majú záporný náboj a hmotnosť takmer 2000-krát **menšiu ako atóm vodíka**.

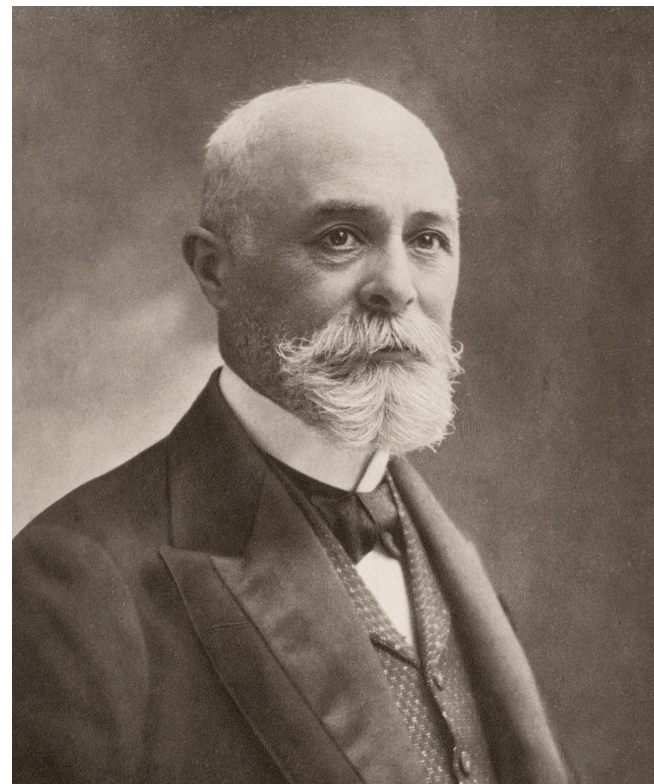


J. J. Thomson,
(1856 – 1940)

Rádioaktivita

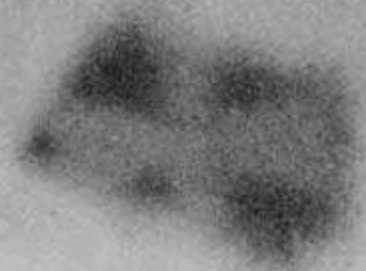
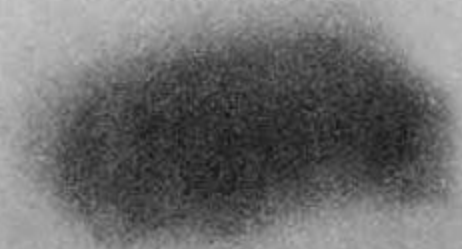
Rádioaktivita

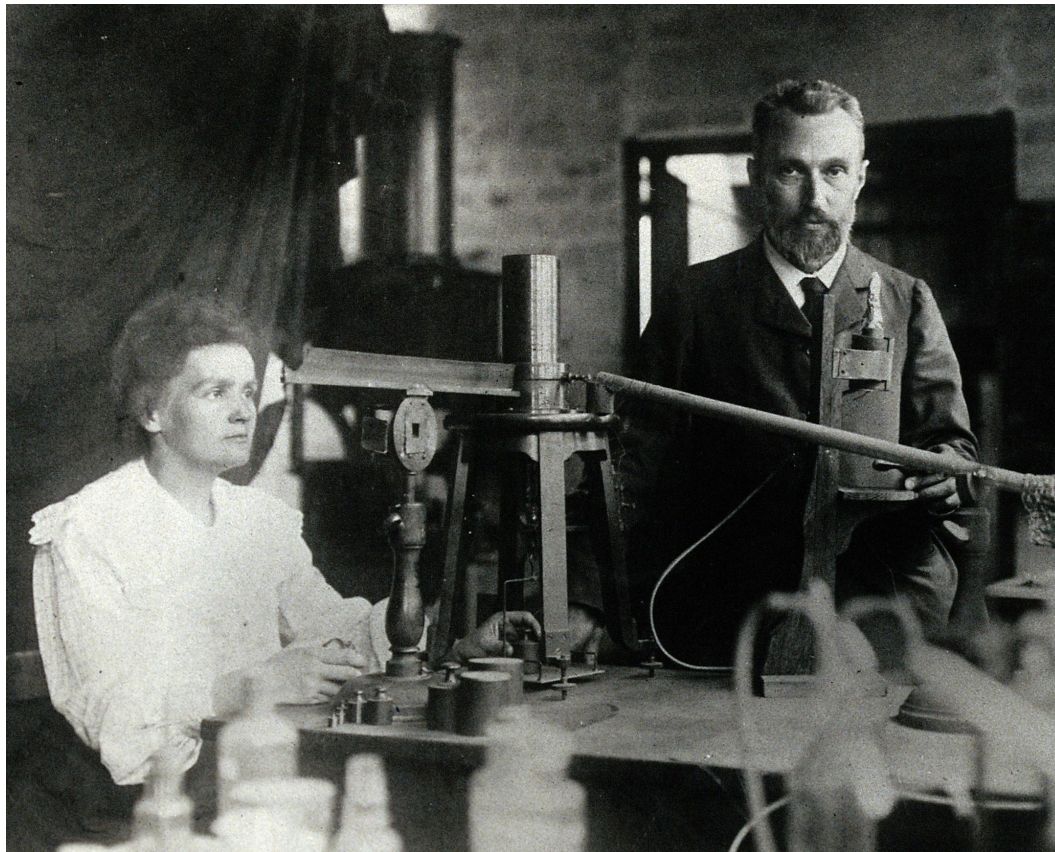
- Prvý subatomárny proces.
- Objav bol trochu náhodný.



Henri Becquerel,
(1852 – 1908)

60 - 1000 90.
Papier noir. Couvr. de laiton lustré.
Exposé au soleil le 27. et à la lune diffuse le 26. -
Détaché le 15 mars.



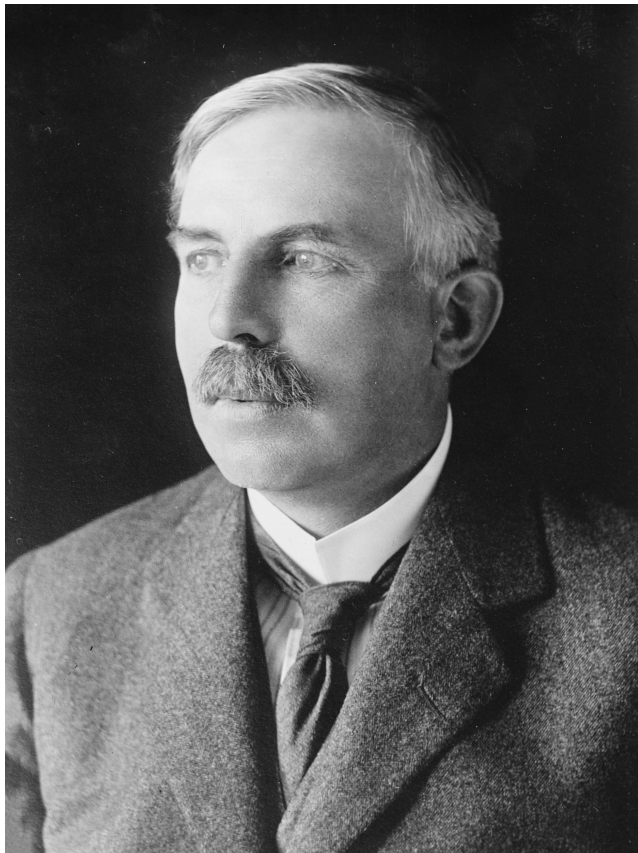


Maria Skłodowska Curie,
1867 - 1934

Pierre Curie,
1859 - 1906

Rádioaktivita

- Curieovci objavili rádioaktivitu tória a dva úplne nové prvky, rádium a polónium.
- Pri rádioaktivite vylietavajú z atómov tri rôzne druhy žiarenia, dostali meno alfa, beta a gama.
- V roku 1900 Becquerel, častice beta sú rovnaké, ako častice katódového žiarenia.
- V roku 1909 Ernest Rutherford, častice alfa sú jadrá hélia.
- Častice gamma na svoju identifikáciu ako vysokoenergetické fotóny čakali do roku 1914.



Ernest Rutherford,
1871 - 1937



Frederick Soddy,
1877 - 1956

Rádioaktivita

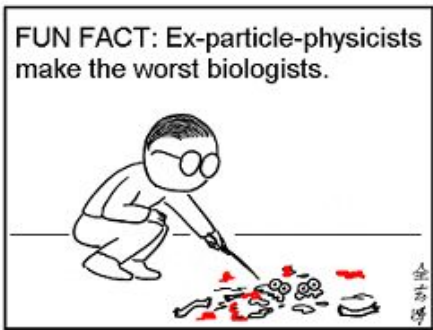
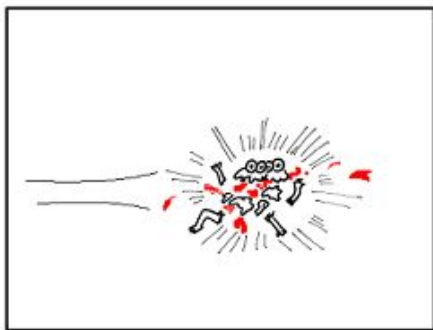
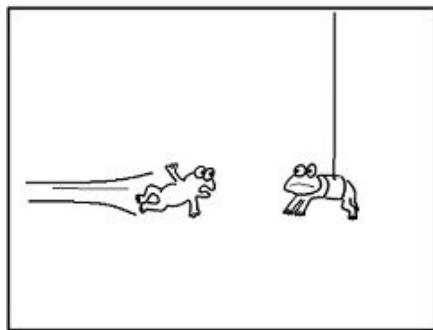
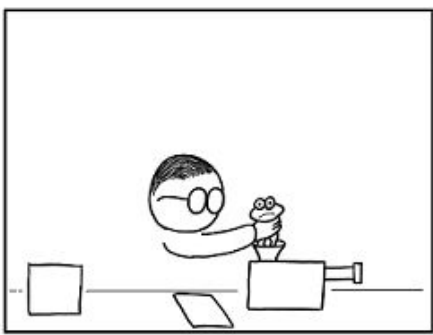
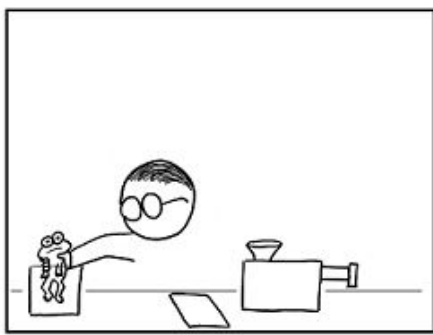
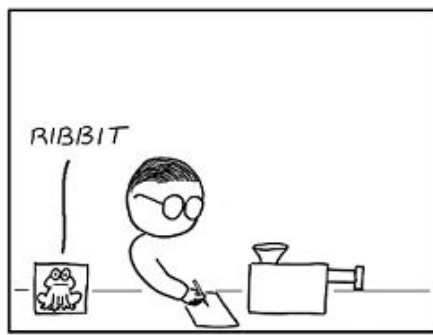
- v roku 1903 Rutherford a Soddy dokázali, že pri rádioaktivite dochádza k zmene chemických prvkov na iné a že pozorované žiarenie je výsledkom tejto premeny.
- Nobelova cena za chémiu v roku 1908.
- V debate chemikov s alchymistami mali pravdu **alchymisti**.

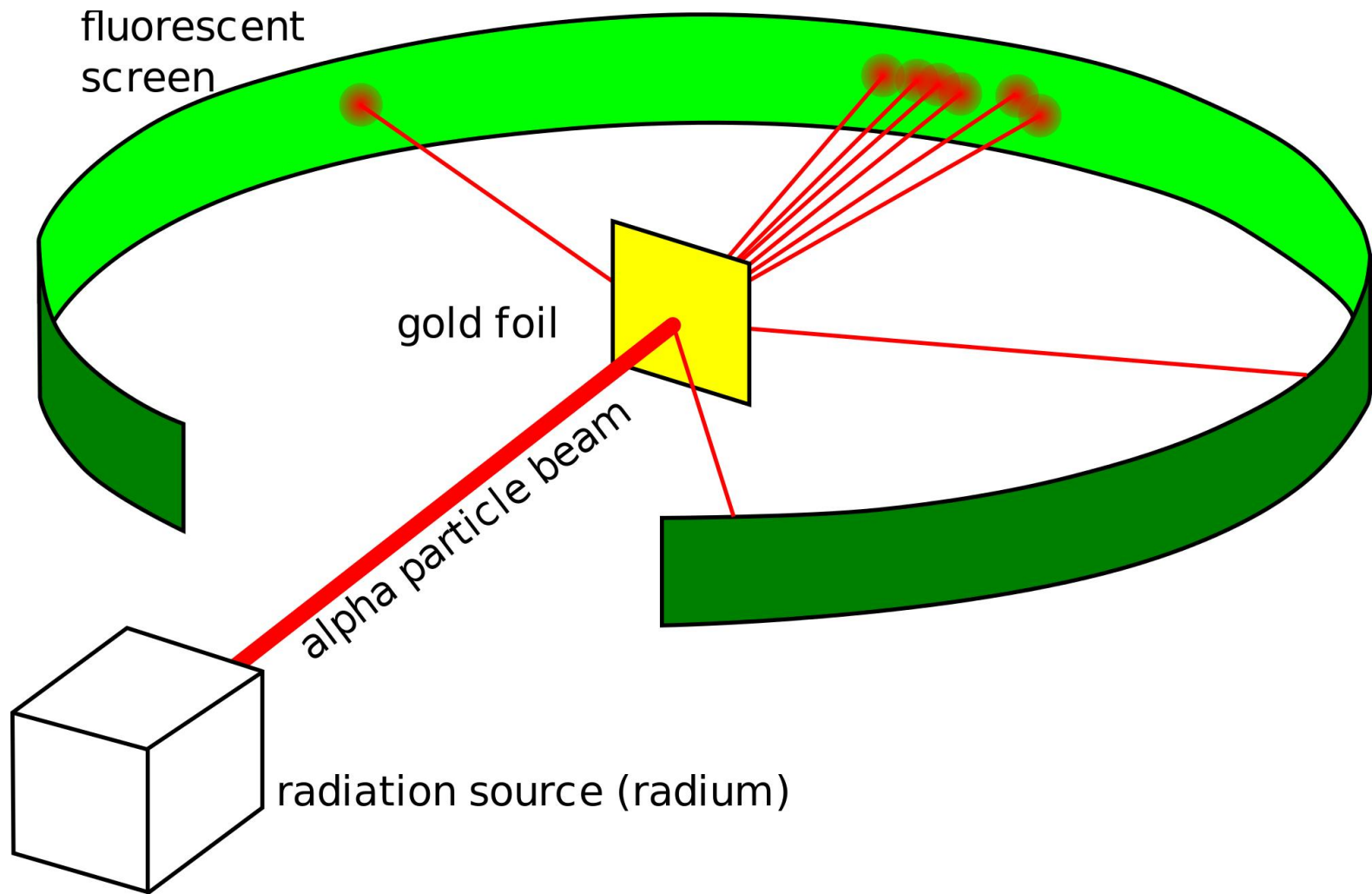
**Na začiatku
dvadsiateho
storočia teda
bolo jasné, že v
atómoch sa toho
môže veľa diať.**

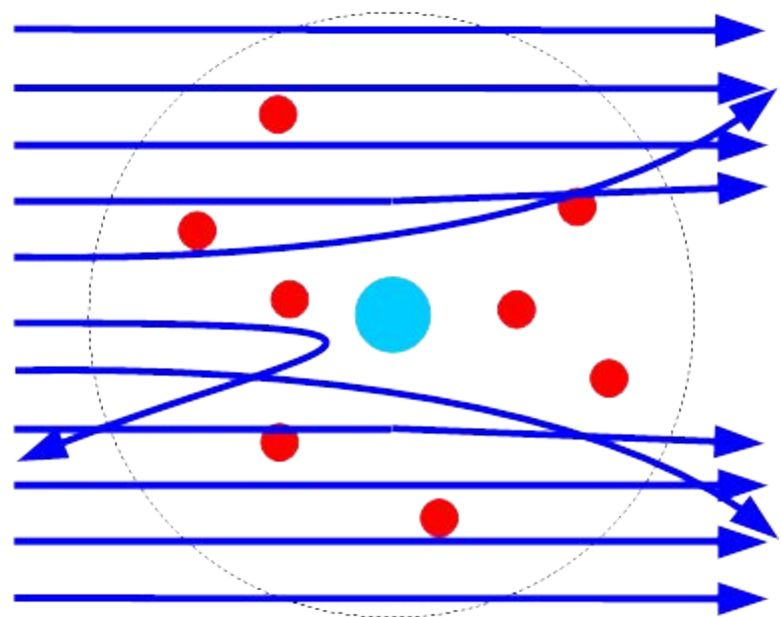
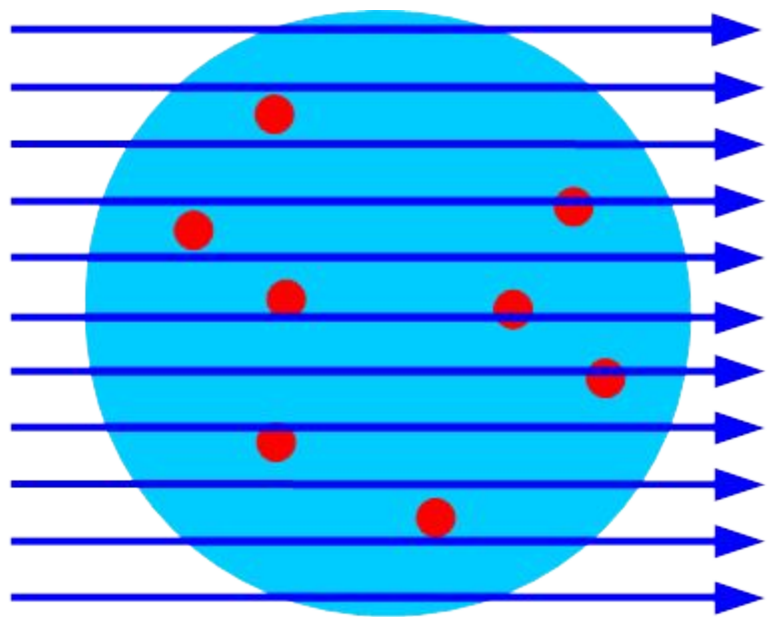
Objav jadra

Objav jadra

- Opäť Rutherford.
- V roku 1909 začal spolu so svojimi spolupracovníkmi študovať vlastnosti atómov bombardovaním veľmi tenúčkovej fólie zlata časticami alfa.
- Ak sa totiž pozrieť dovnútra atómu, potreboval niečo dostatočne malé a rýchle namieriť na atóm a sledovať, čo sa stane.
- Na podobnom princípe fungujú časticové experimenty dodnes.







Objav jadra

- To bolo v roku 1911.
- Bol to jeden z najprevratnejších objavov v dejnách vedy.
- Málo kedy sa stane, že jediný experiment takto významne zmení naše chápanie prírody.
- Všetci vedci, ktorých sme doteraz spomínali, boli zástancami atómovej hypotézy a mnohé zo svojich úspešných objavov urobili vďaka tomu, že správne predpokladali, že **hmota sa skladá z maličkých častíc**. Vedci, ktorí študovali tie isté javy, ale atómovej hypotéze neverili, boli odsúdení na neúspech.

**Atóm je väčšinou
prázdny priestor.**

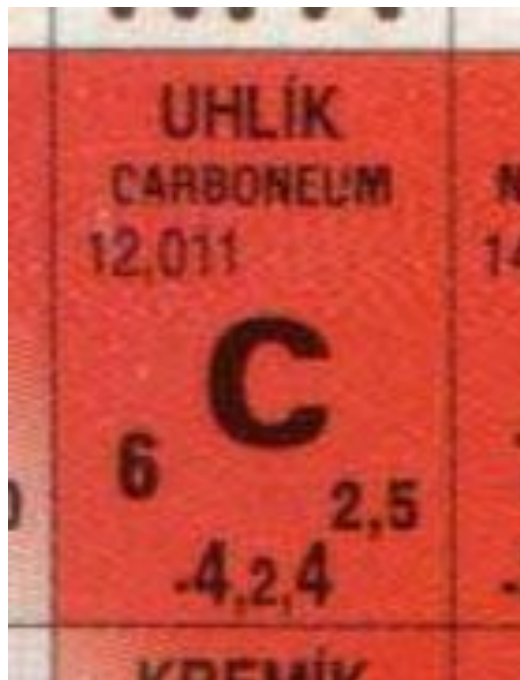
Štruktúra jadra

Štruktúra jadra

- Oprášila sa stará hypotéza, že **ťažšie prvky sa skladajú z vodíka**. Nie však na úrovni atómov, ale na úrovni jadier.
- V roku **1917** opäť Rutherford. Pri bombardovaní časticami alfa môžu z niektorých látok, napríklad z dusíka vo vzduchu, vylietať vodíkové jadrá.
- Po sto rokoch dostalo jadro vodíka štatút elementárnej častice a meno **protón**.
- V roku **1913** Soddy a jeho objav izotopov. Niektoré atómy majú rovnaké chemické vlastnosti, ale rôzne fyzikálne vlastnosti.

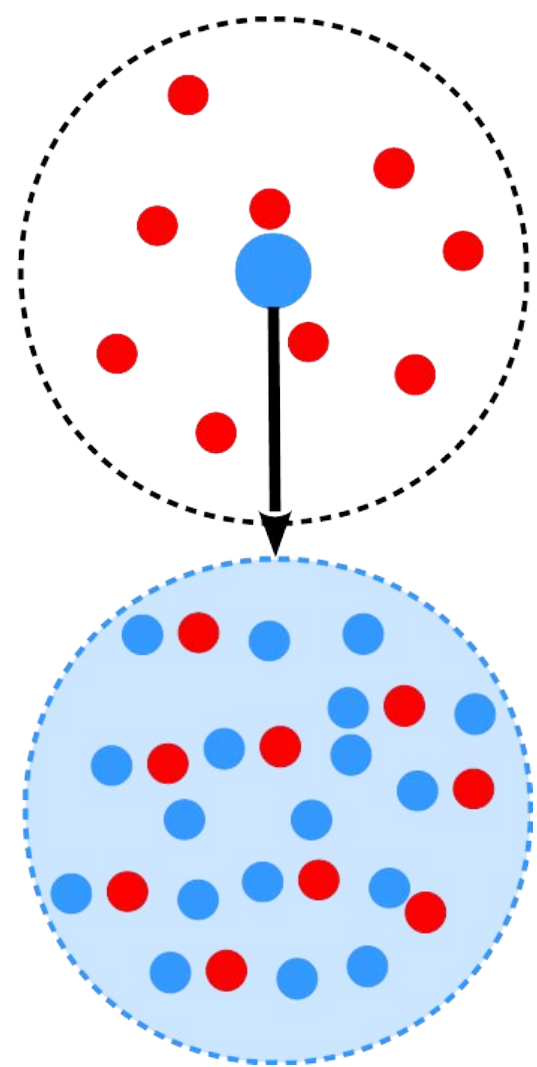
Štruktúra jadra

- Problém. Celkový náboj jadra je daný poradovým číslom prvku a nie jeho atómovou hmotnosťou.



Štruktúra jadra

- Riešenie - **nukleárne elektróny**.
- V spore so spektroskopickými meraniami.
- A so vznikajúcou kvantovou mechanikou - interakcia s elektrónmi v obale.



Neutróny

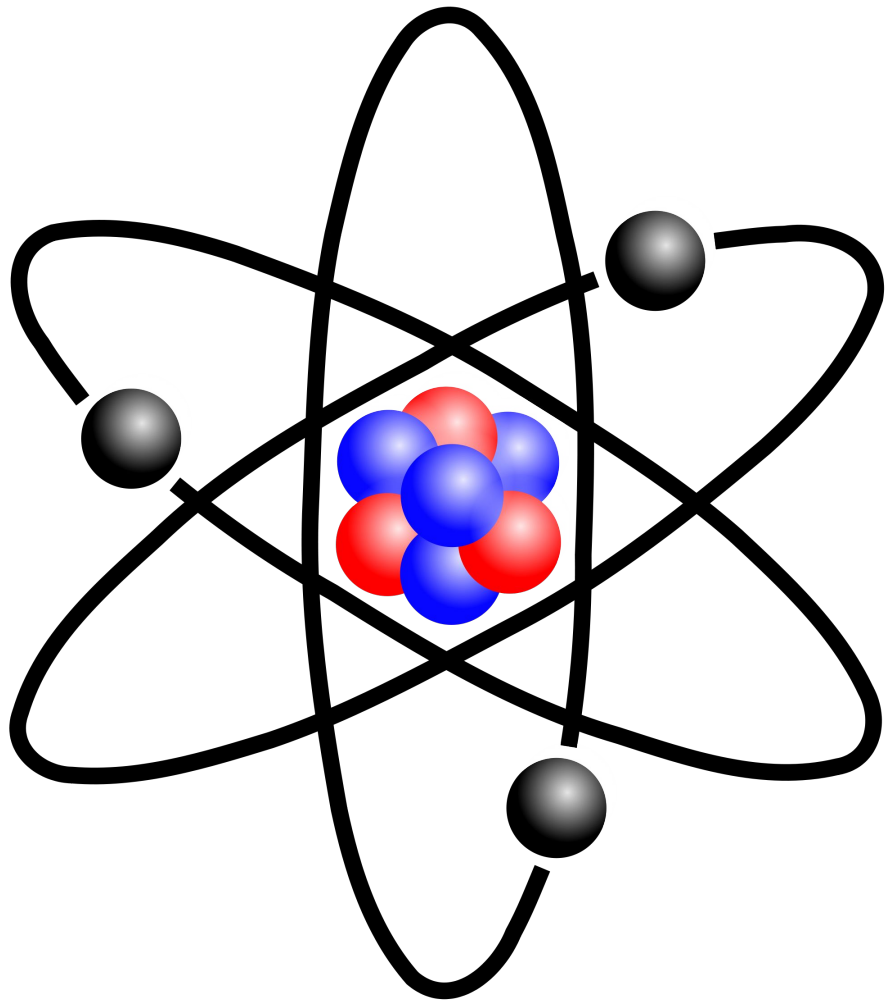
Neutróny

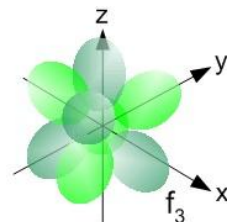
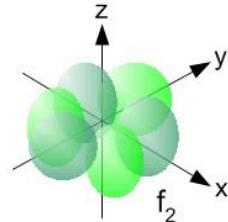
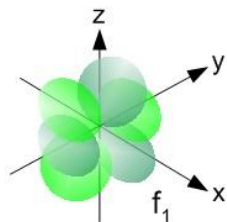
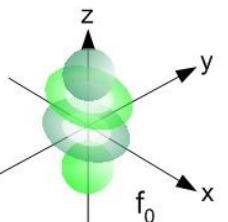
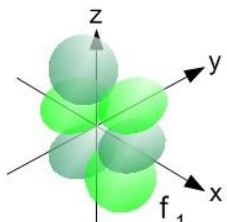
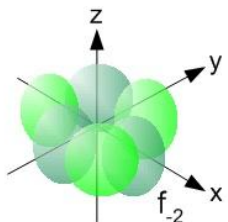
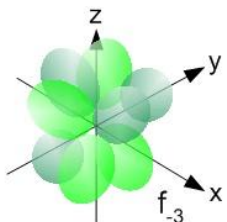
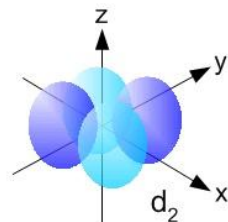
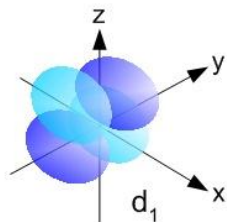
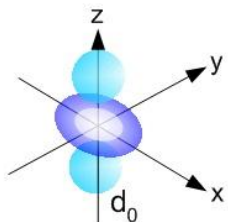
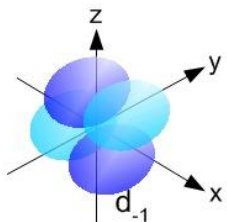
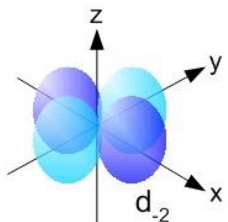
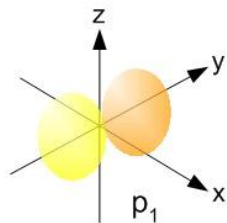
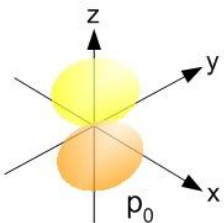
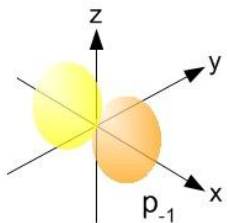
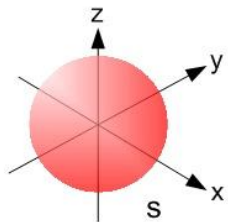
- K ich objavu tiež viedlo bombardovanie rôznych látok časticami alfa.
- Niektoré, okrem zvyčajného žiarenia gama a protónov, vyžarovali elektricky neutrálne žiarenie s prekvapivými vlastnosťami.
- Prvé pozorovania v roku 1930, že nejde o žiarenie gama dokázal v roku 1932 britský fyzik James Chadwick.
- Veľmi presným meraním hmotnosti častíc tohto žiarenia v roku 1935 Chadwick dokázal, že nemôže ísť ani o viazaný stav dvojice protón-elektrón.
- Ide o dovtedy **neznámu neutrálnu časticu**, ktorá dostala meno neutrón.



James Chadwick,
1891 - 1974

Kvantová mechanika

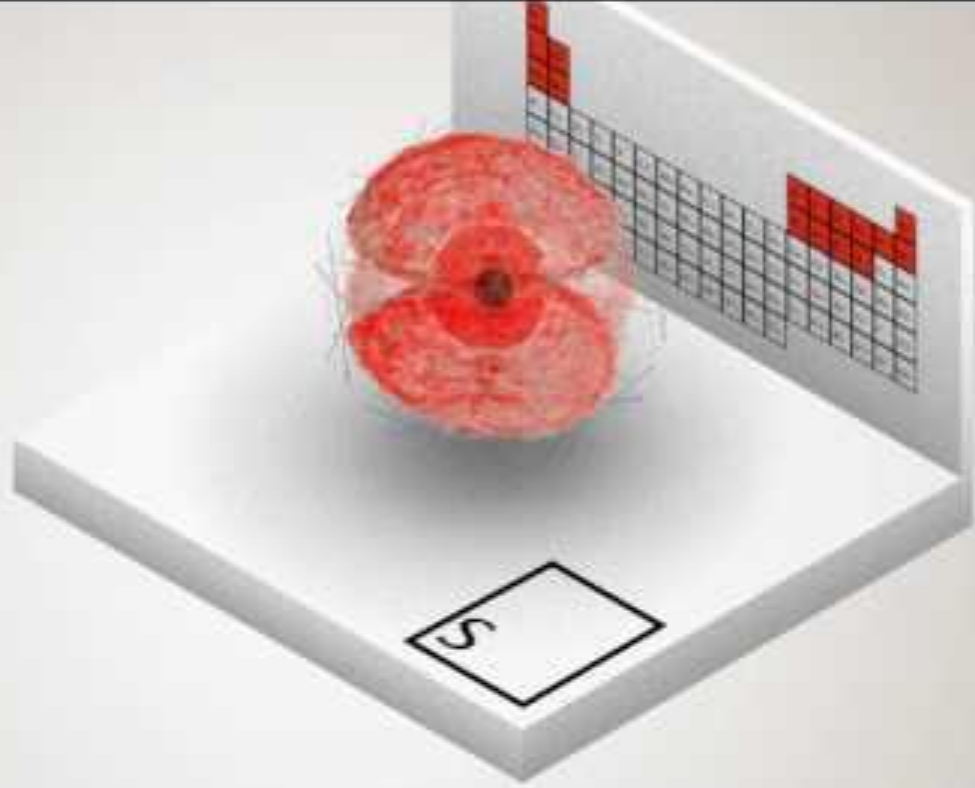






ATOMS

- ▶ The different atoms of the periodic table can then be built by increasing the size of the nucleus and adding electrons one by one.



**Malá reklama
na záver**

Séria článkov **Ako to vieme?** v **QUARKu**

- Každý mesiac roku 2019 **v časopise Quark môj článok** na podobnú tému.
- Január - Ako vieme, že existujú atómy?
- Február - Ako vieme, že aj atómy sa z niečoho skladajú?
- Marec - **Ako vieme, že svet riadi kvantová mechanika?**
- Apríl - Ako vieme, že Zem obieha okolo Slnka?



**Ďakujem za
pozornosť!**