

# Príbeh atómov

ako sme o atónoch vedeli skôr ako sme ich uvideli

Juraj Tekel

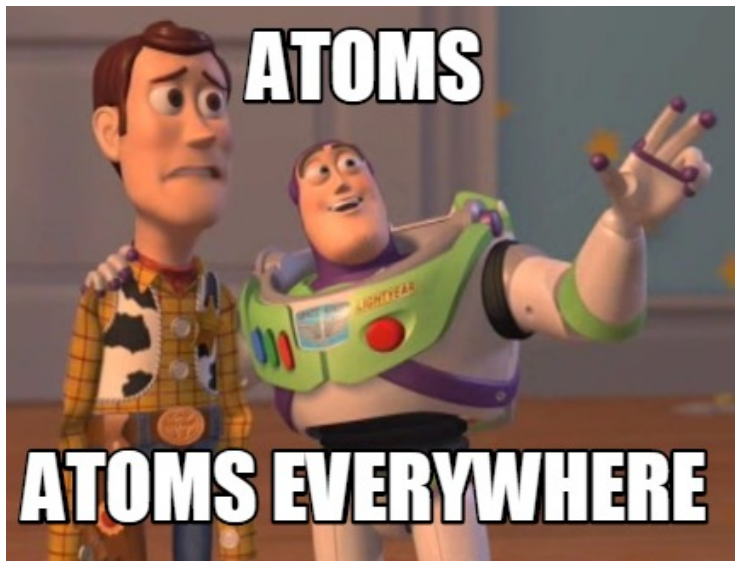
Katedra teoretickej fyziky a didaktiky fyziky  
FMFI, UK

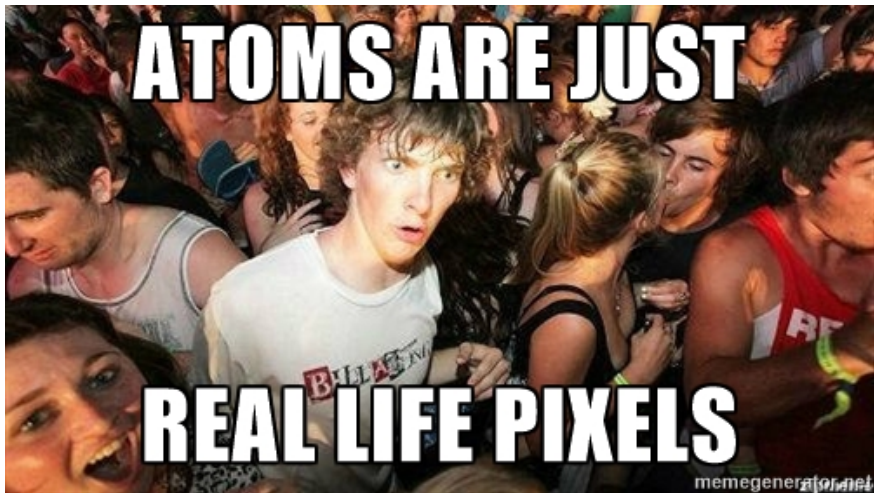


Týždeň vedy a techniky,  
FMFI UK, Bratislava, 8.11.2018



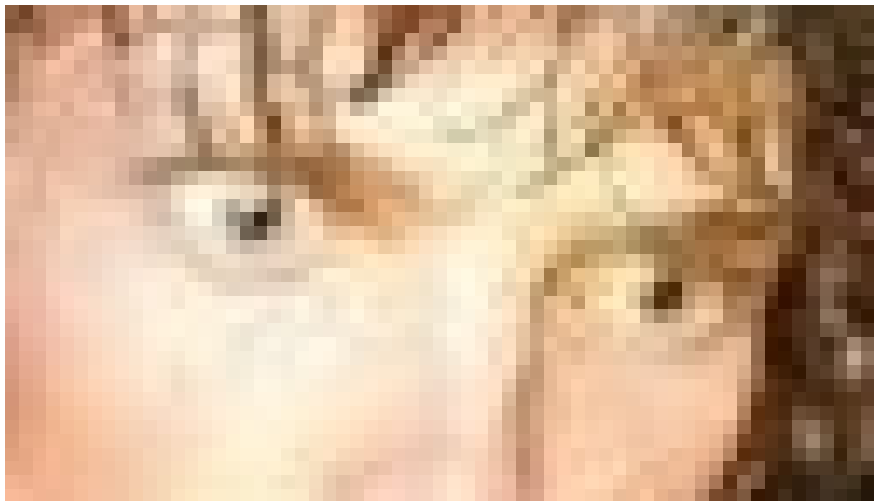
# O atómoch















# O atónoch

## Atómy

- sú malé guľičky,
- rôznych druhov,
- ktoré sa vedia medzi sebou spájať,
- z ktorých sa všetko okolo nás a v nás skladá,
- sú veľmi malé.

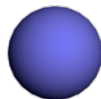
V skutočnosti trochu zložitejšie, ale nám to bude stačiť takto.

# O atónoch

## Atómy

- sú malé guľičky,
- rôznych druhov,
- ktoré sa vedia medzi sebou spájať,
- z ktorých sa všetko okolo nás a v nás skladá,
- sú veľmi malé.

V skutočnosti trochu zložitejšie, ale nám to bude stačiť takto.

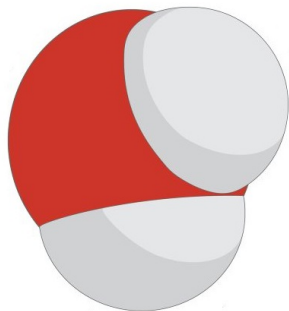


# O atónoch

## Atómy

- sú malé guľičky,
- rôznych druhov,
- ktoré sa vedľa seba spájajú,
- z ktorých sa všetko okolo nás a v nás skladá,
- sú veľmi malé.

V skutočnosti trochu zložitejšie, ale nám to bude stačiť takto.

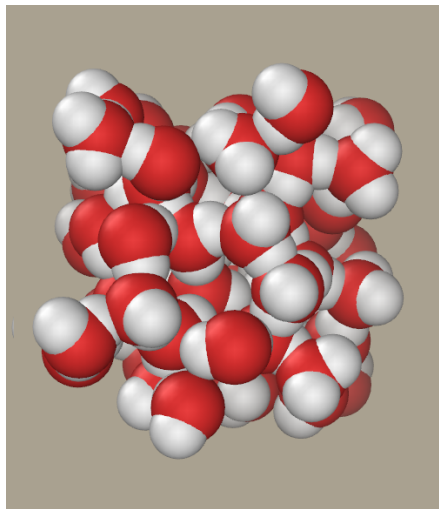


# O atónoch

## Atómy

- sú malé guľičky,
- rôznych druhov,
- ktoré sa vedia medzi sebou spájať,
- z ktorých sa všetko okolo nás a v nás skladá,
- sú veľmi malé.

V skutočnosti trochu zložitejšie, ale nám to bude stačiť takto.

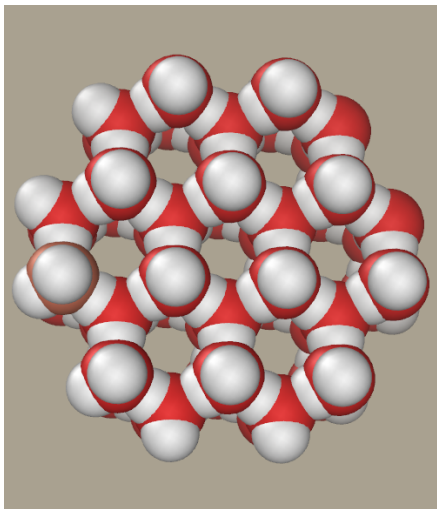


# O atónoch

## Atómy

- sú malé guľičky,
- rôznych druhov,
- ktoré sa vedia medzi sebou spájať,
- z ktorých sa všetko okolo nás a v nás skladá,
- sú veľmi malé.

V skutočnosti trochu zložitejšie, ale nám to bude stačiť takto.



# O atónoch

- Atómy sú veľmi malé.
- Atómy sú nepredstaviteľne malé.
- Veľkosť atómov je približne  $10^{-10}$  m, veľkosti molekúl sú podobné.

Čo znamená  $10^{-10} m$ ?

- Keby bol atóm veľký ako jablko, tak jablko by bolo veľké ako Zem.
- V pohári vody je 1000 krát viac molekúl vody ako pohárov vody na svete.
- Najväčšie veci ktoré dokážeme ešte ako tak vnímať majú zhruba  $10 km$ , najmešie zhruba  $0,1 mm$ . To je pomer  $10^8$ .

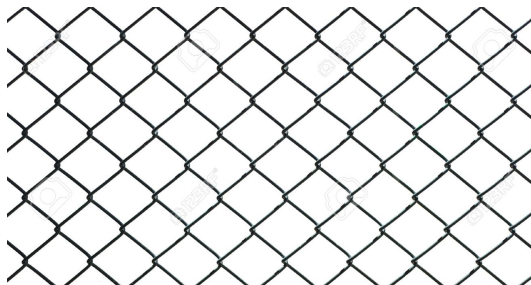


# O atónoch

- Atómy sú tak malé, že sa ich principiálne nedá vidieť.
- Pozeranie sa na veci je ako hádzanie loptičkou. Fotón, a teda svetlo, sa odrazí a podľa toho vieme, že to tam je.
- Veľkosť fotónu je približne  $10^{-7} m$ , teda asi 1000 krát viac ako veľkosť atómov a molekúl.

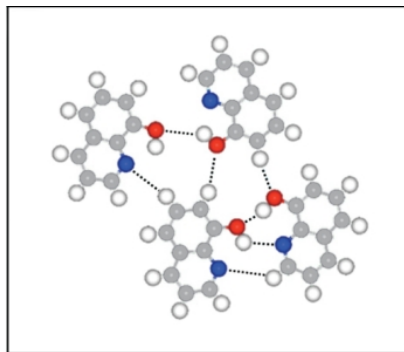
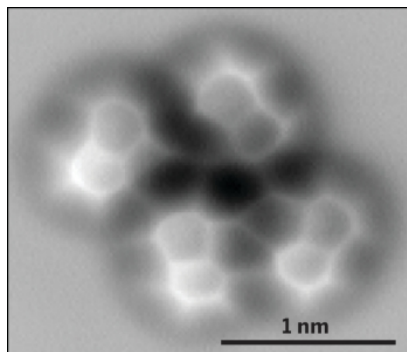
# O atónoch

- Atómy sú tak malé, že sa ich principiálne nedá vidieť.
- Pozeranie sa na veci je ako hádzanie loptičkou. Fotón, a teda svetlo, sa odrazí a podľa toho vieme, že to tam je.
- Veľkosť fotónu je približne  $10^{-7} m$ , teda asi 1000 krát viac ako veľkosť atómov a molekúl.
- Snažiť sa uvidieť atóm je ako hádzať futbalovú loptu o plot



# O atónoch

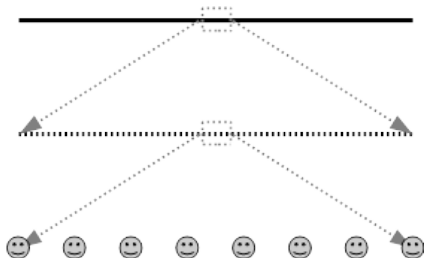
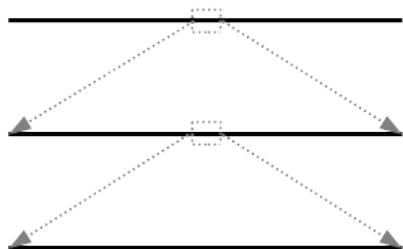
- Atómy sa predsa len dá vidieť. Ale potrebujeme oveľa menšiu loptičku.
- Vizualizácia zložitejšej molekuly pomocou atómového tunelovacieho mikroskopu



# Spojité vs. diskrétny

# Spojité vs. diskrétny

- Spojitá vec sa dá približovať do nekonečna.
- Pri diskrétnej veci narazíme pri približovaní časom na situáciu : bodka, nič, bodka, nič, ... .
- Dostatočne husto diskrétna vec sa z diaľky zdá spojitá.



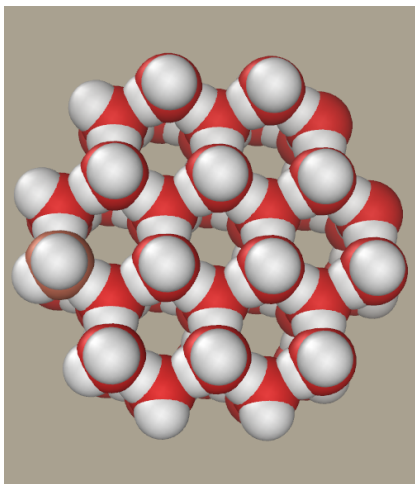
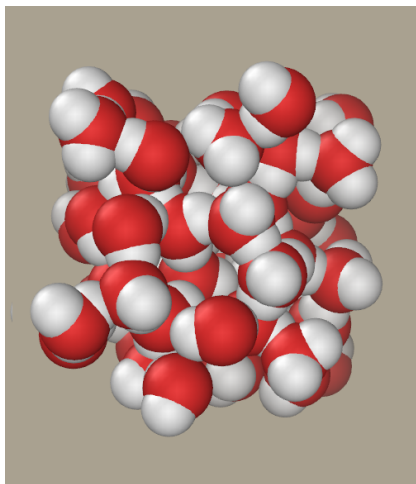
# Prečo práve o atómoch?

# Prečo práve o atónoch?

- Lebo existencia atómov je veľmi dôležitá a objasňujúca.
  - Viac-menej všetkému rozumieme na základe existencie atómov.
  - Veda je o stláčaní informácie a poznatok o existencii atómov je stláčanie informácie par excellence. R. Feynman

"Keby pri nejakej katastrofe zanikli všetky vedecké poznatky a nasledujúcim generáciám by mala zostať len jediná veta, ktorá v najmenšom počte slov obsahuje najmenšiu informáciu, ... že všetky veci sa skladajú z atómov."

# Prečo práve o atómoch?





# Prečo práve o atónoch?

- Lebo existencia atómov je veľmi dôležitá a objasňujúca.
- Lebo prísť na existenciu atómov bolo ťažké.
  - Atómy sú maličké a pre technológie do roku 1910 sú úplne neviditeľné.
  - Ich existenciu bolo treba uhádnuť z veľa nepriamych dôkazov a náznakov.
  - To trvalo vcelku dlho (1805 - 1909).

# Prečo práve o atómoch?

- Lebo existencia atómov je veľmi dôležitá a objasňujúca.
- Lebo prísť na existenciu atómov bolo ťažké.
- Lebo tento príbeh je sám o sebe zaujímavý.
  - Debata o existencii atómov je jedna z najzapálenejších a najpodstatnejších v histórii vedy.
  - Nejakým spôsobom sa do nej zapojil takmer každý, kto v tom čase vo vede niečo znamenal.
  - Na dejnách vedy sa dobre učí aj samotná veda.

# Prečo práve o atómoch?

- Lebo existencia atómov je veľmi dôležitá a objasňujúca.
- Lebo prísť na existenciu atómov bolo ťažké.
- Lebo tento príbeh je sám o sebe zaujímavý.
- Lebo tento príbeh nie je vo vede vôbec ojedinelý.
  - Veda a poznanie len málokedy napreduje jednoducho a nikdy nie priamočiari.
  - Nepriame dôkazy sú dobré až vo veľkom množstve a musia byť veľmi presvedčivé. Na potvrdenie a všeobecné uznanie treba aj tak priamy dôkaz alebo aspoň novú predpoveď.
  - Vedecká komunita je veľmi konzervatívna.
  - A to je dobre. Väčšinou.

## Take home message

# Take home message

- Existencia atómov je zaujímavá a veľmi netriviálna.
- Kľúčové k objaveniu a prijatiu existencie atómov sú

**SPOILER ALERT!!!**

# Take home message

- Existencia atómov je zaujímavá a veľmi netriviálna.
- Kľúčové k objaveniu a prijatiu existencie atómov sú
  - rozdiel medzi kuchynskými a chemickými receptami (atómy vysvetľujú kvantitatívne),
  - fyzikálne vlastnosti plynov (atómy vysvetľujú kvantitatívne),
  - Brownov pohyb (atómy vysvetľujú kvalitatívne a predpovedajú kvantitatívne).

# Take home message

- Existencia atómov je zaujímavá a veľmi netriviálna.
- Kľúčové k objaveniu a prijatiu existencie atómov sú
- Príbeh objavenia a prijatia existencie atómov má v sebe veľmi veľa typických prvkov pokroku v poznaní.

# Antický atomizmus



- V antickej filozofii nájdeme veľmi veľa myšlienok a teórií, ktoré sa ukázali byť pravdivé.
- "Gréci boli veľmi dobrí v sedení pri ohni a uvažovaní, ale nie až veľmi dobrí v stavaní prístrojov na testovanie svojich myšlienok."

# Antický atomizmus



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



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

# Antický atomizmus

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

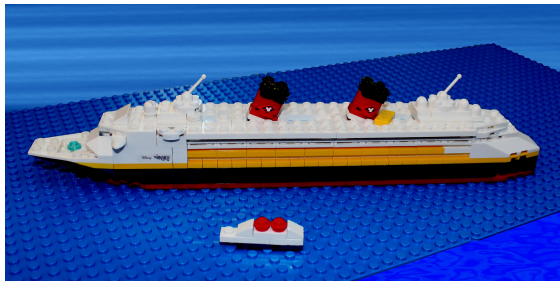
# Antický atomizmus

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



# Antický atomizmus

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



# Antický atomizmus

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



# Antický atomizmus

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



# Antický atomizmus

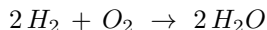


Aristoteles,  
384 - 322 pr. n. l.



# Atomizmus chemikov

- Ako prví si v svojich experimentoch všimli dôsledky existencie atómov chemici.
- Chemická reakcia je v konečnom dôsledku veľmi veľa rovnakých procesov na atomárnej úrovni. Napríklad



- Posudata je v tom, že chemické recepty sú veľmi iné ako kuchynské recepty.

# Atomizmus chemikov

## Kuchynský recept - Puding



# Atomizmus chemikov

Kuchynský recept - Puding



Chemický recept - Voda



## Kuchynský recept - Puding

- sáčok pudingu,
- 40 *g* cukor,
- 5 *dl* mlieko.

Najlepší.

## Kuchynský recept - Puding

- sáčok pudingu,
- 40 *g* cukor,
- 5 *dl* mlieko.

Najlepší.

## Chemický recept - Voda

- 88, 81 *g* kyslík,
- 11, 19 *g* vodík.

Najlepšia.

## Kuchynský recept - Puding

- sáčok pudingu,
- 50 g cukor,
- 5 dl mlieko.

Tiež dobrý.

## Chemický recept - Voda

- 88,81 g kyslík,
- 11,19 g vodík.

## Kuchynský recept - Puding

- sáčok pudingu,
- **50 g cukor**,
- 5 *dl* mlieko.

Tiež dobrý.

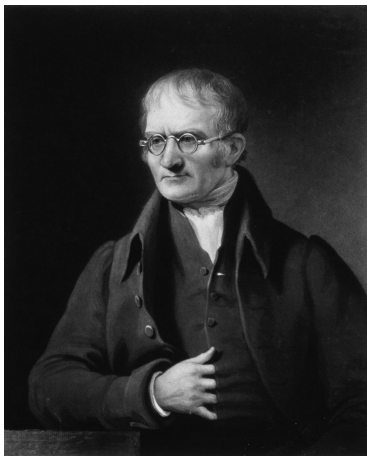
## Chemický recept - Voda

- **98, 81 g kyslík**,
- 11, 19 g vodík.

**Nefunguje!**



# Atomizmus chemikov



John Dalton,  
1766 – 1844

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.

## Zákon stálych hmotnostných pomerov

- Chemikálie sa nedá namiešať ľubovoľne.

$$88,81 \text{ g kyslík} + 11,19 \text{ g vodík} = 100 \text{ g voda}$$

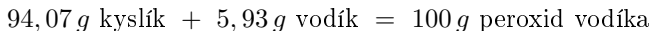
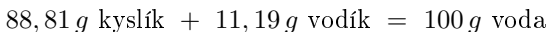
$$177,72 \text{ g kyslík} + 22,28 \text{ g vodík} = 200 \text{ g voda}$$

$$\begin{aligned} 98,81 \text{ g kyslík} + 11,19 \text{ g vodík} &\neq 110 \text{ g kyslíkovejšia voda} \\ &= 100 \text{ g voda} + 10 \text{ g kyslík} \end{aligned}$$

- Všimnite si, že pomery hmotností nemusia byť pekné čísla.

## Zákon množných hmotnostných pomerov

- 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



a teda

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

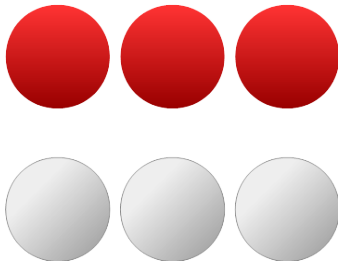
- Podobne to funguje aj pre iné prvky. Dalton nepoznal peroxid vodíka, jeho závery pochádzajú z iných reakcií.
- Celé čísla takmer vždy poukazujú na nejakú diskretnosť.

## Ako atómy vysvetľujú tieto tri zákony?

- Atómy sa v chemických reakciách nemenia a atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako.
- V chemických reakciách sa atómy chytajú za ruky podľa nejakých pravidiel.
- Ak niektoré atómy zvýšia, môžu sa pochytať až keď ich je dosť na iné pravidlo.

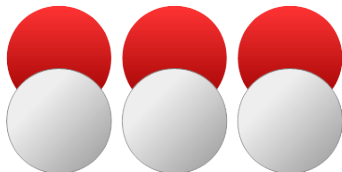
## Ako atómy vysvetľujú tieto tri zákony?

- Atómy sa v chemických reakciách nemenia a atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako.
- V chemických reakciách sa atómy chytajú za ruky podľa nejakých pravidiel.
- Ak niektoré atómy zvýšia, môžu sa pochytať až keď ich je dosť na iné pravidlo.
- Podľa tohto dostávame



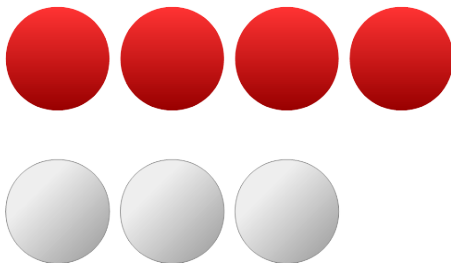
## Ako atómy vysvetľujú tieto tri zákony?

- Atómy sa v chemických reakciách nemenia a atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako.
- V chemických reakciách sa atómy chytajú za ruky podľa nejakých pravidiel.
- Ak niektoré atómy zvýšia, môžu sa pochytať až keď ich je dosť na iné pravidlo.
- Podľa tohto dostávame



## Ako atómy vysvetľujú tieto tri zákony?

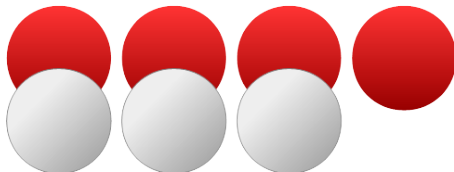
- Atómy sa v chemických reakciách nemenia a atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako.
- V chemických reakciách sa atómy chytajú za ruky podľa nejakých pravidiel.
- Ak niektoré atómy zvýšia, môžu sa pochytať až keď ich je dosť na iné pravidlo.
- Podľa tohto dostávame





## Ako atómy vysvetľujú tieto tri zákony?

- Atómy sa v chemických reakciách nemenia a atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako.
- V chemických reakciách sa atómy chytajú za ruky podľa nejakých pravidiel.
- Ak niektoré atómy zvýšia, môžu sa pochytať až keď ich je dosť na iné pravidlo.
- Podľa tohto dostávame



## Ako atómy vysvetľujú tieto tri zákony?

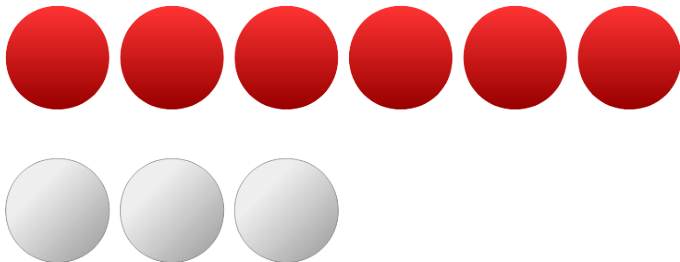
- Atómy sa v chemických reakciách nemenia a atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako.
- V chemických reakciách sa atómy chytajú za ruky podľa nejakých pravidiel.
- Ak niektoré atómy zvýšia, môžu sa pochytať až keď ich je dosť na iné pravidlo.
- Podľa tohto dostávame

88,81 g kyslík + 11,19 g vodík = 100 g voda

94,07 g kyslík + 5,93 g vodík = 100 g peroxid vodíka

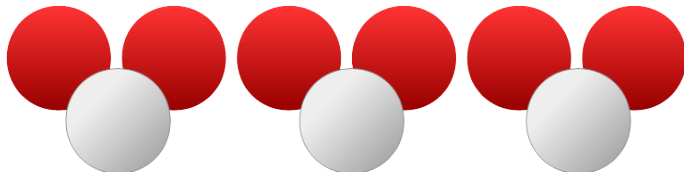
## Ako atómy vysvetľujú tieto tri zákony?

- Atómy sa v chemických reakciách nemenia a atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako.
- V chemických reakciách sa atómy chytajú za ruky podľa nejakých pravidiel.
- Ak niektoré atómy zvýšia, môžu sa pochytať až keď ich je dosť na iné pravidlo.
- Podľa tohto dostávame



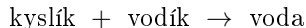
## Ako atómy vysvetľujú tieto tri zákony?

- Atómy sa v chemických reakciách nemenia a atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako.
- V chemických reakciách sa atómy chytajú za ruky podľa nejakých pravidiel.
- Ak niektoré atómy zvýšia, môžu sa pochytať až keď ich je dosť na iné pravidlo.
- Podľa tohto dostávame



## Ako atómy vysvetľujú tieto tri zákony?

- Atómy sa v chemických reakciách nemenia a atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako.
- V chemických reakciách sa atómy chytajú za ruky podľa nejakých pravidiel.
- Ak niektoré atómy zväčšia, môžu sa pochytať až keď ich je dosť na iné pravidlo.
- Podľa tohto dostávame

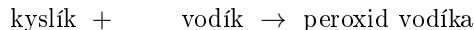


## Ako atómy vysvetľujú tieto tri zákony?

- Atómy sa v chemických reakciách nemenia a atómy rovnakého prvku sa správajú vždy rovnako.
- V chemických reakciách sa atómy chytajú za ruky podľa nejakých pravidiel.
- Ak niektoré atómy zvýšia, môžu sa pochytať až keď ich je dosť na iné pravidlo.
- Podľa tohto dostávame



- Dnes už ale vieme, že v skutočnosti



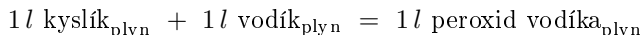
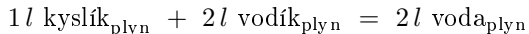
# Atomizmus chemikov



Joseph Louis Gay-Lussac,  
1778 – 1850

## Zákon objemových pomerov. (1809)

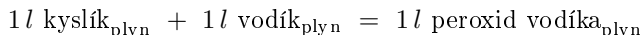
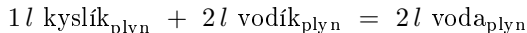
- Ak máme dočinenia s plynmi a pozeráme sa na objemy, objavajú sa pomery malých celých čísel.
- Objemy plynov v chemických reakciách už sú priamo v pomeroch malých celých čísel.



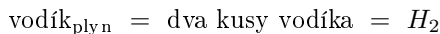
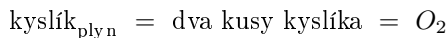


## Zákon objemových pomerov. (1809)

- Ak máme dočinenia s plynmi a pozeráme sa na objemy, objavajú sa pomery malých celých čísel.
- Objemy plynov v chemických reakciách už sú priamo v pomeroch malých celých čísel.



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

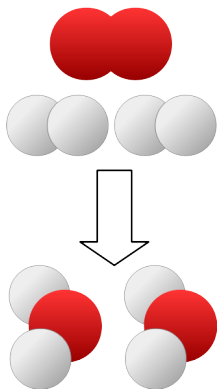
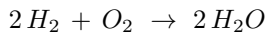




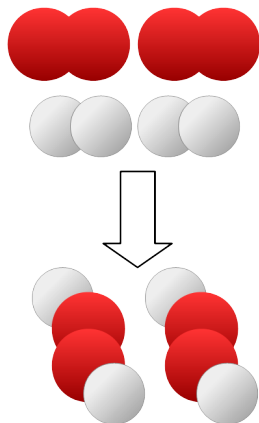
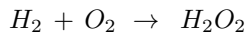
Amedeo Avogadro,  
1776 – 1856

# Atomizmus chemikov

Kyslík a vodík na vodu



Kyslík a vodík na peroxid vodíka

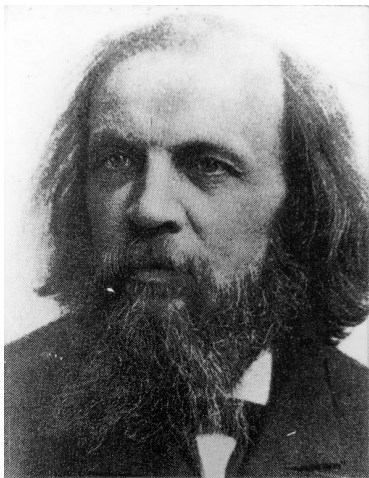


# Atomizmus chemikov

- Ako vieme, že vodík je vlastne  $H_2$ ? Z iných reakcií, v ktorých by to inak nedávalo zmysel.
- Ostáva vyriešiť obrovskú hádanku typu : ten čo býva vedľa Nemca nechodí na hokej, ...
- Vstupom sú hmotnosť a objem látok pri reakciách, výstupom sú relatívne atómové hmotnosti látok.
- Informácie ktoré máme sú neúplne, nepresné a je ťažké ich získať.
- Vieme určiť iba pomery hmotností, lebo ešte nevieme rozmery častíc.
- Niektoré celkom prekvapivo presné výsledky.

	Uhlík	Olovo	Meď	Ortuť
Berzelius 1826	12,24	207,4	63,4	202,8
Súčasná hodnota	12,0	207,2	63,5	200,6

# Atomizmus chemikov



Dmitrij Ivanovič Mendelejev,  
1834 – 1907

# Atomizmus chemikov

Group→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
↓Period																			
1	1 H																		2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
7	87 Fr	88 Ra	* * 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo	
			* 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb			
			* * 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No			

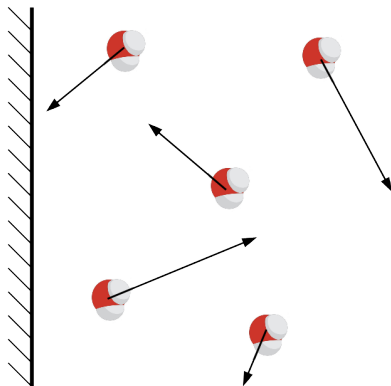
- Atómová hypotéza bola silná vo vysvetlení už pozorovaných procesov.
- V chémii však nepriniesla žiadne nové predpovede a tak zostala len na úrovni užitočnej hypotézy a pracovného nástroja.
- Skutočná existencia atómov nebola univerzálne prijatá.

# Atomizmus fyzikov



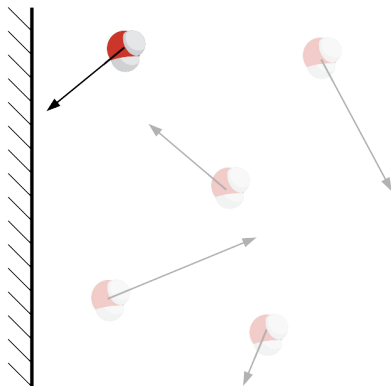
# Atomizmus fyzikov

- Fyzika sa v tom čase zaoberala javmi na oveľa väčších škálach.
- Ašak existujú situácie, kde sa ich existencia prejavuje nepriamo.
- Tlak plynu je makroskopickým prejavom mikroskopického pohybu molekúl.



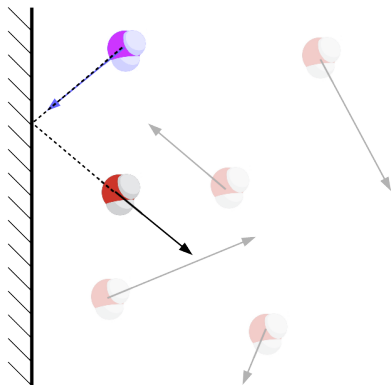
# Atomizmus fyzikov

- Fyzika sa v tom čase zaoberala javmi na oveľa väčších škálach.
- Ašak existujú situácie, kde sa ich existencia prejavuje nepriamo.
- Tlak plynu je makroskopickým prejavom mikroskopického pohybu molekúl.



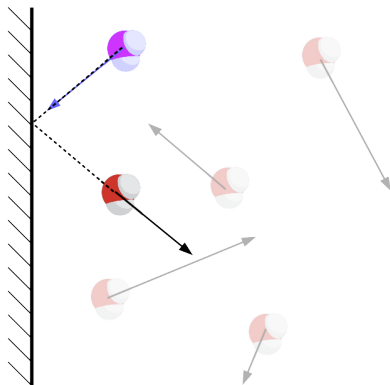
# Atomizmus fyzikov

- Fyzika sa v tom čase zaoberala javmi na oveľa väčších škálach.
- Ašak existujú situácie, kde sa ich existencia prejavuje nepriamo.
- Tlak plynu je makroskopickým prejavom mikroskopického pohybu molekúl.



# Atomizmus fyzikov

- Fyzika sa v tom čase zaoberala javmi na oveľa väčších škálach.
- Ašak existujú situácie, kde sa ich existencia prejavuje nepriamo.
- Tlak plynu je makroskopickým prejavom mikroskopického pohybu molekúl.



- Podobne teplota.



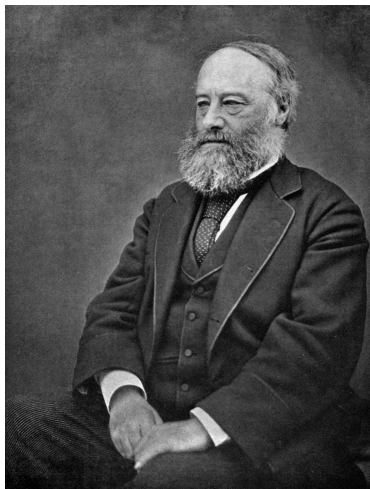
Daniel Bernoulli,  
1700 – 1782

# Atomizmus fyzikov

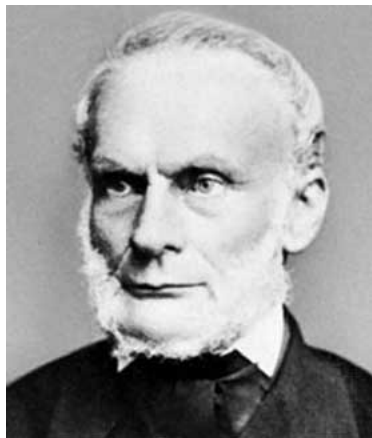
- V roku 1738 si DB všimol, že vtedajšie vedomosti o dejoch s plynmi sa dajú vysvetliť predpokladom, že plyn sa skladá z malých guľičiek, že tlak je spôsobený odrazmi týchto guľičiek od stien nádoby a že teplota súvisí s energiou ich pohybu.
- Plyn je charakterizovaný tlakom, teplotou a objemom. Z toho sú nezávislé len dve veličiny, tretia je už potom daná.
- Ak pri rovnakej teplote zmenšíme objem plynu, zväčší sa jeho tlak lebo sa zväčší frekvencia nárazov častíc na stenu.
- Ak pri rovnakom objeme plyn ochladíme, zmenší sa jeho tlak lebo sa zmenší rýchlosť, ktorou častice na stenu narážajú.

- Do polovice 19. storočia zostala táto myšlienka nepovšimnutá.
- Za jej znovuobjavením sú
  - dôkazy proti alternatívnym vysvetleniam (kalorikum),
  - čoraz väčšia popularita atómov medzi chemikmi (atómy sú tie guľičky).

# Atomizmus fyzikov



James Prescott Joule,  
1818 – 1889



Rudolf Julius Emanuel Clausius,  
1822 – 1888



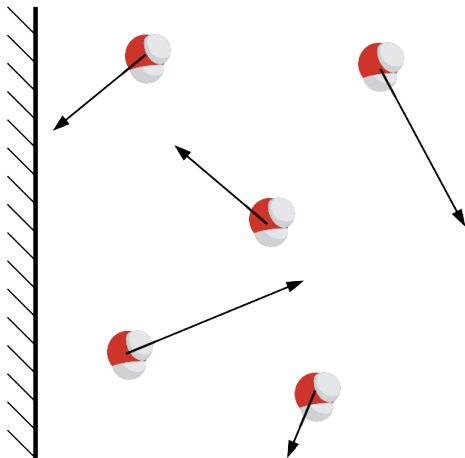
- Z atómovej hypotézy sa dajú odvodiť pozorované vlastnosti plynov.
- Napríklad závislosť medzi tlakom, objemom a teplotou

$$\frac{pV}{T} = \text{konštanta} .$$

- Iné termodynamické vlastnosti (tepelná kapacita).
- Tiež niektoré mechanické vlastnosti, ako napríklad viskozita (vnútorné trenie v plyne).

# Atomizmus fyzikov

- Viskozita je dôležitá, lebo z nej sa prvý krát podarilo odhadnúť veľkosť molekúl.
- To vďaka tomu, že viskozita súvisí so strednou voľnou dráhou molekúl, ktorá súvisí s veľkosťou molekuly.
- Výsledkom je (1865) pre vzduch približne  $1\text{ nm}$ , čo je asi 4 krát viac ako súčasná hodnota.



# Atomizmus fyzikov



Johann Josef Loschmidt,  
1821 – 1895

# Atomizmus fyzikov



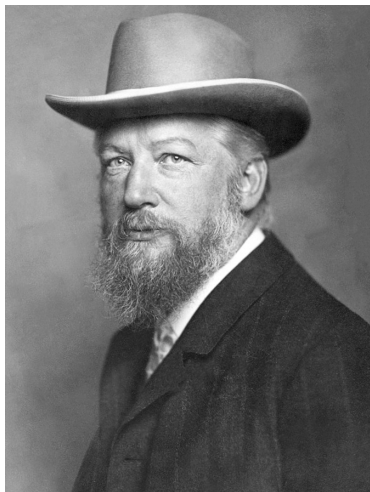
James Clerk Maxwell,  
1831 – 1879



Ludwig Eduard Boltzmann,  
1844 – 1906

- V druhej polovici 19. storočia vzniká štatistická fyzika.
- Tá je založená na tom, že polohy a rýchlosti molekúl nemôžeme poznať presne. A že ani nepotrebujeme, môžeme ich považovať za náhodné.
- Makroskopické vlastnosti látok nezávisia od detailného mikroskopického rozdelenia a na ich určenie stačí vedieť niektoré "priemerné" hodnoty.
- Okolo roku 1885 boli odhady veľkosti molekuly vodíka  $1 - 2 \times 10^{-10} m$ .

# Atomizmus fyzikov



Friedrich Wilhelm Ostwald,  
1853 – 1932



Ernst Waldfried Mach,  
1838 – 1916



# Atomizmus fyzikov

- Argumentom proti atómovej hypotéze už nebolo to, že neboli pozorované. Bolo jasné, že by na to boli príliš malé.
- Hlavným argumentom bola vratnosť mechanických dejov a nevratnosť dejov s plynmi. (Loschmidt)
- Ak zmením rýchlosť guľičky na opačnú, vráti sa tam kde bola. Ak mám guľičku v nádobe a počkám, odrážaním sa dostane do stavu (poloha a rýchlosť) veľmi podobnému tomu, v ktorom začínala. (Poincaré)
- Takže ak je plyn ozaj iba veľká kopa guľičiek, mal by som obrátením ich rýchlostí časom dostať plyn v pôvodnom stave.
- To je v rozpore s experimentom.

# Atomizmus fyzikov

- To je v rozpore s experimentom. Ak mám plyn iba v polovici nádoby, veľmi rýchlo sa rozptýli do celej nádoby, potom tak zostane a nejaví známky vracania sa.
- Plyny vykazujú tendenciu zabúdať na svoju počiatočnú konfiguráciu a smerovať k ustálenému stavu bez ohľadu na to, v akom stave začínali.
- Prechod od exaktnej ku štatistickej fyzike bol mnohým proti srsti.
- Proti prijatiu atómovej hypotézy hovorila aj absencia javu, ktorý by existencia atómov predpovedala.



# Brownov pohyb

# Brownov pohyb



Robert Brown,  
1773 – 1858

# Brownov pohyb

- Brownov pohyb zohral kľúčovú úlohu v debate o existencii atómov.
- V ňom sa našiel priestor pre overenie konkrétnej predpovede atómovej hypotézy.
- Brownov pohyb neobjavil a ani ho správne neinterpretoval.

# Brownov pohyb



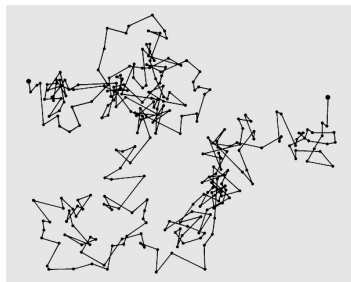
Jan Ingenhousz,  
1730 – 1799



Albert Einstein,  
1879 – 1955

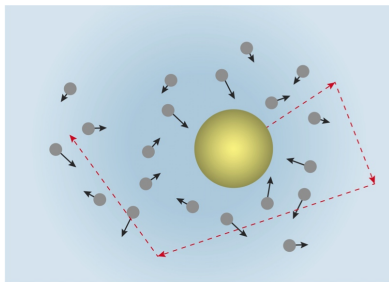
# Brownov pohyb

- Pohyb veľmi malých častíc na hladine kvapaliny pozorovaný pod mikroskopom. Prvýkrát to boli častice uhoľného prachu, neskôr zrníčka peľu.
- Brown si myslel, že objavil nejakú primitívnu formu života alebo životnú silu a tak pozoroval všetko možné. Podľa vlastných slov "úplne všetko, čo sa dalo rozdrviť na prach". To bolo v roku 1827.
- Došiel k záveru, že pôvod pohybu nemôže byť v "živote" častíc. Okolo roku 1885 bolo jasné, že zdroj pohybu je v kvapaline.



# Brownov pohyb

- Einstein v Brownovom pohybe uvidel príležitosť nájsť predpoveď atómovej hypotézy, ktorú bude možné otestovať.
- Idea podobná ako pri narážaní molekúl na stenu nádoby a vzniku tlaku. Avšak ak je objekt dostatočne malý a dostatočne ľahký, sila ktorou budú molekuly pôsobiť na objekt nebude rovnovážna. Bude mať veľké fluktuácie.
- Dostáva komapnce v rôznych smeroch, raz väčšie a raz menšie. Jeho celkový pohyb bude náhodný a neusporiadaný.



- Einstein z predpokladov štatistickej fyziky a atómovej hypotézy odvodil kvalitatívny vzťah pre priemernú veľkosť kroku, ktorú za čas  $t$  malý objekt spraví

$$d = 2\sqrt{Dt}$$

- Toto bol jeden z jeho štyroch článkov, ktoré publikoval v roku 1905 (Annus mirabilis). Okrem toho špeciálna teória relativity a fotoelektrický efekt.
- Štvrtým článkom bola jeho dizertačná práca, v ktorej dvomi spôsobmi odvodil veľkosť konštanty  $D$ . Tak vlastne podal kvantitatívnu predpoveď existencie atómov.

Einstein v článku :

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."

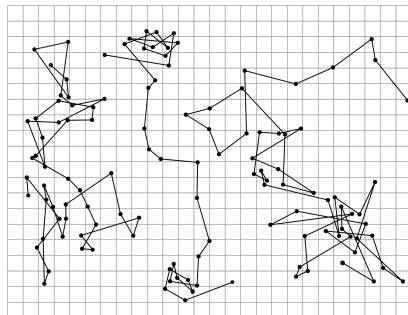




Jean Baptiste Perrin,  
1870 – 1942

# Brownov pohyb

- Perrin v roku 1909 precízne nameral rozdelenie veľkosti krokov v Brownovom pohybe, ktoré výborne korešpondovalo s Einsteinovou predpoveďou.



- Tento argument presvedčil aj Ostwalda a z atómovej hypotézy sa stala atómová teória.
- Einstein dostal Nobelovu cenu v roku 1922, Perrin v roku 1926.

Namiesto záveru ...

# Take home message

- Existencia atómov je zaujímavá a veľmi netriviálna.
- Kľúčové k objaveniu a prijatiu existencie atómov sú
  - rozdiel medzi kuchynskými a chemickými receptami (atómy vysvetľujú kvantitatívne),
  - fyzikálne vlastnosti plynov (atómy vysvetľujú kvantitatívne),
  - Brownov pohyb (atómy vysvetľujú kvalitatívne a predpovedajú kvantitatívne).
- Príbeh objavenia a prijatia existencie atómov v sebe má veľmi veľa typických prvkov pokroku v poznaní.

Vďaka za pozornosť!