

VAROVÁNÍ

Přemýšlení o kvantové mechanice způsobuje nеспavost

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

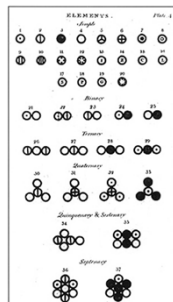
1

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

2

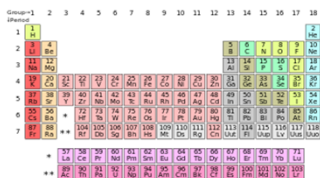
John Dalton atom vstupuje do chemie



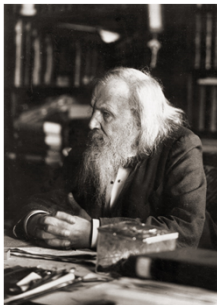
Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

3/32

D.I.Mendělejev periodický systém prvků



Periodic table of elements showing groups (1-18) and periods (1-7). Elements are color-coded by groups.



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

4/32

Objevitelé spekter atomů



- Robert Bunsen
(30. 3. 1811 – 16. 8. 1899)
chemik
- Gustav Kirchhoff
(12. 3. 1824 – 17. 10. 1887)
fyzik

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

5

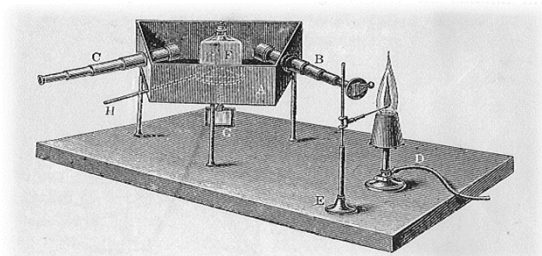
Bunsenův kahan



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

6

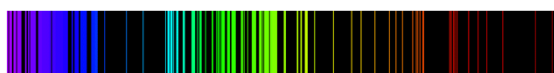
První spektrometr Bunsena a Kirchhoffa



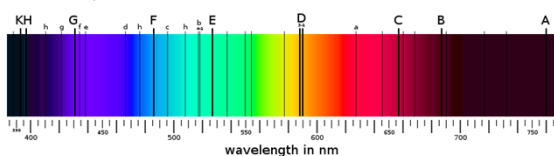
Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

7

Emisní a absorpční spektra



Emisní spektrum železa



Fraunhoferovy čáry ve slunečním spektru

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

8

Joseph John Thomson 18. 12. 1856 – 30. 8. 1940

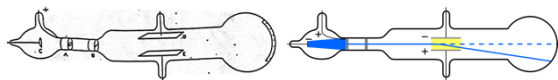


- Objevitel elektronu
- Spolutvůrce hmotové spektroskopie
- [Nobelova cena za fyziku 1906](#)

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

9

Katodové paprsky a elektron

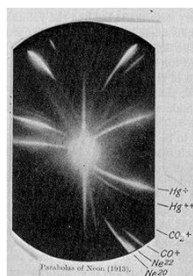


- Katodová trubice (náčrt J. J. Thomsona)
- Chod elektronů v katodové trubici při zapnutí vychylovacího napětí
- [historie objevu elektronu](#)

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

10

Hmotový spektrograf

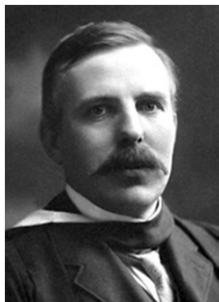


Fotografická deska ukazující isotopy neonu Ne^{20} a Ne^{22}

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

11

Ernest Rutherford (30. 8. 1871 – 19. 10. 1937)

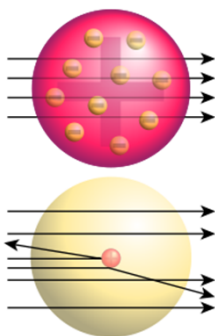


- Zabýval se radioaktivitou
- [Objevil atomové jádro](#)
- Vychoval mnoho vynikajících fyziků
- [Nobelova cena za chemii 1908](#)

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

12

Geigerův – Marsdenův experiment



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

13

Otázky kolem atomů a molekul

- Chemikové (19. století)
 - Co jsou a jak vypadají atomy?
 - Jak vznikají, proč a jak reagují molekuly?
- Fyzikové (20. století)
 - Existence, struktura a stabilita atomů
 - Struktura spekter atomů a molekul
 - Platnost klasické fyziky v mikrosvětě

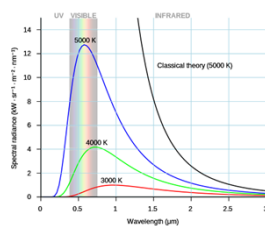
Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

14

Absolutně černé těleso



Max Planck



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

15

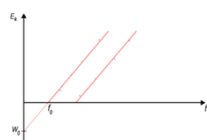
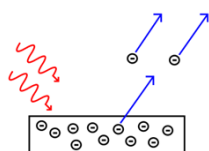
Fotoefekt



Heinrich Herz



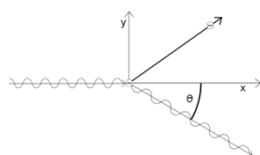
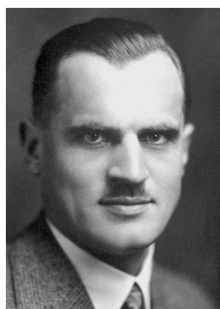
Robert Millikan



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

16

Comptonův jev



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

17

Délky, energie a počty v mikrosvětě

- Vlnová délka žlutého světla:
 $0,000\ 000\ 5\ \text{m} = 5 \cdot 10^{-7}\ \text{m}$
- Průměr atomu: $0,000\ 000\ 000\ 1\ \text{m} = 1 \cdot 10^{-10}\ \text{m}$
- Průměr jádra: $0,000\ 000\ 000\ 000\ 001\ \text{m} = 1 \cdot 10^{-15}\ \text{m}$
Jádro ~ fotbalový míč, atom ~ Praha
- E. na ohřátí 1 litru vody o 1 stupeň
 $\sim 4\ 000\ \text{J} = 4 \cdot 10^3\ \text{J}$
- E. ch. vazby $\sim 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 72\ \text{J}$
 $= 7,2 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 4,5\ \text{eV}$ (H_2)
- „Žlutý“ foton $\sim 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 4\ \text{J}$
 $= 4 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 2,5\ \text{eV}$
- Ve 12 g uhlíku je $\sim 6 \cdot 10^{23}$ atomů (Avogadrovo číslo)

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

18

Jak měřit v mikrosvětě ?

- Nemáme smysly schopné vnímat mikrosvět
- Problém měřidel:
Jak vyrobit „pravítko“ na atom ?
- Neostré hranice objektů:
Kde končí atom?
- Neumíme izolovat systém od okolí
- Měření vždy ovlivní to, co měříme

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

19

Experiment v mikrosvětě

- Měření způsobuje obrovské změny
- Jedno měření = jedno číslo
- Opakování stejného měření dává různá čísla
- Statistické zpracování výsledků:
 - četnost výsledků jednotlivých měření
 - střední hodnota = průměr všech výsledků

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

20

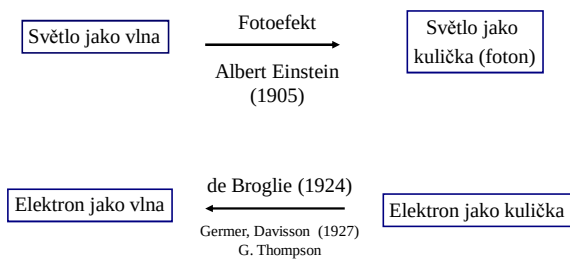
Matematický formalismus

- Liší se od nekvantové fyziky
- Základem je statistický a pravděpodobnostní popis
- Vlnová funkce, operátory, ...
- Několik ekvivalentních formalismů (reprezentací), vhodných pro různé situace

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

21

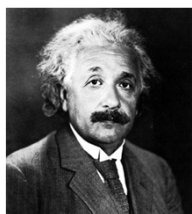
Vlna nebo kulička?



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

22

Teorie



A. Einstein



Louis de Broglie

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

23

Experiment



George Paget Thomson

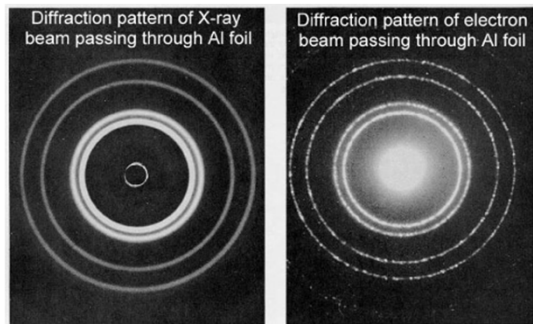


Lester Germer a Clinton Joseph Davisson

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

24

Vlnové vlastnosti částic



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

25

Vlnové vlastnosti mikroobjektů

- Hmotné objekty (elektrony, atomy, molekuly, ...) vykazují vlnové vlastnosti
- vlnová délka elektronu (dle de Broglieho)

$$\lambda = h/p = h/(mv)$$
- Elektron urychlený napětím 1V

$$\lambda = 0,000\,000\,001\,2\,\text{m}$$

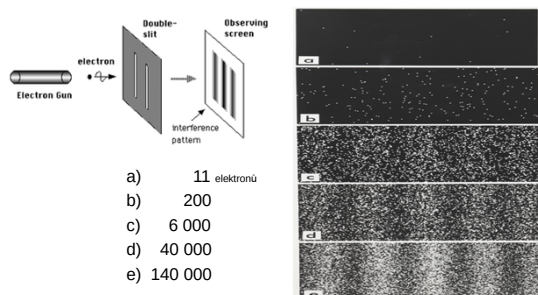
$$= 1,2 \times 10^{-9}\,\text{m}$$

$$\cong 10\text{krát chemická vazba}$$

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

26

Dvojtěřbinový experiment - simulace



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

27

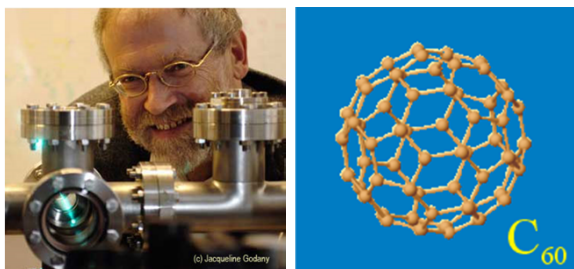
Ohyb (nejen) molekul fullerenu na mřížce

- Ohyby elektronů, neutronů apod. na (krystalové) mřížce podrobně testovány 20. až 80. letech 20. století
- **Fulleren** – komplikovaný objekt, 1 300 000× těžší než elektron, **bude také vykazovat vlnové chování ???**
- Prof. Anton Zeilinger (Universität Wien), <http://www.quantum.at>

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

28

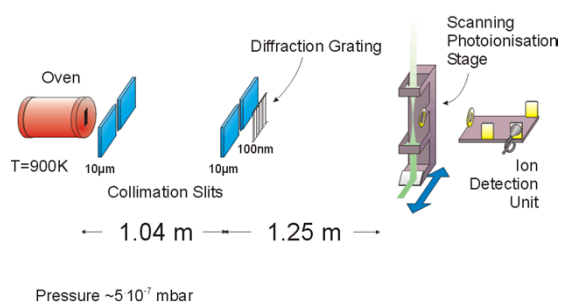
Ohyb molekul fullerenu na mřížce



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

29

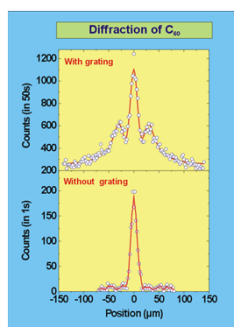
Ohyb molekul fullerenu na mřížce



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

30

Ohyb molekul fullerenu na mřížce



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

31

Tunelový jev

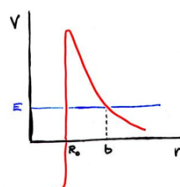
- Částice mohou projít bariérou (i takovou, kterou by „klasické“ částice neprošly)
- Množství prošlých částic závisí na tloušťce bariéry exponenciálně, tj. **malé změny tloušťky znamenají velké změny v počtu prošlých částic** = velké změny v době života

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

32

Alfa rozpad

- Z jader vylétávají alfa částice = jádra helia
- Velké rozdíly v době života
miliardtiny sekundy až miliardy let
- Nukleony v jádře
 - uvnitř se pohybují volně
 - nemohou ven (bariéra)



Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice – Vojtěch Kapsa

33

Nerozlišitelnost částic

- Pokud si částice stejného druhu (např. elektrony) pro výpočet očísloji, nesmí předpověděné experimentální výsledky záviset na způsobu očíslování
- Dvě třídy částic: **fermiony** (elektron, proton, neutron, ...) a **bosony** (foton, ${}^2_4\text{He}$, ...)
- Nerozlišitelnost je odpovědná např. za chemickou vazbu, supravodivost a supratekutost

Relace neurčitosti

- Existují dvojice kanonicky sdružených veličin, např.
 - x-složka souřadnice a x-složka hybnosti (x, p_x)
 - x-složka momentu hybnosti a y-složka momentu hybnosti (l_x, l_y)
- Principiálně nemohu současně přesně změřit obě kanonicky sdružené veličiny
- Mírou nepřesnosti jsou relace neurčitosti

Principy kvantové teorie

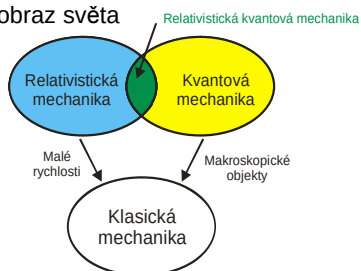
- Chování částic se někdy více blíží chování „kuliček“, jindy zase „vln“. Nelze ale vést striktní hranici mezi těmito typy chování.
- Často jsou povolené jen některé hodnoty energie i jiných veličin (kvantování).
- Některé charakteristiky nelze současně určit s libovolně vysokou přesností (relace neurčitosti).

Principy kvantové teorie

- Obvykle nelze předpovědět jednoznačně výsledek konkrétního měření. Lze určit jen možné výsledky, jejich četnost a střední hodnotu.
- Měření často zničí původní stav.
- Částice stejného druhu jsou nerozlišitelné.

Kvantová mechanika

- Speciální a obecná teorie relativity dovršily klasický obraz světa



Zdroje informací

- stránky profesora Pavla Cejnara:
<http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/cejnar/prednasky/nefyz.html>
- Stránky RNDr. Zdeňky Koupilové
<http://kdf.mff.cuni.cz/~koupilova/>
- stránky profesora Zeilingera:
<http://www.quantum.at>
- Feynmanovy přednášky z fyziky
- Halliday, Resnick, Walker: Fyzika
- Polkinghorne: Kvantový svět
- Malíšek: Co víte o dějinách fyziky
- Štoll: Dějiny fyziky
