

VAROVÁNÍ

Přemýšlení o kvantové
mechanice způsobuje
nespavost

Od atomů (a molekul) ke kvantové mechanice

Objevitelé spekter atomů



- **Robert Bunsen**
(30.3.1811 – 16.8.1899)
chemik
- **Gustav Kirchhoff**
(12.3.1824 – 17.10.1887)
fyzik

Bunsenův kahan



První spektrometr Bunsena a Kirchhoffa

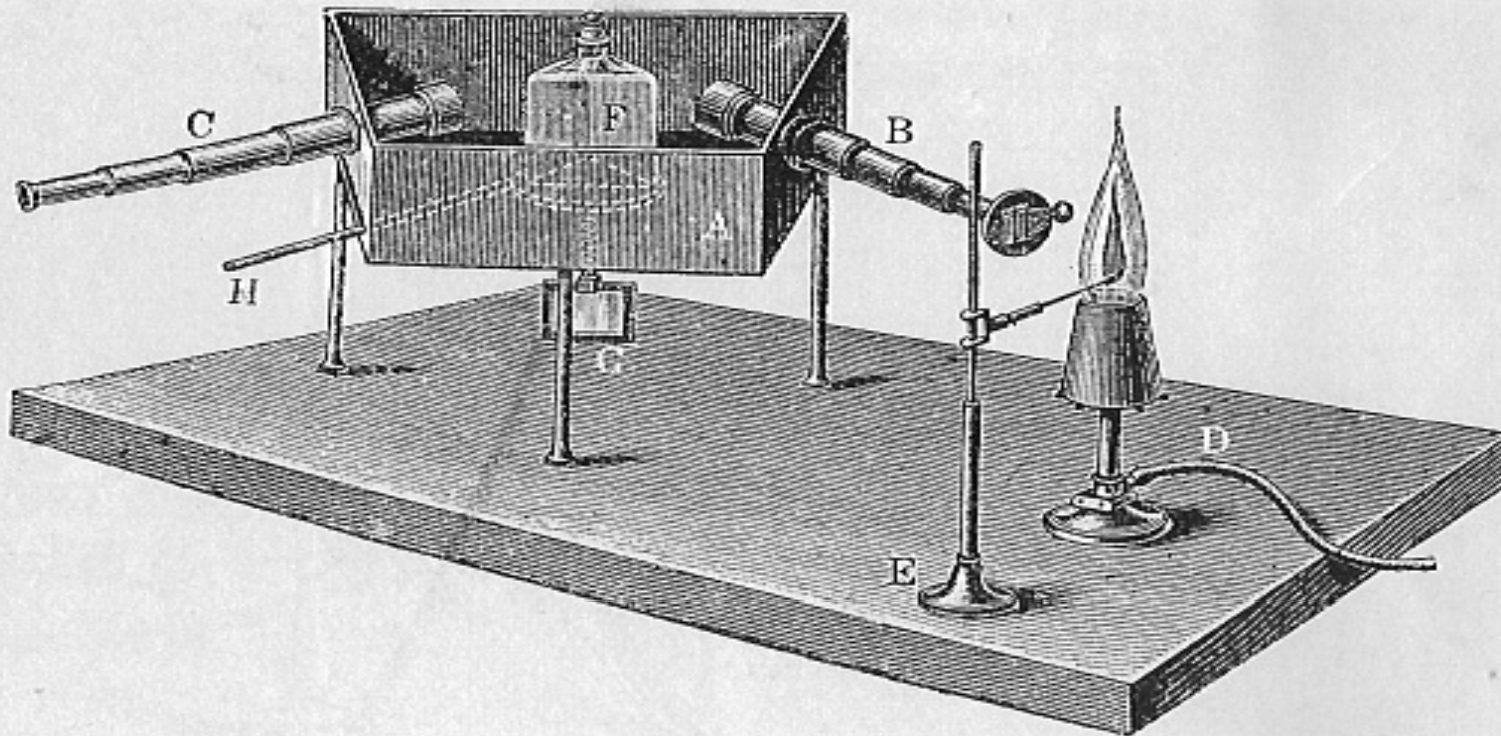
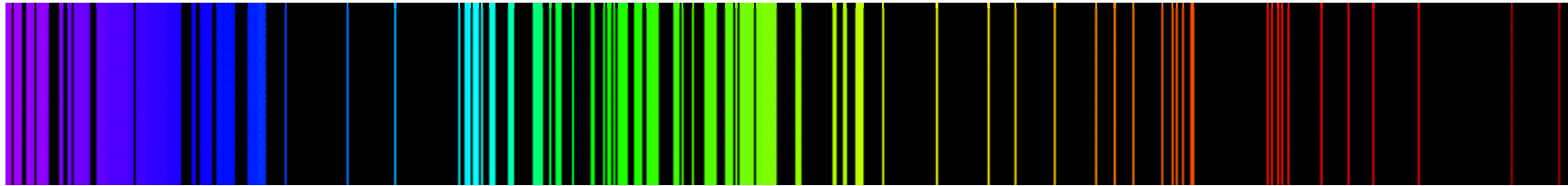
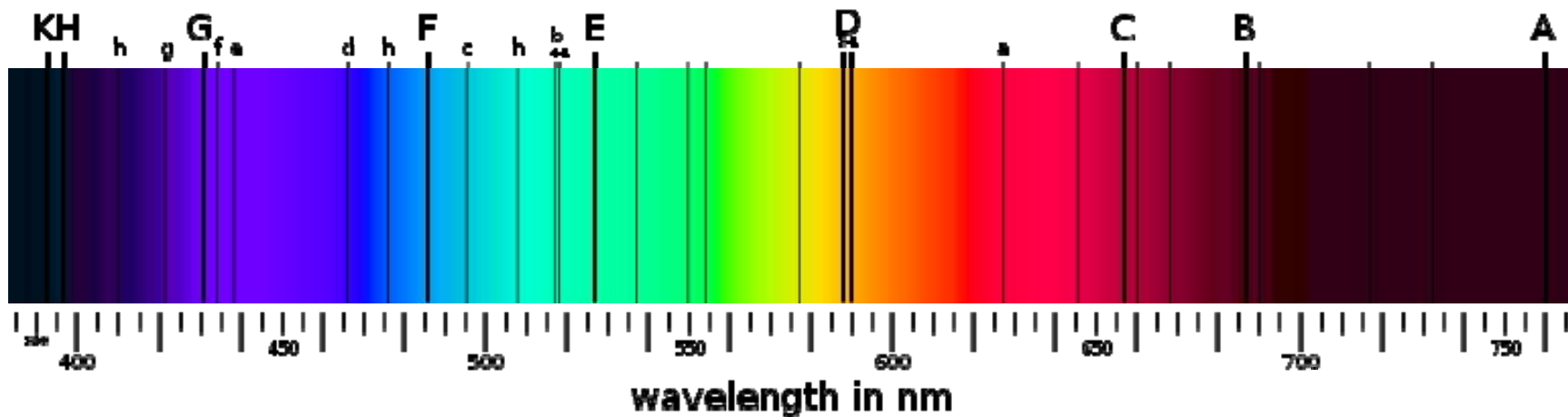


Fig. 411. Kirchhoff's Spectroscope.

Emisní a absorbční spektra



Emisní spektrum železa



Fraunhoferovy čáry ve slunečním spektru

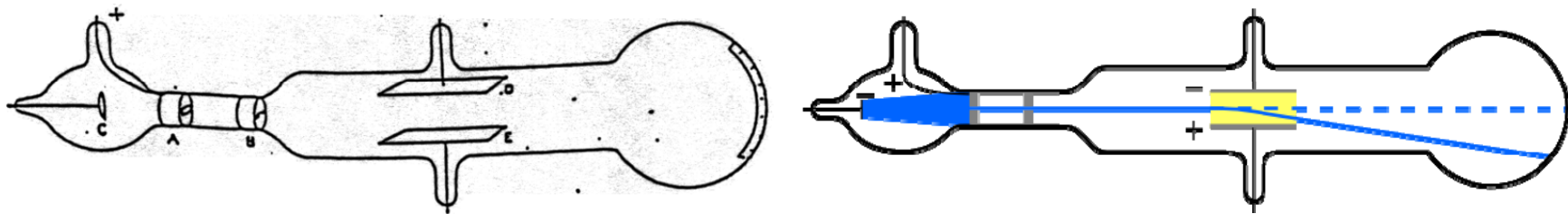
Joseph John Thomson

18.12.1856 – 30.8.1940



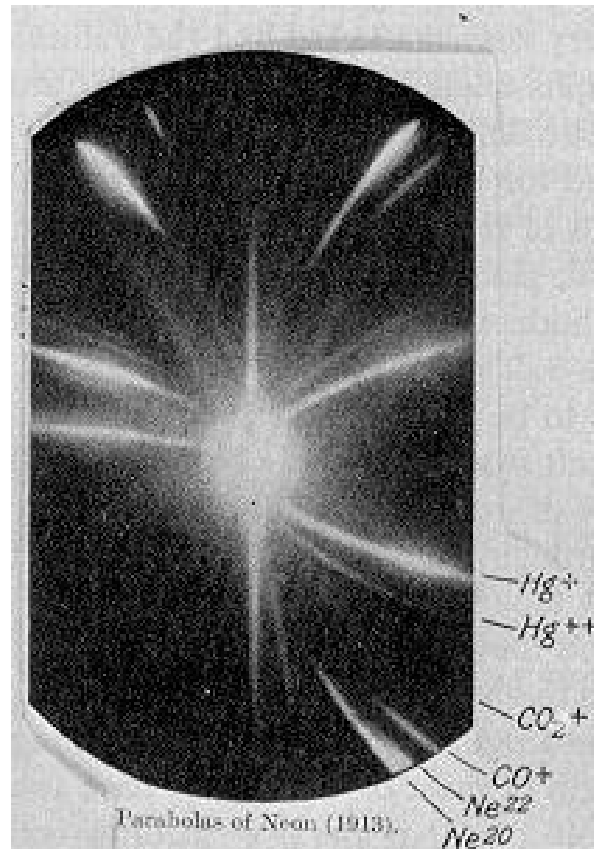
- Objevitel elektronu
- Spolutvůrce hmotové spektroskopie
- [Nobelova cena za fyziku 1906](#)

Katodové paprsky a elektron



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

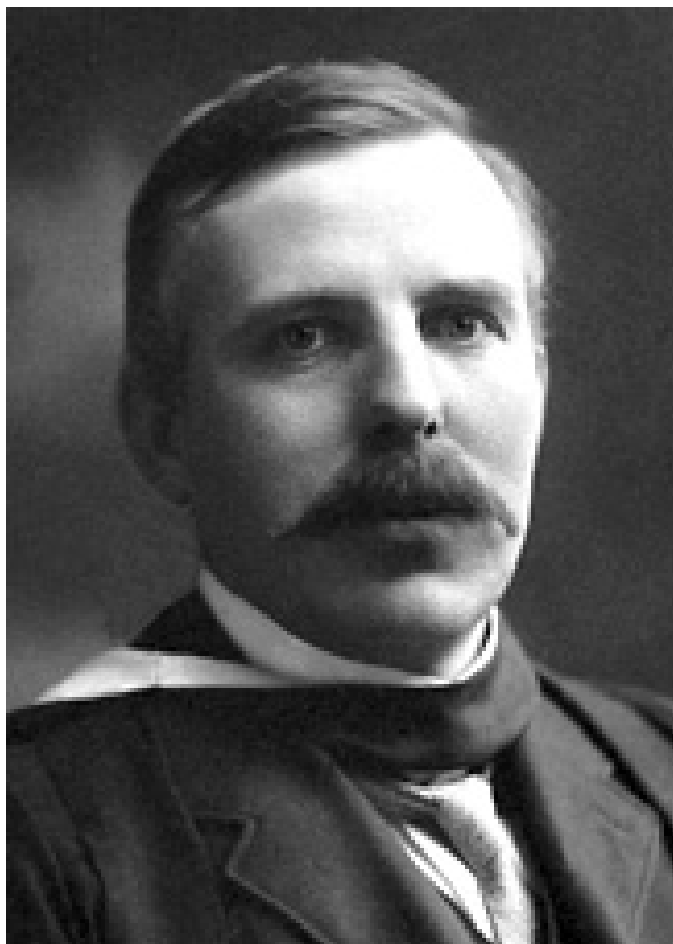
Hmotový spektrograf



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

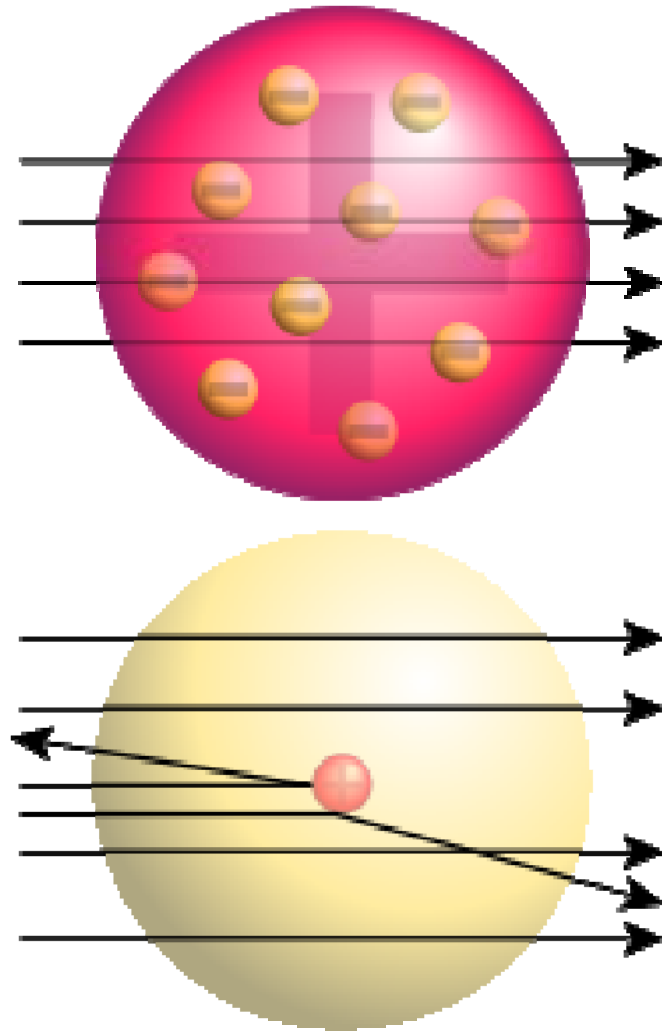
Ernest Rutherford

(30.8.1871 – 19.10.1937)



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

Geigerův – Marsdenův experiment



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.

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 $\sim 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 72\ \text{J}$
 $= 7,2 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 4,5\ \text{eV}$ (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)

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

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

Matematický formalismus

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

Vlna nebo kulička?

Světlo jako vlna

Fotoefekt



Světlo jako
kulička (foton)

Albert Einstein
(1905)

Elektron jako vlna

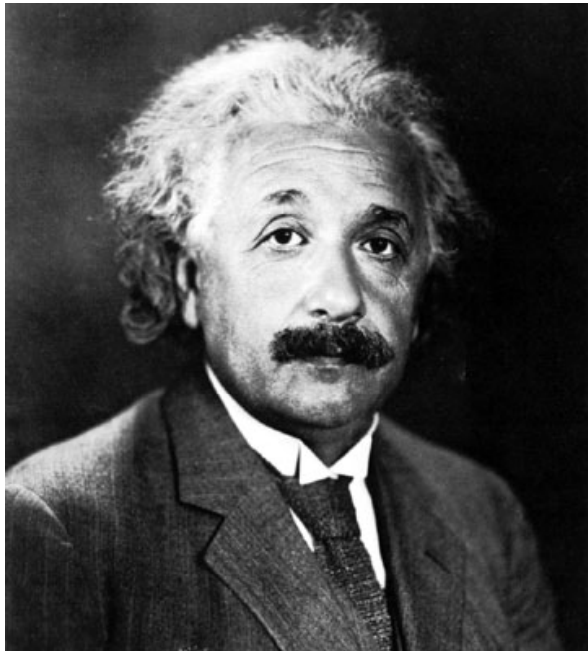
de Broglie (1924)



Elektron jako kulička

Germer, Davisson (1927)
G.Thompson

Teorie



A. Einstein



Louis de Broglie

Experiment

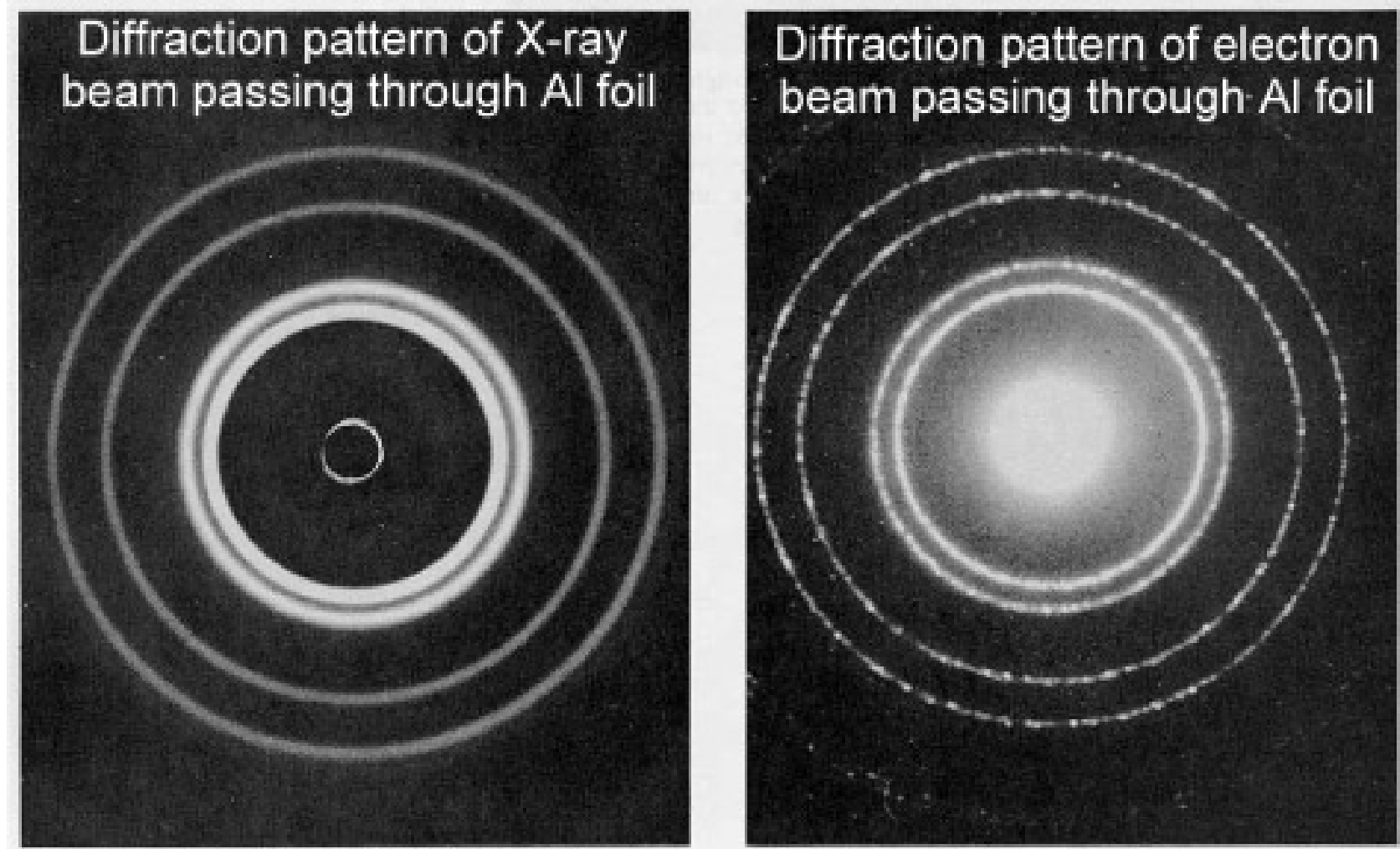


George Paget
Thomson



Lester Germer a Clinton
Joseph Davisson

Vlnové vlastnosti částic



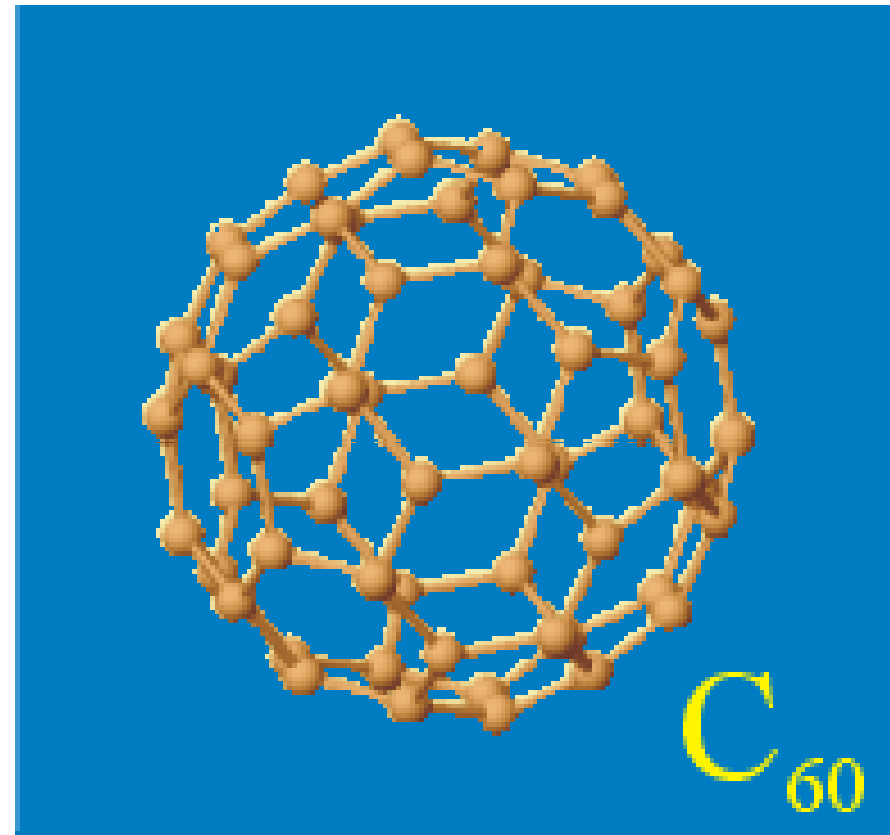
Vlnové vlastnosti mikroobjektů

- Hmotné objekty (elektrony, atomy, molekuly, ...) vykazují vlnové vlastnosti
- vlnová délka elektronu (dle de Broglieho)
$$\lambda = h/p = h/(mv)$$
- Elektron urychlený napětím 1V
$$\begin{aligned}\lambda &= 0,000\ 000\ 001\ 2\ \text{m} \\ &= 1,2\ 10^{-9}\ \text{m} \\ &\cong 10\text{-krát chemická vazba}\end{aligned}$$

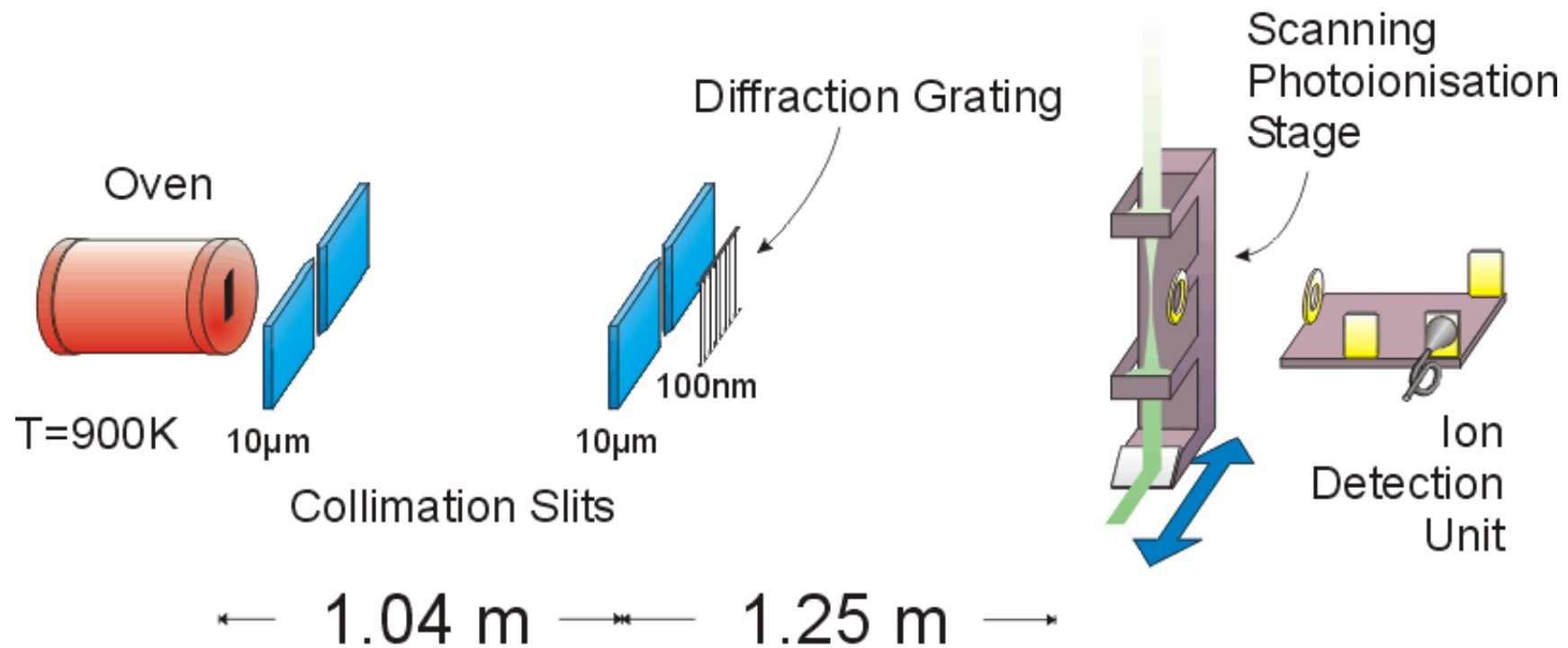
Ohyb (nejen) molekul fullerenu na mřížce

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

Ohyb molekul fullerenu na mřížce

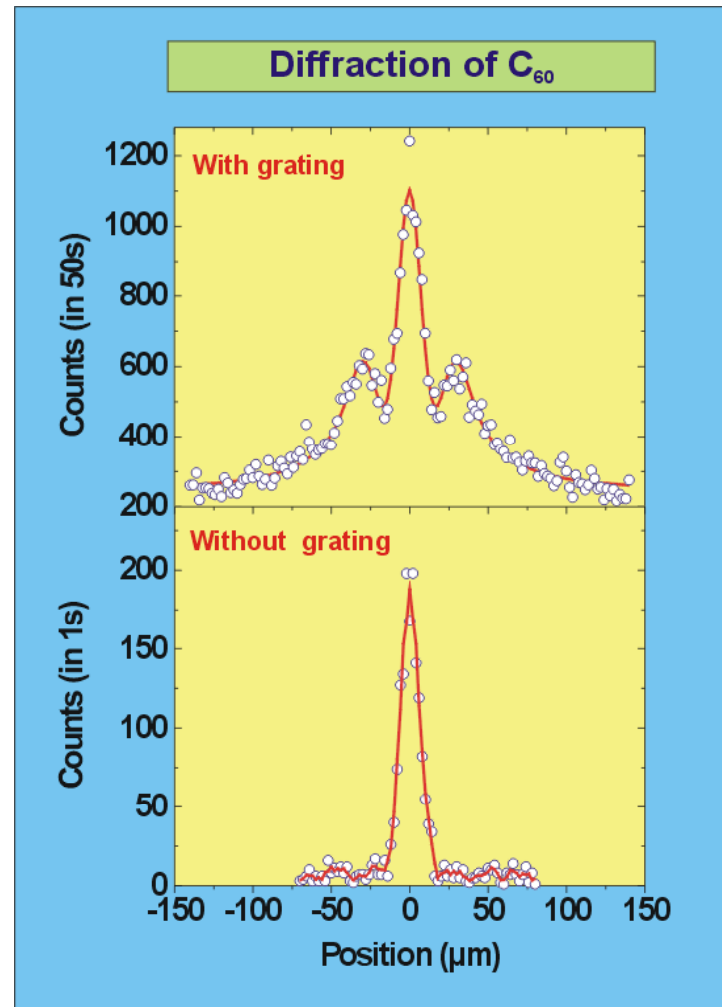


Ohyb molekul fullerenu na mřížce



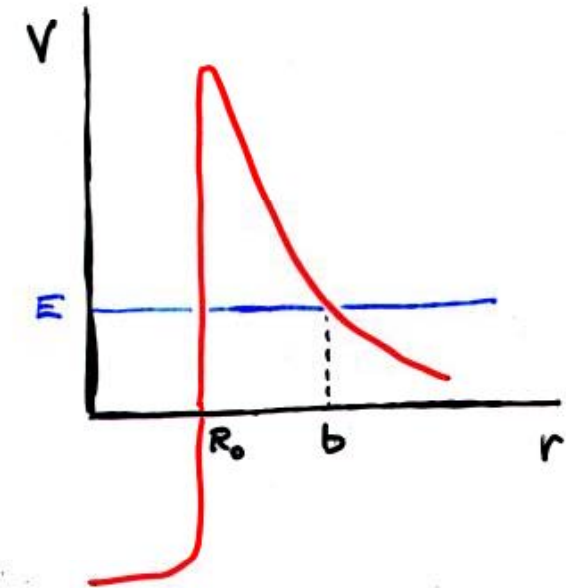
Pressure $\sim 5 \cdot 10^{-7}$ mbar

Ohyb molekul fullerenu na mřížce



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)



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

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

Principy kvantové teorie

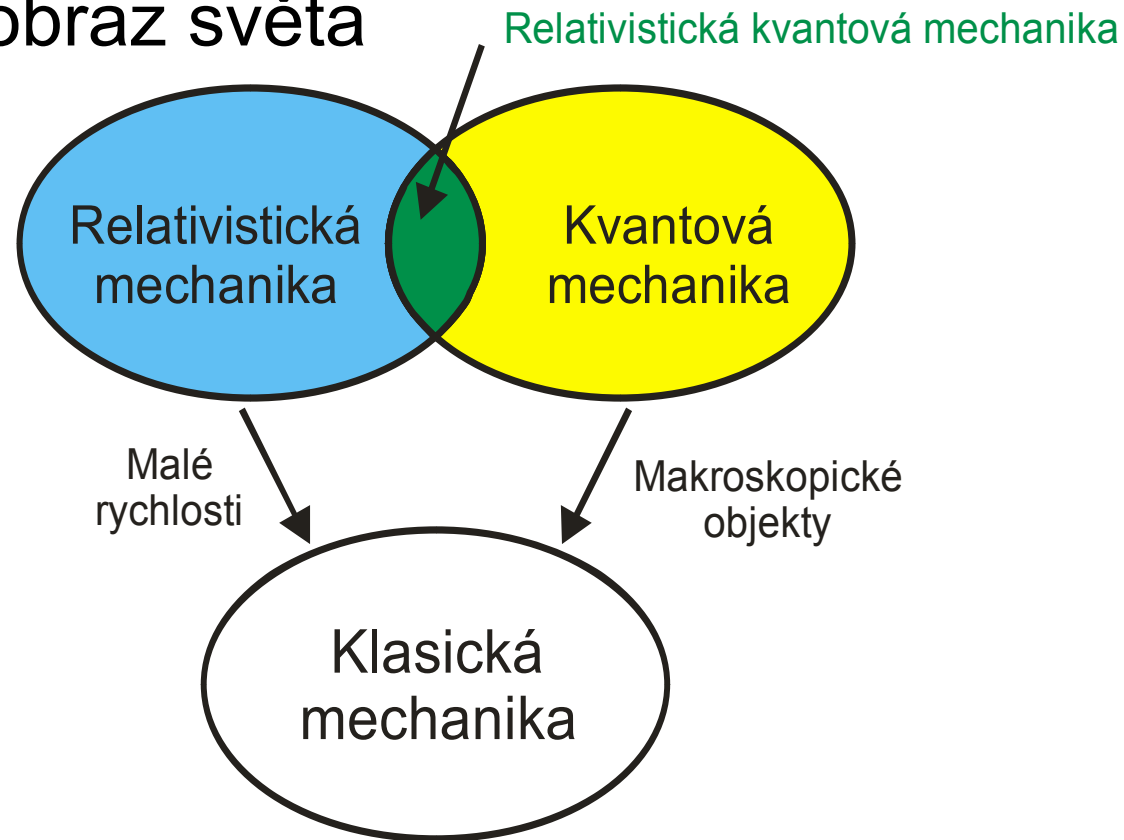
- Chování částic se někdy více blíží chování „kuliček“, jindy zase „vln“. Nelze ale vést striktní hranici mezi těmito typy chování.
- Často jsou povolené jen některé hodnoty energie i jiných veličin (kvantování).
- Některé charakteristiky nelze současně určit s libovolně vysokou přesností (relace neurčitosti).

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 Doc.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 Zeilingerera:
<http://www.quantum.at>
- Feynmanovy přednášky z fyziky 3.díl
- Malíšek: Co víte o dějinách fyziky
- Štoll: Dějiny fyziky
- tato prezentace:
<http://utf.mff.cuni.cz/popularizace/prezentacePMF2010/Kapsa.ppt>