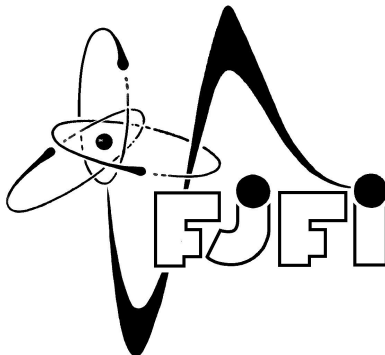


# Kvantová mechanika v obrázcích

Vojtěch Stránský

# Kdo vlastně jsem



# Pár slok na úvod

## Co tady můžete čekat?

- základní pojmy kvantové mechaniky
- pokus o zjednodušení
- kreslení obrázků
- připodobnění obrázku k jevu

## Co od vás očekávám?

- zapomenout skoro vše, co o fyzice víte
- přemýšlet nad zavedenými definicemi
- pořád se ptát

- 1 Proč kvantovka?
- 2 Jak to vzniklo?
- 3 Matematická vložka
- 4 Stav, pozorovatelné a měření
- 5 Obrázky a nástin základních příkladů

- 1 Proč kvantovka?
- 2 Jak to vzniklo?
- 3 Matematická vložka
- 4 Stav, pozorovatelné a měření
- 5 Obrázky a nástin základních příkladů

# Problémy klasické fyziky

- záření absolutně černého tělesa
- fotoefekt
- comptonův jev

# Závěry

- kvantování
- diskrétní hodnoty energie
- vlnový i částicový charakter
- nefunguje nám to

- 1 Proč kvantovka?
- 2 Jak to vzniklo?
- 3 Matematická vložka
- 4 Stav, pozorovatelné a měření
- 5 Obrázky a nástin základních příkladů



# Řešení

- De Broglie
- každá částice je asi vlna?

# Vlna

## Klasická vlna

$$E = E_0 \exp i(kx - \omega t)$$

## Kvantovka

$$E = \hbar\omega \quad p = \hbar k$$
$$\psi = A \exp \left( i \frac{px - Et}{\hbar} \right)$$

# Jakou rovnici splňuje ta funce?

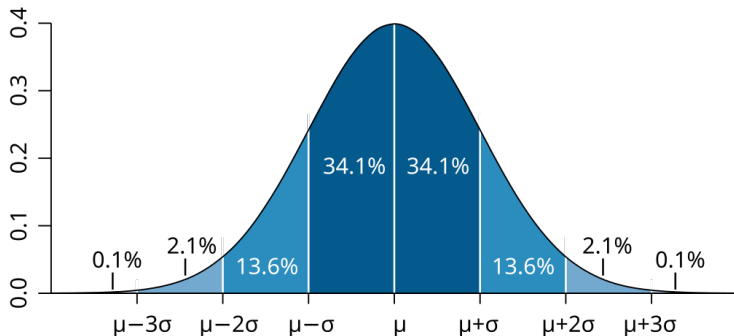
## Schrödingerova rovnice

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \hat{H} \psi$$

## A co to má znamenat?

$$p(x, t) \sim \|\psi(x, t)\|^2$$

# Hustota pravděpodobnosti



# Jak to zjednodušit?

- Hamiltonián nezávislý na čase
- Fyzikální poznatky o významu vlnové funkce

## Zjednodušení

$$\hat{H}\psi = E\psi$$

- 1 Proč kvantovka?
- 2 Jak to vzniklo?
- 3 Matematická vložka**
- 4 Stav, pozorovatelné a měření
- 5 Obrázky a nástin základních příkladů

# Vektor

## Vektorový prostor

- množina  $V$
- uzavřená na sčítání
- uzavřená na násobení číslem

## Vektor

- prvek vektorového prostoru
- šipečky
- polynomy
- $|v\rangle$

# Skalární součin a norma

## Skalární součin

- funkce
- vstup jsou dva vektory
- leze z toho číslo
- $\langle x|y \rangle$

## Norma

- $\|x\| = \sqrt{\langle x|x \rangle}$



# Báze

## Báze

- podmnožina vektorového prostoru
- jejím lineárním obalem je prostor

## Dimenze

- počet vektorů v bázi

# Operátory na $V$

## Co je operátor

- zobrazuje vektor na vektor
- rotace, prodloužení ve směru  $y$

## Matice

- na prostoru šipeček

- $\hat{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$

# Vlastní čísla operátoru

## Vlastní čísla a vlastní vektory

- $\hat{H}|\psi\rangle = \lambda|\psi\rangle$
- k vlastnímu číslu patří vlastní vektor, nebo víc

- 1 Proč kvantovka?
- 2 Jak to vzniklo?
- 3 Matematická vložka
- 4 Stav, pozorovatelné a měření**
- 5 Obrázky a nástin základních příkladů

# Stav kvantové částice

## Klasická mechanika

- rychlost, poloha
- hybnost, poloha

## Kvantová mechanika

- vlnová funkce
- řešení Schrödingerovy rovnice
- rovnice je lineární
- můžeme brát jako šipečky

# Pozorovatelné

## Klasická mechanika

- zjistíme funkci, dosadíme stav

## Kvantová mechanika

- pozorovatelným přiřazujeme operátory
- $\hat{P}|\psi\rangle = p|\psi\rangle$

# Princip korespondence

## Zavedení základních operátorů

- $\hat{Q}|\psi\rangle = x|\psi\rangle$
- $\hat{P}|\psi\rangle = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x} |\psi\rangle$

## Princip korespondence

- operátory skládáme podle vzorců z klasické fyziky
- lze složit moment hybnosti a další
- $\hat{H}$  je operátor celkové energie

# Měření v kvantové mechanice

## Co víme?

- dokážeme určit možné hodnoty pozorovatelné
- po měření musí být ve spektru jen jedna hodnota

## Co z toho plyne?

- měření nám mění stav
- stav po měření je průmět stavu před měření do vlastního podprostoru
- pravděpodobnost naměření výsledku je úměrná normě projekce



- 1 Proč kvantovka?
- 2 Jak to vzniklo?
- 3 Matematická vložka
- 4 Stav, pozorovatelné a měření
- 5 Obrázky a nástin základních příkladů**

# Kvantový LHO

