

# Cavity QED mit Mikrowellen Resonanz

Nobel Preis (2012) von Serge Haroche

Angelo Brade

University of Bonn

April 10, 2025

# Outline

- 1 Historische Einordnung
  - Vorrangegangene Entwicklungen
  - Schrödingers Katze
- 2 Mikrowellen Resonator
  - Stehende Wellen und Moden
  - Spiegel
  - Q Faktor
- 3 QND
  - Rydberg-Atom
  - Ramsey Interferometer
- 4 Schrödingers Kätzchen
- 5 Zusammenfassung

# Vorrangegangene Entwicklung

# Schrödingers Katze

### 1 Einlaufende Welle

- ▶  $E_1 = Ae^{i(\omega t - kx)}$

### 2 Reflexion

- ▶ Umkehrung der Phase  $kx \rightarrow -kx$  und Phasenverschiebung  $\pi$

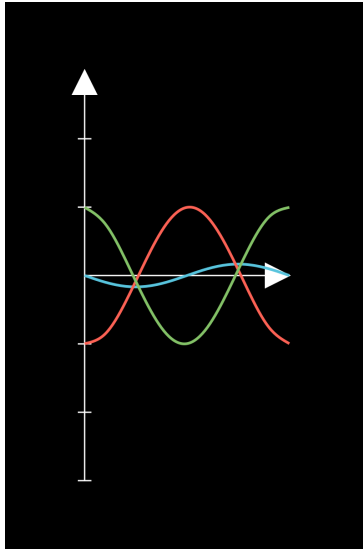
### 3 Auslaufende Welle

- ▶  $E_1 \rightarrow E_2 = Ae^{i(\omega t + kx + \pi)}$

### 4 Interferenz nach Superpositionsprinzip

- ▶  $E_{\text{tot}} = E_1 + E_2 = 2Ae^{i(\omega t + \frac{\pi}{2})} \cos(kx + \frac{\pi}{2})$
- ▶  $\Rightarrow y(x, t) = \text{Re}(E_{\text{tot}}) = 2A \sin(\omega t) \sin(kx)$

# Stehende Wellen und Moden



Click to play



# Spiegel

- Luft und Spiegel können als Leiter betrachtet werden
- Reflektionskoeffizient:  $r = \frac{Z_A - Z_W}{Z_A + Z_W}$ 
  - ▶  $Z_A$  := Abschlusswiderstand
  - ▶  $Z_W$  := Wellenwiderstand
- Für Metalle gilt:  $Z_M = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma + i\omega\epsilon}}$  mit  $\sigma$  := Leitfähigkeit
- Spiegel (Abschluss) aus Metall:  $Z_A = Z_M$
- $\Rightarrow \lim_{\sigma \rightarrow \infty} r = -1$
- $\Rightarrow$  **Leitfähigkeit soll maximiert werden**



# Q Faktor

- $Q := \frac{\text{gespeicherte Energie}}{\text{Energieverlust}}$
- $r \rightarrow \pm 1 \Leftrightarrow Q \rightarrow \infty$
- Spiegel von Haroche:  $Q \approx 10^6 \hat{=} \tau_{\text{ph.}} = 1\text{ms}$ 
  - ▶ **Zu niedrig**

Wie kann man die Leitfähigkeit erhöhen?

# Q Faktor

- Spiegel von Meschede:  $Q \approx 10^{10} \hat{=} \tau_{\text{ph.}} = 10\text{s}$ 
  - ▶ nutzt Supraleiter  $\Leftrightarrow Z_M \approx 0 \Leftrightarrow r \approx -1$
- Haroche nutzt Spiegel von Meschede
- Meschede wird Postdoc von Haroche

# Vorrangegangene Entwicklung

# Rydberg-Atom

# Ramsey Interferometer

# Schrödingers Kätzchen

# Zusammenfassung



# Title

## Geschichte