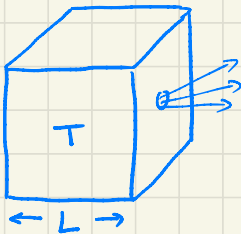


# 1. Schlüsslexperimente der QM

- a) Hohlraumstrahlung ✓
- b) Photoeffekt ✓
- c) Comptoneffekt
- d) Spektrallinien
- e) Doppelspaltexperiment

## a) Hohlraumstrahlung

Hohlraum bei Temperatur  $T$



Energiedichte (der el.-magn. Hohlraumstrahlung)  
im Frequenzbereich  $\nu \dots \nu + d\nu$

$$= u(\nu, T) d\nu$$

werden sehen, dass Energie nicht kontinuierliche Werte annimmt,  
sondern in Quanten vorkommt

## klassische, statistische Mechanik

$$u(\nu, T) d\nu = 2 \cdot \frac{1}{L^3} \cdot \frac{d^3k}{(2\pi/L)^3} \cdot (\langle T \rangle + \langle V \rangle)$$

Pol. möglichkeiten des  
transversalen el. mag. Feldes

Zahl der Moden:  $\vec{k} = \frac{2\pi}{L} \vec{n}$ ,  $d^3n = \frac{d^3k}{(2\pi/L)^3}$

mittlere Energie:  $\langle T \rangle = \langle V \rangle = \frac{1}{2} k_B T$

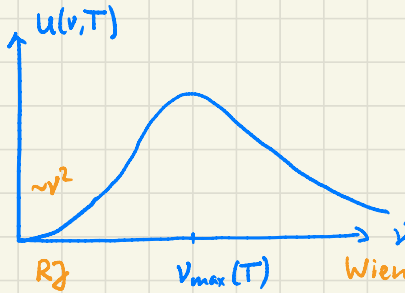
mit  $k = \frac{\omega}{c}$ ,  $\omega = 2\pi\nu \Rightarrow d^3k = 4\pi k^2 dk = 4\pi \left(\frac{2\pi}{c}\right)^3 \nu^2 d\nu$

$$\Rightarrow u(\nu, T) = \frac{8\pi \nu^2}{c^3} \underbrace{k_B T}_{\bar{E}} \rightarrow \text{Rayleigh-Jeans Gesetz}$$

gut erfüllt  $\nu \ll \frac{k_B T}{h}$   $h = \text{Plancksche Konstante}$

Aber:  $\int_0^{\infty} u(\nu, T) d\nu = \text{Gesamtenergiedicht} \rightarrow \infty!$   
 RJ:  $\sim \nu^2$  kann nicht für beliebig hohe  $\nu$  gelten

Experiment



Empirisch: Wien Gesetz  $u(\nu, T) = c_1 \nu^3 e^{-\frac{c_2 \nu}{k_B T}}$   $c_1, c_2 \text{ konst.}$   
 für  $\nu \gg \frac{k_B T}{h}$

Plancksche Strahlungsformel  $u(\nu, T) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$

Plancksche Entdeckung  
 eine Schwingungsmode in  $\nu \dots \nu + d\nu$  kann nur ganzzahlige Vielfache der Energie  $h\nu$  haben  $E_n = n h\nu$   $n = 0, 1, 2, \dots$

und Energie sind nach Boltzmann verteilt:  
 Wahrscheinlichkeit, dass Mode  $n$ -fach besetzt  $P_n = e^{-\frac{n h\nu}{k_B T}}$

$\Rightarrow$  mittlere Energie der Mode  $\nu$ :  $\bar{E}_\nu$

$$\bar{E}_\nu = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} nh\nu p_n}{\sum_{n=0}^{\infty} p_n} = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

$$\left( \sum_{n=0}^{\infty} \left( e^{-\frac{h\nu}{k_B T}} \right)^n \right) = \frac{1}{1 - e^{-\frac{h\nu}{k_B T}}}, \quad \sum_{n=0}^{\infty} nh\nu p_n = -\frac{\partial}{\partial \left( \frac{1}{k_B T} \right)} \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\frac{nh\nu}{k_B T}}$$

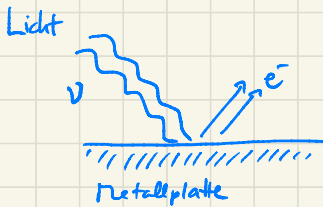
$$\Rightarrow u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

→ Energie kommt in Quanten vor

## b) Photoeffekt

Hertz 1887 entdeckt

theo. Erklärung durch Einstein 1905, Nobelpreis 1921



Stärke des  $e^-$  Stromes  $\sim$  Lichtintensität (für  $\nu = \text{const}$ )

Geschwindigkeit/kin Energie der  $e^-$  unabhängig von Lichtintensität

$$\text{Experiment: } \frac{1}{2} m v^2 = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{gleiche Plancksche Konstante}}}{h\nu} - W_s \quad W_s = \text{Austrittsarbeit}$$

Einsteinsche Erklärung: El.-magn. Wellen bestehen aus Lichtquanten (Photonen) der Energie  $h\nu$