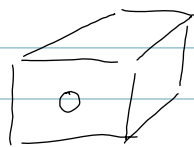


2. Quantenmechanik

2.1 Experimente Grundlagen

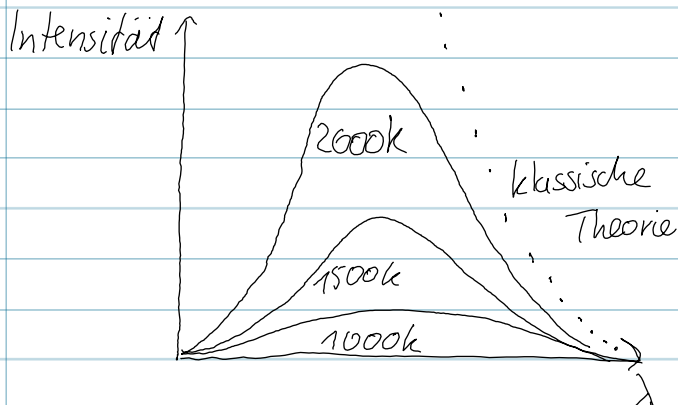
a) Wärmestrahlung



Hohlraum
isoliert

Strahlung hängt nur von T ab

„Schwarzer Strahler“



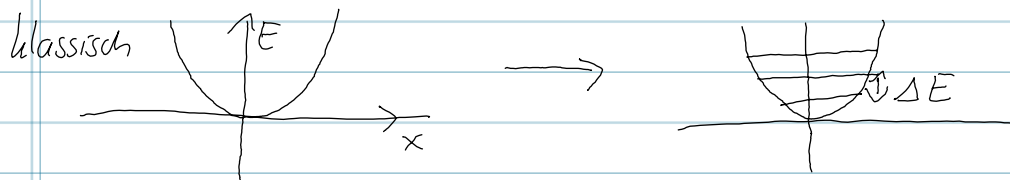
Intensität \propto Energiedichte $s(\nu)$

klassische Theorie $s(\nu) d\nu = \boxed{\frac{8\pi \nu^2}{c^3} kT d\nu}$ Rayleigh-Jeans

→ UV-Katastrophe

→ stimmt für hohe Frequenzen nicht mit Experiment überein

Planck 1900 Oszillatoren besitzen Energiezustände, die gequantelt sind



Einstein 1905

Strahlung besteht aus Lichtquanten (Photonen)

$$\Delta E = h \cdot \nu$$

Energie \propto Frequenz

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad \text{Plancksches Wirkungsqn.}$$

↳ Plancksches Strahlungsgesetz

$$S(\nu) d\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\nu$$

↑
Spektrale Energiedichte

$$\text{Grenzfall } \frac{h\nu}{kT} \rightarrow 0: e^{-\frac{h\nu}{kT}} \approx 1 + \frac{h\nu}{kT} + \dots$$

$$\lim_{\frac{h\nu}{kT} \rightarrow 0} S(\nu) d\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{\frac{h\nu}{kT}} d\nu = \frac{8\pi \nu^2}{c^3} kT d\nu \stackrel{!}{=} \text{R-J.}$$

Wiensche Verschiebungsgesetz

$$\nu_{\text{max}} \propto T$$

$$\nu_{\text{max}} = \frac{2,82 k}{h} \cdot T$$

Stefan-Boltzmannsche Gesetz

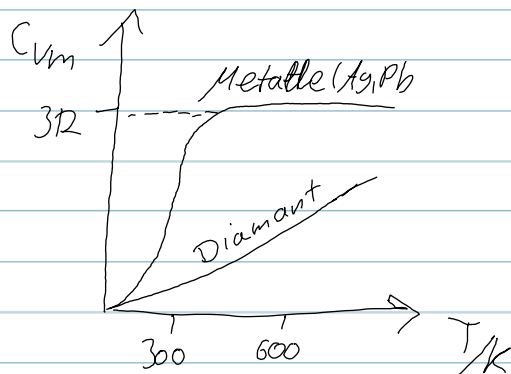
$$\text{Gesamtstrahlung } S = \sigma \cdot T^4$$

b) Molwärme einatomiger Festkörper

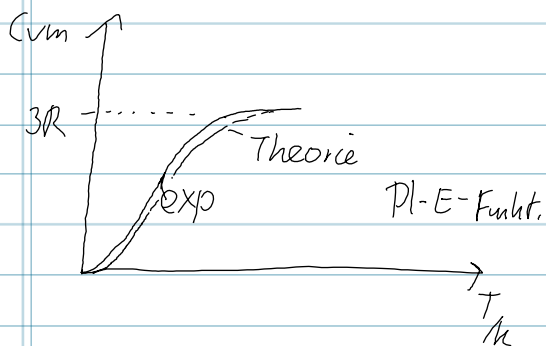
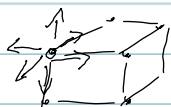
klassische Theorie: Dulong-Petit

$$U_m = 3k T \cdot N_A = 3RT$$

$$C_{vm} = \left(\frac{\partial U_m}{\partial T} \right)_v = 3R \approx 25 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$



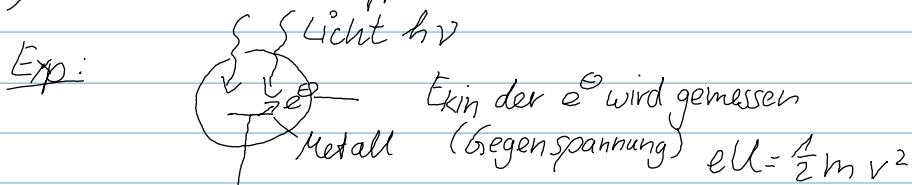
Einstein Theorie: Schwingungen der Atome sind gequantelt
(Schwingungsfrequenz ν)



$$C_{vm} = 3R \left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2 \frac{e^{-\frac{h\nu}{kT}}}{\left(e^{-\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)^2} \quad \text{P-E}$$

$$\lim_{\frac{h\nu}{kT} \rightarrow 0} C_{vm} = 3R \left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2 \frac{1}{\left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2} = 3R \rightarrow \text{D.P.}$$

c) Lichtelektrische Effekt (Photoeffekt)



Ergebnisse

- 1) Mindestfrequenz ν_0 für e^- -Austritt
- 2) $\nu > \nu_0$: $E_{kin} \propto \nu$
- 3) $\nu > \nu_0$ Zahl der Elektronen durch Intensität des Lichtes

Einstein 1905

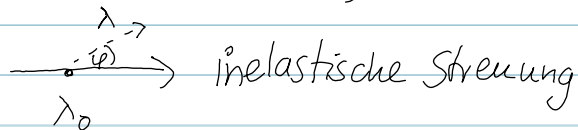
Theorie: Strahlung besteht aus Lichtquanten mit Energie $h \cdot \nu = E$

Austrittskraft $\Phi = h \nu_0$
$$h \nu = \frac{1}{2} m v^2 + \Phi$$

↳ Planck Wirkungsqu.

d) Compton-Effekt 1923

Exp: Röntgenstrahlung auf Festkörper



Theorie: Teilchenbild

Stoß eines Röntgenquants mit $E = h \nu_0$

Impuls $p = \frac{h \nu_0}{c}$ mit freiem e^-

Impuls: $E = h \nu_0$ } $mc^2 = p = \frac{h \nu_0}{c}$
 $E = mc^2$
 $\frac{h \nu}{c} = \frac{h \nu_0}{c} + m \cdot v$
 $\frac{h \nu_0}{c} \dots$
 $\nu \approx \nu_0$

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{2} m v / \frac{h \nu_0}{c}$$

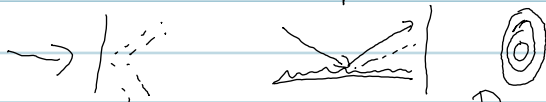
$$\frac{1}{2} m v = \frac{h \nu_0}{c} \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \frac{(m v)^2}{m} = \frac{4 h^2 \nu_0^2}{2 m c^2} \sin^2 \left(\frac{\varphi}{2} \right) = h \nu_0 - h \nu$$

↳
$$\Delta \lambda = \frac{2 h}{m c} \sin^2 \left(\frac{\varphi}{2} \right)$$
 gilt allgemein (nicht nur für $\nu \approx \nu_0$)

e) Wellenlänge von Materieteilchen

Exp: e^- treffen auf dünne Metallfolie oder Gitter \rightarrow Beugungsmuster



Davison-Gamer 1925

analog: Neutronenbeugung
Röntgen "

Theorie: de Broglie 1924

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

↑ Teilchengeschw.

makroskopisch Teilchenstrahlen besitzen Wellenlänge

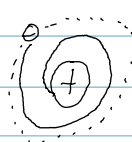
EM Strahlung \rightarrow Teilcheneigenschaften

e^- ; andere Teilchen \rightarrow Welleneigenschaften

} Welle-Teilchen-Dualismus

2.2 Bohrsches Modell

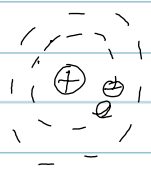
Rutherford (1911)



beschleunigte Ladung e^- strahlt & stürzt in Kern

- 1) kontinuierliche Strahlung
 - 2) Atom n. stabil
- } nicht beobachtet

Bohr (1913)



- 1) Atom besitzt stabile diskrete Energiezustände auf denen es nicht strahlt

Übergänge: $\Delta E = E_n - E_{n-1} = h \nu$

- 2) Für erlaubte Bahnen gilt $L = n \hbar = n \frac{h}{2\pi}$ $n = 1, 2, 3, \dots$

↑
Drehimpuls $L = m v r$

e^- als stehende Welle



$$u = 2\pi r = n \cdot \lambda = n \cdot \frac{h}{m \cdot v}$$

$$\hookrightarrow L = m \cdot v \cdot r = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$