Ziel der Anleitung:

- Erstellen einer Kennlinienschar einer Hochvakuumdiode
- Bestimmung des Gültigkeitsbereichs des Langmuir-Schottkyschen Raumladungsgesetzes
- Untersuchung des Anlaufstromgebiets der Hochvakuumdiode
  → Ermittlung der Kathodentemperatur
- Abschätzung der Kathodentemperatur aus Leistungsbilanz
- Berechnung der Austrittsarbeit des Kathodenmaterials

Allgemeines Ziel:

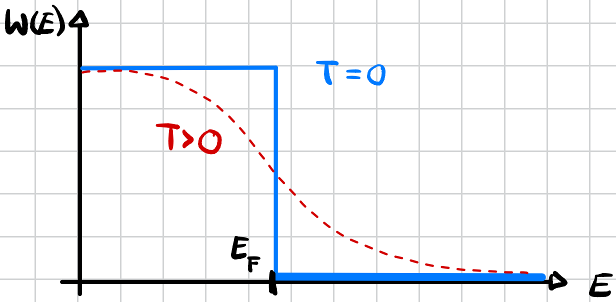
- Erzeugung freier Elektronen aus einer Metall-Oberfläche mittels Erwärmung (glühelektrischer Effekt)
  → Untersuchung der Temperaturabhängigkeit
- Bestimmung der Austrittsarbeit von Wolfram

Theorie:

Austrittsarbeit & Leitungselektronen:

- Metalle → gute elek. Leitfähigkeit
  ↳ Ionengitter mit freien Elektronen, nur von Potential ϕ des Gitters beeinflusst → keine Kräfte auf Elektronen, frei beweglich
    ↳ Potential näherungsweise konstant
- Beim Verlassen des Metalls muss Austrittsarbeit $e_0 \zeta$ geleistet werden
  ↳ ζ: Fermische Grenzenergie, abhängig von Elektronendichte im Material
    ↳ Wahrscheinlichkeit, dass Teilchen ζ trägt durch Fermi-Dirac-V.

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E-\zeta}{k_B T}+1\right)} \approx \exp\left(\frac{\zeta - E}{k_B T}\right)$$



Sättigungsstromdichte bei therm. Elek.-Emission:

Es können die Elektronen die Metalloberfläche verlassen, deren Geschwindigkeit senkrecht zur Ebene so groß ist, dass

$$\frac{1}{2} m_0 v_z^2 > \zeta + e_0 \phi \quad (*)$$

Gitterpotential

- Stromdichte aus Multiplikation von Anzahl Elektronen, die (*) erfüllen mit e_0, eingesetzt in

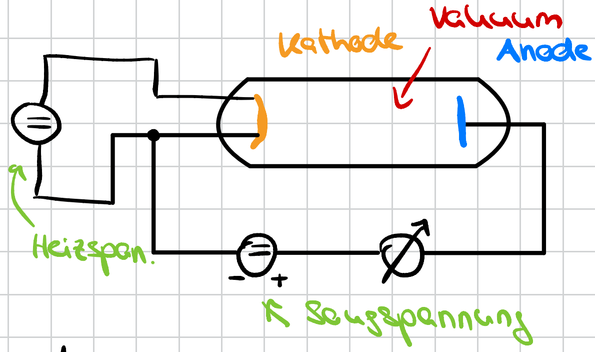
$$d\alpha = n(E)\, dE\, dp_x\, dp_y \Rightarrow j_S(T) = \frac{4\pi e_0 m_0 k_B^2}{h^3} T^2 \exp\left(-\frac{e_0 \phi}{k_B T}\right)$$

Richardson-Gl.

Hochvakuumdiode:

- Messung der emittierten Elektronen nur im Hochvakuum möglich, sonst WW mit Gasatomen
- Elektrisches Feld mit Saugspannung
- Glaskolben mit Kathodendraht (Glühkathode)
  Erhitzen auf 1000K - 3000K

• Absaugen der Elektronen durch elek. Feld zw. Elektroden



Langmuir-Schottkysches Raumladungsgesetz:

• Anodenstrom abhängig von Anodenspannung
(Ohmsches Gesetz hier ungültig)

↳ Raumladungsdichte nimmt in Richtung Anode ab

↳ schirmt das Feld von Kathode ab

→ Feld reicht nicht bis Kathode, endet bei Raumladungselektronen davor

↳ Diodenstrom niedriger als Sättigungsstrom, da nicht alle Elektronen Anode erreichen

$$\Rightarrow j = \frac{4}{9}\varepsilon_0 \sqrt{\frac{2e_0}{m_0}}\,\frac{U^{3/2}}{a^2}$$ Langmuir-Schottkysches Rauml. Gesetz

$I \propto U^{3/2}$ nicht linear $\neq$ Ohmsch. Gesetz.

Anlaufstromgebiet:

• Aus L-S-RG folgt: $U = 0 \Rightarrow j = 0$

↳ allerdings: auch bei $U = 0$ ist kleiner Anodenstrom messbar

→ entsteht durch Eigengeschw. der Elektronen

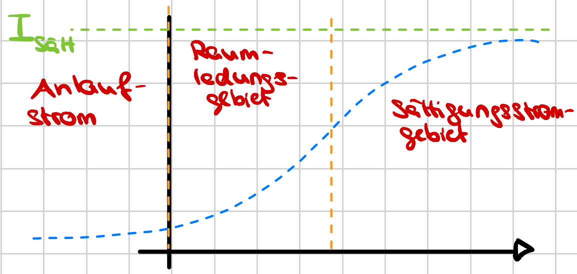
Energieüberschuss: $\Delta E = E - (\zeta + e_0\Phi)$

⇒ Elektronen in der Lage, gegen kleines Gegenfeld anzulaufen

↳ Anlaufstrom I_A

Kennlinie der Hochvakuumdiode:

Zusammenhang von j, I_A und U von Kennlinie beschr.



Durchführung:

Kennlinienscharen der Hochvakuumdiode:

- Aufnahme von 5 Kennlinien
  ↳ für 5 verschiedene Heizströme $I \in [1{,}8\,A - 2{,}4\,A]$
- Pro Durchlauf:
  - Wahl eines Stroms, schrittweises Erhöhen der Anodenspannung, bis Kurve gegen Sättigungswert läuft
    ↳ (bei 2,4 A kleinschrittiger für spätere Bestimmung des Raumladungsgebiets)

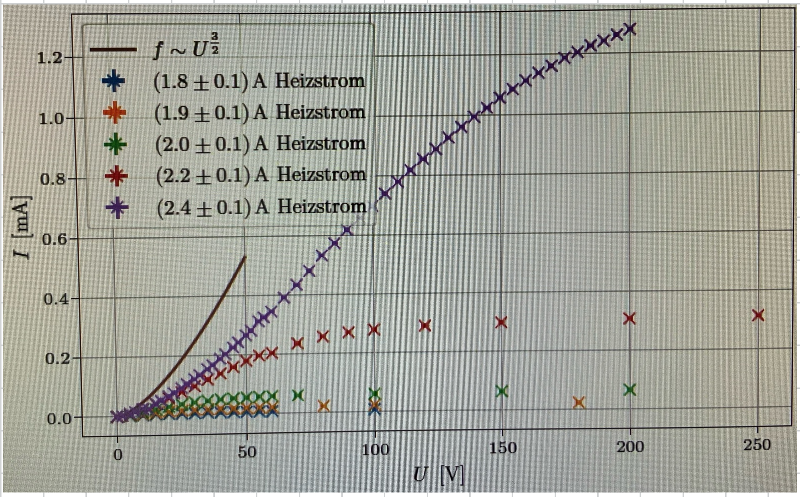
Sättigungsstromdichte:

$$j_s(T) = e_0 m_0 \frac{4\pi k_B^2}{h^3} T^2 \cdot \exp\left(-\frac{e_0 \phi}{k_B T}\right)$$

↳ für große T gilt:

$$I_S \propto T^2$$

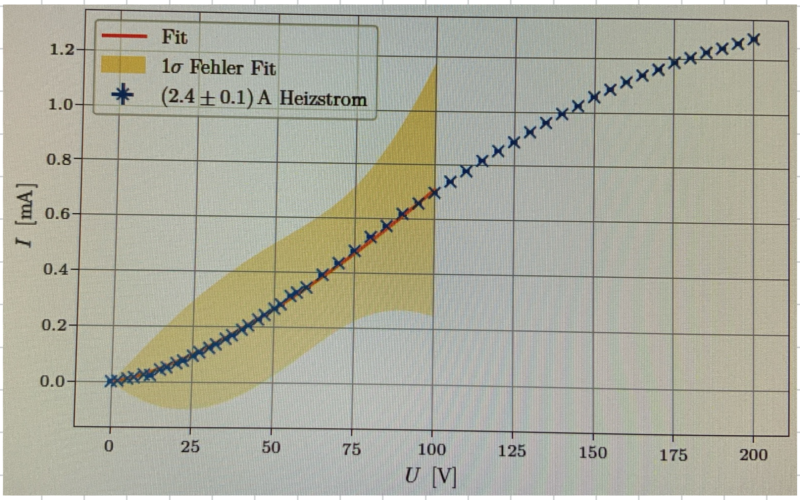
- $I(U) \propto U^\alpha \rightarrow U^{3/2}$



Langmuir-Schottkysches Raumladungsgesetz:

- Kurve soll $\propto U^\alpha$ sein
  ↳ Gültigkeitsbereich dort, wo Kurve steigt $\Rightarrow [0V, 100V]$
- Bestimmung von α
  ↳ Fit der Form $g(U) = \beta U^\alpha$

$\Rightarrow \alpha \approx 1{,}5 \;\hat{=}\; \frac{3}{2}$ der Theorie



Anlaufstromgebiet und Kathodentemperatur

Versuch war äußerst sensitiv & fehleranfällig

- Heizstrom $I_A = 2{,}4\,A$

  → stückweises Erhöhen des Gegenfeldes, Aufnahme von Wertepaaren

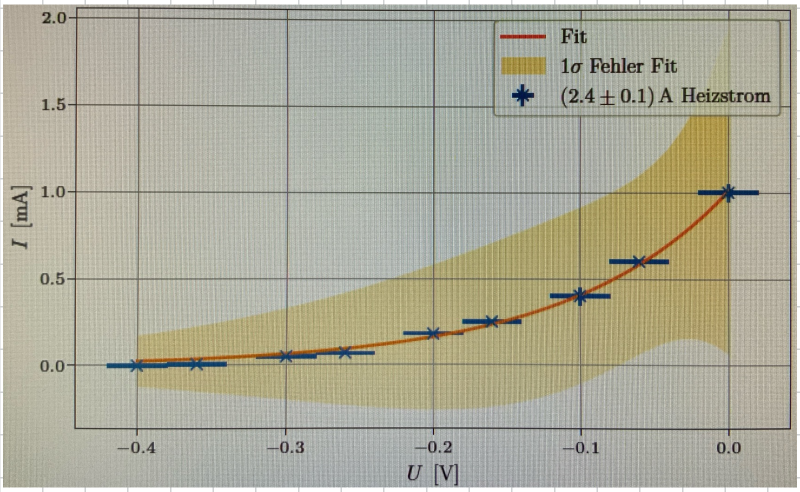
- Anlaufstrom aus Theorie:

  $$j(U) = j_0 \exp\left(-\frac{e_0(\phi_A + U)}{k_B T}\right)$$

  ↳ Fit: $g(U) = \alpha \exp(\beta U)$

  → Temperatur rückführbar

  auf $T = -\frac{e}{k_B \beta} \approx 1000\,K$



Heizleistungsbilanz und Kathodentemperatur:

$$T = \left(\frac{I_h U_h - N_{WL}}{A \eta \sigma}\right)^{1/4}$$

Bestimmung der Austrittsarbeit:

$$W_A = e\Phi = -k_B T \ln\left(\frac{h^3 I_S}{4\pi e m_e k_B^2 T^2 A}\right)$$