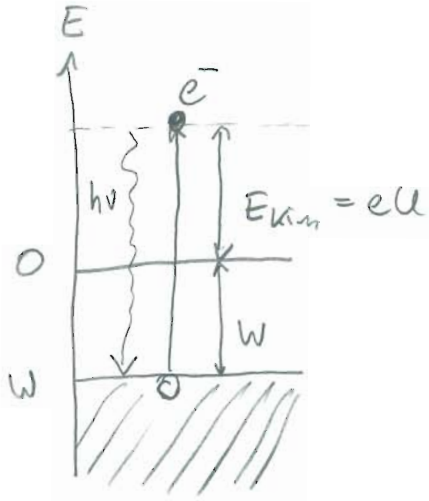
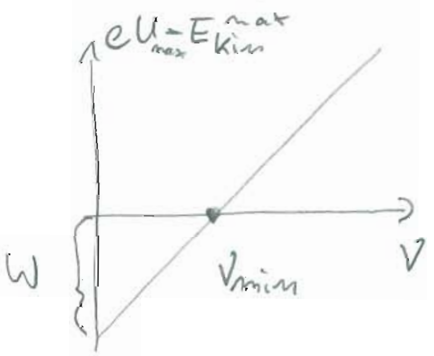
Photo-Effekt und inverser Photo-Effekt:



$$\boxed{h\nu = W + E_{kin}^{max}}$$

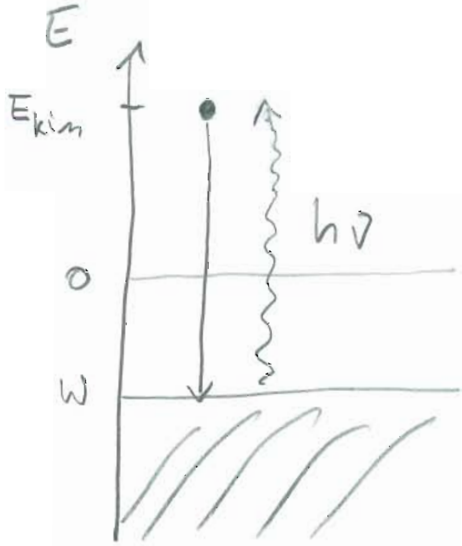
- ein Photon löst ein e^- aus Metall aus
- Prozess möglich für
  $$h\nu_{min} \geq W$$



• $\lambda = 600\ nm \ \hat{=}\ \frac{h\nu}{e} = 2eV$

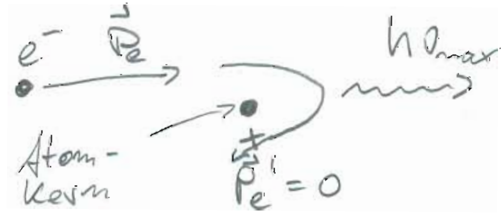
⇒ 1 Photon erzeugt in etwa ein freies e^-

⇒ Messung einzelner Photonen möglich



$$\boxed{E_{kin} + W = h\nu_{max}}$$

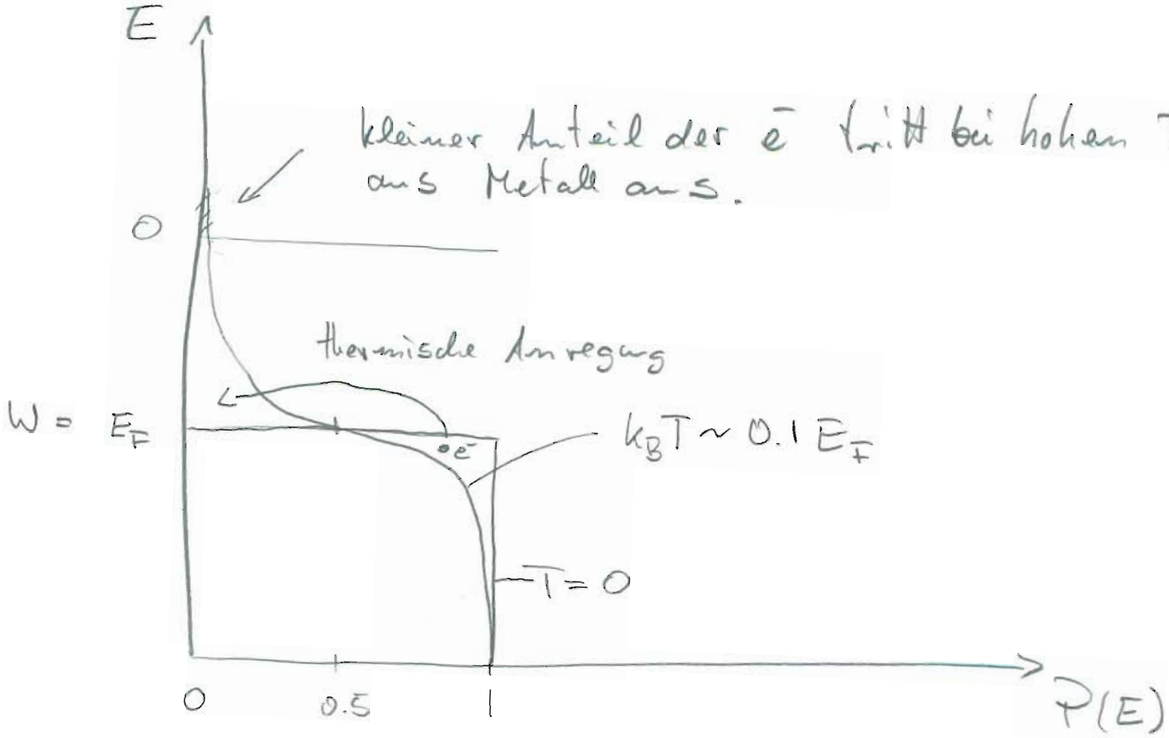
- einfallendes e^- erzeugt ein einzelnes Photon der Energie $h\nu_{max}$



- Bremsstrahlung bei Eintritt in Metall
- betrachte $E_{kin} \gg W$
- Erzeugung von hochenergetischen Photonen

⇒ mehrere Photonen können von einem hochenergetischen e^- erzeugt werden

Der thermoelektrische Effekt:



Energieverteilung der e^-:

$$P_{FD}(E) = \frac{1}{e^{E-E_F/k_B T} + 1}$$

Fermi-Dirac Verteilung

für $E \gg E_F$ und große T

$$P_{MB}(E) = e^{-\frac{E-E_F}{k_B T}}$$

P(E): Wahrscheinlichkeitsverteilung der Energie des e^-

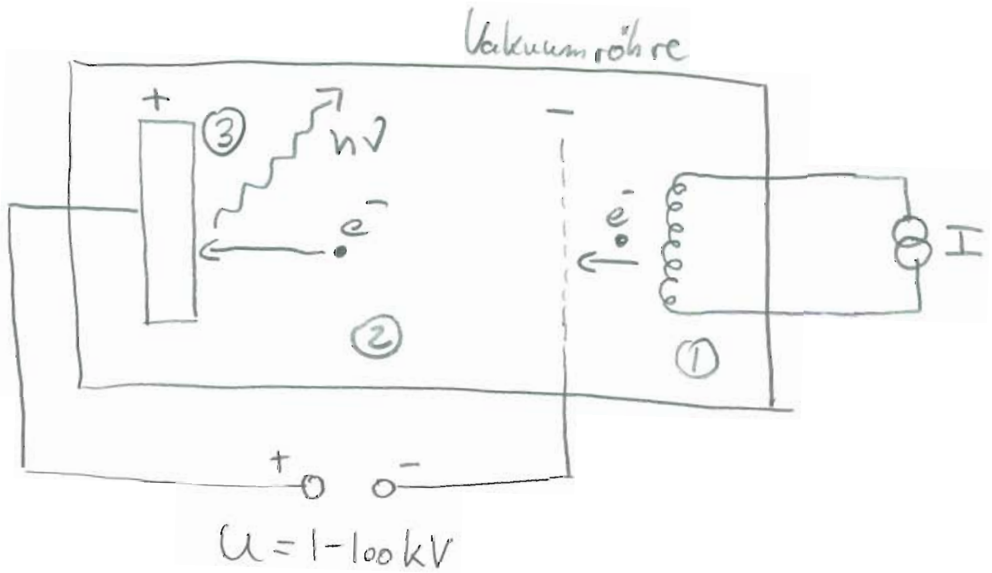
Typische Austrittsarbeit von Metallen:

$$W = E_F \sim 2-5\,eV$$

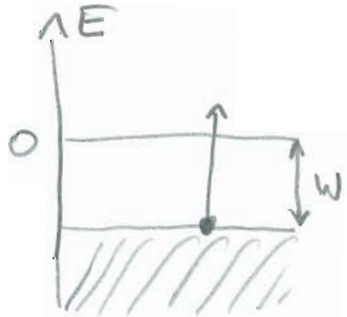
$$\frac{0.1\,W}{k_B} \sim 2000 - 10.000\,K$$

Temperaturen bei thermischer Emission

Der inverse photoelektrische Effekt



1. Erzeugung freier e^- durch thermoelektrischen Effekt



$k_B T \sim W$ $(W \sim 1\text{-}5\,eV)$

$\Rightarrow T \sim \mathcal{O}(1000\,K)$

⇒ starkes Aufheizen eines elektrischen Leiters führt zu e^- Emission

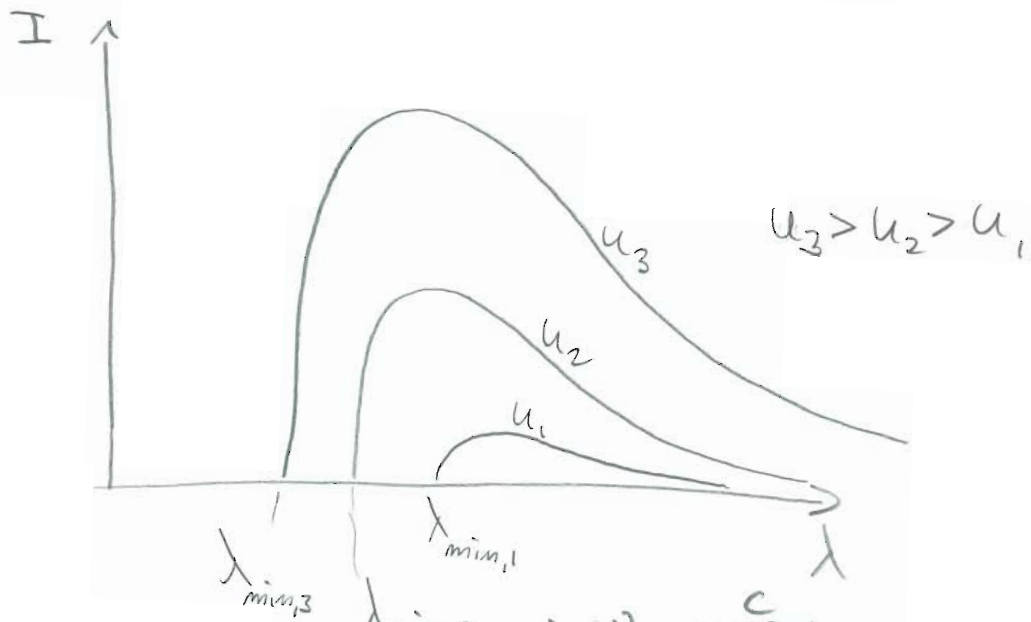
2. Beschleunigung der e^- durch große Potentialdifferenz

$$E_{kin} = eU$$

3. Abbremsen der e^- in Anode. Vielfachstreuung der einfallenden e^- an Elektronen und Kernen in der Anode. Erzeugung von Bremsstrahlung mit kontinuierlichem Spektrum.

⇒ Entdeckung des Effekts durch Wilhelm Konrad Röntgen (Nobelpreis 1901)

- Typisches Bremsstrahlungsspektrum



$\Rightarrow \nu_{max} = \frac{c}{\lambda_{min}}$

- höhere Intensität I für höhere eU der Elektronen
- kürzere minimale Wellenlänge der ausgesandten Bremsstrahlung für höhere U
- minimale Wellenlänge λ_{min} ist materialunabhängig

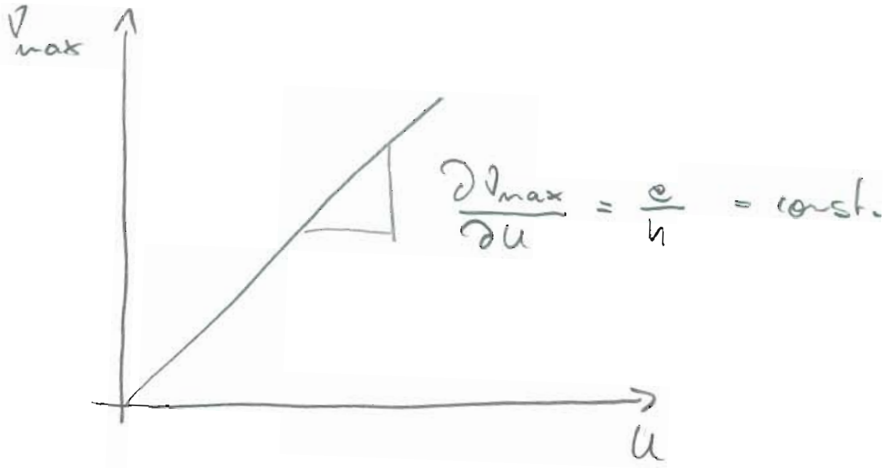
Erklärung der minimalen Wellenlänge λ_{min}:

$$E_{kin} = eU = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} \qquad \text{für } eU \gg W$$

$$\Rightarrow \lambda_{min} = \frac{hc}{eU}$$

- Vollständige Umwandlung der kinetischen Energie eines e^- in Bremsstrahlung durch Erzeugung eines einzelnen Photons

- Abhängigkeit der Grenzfrequenz ν_{max} von der Beschleunigungsspannung U



  - linearer Zusammenhang zwischen ν_{max} und U
  - Steigung: $\frac{e}{h}$ bestimmt durch Elektronenladung e und Planck'sche Konstante h

- Typische Wellenlängen der erzeugten Strahlung

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eU} = 0.01 - 10 \text{ nm}$$

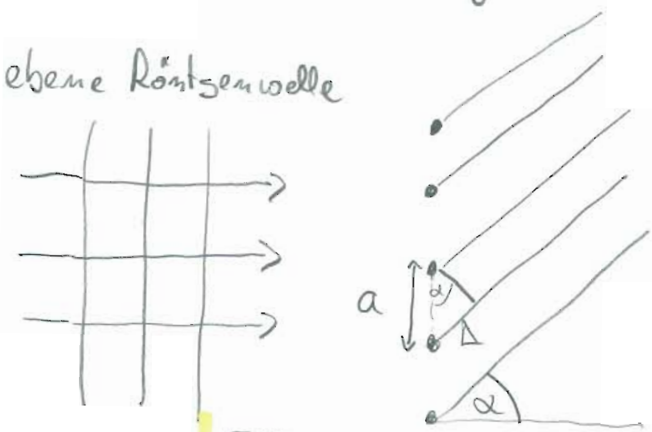
bei $U \sim 100\,kV - 100\,V$

- Anwendungen:
  - medizinische Abbildung durch Absorption von Strahlung
  - Untersuchung von Materialeigenschaften in der Festkörperphysik durch Beugung von Strahlung

Beugung von Röntgenstrahlung

- betrachte Welleneigenschaft von Röntgenstrahlung
- Beugung am Gitter
    - Bedingung für konstruktive Interferenz am Strichgitter

ebene Röntgenwelle



a: charakteristische Gitterperiode

Δ: Gangunterschied

$\Delta = \sin\alpha \; a$

$$\boxed{\sin\alpha_{max} = \frac{n\lambda}{a}}$$

↳ Beugungswinkel nur dann groß, wenn

$$\frac{n\lambda}{a} \sim 1$$

↳ für Röntgenstrahlen $\lambda \sim$ 0.01 nm – 10 nm

⇒ sehr feine Gitter nötig

↳ oder: betrachte Beugung bei hoher Ordnung n

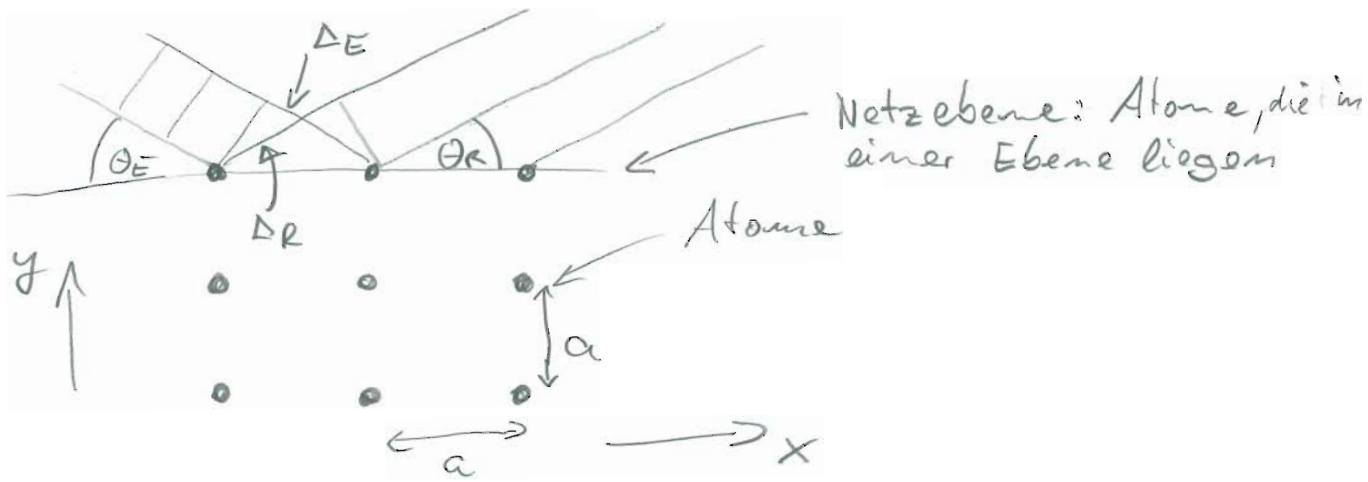
aber: Intensität nimmt mit Ordnung ab.

⇒ nutze natürliche Gitter mit $a \sim \lambda$

↳ Einkristalle

Beugung am kubischen Kristallgitter

- Beispiel: NaCl



- elektromagnetische ebene Welle fällt unter Winkel Θ_E ein
- Atome werden kohärent (mit fester Phasenbeziehung) zu Schwingungen angeregt und senden Kugelwellen aus (Huygens)

- Kriterien für konstruktive Interferenz am Kristallgitter

① Konstruktive Interferenz innerhalb einer Netzebene

$$\Delta_E = \sin\Theta_E\, a = \Delta_R = \sin\Theta_R\, a$$

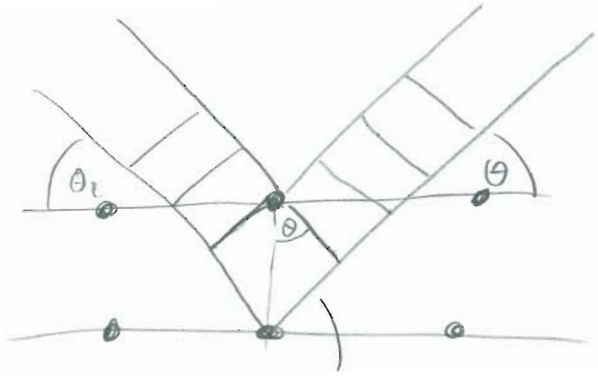
$$\Rightarrow \boxed{\Theta_E = \Theta_R}$$ Einfallswinkel = Ausfallswinkel

für $\lambda_E = \lambda_R$

⇒ d.h. bei elastischer Streuung der Strahlung an festem Atom

⇒ Wellenlänge der gestreuten Strahlung ändert sich nicht!

2 konstruktive Interferenz zwischen verschiedenen Netzebenen



$\Delta = \sin\theta\, a$

$2\Delta = 2\sin\theta\, a = n\lambda$

$$\Rightarrow \boxed{\sin\theta_{max} = \frac{n\lambda}{2a}}$$

Bragg'sche Interferenzbedingung an einer Schar von parallelen Netzebenen mit Abstand a.

Anwendung: - Bestimmung des Netzebenenabstands a im Kristallen (bekanntes λ).
- Bestimmung der Wellenlänge λ von Röntgenstrahlung bei bekanntem a.

$\Rightarrow$ Röntgenstrahlen zeigen Wellen-eigenschaften!