

Emissionsspektroskopie. Teilchencharakter des Lichtes.

Dr. Balázs Kiss

Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,
Institut für Biophysik und Strahlenbiologie.

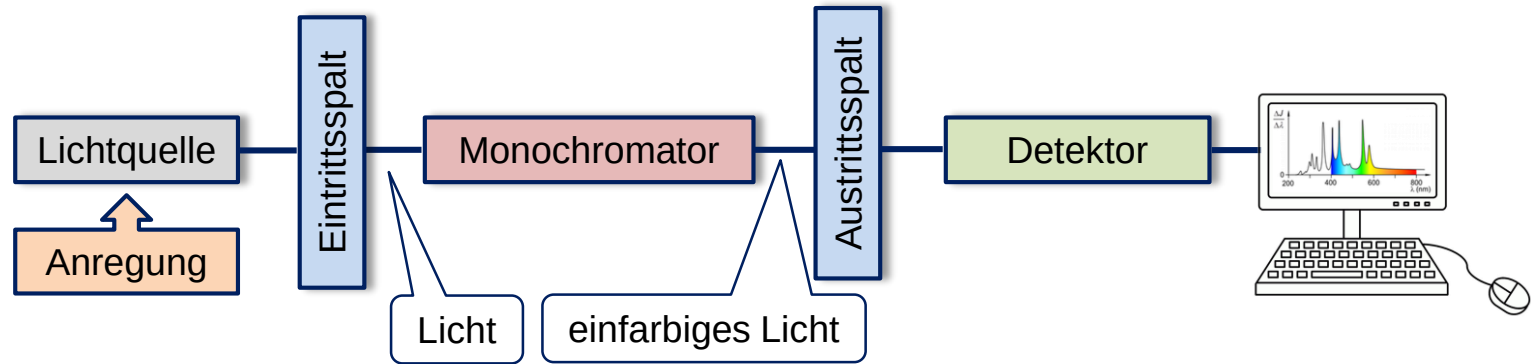
07. Oktober 2026.



SEMMELWEIS
UNIVERSITY 1769

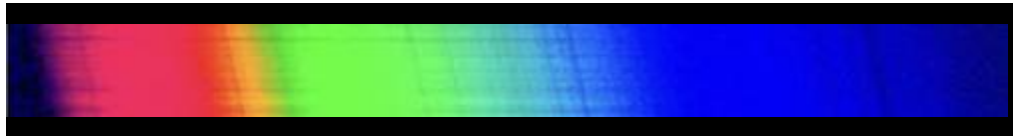
Emissionsspektroskopie

ZUR
ERINNERUNG



Monochromator:

Prisma



- **Dispersion:** blau wird stärker gebrochen, als rot
- nichtlinear

Reflexionsgitter



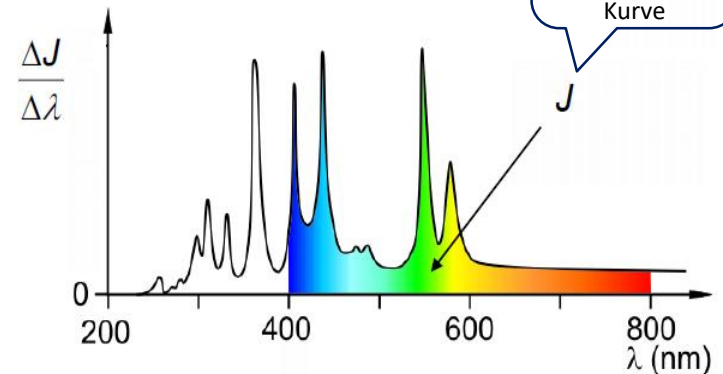
- **Diffraction:** rot wird stärker gebeugt, als blau
- (quasi)linear

Spektrum:

- Wellenfängfunktion der (ausgestrahlten) Intensität

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Gesamt-
intensität:
Flächenstück
unter der
Kurve



Spektrum

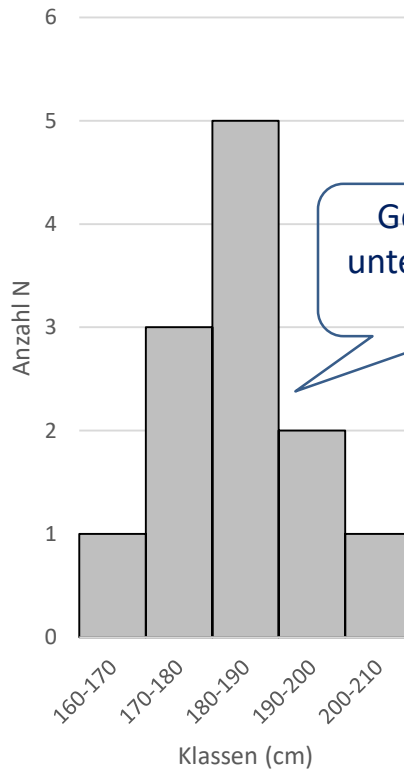
Verteilung der Teilchenenergie-Werte

Beispiel: Körpergrößewerte in cm

162, 170, 174, 177, 181, 181, 185, 186, 189, 193, 197, 202

$n = 12$

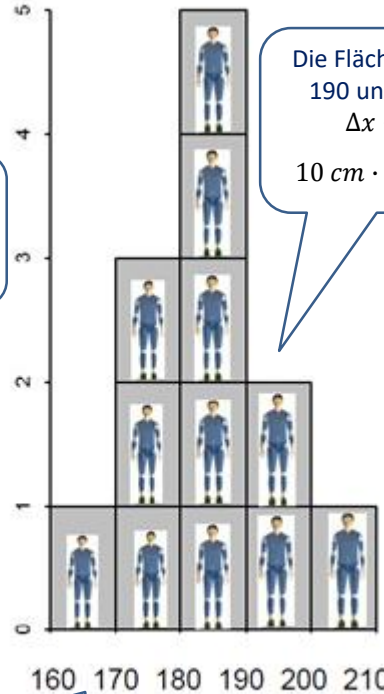
Häufigkeitsverteilung



Gesamtfläche unter den Säulen:
 $n = 12$

Häufigkeitsdichte

$$\frac{\Delta N}{\Delta h} \left(\frac{1}{10 \text{ cm}} \right)$$



Die Fläche zwischen 190 und 200 cm:
 $\Delta x \cdot \Delta y =$
 $10 \text{ cm} \cdot \frac{2}{10 \text{ cm}} = 2$

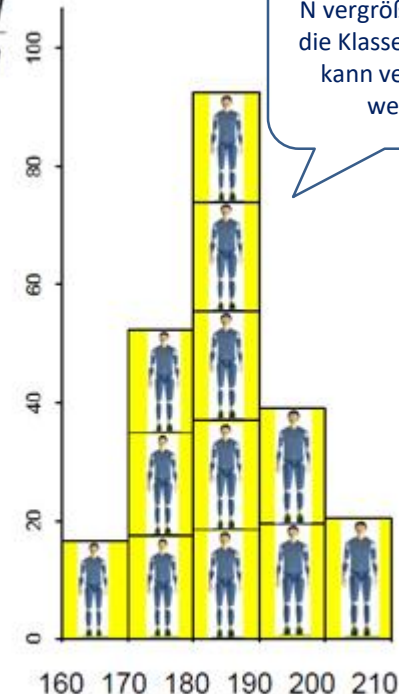
$\Delta h = \Delta x = 10 \text{ cm}$

$h \text{ (cm)}$

Durchschnittliche Höhe der Klasse (ΔH) durch Klassenbreite (Δh)

Spektrum

$$\frac{\Delta H}{\Delta h}$$

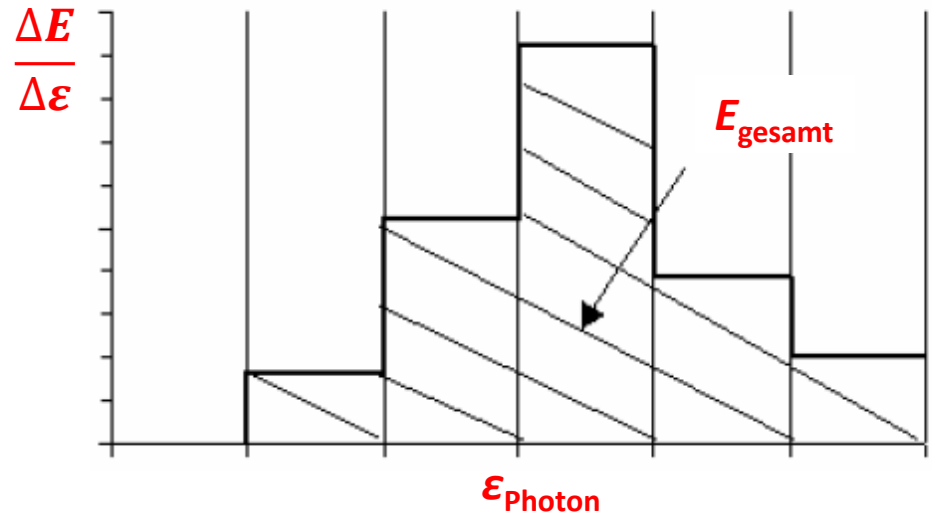


N vergrößert sich → die Klassenbreite Δh kann verkleinert werden

Emissionsspektrum

- wie sich die **gesamte emittierte Energie (E_{gesamt}) auf die einzelnen Photonenenergien (ϵ_{photon}) verteilt wird:**

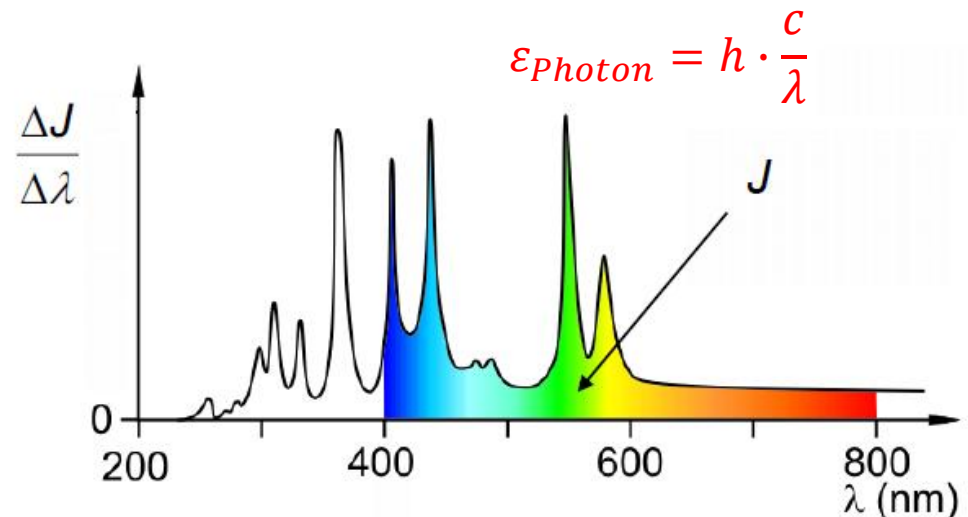
$$E_{\text{gesamt}} = N \cdot \epsilon_{\text{photon}}$$



Praktische Größen des
Energietransports:

- Intensität (J)
- **spezifische Ausstrahlung (M)**

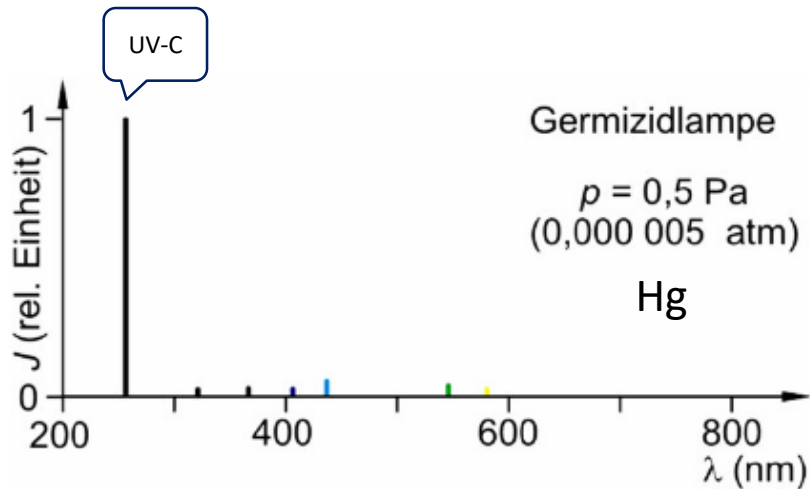
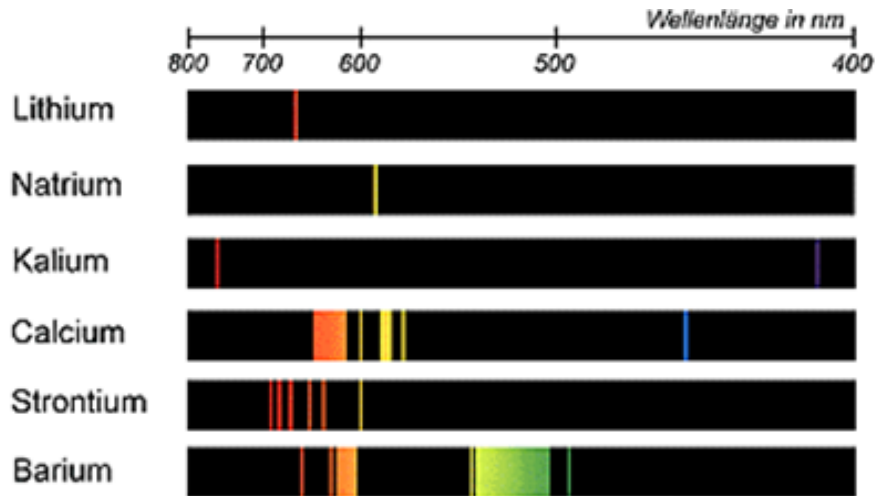
Anwendung der **Wellenlänge**
(auf der X-Achse) ist
praktischer als die Nutzung der
Photonenenergie.



Emissionsspektrum - Lumineszenzstrahler

Bei Atomen (unter Niederdruck):

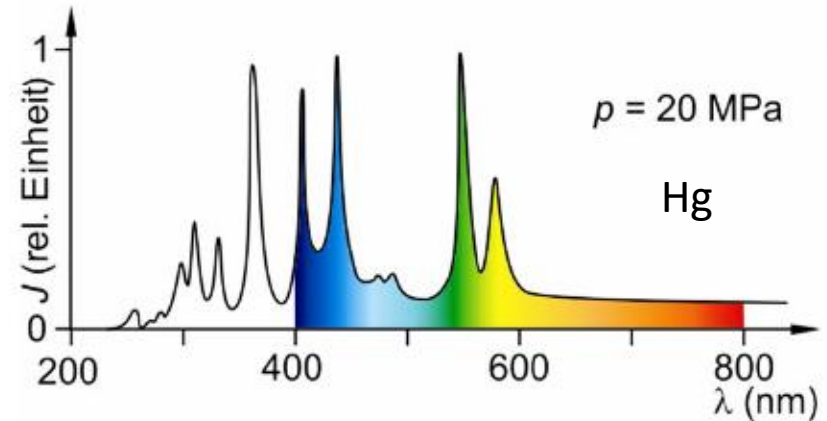
- Linienspektrum



Bei Molekülen

Bei Atomen (unter Hochdruck):

- Bandenspektrum



- Stokes-Verschiebung



Emissionsspektrum - Temperaturstrahler

3 Gesetze:

- kirchhoffsches Gesetz
- **Stefan-Boltzmann Gesetz**
- **wiensches Verschiebungsgesetz**

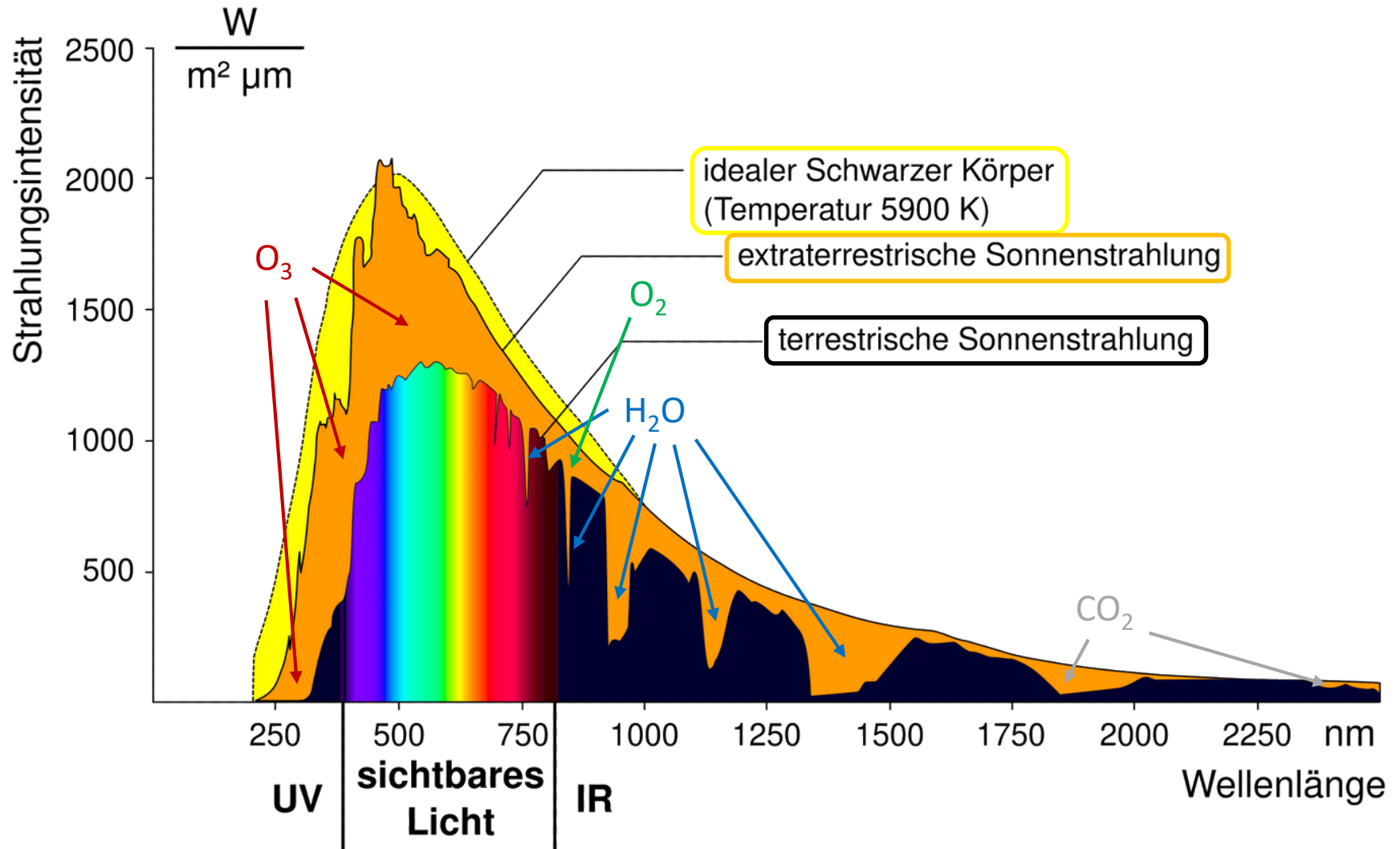
Notabene:

- gesamte ausgestrahlte Intensität:
Flächenstück unter der $M(\lambda)$ Kurve
- $\lambda_{\max}$: Wellenlänge bei der maximalen Ausstrahlung

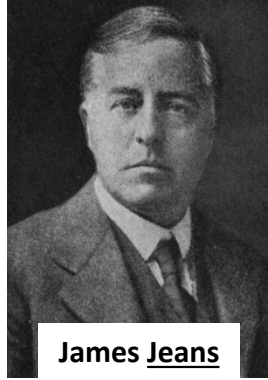
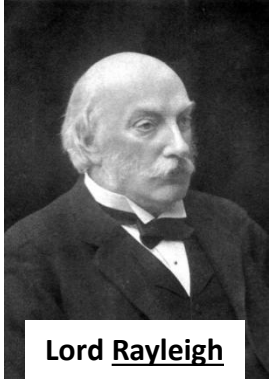


Emissionsspektrum der Sonne

Sonne: annähernd ein absolut Schwarzer Körper



Die „ultraviolette Katastrophe“

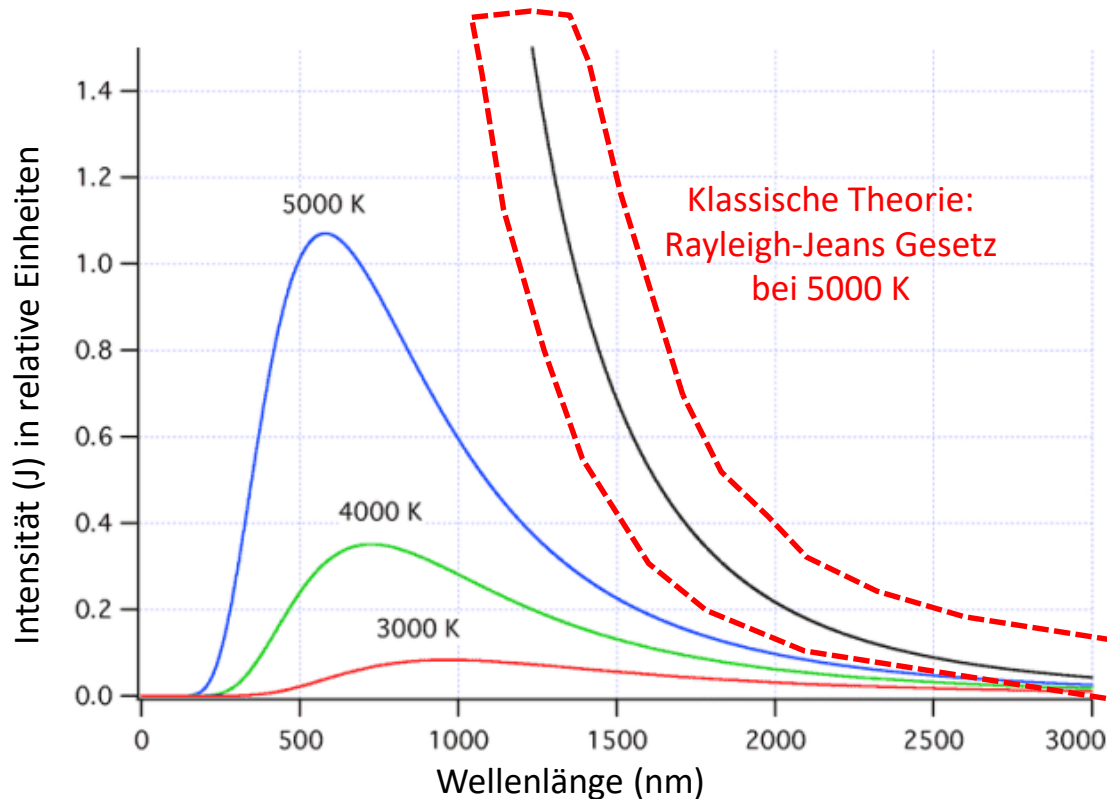


$$J = \frac{2 \cdot f^2 \cdot k_B \cdot T}{c^2} = \frac{2k_B T}{\lambda^2}$$

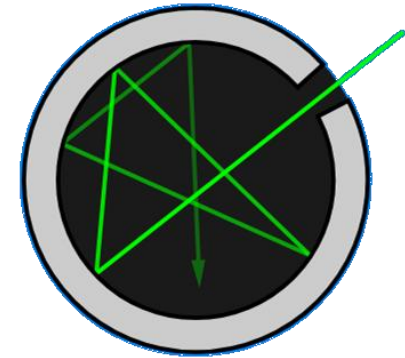
$\frac{1}{x^2}$ **Funktion**

Hyperbel

Boltzmann-Konstante: $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, s. später



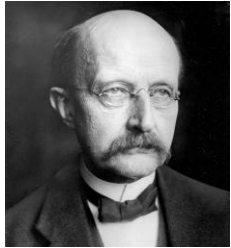
Der absolut schwarze Körper war schon damals bekannt...



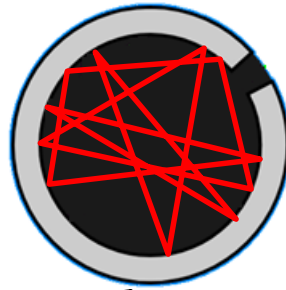
?

Photon, Photonenenergie

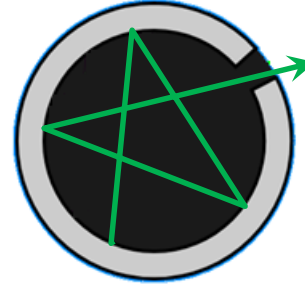
Erklärung:



Max Planck

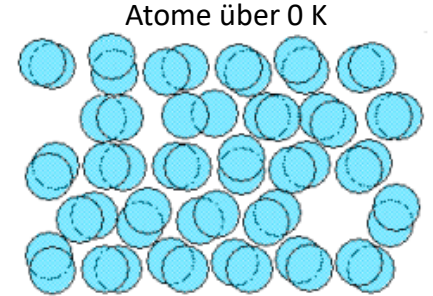


Wann kann die Strahlung aus dem Körper austreten?



$$\varepsilon = n \cdot konst \cdot f$$

$n \in \mathbb{Z}$



schwingende Dipole → EM-Strahlung

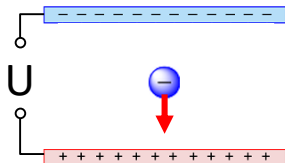
- **Lichtteilchen = Lichtquanten = Photonen**

- **Photonenenergie (ε):** $\varepsilon = h \cdot f$ $\varepsilon = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

plancksche Konstante (Wirkungsquantum): $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$



- **Elektronenvolt (eV) Skala: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$**



$$E_{\text{el}} = Q \cdot U$$

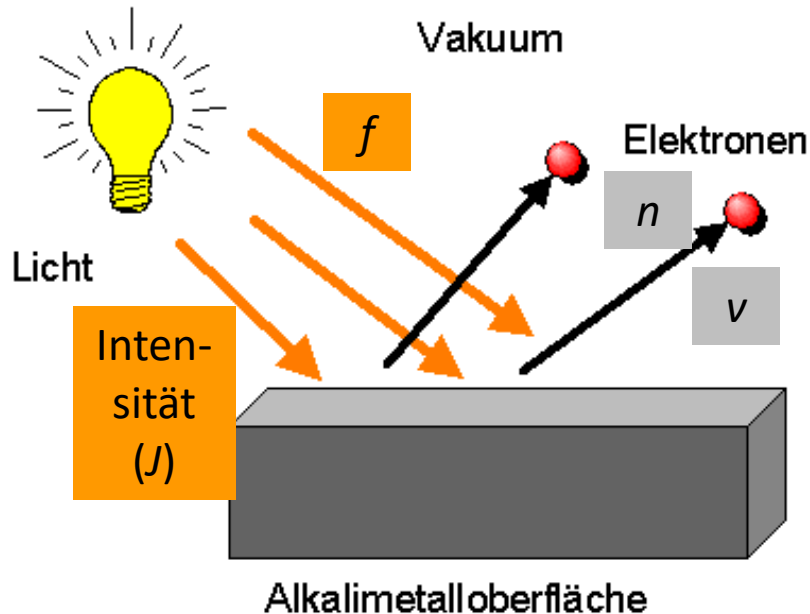
$$E_{\text{el}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

0,001 - 1 eV 1,5 - 3 eV 3 - 10 eV

Wellenlänge	Abkürzung	Bezeichnung
100–280 nm	UV-C*	(fernes UV)
280–315 nm	UV-B	(Dorno-Strahlung)
315–400 nm	UV-A	(nahes UV)
400–420 nm	VIS	Violett
420–490 nm		Blau
490–540 nm		Grün
540–600 nm		Gelb
600–760 nm		Rot
0,76–1,4 μm	IR-A	(nahes IR)
1,4–3 μm	IR-B	(mittleres IR)
3–1000 μm	IR-C	(fernes IR)

Teilchencharakter des Lichtes

Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)



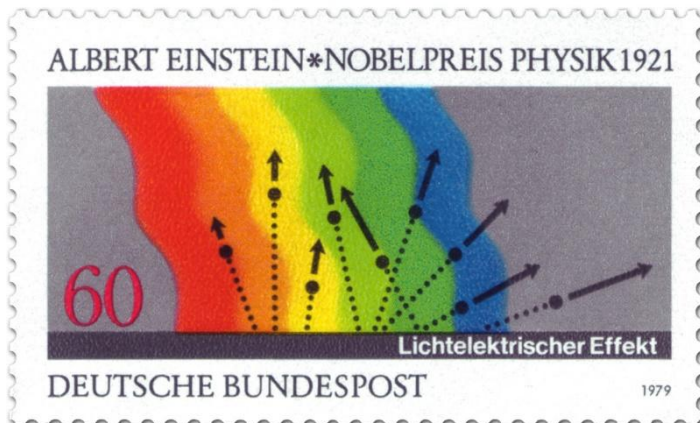
Man variiert:

- die **Frequenz (f)** des Lichtes
- die **Intensität (J)** des Lichtes

Man beobachtet:

- die **Zahl der** ausgelösten **Elektronen (n)**
- die **Geschwindigkeit** der Elektronen (**v**)

Ein Photon tritt in Wechselwirkung mit einem Elektron!



Beobachtungen:

Es gibt eine **minimale Frequenz ($f_{\min}$)**, für welche

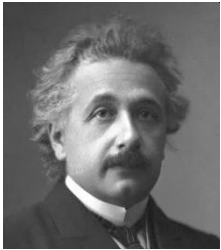
- $f < f_{\min} \Rightarrow$ **kein Elektronaustritt**, egal wie groß J ist;
- $f_{\min} \leq f \Rightarrow$ **Elektronen werden ausgelöst**
 - n wächst mit wachsender J
 - v wächst mit wachsender f

Photon, Photonenenergie

Austrittsarbeit

Erklärung:

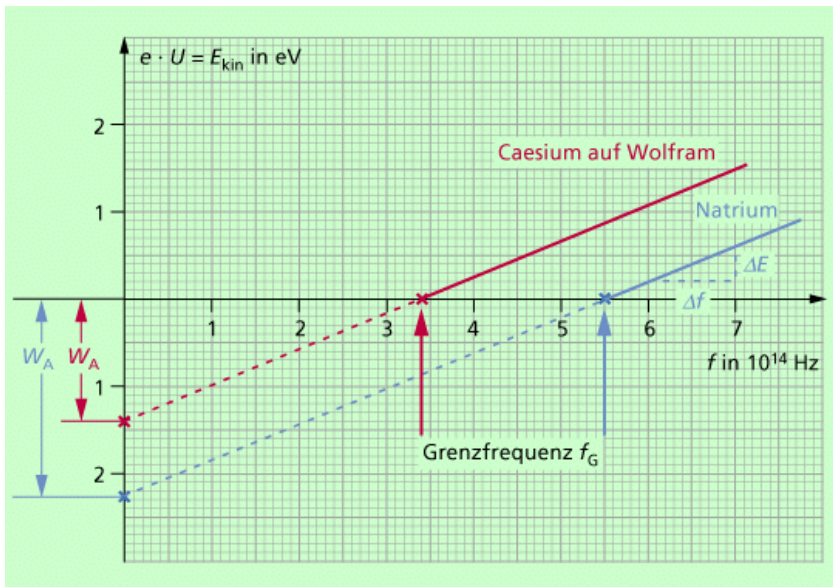
$$h \cdot f_{\min} = \varepsilon_{\min} = A$$



Albert Einstein



Zusammenhang zwischen der kinetischen Energie der Elektronen und der Frequenz der Photonen



Animation #1: Photoeffekt - Versuche

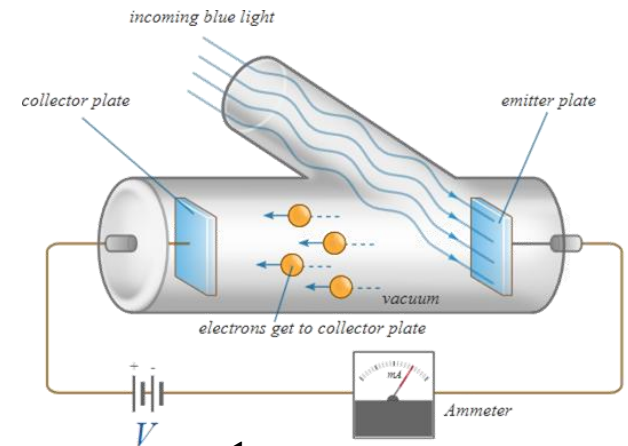
Animation #2: Photoeffekt - Erklärung

$$f_{\min} < f$$

**Elektron
wird ausgelöst**

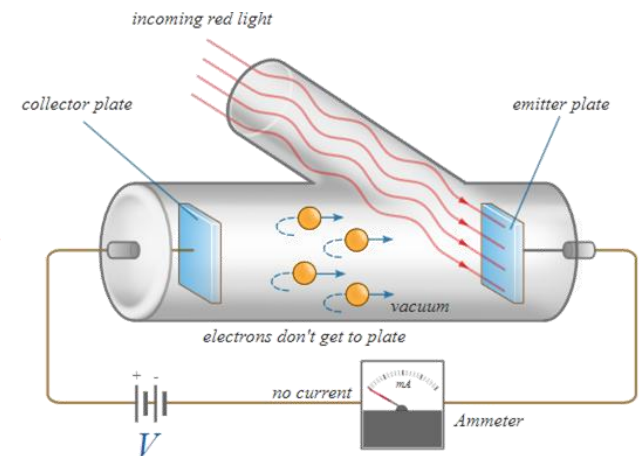


Energieerhaltung: $\varepsilon = A + \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Elektron}} \cdot v_{\text{Elektron}}^2$



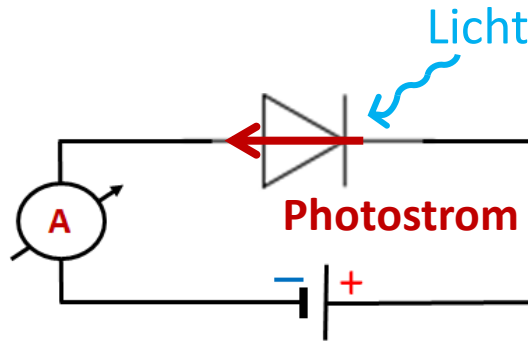
$$f < f_{\min}$$

**Kein Elektron
wird ausgelöst**

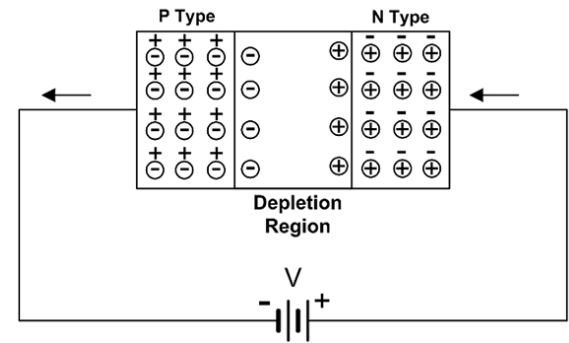


Lichtdetektoren

Photodiode:

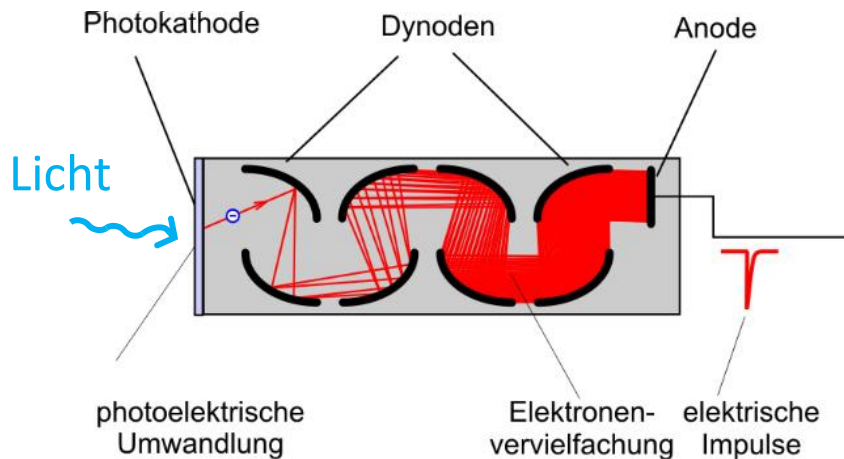


Diode in Sperrichtung geschaltet



Innerer lichtelektrischer Effekt

Photomultiplier (PM) oder Sekundärelektronenvervielfacher (SEV):



Äußerer lichtelektrischer Effekt



Photokathoden im SEV

Hausaufgaben

Aufgabensammlung

2.40, 42, 45, 47, 49, 51, 53

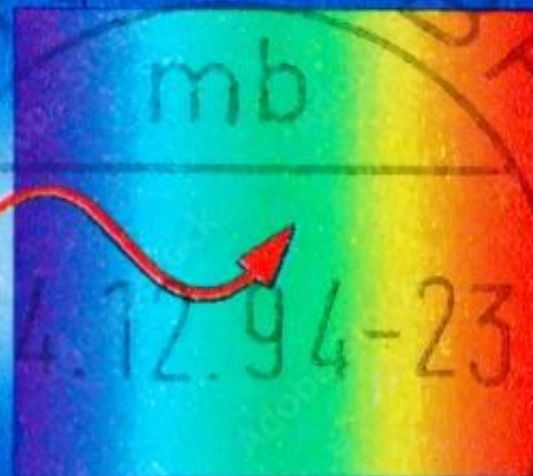
10.4, 6

Feedback

EUROPA



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



ENTDECKUNG DER QUANTENTHEORIE

100

DEUTSCHE BUNDESPOST

1994