

Medizinische Biophysik

6

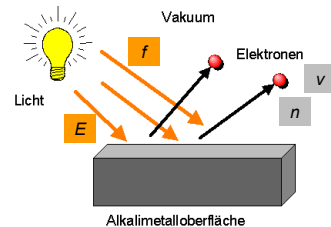
Licht in der Medizin 2.



1

III. Teilchencharakter des Lichtes

a) Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)



Man variiert:
 — die Frequenz (f) des Lichtes
 — die Gesamtenergie (E) des Lichtes

Man beobachtet:
 — die Zahl der ausgelösten Elektronen (n)
 — die Geschwindigkeit der Elektronen (v)

Ergebnisse:

Es gibt eine minimale Frequenz (f_{\min}), für welche
 — $f < f_{\min} \Rightarrow n = 0$, egal wie groß E ist;
 — $f_{\min} \leq f \Rightarrow$ Elektronen werden ausgelöst
 — n wächst mit wachsender E



$$c = \lambda \cdot f$$

3



Eigenschaften des Lichtes

• Geradlinige Ausbreitung



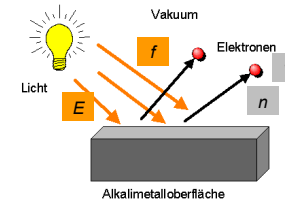
Geometrische Optik ✓

• Energietransport



• Wellennatur ✓
 • Teilchennatur

2



Erklärung (Einstein, 1905):

- Lichtteilchen = Lichtquanten = Photonen
- Photonenenergie (ε):

$$\varepsilon = h \cdot f$$

plancksche Konstante
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J/s}$

Energieerhaltungssatz für den Photoeffekt:

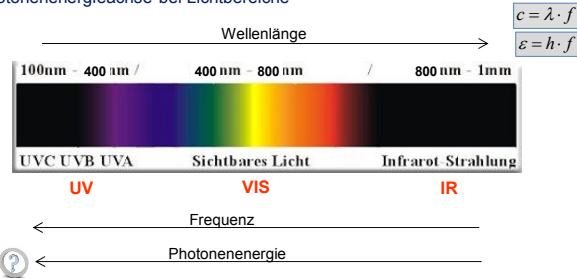
$$\varepsilon = A + \frac{1}{2} m_{\text{Elektron}} v_{\text{Elektron}}^2$$

Stoffspezifische
 Austrittsarbeit

4

b) Folgerungen

- Photonenenergieachse bei Lichtbereiche



- Monochromatisches Licht = eine Frequenz, eine Wellenlänge, eine Photonenenergie

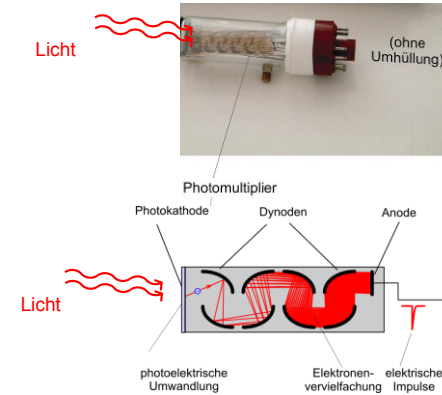
$$E =$$



5

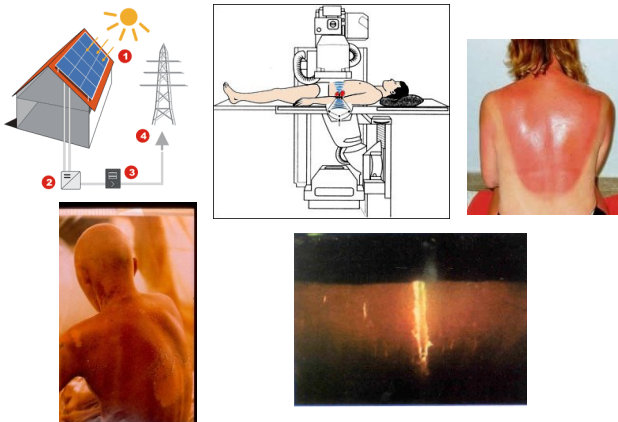
c) Anwendung als Lichtdetektor

Photomultiplier (PM)
(Sekundärelektronenvervielfacher – SEV):



6

IV. Energietransport im Licht (in Strahlungen)



7

Größen zur Beschreibung des Energietransports:

„Teilnehmer“ der Strahlungsvorgänge

Strahlungsleistung (P):

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (\text{W})$$



Strahlenquelle



Strahlung



bestrahlter Körper

Spezifische Ausstrahlung (M):

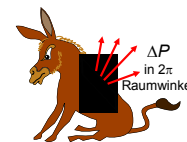
$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

Strahlungsintensität (J):

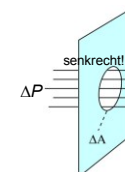
$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

Bestrahlungsstärke (E):

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



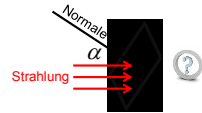
ΔP in 2π Raumwinkel



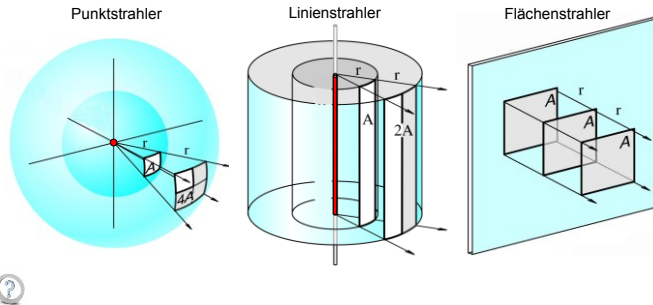
ΔP aus 2π Raumwinkel

8

- Zusammenhang zwischen J und E :



- $J(r)$ bei verschiedenen Strahlenquellen von unterschiedlicher Geometrie:

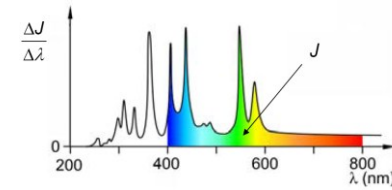
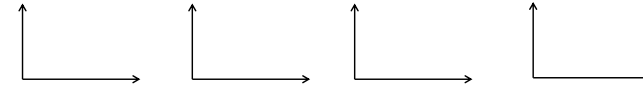
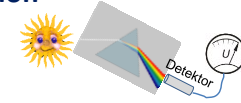


9

V. Lichtemission

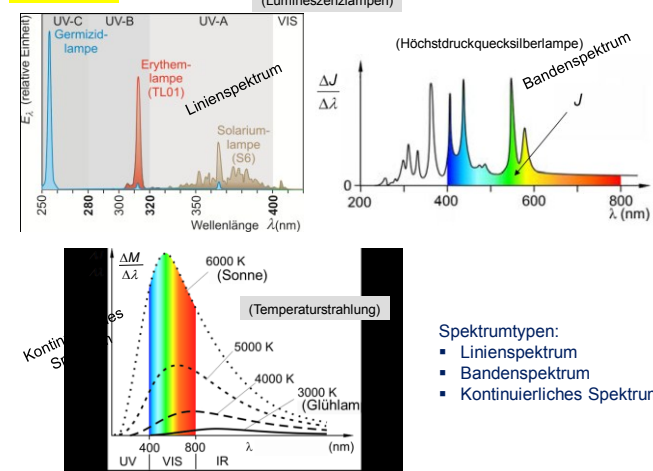
1. Emissionsspektrometrie

a) Emissionsspektrum



10

Beispiele:

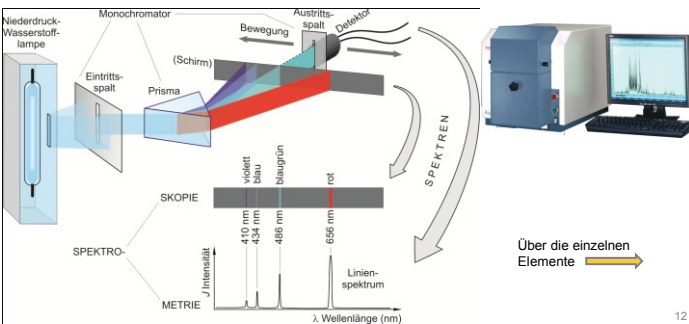
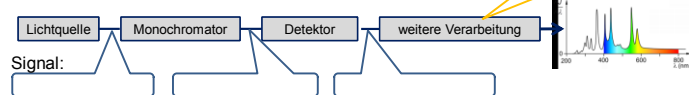


- Spektrumtypen:
- Linienspektrum
 - Bandenspektrum
 - Kontinuierliches Spektrum

11

b) Messung des Emissionsspektrums

Aufbau eines Emissionsspektrometers:



12

Monochromator

Prisma

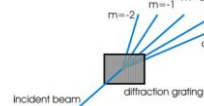
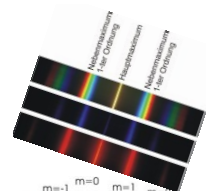
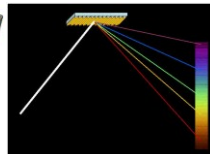
Funktionsprinzip:



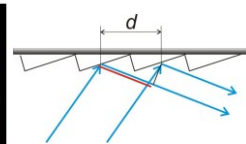
Diffractionsgritter

Transmissionsgitter

Reflexionsgitter



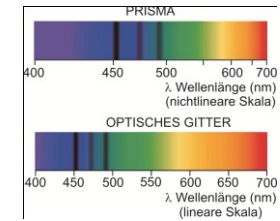
Funktionsprinzip:



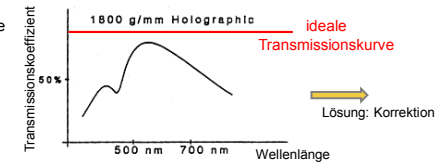
13

Technische Fragen:

Wellenlängenskala



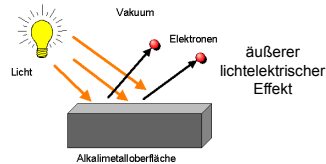
Transmissionskurve (Frequenzgang)



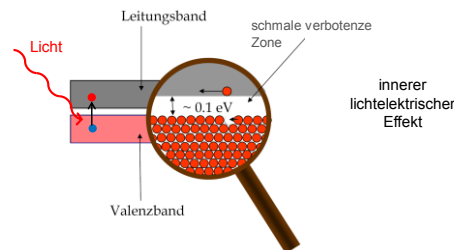
14

Lichtdetektor

Photomultiplier (PM) (Sekundärelektronenvervielfacher – SEV)



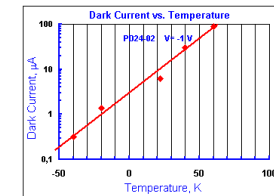
Photodiode:



15

Technische Fragen:

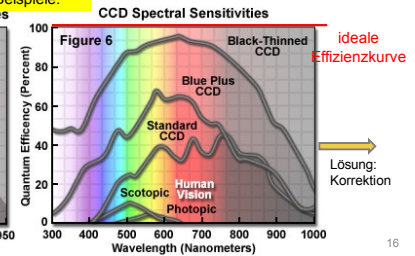
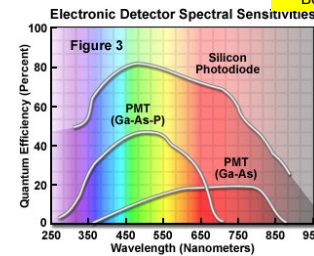
Dunkelstrom/Rauschen



Lösung: Abkühlen

Effizienzkurve (Empfindlichkeitskurve)

Beispiele:



Lösung: Korrektur

16

Ähnliche „technische Probleme“ im Auge:

- Dunkelstrom/Rauschen

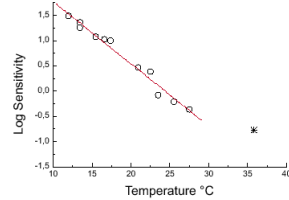
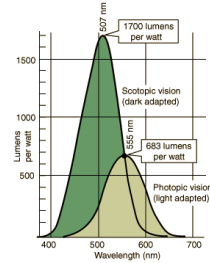
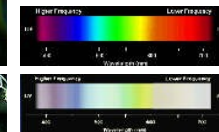


Figure 1. Dark adapted scotopic sensitivity in two frog species (O) and humans (x) as a function of temperature. Ordinate, log sensitivity = - log threshold (threshold intensity at cornea (quanta mm⁻²s⁻¹)). Modified from Aho et al. (1993b) and Donner (1998).

- Effizienzkurve (Empfindlichkeitskurve)



Mensch



Katze

17

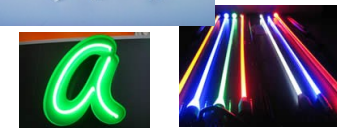
Lichtquellen

„warmes“ Licht
kontinuierliches Spektrum



Temperaturstrahler

„kaltes“ Licht
Linien- oder Bandenspektrum



Lumineszenzstrahler

18

2. Temperaturstrahlung

a) Qualitative Beschreibung:

- jeder Körper emittiert Temperaturstrahlung bei jeder Temperatur (Ausnahme: 0 K)
- elektromagnetische Strahlung (z.B. IR-Strahlung = „Wärmestrahlung“)
- stark temperaturabhängig (wachsende $T \Rightarrow$ zunehmende Intensität, spektrale Verschiebung)
- kontinuierliches Spektrum
- Auf Kosten der Bewegungsenergie der Teilchen!

b) Größen zur quantitativen Beschreibung:

- spezifische Ausstrahlung (M)
- spektrale spezifische Ausstrahlung (M_λ):

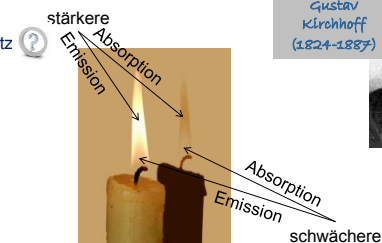


- spektraler Absorptionskoeffizient (α): $\alpha = \frac{I_{\text{absorbiert}}(\lambda)}{I_{\text{einfallend}}(\lambda)}$

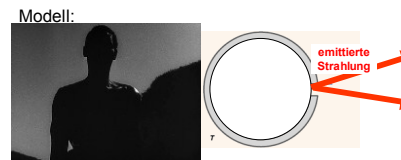
19

c) Gesetze:

- kirchhoffsches Gesetz



absolut schwarzer Körper/Strahler: ?



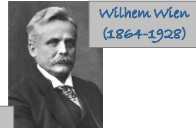
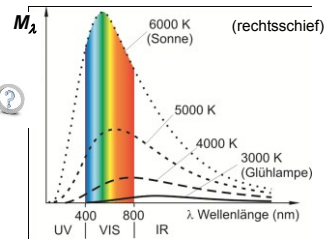
20

absolut schwarzer Körper/Strahler:

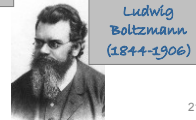
- kontinuierliches Spektrum:

- Wiensches Verschiebungsgesetz: ?

- Stefan-Boltzmann-Gesetz: ?



Jozef Stefan
(1835-1893)



21

Rechenaufgaben: ■ Praktikumsbuch : 6, 8-10, 13

1. Die Austrittsarbeit von Natrium beträgt 2,55 eV. a) Wie groß ist die minimale Frequenz des Lichtes, mit welchem man aus Natrium gerade noch Elektronen auslösen kann? b) Welche Wellenlänge und welche Farbe entsprechen dieser minimalen Frequenz?
2. Die Austrittsarbeit von Aluminium beträgt 4,25 eV. a) Wie groß ist die minimale Frequenz des Lichtes, mit welchem man aus Aluminium gerade noch Elektronen auslösen kann? b) Welche Wellenlänge und welche Farbe entsprechen dieser minimalen Frequenz?
3. Eine punktförmige Lichtquelle leuchtet mit einer Leistung von 100 W. Wie groß ist die Intensität bei einem Abstand von a) 2 m, b) 20 m?
4. Eine lange zylindrische Solariumlampe der Länge von 2 m leuchtet mit einer Leistung von 100 W. Wie groß ist etwa die Intensität bei einem Abstand von a) 2 m, b) 20 m?

Lösungen:

1. a) 615 THz; b) 488 nm, d.h. blaues Licht
2. a) 1026 THz; b) 293 nm, d.h. kein sichtbares, sondern UV-Licht
3. a) 1,99 W/m²; b) 0,0199 W/m²
4. a) 1,99 W/m²; b) 0,199 W/m²

22