

Medizinische Biophysik

6. Vorlesung
17. 10. 2018

Licht in der Medizin.

Temperaturstrahlung, Lumineszenz

V. Lichtemission

2. Temperaturstrahlung

- Qualitative Beschreibung
- Größen zur quantitativen Beschreibung
- Gesetze: Wiensches Gesetz, Stefan-Boltzmann-Gesetz
- Anwendungen: IR-Therapie, IR-Diagnostik, Wärmehaushalt des Körpers

3. Lumineszenz

- Qualitative Beschreibung
- Mechanismus bei Atomen und Molekülen
- Gesetze: Stokes-Verschiebung, exponentielles Abklingen
- Anwendungen: Fluoreszenzspektroskopie, -mikroskopie, Sensoren, Lampen, Strahlungsdetektoren

1

Lichtquellen

„warmes“ Licht
kontinuierliches Spektrum



Temperaturstrahler

„kaltes“ Licht
Linien- oder Bandenspektrum



Lumineszenzstrahler

2

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)
- Auf Kosten der Bewegungsenergie der Teilchen!
- kontinuierliches Spektrum

b) Größen zur quantitativen Beschreibung:

- spezifische Ausstrahlung (M): $M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left(\frac{W}{m^2} \right)$
- spektrale spezifische Ausstrahlung (M_λ): $M_\lambda = \frac{\Delta M}{\Delta \lambda} = \frac{\Delta P}{\Delta A \cdot \Delta \lambda} \left(\frac{W}{m^2 \cdot nm} \right)$

$$\left(\Rightarrow M = \int M_\lambda d\lambda \text{ , d. h. das Flächenstück unter der } M_\lambda(\lambda) \text{ Kurve} \right)$$

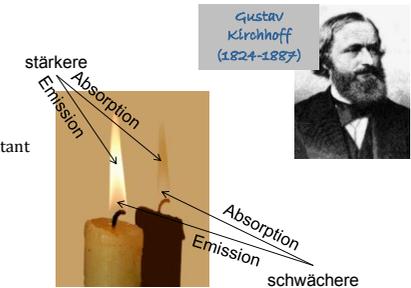
- spektraler Absorptionskoeffizient (α): $\alpha = \frac{J_{\text{absorbiert}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)} \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$

3

c) Gesetze:

- kirchhoffsches Gesetz:

$$\frac{M_\lambda, \text{ Körper1}}{\alpha_{\text{Körper1}}} = \frac{M_\lambda, \text{ Körper2}}{\alpha_{\text{Körper2}}} = \text{konstant}$$



stärkere
Absorption
und
Emission



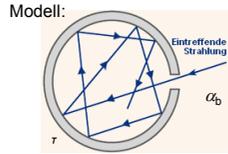
schwächere
Absorption
und
Emission

➔ Abstraktion: absolut schwarzer Körper/Strahler

4

absolut schwarzer Körper/Strahler
 $\alpha = 1 (= \alpha_b)$
 („black body“ = b)

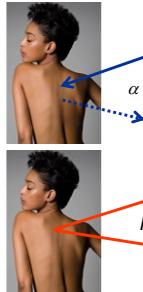
Absorption:



Emission:



ein reeller Körper
 $\alpha < 1$



Vergleichen wir einen reellen Körper mit dem absolut schwarzen Körper mithilfe des Kirchhoffschen Gesetzes:

$$\frac{M_{\lambda}}{\alpha} = \frac{M_{\lambda b}}{\alpha_b} = \frac{M_{\lambda b}}{1} = M_{\lambda b}$$

$$M_{\lambda} = \alpha \cdot M_{\lambda b}$$

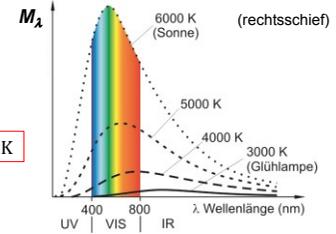
Wenn α des Körpers bekannt ist kann M_{λ} aus $M_{\lambda b}$ berechnet werden.

Wir beschäftigen uns nur mit den Gesetzen für den absolut schwarzen Strahler.

absolut schwarzer Körper/Strahler:

- kontinuierliches Spektrum:
- wienches Verschiebungsgesetz:

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{konstant} = 2880 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$



- Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$M = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

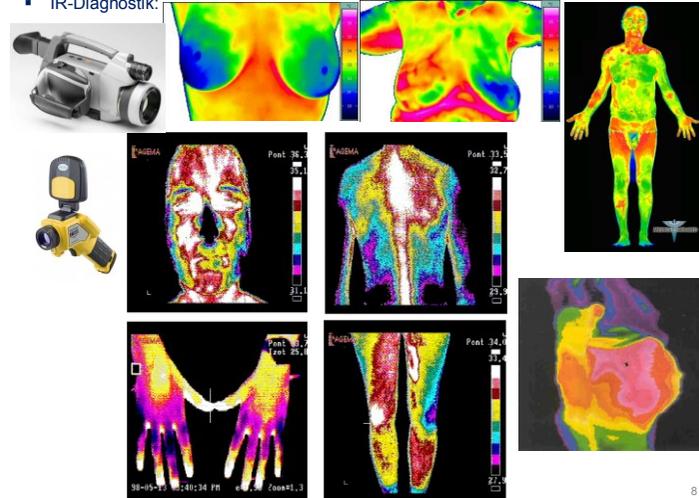


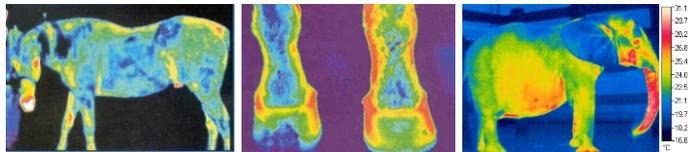
d) Anwendungen:

- IR-Therapie:



- IR-Diagnostik:





□ λ_{max} der IR-Strahlung des Körpers:



□ Mensch \approx abs. schwarz (im IR-Bereich! Siehe Absorptionsspektrum des Wassers!)

□ Grundprinzip der IR-Diagnostik:

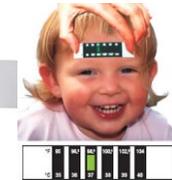
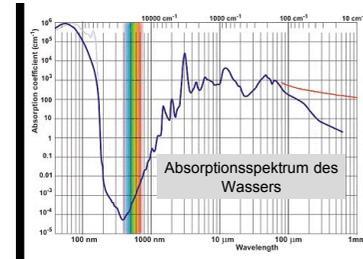
J wird gemessen von verschiedenen Punkten des Körpers
 $\rightarrow M \rightarrow T$ (Temperaturkarte)

□ Einige technische Informationen:

- IR-durchlässige Optik
- spez. Halbleiterdetektoren (Abkühlung)
- gute Auflösung (mm, 0,1°C, 30-40Hz)



9



Alternativmethode:
 Plattenthermographie
 (Kontaktthermographie)

thermotrope
 cholesterische
 Flüssigkristalle



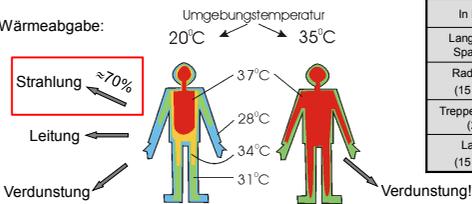
Grundprinzip: thermo-optische Erscheinung

10

▪ Wärmehaushalt des Körpers:

□ Problem: Stoffwechsel \Rightarrow Wärmebildung \Rightarrow Wärmeabgabe ist nötig zur konstanten Körpertemperatur

□ Wärmeabgabe:



Aktivität	Wärmebildung (W)
In Ruhe	115
Langsames Spazieren	260
Radfahren (15 km/h)	420
Treppensteigen (2/s)	700
Laufen (15 km/h)	1150

□ Anwendung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes:

Netto-Abstrahlung (ΔE):

11

3. Lumineszenz

a) Qualitative Beschreibung:

- Überschussstrahlung über die Temperaturstrahlung
- nur schwach temperaturabhängig (mit Ausnahme der Thermolumineszenz)
- Linien/Bandenspektrum
- Aus Elektronenübergängen! (Dazu müssen die Elektronen zuerst energiereicher werden.)

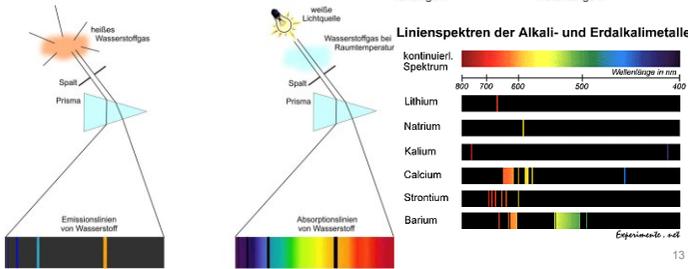
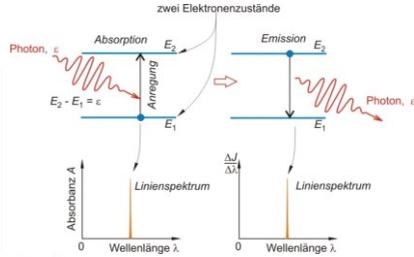
Fluoreszenz & Phosphoreszenz

Art der Anregung	Name	Beispiel
Licht	Photolumin.	Chinin-sulphat, Phosphor, ... Nal (II)
Röntgenstr.	Röntgenlum.	Nal (II)
radioaktive Str.	Radiolumin.	
elektrisches Feld	Elektrolumin.	Quecksilberlampen
mechanische Wirkung	Tribolumin.	Würfelzucker
chemische Reaktion	Chemolumin. (Biolumin.)	Glühwürmchen
Wärme	Thermolumin.	CaSO ₄ (Dy)

12

b) Mechanismus:

▪ Lumineszenz von Atomen:



13

c) Gesetze:

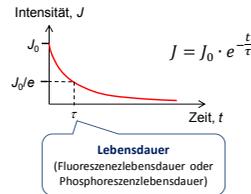
▪ Linien/Bandenspektrum

▪ Stokes-Verschiebung:

$$\epsilon_{\text{phos}} < \epsilon_{\text{flu}} < \epsilon_{\text{abs}}$$

$$\lambda_{\text{abs}} < \lambda_{\text{flu}} < \lambda_{\text{phos}}$$

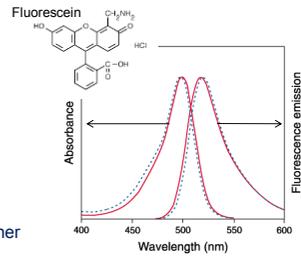
▪ exponentielles Abklingen in der Zeit nach einer kurzzeitigen impulsförmigen Anregung:



$$\tau_{\text{flu}} < \tau_{\text{phos}}$$

≈ ns ≈ μs - s

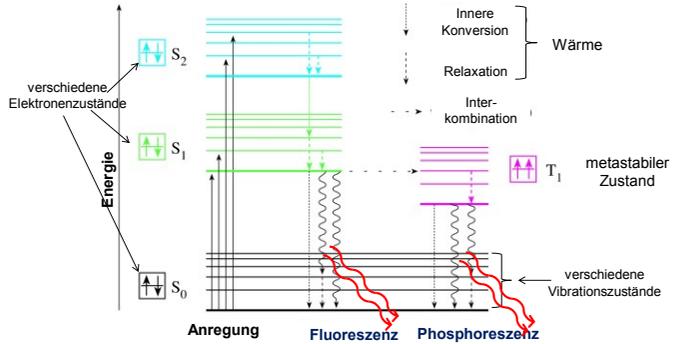
15



▪ Lumineszenz von Molekülen:

$$E_{\text{Molekül}} = E_{\text{Elektron}} + E_{\text{Vibration}} (+ E_{\text{Rotation}})$$

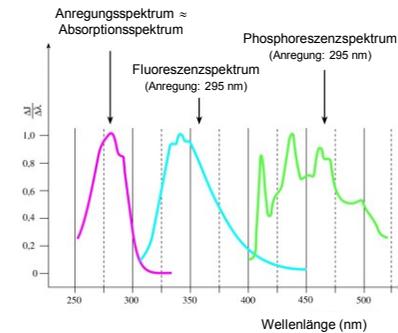
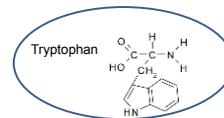
Jablonski-Diagramm:



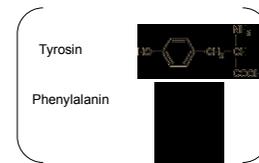
14

d) Anwendungen:

▪ Fluoreszenzspektroskopie z.B. Proteinforschung

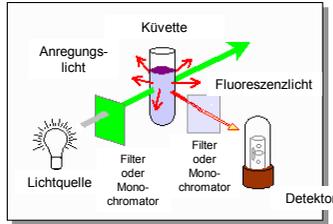


Die Eigenschaften des Lumineszenzlichtes (Intensität, spektrale Verteilung, Stokes-Verschiebung, Lebensdauer, ...) sind sehr empfindlich gegen die Umgebung, Molekülkonformation, Änderungen in diesen, ...

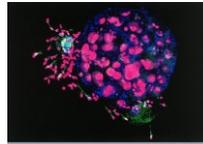
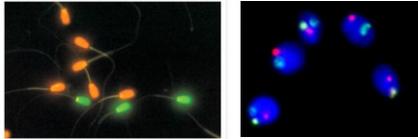


16

▪ Aufbau eines Fluorimeters



▪ Fluoreszenzmikroskopie



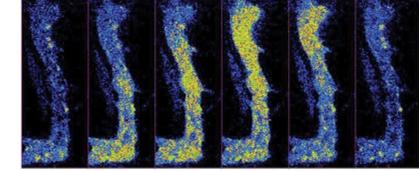
17

▪ Sensoren

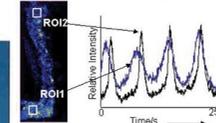
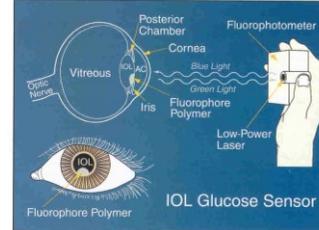
Sauerstoffsensoren



Calciumsensor → Calciumwellen



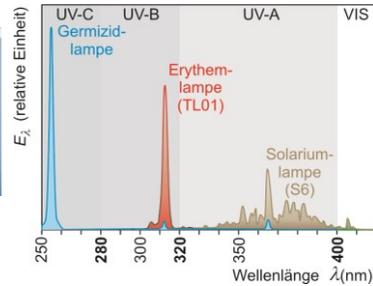
Glukosesensoren



18

▪ Lampen

Germizidlampen — Niederdruckquecksilberdampfampe

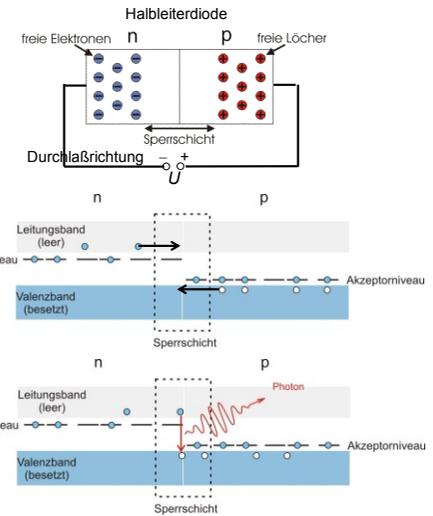
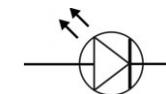


Blaulichttherapie von Neugeborengelbsucht



19

Leuchtdiode (light emitting diode — LED)

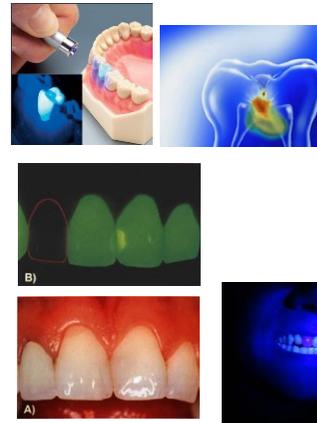


20

- Strahlungsdetektoren
(Röntgenstrahlung, radioaktive Strahlungen, ...)

z. B. NaI(Tl)

- Zahnheilkunde



- Biolumineszenz



- Laser (s. später)

Hausaufgaben: Aufgabensammlung
2.47, 49, 51, 53, 60, 61
10.4, 6

