

1

Medizinische Biophysik 6. Vorlesung 2015.10.14.

Licht in der Medizin.

Temperaturstrahlung, Lumineszenz

V. Lichtemission

2. Temperaturstrahlung

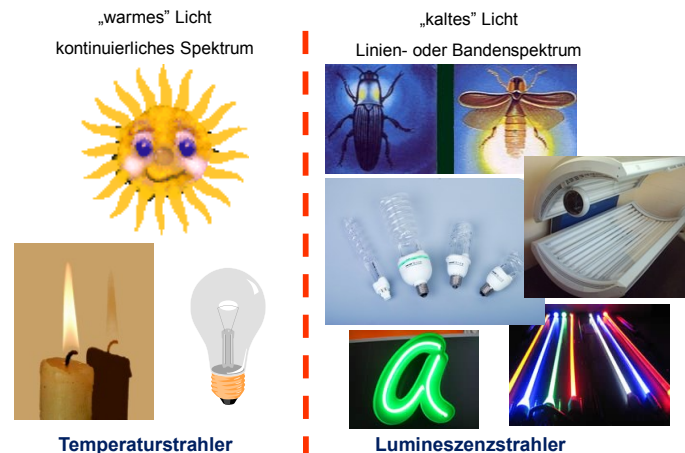
- Qualitative Beschreibung
- Größen zur quantitativen Beschreibung
- Gesetze: Wiensches Gesetz, Stefan-Boltzmann-Gesetz
- Anwendungen: IR-Therapie, IR-Diagnostik, Wärmehaushalt des Körpers

3. Lumineszenz

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

2

Lichtquellen



3

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

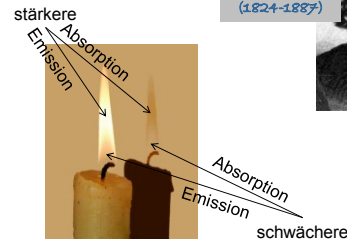
b) Größen zur quantitativen Beschreibung:

- spezifische Ausstrahlung (M): $M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left(\frac{W}{m^2} \right)$
- spektrale spezifische Ausstrahlung (M_λ): $M_\lambda = \frac{\Delta M}{\Delta \lambda} = \frac{\Delta P}{\Delta A \cdot \Delta \lambda} \left(\frac{W}{m^2 \cdot nm} \right)$
- $\Rightarrow M = \int M_\lambda d\lambda$, d. h. das Flächenstück unter der $M_\lambda(\lambda)$ Kurve
- spektraler Absorptionskoeffizient (α): $\alpha = \frac{J_{\text{absorbiert}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)} \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$

4

c) Gesetze:

- kirchhoffsches Gesetz



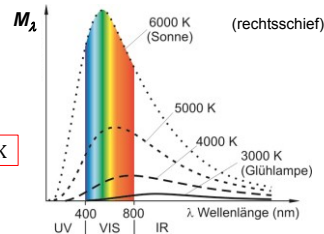
Abstraktion: absolut schwarzer Körper/Strahler

5

absolut schwarzer Körper/Strahler:

- kontinuierliches Spektrum:
- wiensches Verschiebungsgesetz:

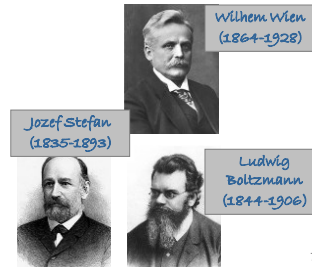
$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{konstant} = 2880 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$



- Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$M = \sigma T^4$$

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

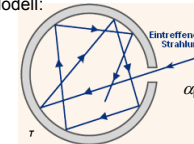


7

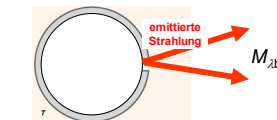
absolut schwarzer Körper/Strahler $\alpha = 1 (= \alpha_b)$ („black body“ = b)

Absorption:

Modell:



Emission:

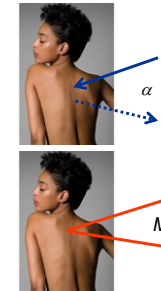


Vergleichen wir einen realen Körper mit dem absolut schwarzen Körper mithilfe des kirchhoffschen Gesetzes:

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

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

ein reeller Körper
 $\alpha < 1$



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.

6

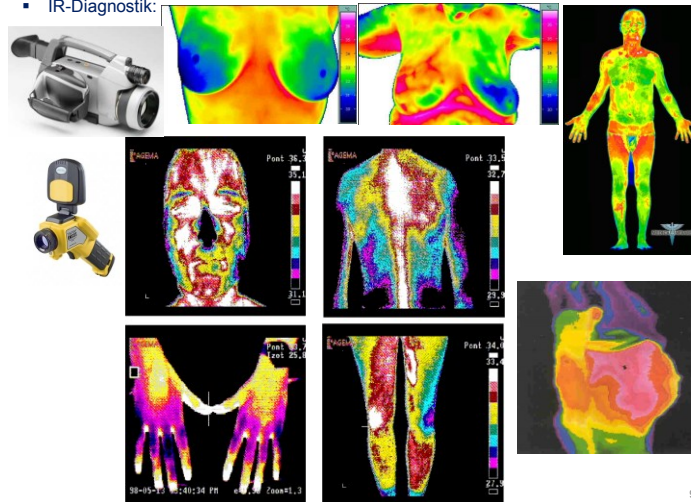
d) Anwendungen:

- IR-Therapie:

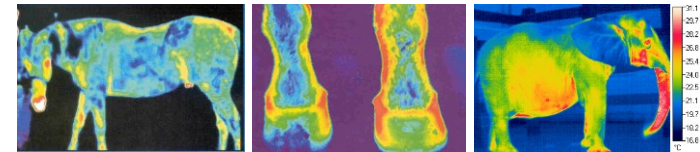


8

IR-Diagnostik:



9



IR-Strahlung des Körpers:

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

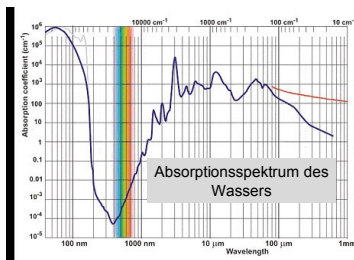
Grundprinzip der IR-Diagnostik:

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

Einige technische Informationen:

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

10



Alternativmethode: Plattenthermographie (Kontaktthermographie)

thermotrope
cholesterische
Flüssigkristalle



Grundprinzip: thermo-optische Erscheinung

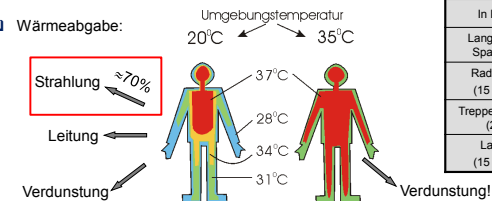


11

Wärmehaushalt des Körpers:

□ Problem: Stoffwechsel ⇒ Wärmebildung ⇒ 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):

12

3. Lumineszenz

a) Qualitative Beschreibung:

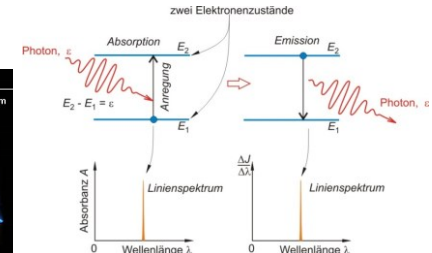
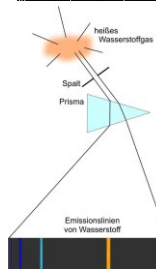
- Überschussstrahlung über die Temperaturstrahlung
- nur schwach temperaturabhängig (mit Ausnahme der Thermolumineszenz)
- Linien/Bandspektrum
- Aus Elektronenübergängen! (Dazu müssen die Elektronen zuerst angeregt werden.)

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

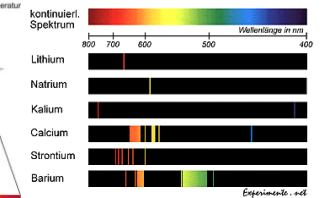
13

b) Mechanismus:

Flammenfarben der Alkalimetalle:



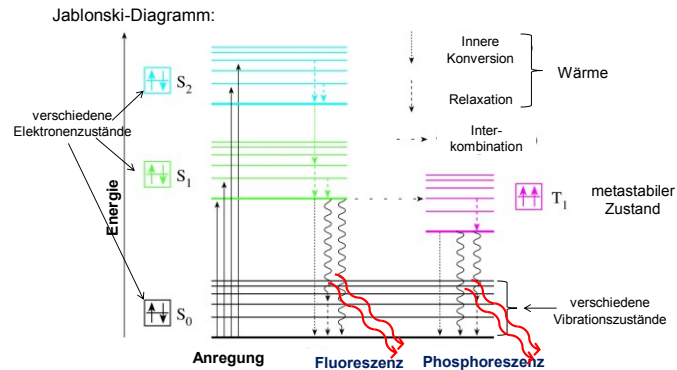
Linienpektren der Alkali- und Erdalkalimetalle



14

Lumineszenz von Molekülen:

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



15

c) Gesetze:

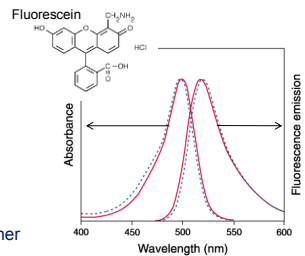
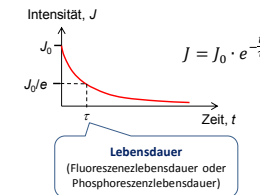
Linien/Bandspektrum

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:



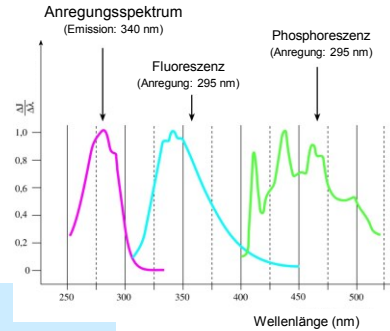
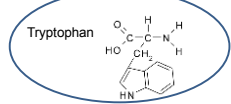
$$\tau_{\text{flu}} < \tau_{\text{phos}}$$

$\approx \text{ns}$
 $\approx \mu\text{s} - \text{s}$

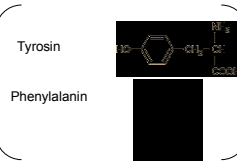
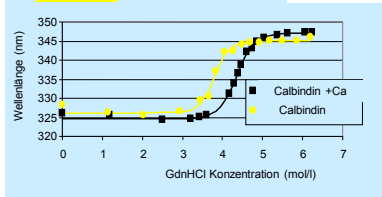
16

d) Anwendungen:

- Fluoreszenzspektroskopie
z.B. Proteinforschung

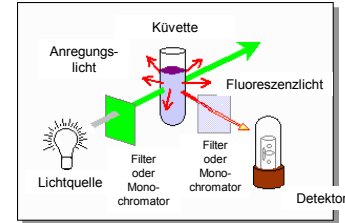


Beispiel:

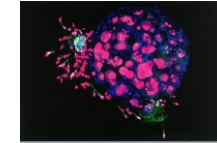
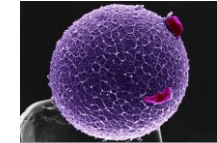
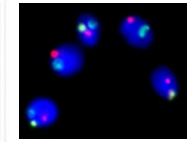
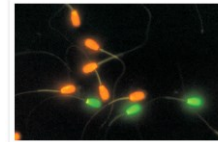


17

Aufbau eines Fluorimeters



Fluoreszenzmikroskopie



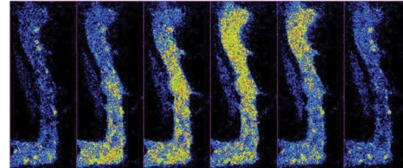
18

Sensoren

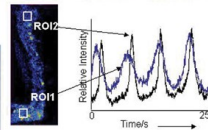
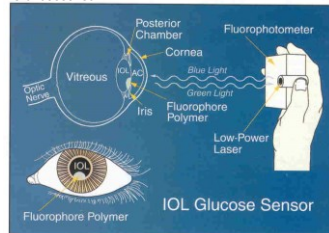
Sauerstoffsensoren



Calciumsensor ⇒ Calciumwellen



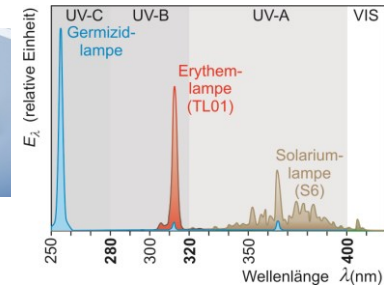
Glukosesensor



19

Lampen

Germizidlampen — Niederdruckquecksilberdampf lampen

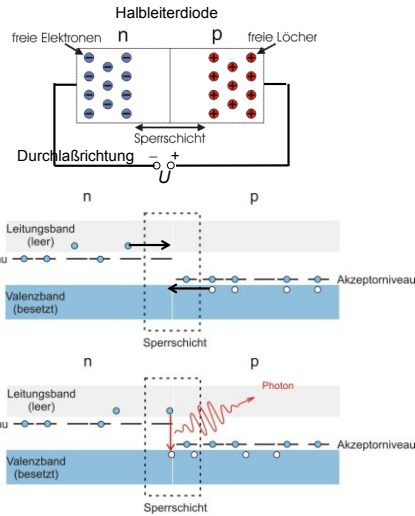
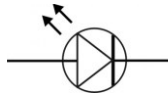
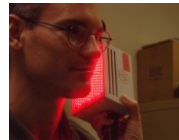


Blaulichttherapie von Neugeborengelbsucht



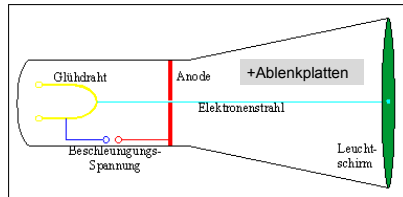
20

Leuchtdiode (light emitting diode — LED)



21

Monitore

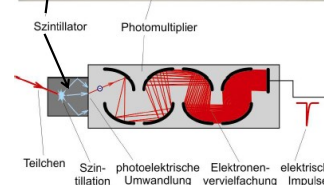
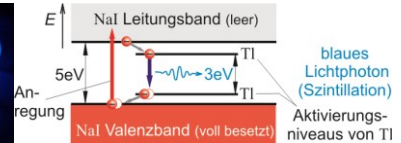
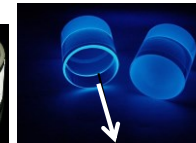


23

Strahlungsdetektoren

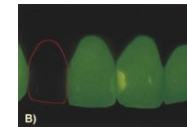
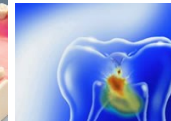
(Röntgenstrahlung, radioaktive Strahlungen, ...)

z. B. NaI(Tl)

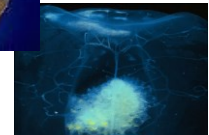
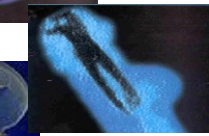
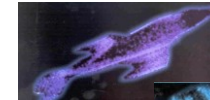


22

Zahnheilkunde



Biolumineszenz



Laser (s. später)

24

Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung
2.47, 49, 51, 53, 56, 58, 60, 61
10.4, 6

