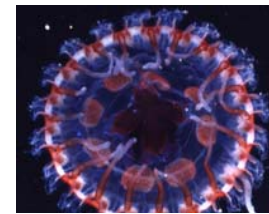




Lumineszenz



- **Entstehung der Lumineszenz**
- **Eigenschaften**
- **Fluoreszenz und Phosphoreszenz**
- **Messung**
- **Anwendungen**
 - Labordiagnostik
 - Untersuchung von biol. Makromolekülen
 - Biosensoren
 - Lumineszenzmikroskopie
 - Lampen
 - Strahlungsdetektoren
 - Monitore
- **Biolumineszenz**

Entstehung des Lumineszenzlichtes

Lumineszenz: Lichtemissionsüberschuss eines Körpers im Vergleich zu seiner Temperaturstrahlung.

Lumineszenz hat einen schwachen Zusammenhang mit der Temperatur des Körpers



„kaltes Licht“

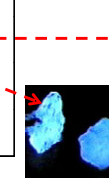
Linien- o. Bandenspektrum im UV/VIS Bereich



Elektronenanregungen

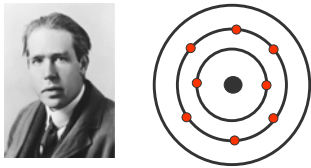
Klassifizierung der Lumineszenz nach der Anregungsart

Fluoreszenz&Phosphoreszenz		
Art der Anregung	Name	Beispiel
Licht	Photolumin.	Chinin-sulphat, Phosphor, ...
Röntgenstr.	Röntgenolumin.	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)

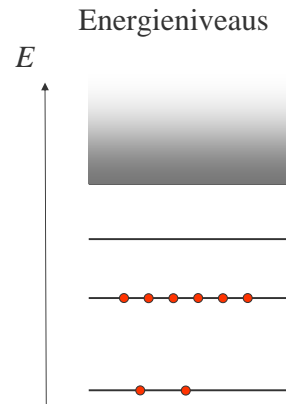
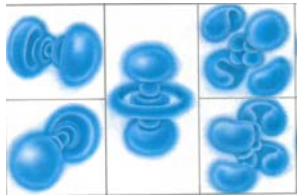


Aufbau des Atoms

Bohrsches Atommodell

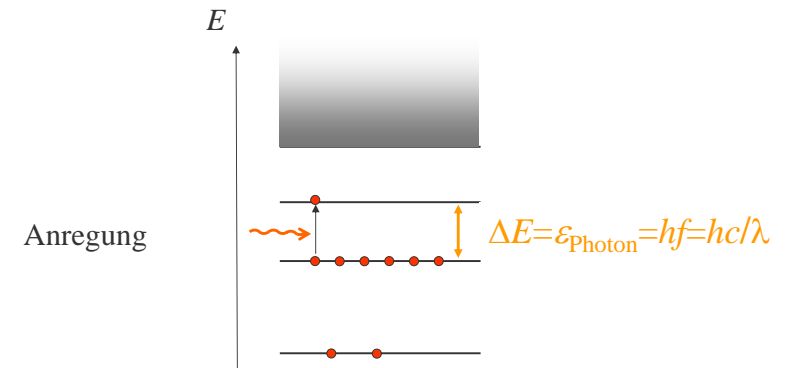


Quantenmechanische Beschreibung des Atoms



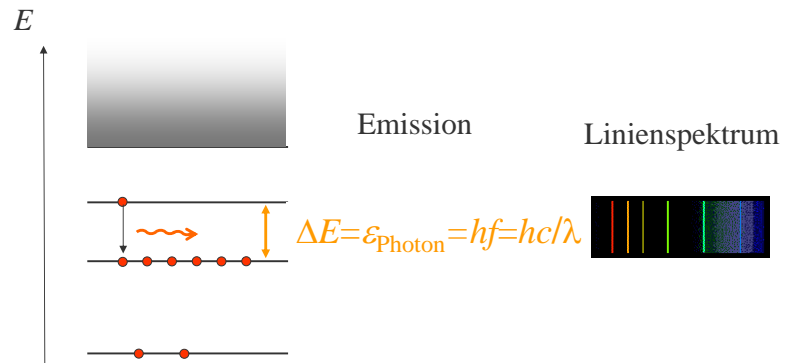
5

Elektronenübergänge



6

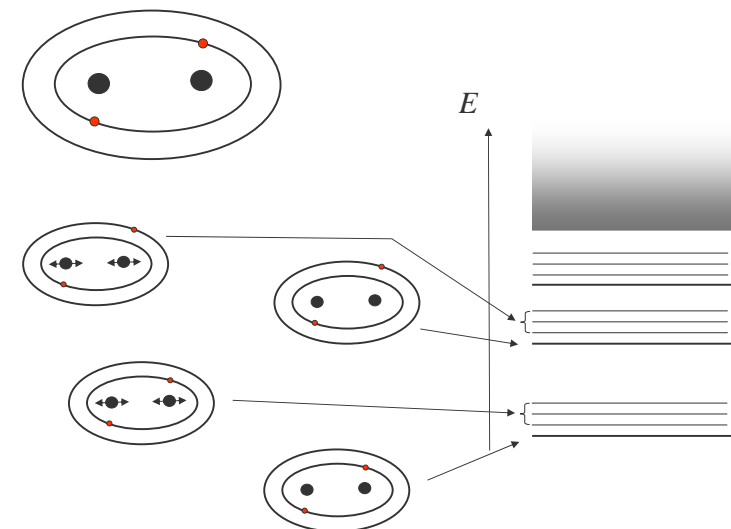
Elektronenübergänge



Siehe Praktikum!

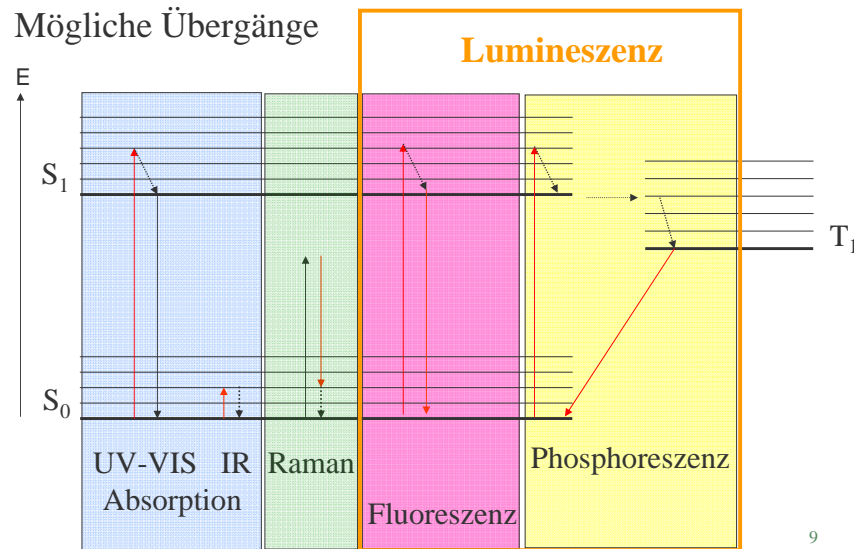
7

Energiezustände der Moleküle

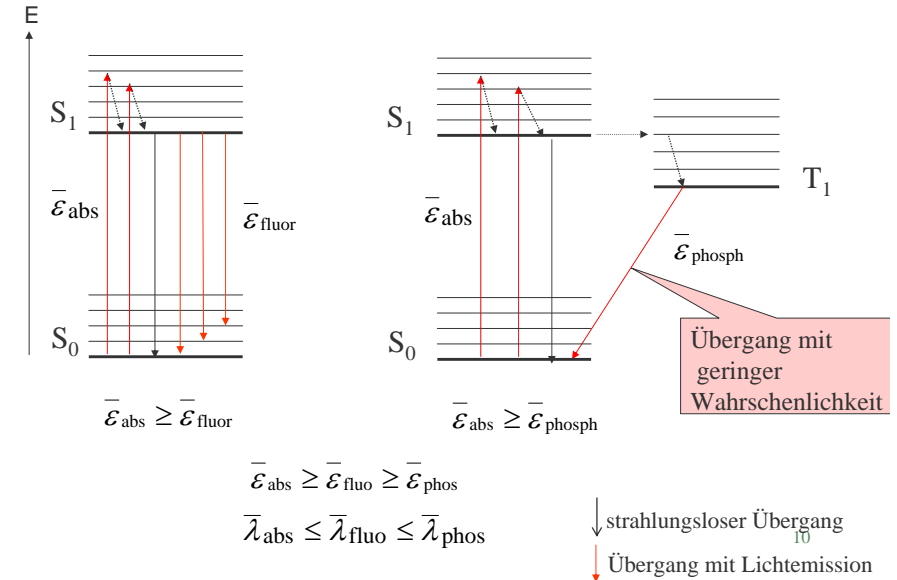


8

Jablonski Diagramm

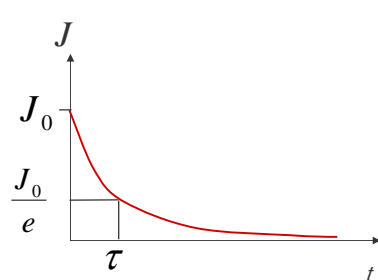


Fluoreszenz und Phosphoreszenz



Abkling des Lumineszenzlichtes nach einem impulsförmigen Anregung

- Anregung mit einem Lichtblitz
- exponentieller Abkling der Intensität (J) nach der Anregung

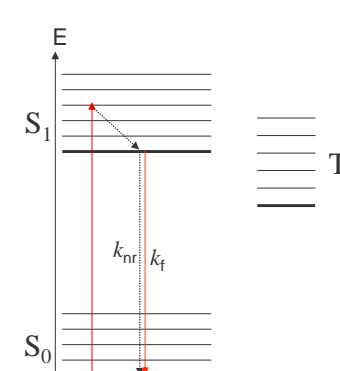


τ : Lumineszenz-Lebensdauer

τ ist umgekehrt proportional mit der Übergangswahrscheinlichkeit: $\bar{\tau}_{\text{fluor}} \ll \bar{\tau}_{\text{phos}}$

Quantenausbeute

- Anzahl der emittierten Photonen/Anzahl der absorbierten Photonen



$$Q_f = \frac{k_f}{k_f + k_{\text{nr}}}$$

k_{f} Wahrscheinlichkeit des Fluoreszenzüberganges (mit Lichtemission)

k_{nr} Wahrscheinlichkeit des Überganges ohne Lichtemission („nonradiative“)

Fluor. Fabstoffe: $Q \approx 1$

Messung der Lumineszenz

Messbare Größen:

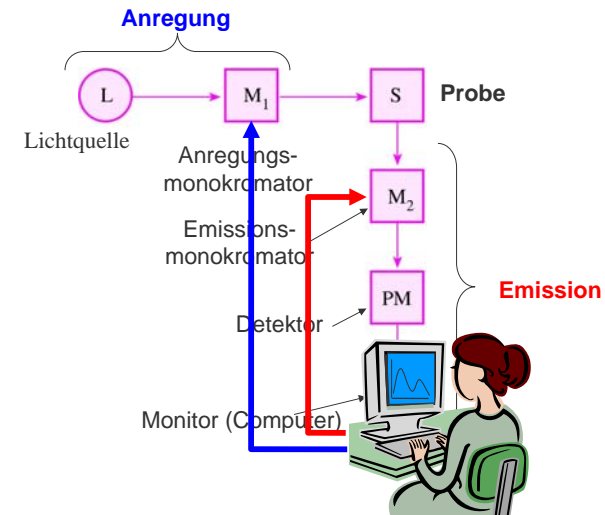
- Wellenlänge(verteilung) des Anregungslichtes
- Wellenlänge(verteilung) des emittierten Lichtes (bei Fluoreszenz u. Phosphoreszenz)
- Die Intensität des emittierten Lichtes
- Zeitlicher Ablauf der emittierten Lichtintensität
- Polarisation des emittierten Lichtes



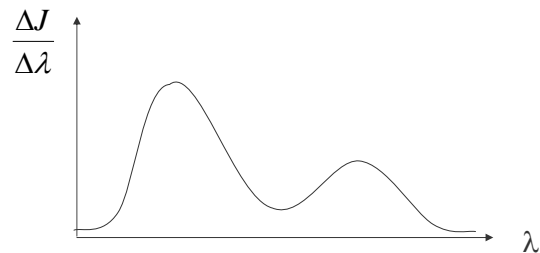
Information (Struktur, Umgebung, Bewegung, Menge...)

13

Messung – Aufbau eines Luminometers



Das Spektrum



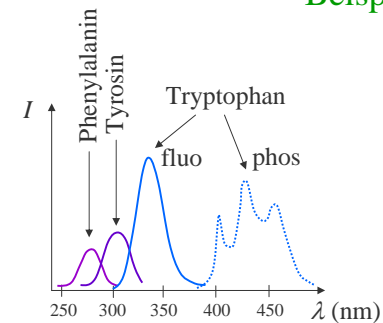
λ



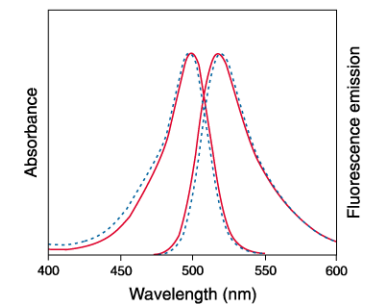
- Emissionsspektrum
 - Fluoreszenzspektrum λ_{fluo}
 - Phosphoreszenzspektrum λ_{phosph}
- Anregungsspektrum λ_{abs}

15

Beispiele



Fluorescein



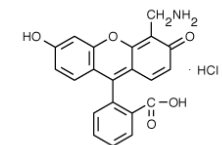
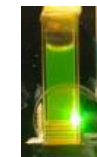
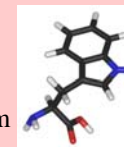
z. B. Tryptophan:

$$\bar{\lambda}_{\text{fluo}} = 340 \text{ nm}$$

$$\bar{\lambda}_{\text{phos}} = 440 \text{ nm}$$

$$\tau_{\text{fluo}} = 0,1 - 5 \text{ ns}$$

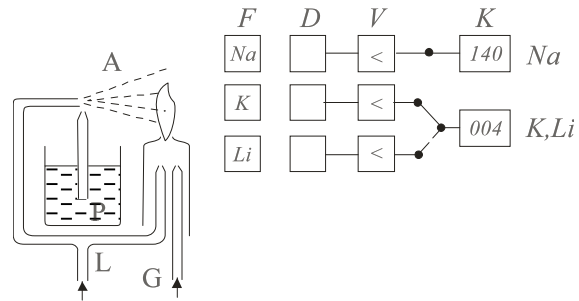
$$\tau_{\text{phos}} = 0,001 - 5 \text{ s}$$



Anwendungen

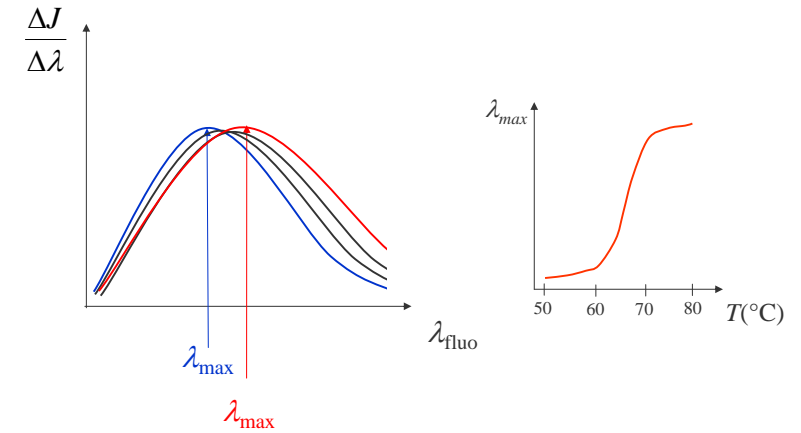
1. Labordiagnostik

z. B. Konzentrationsbestimmung von Na, K, ... mit Hilfe des Flammenphotometers



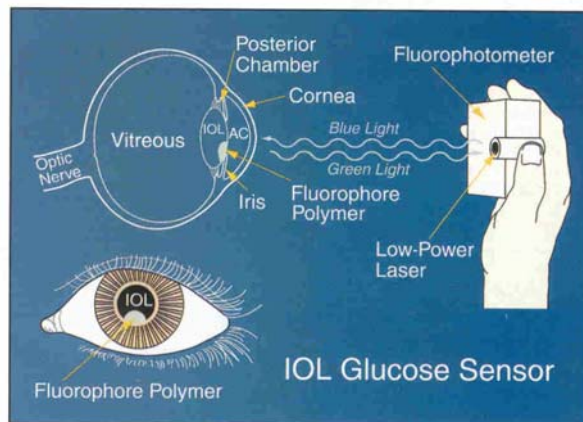
2. Untersuchung von biol. Makromolekülen (z. B. Proteine)

Denaturation eines Eiweißes mit Hilfe der Fluoreszenz des Tryptophans

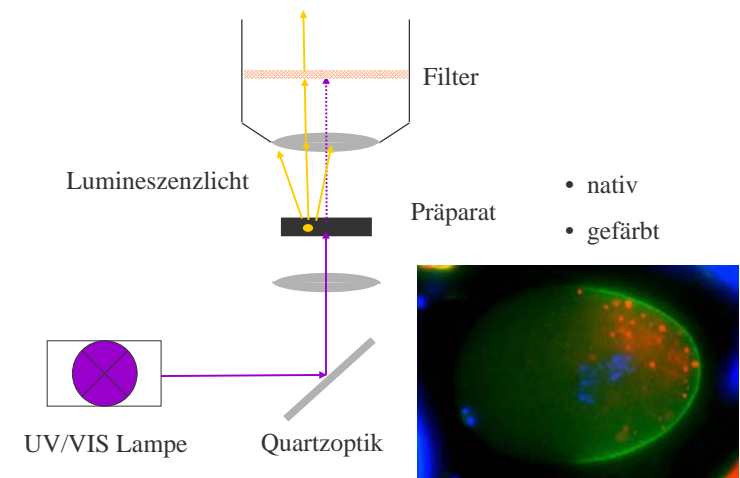


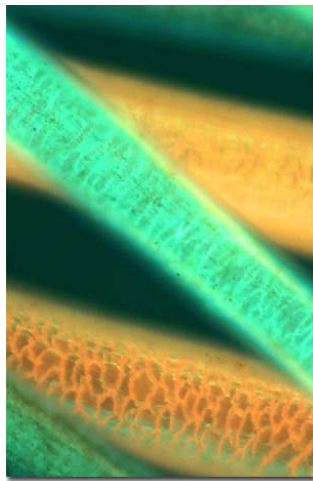
3. Biosensoren

z.B. Ca-, pH, O₂-Indikatoren, oder Glukosesensor

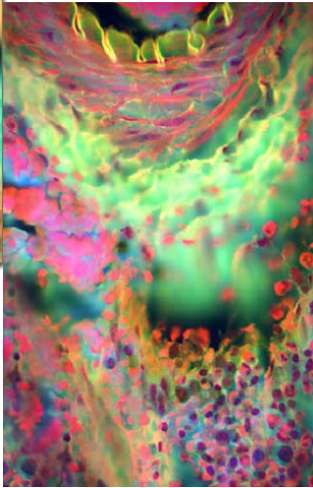


4. Lumineszenzmikroskopie

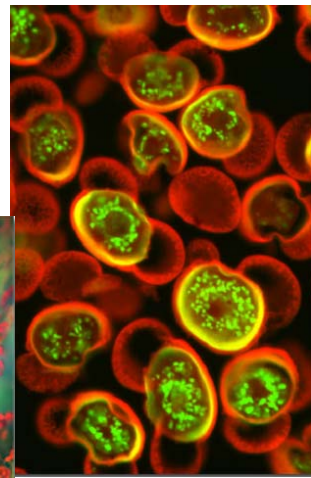




Bauchhaar des japanischen Ponys

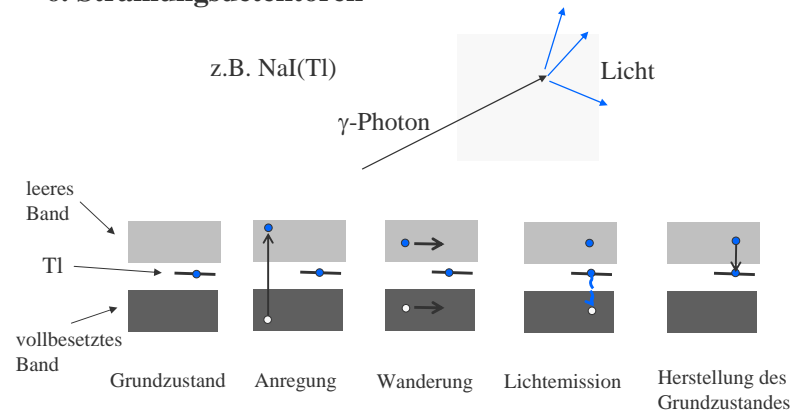


Knochengewebe



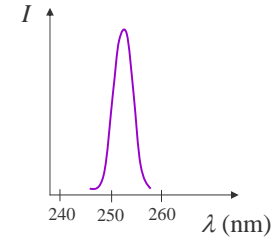
Pollen der Kiefer

6. Strahlungsdetektoren

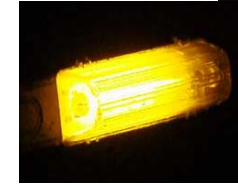
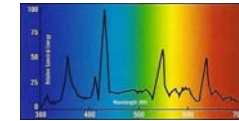


5. Lumineszenzlampen

- Natriumlampen
- Quecksilberlampen:
- Germizidlampe



s. Absorptionsspektrum von DNA \Rightarrow Bakterizidwirkung (Entkeimung in OP-Räumen)

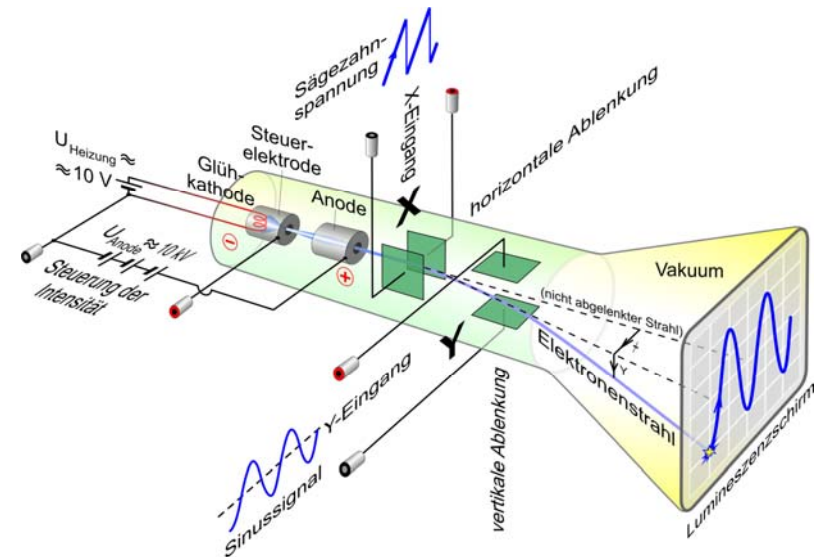


- Quartzlampe, Solariuml.
- Leuchttröhen

z.B. photodynamische Therapie

7. Monitore

z. B. Kathodenstrahlröhre



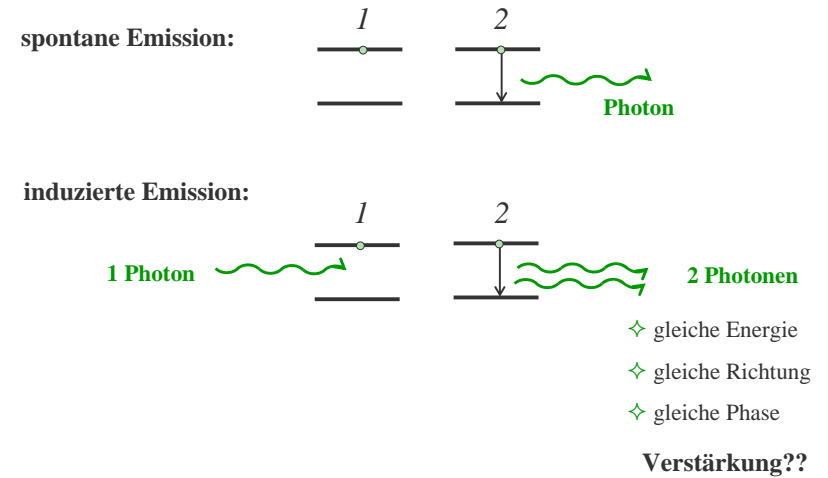
Laser

LASER = light amplification by stimulated emission of radiation



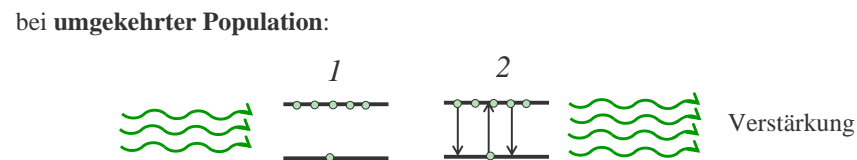
- ✧ Induzierte Emission
- ✧ Populationsumkehr
- ✧ Entstehung des Laserlichtes - Rubinlaser
- ✧ Eigenschaften des Laserlichtes
- ✧ Lasertypen
- ✧ Anwendungen

Induzierte Emission



Populationsumkehr

Absorption und induzierte Emission konkurrieren!



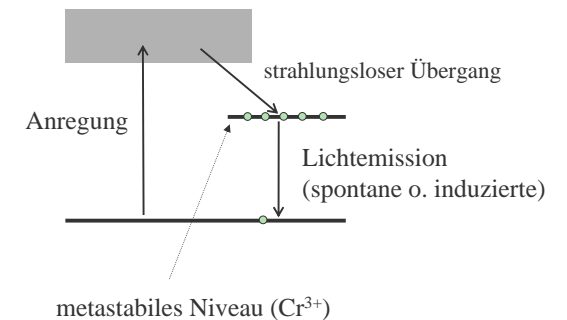
- ➔ 1. Drei-Niveau System
2. metastabiles Niveau

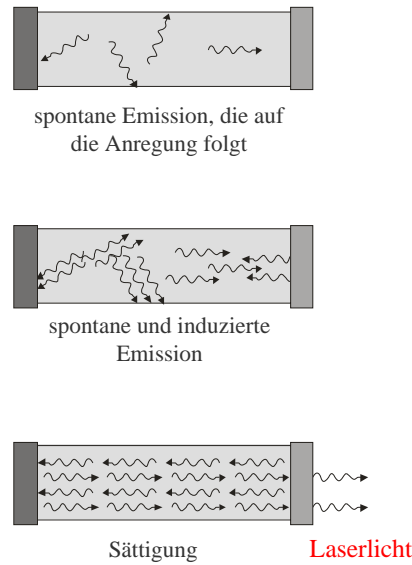
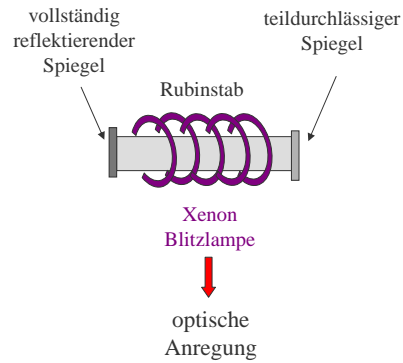
Entstehung des Laserlichtes – Rubinlaser



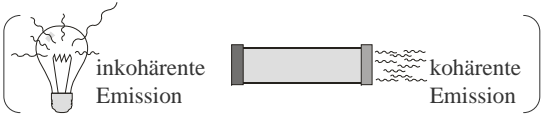
$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr}^{3+})$
(Rubin)

Drei-Niveau Lasersystem:





Eigenschaften des Laserlichtes

- ✧ monochromatisch $\left[\Delta f / f \approx 10^{-6} \right]$
- ✧ kohärent 
 - inkohärente Emission
 - kohärente Emission
- ✧ kleine Divergenz $\left[\Theta \approx 0,1-1 \text{ mrad} \right]$
- +
- ✧ hohe Intensität $\left[I \approx 10^{14} \text{ W/m}^2 \right]$
- ✧ polarisiert

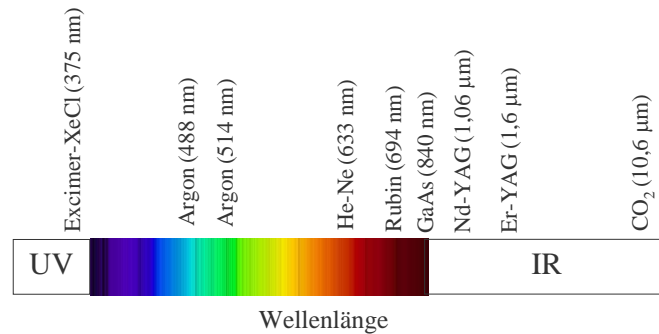
Lasertypen

Laserstoff:

- ✧ gasförmig (z. B. He-Ne, CO₂, Argon, Excimer)
- ✧ kristallin (z. B. Rubin, Nd-YAG, Er-YAG, Halbleiterdiode - GaAs)
- ✧ flüssig

Betriebsart:

- ✧ impulsförmig,
- ✧ kontinuierlich



Medizinische Anwendungen

- ✧ Labordiagnostik — z.B. Mikroskopie, optische Sensoren
- ✧ Klinische Diagnostik — z.B. Endoskopie, Laser-Doppler
- ✧ „Soft laser“ Therapie — z.B. Biostimulation
- ✧ Photodynamische Therapie — z.B. Tumorthherapie
- ✧ Laserchirurgie — z.B. Haut, Augenchirurgie
- ✧ Laserpinsette — z.B. „molekulare Chirurgie“

Laserchirurgie

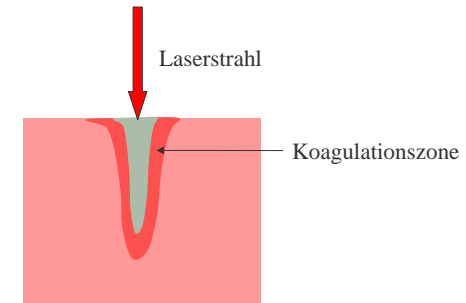
Grundlage:

Absorption der Lichtenergie → Erwärmung des Gewebes

≈ 60-100 °C: **Koagulation** Proteine denaturieren, aggregieren, Gewebe verschmilzt.

≈ 150 °C: **Vaporisation** Wasser evaporiert explosionsartig.

≈ 300 °C: **Karbonisation, Atomisation** Wasser evaporiert explosionsartig und gebrannte Gewebestückchen entfernen sich aus dem Körper.

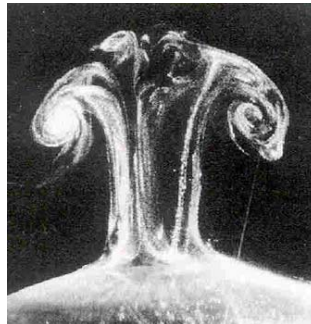


Vorteile der Laserchirurgie:

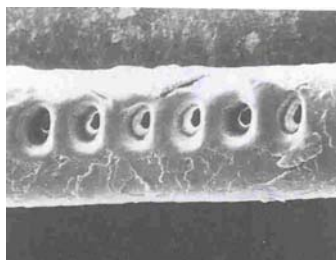
- ◇ feine, präzise Schnitte
- ◇ Blutung ist reduziert
- ◇ aseptisch
- ◇ möglich auch im innere des Körpers (Lichtleiter)
- ◇ selektive Behandlung von bestimmten Geweben



Laserbehandlung der Herzwand



Laserbehandlung der Hornhaut



Laserbohrungen durch ein menschliches Haar



Laserbohrung durch das Trommelfell

Humanmedizinische Beispiele



„port wine stain“ vor der Lasertherapie

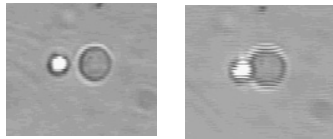
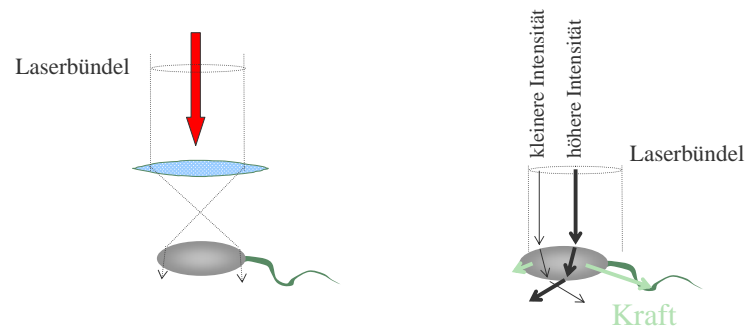
nach der Laserbestrahlung

Entfernung von Tätowierungen

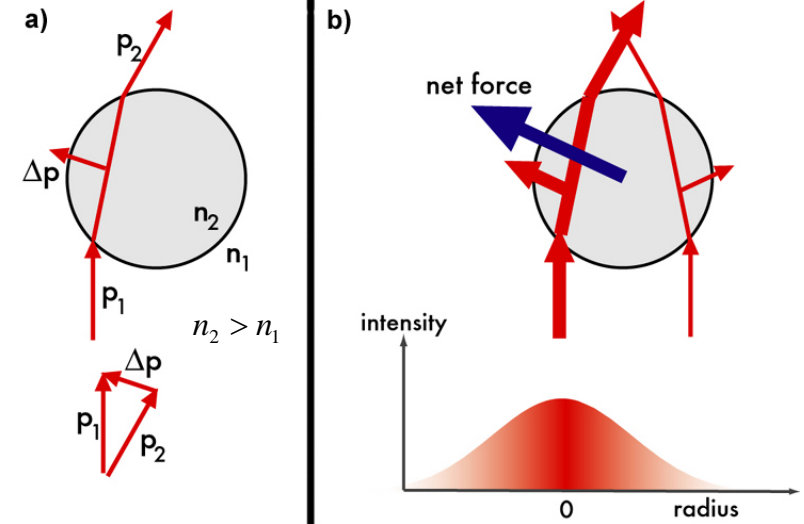


Entfernung von Fältchen

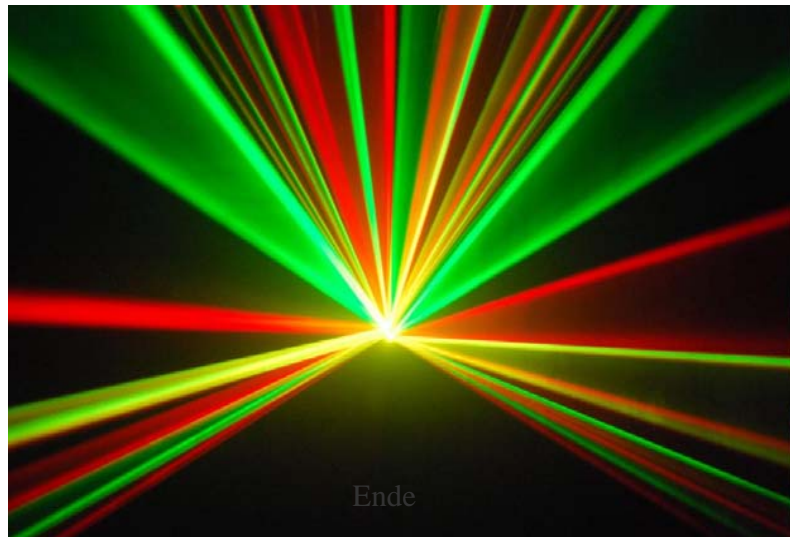
Laserpinzette



Resultierende Kraft zeigt immer gegen die Mitte des Bündels.
Bei Bewegung des Bündels, Objekt geht mit.



38



39