

Anwendung des Lichtes in Medizin und Pharmazie:

Entstehung des Lichtes,
Temperaturstrahlung, Infrarotdiagnostik
Fluoreszenzstrahlern,
Grundlagen der Emissionsspektroskopie

László Smeller

1

Das Licht, die wichtigsten physikalischen Größen

Licht: Lichtstrahl
Welle
Teilchen } Energietransport!

Energie [E] = Joule

Energiestrom = Leistung
[P] = W (Watt)

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

ΔE: die transportierte Energie während der Zeitspanne Δt






2

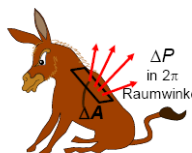
Größen zur Beschreibung des Energietransports

„Teilnehmer“ der Strahlungsvorgänge

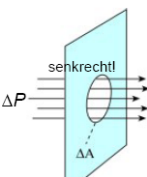
Strahlungsleistung (P):

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \text{ (W)}$$
 Strahlenquelle
 Strahlung
 bestrahlter Körper


Spezifische Ausstrahlung (M):

$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$
 ΔP in 2π Raumwinkel

Strahlungsintensität (J):

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

Bestrahlungsstärke (E):

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$
 ΔP aus 2π Raumwinkel ΔA

7

Entstehung des Lichtes

Temperaturstrahlung

Fluoreszenz

Quelle der Energie:

Thermische Energie
(Bewegungsenergi
der Teilchen)

Anregungsenergie des
Elektrons

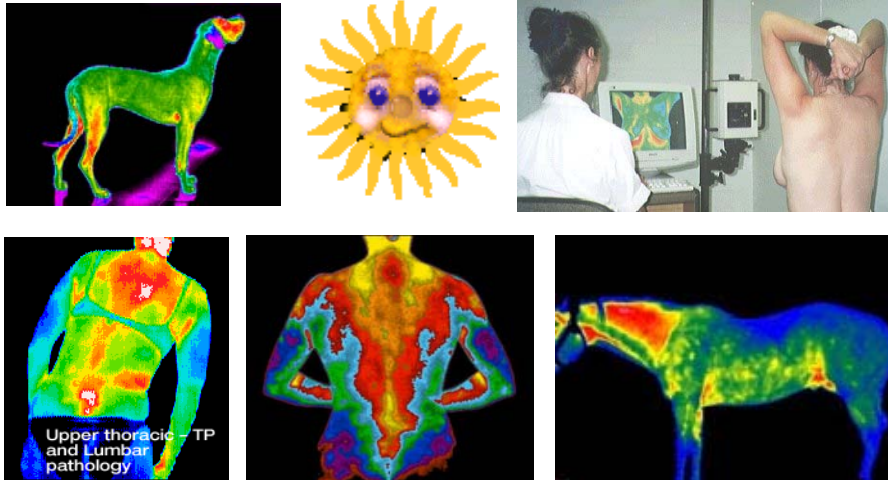
Braucht:

(Heiße) Körper

Angeregte Elektronen

4

Temperaturstrahlung



5

Entstehung der Temperaturstrahlung

Erfahrung: die Körper, die höhere Temperatur haben als ihre Umgebung emittieren Energie (Wärme):

Temperaturstrahlung hängt sehr stark von der T des Körpers ab.

Temperatur des Körpers hängt mit den Bewegungen der Teilchen in dem Körper zusammen.

z.B. Gastheorie $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$



Die Temperaturstrahlung entsteht auf Kosten der Bewegungsenergie der Teilchen im Körper.



Eigenschaften der Temperaturstrahlung

- Jeder Körper, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt, sendet Temperaturstrahlung aus
- Temperaturstrahlung ist elektromagnetische Strahlung (infrarotes Licht, sichtbares Licht, UV, Röntgen, ...)
- Sie hängt von der T , Eigenschaften (Materie, Farbe, Oberfläche, ...) des Körpers ab.

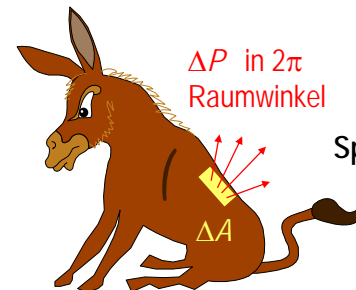
Strahlungsgleichgewicht: emittierte und absorbierte Leistungen müssen im thermischen Gleichgewicht gleich sein.

7

Größen zur Beschreibung der Temperaturstrahlung:

Spezifische Ausstrahlung (M):

$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A}, \quad [M] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$



Spektrale spezifische Ausstrahlung (M_λ):

$$M_\lambda = \frac{\Delta M}{\Delta \lambda}, \quad [M_\lambda] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{nm}}$$

Absorptionsgrad (α):

$$\alpha = \frac{\text{absorbierte Energie}}{\text{einfallende Energie}}$$

M_λ und α hängen von λ , T , Farbe des Körpers, ... ab

8

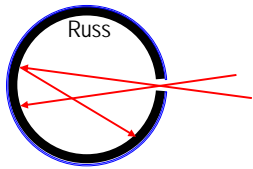
Kirchhoffsches Strahlungsgesetz:

$$\frac{M_{\lambda,1}}{\alpha_1} = \frac{M_{\lambda,2}}{\alpha_2} = \frac{M_{\lambda,3}}{\alpha_3} = \dots$$

konstant für verschiedene Körper
bei gegebener T und λ

Absolut schwarzer Körper:

Ein hypothetischer idealisierter Körper, der jegliche auf ihn treffende elektromagnetische Strahlung bei jeder Frequenz vollständig absorbiert.



Hohlraumstrahlung

Absolut schwarzer Körper als
Strahlungsreferenz: $\alpha = 1$

$$\frac{M_{\lambda}}{\alpha} = \frac{M_{\lambda,a}}{1} = M_{\lambda,a}$$

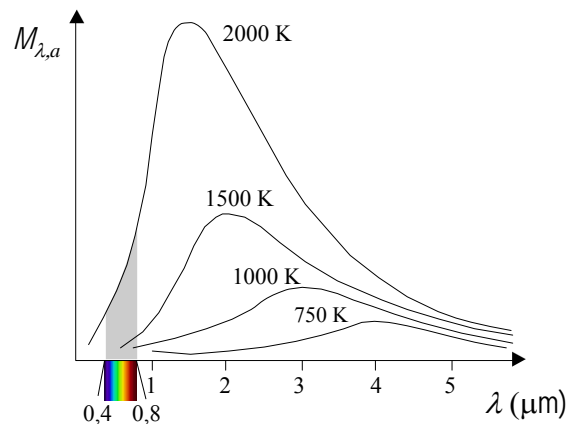
9



Die dunkle Farben
absorbieren mehrere
Strahlungsenergie als
die helle (Kirchhoff!).
Die
Strahlungsschädigung
nach der
Atombombenexplosion
ist grösser unter den
dunklen Teilen des
Kimonos.

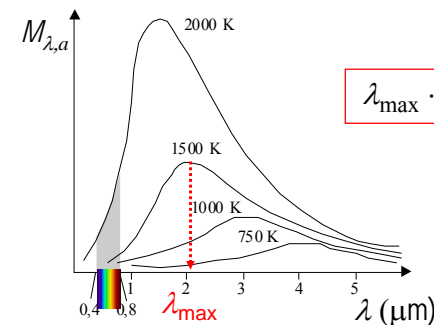
10

Spektrum des absolut schwarzen Körpers



11

Wiensches Verschiebungsgesetz

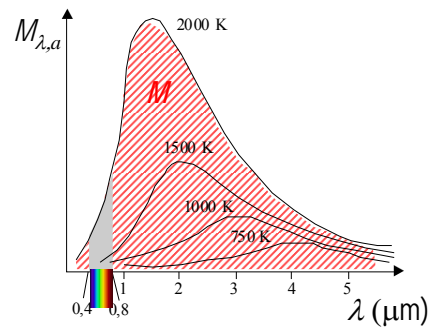


$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{const} = 2880 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Verschiebung des Maximums mit der Temperatur

12

Stefan-Boltzmannsches Gesetz



$$M_a = \sigma \cdot T^4$$

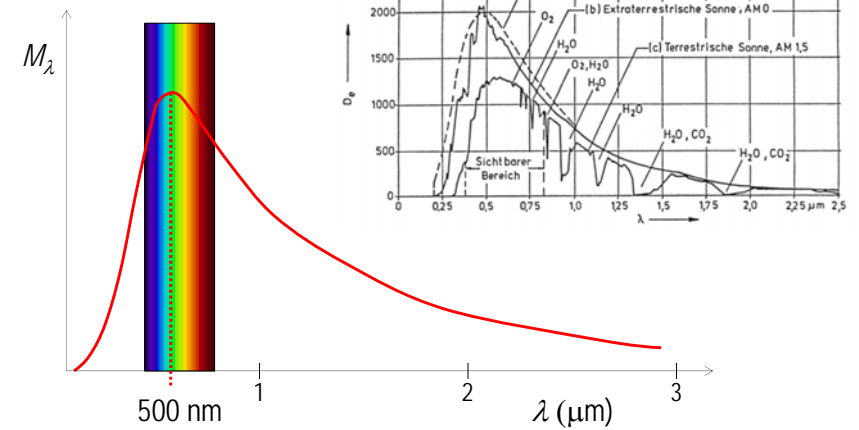
$$\left[\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right]$$

hohe spezifische Ausstrahlung bei hohen Temperaturen

13

z. B. Das Spektrum der Sonne:

$T = 5900 \text{ K} (= 6000 \text{ K})$

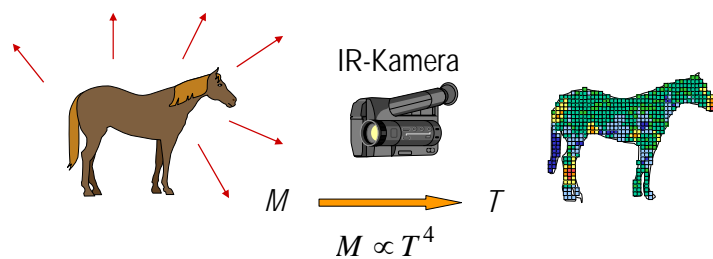


14

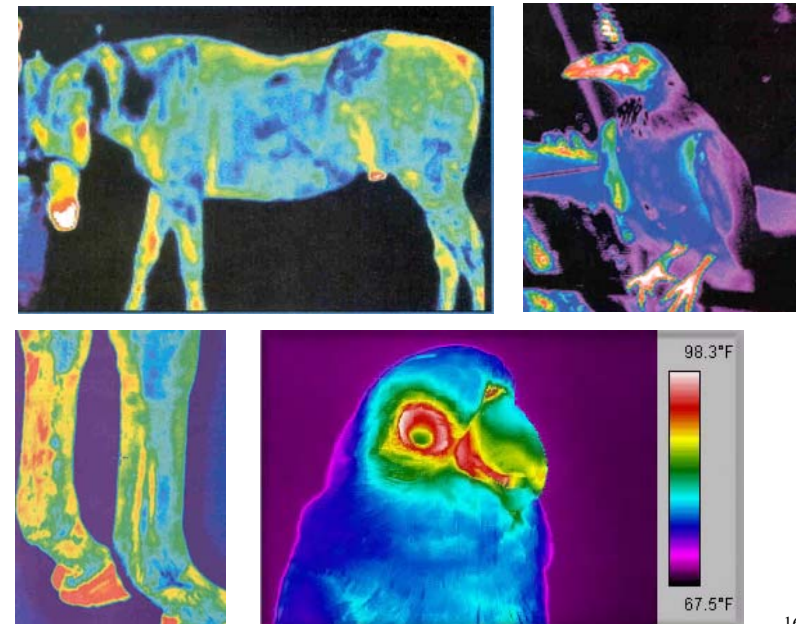
Anwendungen 1: IR Diagnostik (Telethermographie)

$T \approx 301 \text{ K} \rightarrow \lambda_{\text{max}} \approx 10 \mu\text{m}$ IR-Strahlung

Ist der tierliche Körper absolut schwarz?
In diesem Bereich: Ja!
(s. Absorptionsspektrum des Wassers)

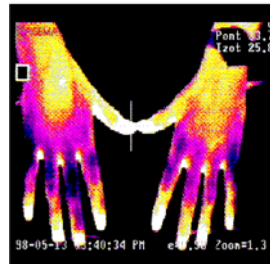
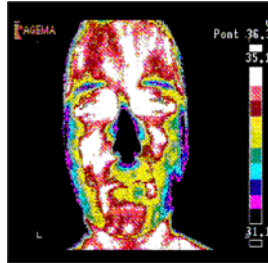


15



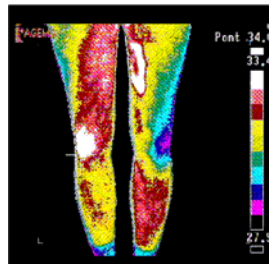
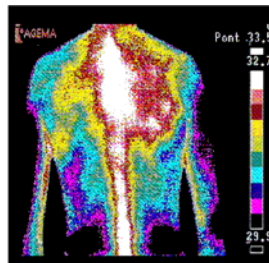
16

Gesichtshöhlenentzündung



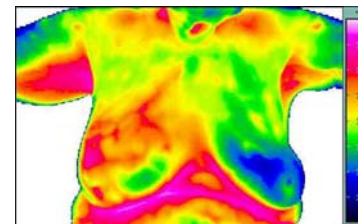
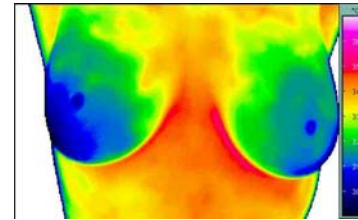
Gelenkentzündung

Muskelzerrung

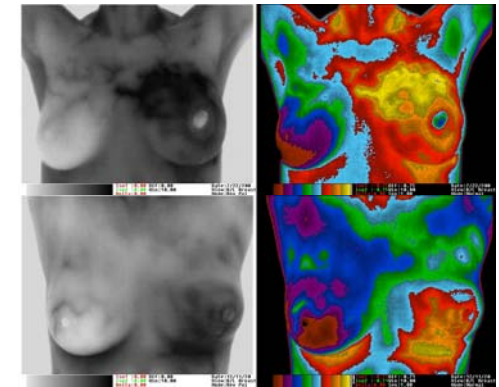


Chondrolyse und Thrombose 17

gesund



Brustkrebs



18



IR-Thermographie

Messbereich: 8-10 μm
 Präzision: 0.1 C
 Auflösungsgrenze: 1 mm²
 (Abstand: 40 cm)
 Abtastungszeit: 4 s



Mikrowellenthermographie,
 Mammathermographie
 (Tumor-Diagnostik)

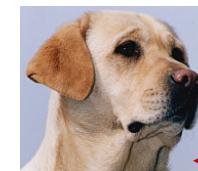
Vorteil: Körpergewebe ist durchlässig für Mikrowellen.

Nachteil: Intensität im Mikrowellenbereich ist vielmal kleiner als im IR.

Anwendungen 2: Wärmehaushalt

Stoffwechselprozesse \Rightarrow Wärme }
 konstante Körpertemperatur } \longrightarrow Wärmeabgabe

Wärmestrahlung:



$$M = \sigma \cdot T^4$$

Resultierende Energieabgabe (ΔE):

$$\Delta E = \sigma \cdot (T^4 - T_{\text{Umgebung}}^4) \cdot A \cdot t$$

$$M_{\text{Umgebung}} = \sigma \cdot T_{\text{Umgebung}}^4$$

Hat ein Körper höhere Temperatur als seine Umgebung, so strahlt er mehr als er aus der Umgebung absorbiert.

+ Transpiration
 (+ Wärmeleitung)

20

Anwendungen 3: Wärmetherapie (IR-Lampen)



Glühlampen
 $T = 2000-3000\text{ K}$

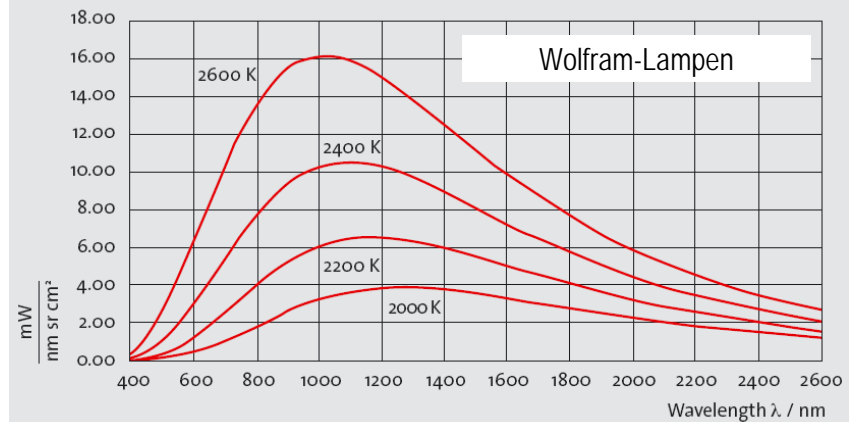


21

höhere Temperaturen:
Tageslichtlampe

niedrigere Temperaturen:
IR-Lampen

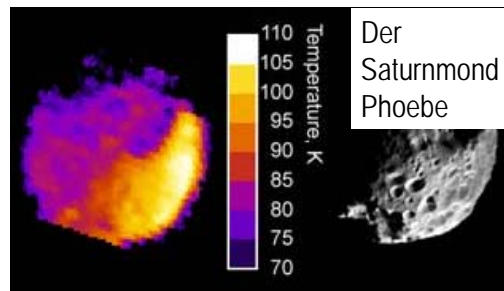
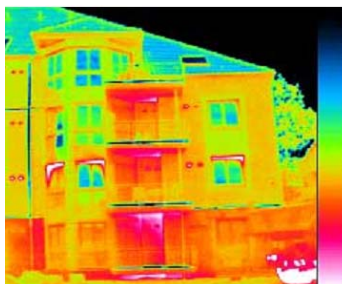
Tungsten Emission for Four Different True Temperatures



22

Weitere Anwendungen

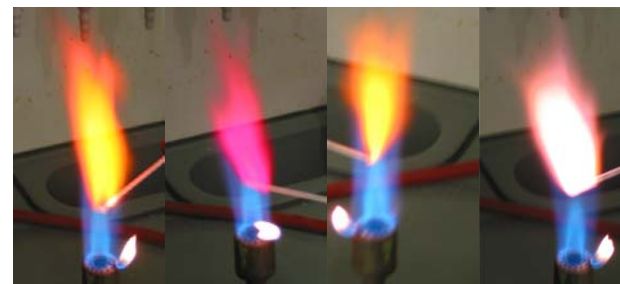
Bestimmung von
Oberflächentemperaturen



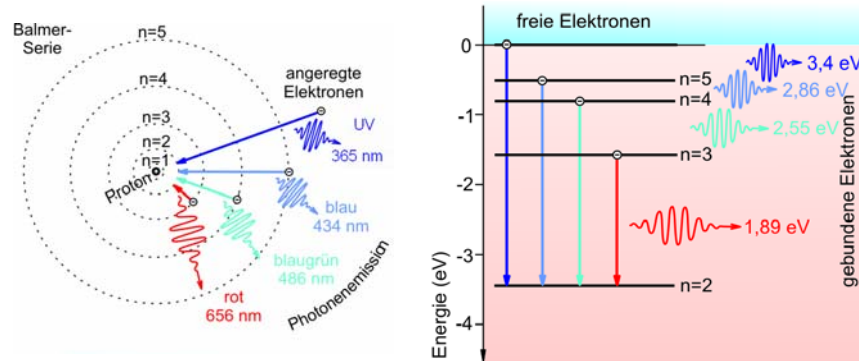
23

Fluoreszenz

- Atome
 - siehe auch Praktikum
- Moleküle
 - nächste Woche



Emission von Wasserstoff



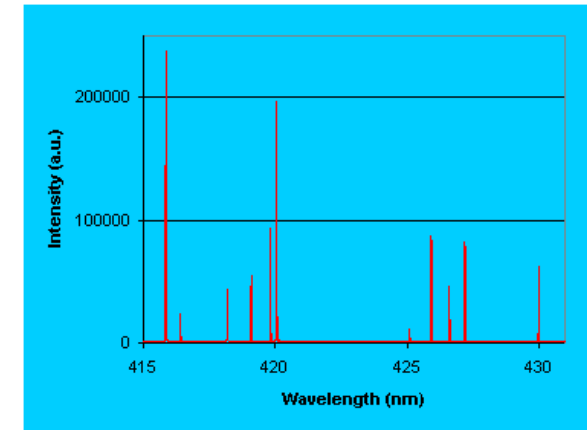
Die Atome des Niederdruck-Wasserstoffgases bewegen sich unabhängig voneinander. Entsprechend den Unterschieden der Energieniveaus emittieren sie Photonen bestimmter Wellenlängen, es entsteht ein Linienspektrum

Linienpektrum

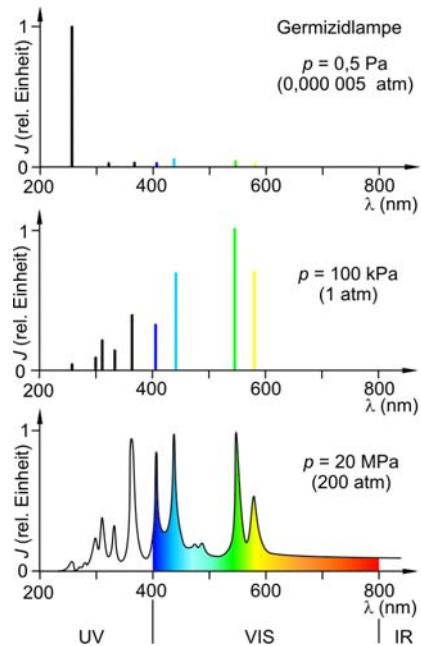
angeregte Atome, z. B. Na-Linie bei 590 nm

ein Teil des Emissionsspektrums von Argon Plasma

$$\frac{\Delta J}{\Delta \lambda}$$



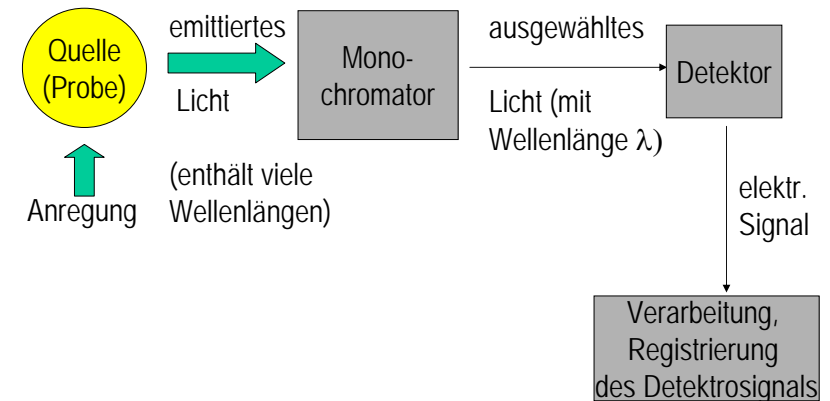
λ , nm



Spektren von Niederdruck-, Hochdruck- und Höchstdruck-Quecksilberdampflampen. Man beachte, dass die Spektrallinien mit zunehmendem Druck an Zahl zunehmen bzw. sich zu Banden verbreitern!

Messung des Emissionsspektrums

Allgemeine Schema:



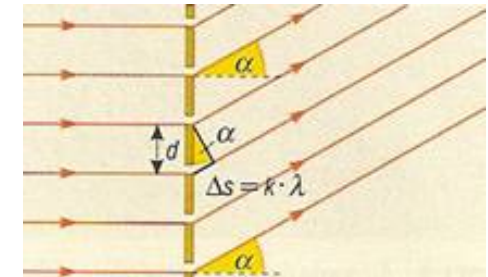
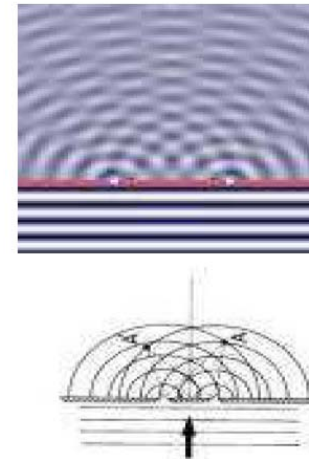
Monochromator

Dispersionselement (was die Lichtstrahlen nach Wellenlänge aufspaltet):

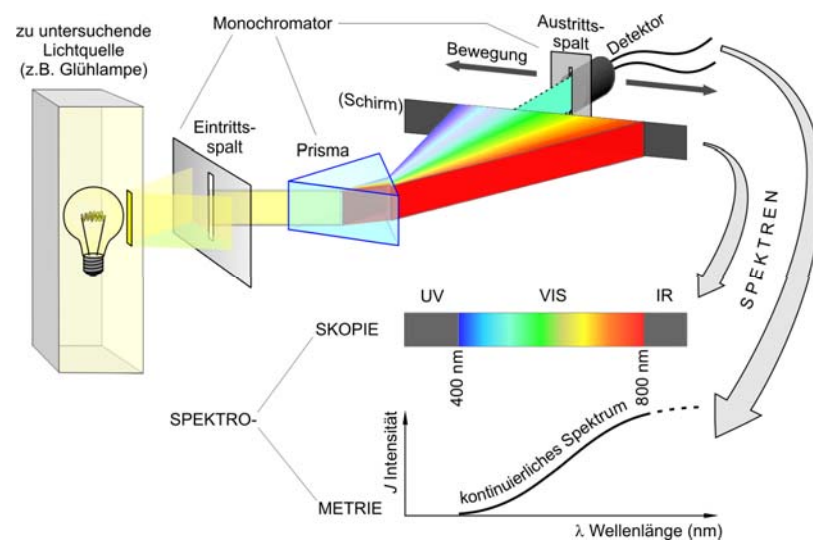
1. Prisma (siehe Dispersion)
2. Optisches Gitter (Beugung)



Optisches Gitter



Entstehung eines kontinuierlichen Spektrums mittels eines Prismenmonochromators bei einem Temperaturstrahler (z. B. Glühlampe)



Monochromator

Lichtquelle,
Eintrittsspalt,
fokussierbarer Spiegel,
Dispersionselement
(Amplitudengitter,
Prisma)
Ausgangsspalt,
Detektor (SEV)

