

Astro 121 – Einführung in die Astronomie

Schwarzer Körper – Magnituden – Beugung - optische Teleskope

Dr. Gunther Witzel

Max-Planck-Institut für Radioastronomie

(Folien ausgearbeitet von P.D. Dr. Jürgen Kerp)

Doppelstern Albireo Sternbild Schwan

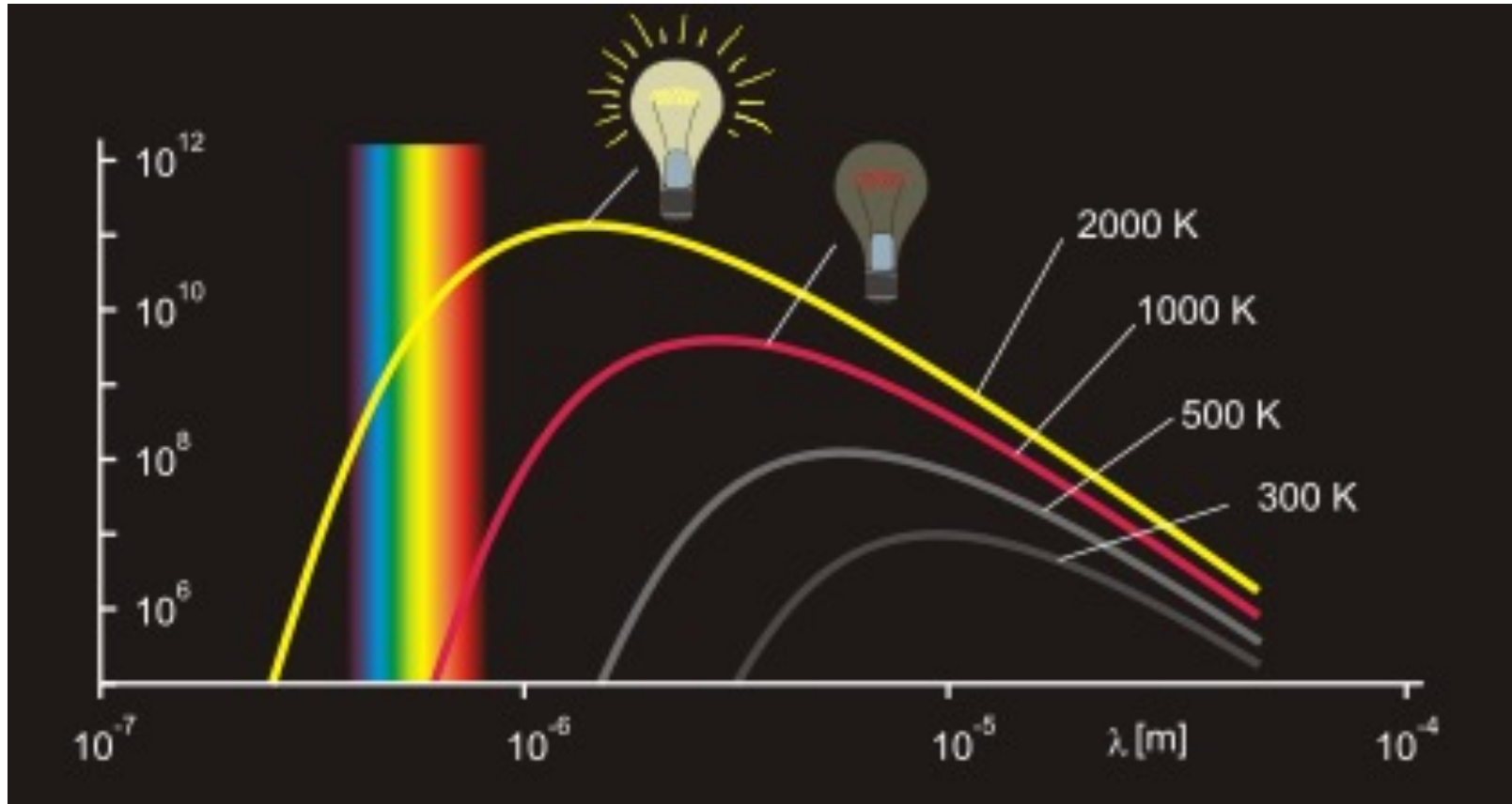


Schwarzer Körper



Von Rainer Halama - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10690051>

Schwarzer Körper



Planck Gesetz

$$B(\lambda, T) = \frac{2 \pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda k T}\right)} - 1} \left[\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \right]$$

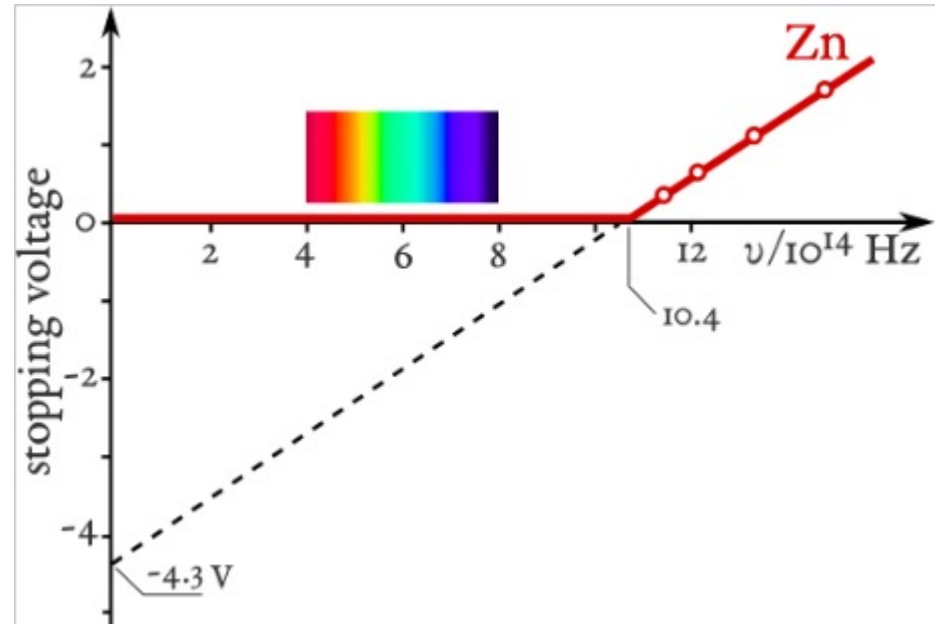
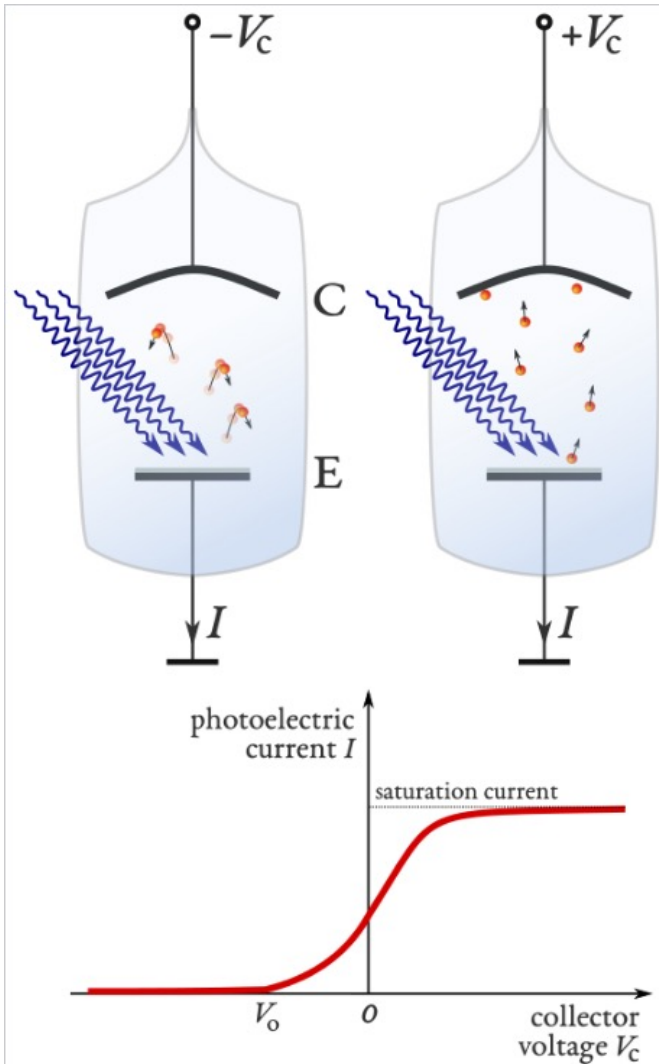
Planck Gesetz

- Planck versuchte die **kontinuierliche Strahlung** eines **schwarzen Körpers** mit nur einem Gesetz vollständig zu beschreiben.
- Er entdeckte, dass nicht alle Schwingungszustände eines schwingfähigen Systems angeregt werden können, sondern nur Zustände, die ein Vielfaches der Größe **h**, dem **Planckschen Wirkungsquantum**, entsprechen. Die Quantelung der Energiemengen führt zum **Teilchenmodell** der elektromagnetischen Strahlung.

$$E = h \cdot \nu$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Äußerer photoelektrischer Effekt



https://de.wikipedia.org/wiki/Photoelektrischer_Effekt

Planck Gesetz

$$B(\lambda, T) = \frac{2 \pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda k T}\right)} - 1} \left[\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \right]$$

Planck-Gesetz

$$P = A \cdot \sigma \cdot T^4$$

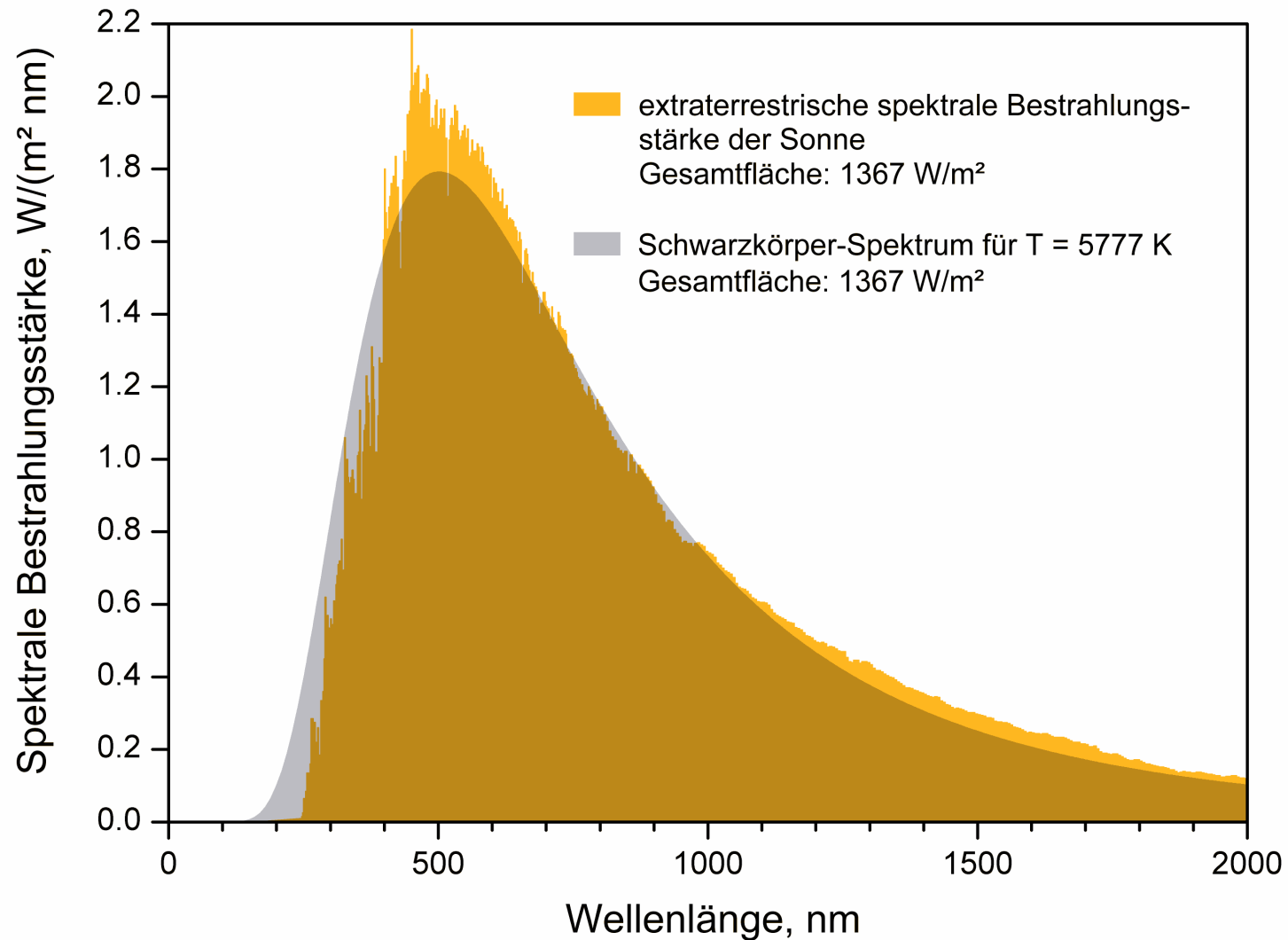
Stefan-Boltzmann-Gesetz

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

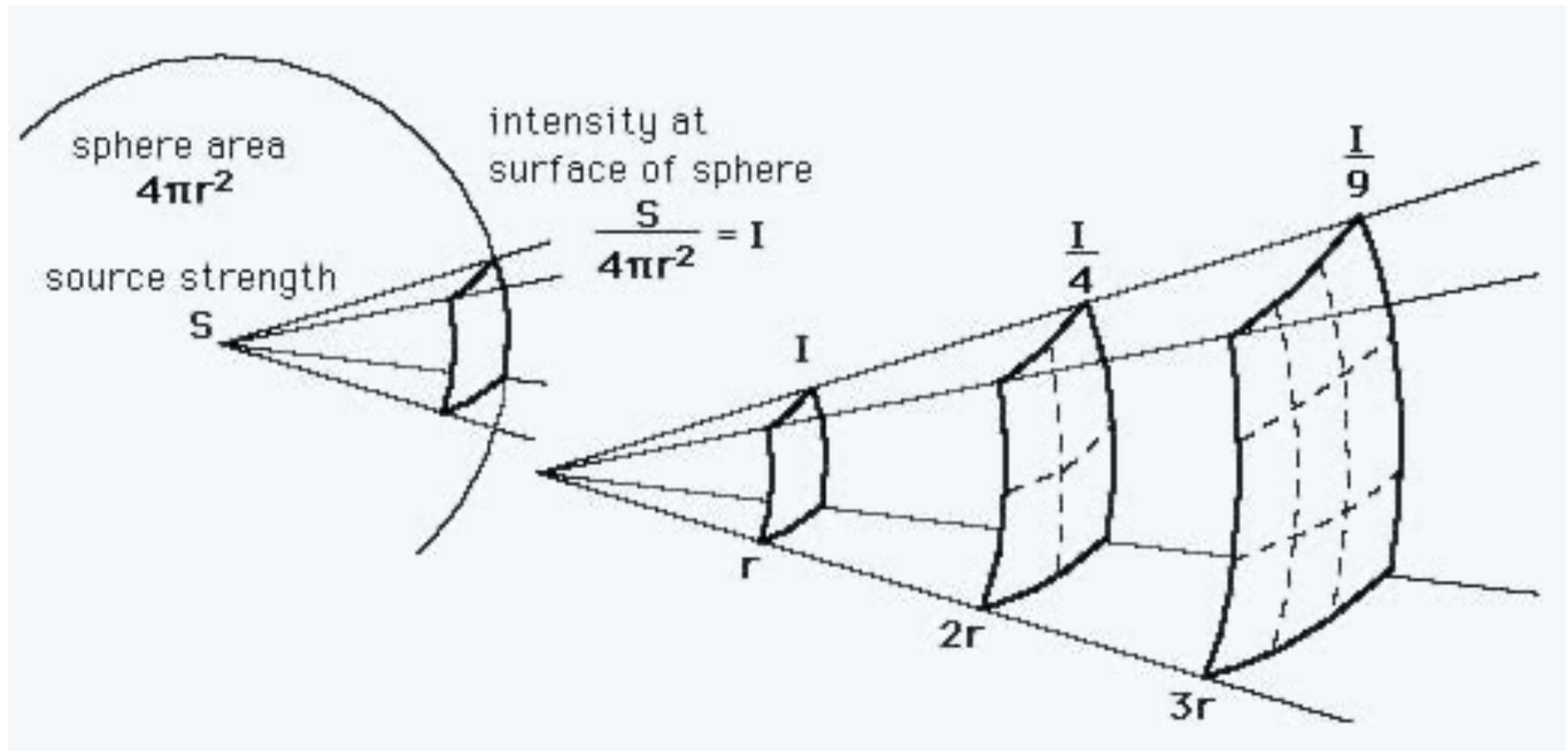
$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$$

Wiensches Verschiebungsgesetz

Stern: Stefan-Boltzmann Gesetz

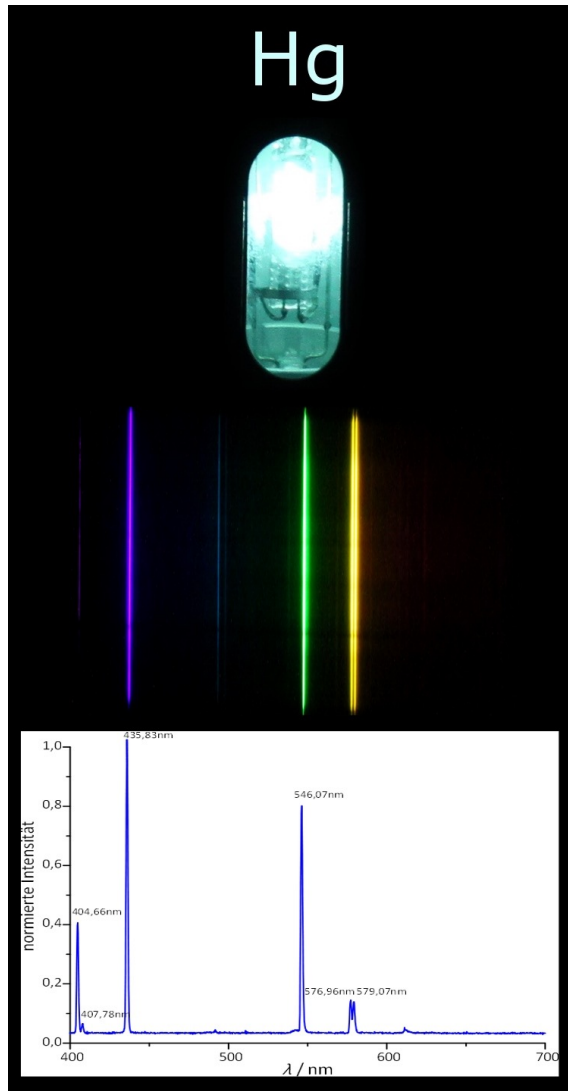


Fluss und Leuchtkraft



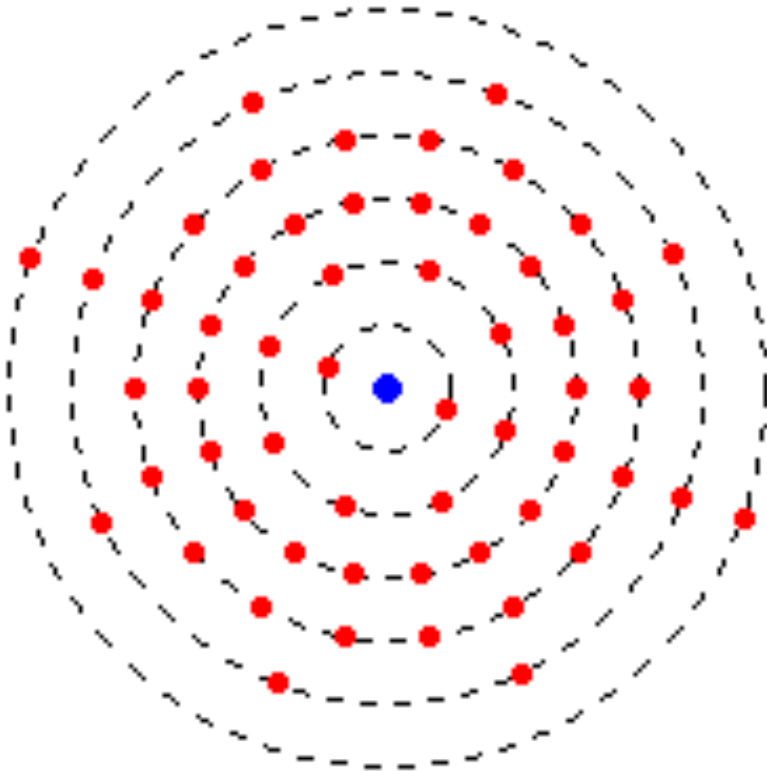
Linienstrahlung

Linienstrahlung



Emissionsspektrum einer Quecksilberdampf Lampe.
Deutlich erkennbar ist die diskrete Struktur des Emissionsspektrums. Diese markieren die Lage und Besetzung der Energieniveaus des QS. Die Besetzung der Energieniveaus ist eine Funktion der Temperatur des Gases. Ob einzelne Emissionslinien angeregt werden hängt von der eingestrahlten Energie ab!

Linienstrahlung



<http://de.wikipedia.org>

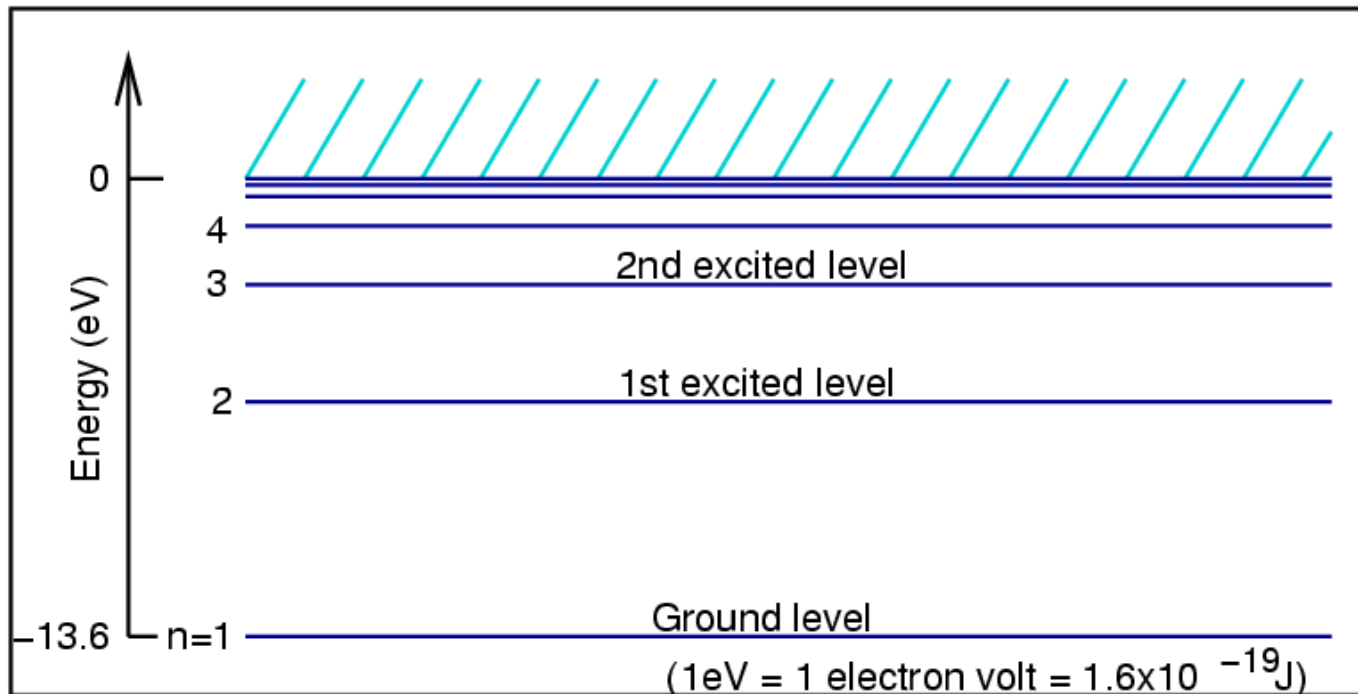
Im anschaulichen Bohrschen Atommodell befinden sich die Elektronen eines Atoms auf verschiedenen Schalen (K,L,M ...). Ein Atom kann Energie durch die Absorption von Photonen, und durch Stöße gewinnen. Dadurch wird eine Elektron des Atoms “angeregt” (es bleibt dem Atom erhalten), oder es wird freigesetzt, dann ist das Atom ionisiert.

Linienstrahlung

Energy levels in Hydrogen:

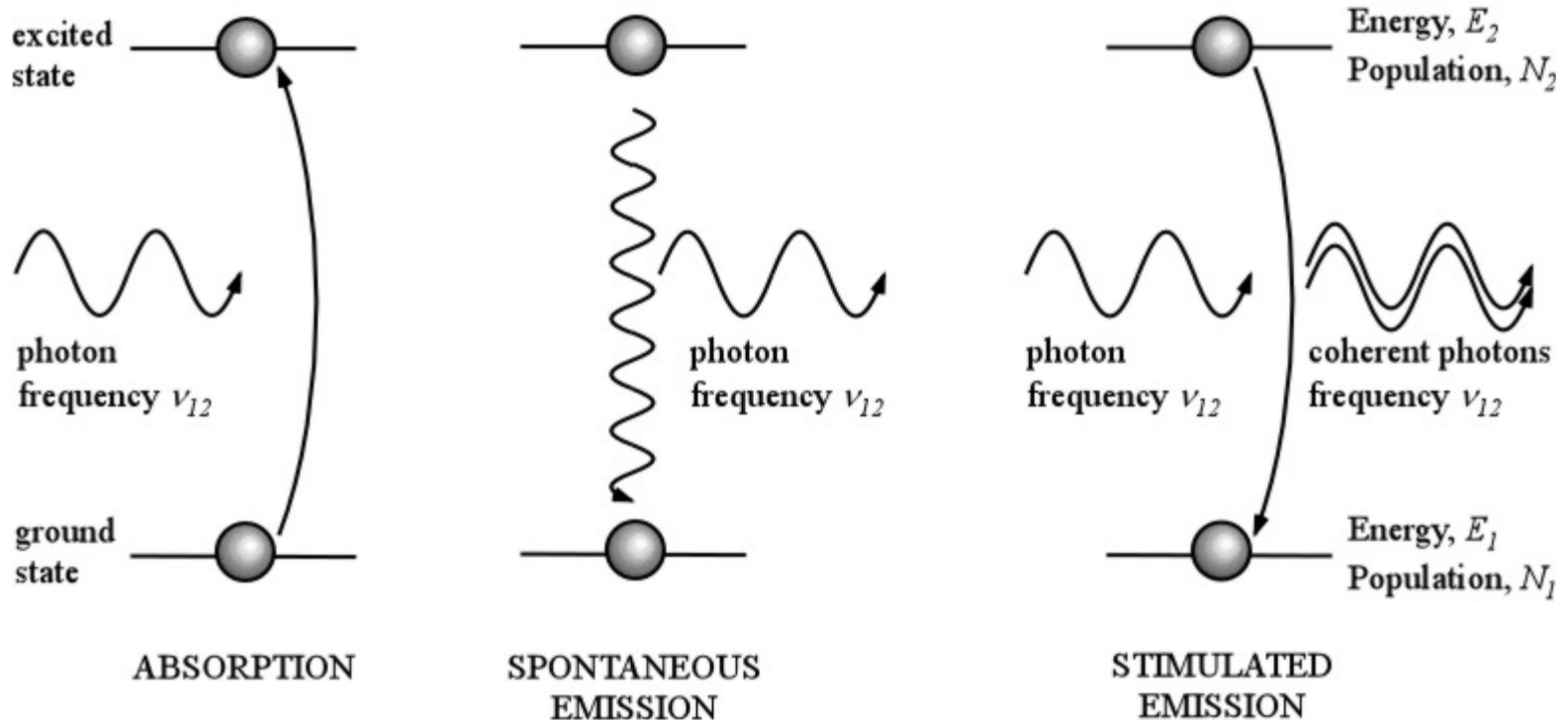
$$E_n = -\frac{2\pi^2\mu e^4}{\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} \propto -\frac{1}{n^2}$$

($n \in \mathbb{N}$; Balmer formula)



<http://pulsar.sternwarte.uni-erlangen.de/wilms/teach>

Linienstrahlung

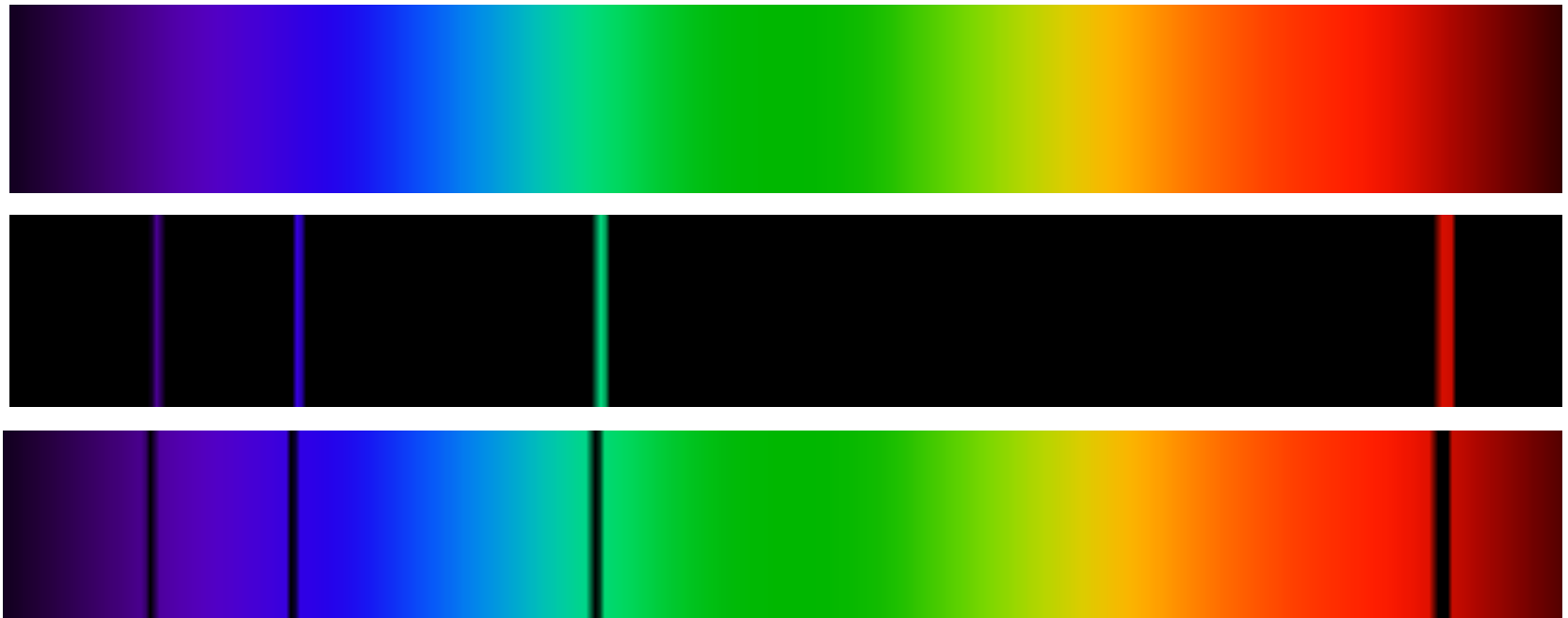


Transition energy, $E_{12} = E_2 - E_1 = h\nu_{12}$

EINSTEIN A & B COEFFICIENTS

<http://www.homepages.ucl.ac.uk/~ucapphj/EinsteinAandB.jpg>

Elektromagnetische Strahlung



<http://de.wikipedia.org>

Oben: kontinuierliches Spektrum

Mitte: Emissionsspektrum eines Gases

Unten: Absorptionsspektrum eines Gases

Elektromagnetische Strahlung



Vielteilchensystem

Einteilchensystem

Überlagerung beider

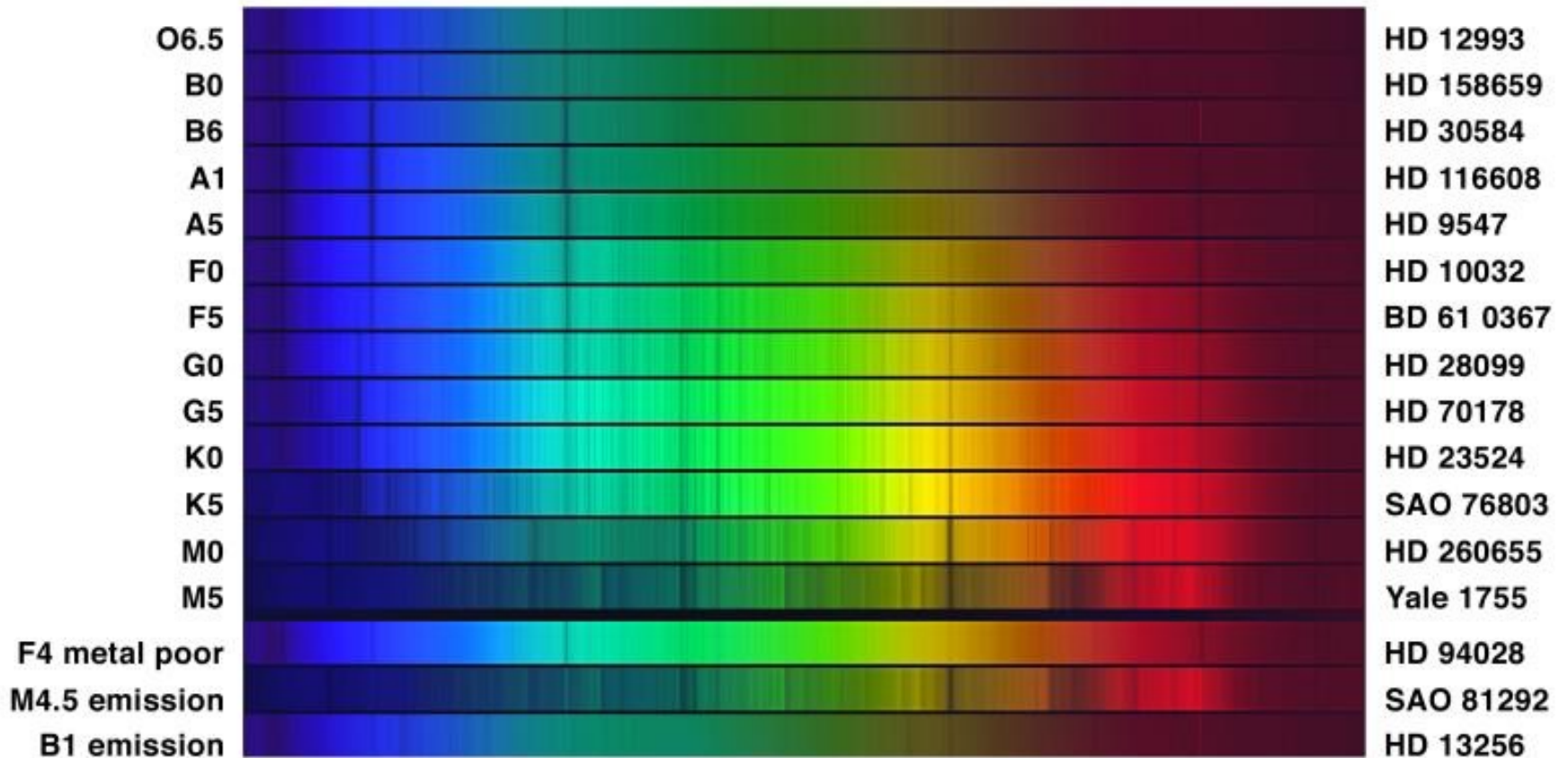
<http://de.wikipedia.org>

Oben: kontinuierliches Spektrum

Mitte: Emissionsspektrum eines Gases

Unten: Absorptionsspektrum eines Gases

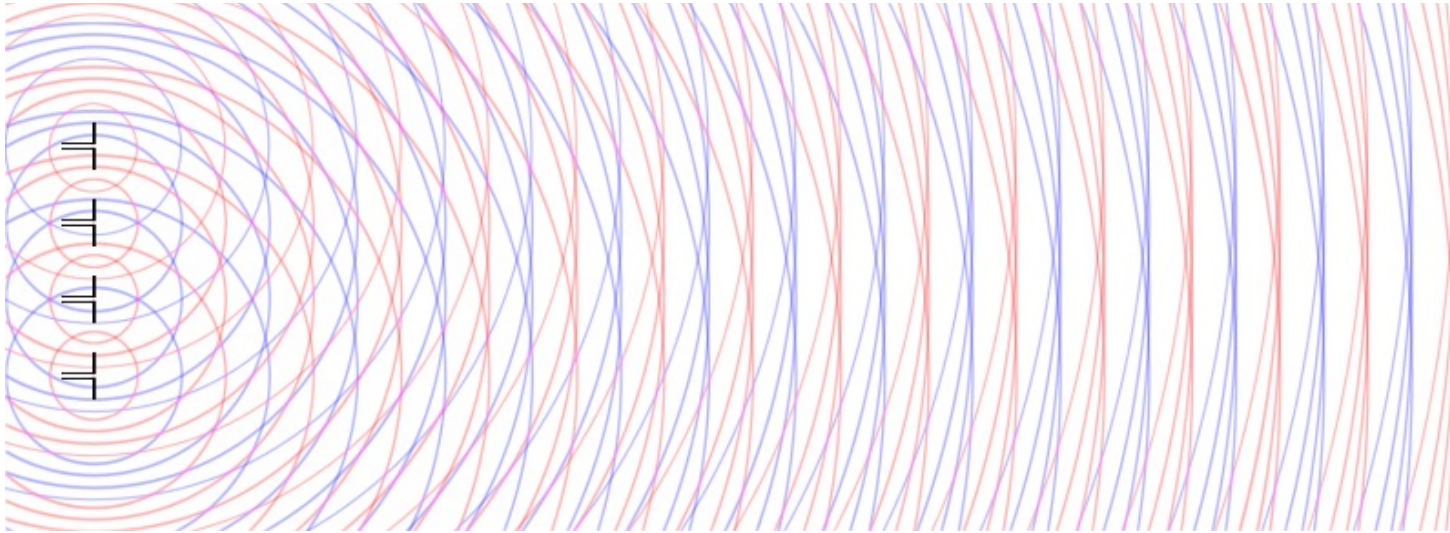
Elektromagnetische Strahlung: Sterne



<http://apod.nasa.gov>

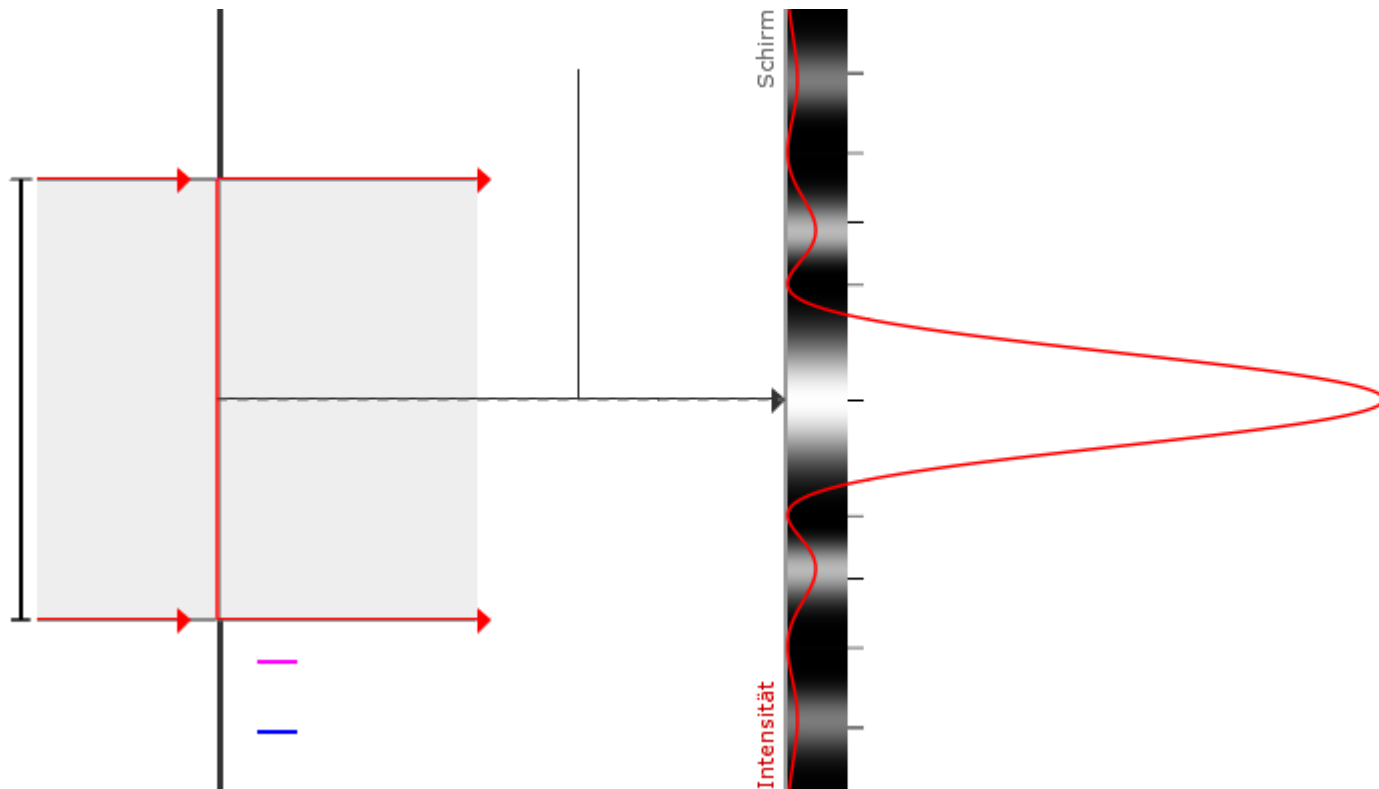
Beugung

Huygens-Fresnelsches Prinzip

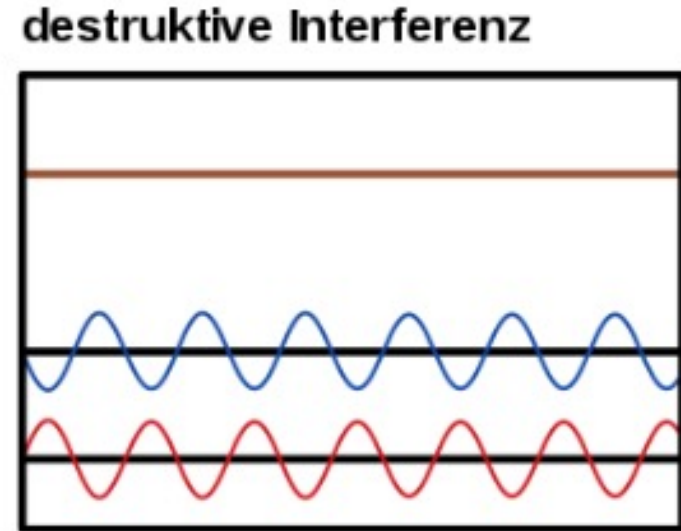
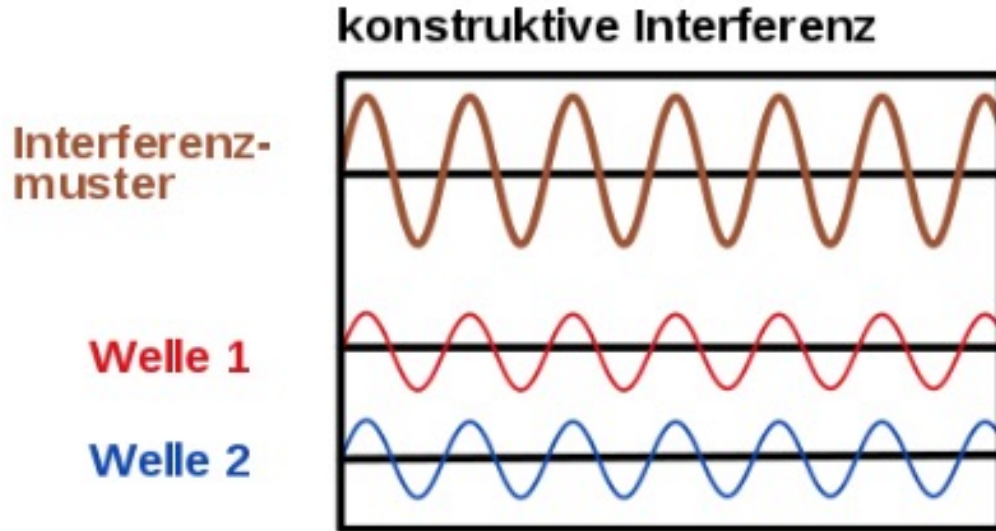


- Gemäß dem Huygens-Fresnelschen Prinzip wird aus den entsendeten Kugelwellen mit wachsender Entfernung vom Sender eine Ebene Welle
- Astronomische Objekte befinden sich in großen Entfernungen von der Erde, daher messen wir in sehr guter Näherung ebene Wellenzüge.
- **Astronomische Wellenzüge können interferieren (Van Cittert-Zernike-Theorem)!**

Beugung am Spalt

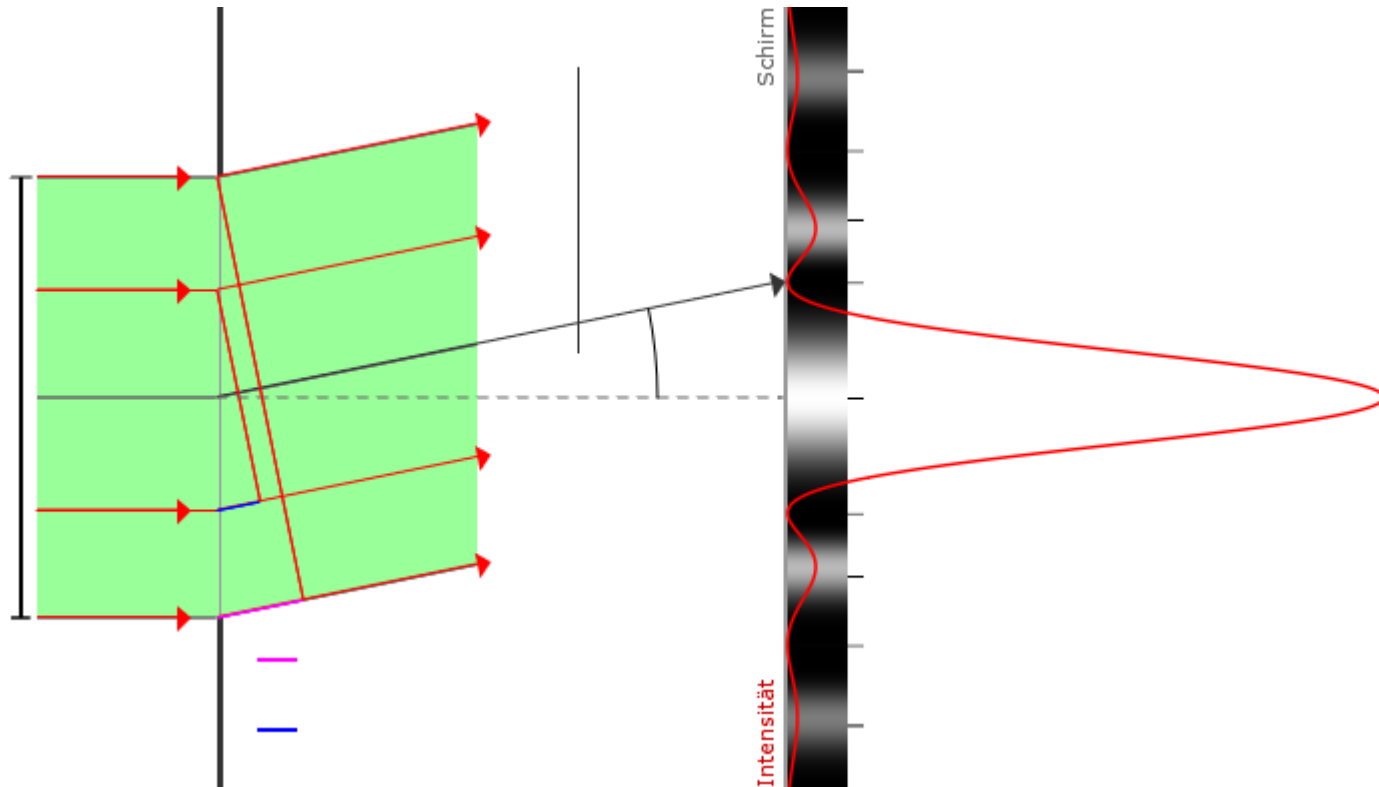


Beugung am Spalt: Interferenz



<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50733824>

Beugung am Spalt



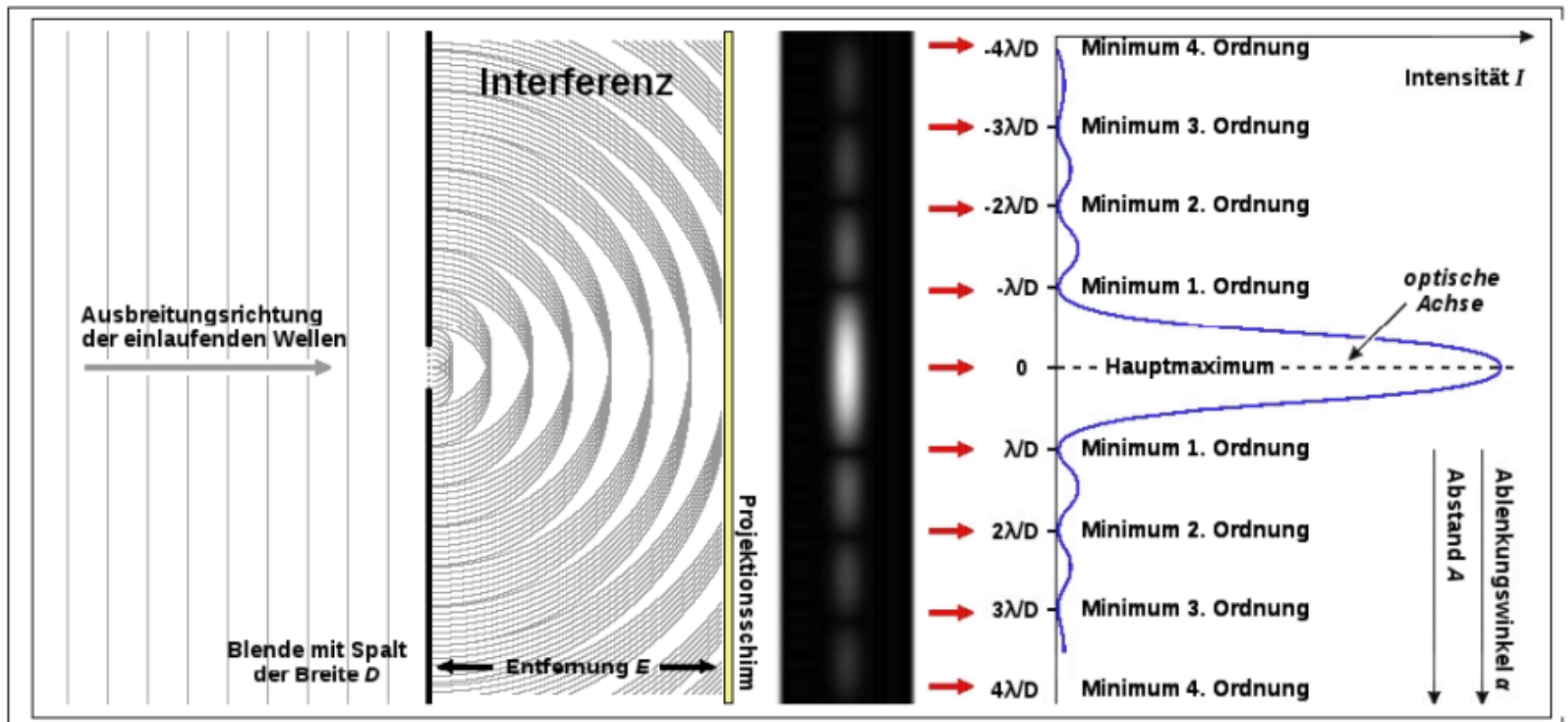
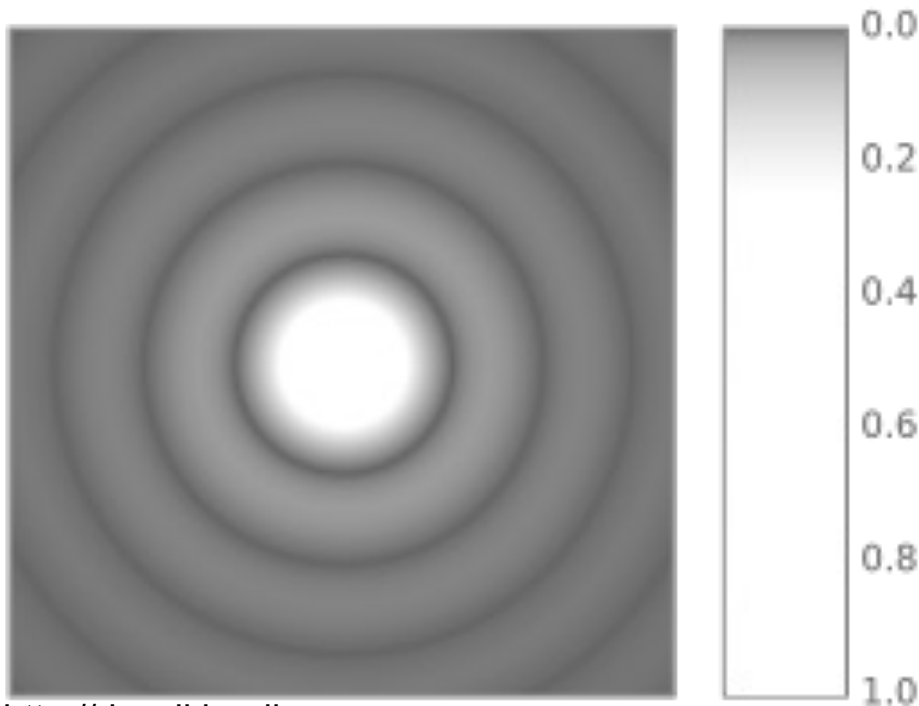


Abbildung 2: Beugung von Lichtwellen beim Durchgang durch einen Spalt: Die von links einlaufenden geraden Wellenfronten treffen auf ein Hindernis (Blende mit schmalen Spalt). Ein Teil der Wellenfronten kann den Spalt passieren. Dem huygensschen Prinzip zufolge stellt jeder Punkt einer Wellenfront das Wellenzentrum einer Elementarwelle dar, die sich in Form einer Kreis- bzw. Kugelwelle ausbreitet (dies hängt davon ab, ob man das Wellenphänomen im 2- oder 3-Dimensionalen betrachtet). Folglich geht von jedem Punkt einer Wellenfront, die den Spalt durchquert, eine Kreiswelle aus. Diese überlagern sich zu einem Interferenzmuster. (Da nur im Spalt Kreiswellen entstehen, links und rechts davon aber Kreiswellen „fehlen“, können sich keine geraden Wellenfronten ausbilden.) Das Interferenzmuster, das auf einem Projektionsschirm aufgefangen wird, besteht aus sich abwechselnden hellen (Beugungsmaxima) und dunklen (Beugungsminima) Streifen. Die Lichtintensität dieser Maxima und Minima ist rechts dargestellt. Ihre Lage bezogen auf das Hauptmaximum (Maximum nullter Ordnung) wird vom Ablenkungswinkel α bestimmt, der von der Lichtwellenlänge λ und von der Spaltbreite D abhängt. (Bild: Monika Maintz)

Winkelauflösung



<http://de.wikipedia.org>

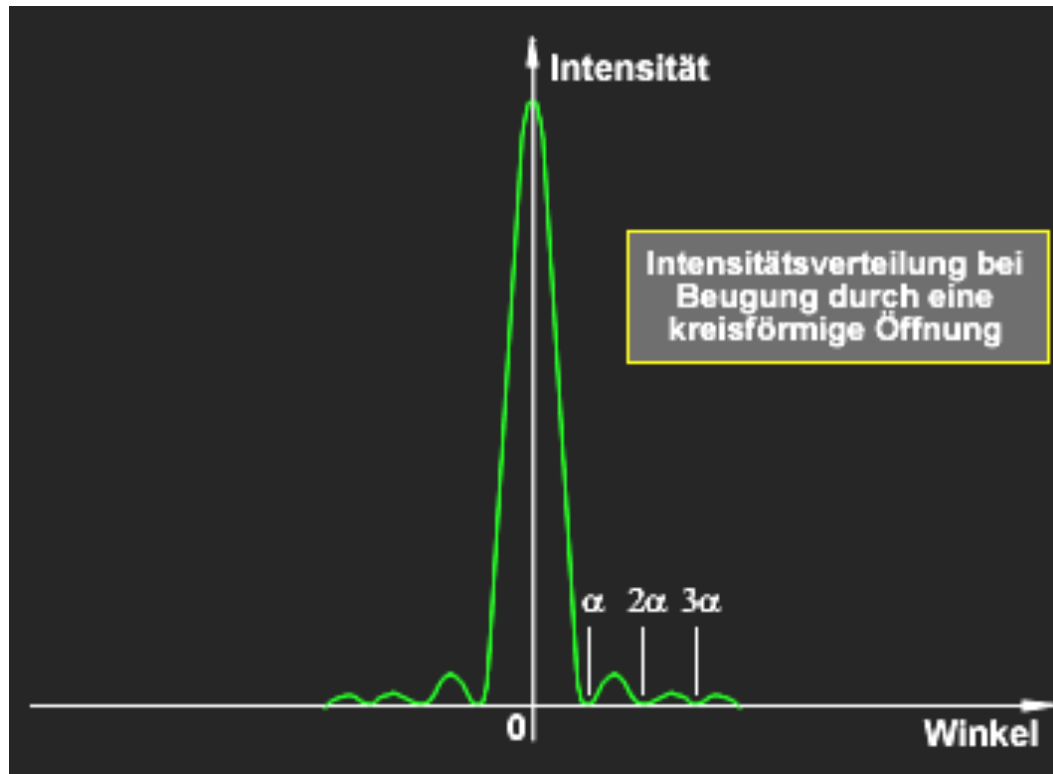
Beugungsbild einer nicht aufgelösten Quelle erzeugt durch eine kreisförmige Apertur. Diese Intensitätsverteilung ist auch als **Airy-Pattern** bekannt.



<http://de.wikipedia.org>

Aufnahme eines Doppelsternsystems. Der erste und zweite Beugungsring um jeden Stern ist erkennbar.

Winkelauflösung



<http://www.parallax.at>

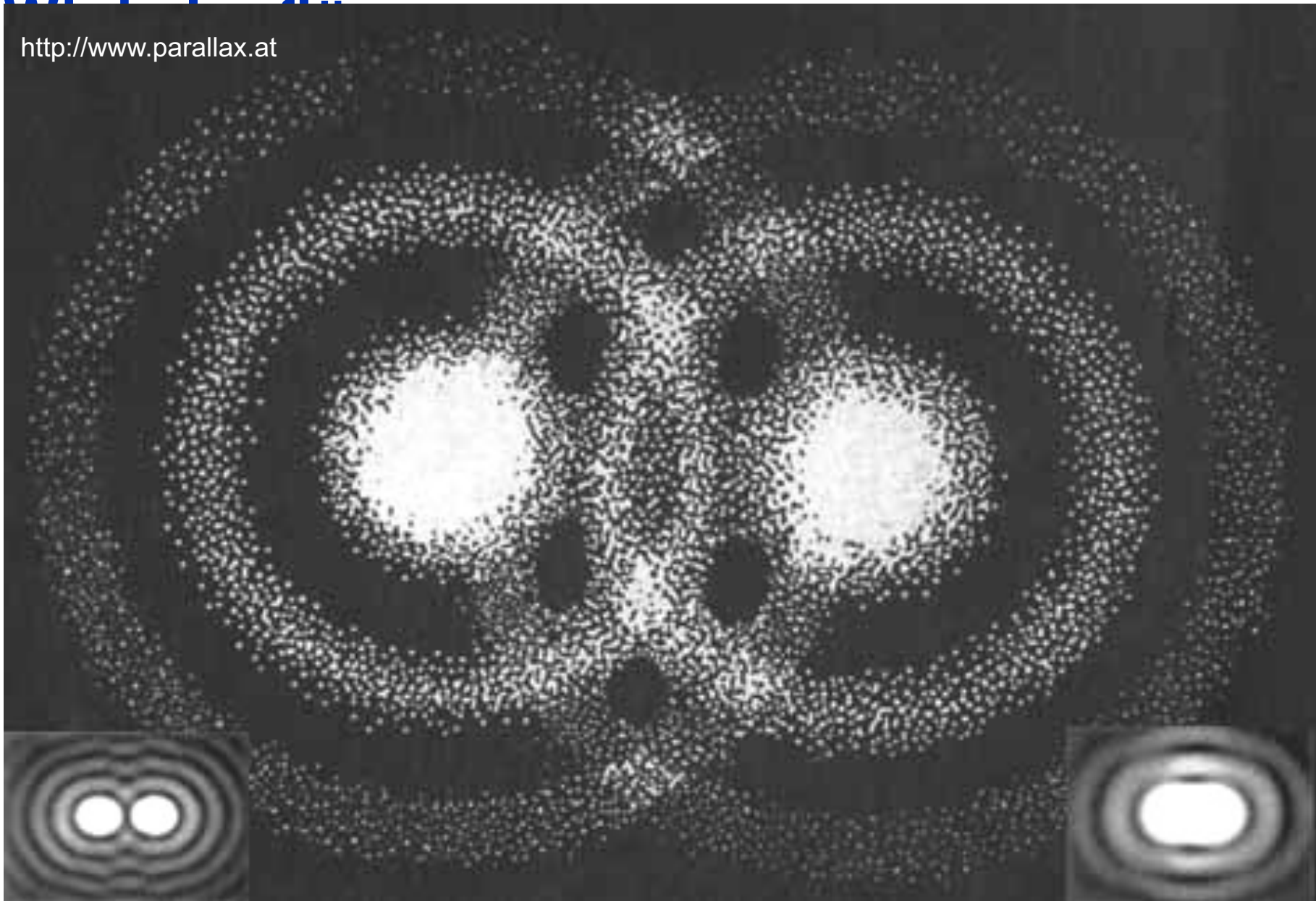
In der Physik werden Intensitäten gemessen, diese errechnen sich aus den Amplituden zum Quadrat. Daher wird aus der so genannten **sinc-Funktion** die **sinc²-Funktion** errechnet, die die Intensitätsverteilung einer Öffnung beschreibt.

$$\alpha = 1.22 \cdot \frac{\lambda}{D} [\text{rad}]$$

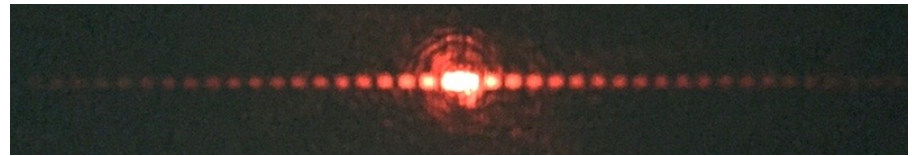
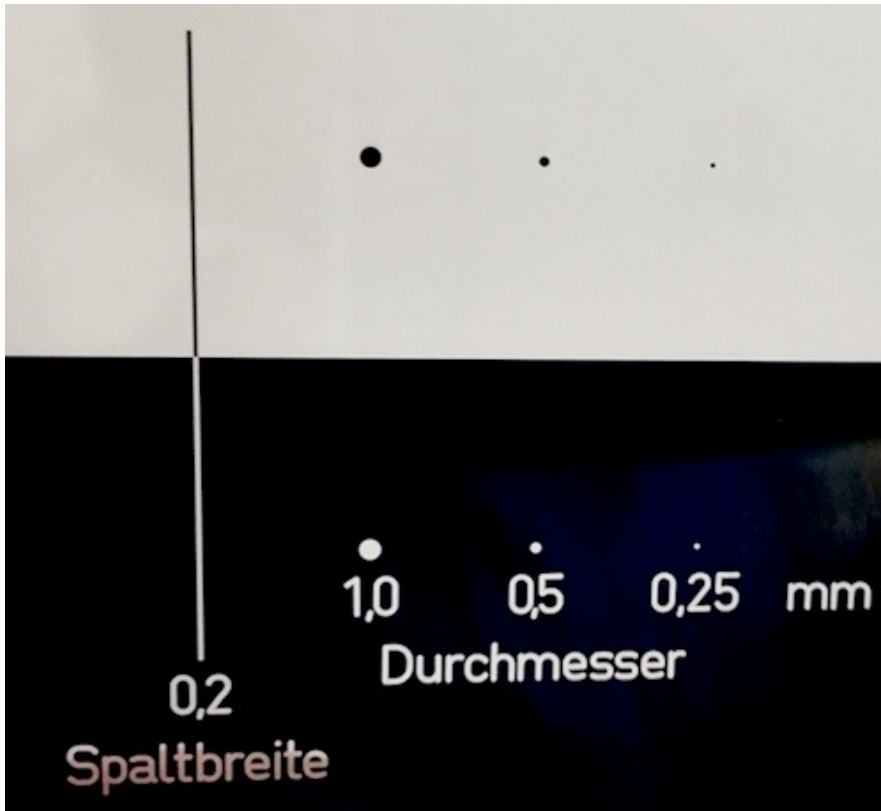
$$\alpha = 2.52 \cdot 10^5 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

.

<http://www.parallax.at>

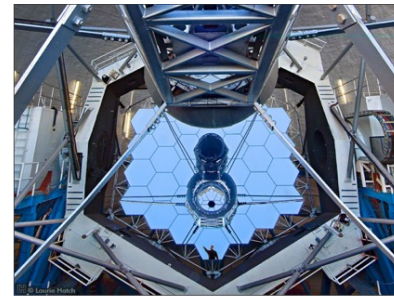


Babinet'sches Prinzip

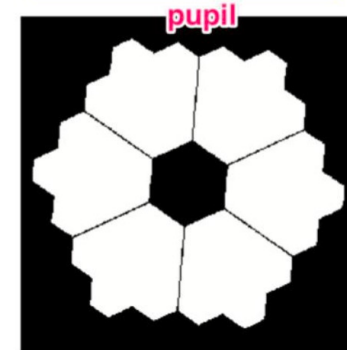
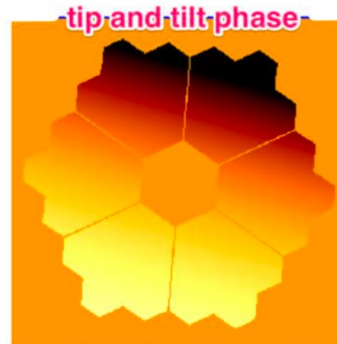
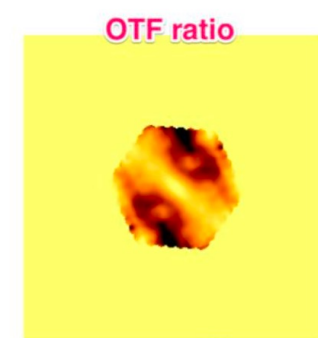
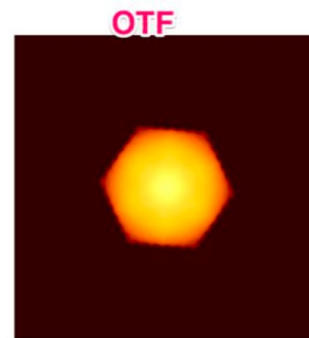
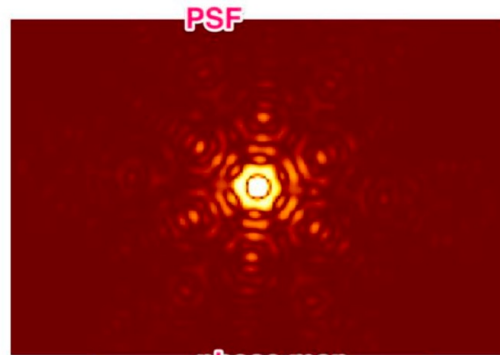


<https://physikunterricht-online.de/jahrgang-11/interferenz-am-einzelspalt/>

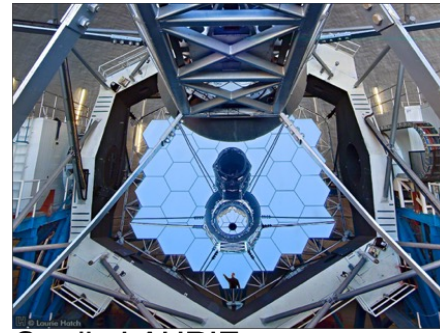
KECK NIRC2 PSF



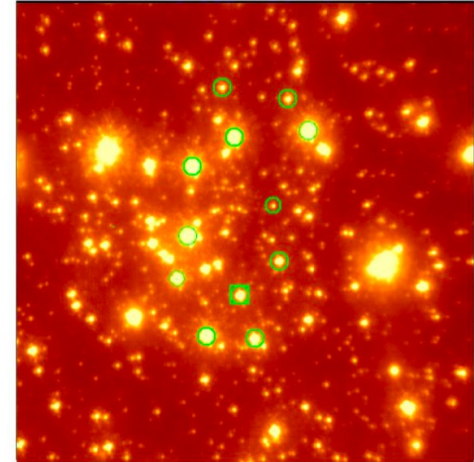
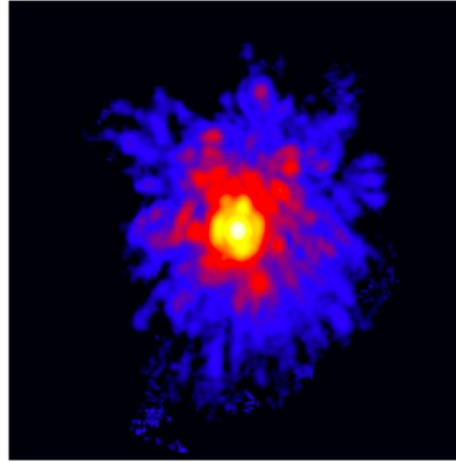
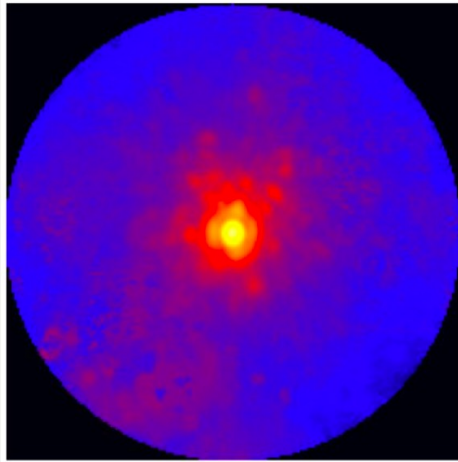
Credit: LAURIE
HATCH



KECK NIRC2 PSF

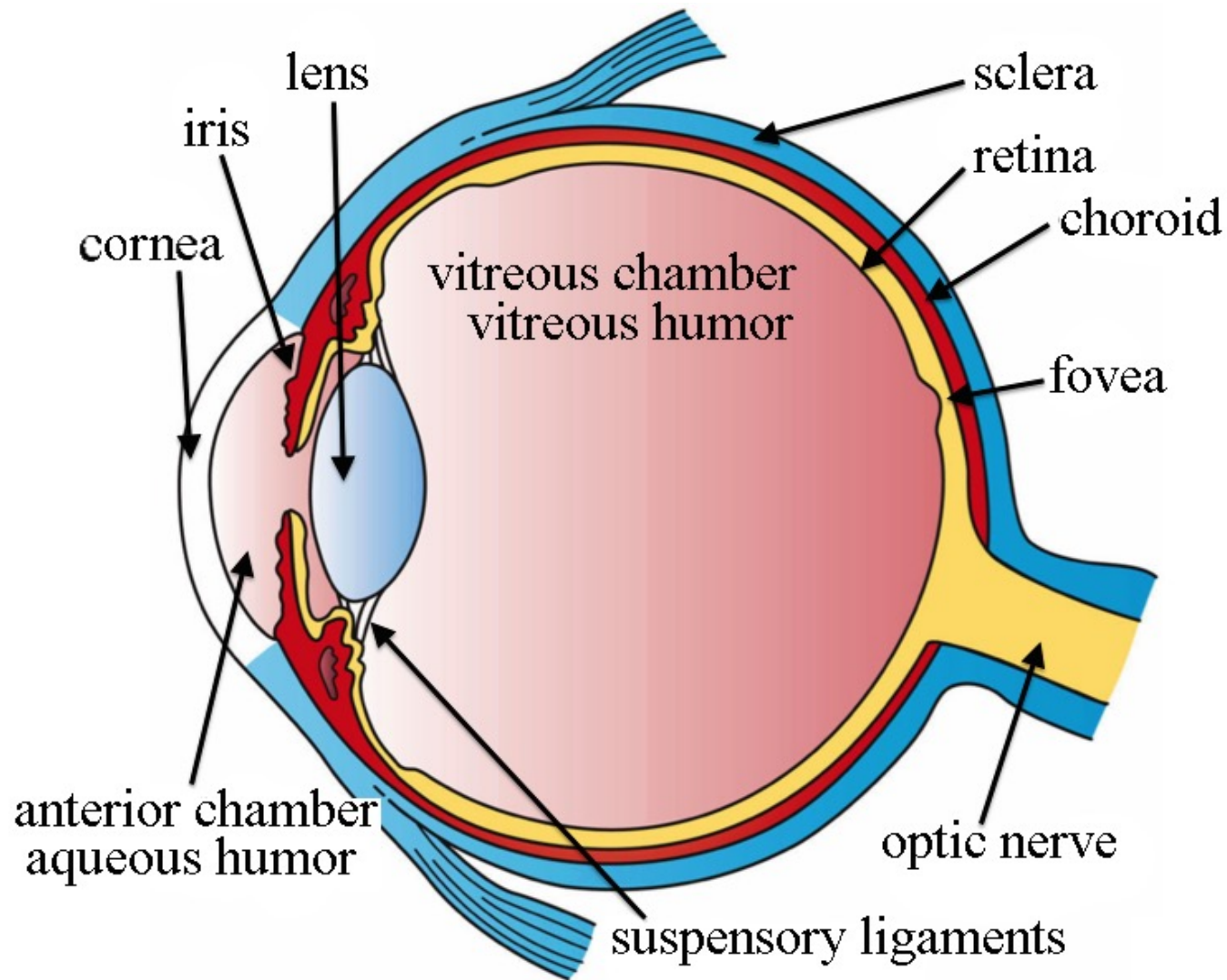


Credit: LAURIE
HATCH

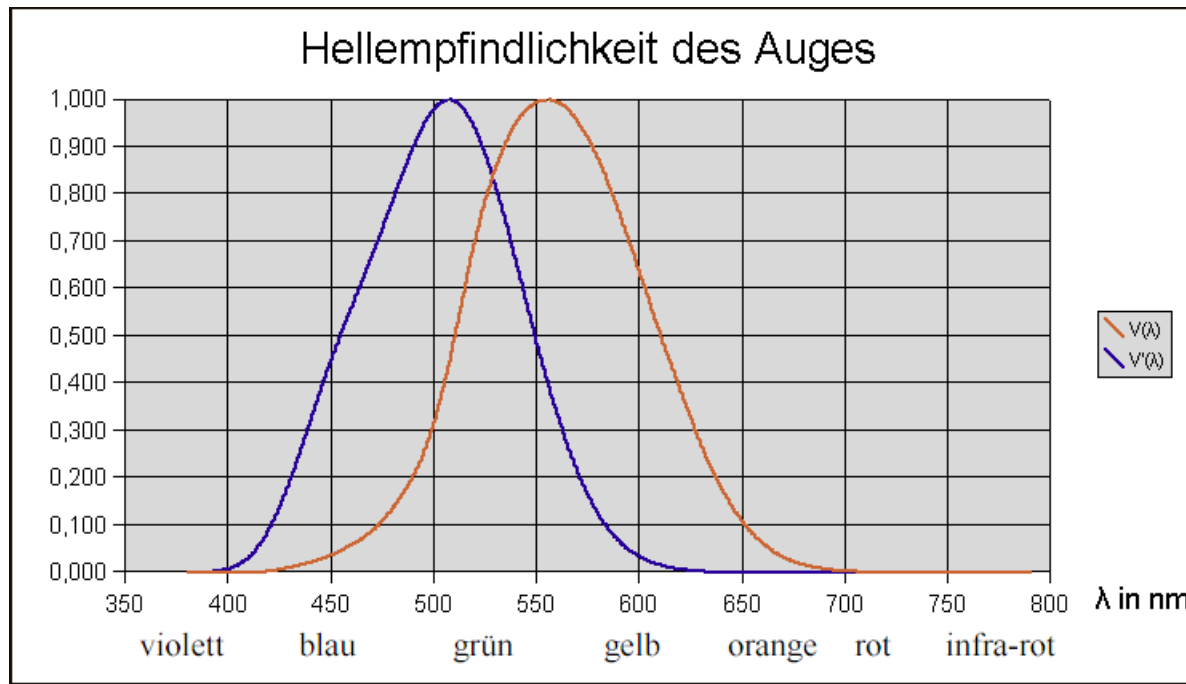


Magnituden der optischen Astronomie

Hipparch (190-120 v. Chr.)



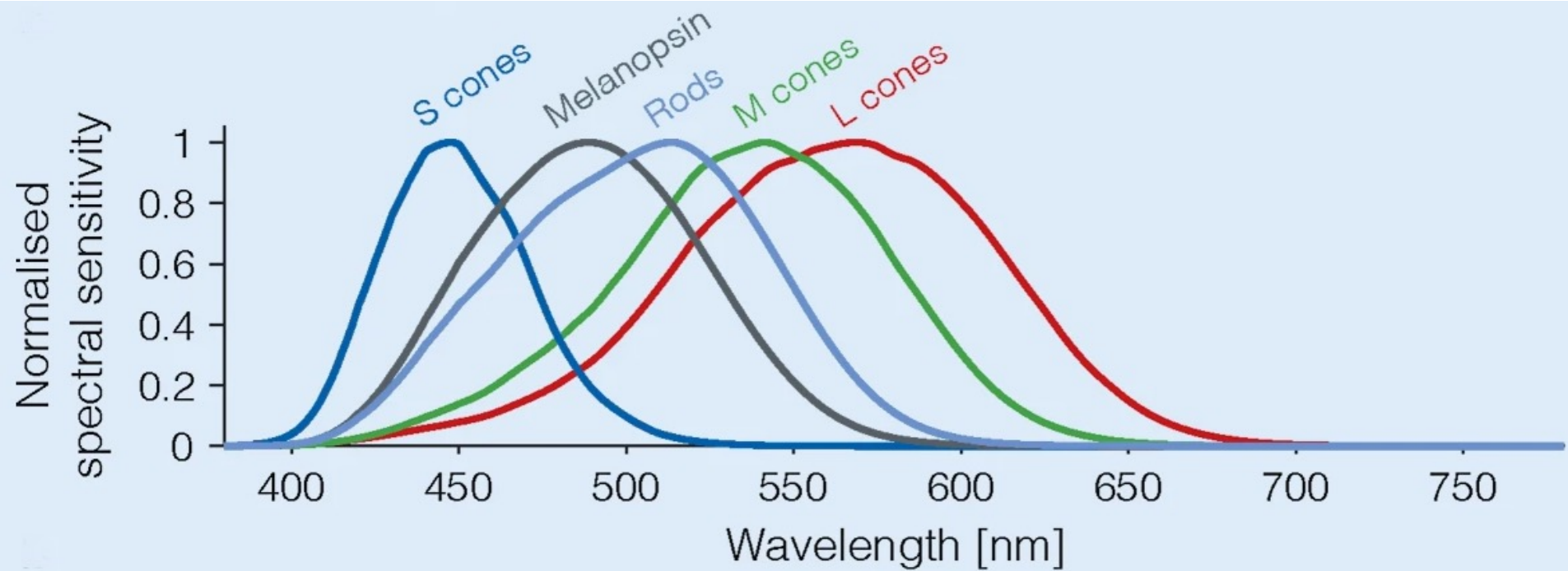
Auge als Beobachtungsinstrument



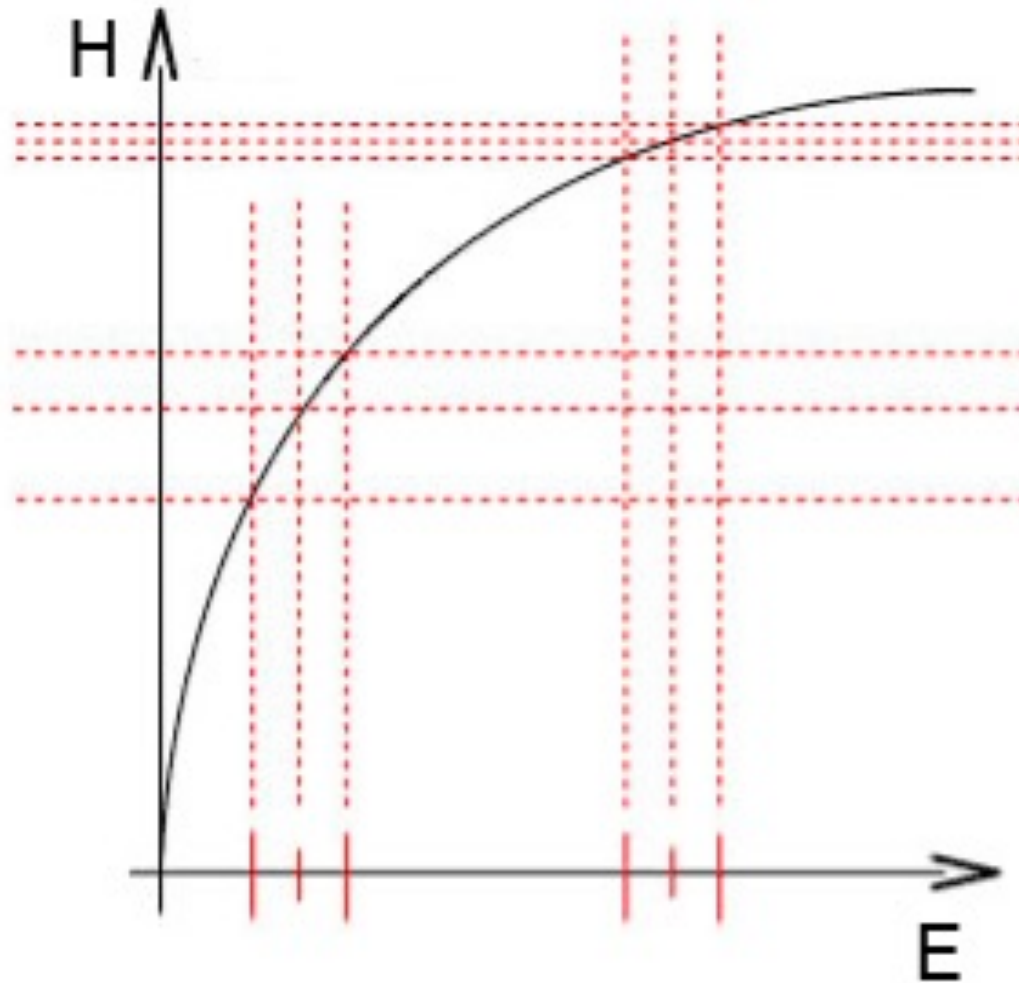
<http://de.wikipedia.org>

- Circa 6000 Sterne sind mit bloßem Auge sichtbar.
- Das Auge ist ein sehr empfindliches Organ, welches in einem Wellenlängenbereich von 380 nm bis 730 nm auf einfallende Strahlung mit Nervenimpulsen reagiert.
- Die Nerven des Auges bestehen aus Stäbchen (weiß) und Zapfen (Farbsehen).
- Links (Nachtsehen), rechts (Tagsehen)

Auge als Beobachtungsinstrument



Weber-Fechner Gesetz



Auge als Beobachtungsinstrument

- Gemäß dem Weber- Gesetz muss sich ein Reiz R um einen Betrag ΔR verändern um vom Menschen wahrgenommen zu werden. Im Fall des Auges ist eine Veränderung von 1% bis 2% ausreichend.
- Fechner erweiterte das Gesetz im dem Sinne, dass abhängig von der Art des Reizes α ausgehend von einem Schwellreiz R_0 die Empfindung sich logarithmisch verändert.

$$k = \frac{\Delta R}{R}$$

$$E = \alpha \cdot \ln \frac{R}{R_0}$$

Auge als Beobachtungsinstrument

- Im Vergleich zum Auge lässt sich die Empfindlichkeitszuwachs durch die Nutzung eines Teleskops beschreiben über:
- Dies bedeutet, dass mit einem Fernglas mit 20 mm Öffnung die 8te Größenklasse, mit einem 200 mm Teleskop die 13 mag und mit dem *Hubble-Space Telescope* (HST) die 19 Größenklasse sehen könnte. CCD-Detektoren sind weitaus empfindlicher und ermöglichen die Beobachtung der 31 mag mit dem HST.

$$m_{instr} = 6 \text{ mag} + 2 \cdot 2.5 \lg \left(\frac{D[\text{mm}]}{7 \text{ mm}} \right)$$
$$m_{instr} = 1.8 \text{ mag} + 5 \cdot \lg (D[\text{mm}])$$

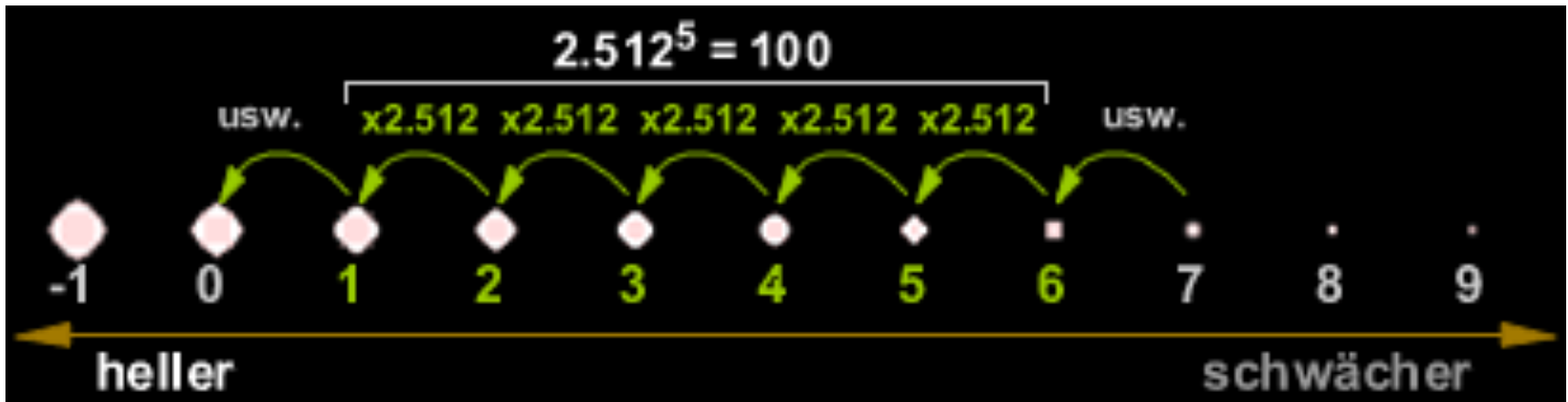


<http://de.wikipedia.org>

Auge als Beobachtungsinstrument

- Die Helligkeitsunterschied zwischen zwei Sternen der Größenklasse m_1 und m_2 beträgt demnach

$$m_1 - m_2 = -2.5 \cdot \lg \frac{F_1}{F_2}$$



<http://www.parallax.at>

Auge als Beobachtungsinstrument

- Zwischen der Helligkeit der Sonne und des Lichts des schwächsten mit dem Auge sichtbaren Sterns liegen 12 Größenordnungen!
- Gemäß dem Weber-Fechner Gesetz lässt sich der wahrnehmbare Helligkeitsunterschied zwischen zwei Lichtquellen beschreiben über:
- Die Maßeinheit ist die **Magnitude**
- Nutzen wir Flussdichten F z.B. Watt/m² dann folgt

$$\frac{m}{m+1} = 100^{\frac{1}{5}} = 2.5119$$

$$m = -2.512 \cdot \lg\left(\frac{F}{F_0}\right)$$

Auge als Beobachtungsinstrument

Sonne	-26.8 mag
Mond	-12.5 mag
Venus	-4.7 mag
Sirius	-1.4 mag
Wega	0.0 mag
Polarstern	2.0 mag
Pluto	14.0 mag