

# Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

(PFMF-V); 09410100

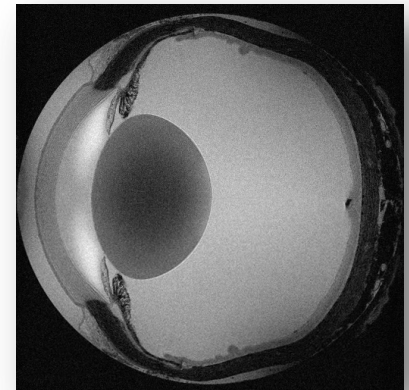
Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

## Atomphysik - Teil 1

Atommodell, Atomspektren, Röntgenstrahlung  
Kernphysik, Radioaktivität, Dosimetrie



Dr. Simon Moser  
Lehrstuhl für Exp. Physik IV,  
Universität Würzburg  
[simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de](mailto:simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de)



# Atomphysik in der Medizin: Ein Beispiel



Röntgenthoraxaufnahme



CT-Anlage

# Atomphysik



Die Atomphysik ist ein Teilgebiet der Physik, das die Struktur & Wechselwirkungen innerhalb von Atomen beschreibt

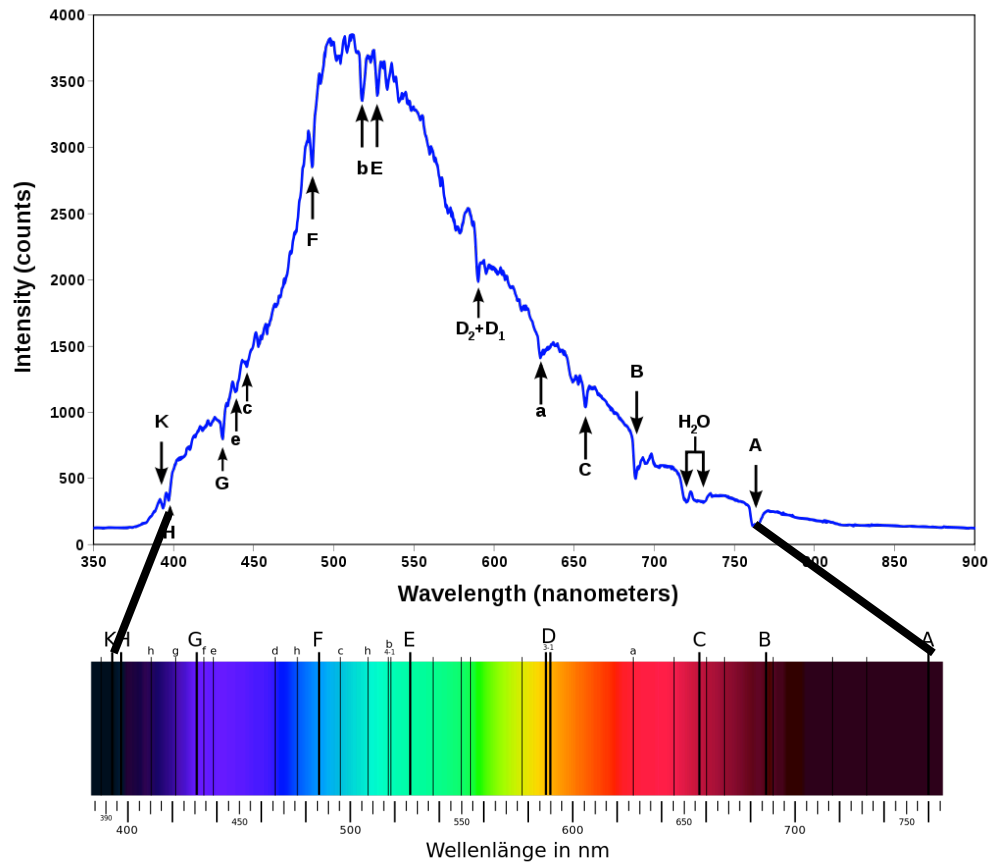
# Die Geschichte der Atomphysik



Werner Heisenberg (1901-1976)  
Quantentheorie und Philosophie:  
Vorlesungen und Aufsätze  
Herausgegeben von Jürgen Busche  
Stuttgart: Reclam, 1979 - 125 S.  
ISBN 9783150099483

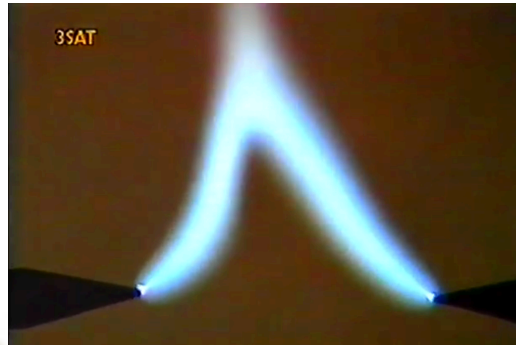
Preis: 4 Euro

# Das Sonnenspektrum

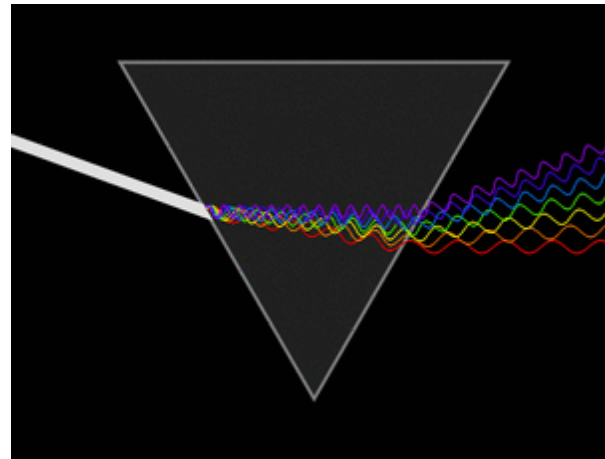


Ritter Joseph von Fraunhofer  
(1787 - 1826), Physiker

# Die Spektrallinien des Wasserstoffs



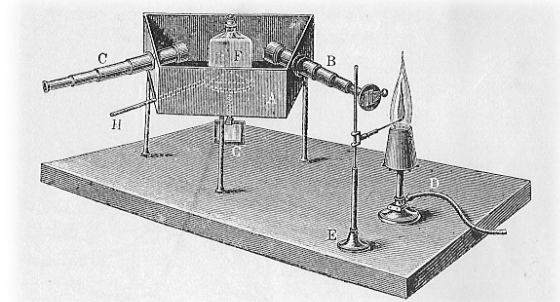
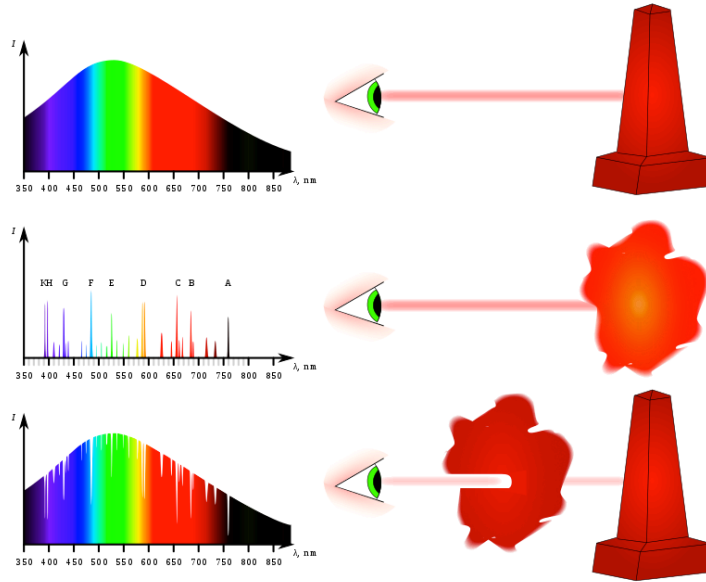
Anders Jonas Ångström  
(1814 - 1874)  
Astronom und Physiker



Johann Jakob Balmer  
(1825 - 1898)  
Mathematiker, Physiker

$$\lambda = B \left( \frac{n^2}{n^2 - m^2} \right) = B \left( \frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right)$$

# Der Beginn der Spektroskopie



Spektroskop

Gustav Kirchhoff (1811 – 1899)  
Robert Bunsen (1824 – 1887)



Gedenktafel in Heidelberg,  
Hauptstraße 52

Kirchhoffs drei Gesetze der Spektroskopie:

- 1) Ein festes, flüssiges oder dichtes Gas, das zur Emission von Licht angeregt wird, strahlt bei allen Wellenlängen und erzeugt so ein kontinuierliches Spektrum.
- 2) Ein Gas niedriger Dichte, das zur Emission von Licht angeregt wird, tut dies bei bestimmten Wellenlängen und dies erzeugt ein Emissionsspektrum.
- 3) Wenn Licht, das ein kontinuierliches Spektrum bildet, durch ein kühles Gas niedriger Dichte tritt, ist das Ergebnis ein Absorptionsspektrum.

# Entwicklung der Atomvorstellung

- ① Unserer heutige Kenntnis über Größe & innere Struktur von Atomen steht am Ende einer langen Entwicklung von Ideen & Vorstellungen (Spekulationen, exp. Hinweise, Irrtümer)
- ② Exp. & Theoretische Modelle (19. Jhd): Makroskopische Phänomene lässt sich auf die mikroskopische atomare Strukturen der Materie zurückführen
- ③ Selbst um 1900 herum gab es noch bekannte Chemiker & Physiker, die die reale Existenz von Atomen leugneten & die die Atomvorstellung lediglich als Arbeitshypothese akzeptierten
- ④ **Problem:** Die Objekte der Atomphysik sind nicht direkt sichtbar!!! (Theorie & Experiment Hand-in-Hand, iterativer Prozess)

# Was wir heute wissen:



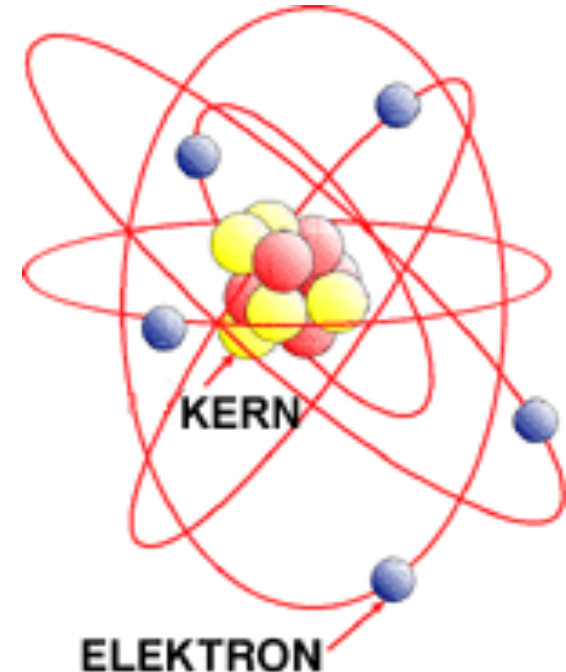
Demokrit  
460-370 vor Christus

- **Atom:** Planetensystem im kleinen
- **Atom** = kleinstes neutrales Teilchen eines bestimmten Stoffes
- *Griechisch:* Atom = unteilbar (Raum: „Das Volle, das Leere“)
- Klassisches Modell: Elektronen kreisen um den Kern
- **Radien der Atome:**

$$r_A \approx 10^{-10} m = 1 \overset{o}{\text{Å}} = 100 pm$$

- **Radien der Atomkerne:**

$$r_K \approx (6-7) \cdot 10^{-15} m = 6-7 fm$$

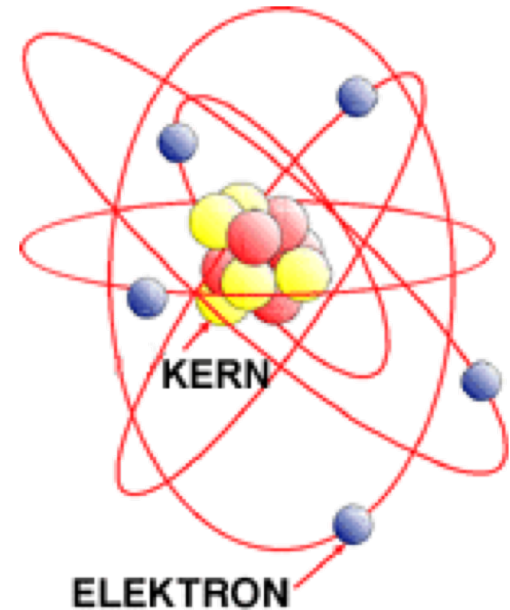


# Was wir heute wissen:

- Atome bestehen aus Protonen (+), Neutronen und Elektronen (-)

- Ladung des Protons = +e

- Ladung des Elektrons = -e



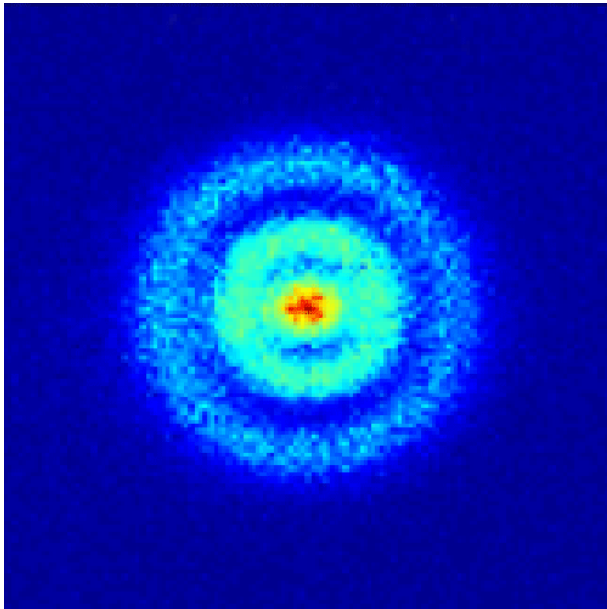
**e = Elementarladung,  
kleinste Ladungseinheit  
( $1,6022 \cdot 10^{-19}$  C)**

*Ladung Q tritt in der Natur immer als ganzzahliges  
Vielfaches der Elementarladung auf:*

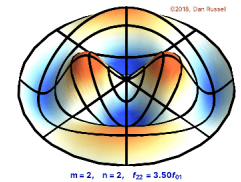
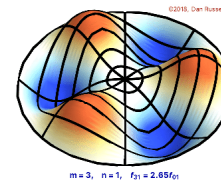
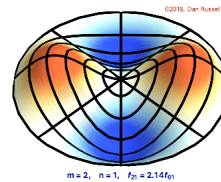
$$Q = \pm N e$$

***N = natürliche Zahl***

# Was wir heute wissen:



Stehenden Elektronenwellen  
im Atom

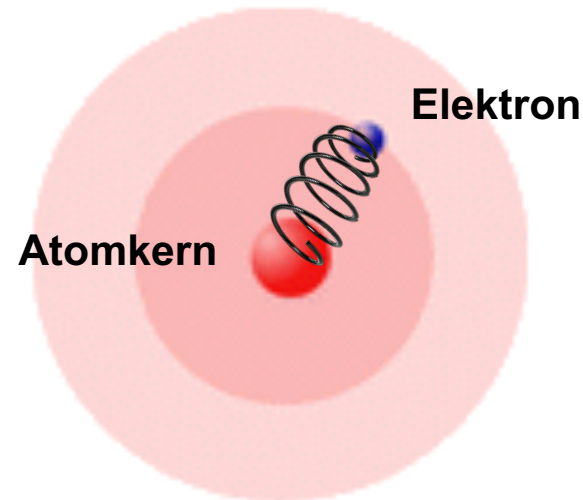


Stehenden Membranwellen

# AG: Grundlagen



- **Wasserstoffatom-Modell:** Niels Bohr (1913, 1922 Nobelpreis)
- **Bohrschen-Postulate** (Polizeiverordnung für Elektronen)

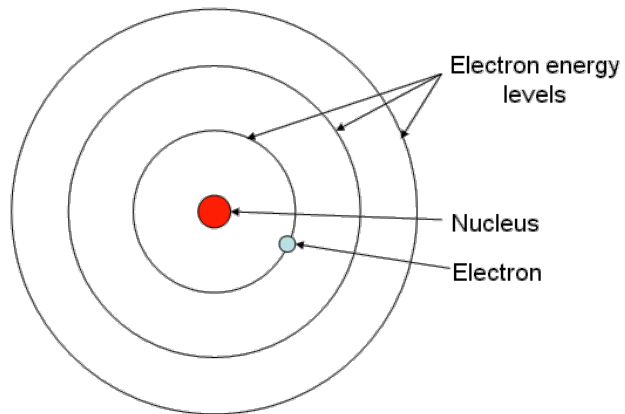


Elektronen kreisen, gehalten durch **Coulombkräfte**, um den Kern

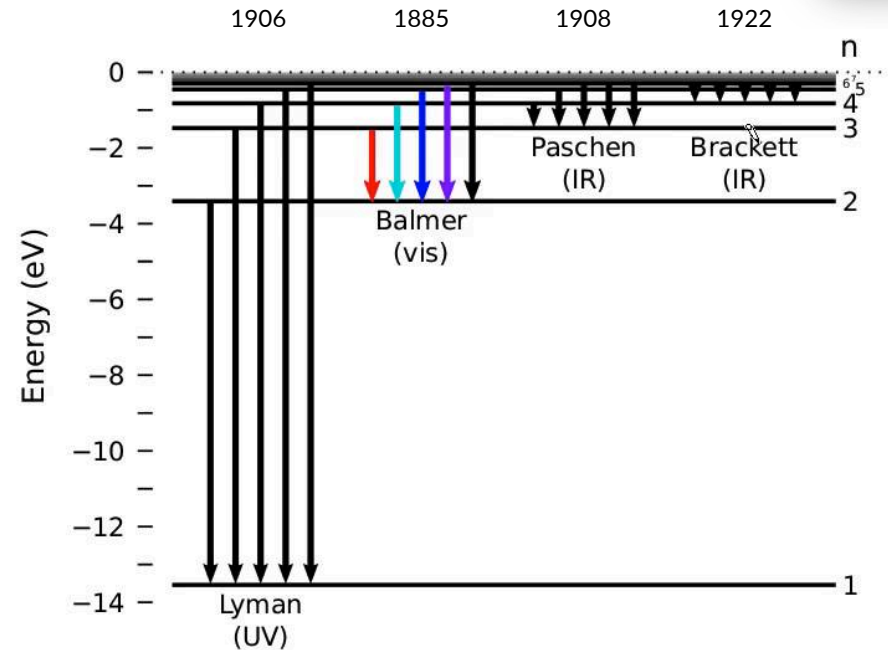
# AG: Grundlagen



Bohr Modell 1913:



$$E_n \approx \frac{-13.6Z^2}{n^2} \text{eV}$$



Rydberg 1888:  $\tilde{\nu} = R_{\infty} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$

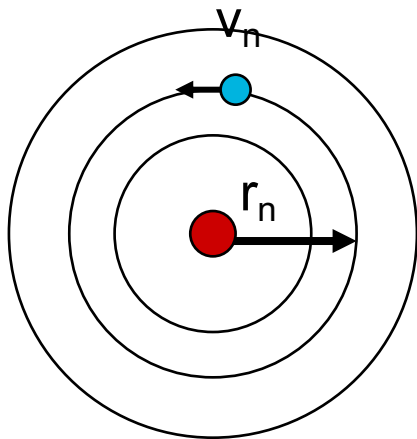
# AG: Grundlagen



- **Wasserstoffatom-Modell:** Niels Bohr (1913, 1922 Nobelpreis)
- **Problem:** Kreisende Elektronen strahlen Energie ab; Gebilde daher instabil

## 1. Bohr'sches Postulat:

Elektronen dürfen -anders als Planeten- nur auf bestimmten Bahnen kreisen, d.h. es sind nur bestimmte Quantenbahnen erlaubt



$$2\pi \cdot r_n \cdot m \cdot v_n = n \cdot h$$

$$m \cdot v_n \cdot r_n = n \cdot (h / 2\pi)$$

$r_n$  = erlaubter Bohrradius  
 $m$  = Masse Elektron  
 $v_n$  = Geschwindigkeit Elektron  
 $n = 1, 2, 3, \dots$ ; Quantenzahl  
 $h$  = Plancksches Wirkungsquantum  
( $6.626 \cdot 10^{-34}$  Js)

**Bahndrehimpuls  $m \cdot v \cdot r$  des Elektrons ist ein natürliches Vielfaches des durch  $2\pi$  dividierten Planckschen Wirkungsquantums**

# AG: Grundlagen

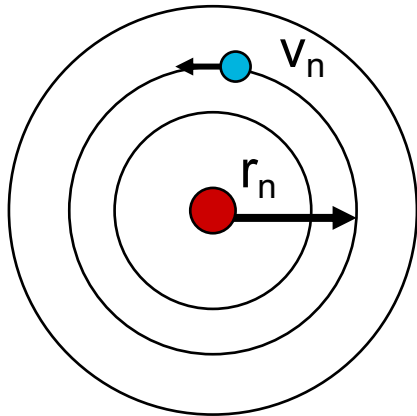


- **Wasserstoffatom-Modell:** Niels Bohr (1913, 1922 Nobelpreis)

- **Problem:** Kreisende Elektronen strahlen Energie ab; Gebilde daher instabil

## 2. Bohr'sches Postulat:

Elektronen dürfen auf diesen Kreisbahnen um den Kern nicht strahlen, d.h. sie verlieren auf diesen „stabilen“ Bahnen keine Energie durch Abstrahlung



# AG: Grundlagen

## Bahnradius im Wasserstoffatom

Radius der stabilen Elektronenbahnen steigt quadratisch mit der Quantenzahl  $n$

$$r_n = \frac{\varepsilon_0 \cdot h^2}{\pi \cdot e^2 \cdot m} \cdot n^2$$

Radius der ersten Quantenbahn ( $n=1$ ):

$$r_1 = 5.29 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 0.529 \text{ \AA}$$

## Elektronengeschwindigkeiten auf diesen Bahnen

$$v_n = \frac{e^2}{2 \cdot \varepsilon_0 \cdot h} \cdot \frac{1}{n}$$

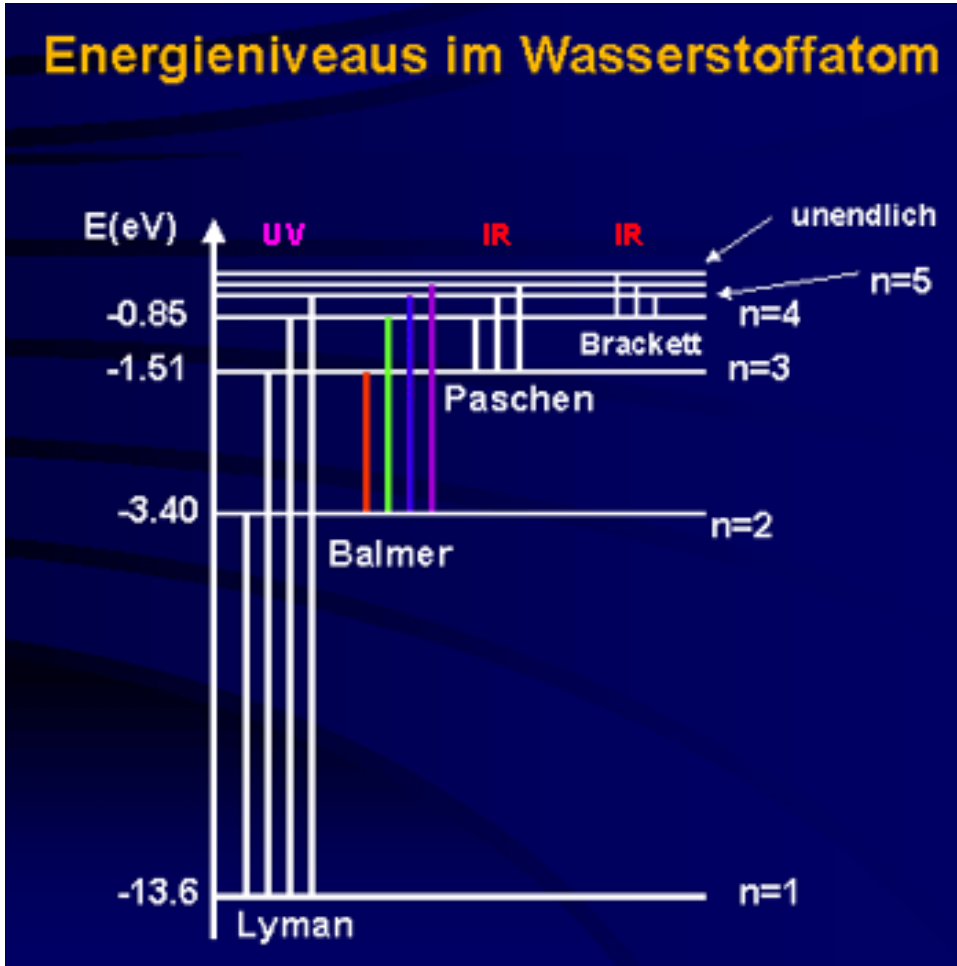
Geschwindigkeit auf der ersten Quantenbahn ( $n=1$ ):

$$v_1 = \frac{c}{137}$$

NB: Dielektrizitätskonstante  
 $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ as/Vs}$

# AG: Grundlagen

## Energieniveaus der erlaubten Quantenbahnen



$$E_n = -\frac{m \cdot e^4}{8 \cdot h^2 \cdot \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

Energie ist per Definition negativ, da ein Elektron, welches gebunden wird, Energie abgibt !

**Bezugspunkt:**

$$r = \infty; E_n = 0 \text{ für } n = \infty$$
$$n = 1; E_1 = -13.6eV$$

# AG: Grundlagen

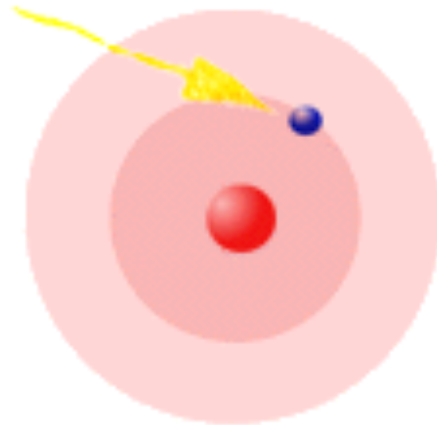


## 3. Bohr'sches Postulat:

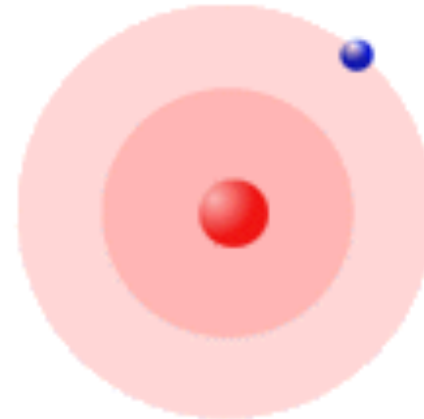
Beim Übergang eines Elektrons zwischen den erlaubten Quantenbahnen wird genau ein Photon (Lichtteilchen) emittiert, dessen Energie gerade der Energiedifferenz der beiden Quantenbahnen entspricht:

$$\Delta E_{n \rightarrow m} = E_n - E_m = E_{\text{Photon}} = h \cdot \nu$$

Licht



Angeregtes Elektron



# AG: Grundlagen



## Energieübergänge zwischen erlaubten Quantenbahnen

$$\Delta E_{n \rightarrow m} = E_n - E_m = \frac{m \cdot e^4}{8 \cdot \epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

## Frequenz des Strahlungsübergangs $\nu$ & Rydbergkonstante $R$ :

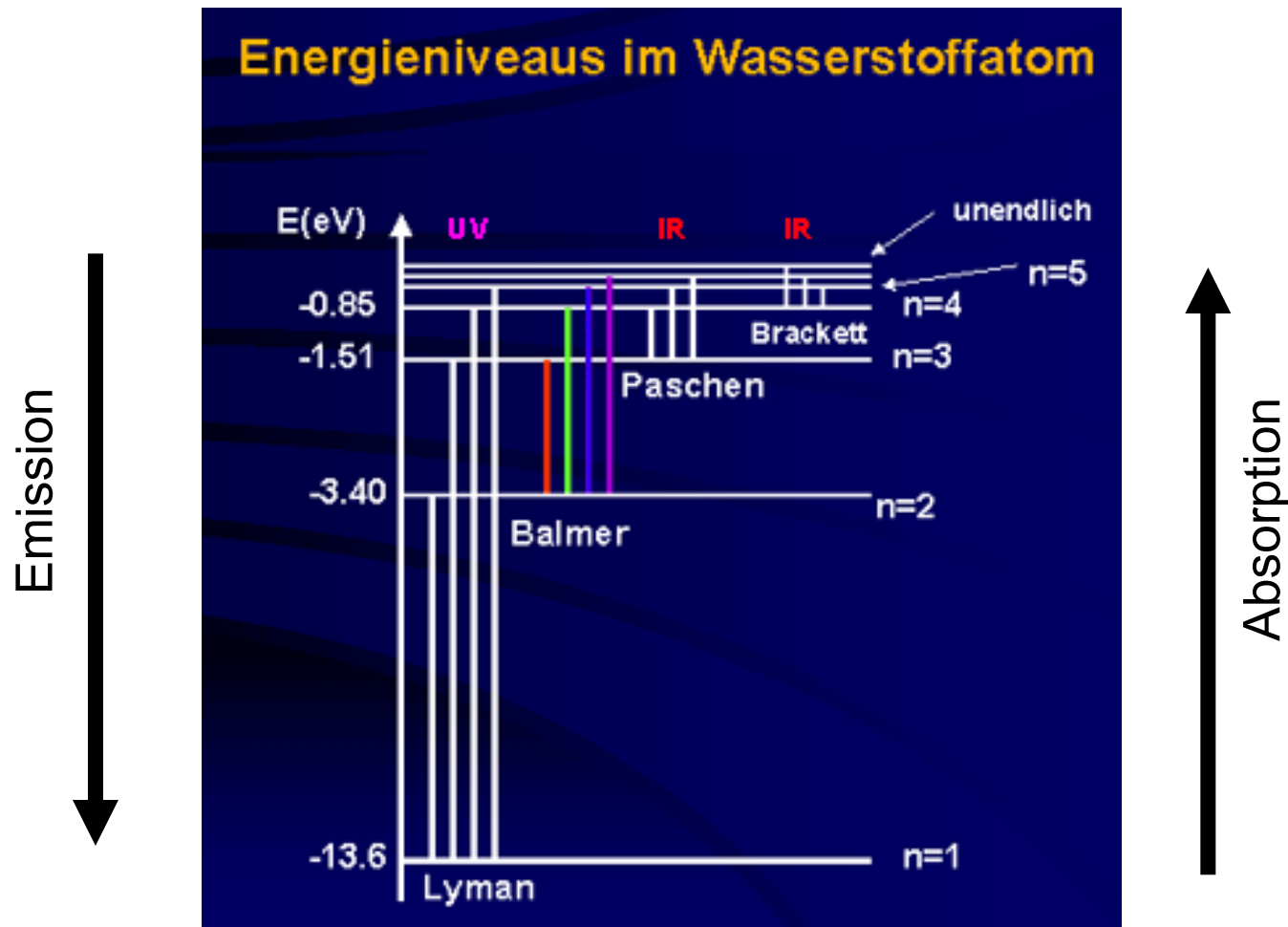
$$\nu = R \cdot c \cdot \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

mit  $R = \frac{m \cdot e^4}{8 \cdot \epsilon_0^2 \cdot h^3} \cdot \frac{1}{c}$

Zahlenwert für  $R = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

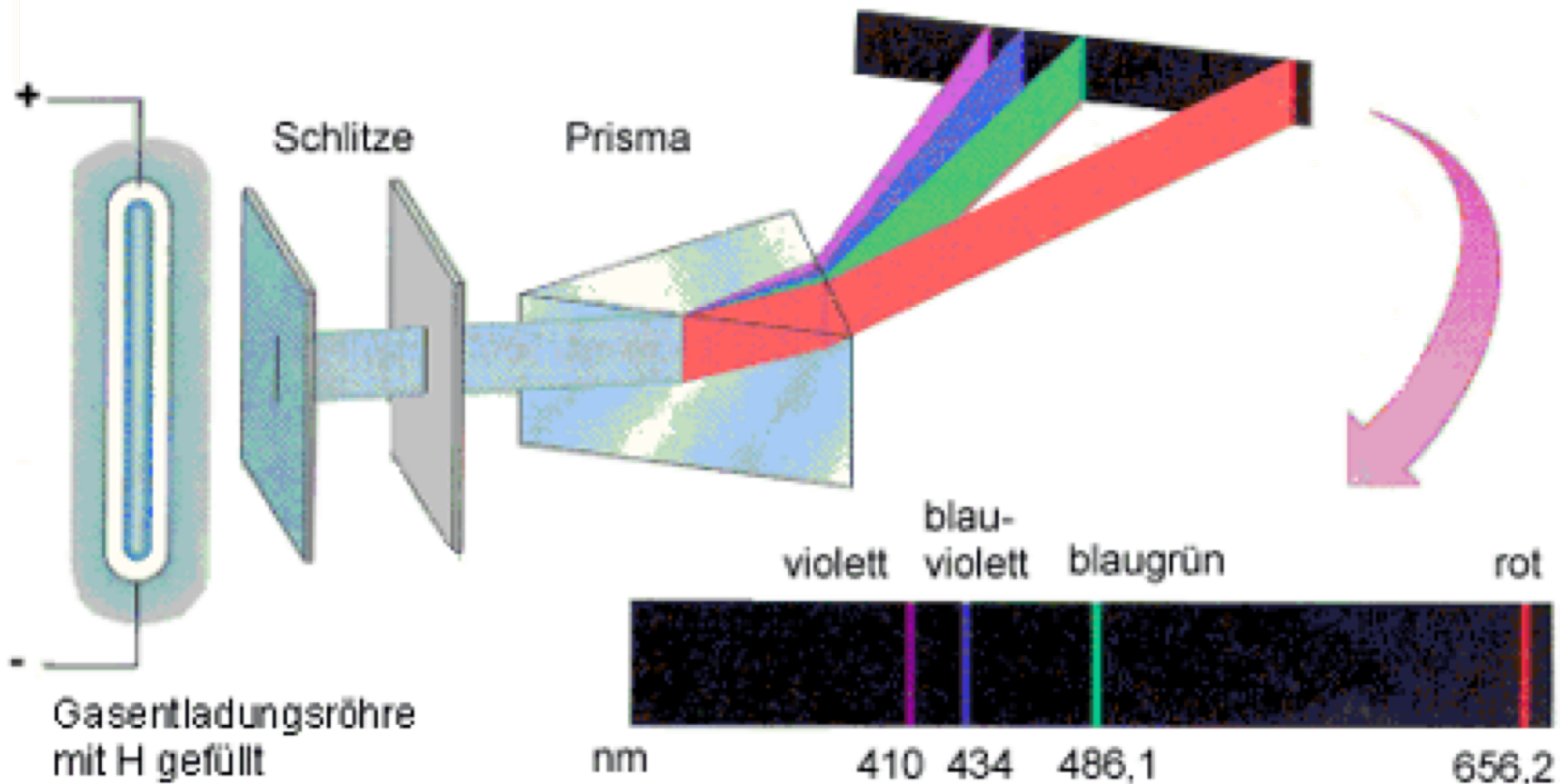
# AG: Grundlagen

Zusammenhang zwischen Lichtabsorption/Emission



# AG: Prismenspektralapparat

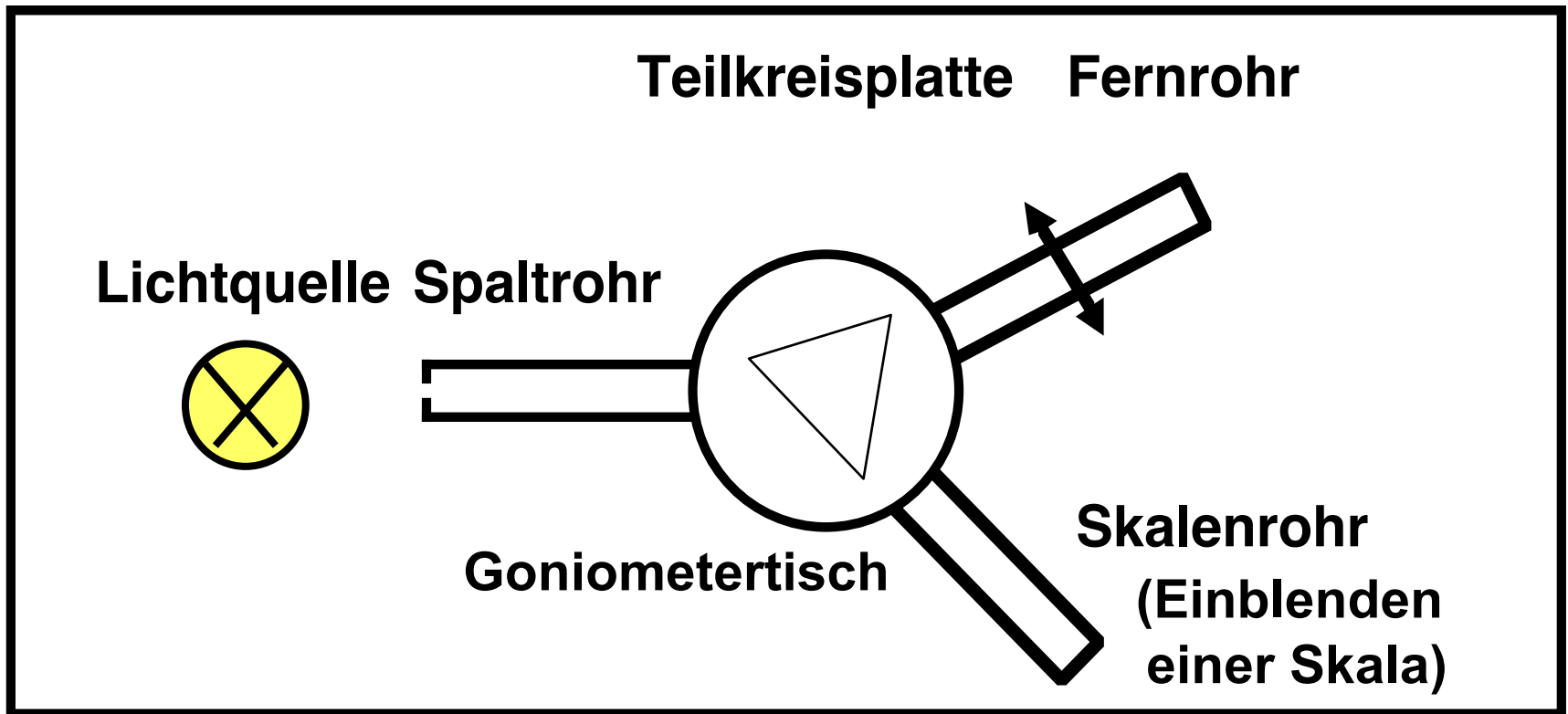
## Erzeugung des Wasserstoffspektrums



**Frage:**

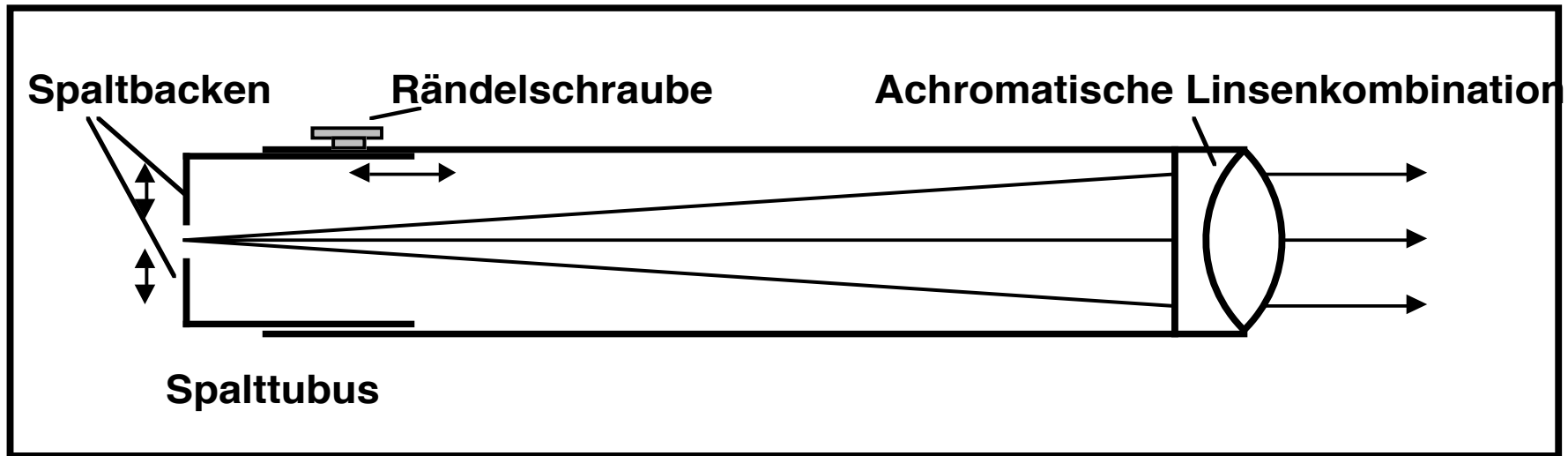
Zusammenhang: Farbe mit Winkelablenkung???

# AG: Prismenspektralapparat



# AG: Prismenspektralapparat

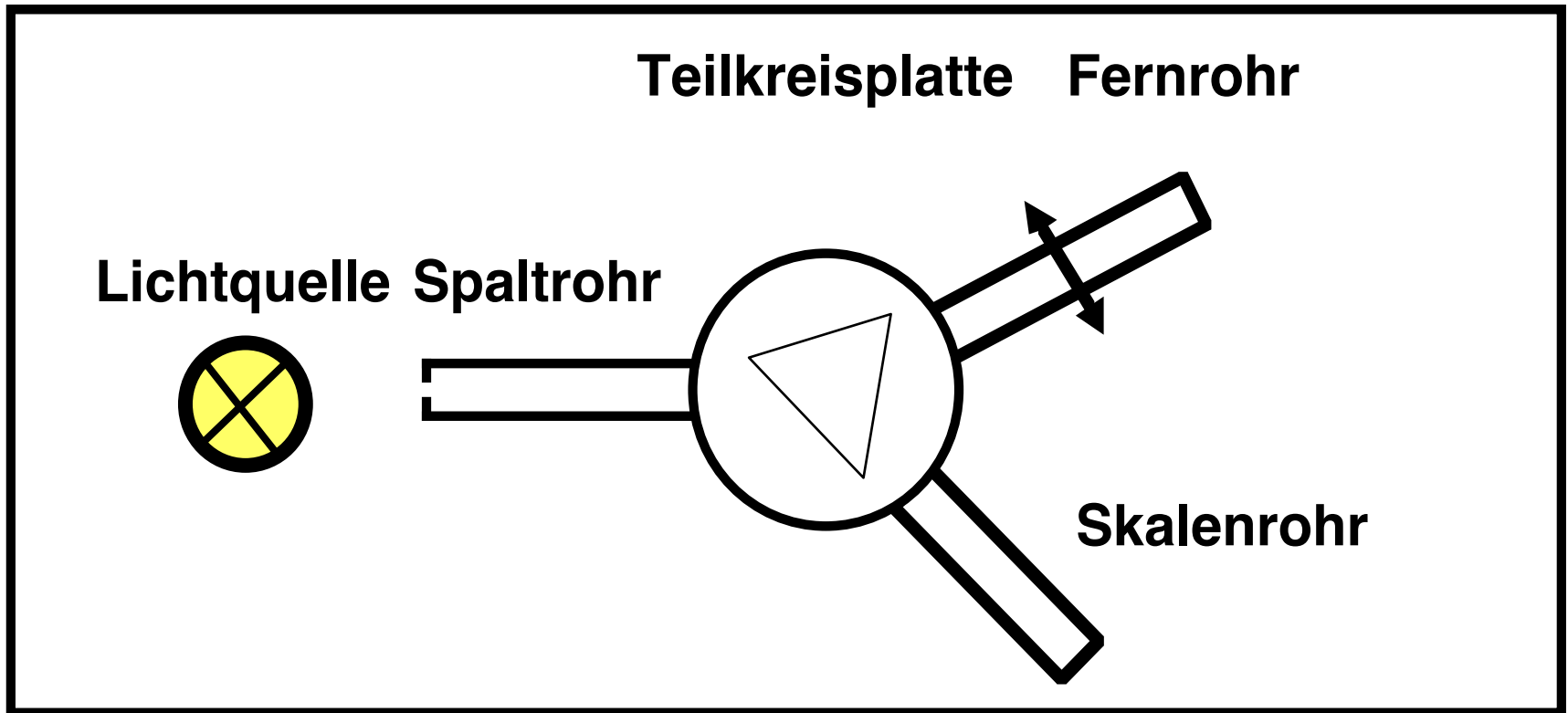
## Spaltrohr/Kollimatorrohr des Spektrometers



### Funktion:

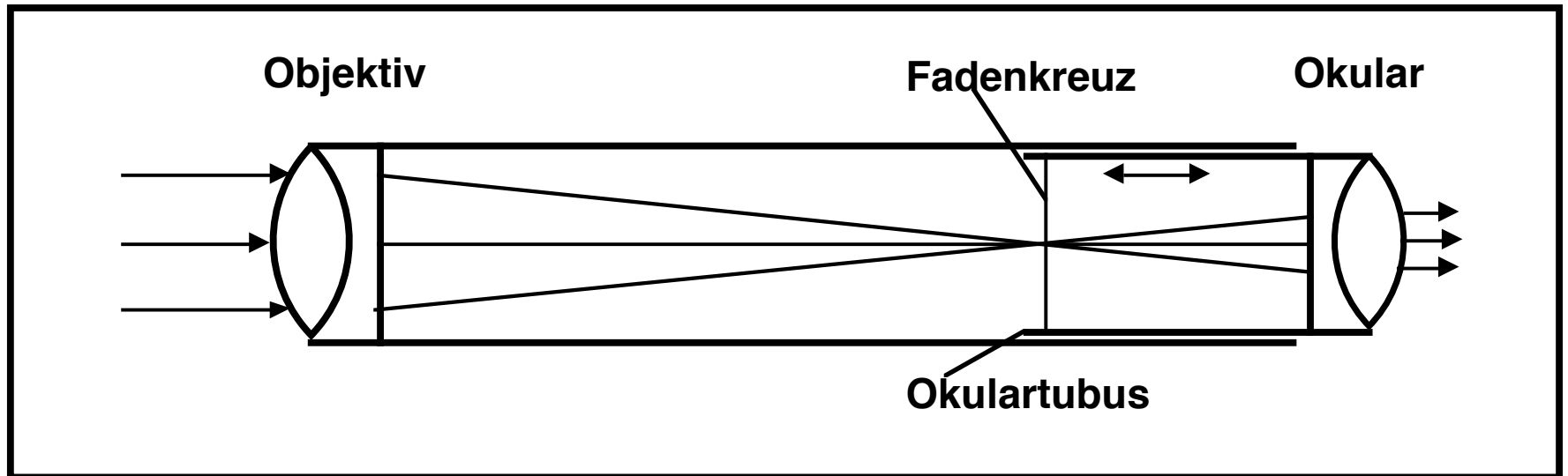
- 1) Spalt ist in dem objektseitigen Brennpunkt der Linsenkombination aufgestellt
- 2) Erzeugung von Parallelstrahlen

# AG: Prismenspektralapparat



# AG: Prismenspektralapparat

## Fernrohr des Spektrometers



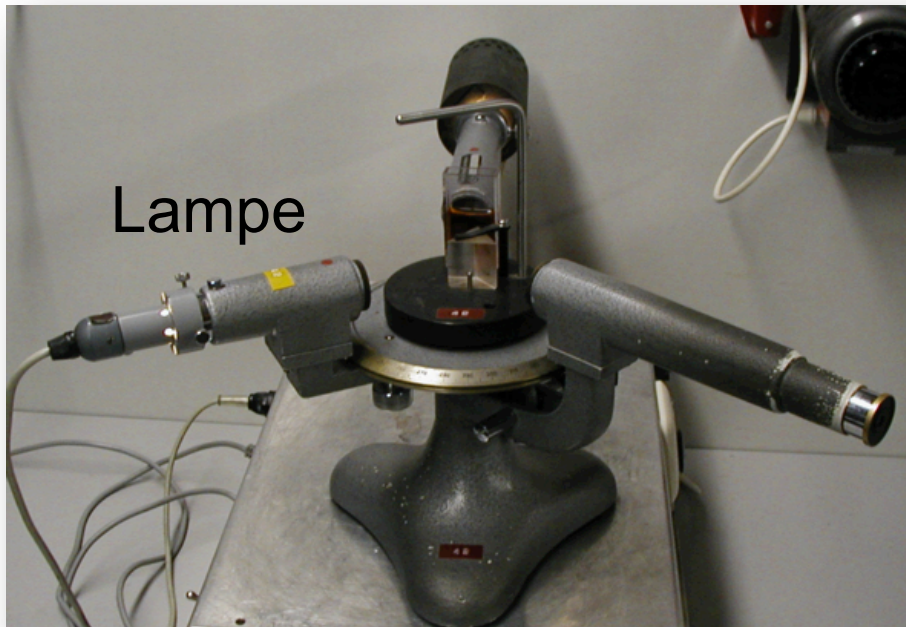
### Funktion:

- 1) Stellt über Objektiv & Okular (& Auge) das gebrochene Licht dar

# AG: Beobachtung eines Absorptionsspektrums

## Prismenspektralapparat:

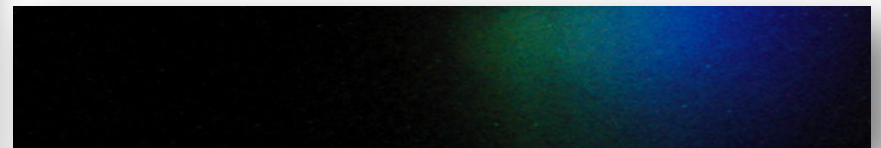
Bestimmung der Dispersionskurve eines Prismas mit dem weißem Licht einer LED-Lampe (Zusammenhang Wellenlänge Ablenkwinkel) (Kalibrierung z.B. mit der bekannten Wellenlänge von Cd-Hg, siehe Gitterspektralapparat)



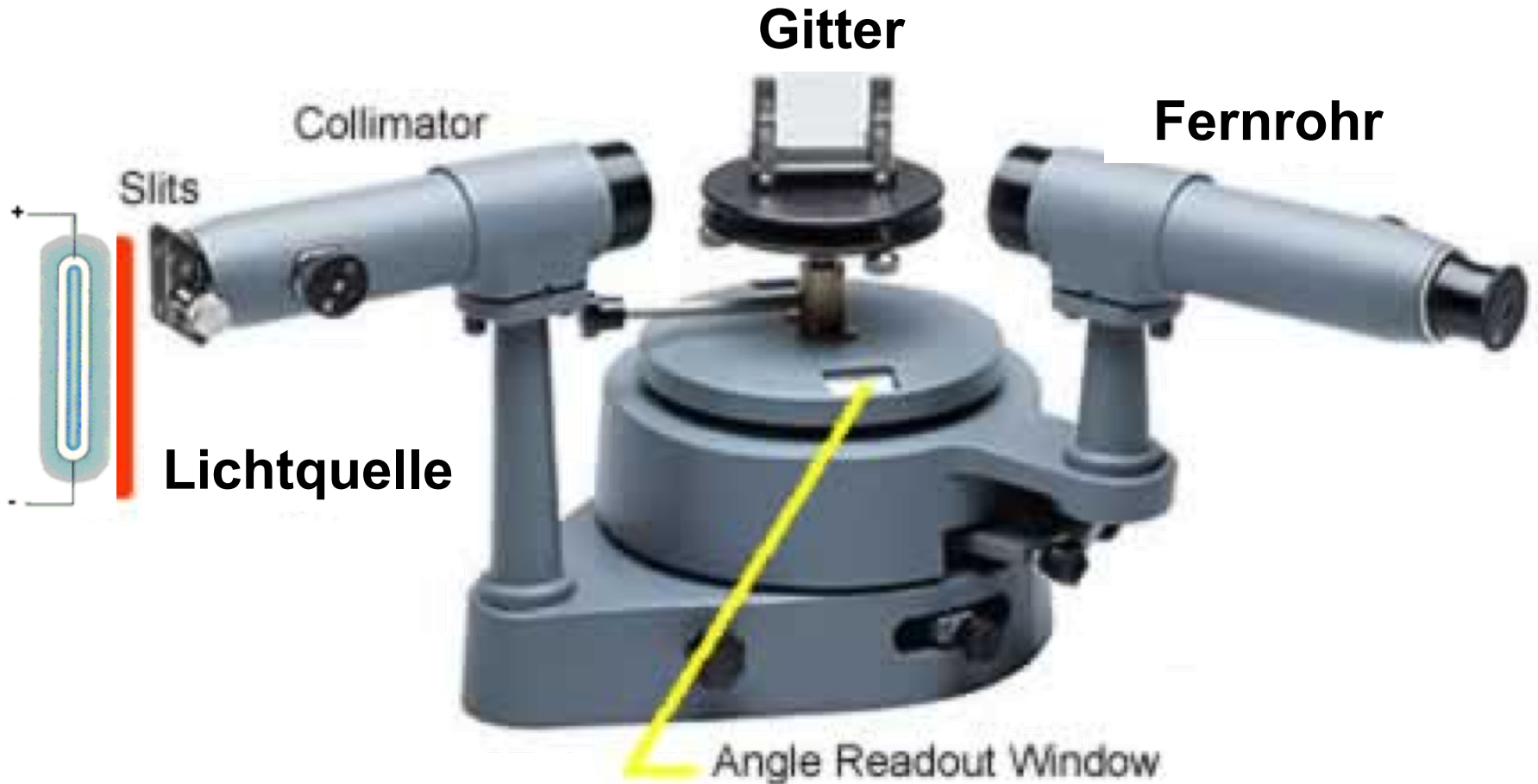
## Ohne Absorber



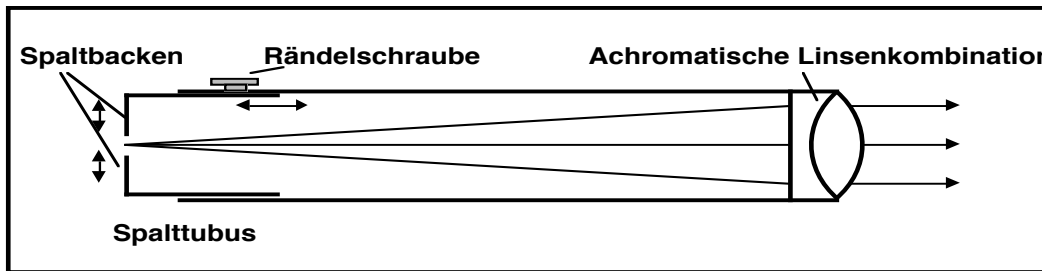
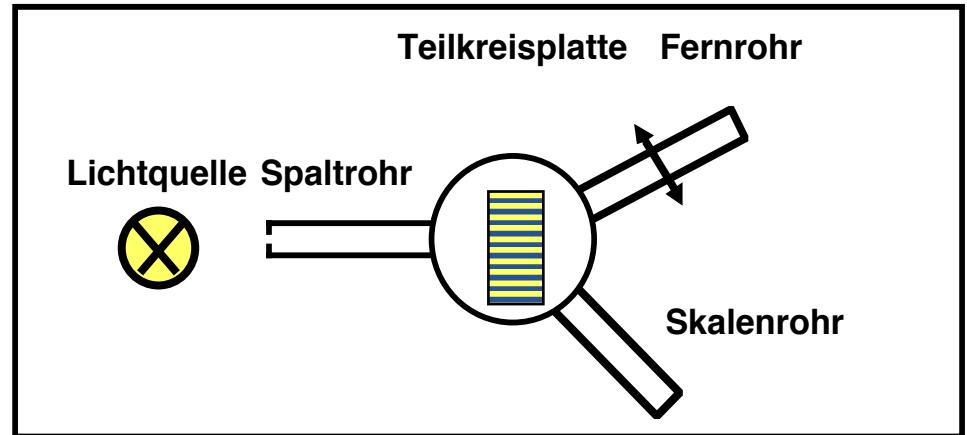
## mit Farbstofflösung (hier: Methylenblau)



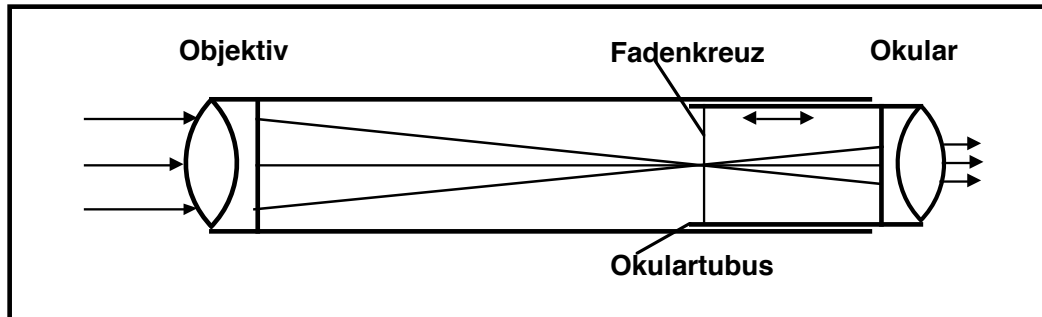
# AG: Gitterspektralapparat



# AG: Gitterspektralapparat



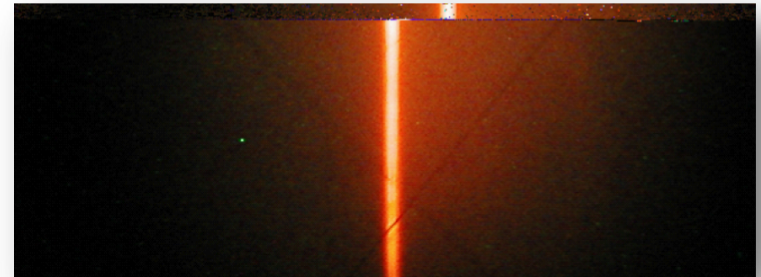
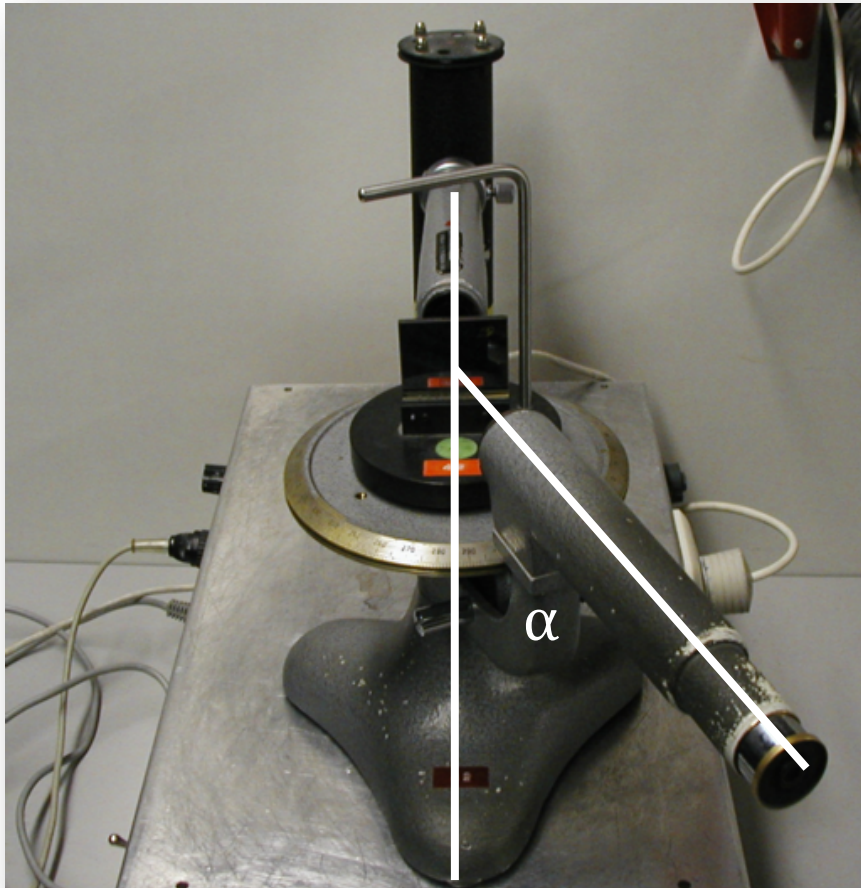
**Spaltrohr des  
Spektrometers**



**Fernrohr des  
Spektrometers**

# O2: Optische Spektroskopie

Bestimmung der Wellenlänge  $\lambda$  der gelben Na-Linie  
mit einer bekannten Gitterkonstante



- Winkel  $\alpha_n$  für mehrere Interferenzordnungen  $m$  messen (links und rechts)
- Gitterkonstante  $g$  ( $10 \mu\text{m}$ ) bekannt
- Wellenlänge  $\lambda$  berechnen

**Bedingung für Maxima:**

$$m \cdot \lambda = g \cdot \sin \alpha$$

# O2: Optische Spektroskopie

Bestimmung der Wellenlängen  $\lambda$  der Cd-Hg-Linien mit einer bekannten Gitterkonstante



- Winkel  $\alpha_i$  für die erste Interferenzordnung von verschiedenen Linien messen (links und rechts)
- Wellenlänge  $\lambda_i$  berechnen

**Bedingung für Maxima:**

$$m \cdot \lambda = g \cdot \sin \alpha$$