

Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

(PFMF-V); 09410100

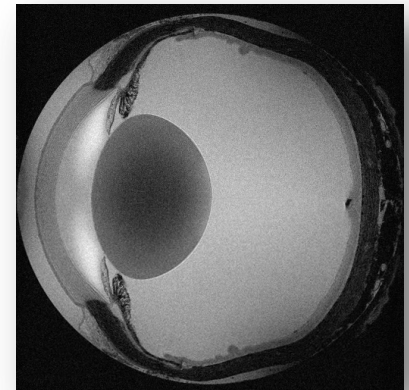
Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

Atomphysik - Teil 2

Atommodell, Atomspektren, Röntgenstrahlung
Kernphysik, Radioaktivität, Dosimetrie



Dr. Simon Moser
Lehrstuhl für Exp. Physik IV,
Universität Würzburg
simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de



Wdh.: Bohrmodell



1. Bohr'sches Postulat:

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

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

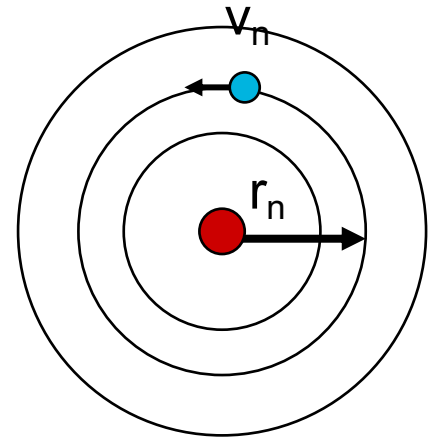
2. Bohr'sches Postulat:

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

3. Bohr'sches Postulat:

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

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



AG: Grundlagen

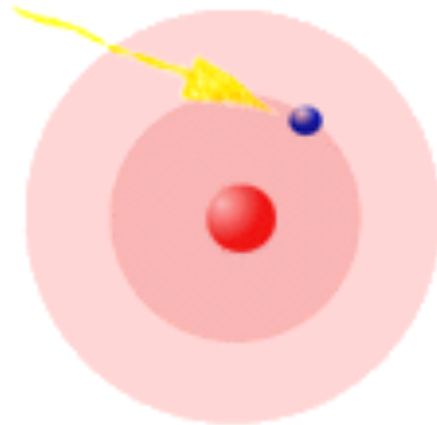


3. Bohr'sches Postulat:

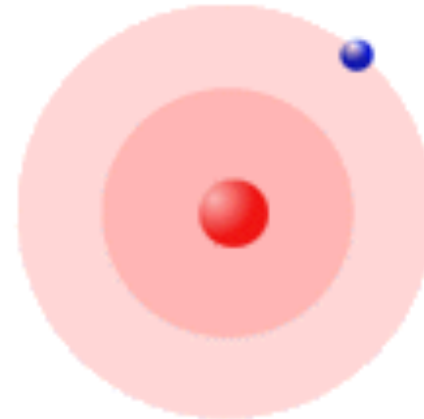
Beim Übergang eines Elektrons zwischen den erlaubten Quantenbahnen wird genau ein Photon (Lichtteilchen) emittiert, dessen Energie gerade der Energiedifferenz der beiden Quantenbahnen entspricht:

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

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 ν & Rydbergkonstante R :

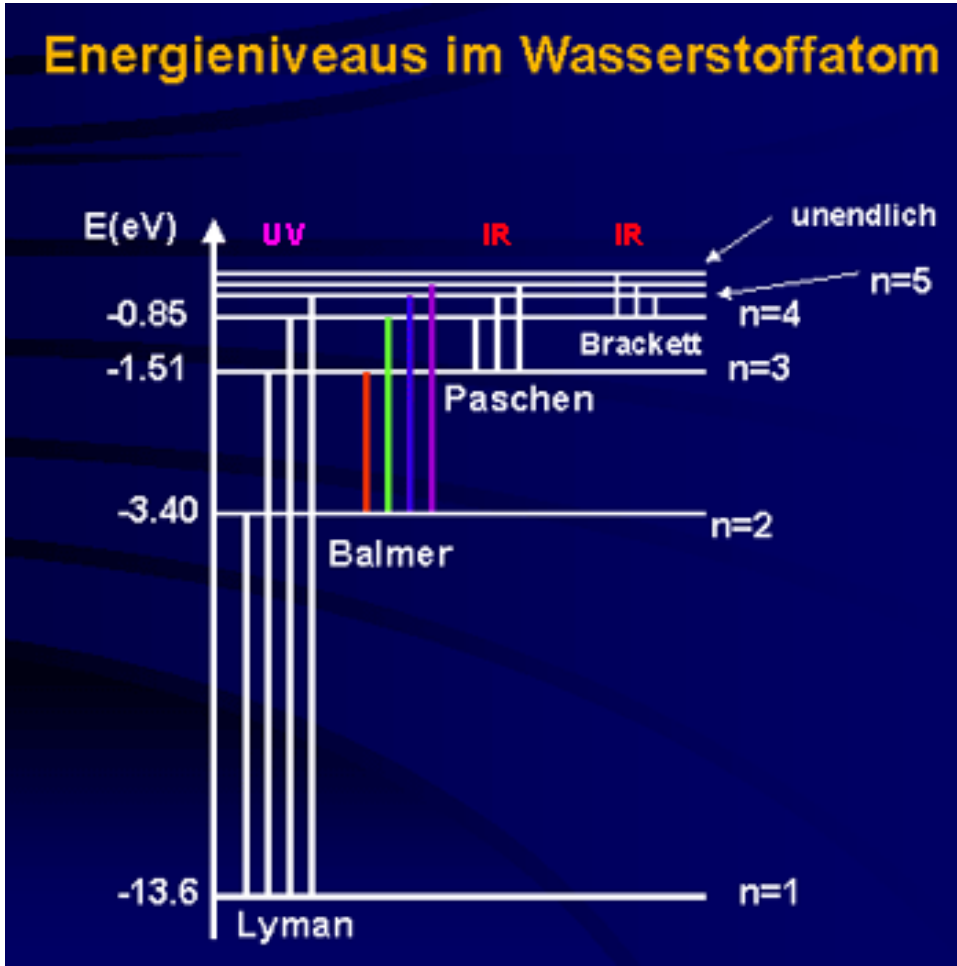
$$\nu = R \cdot c \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

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

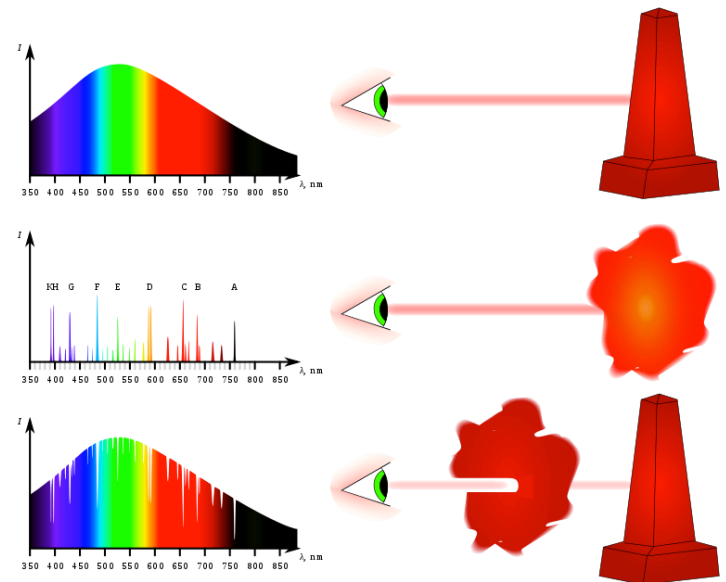
Zahlenwert für $R = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

Wdh. Spektrallinien

Energieniveaus der erlaubten Quantenbahnen

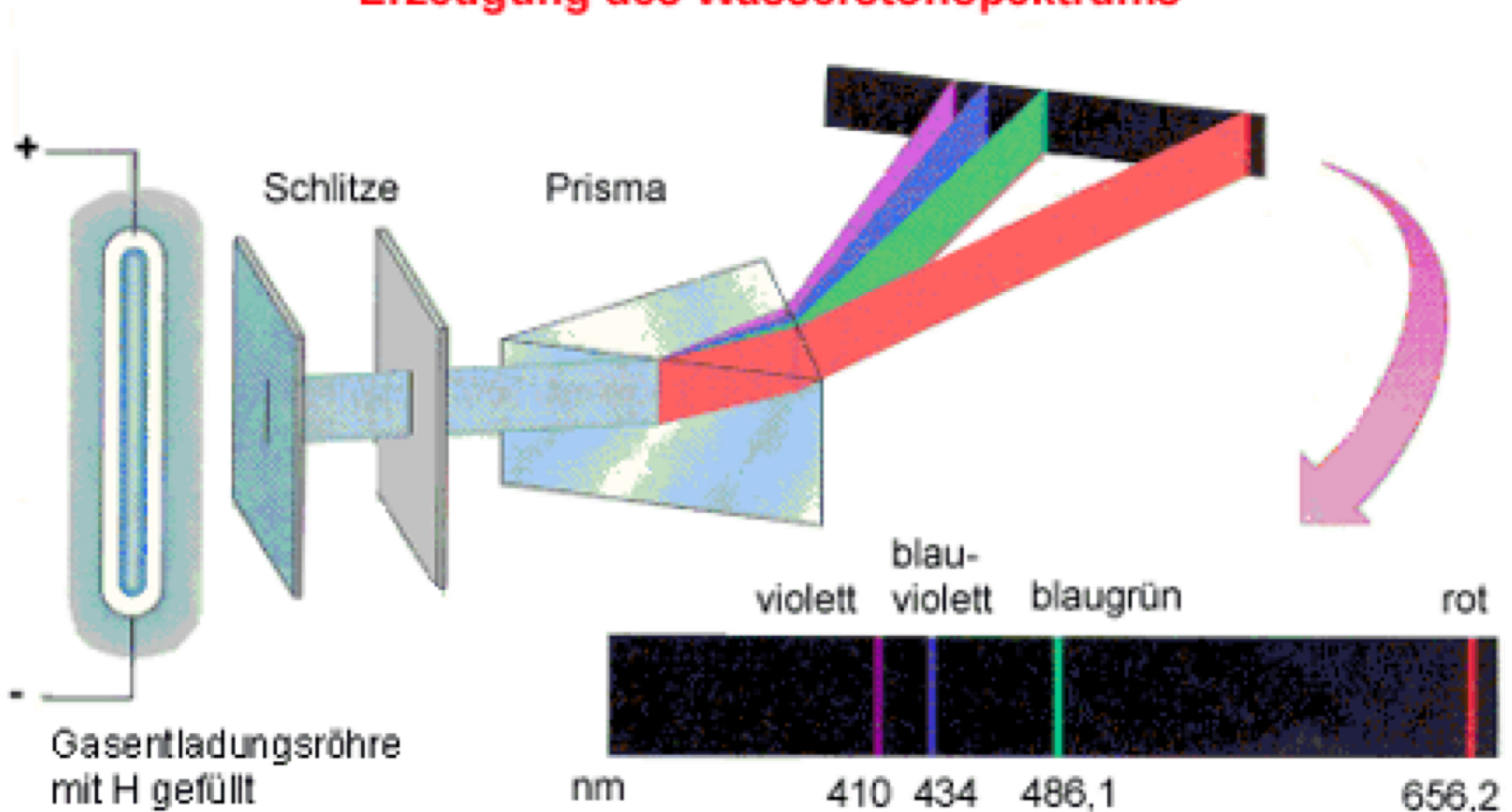


$$E_n = - \frac{m \cdot e^4}{8 \cdot h^2 \cdot \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$



AG: Prismenspektralapparat

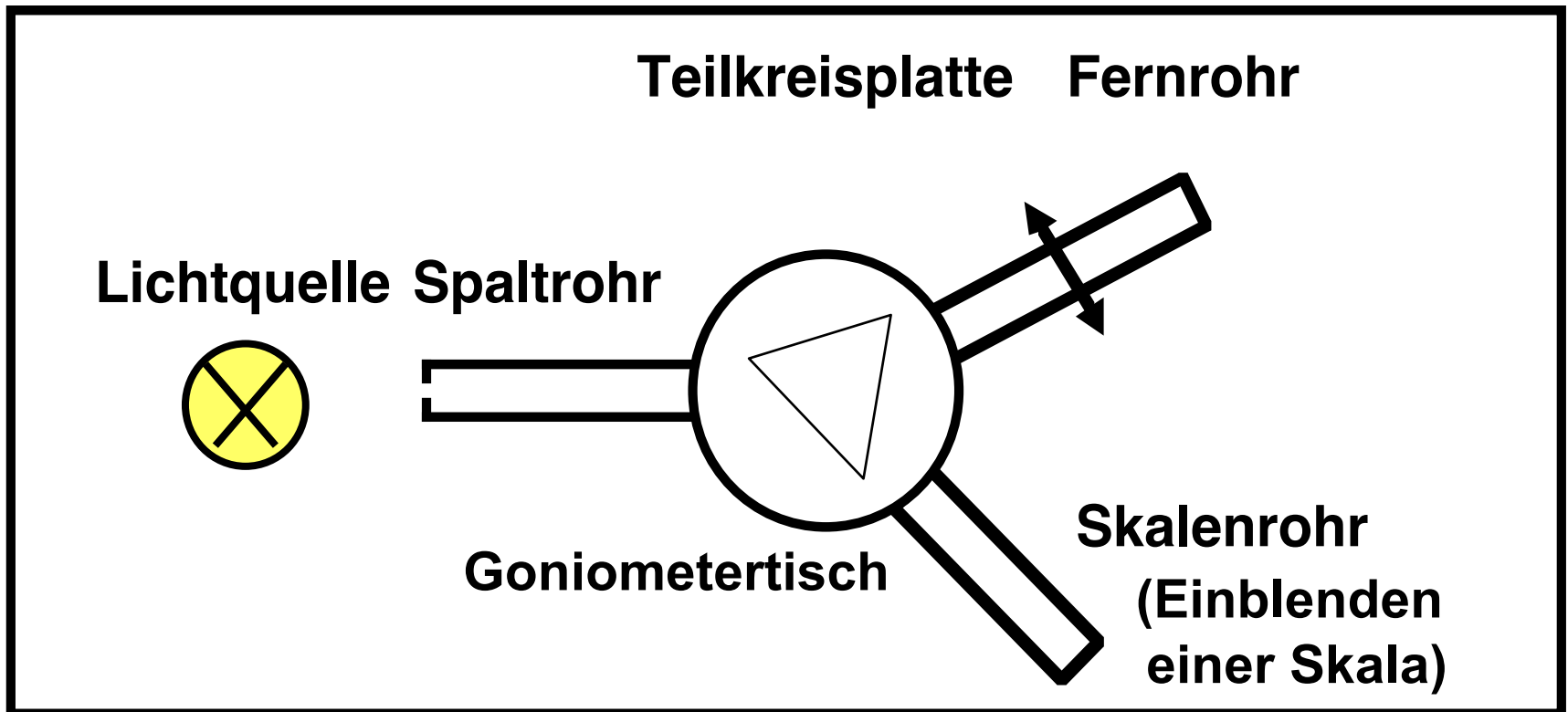
Erzeugung des Wasserstoffspektrums



Frage:

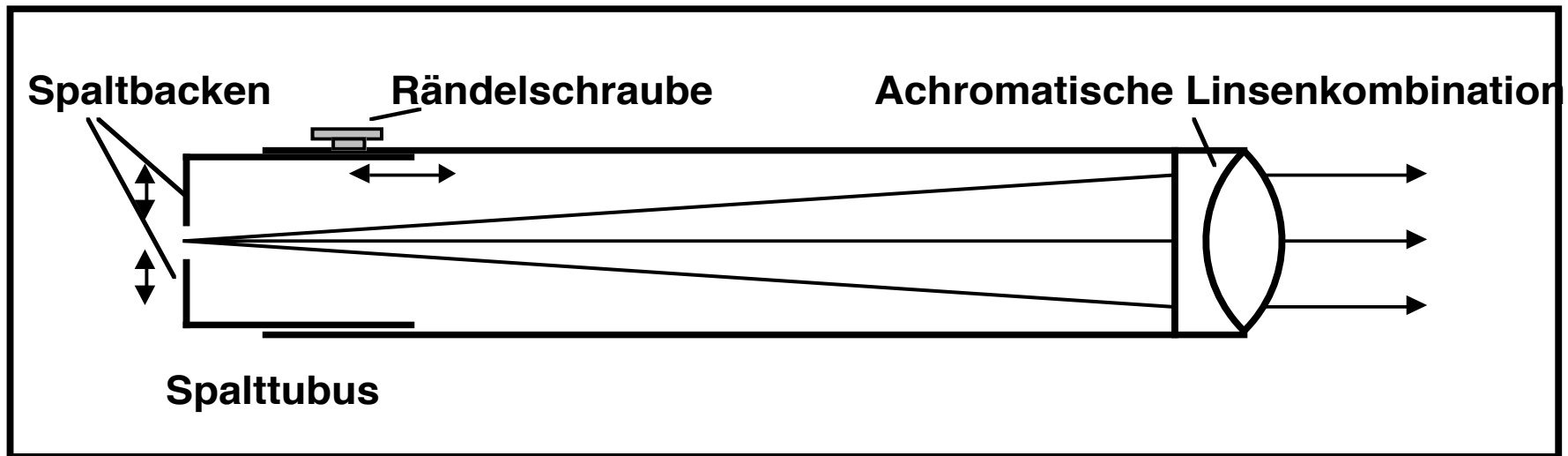
Zusammenhang: Farbe mit Winkelablenkung???

AG: Prismenspektralapparat



AG: Prismenspektralapparat

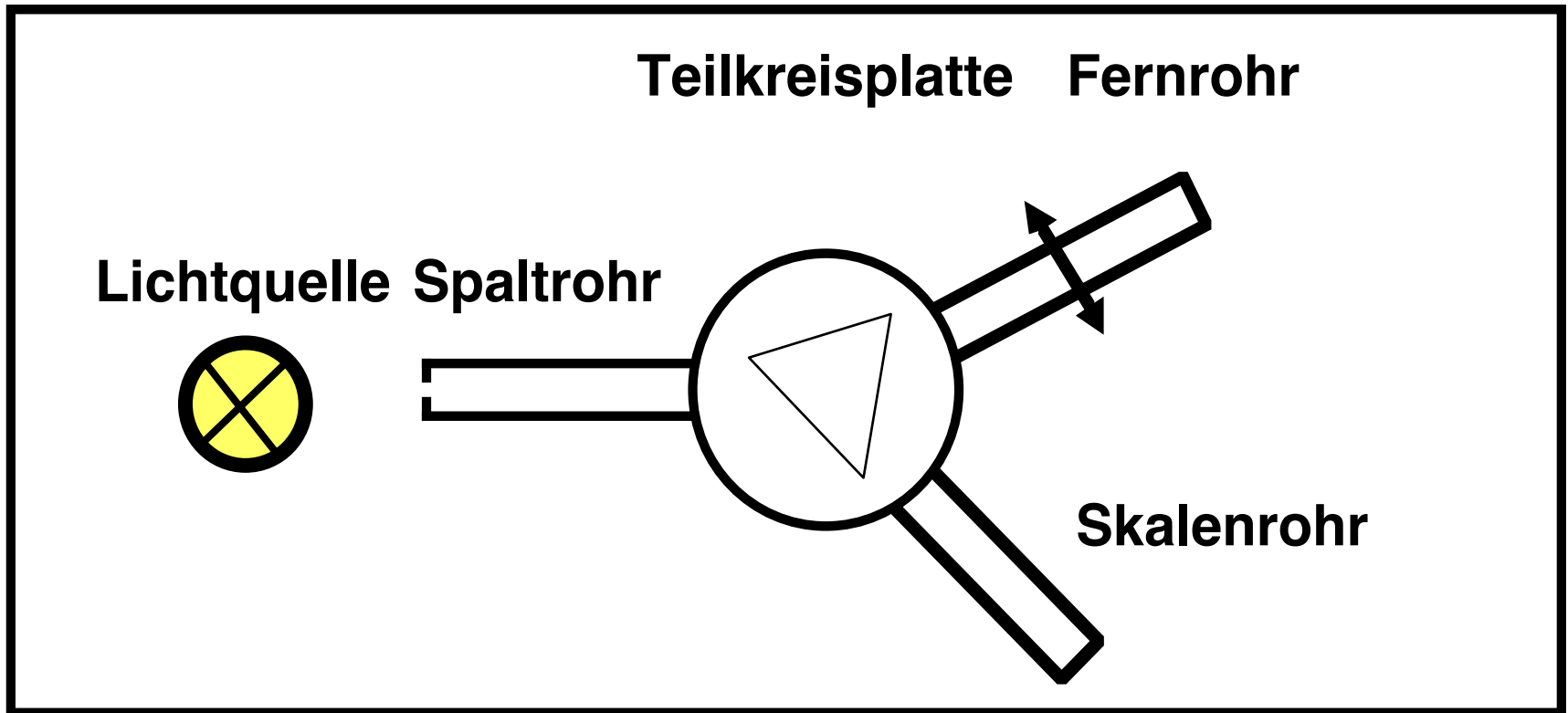
Spaltrohr/Kollimatorrohr des Spektrometers



Funktion:

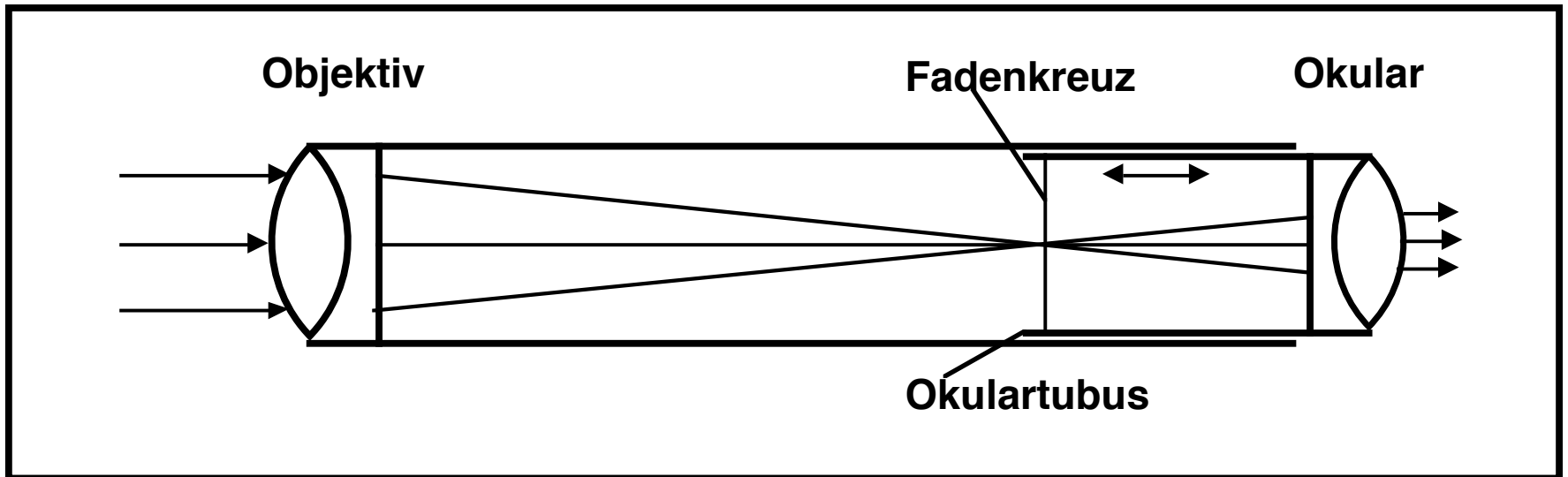
- 1) Spalt ist in dem objektseitigen Brennpunkt der Linsenkombination aufgestellt
- 2) Erzeugung von Parallelstrahlen

AG: Prismenspektralapparat



AG: Prismenspektralapparat

Fernrohr des Spektrometers



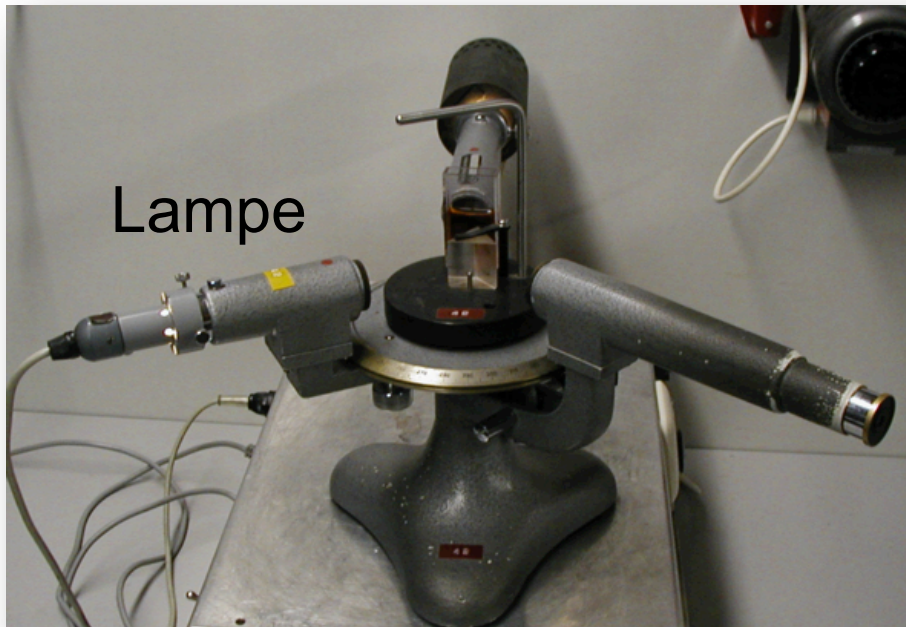
Funktion:

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

AG: Beobachtung eines Absorptionsspektrums

Prismenspektralapparat:

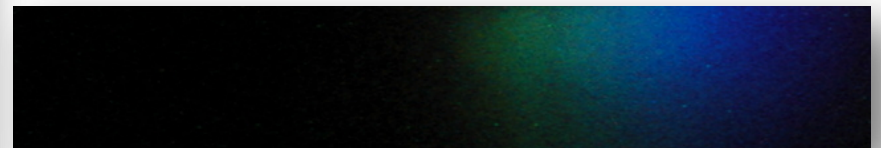
Bestimmung der Dispersionskurve eines Prismas mit dem weißem Licht einer LED-Lampe (Zusammenhang Wellenlänge Ablenkwinkel) (Kalibrierung z.B. mit der bekannten Wellenlänge von Cd-Hg, siehe Gitterspektralapparat)



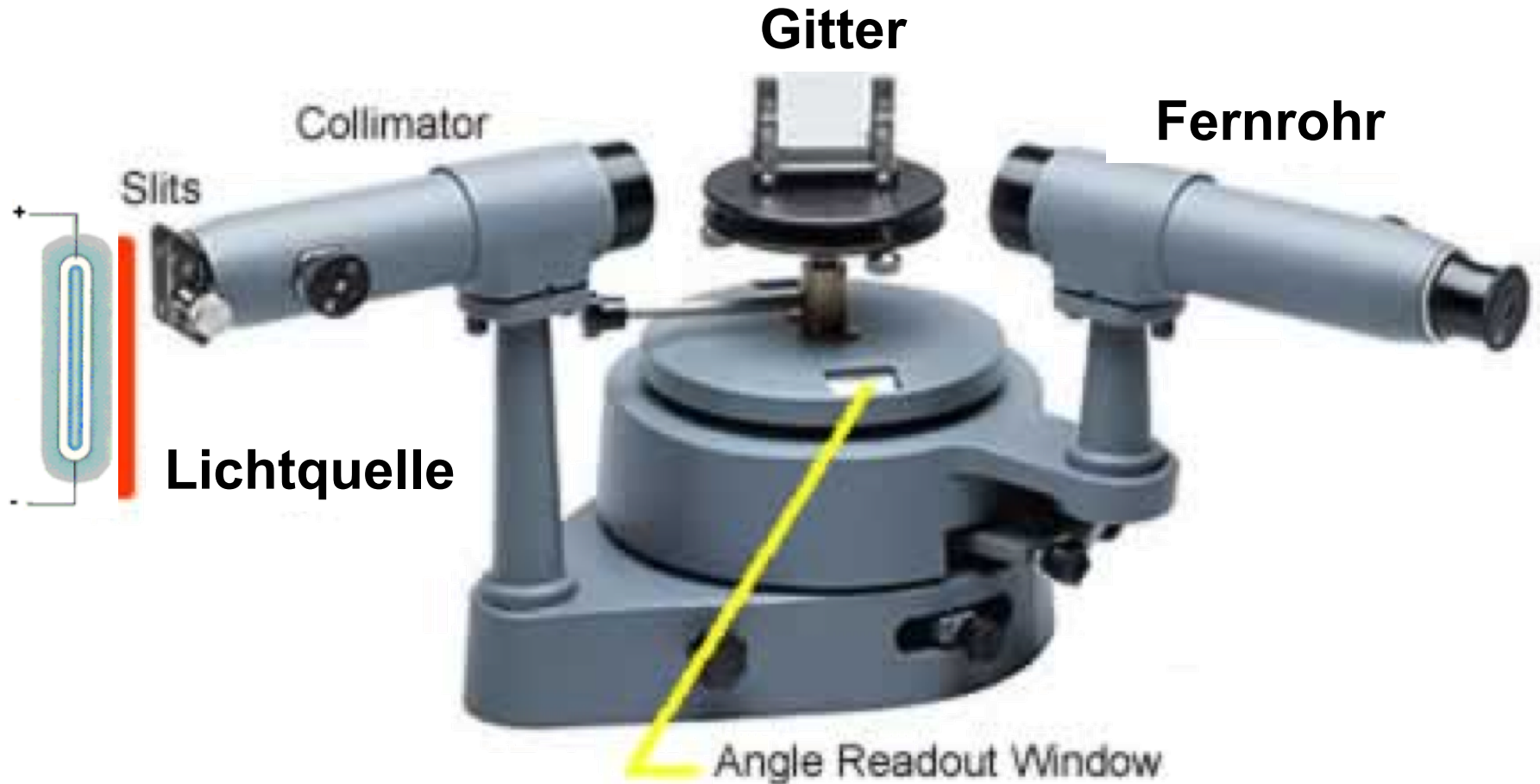
Ohne Absorber



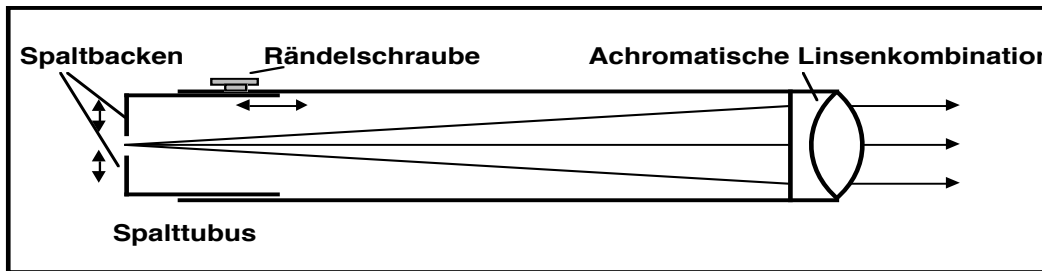
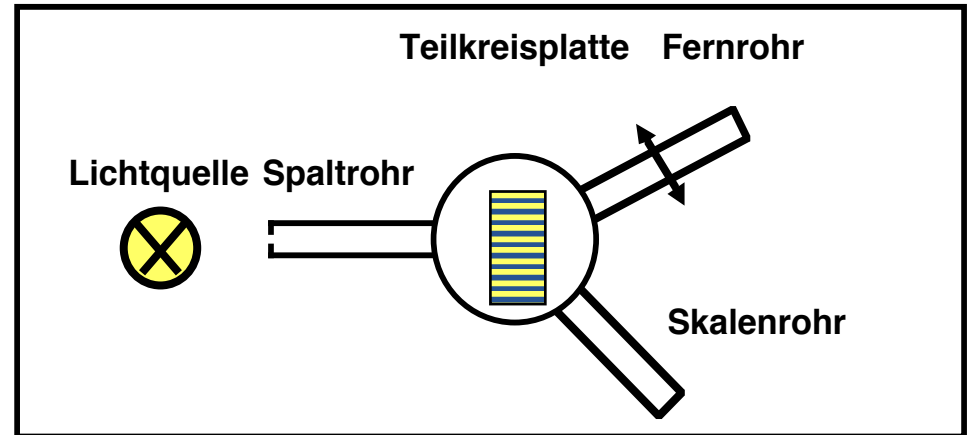
mit Farbstofflösung (hier: Methylenblau)



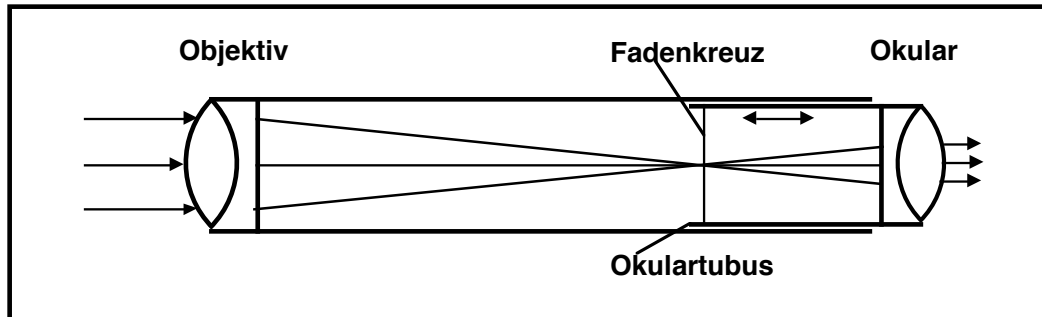
AG: Gitterspektralapparat



AG: Gitterspektralapparat



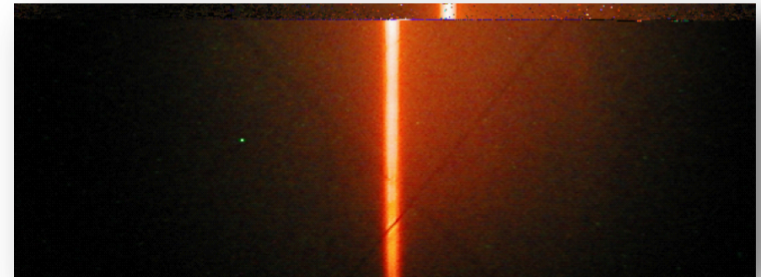
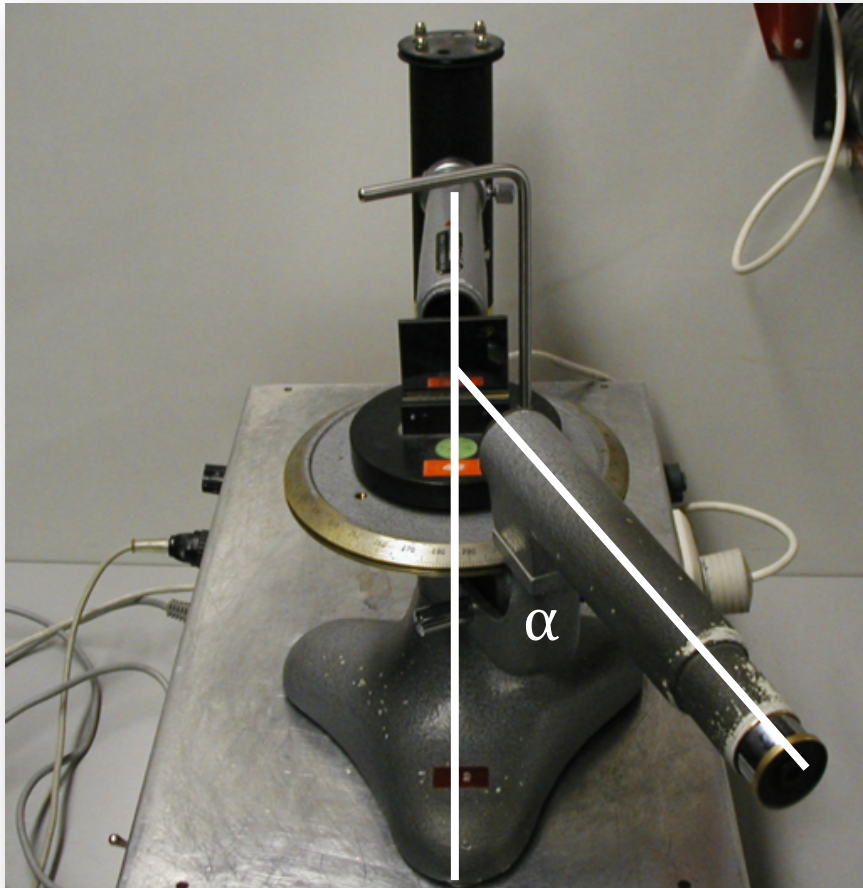
**Spaltrohr des
Spektrometers**



**Fernrohr des
Spektrometers**

O2: Optische Spektroskopie

Bestimmung der Wellenlänge λ der gelben Na-Linie
mit einer bekannten Gitterkonstante

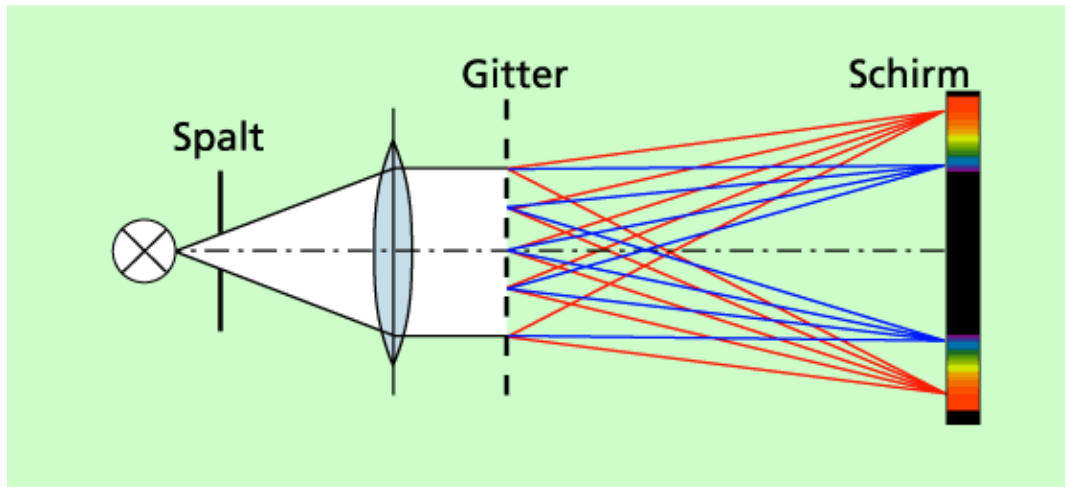
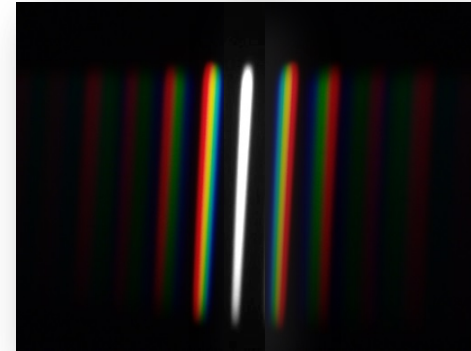
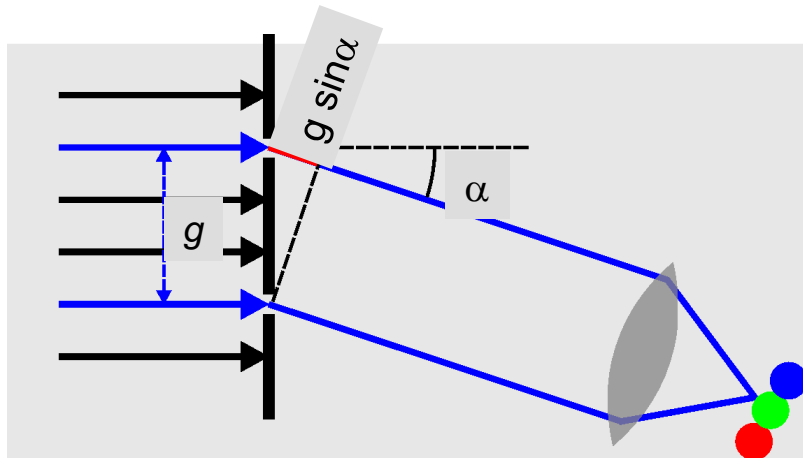


- Winkel α_n für mehrere Interferenzordnungen m messen (links und rechts)
- Gitterkonstante g ($10 \mu\text{m}$) bekannt
- Wellenlänge λ berechnen

Bedingung für Maxima:

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

Wdh.: Beugung am Gitter



Bedingung für

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

O2: Optische Spektroskopie

Bestimmung der Wellenlängen λ der Cd-Hg-Linien mit einer bekannten Gitterkonstante



- Winkel α_i für die erste Interferenzordnung von verschiedenen Linien messen (links und rechts)
- Wellenlänge λ_i berechnen

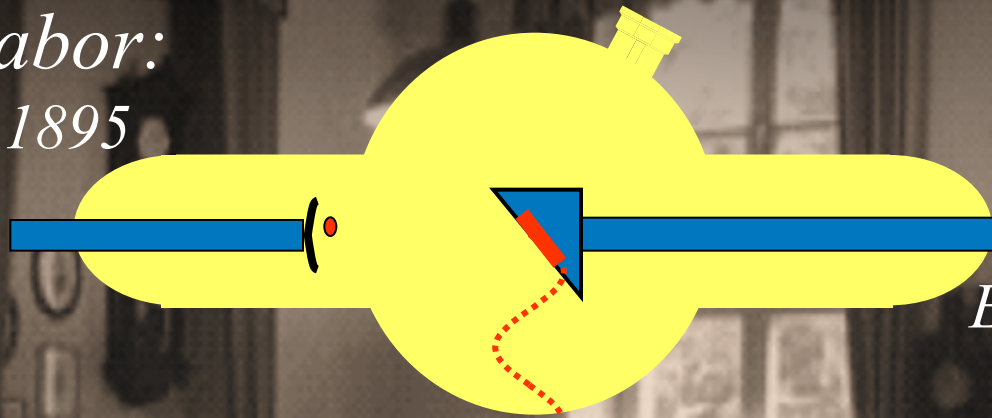
Bedingung für Maxima:

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

*Röntgen's Labor:
8. November 1895*



*Röntgen's Labor:
8. November 1895*



*Crooksche
Entladungsröhre*



Fluoreszenzstoff



Wilhelm Röntgen
(1845 - 1923)

Röntgenstrahlen

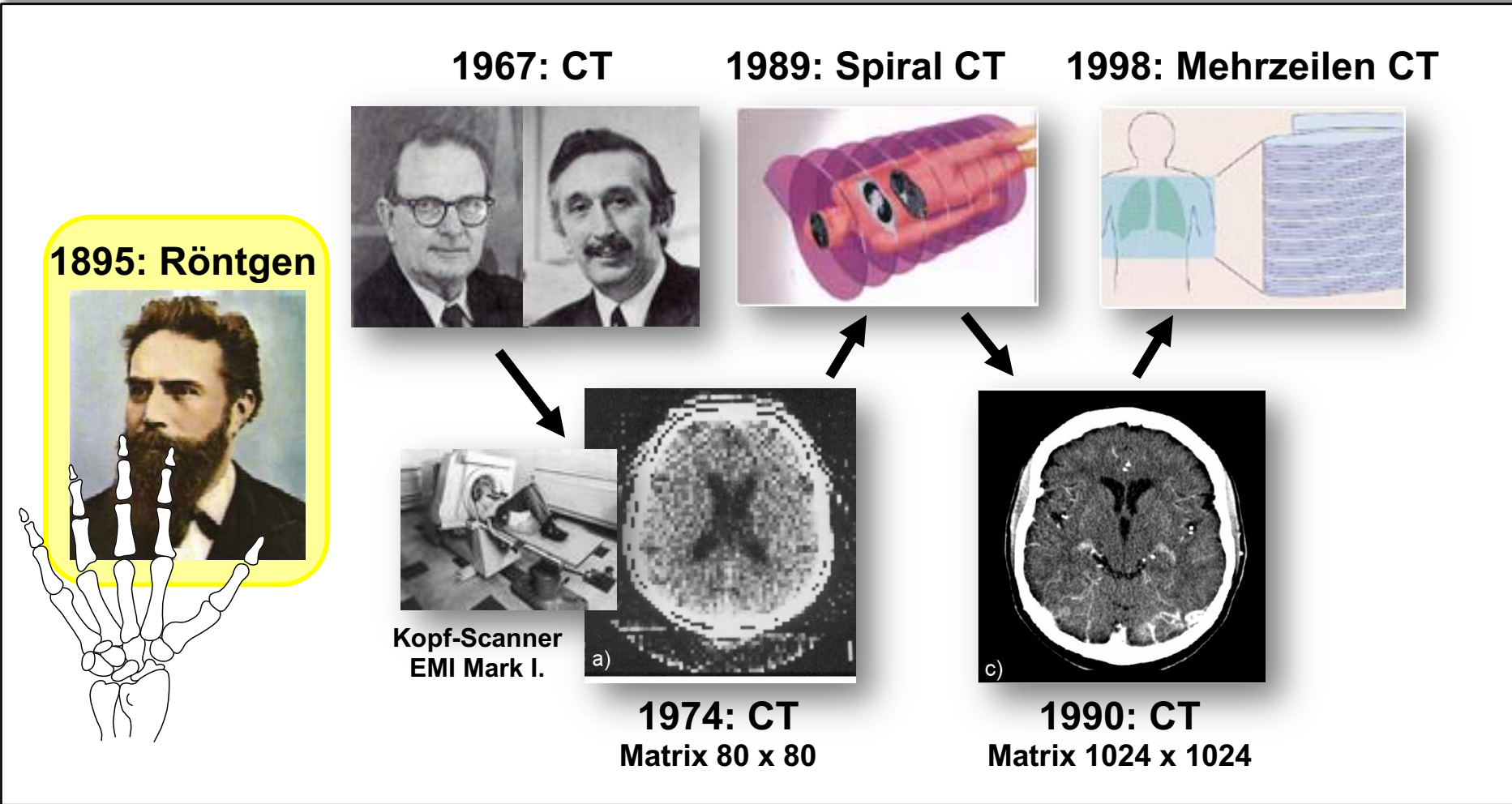


- Physikalische
- Röntgenring
- Ordinarius für
- Uni Würzburg

Im Urlaub mit seinen Freunden findet Röntgen den Ausgleich zur Arbeit im Labor. Zusammen mit seiner Frau und Freunden fährt er regelmäßig nach Pontresina in die schweizer Bergwelt. Seine Freunde schätzen seinen Humor und seine Unternehmungslust. Bei Wanderungen ist er immer der Erste, der oben ankommt. Er hält sich nicht an die Wanderwege, sondern klettert auf direktem Weg zur Bergspitze.

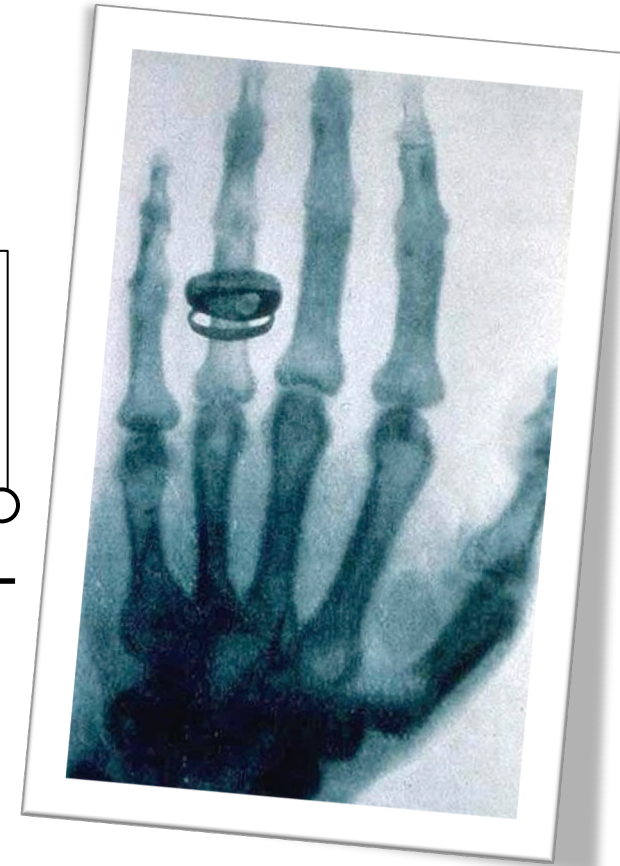
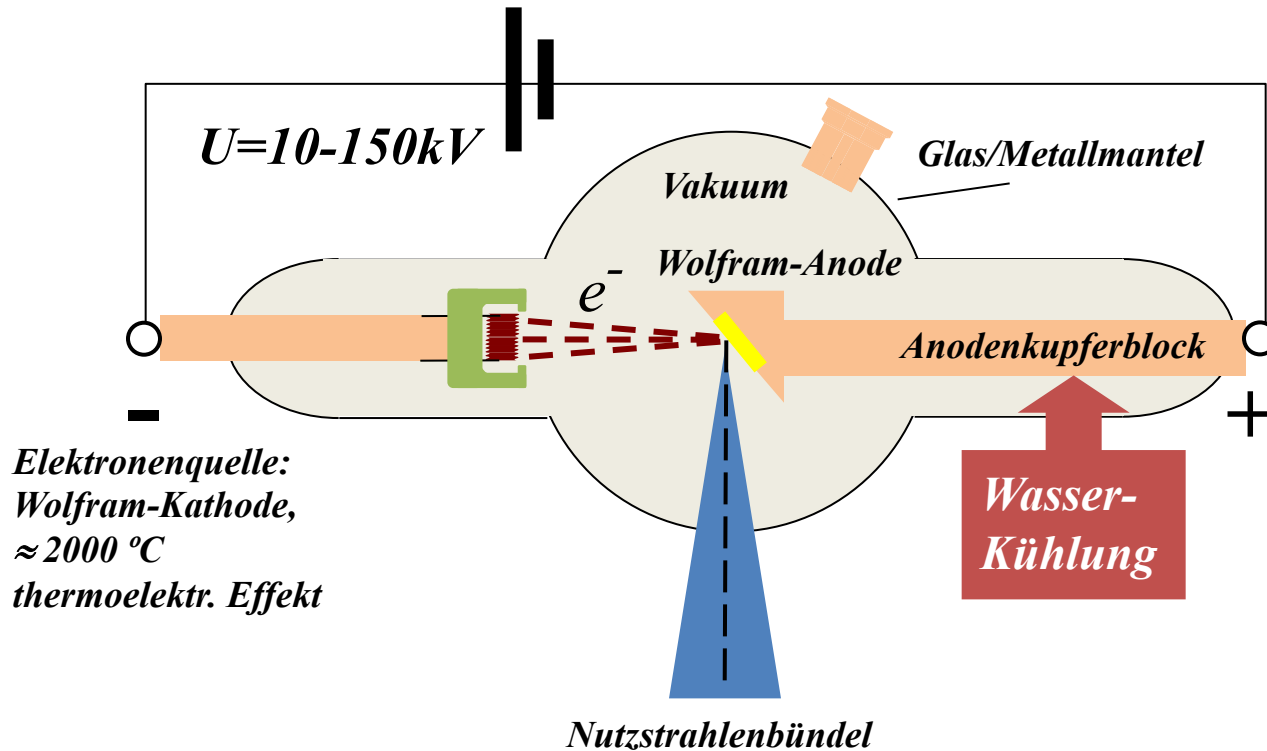
Nobelpreis für Physik

AG: Historischer Überblick „Röntgenstrahlung“



Röntgenstrahlen

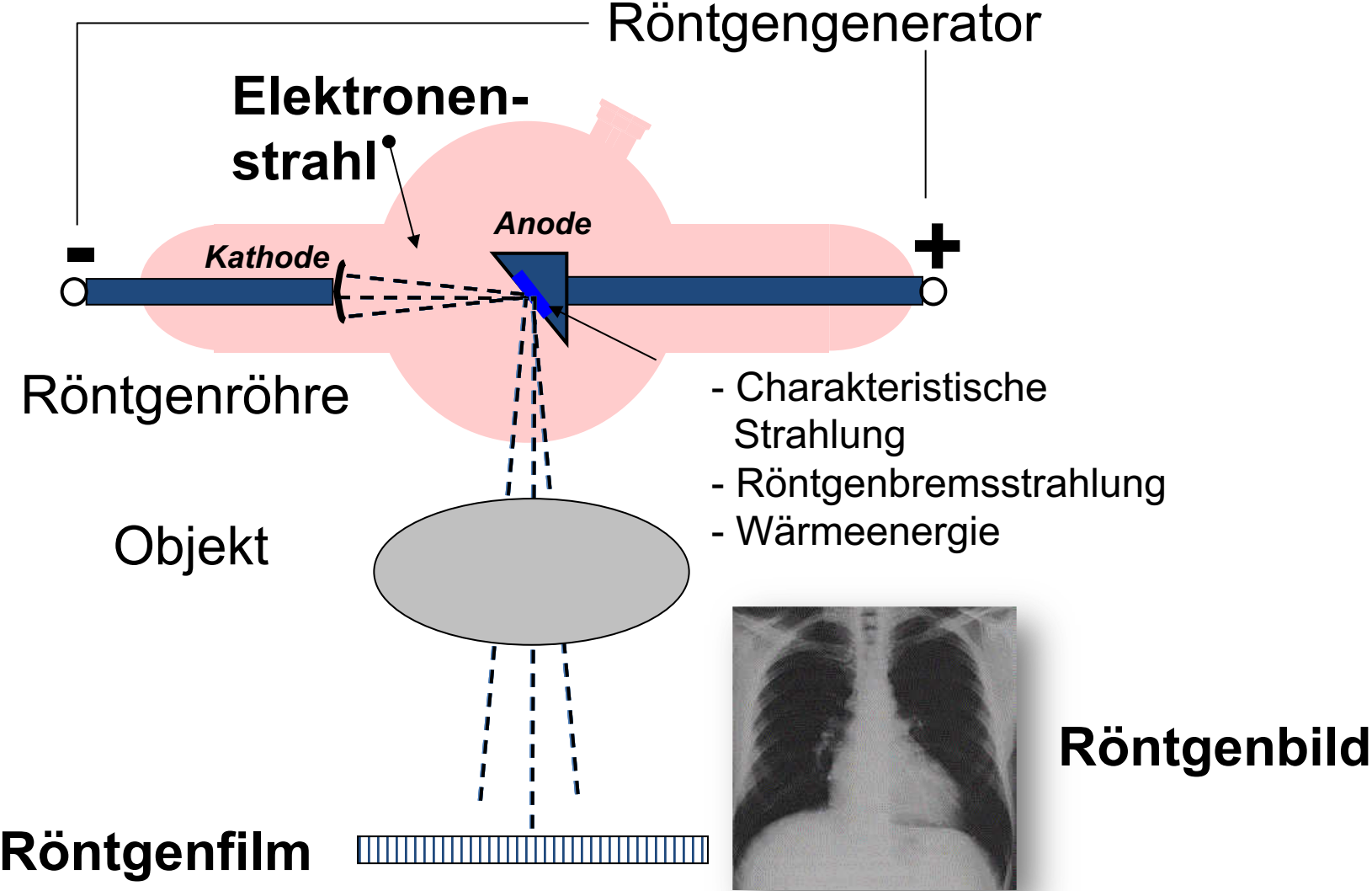
Röntgenröhre, Grundprinzip



historische
Röntgenaufnahme

- Röntgenstrahlung entsteht beim Auftreffen von schnellen e^- auf Materie
- Röhrenspannung bestimmt die kinetische Energie der Elektronen

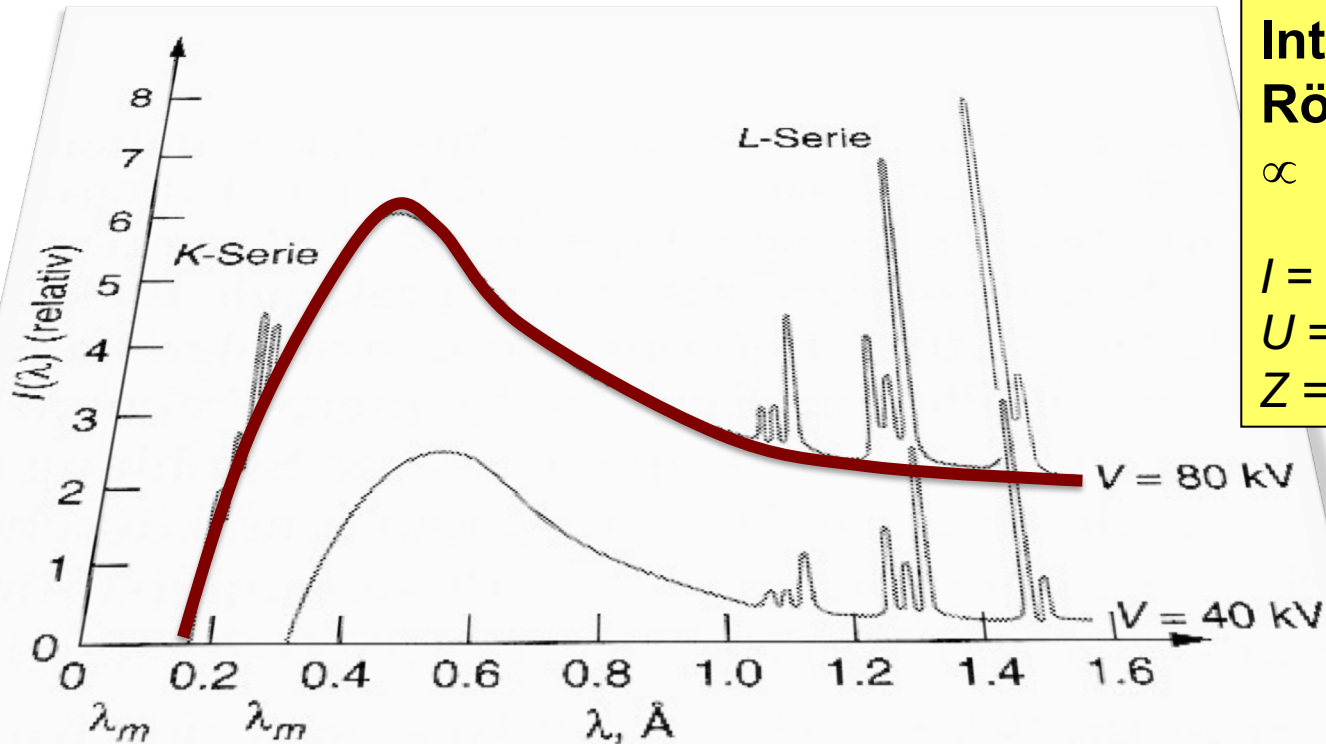
Röntgenstrahlen: Bildentstehung



Eigenschaften der Röntgenstrahlung

- ① **Schwächungseffekt:** X-Rays können Stoff durchdringen und werden dabei geschwächt (Grundlage der Bildgebung)
 - ② **Lumineszenzeffekt:** X-Rays können bestimmte Stoffe zur Lichtemission anregen (Grundlage der Detektion: Leuchtschirme)
 - ③ **Ionisationseffekt:** X-Rays ionisieren Gase (Grundlage der Detektion)
 - ④ **Biologischer Effekt:** X-Rays können Veränderungen am lebenden Gewebe herbeiführen (Mutationen)
 - ⑤ **Photographischer Effekt:** X-Rays bewirken die Schwärzung photographischer Filme (Grundlage der Detektion)
 - ① **Halbleitereffekt:** X-Rays ändern die Leitfähigkeit und Ladung von Halbleitern (Grundlage der Detektion)
- 
- A faint, grayscale portrait of Wilhelm Röntgen is visible in the background on the right side of the slide. He is shown from the chest up, wearing a suit and tie, with a full beard and mustache.

Spektrum der Röntgenstrahlung



Intensität der
Röntgenstrahlung
 $\propto ZIU^2$

I = Strom

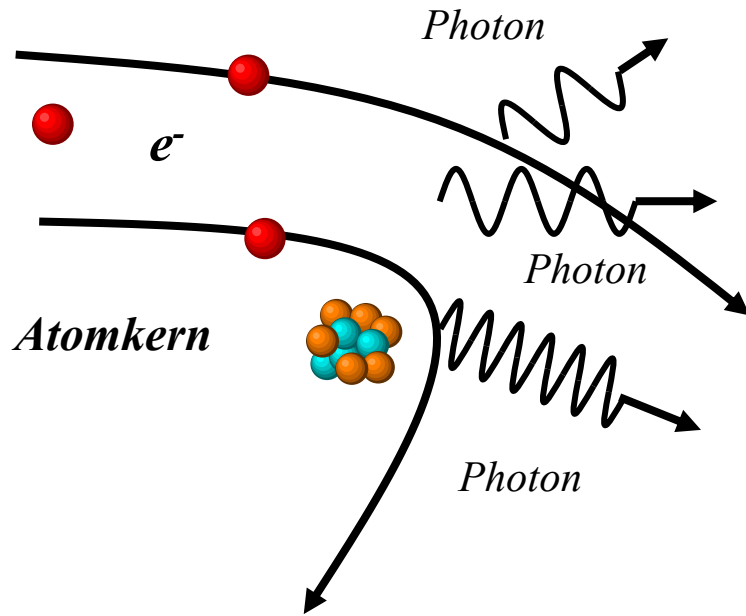
U = Spannung

Z = Ordnungszahl

Charakteristika

- (1) Breites Spektrum „**Bremsstrahlungskontinuum**“
- (2) Spannungsabhängige **Grenzwellenlänge**
- (3) Überlagerung des Kontinuums durch Serien von **scharfen Linien**
- (4) Wellenlänge der scharfen Linien ist **unabhängig** von der Beschleunigungsspannung
- (5) Scharfe Übergänge entsprechen atomaren Niveaus (→ **Atommodelle**)

Spektrum der Röntgenstrahlung



Kont. Bremsstrahlung:

- Coulomb-WW führt zu Abbremsung der e^- im elektrischen Kernfeld
- e^- wird zum Kern hin beschleunigt

Charakteristika

- (1) Breites Spektrum „**Bremsstrahlungskontinuum**“
- (2) Spannungsabhängige **Grenzwellenlänge**
- (3) Überlagerung des Kontinuums durch Serien von **scharfen Linien**
- (4) Wellenlänge der scharfen Linien ist **unabhängig** von der Beschleunigungsspannung
- (5) Scharfe Übergänge entsprechen atomaren Niveaus (→ **Atommodelle**)

Spektrum der Röntgenstrahlung

Röhrenspannung bestimmt die **kinetische Energie** der Elektronen

$$E_{Pot}^{e^-} = e \cdot U = \frac{1}{2} m_{e^-} v^2 = E_{Kin}^{e^-}$$

Im Targetmaterial wird die E_{kin} der e^- in Röntgenstrahlungsenergie umgesetzt mit

$$E = h\nu = hc / \lambda$$

$$h = 6.6252 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

ν = Frequenz

c = Lichtgeschw.

λ = Wellenlänge

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Ws}$$

Einsatztabelle:

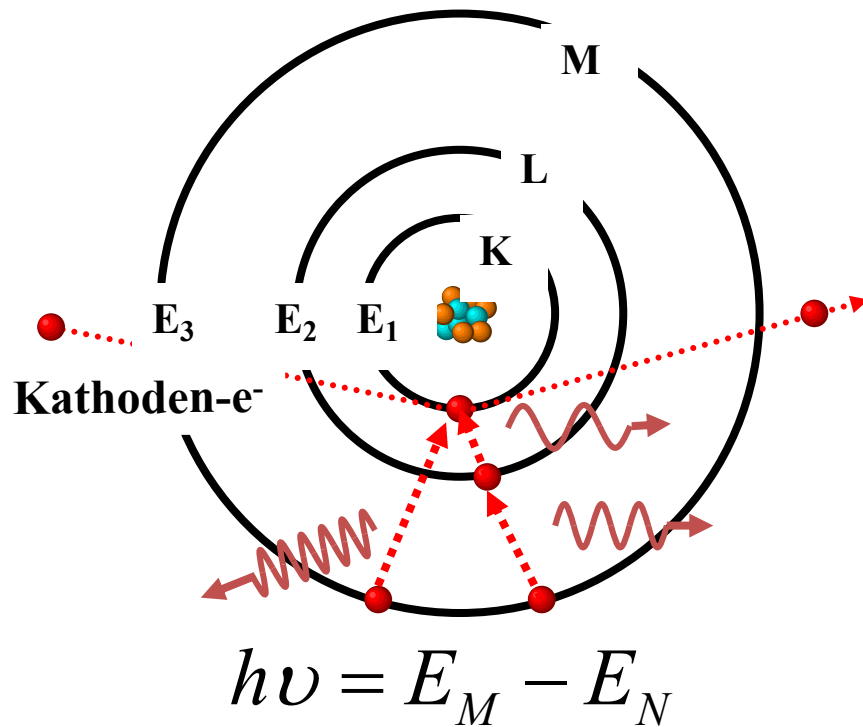
U [kV]	l_{min} (nm)	Einsatzbereich
1	1.242	„weich“, Röntgendiffraktometer
10	0.124	„mittel“
100	0.012	„hart“, Röntgendiagnostik

Größtmögliche Photonenenergie/kleinstmögliche Wellenlänge

$$\nu_{\max} = \frac{e \cdot U}{h} \Rightarrow \lambda_{Grenz} = \frac{c \cdot h}{e \cdot U} = \frac{1.24}{U(kV)} \text{ nm}$$

Für $\lambda_{min/Grenz}$ wird die gesamte Energie eines Elektrons als einzelnes Photon abgegeben

Spektrum der Röntgenstrahlung



Charakteristische Strahlung:

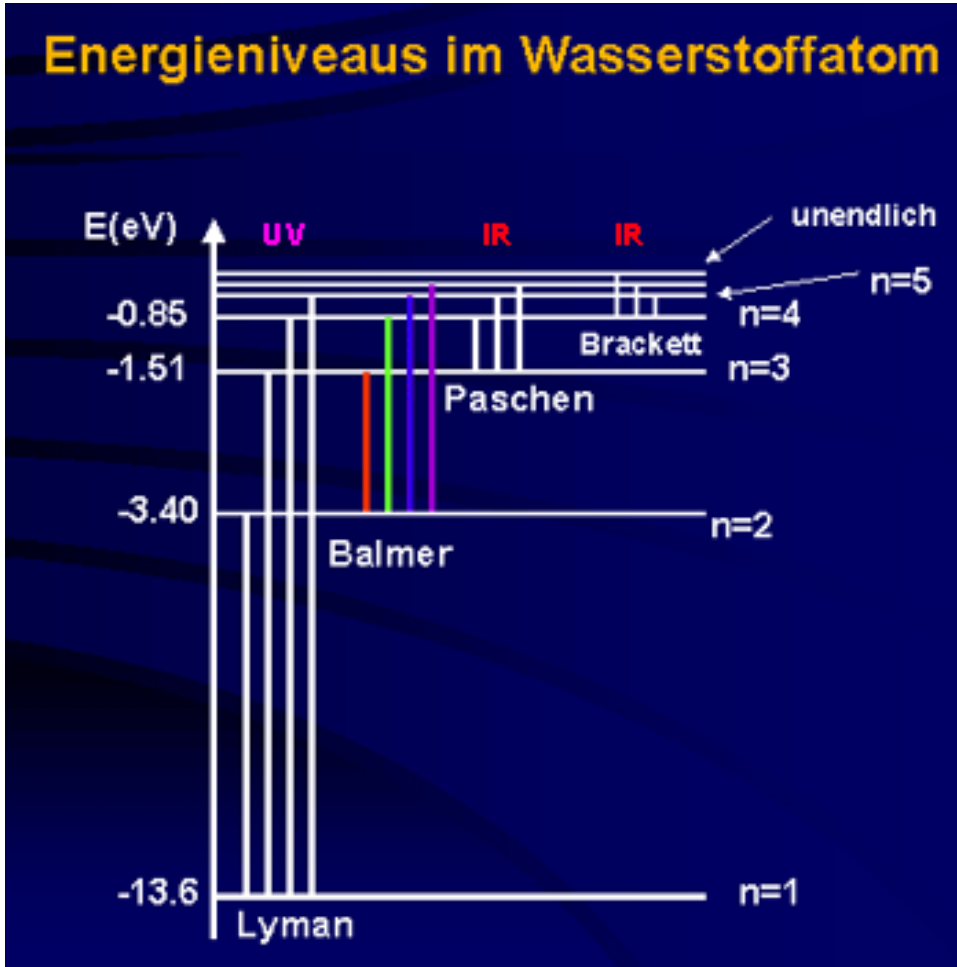
- Gebundenes Elektron des Anodenmaterials wird aus einer der inneren Schalen (K, L,..) herausgeschlagen
- Ionisation des Targetatoms
- Diskretes Spektrum, elementspezifisch !

Charakteristika

- (1) Breites Spektrum „**Bremsstrahlungskontinuum**“
- (2) Spannungsabhängige **Grenzwellenlänge**
- (3) Überlagerung des Kontinuums durch Serien von **scharfen Linien**
- (4) Wellenlänge der scharfen Linien ist **unabhängig** von der Beschleunigungsspannung
- (5) Scharfe Übergänge entsprechen atomaren Niveaus (→ **Atommodelle**)

Wdh. Spektrallinien

Energieniveaus der erlaubten Quantenbahnen



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

