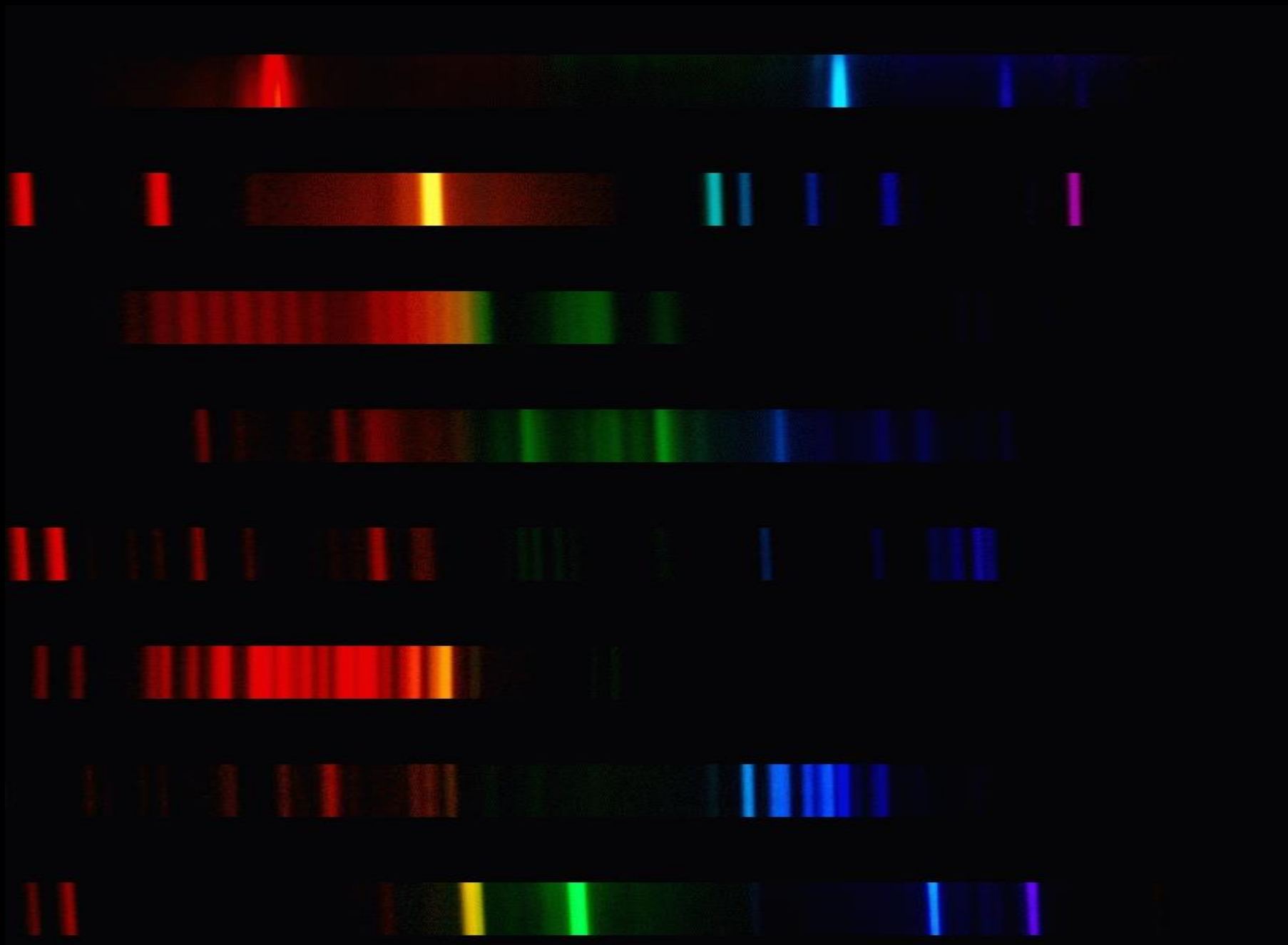
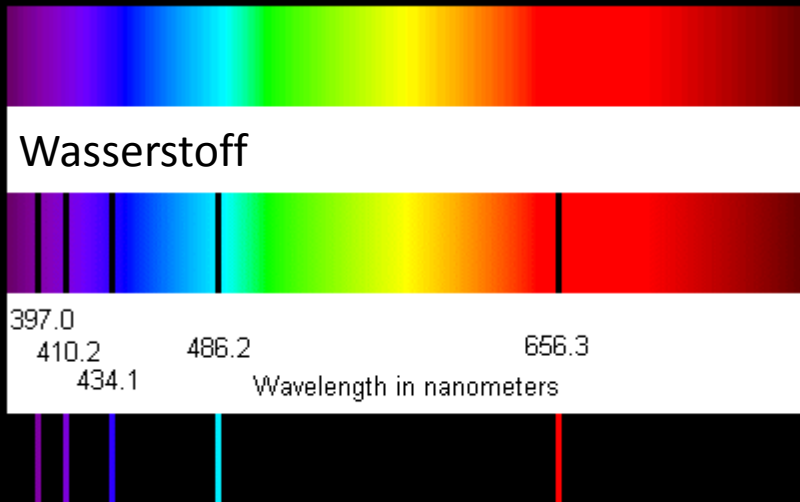


Sterne 16 – Sternspektroskopie und Spektralanalyse (Teil 4)



Gesetzmäßigkeiten in der Anordnung der Spektrallinien eines Stoffes?



H α	656.4 nm
H β	486.1 nm
H γ	434.2 nm
H δ	410.2 nm
etc.	



$$\lambda = A \left(\frac{n^2}{n^2 - 4} \right) = A \left(\frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right)$$

$$A = 364.4 \text{ nm}$$

n ganzzahlig > 2

Eine einfache Reihenformel vermag die Wellenlängen der Spektrallinien des Wasserstoffs mit hoher Genauigkeit zu berechnen...

Zufall ?

Gesetzmäßigkeit ?

Johann Jacob Balmer
1825-1898

Die Spektrallinien der Erdalkali-Metalle lassen sich durch eine verallgemeinerte Balmer-Serienformel darstellen...



Johannes Rydberg
1854-1919

$$\frac{1}{\lambda_{\text{vac}}} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$R = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{M}}$$

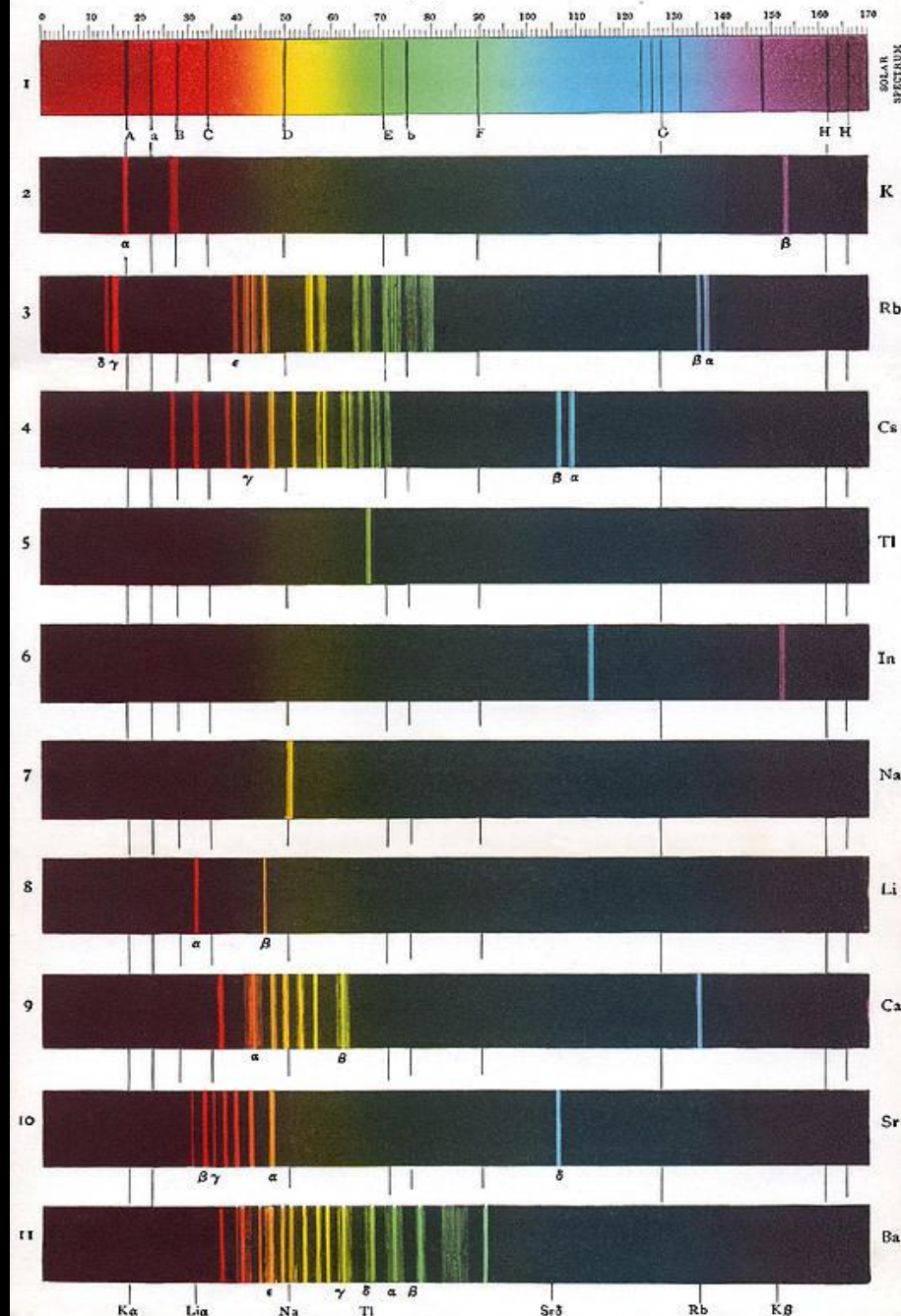
$$R_\infty = 10973731,568539(55) \text{ m}^{-1}$$

Die mathematische Einfachheit und Eleganz der Rydberg'schen Serienformel ließ auf eine unbekannte, tiefere Gesetzmäßigkeit der Spektrallinien schließen.

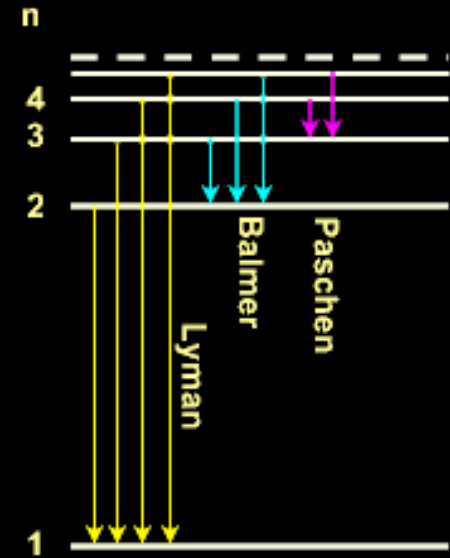
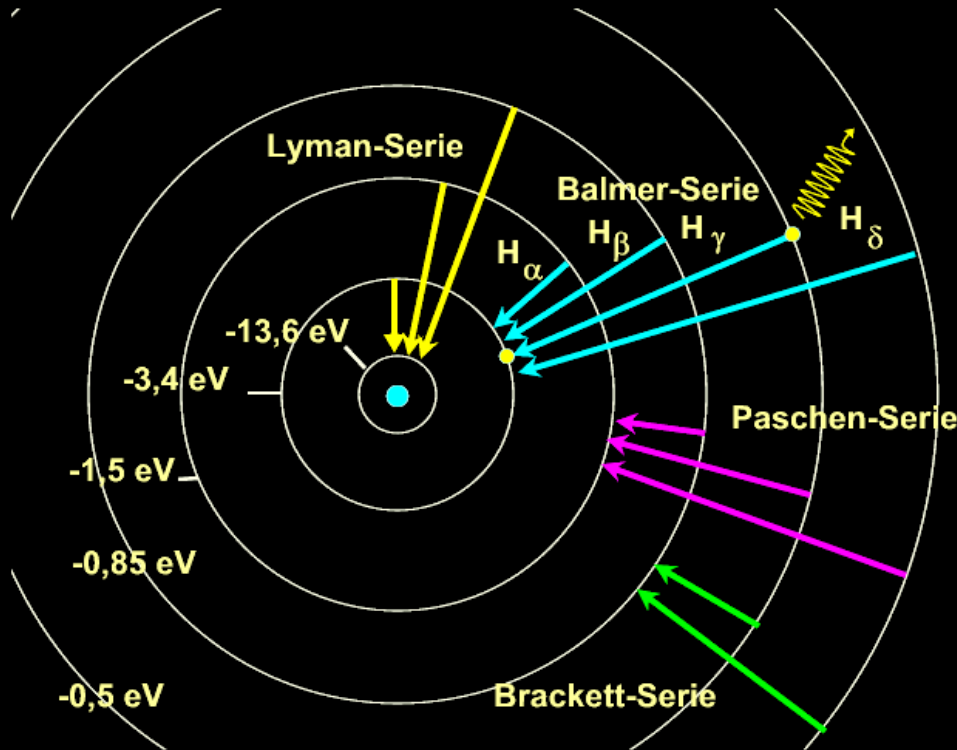
Bei Elementen, die nicht der I. Hauptgruppe im Periodensystem angehören, funktioniert der Formalismus immer schlechter...

SPECTRA OF THE METALS OF THE ALKALIES & ALKALINE EARTHS.

From the Drawings of BUNSEN & KIRCHHOFF.



Erste Deutung der Spektrallinien – das Bohrsche Atommodell

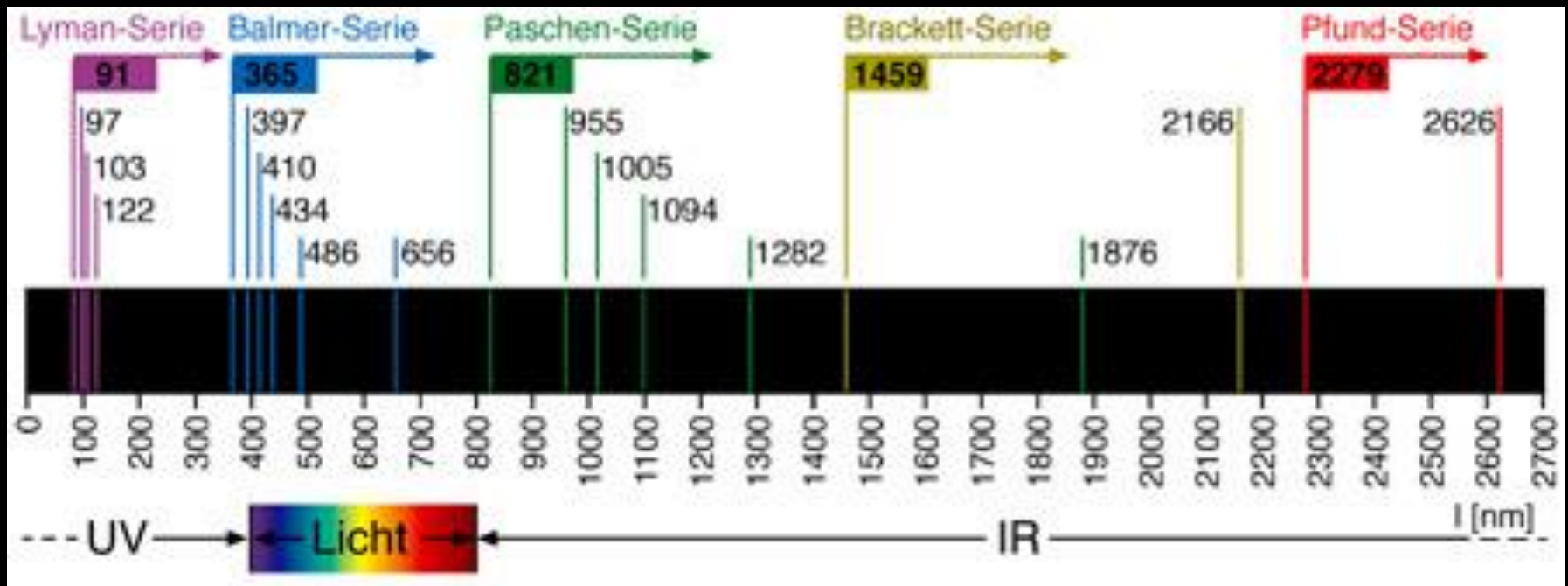


$$E_R = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{m}{2\hbar^2} \approx 13,6 \text{ eV}$$

$$f = \frac{E_R}{h} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{\text{vac}}} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$





n_f	Name der Serie	Formel	Bereich im Spektrum
1	Lyman-Serie	$\nu_{if} = R_H c \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	UV
2	Balmer-Serie	$\nu_{if} = R_H c \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	sichtbar
3	Paschen-Serie	$\nu_{if} = R_H c \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	infrarot
4	Brackett-Serie	$\nu_{if} = R_H c \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	infrarot
5	Pfund-Serie	$\nu_{if} = R_H c \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	infrarot

Problem:

Das Bohr'sche Atommodell funktioniert nur für Wasserstoff und eingeschränkt für Alkalimetalle. Bei allen anderen Elementen konnte keine Übereinstimmung zwischen Messung und Theorie hergestellt werden → Sommerfeld-Modell

Angeregte Zustände

Bei einem Atom ist der **Grundzustand** durch die energetisch niedrigste Elektronenkonfiguration bestimmt.

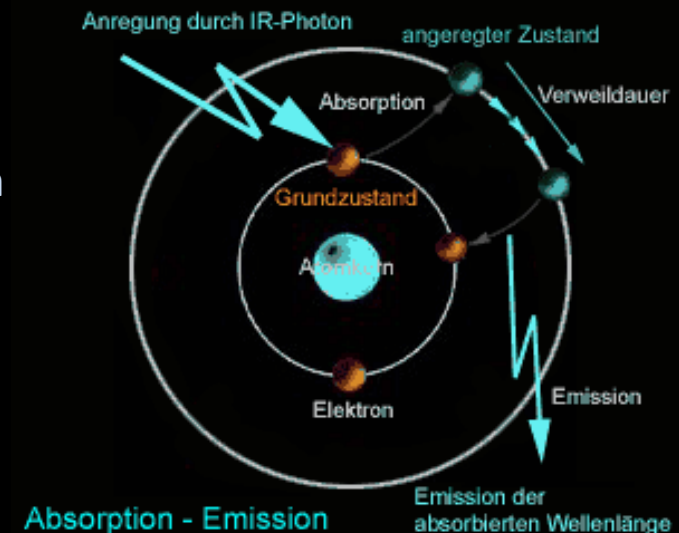
Ein Atom kann im Grundzustand keine Strahlung emittieren, aber es kann durch verschiedene Formen der „Anregung“ Energie aufnehmen und dadurch in einen **Angeregten Zustand** übergehen.

Stoßanregung - Die Elektronenkonfiguration ändert sich bei Stößen zwischen Atomen

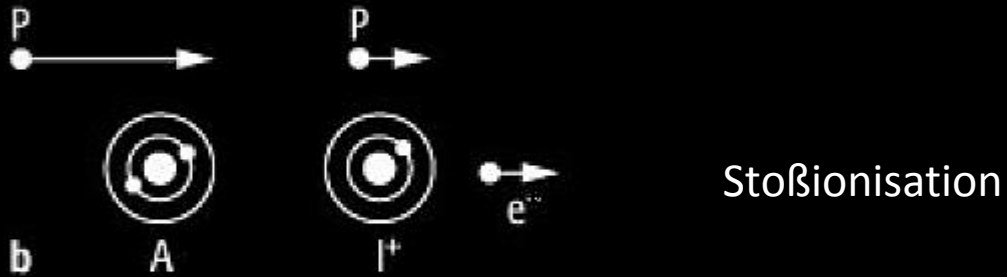
→ Thermische Energie, Maxwell-Verteilung

Strahlungsanregung – Ein Elektron absorbiert ein Photon aus dem Strahlungsfeld und wird in einen höheren energetischen Zustand gehoben

→ Strahlungsabsorption, Photoionisation



Elementarvorgänge bei Stößen zwischen Atomen

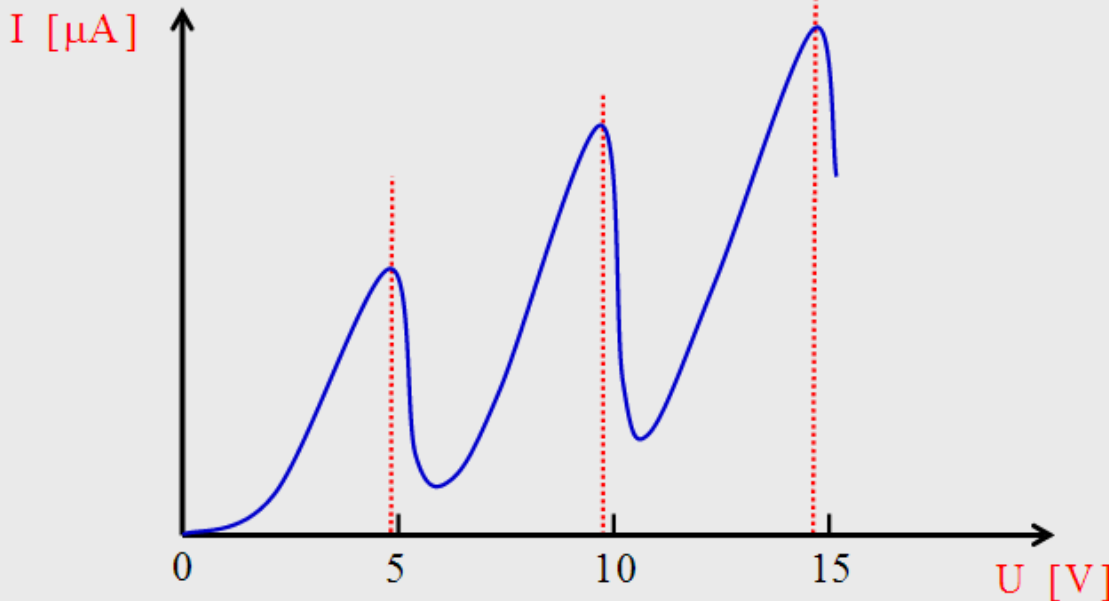
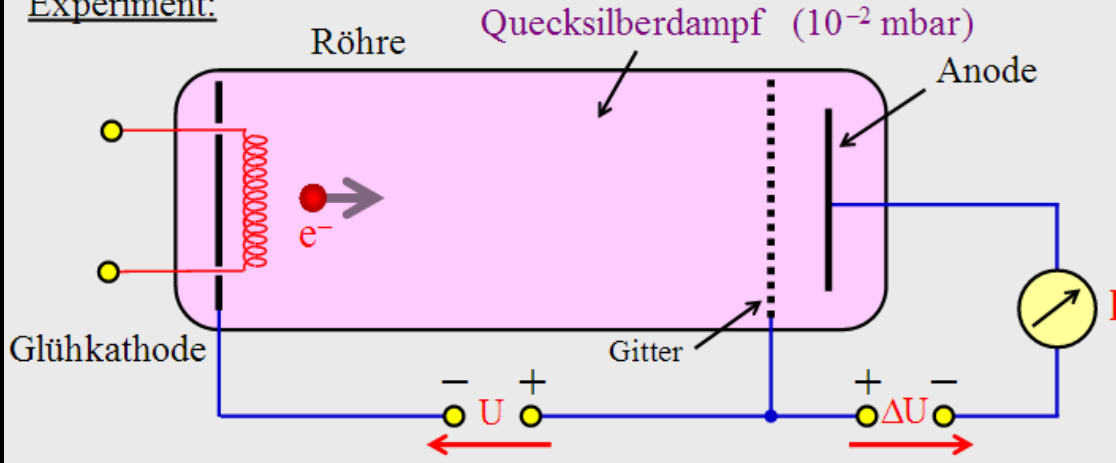


Franck-Hertz-Versuch (Stoßanregung)

Bekannt: Niveaübergänge \leftrightarrow Absorption / Emission von Photonen

Frage: Niveaübergänge \leftrightarrow Energieübertrag durch Atomstöße ?

Experiment:



James Franck (1882-1964)
Gustav Hertz (1887-1975)

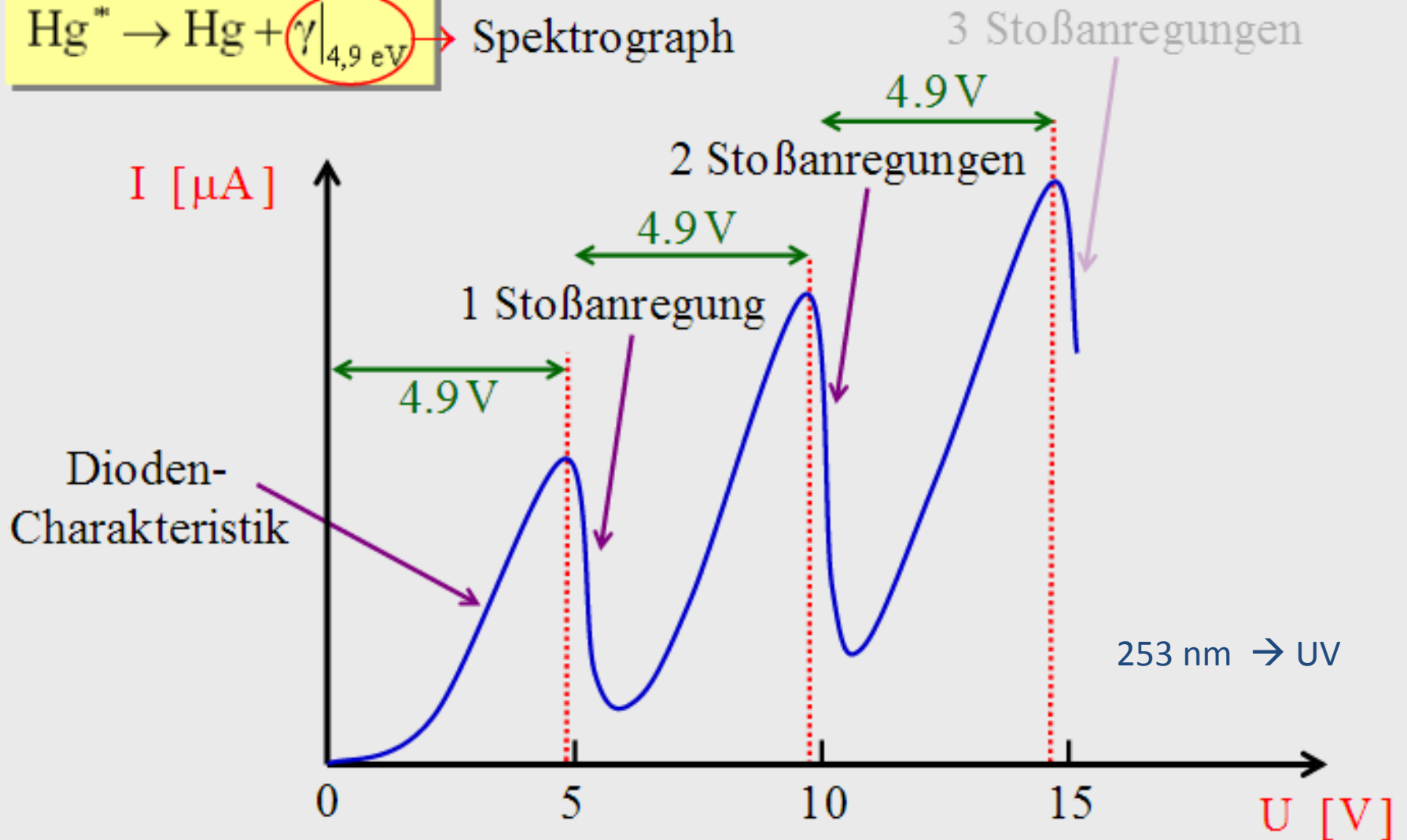
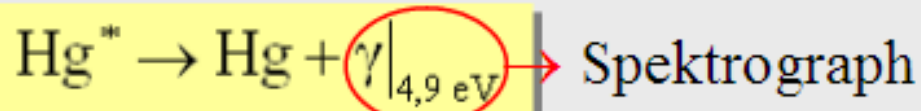
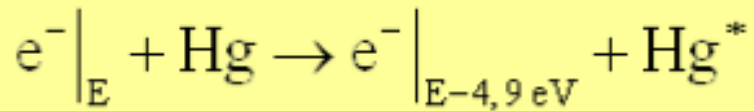
Nobelpreis 1925

Atome können durch Stöße angeregt werden, wenn die übertragene Energie der Differenz der entsprechenden Energieniveaus entspricht

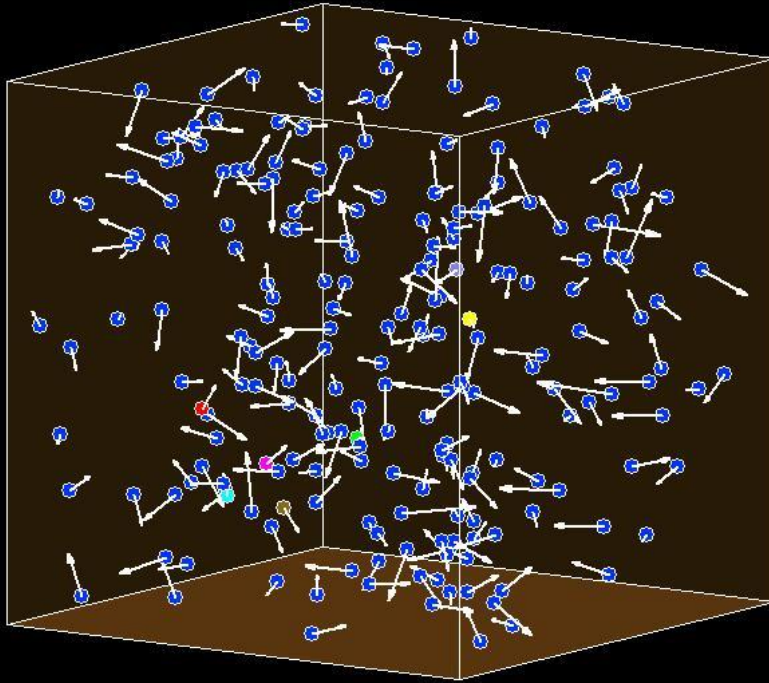


Wesentliche experimentelle Grundlage des Bohrschen Atommodells

Anodenstrom als Funktion der Beschleunigungsspannung (ΔU fest):



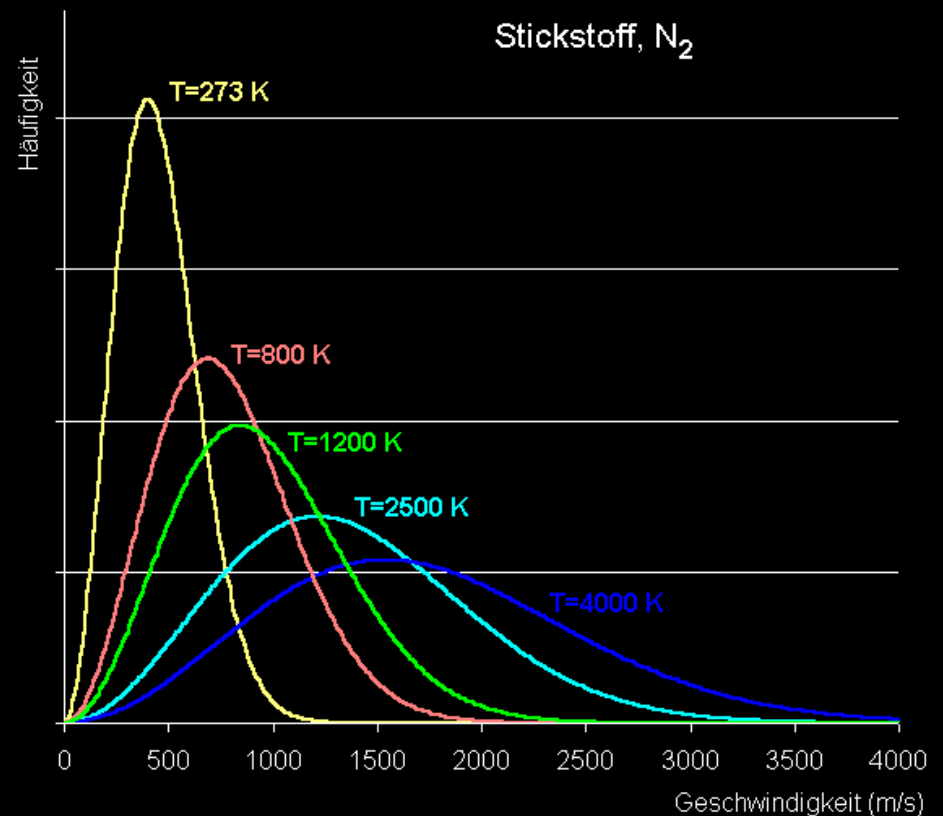
Geschwindigkeitsverteilung der Teilchen in einem Gas



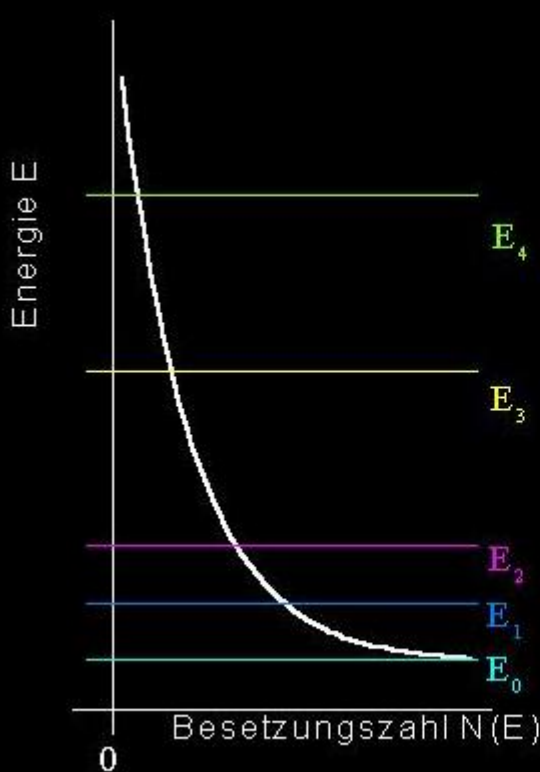
Maxwell-Verteilung

$$p(v)dv = c \cdot 4\pi v^2 \exp\left(-\frac{mv^2}{2k_B T}\right) dv$$

Mittlere Geschwindigkeit
Teilchenzahldichte
mögliche Stoßgeschwindigkeiten



Verteilung der angeregten Zustände in einem Gas



Boltzmann-Verteilung

$$\frac{N_i}{N_0} = \exp -\frac{E_i}{kT}$$

Die Maxwell-Verteilung gibt die Verteilung der Teilchengeschwindigkeiten und die Boltzmann-Verteilung die Verteilung der durch Stöße angeregten Zustände an

Ionisation

Entfernt man ein Elektron aus einem Atom, dann wird dieses Atom ionisiert → Kation

- Stoßionisation $H + H \rightarrow H^+ + H + e^-$
- Photoionisation $H + h\nu \rightarrow H^+ + e^-$

Der Ionisationsgrad gibt an, wie viele Elektronen das Atom verloren hat minus 1

Neutraler Wasserstoff: HI
Ionisierter Wasserstoff: HII

zweifach ionisierter Sauerstoff: OIII
vollständig ionisiertes Eisen: FeXXVII

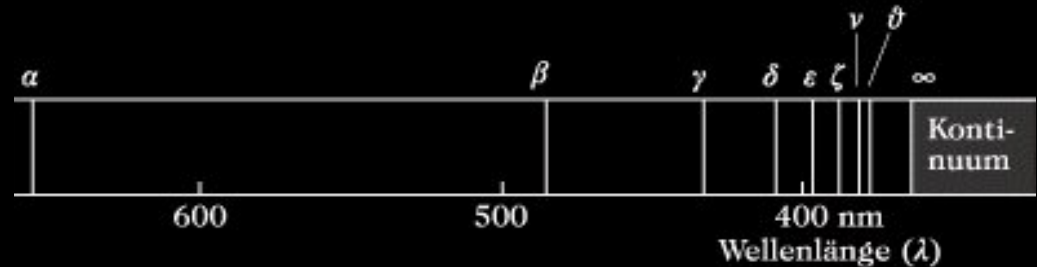
Die Energie, die mindestens notwendig ist, ein Elektron aus der innersten Schale ($n=1$) zu entfernen, nennt man **Ionisationsenergie**



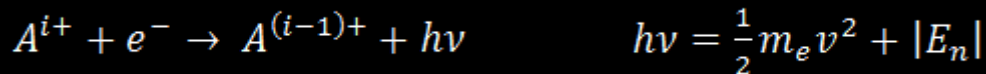
Rekombination

Fängt ein Ion ein freies Elektron ein und verringert somit seinen Ionisationsgrad, dann spricht man von einer Rekombination.

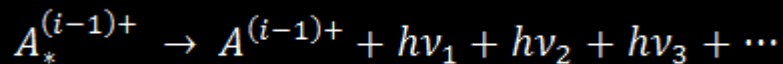
Strahlungsrekombination



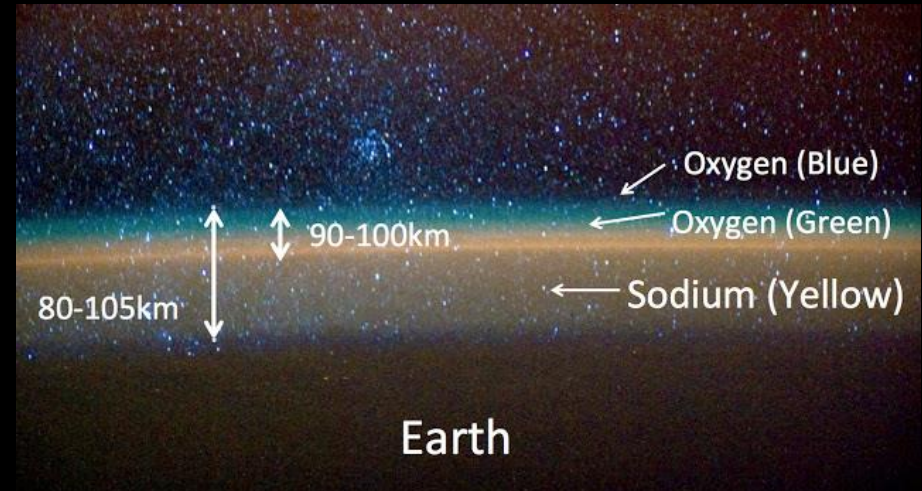
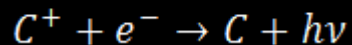
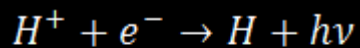
a) kontinuierlich



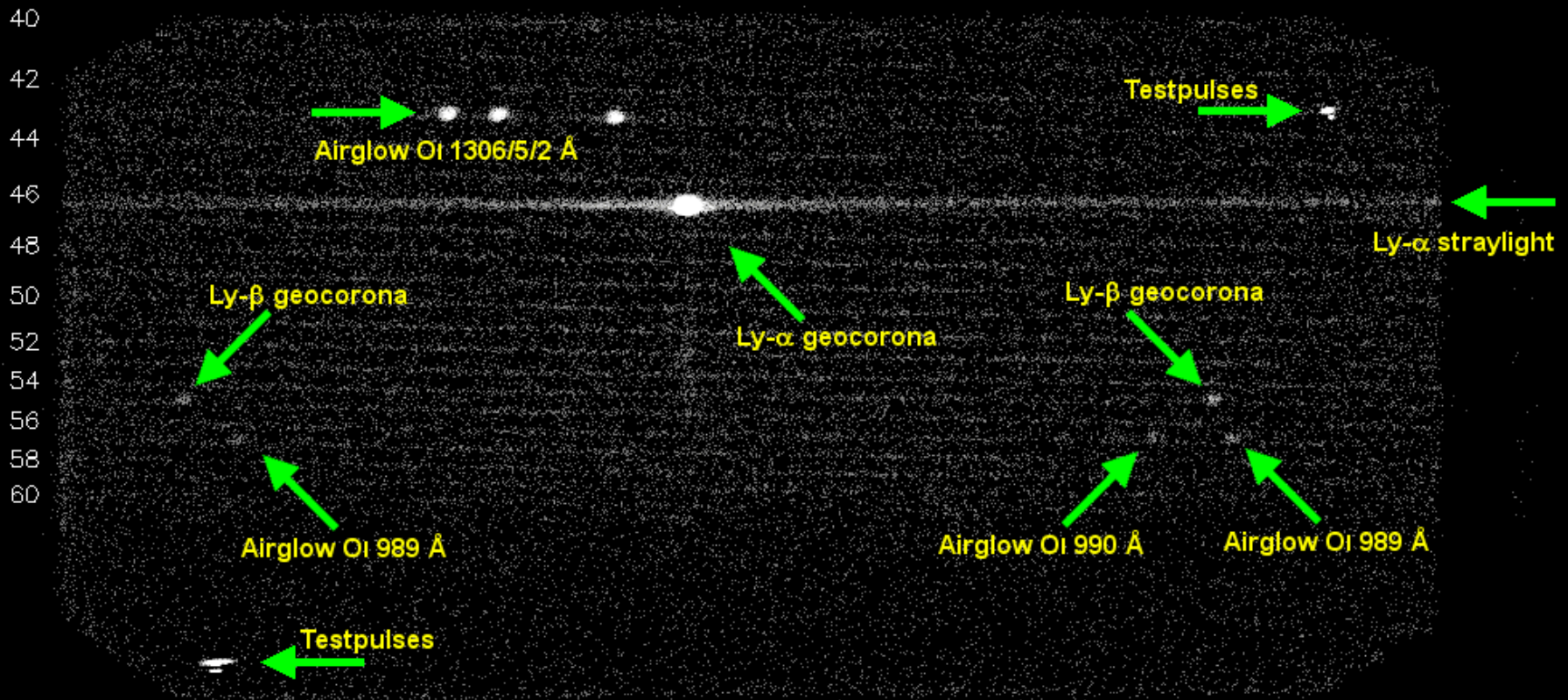
b) Rekombinationslinien (z.B. bei Molekülen)



Beispiele:



Atmosphärische Rekombination (Airglow)



Tagsüber werden Atome im oberen Teil der Erdatmosphäre durch die Sonnenstrahlung ionisiert, nachts erfolgt Rekombination → Aufhellung des Himmelshintergrundes