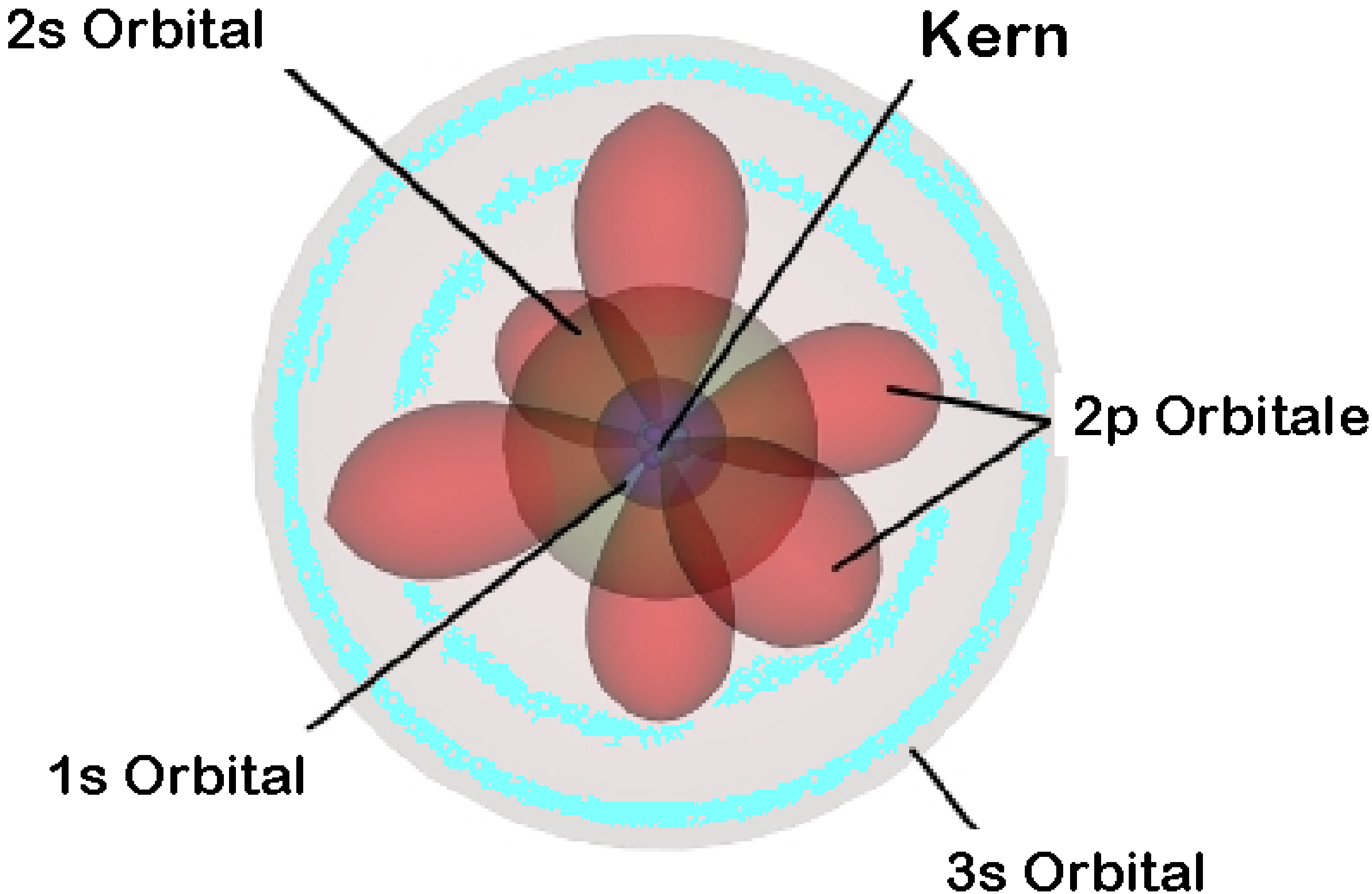
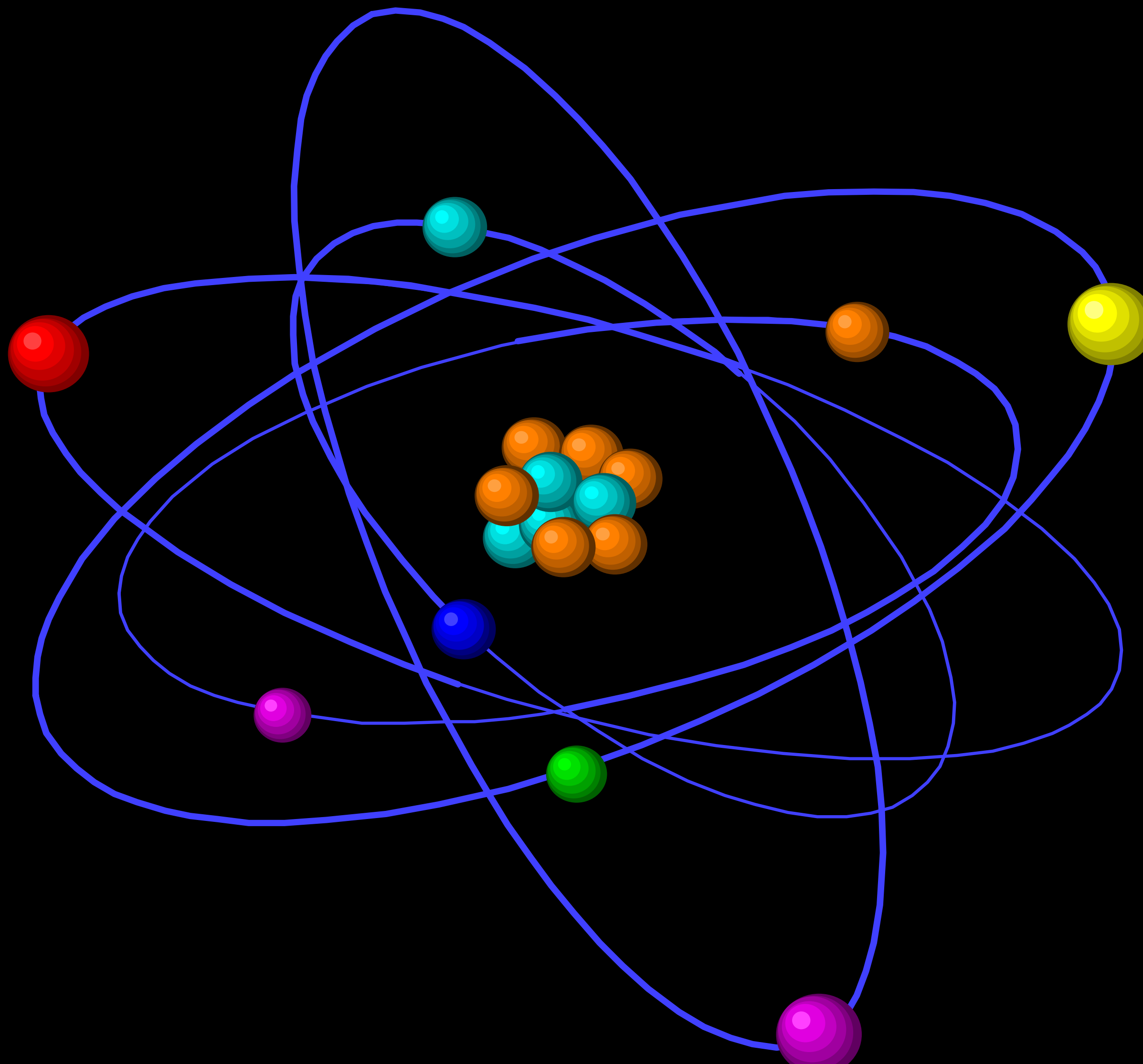
Atome und Kerne



28. Lektion

Bohr’sches Atommodell



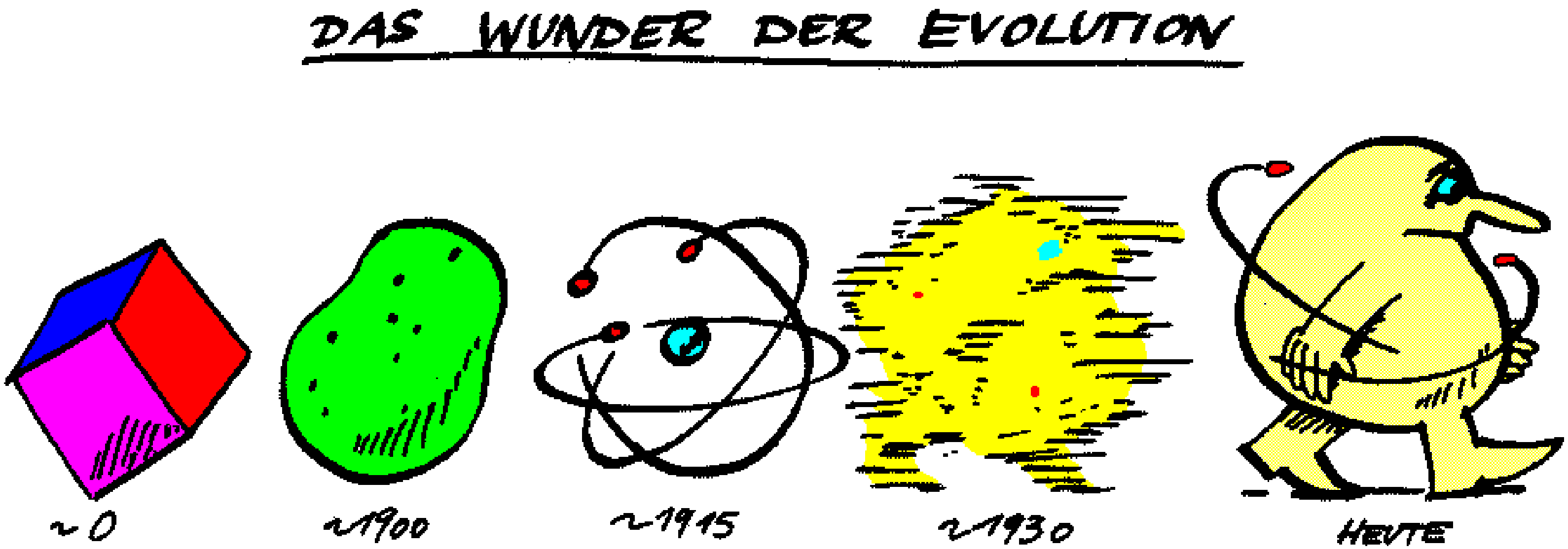
Lernziel:

Elektronen in Atomen erfüllen definierte Kohärenzbedingungen auf erlaubten Bahnen. Übergänge von einer Bahn zu einer anderen sind diskret und unterliegen der Energieerhaltung.

Begriffe:

- Wasserstoffatom
- Bohr´sche Postulate
- Grundzustand
- Strahlungsübergang

Die wundersame Welt der Atomis



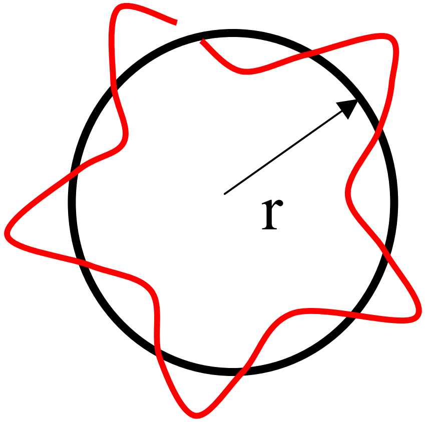
1. Bohr'sche Postulat (1913)

Niels Bohr

1885 – 1962

Dänischer Physiker

Elektronen auf erlaubten (stabilen) atomaren Bahnen müssen die Kohärenzbedingung erfüllen, d.h die Wellenlänge muss ein Vielfaches des Kreisumfangs sein!



$$2\pi r = n\lambda$$

Der Radius kann nicht beliebig gewählt werden, sondern muss ein Vielfaches des Bohr'schen Atomradius a_{Bohr} sein:

$$r_n = a_{Bohr} n^2 \; (n = 1,2,3\ldots)$$

$$\text{mit } a_{Bohr} = 0.0529\text{nm}$$

Wellenlänge von Elektronen auf stabilen Elektronen-bahnen

Mit:

$$r_n = a_{Bohr} n^2$$

Einsetzen liefert:

$$2\pi r = 2\pi a_{Bohr} n^2 = n\lambda$$

Damit sind die Wellenlängen der Elektronen auf den erlaubten Bahnen diskret und Vielfache des Bohr'schen Atomradius:

$$\lambda_n = 2\pi a_{Bohr} n$$

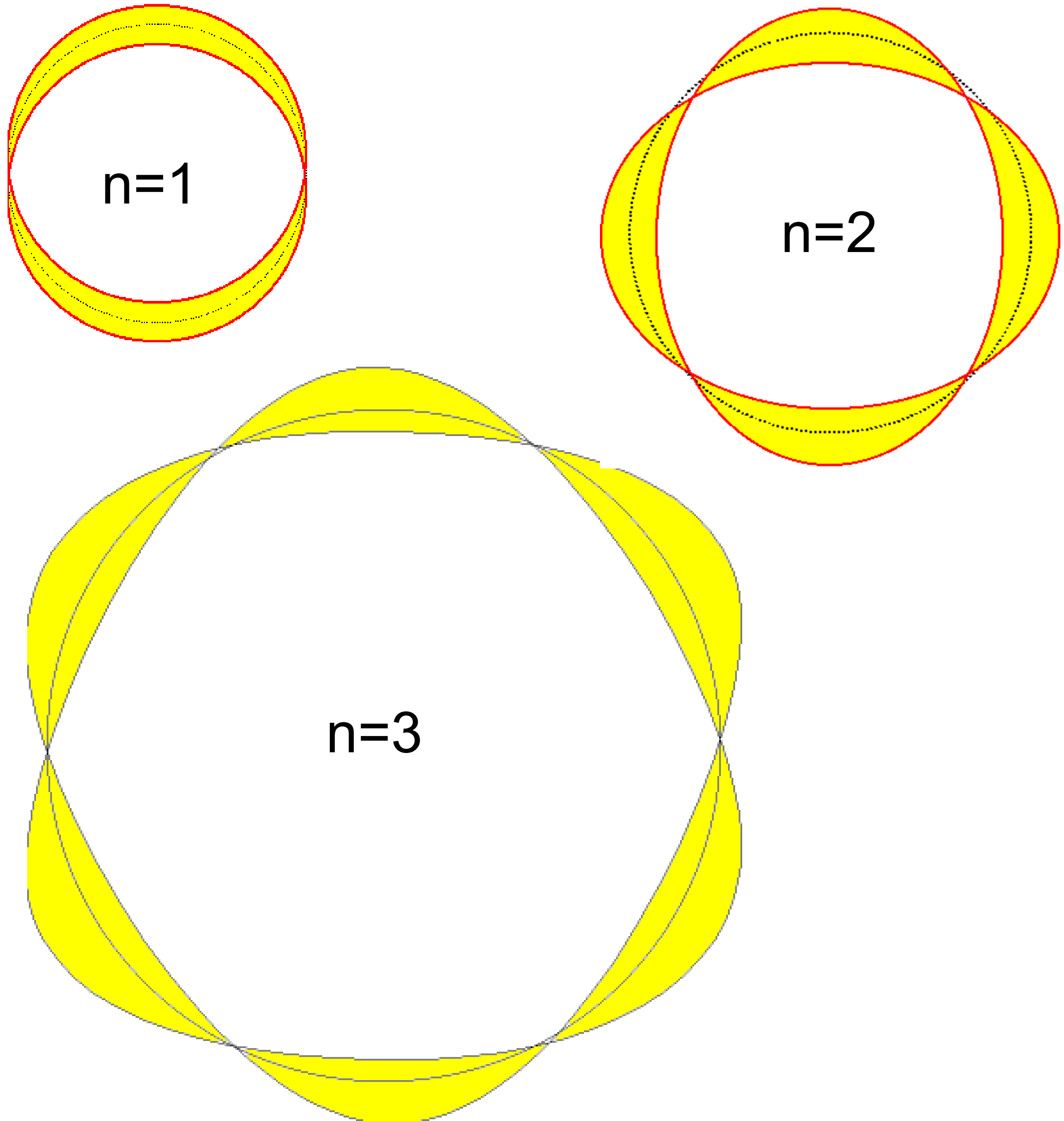
In der n-ten Bohr'schen Bahn sind n Elektronenwellen:

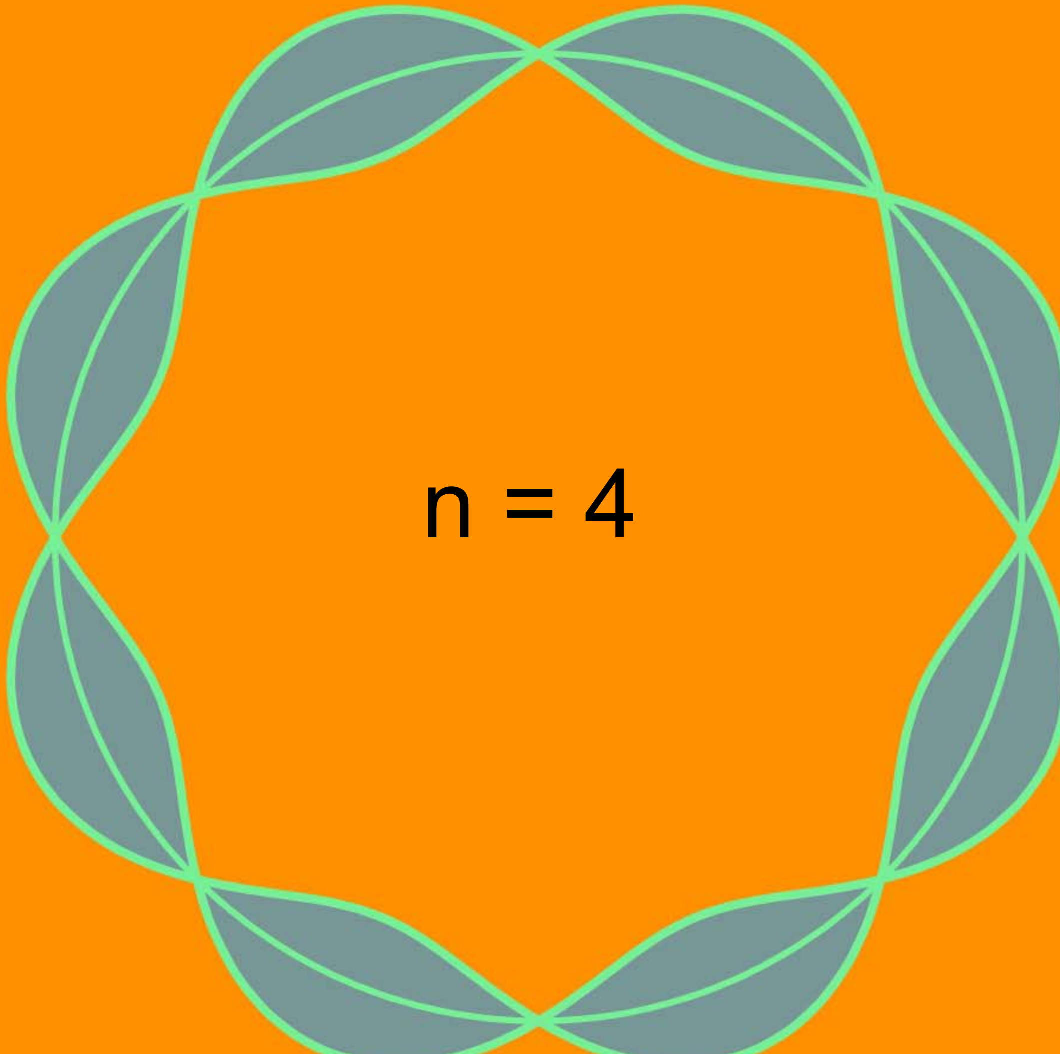
$$\frac{2\pi r_n}{\lambda_n} = \frac{2\pi a_{Bohr} n^2}{2\pi a_{Bohr} n} = n$$

Elektronenwellen nach dem Bohr - Modell

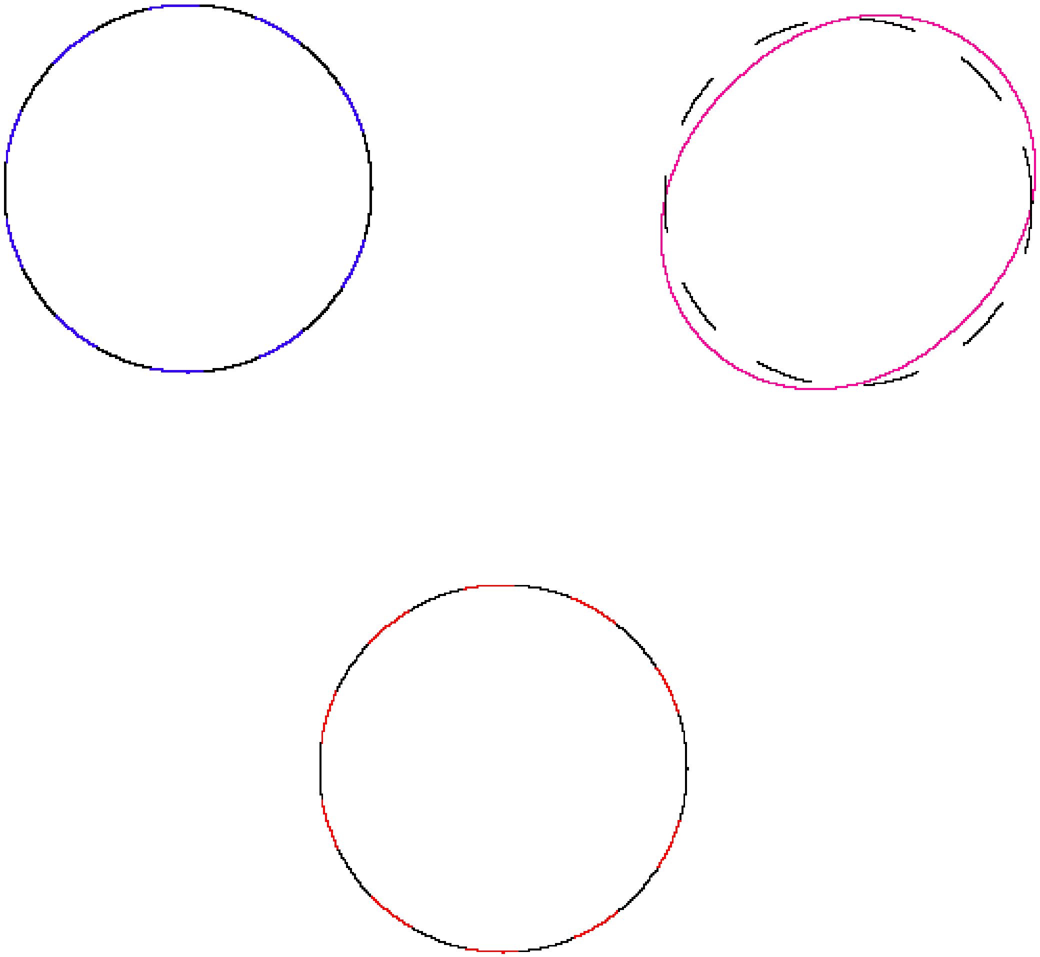
$$\frac{2\pi r_n}{\lambda_n} = \frac{2\pi a_{Bohr} n^2}{2\pi a_{Bohr} n} = n$$

Zahl der Wellenlängen pro Bohr‘scher Bahn:




n = 4

Animation von stehenden Elektronen-wellen nach dem Bohr - Modell



: [www.upscale.utoronto.ca/.../ BohrModel/BohrModel.html](www.upscale.utoronto.ca/.../BohrModel/BohrModel.html)

Impuls von Elektronen auf stabilen Elektronen-bahnen

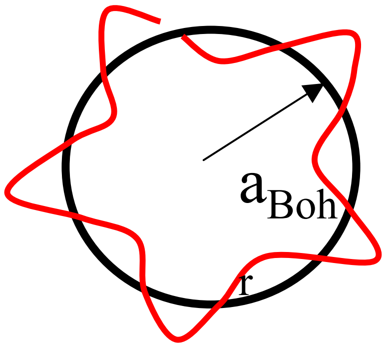
Nach de Broglie haben die Elektronen auf den stabilen Elektronenbahnen den diskreten Impuls:

$$p_n = \frac{h}{\lambda_n} = \frac{h}{2\pi a_{Bohr}\, n}$$

n ist die Bahnquantenzahl, auch Hauptquantenzahl genannt.

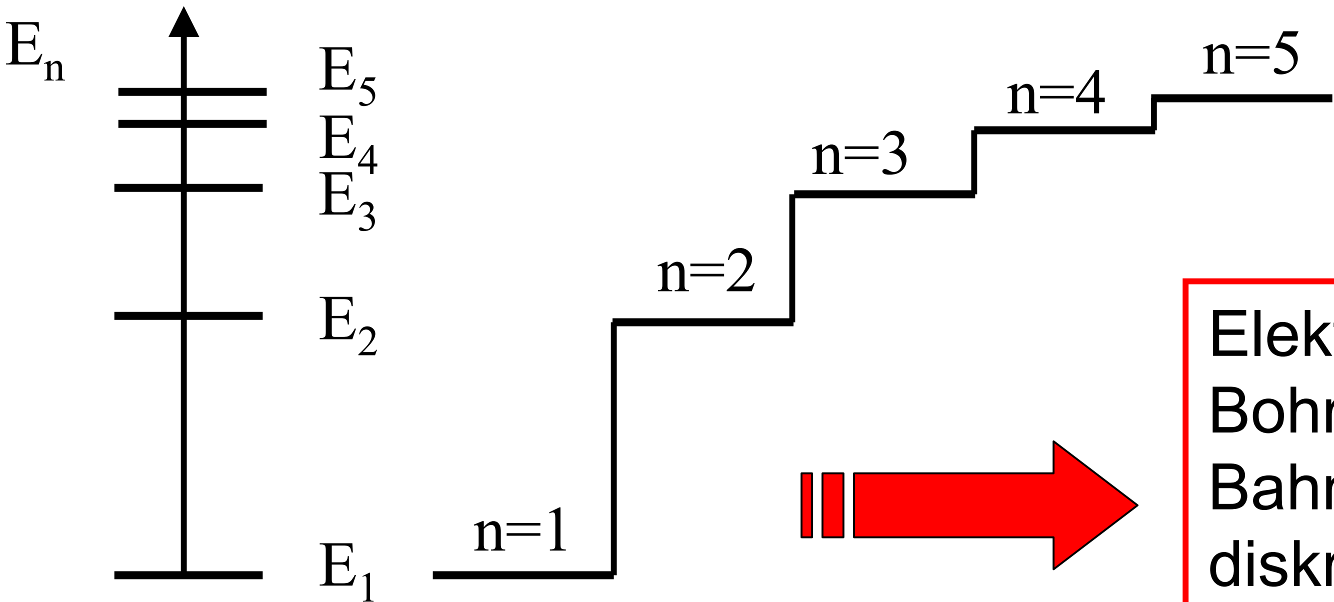
Mit $E \sim p^2$ haben die Elektronen auf ihren stabilen Bahnen auch diskrete bzw. genau bestimmte Energien.

Kinetische Energie der Bohr‘schen Elektronen



$$E_{kin} = \frac{p_e^2}{2m_e} = \frac{1}{2m_e}\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 = \frac{1}{2m_e}\left(\frac{h}{2\pi a_{Bohr}\, n}\right)^2$$

$$= \frac{h^2}{8\pi^2 m_e a_{Bohr}^2}\frac{1}{n^2} = E_1 \frac{1}{n^2}, \quad n = 1,2,3\ldots$$

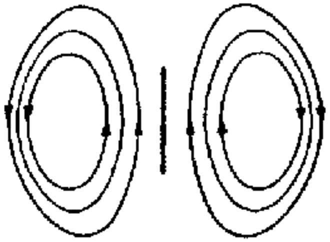


Elektronen auf Bohr‘schen Bahnen haben diskrete Energiewerte

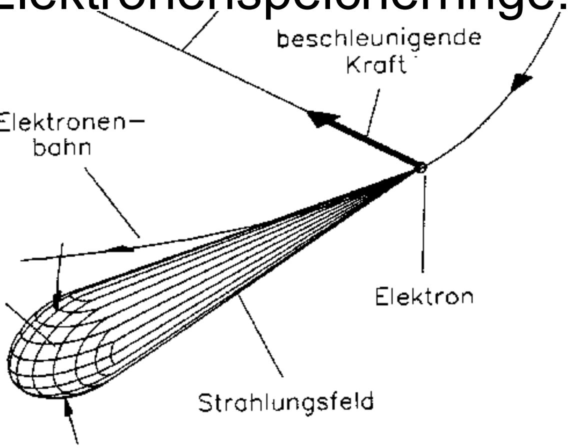
2. Bohr‘sches Postulat:

Beschleunigte Elektronen strahlen elektromagnetische Wellen ab und verlieren dabei Energie.......

Antenne:



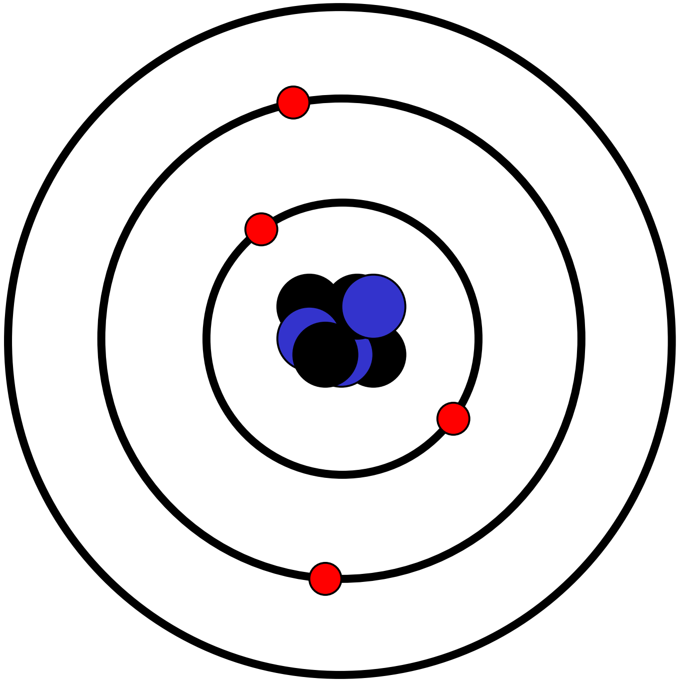
Elektronenspeicherringe:



.....aber Elektronen auf ihren erlaubten Bohr‘schen Bahnen strahlen nicht!

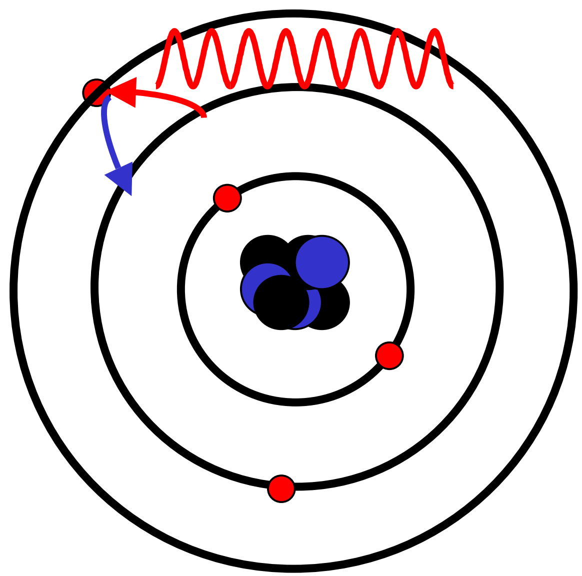
.....aber Elektronen auf ihren erlaubten Bahnen strahlen nicht, **solange sie im Grundzustand sind!**

Wenn Elektronen die Atomschalen nach den bekannten Prinzipien von Innen nach Außen auffüllen, dann sind die Atome stabil, und ihre potentielle Energie ist minimal.

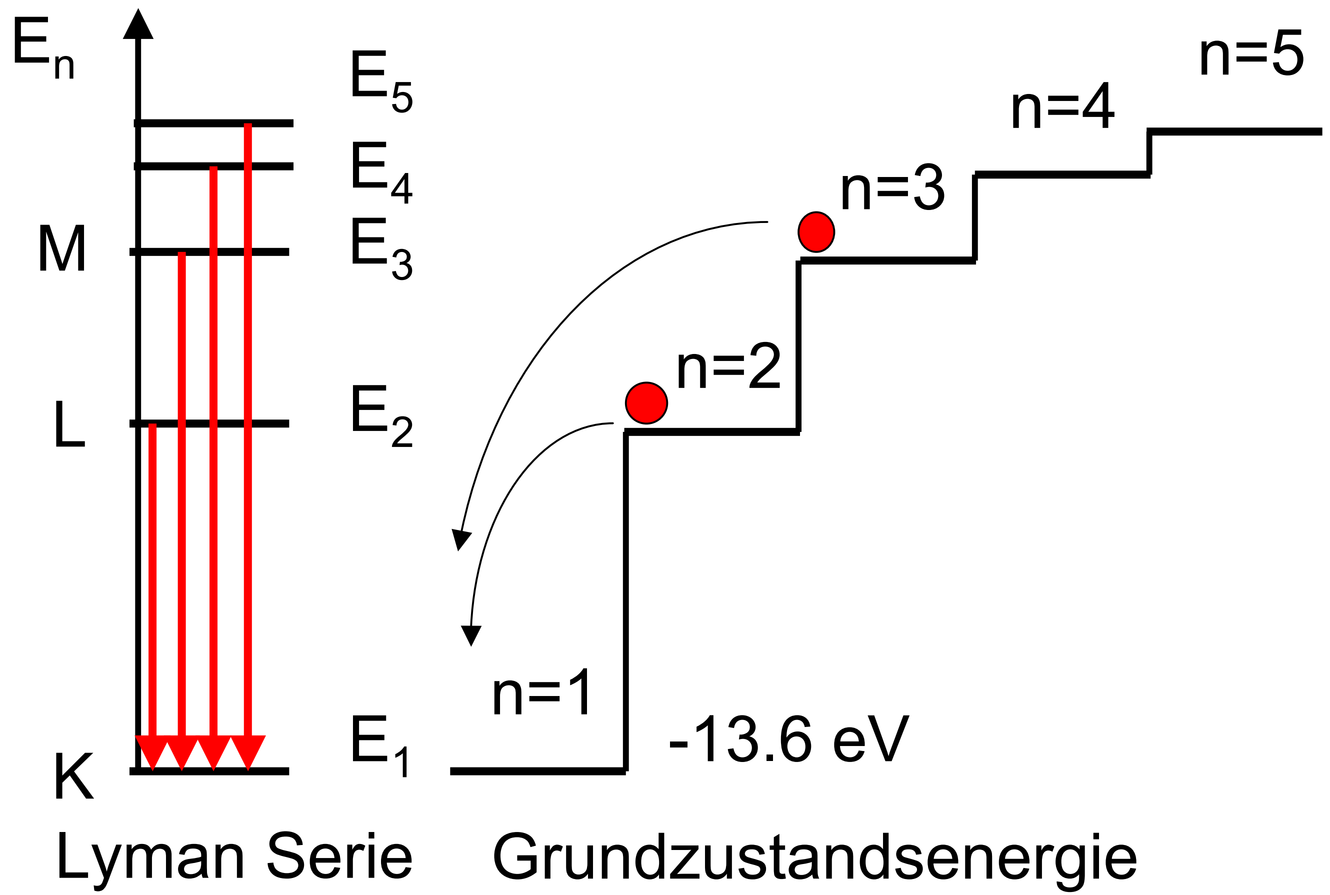


Strahlungs-übergang bei Anregung

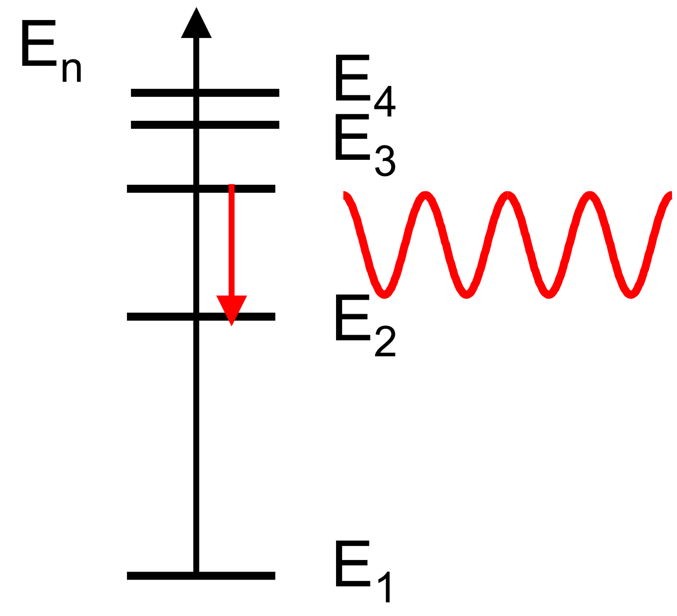
Anheben eines Elektrons vom Grundzustand auf eine höheres Energieniveau (höhere Schale) führt zur Instabilität. Das Elektron fällt in kürzester Zeit (10^{-16}s) zurück auf seine ursprüngliche Bahn mit der geringeren potentiellen Energie. Dabei wird ein Quant elektromagnetischer Strahlung (Photon) emittiert, dessen Energie der Energiedifferenz der Elektronenbahnen entspricht.



Wasserstoff - Atom



Abgestrahlte Photonen-energie



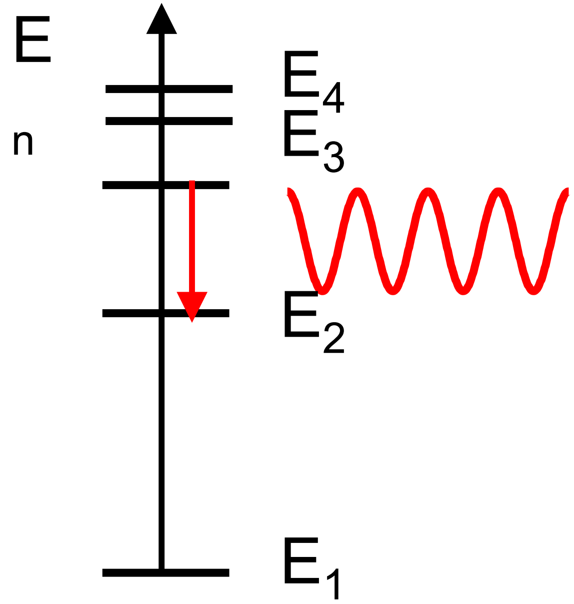
$$E_{Photon} = hf = E_n - E_m$$

z.B. für den Übergang von n=3 nach n=2 (Balmer Serie)

$$f = \frac{m_e a^2}{2\pi^2 h}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)$$

ν ist die Frequenz der emittierten Strahlung.

Photonen-energie und Rydberg-Konstante



Allgemein gilt für die Frequenz der abgestrahlten Photonen beim Übergang von einem höheren Energieniveau n_2 auf ein niedrigeres Energieniveau n_1:

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

Rydberg-Konstante

$$R_H = 109677 \mathrm{cm}^{-1}$$

Quiz:

Die Elektronenniveaus im Wasserstoffatom sind diskret. Ihre Energien sind gegeben durch (n=Hauptquantenzahl, E_1 = Grundzustandsenergie):

A $\quad E_n = E_1 \times n$

B $\quad E_n = E_1 /n$

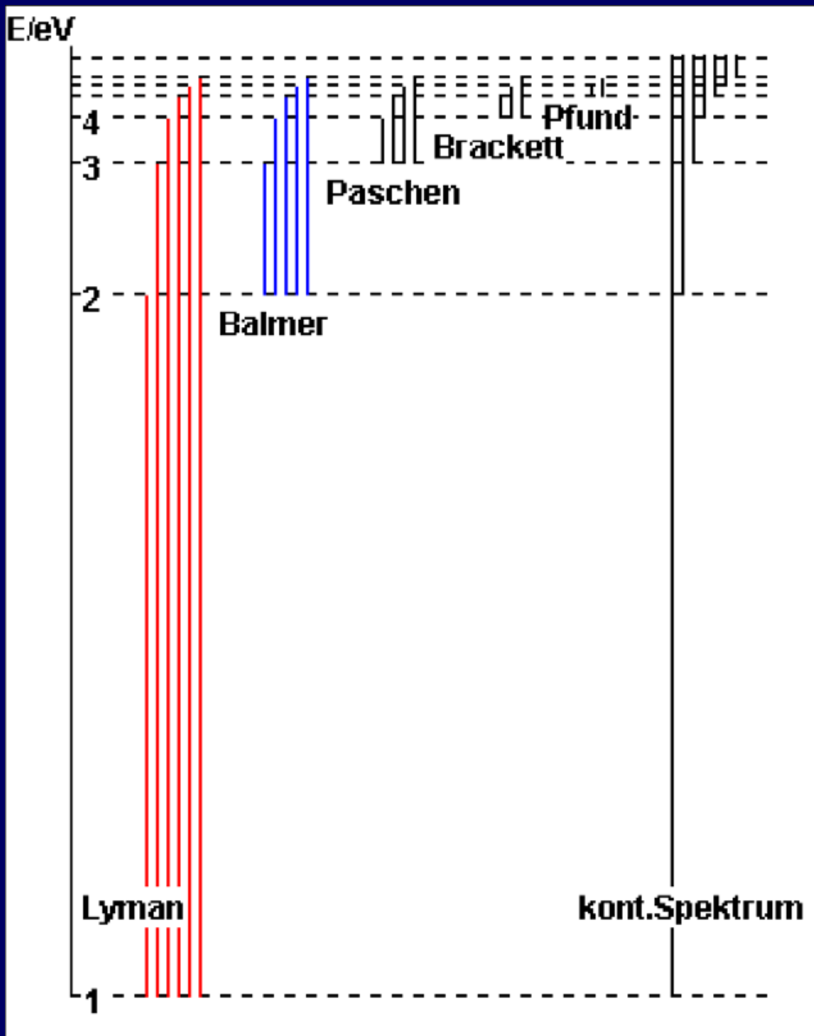
C $\quad E_n = E_1 \times n^2$

D $\quad E_n = E_1 /n^2$

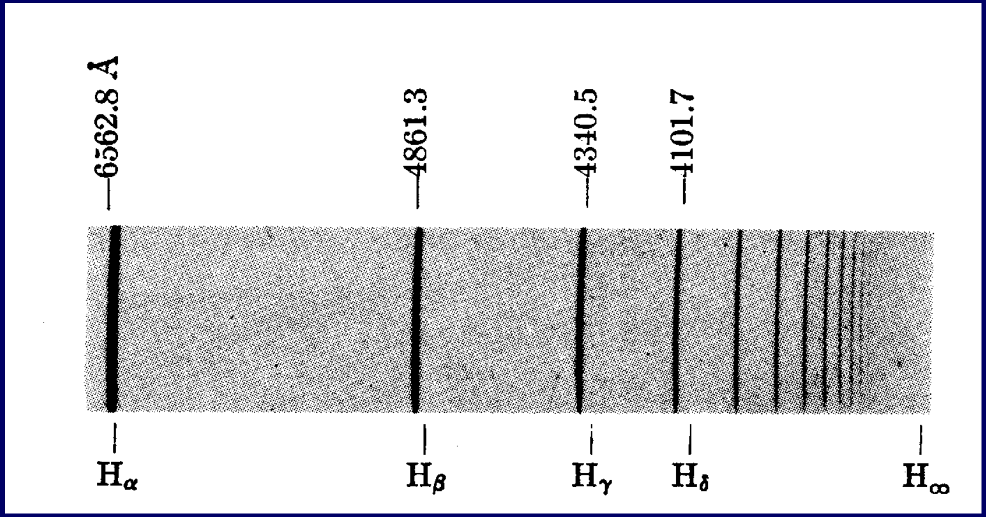
E $\quad E_n = (E_1 / n)^2$

Antwort D ist richtig!

Wasserstoff-Spektren

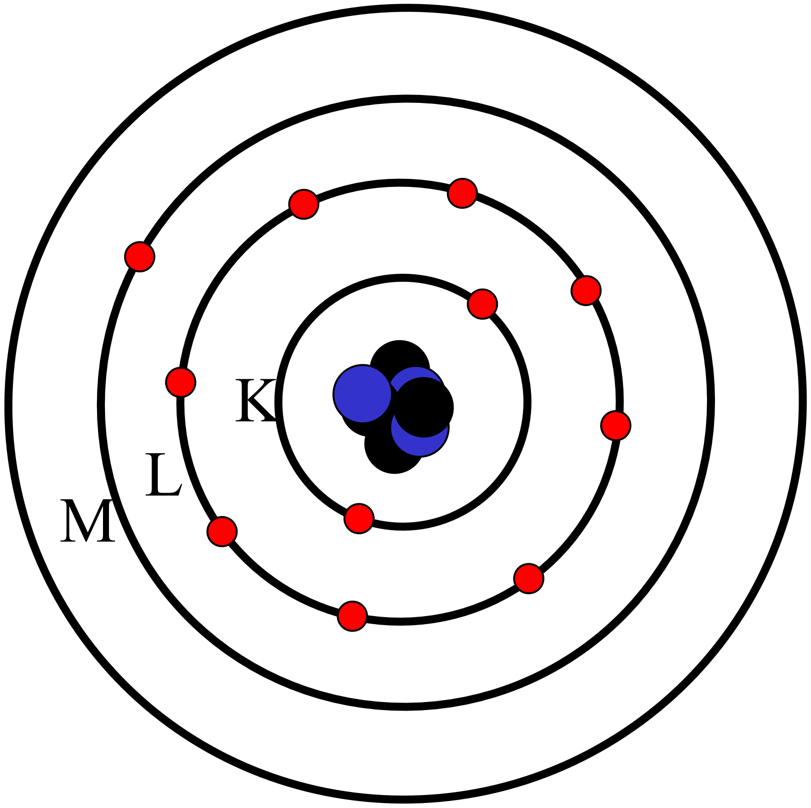


Balmer Emissions-Spektrum von Wasserstoff



Die scharfen Emissionslinien sind ein Beweis für die Diskretheit des Energieniveaus in Atomen

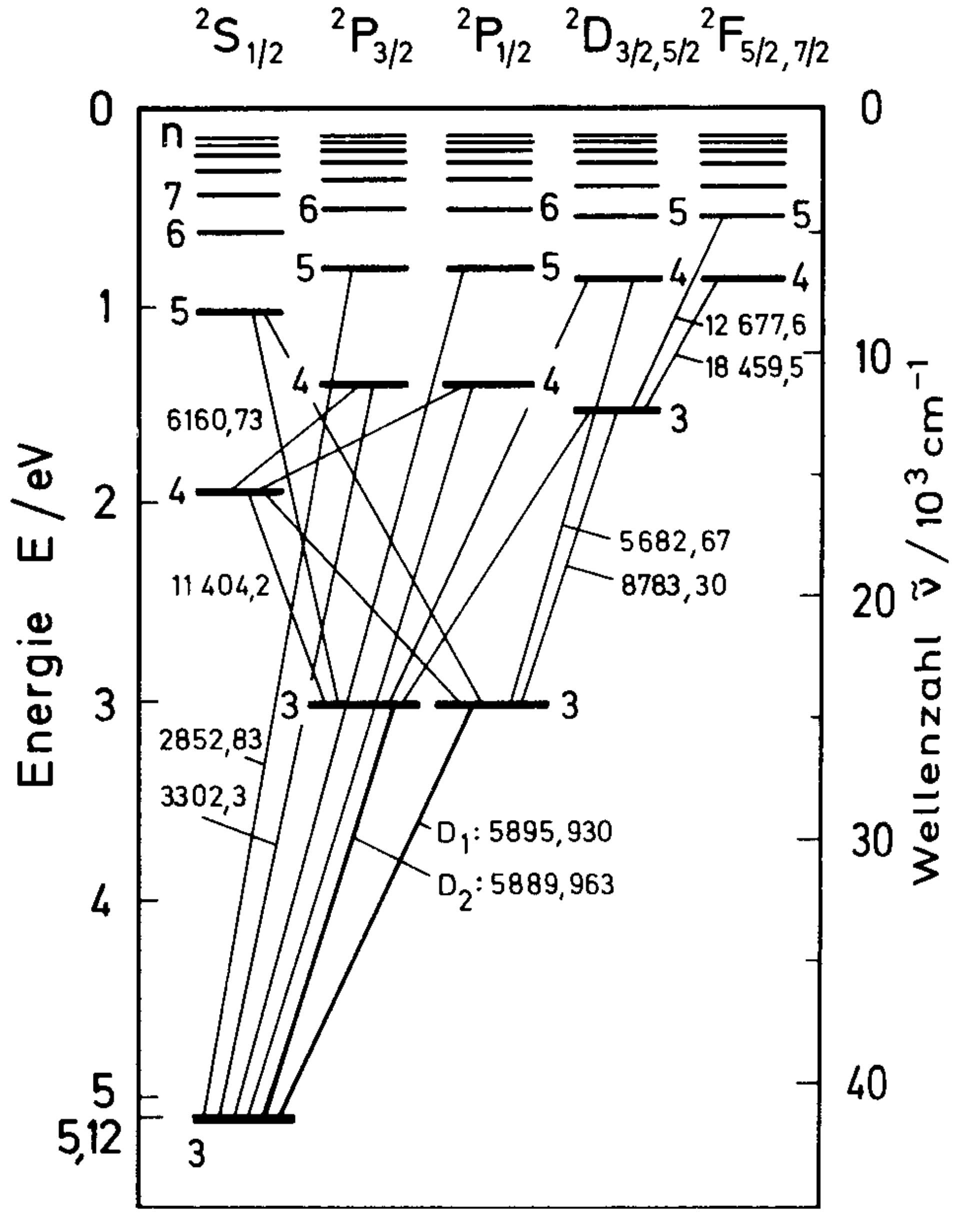
Wasserstoff-ähnliches Atom: Natrium



Natrium Emissionsspektrum:

Na zeigt eine charakteristische Doppellinie im gelben Bereich, sog. Na D-Doublett.

Erlaubte Strahlungsübergänge von Natrium



Quiz:

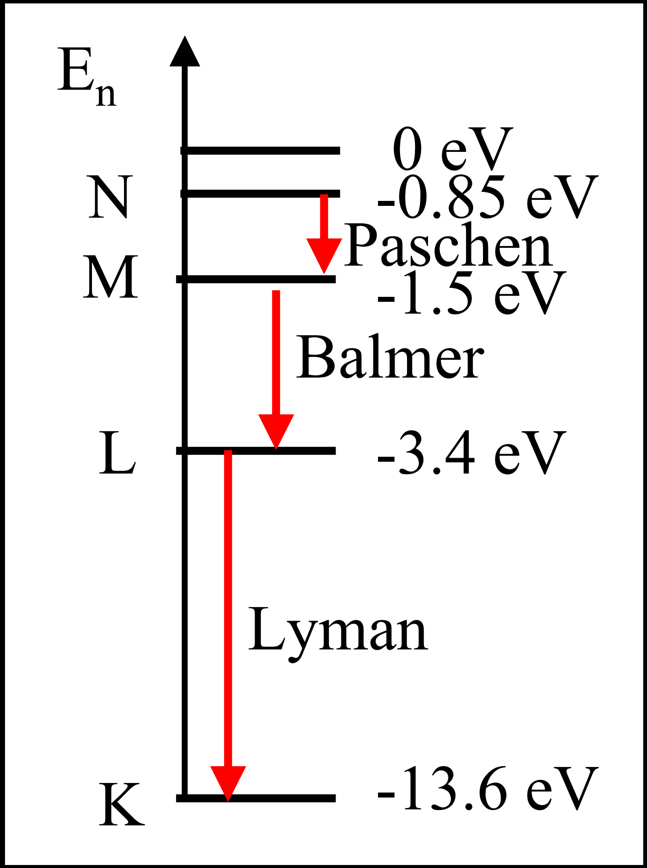
Zur Anregung von Wasserstoffatomen mit Hilfe von Elektronen steht eine Elektronenquelle mit 10 eV zur Verfügung. Welche Übergangsserie kann damit angeregt werden?

A Lyman

B Balmer

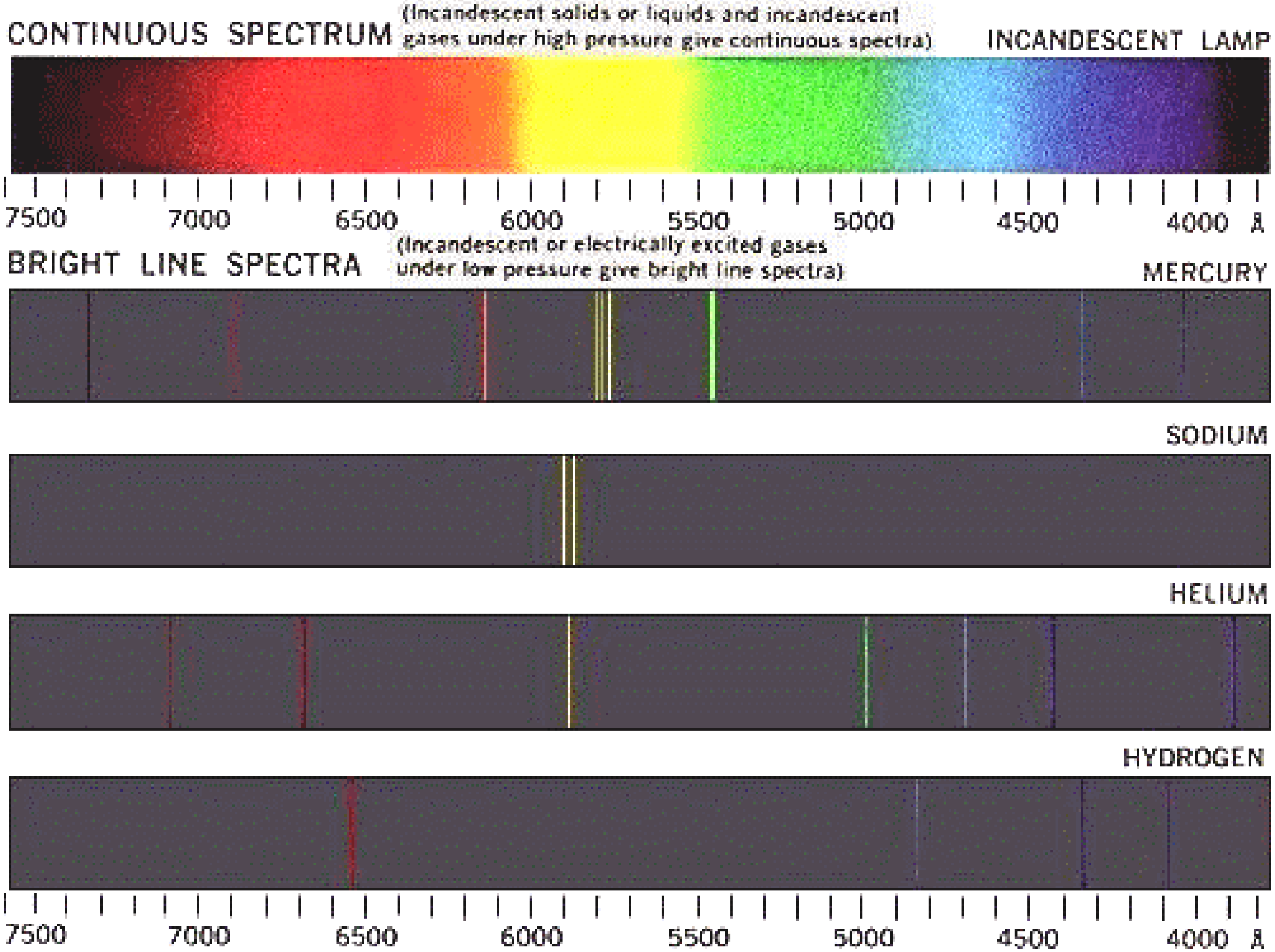
C Paschen

Minimalenergien für Übergangsserien



Balmer und Paschen aber nicht Lyman!

EMISSION SPECTRA



Zusammenfassung:

- 1. Bohr´sche Postulat: Elektronen im Grundzustand erfüllen die Kohärenzbedingung, d.h. ihre Wellenlänge ist ein Vielfaches des Kreisumfangs.
- Elektronen auf Bohr´schen Bahnen haben diskrete Energiewerte
- 2. Bohr´sches Postulat: Elektronen im Grundzustand strahlen nicht.
- Atomare Spektren in Emission und Absorption sind diskret und entsprechen der Energiedifferenz von erlaubten Energieniveaus.