Atomphysik

In der Atomphysik wird das physikalische Verhalten der Atomhülle untersucht, mit entscheidender Bedeutung auch für die chemische Bindung.
(Böse Zungen behaupten auch, die Chemie sei bloß die Physik der Atomhülle ;-))

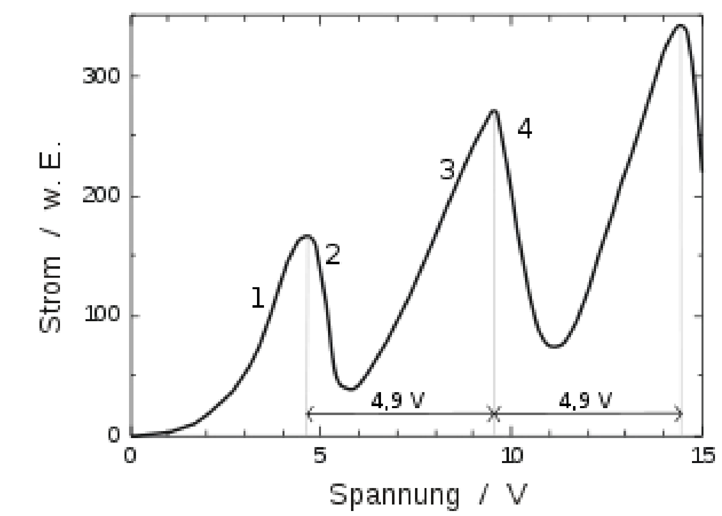
Weiter wird sich zeigen, dass Impuls und Energie von Atomen gequantelte Größen sind.

Die Entwicklung der Atommodelle Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts führten deshalb zwangsläufig zu einem Bruch mit der klassischen Physik. Die Quantenphysik wurde in der Atomphysik weiterentwickelt, sodass die Erfolge bei der Beschreibung von Atomen ihr endgültig zum Durchbruch verhalfen.

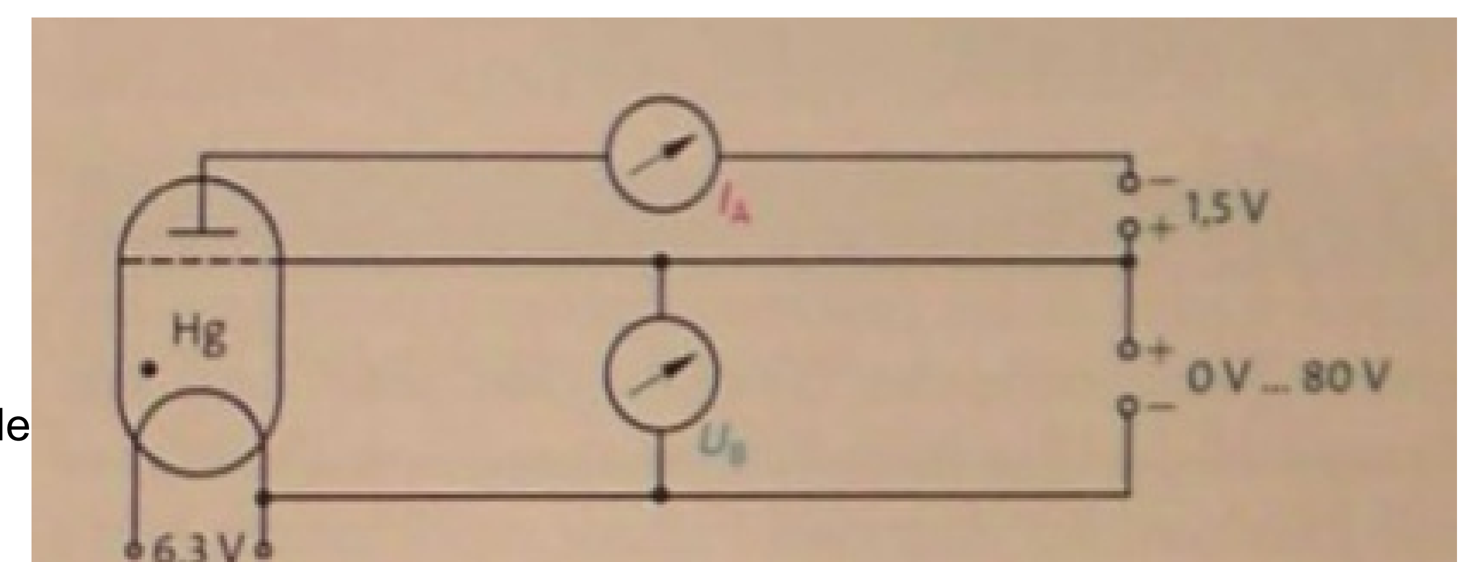
Energieaustausch mit Atomen

Die quantenhafte Absorption (mit anschließender Emission)

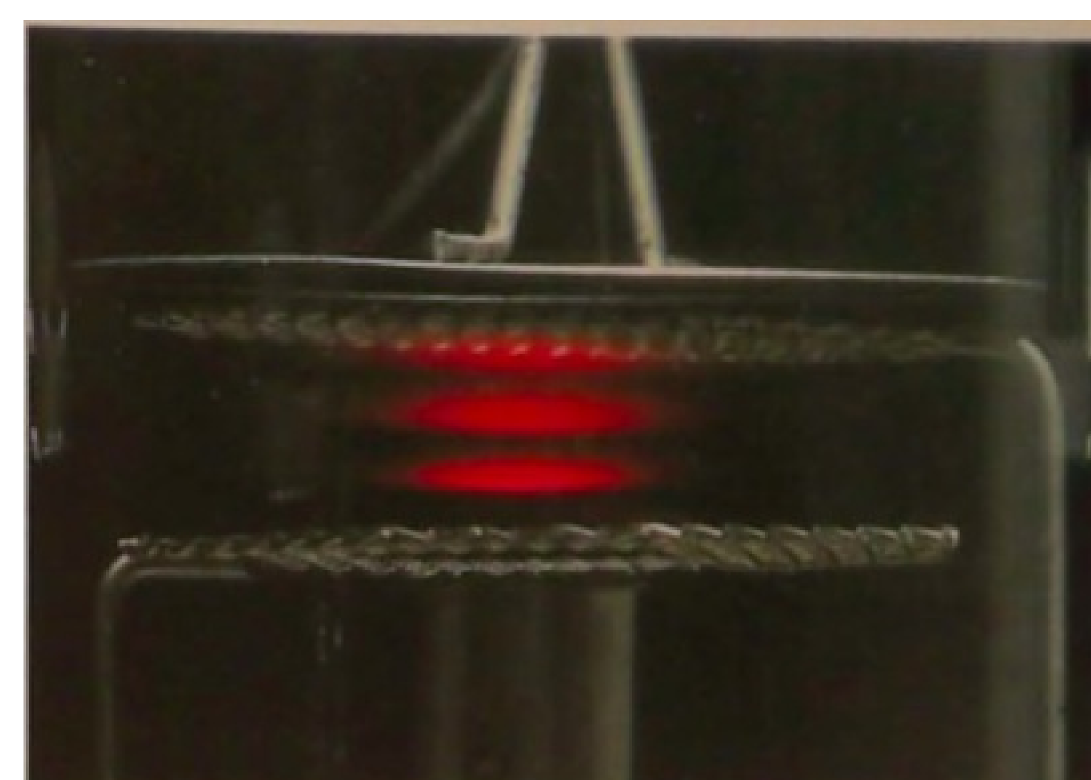
Der Franck-Hertz-Versuch



Anode
Gitter
Kathode

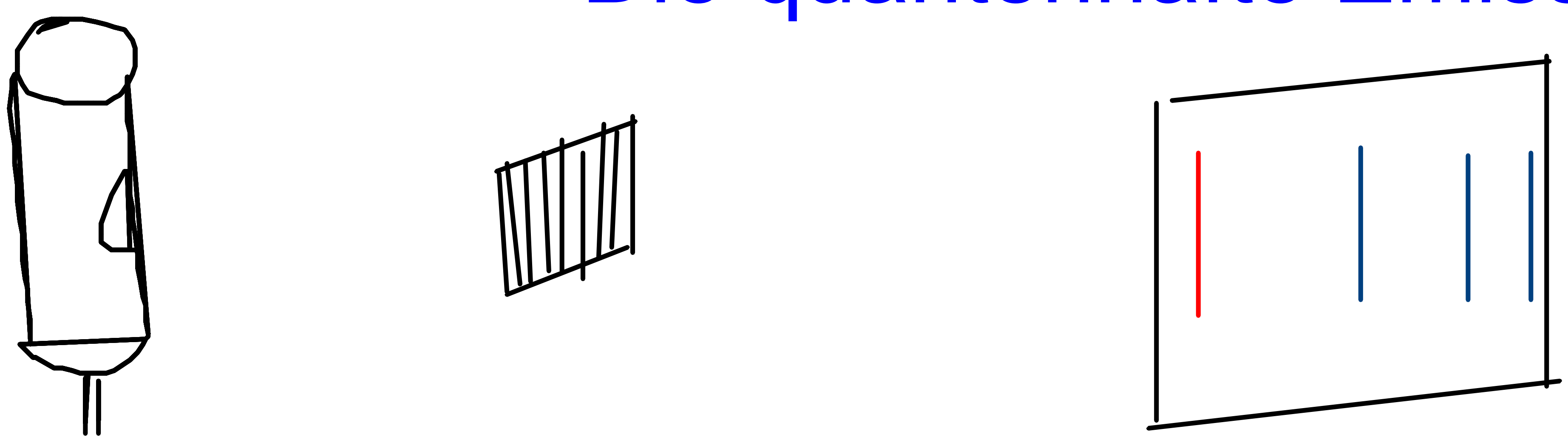


407.2 Schaltbild zum Franck-Hertz-Versuch mit Quecksilberdampf



407.1 Franck-Hertz-Versuch mit Neon: Leuchtschichten bei einer Beschleunigungsspannung von 80 V

Die quantenhafte Emission



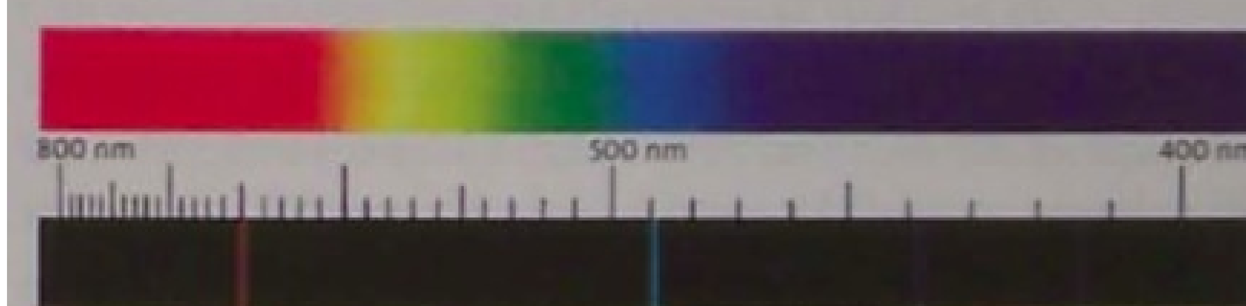
Wasserstofflampe opt. Gitter Schirm Linienspektrum

Die Aussendung (Emission) von Licht eines Gases in diskreten Linien bedeutet, dass die Gasatome nur bestimmte, für das Gas charakteristische Energiebeträge abgeben.

J. J. Balmer fand 1884 das Bildungsgesetz

$$f = C\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}\right),$$

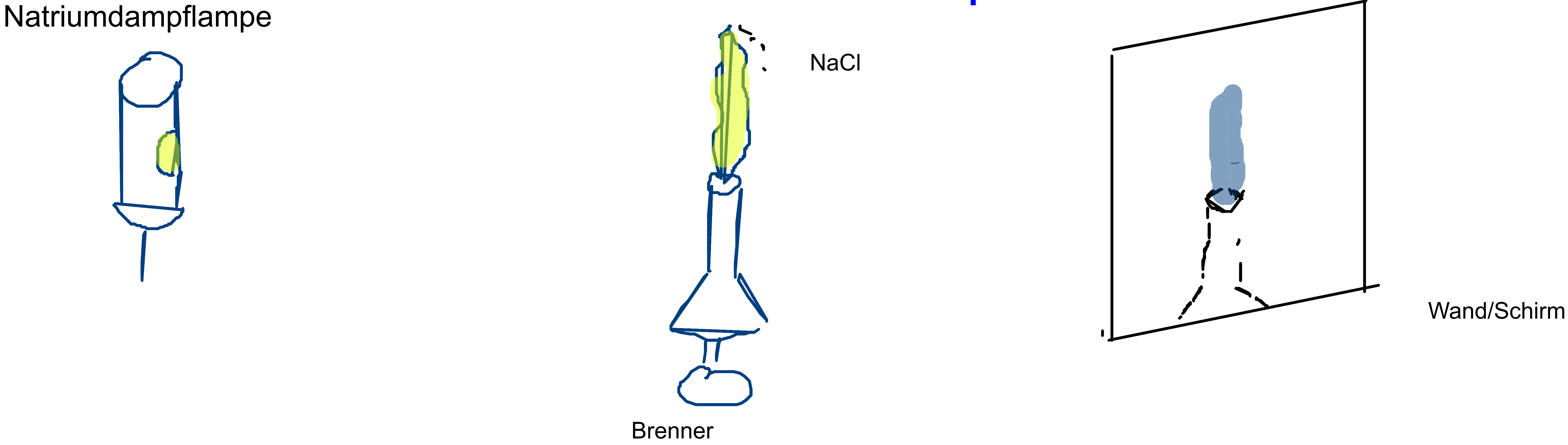
die sogenannte **Balmer-Formel** mit der Konstanten $C = 3{,}288 \cdot 10^{15}$ Hz. Durch Einsetzen von $m = 3, 4, 5$ und 6 erhält man die Frequenzen f der vier bekannten Wasserstofflinien im sichtbaren Teil des Spektrums.



Linie	Wellenlänge λ in nm	Frequenz f in Hz	Energie $E = hf$
H_α	656	$4{,}57 \cdot 10^{14}$	$3{,}03 \cdot 10^{-19}$ J = 1,89 eV
H_β	486	$6{,}17 \cdot 10^{14}$	$4{,}09 \cdot 10^{-19}$ J = 2,55 eV
H_γ	434	$6{,}91 \cdot 10^{14}$	$4{,}58 \cdot 10^{-19}$ J = 2,86 eV
H_δ	410	$7{,}31 \cdot 10^{14}$	$4{,}84 \cdot 10^{-19}$ J = 3,02 eV

409.2 Linien des Wasserstoffspektrums im sichtbaren Bereich im Vergleich zu dem kontinuierlichen Spektrum einer Glühlampe

Die Resonanzabsorption



Die Flamme ist zunächst durchsichtig für Na-Licht, wirft aber einen Schatten, wenn NaCl in ihr verdampft wird.

Erklärung:

Atome absorbieren genau die Energiebeträge, die sie auch emittieren.

(Der Na-Dampf in der Flamme absorbiert das Na-Licht und emittiert es anschließend in alle Richtungen gleichverteilt, wodurch auf der Wand weniger ankommt als vorher: Schatten.)

Das Bohrsche Atommodell

Exkurs Rotation

Vgl. Translation (geradlinige Bewegung) | Rotation $(s \perp r)$

s

$$v = \frac{ds}{dt}$$

$$a = \frac{dv}{dt}$$

m

$p = m\, v$

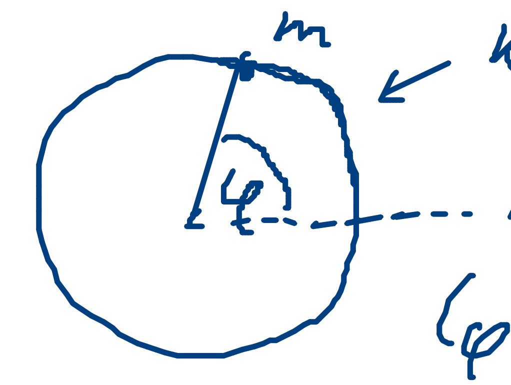
$$F = \dot{p} = \frac{dp}{dt} = m \frac{dv}{dt} + \frac{dm}{dt} v$$

Spezialfall: $F = m\, a$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$$

$\varphi \Rightarrow s = r \cdot \varphi$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow v = r \cdot \omega$$



Kreisbogen

$s = r\, \varphi$

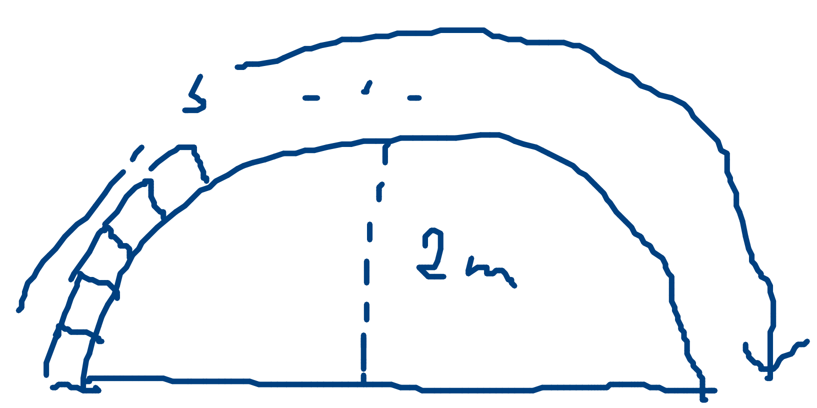
(φ in Bogenmaß)

$J = m \cdot r^2$ Trägheitsmoment

$\boxed{L = r \cdot p = r\; m \cdot v}$ Drehimpuls

$M = r\, \bar{F}$ Drehmoment

$$E_{rot} = \frac{1}{2} J \omega^2$$



$s = 6{,}28\,m$

Das Bohrsche Atommodell

1. Bohrsches Postulat:
Das Elektron bewegt sich um den Atomkern auf einer Kreisbahn.
Der Drehimpuls L = rmv kann dabei nur folgende Werte annehmen:

$$(mrv =) \quad L = n \frac{h}{2\pi} \qquad (n = 1, 2, 3, \ldots) \qquad \left(\hbar = \frac{h}{2\pi}\right)$$

Die Bewegung der Elektronen erfolgt strahlungsfrei, also ohne Abgabe von Energie in Form von elektromagn. Strahlung (Widerspruch zur klassischen Physik; Stichwort Hertzscher Dipol).

2. Bohrsches Postulat:
Elektronen können nur Energie aufnehmen oder abgeben, wenn sie von einer zur anderen übergehen. Der Energieverlust erfolgt durch Abgabe eines Photons, die Energiezunahme durch Absorption eines Photons:

$$\Delta E = E_n - E_m = h f$$

$$E_n = E_{kin,n} + E_{pot,n} = \frac{1}{2} m v_n^2 + \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_n}$$

im H-Atom: $|Q_1| = |Q_2| = e$

$$= \frac{1}{2} m v_n^2 - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n}$$

Damit sich ein Körper auf einer Kreisbahn bewegt, muss eine Kraft - hier die elektrische - als Zentripetalkraft wirken:

$$m \frac{v^2}{r_n} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n^2} \qquad | \cdot r_n^2$$

$$\Leftrightarrow L v_n = m r_n v_n v_n = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} \qquad (*)$$

1. Post.

$$\Rightarrow n \frac{h}{2\pi} v_n = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}$$

$$\Leftrightarrow v_n = \frac{e^2 \, 2\pi}{4\pi\varepsilon_0 h n} = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 h n} \qquad (**)$$

$$\Rightarrow E_{k,n} = \frac{1}{2} m \frac{e^4}{4\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

(**) in (*), nach r_n auflösen:

$$r_n = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 v_n^2 m} =$$

$$\Rightarrow E_{pot,n} = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n} =$$

$$\Rightarrow E_n = E_{kin,n} + E_{pot,n} = \ldots = -\frac{1}{8} \frac{m e^4}{\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$= -2{,}18 \cdot 10^{-18} \text{ J} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$= -13{,}6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}$$

Bsp.: e^- fällt von 3 auf 2 ⇒ Photon mit der Energie

$$\Delta E = E_3 - E_2 = -\frac{1}{8} \frac{m e^4}{\varepsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{2^2}\right)$$

$$= \qquad \text{J}$$

HA:

$$\Rightarrow f = \frac{\Delta E}{h} =$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} =$$

$$\Rightarrow \quad E_{kin,n} = \frac{1}{2} m \frac{e^4}{4 \varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

(**) in (*), nach r_n auflösen.

$$r_n = \frac{e^2}{4\pi \varepsilon_0 v_n^2 m} = \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m e^2} n^2$$

$$\Rightarrow E_{pot,n} = -\frac{e^2}{4\pi \varepsilon_0 r_n} = -\frac{e^2 \pi m e^2}{4\pi \varepsilon_0 h^2 \varepsilon_0 n^2} = -\frac{1}{4} \frac{e^4 m}{\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$\Rightarrow E_n = E_{kin,n} + E_{pot,n} = \ldots = -\frac{1}{8} \frac{m e^4}{\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$= -2{,}18 \cdot 10^{-18}\,\mathrm{J} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$= -13{,}6\,\mathrm{eV} \cdot \frac{1}{n^2}$$

siehe Termschema

Bsp.: e^- fällt von 3 auf 2 $\Rightarrow$ Photon mit der Energie

$$\Delta E = E_3 - E_2 = -\frac{1}{8} \frac{m e^4}{\varepsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$= \qquad \mathrm{J}$$

HA:

$$\Rightarrow \quad f = \frac{\Delta E}{h} = 4{,}56 \cdot 10^{14}\,\mathrm{Hz}$$

$$\Rightarrow \quad \lambda = \frac{c}{f} = 657\,\mathrm{nm}$$

Ein paar kleine Übungen zum Bohrschen Atommodell:

S 409/1, 3

S 411 / 1 – 3

zu 3. $F_G = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$

↑ Gravitationskonstante

$\left(\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N m^2}{kg^2}\right)$

1) $r_1 = \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m e^2} = 5{,}3 \cdot 10^{-11}\, m$

$r_2 = r_1 \; 4 = 2{,}1 \; 10^{-10}\, m$

$r_3 = r_1 \cdot 9 = 4{,}77 \; 10^{-10}\, m$

$\left[r_1 \approx 0{,}5 \; 10^{-10} m = 0{,}5 \; Å \right.$

$\left. (\text{Ångström}) \right]$

3) $\frac{F_C}{F_G} = \frac{e^2 \; r^2}{4\pi \varepsilon_0 r^2 \; \gamma \, m_1 m_2} = \frac{e^2}{4\pi \varepsilon_0 \gamma \, m_1 m_2} = 2{,}3 \cdot 10^{39}$

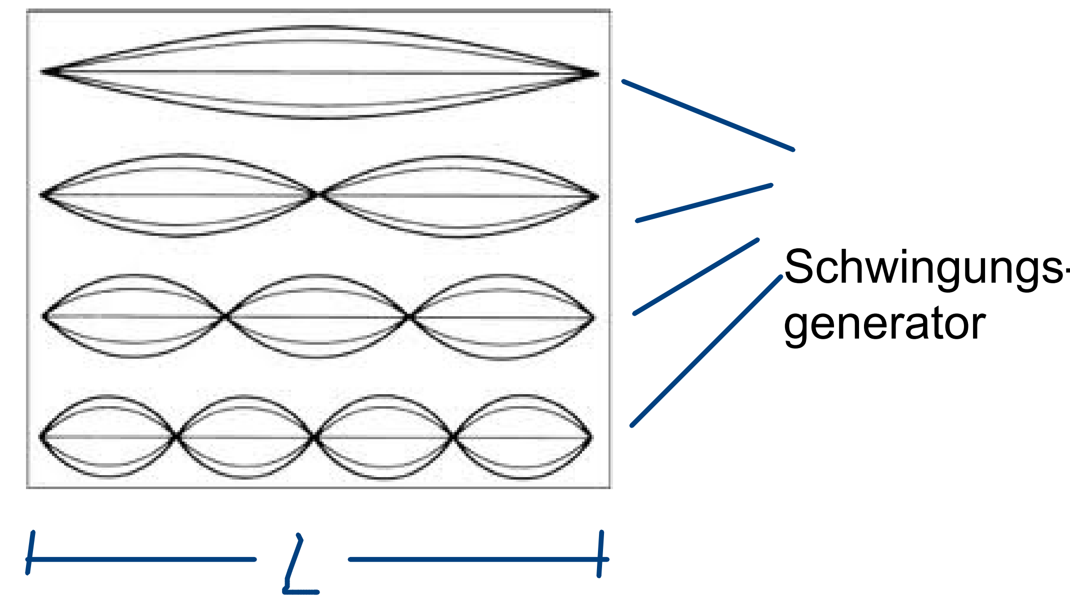
411/1: $\Delta E = E_1 - E_\infty = 13{,}6\, eV \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right) = 13{,}6\, eV$

$\Rightarrow f = \frac{\Delta E \,(\text{in } J)}{h} = 3{,}28 \cdot 10^{15}\, Hz \Rightarrow \lambda = 91\, nm$

Potentialtopfmodell
Spektroskopie

Mechanische Analogie:
Stabile Schwingungszustände auf einem Seil
sind stehende Wellen mit

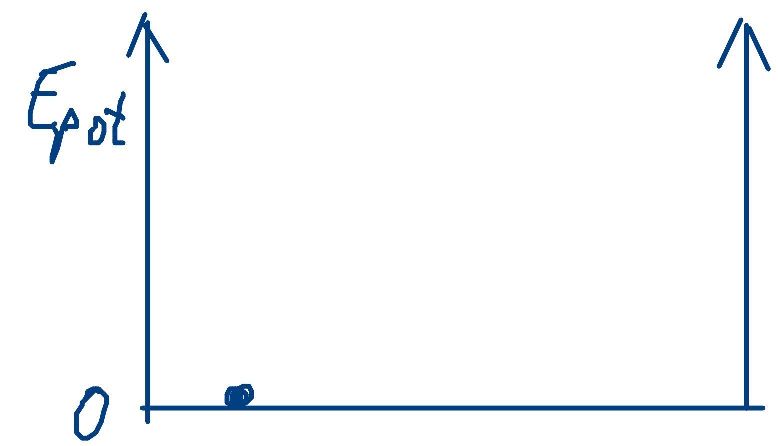
$$L = n\frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3.$$



$$E = E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} \qquad (p = mv)$$

$$= \frac{h^2/\lambda^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\,\frac{4L^2}{n^2}} \qquad \left(p = \frac{h}{\lambda}\right)$$

$$\Rightarrow E_n = \frac{h^2}{8mL^2}\,n^2$$



„Spekulation": Die Wellenfkt ψ bildet stehende Wellen mit $L = n\frac{\lambda}{2}$

$$\Leftrightarrow \lambda = \frac{2L}{n}$$

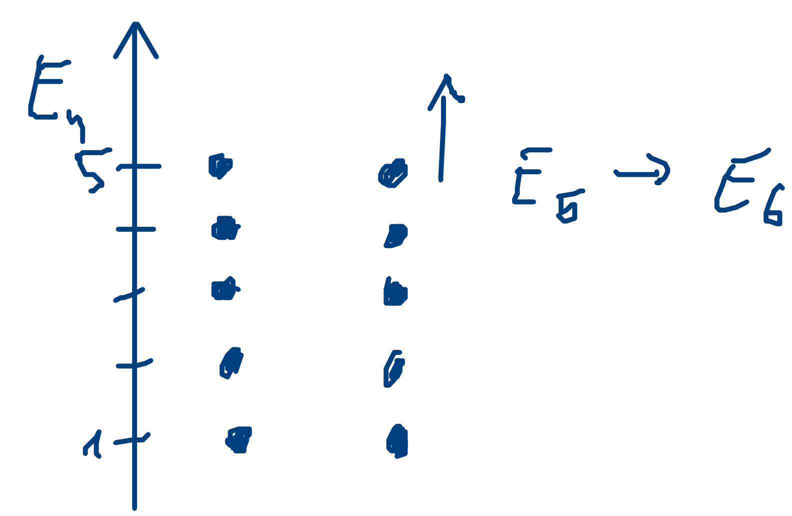
$$E_6 - E_5 = \frac{h^2}{8mL^2}(36 - 25)$$

Bsp $10\,e^-$

$$\Delta E =$$

$$L = N\,a = 10 \cdot 0{,}139\,\text{nm}$$

$$\Delta E = hf = h\frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \underline{\underline{579\,\text{nm}}}$$



$E_n = \frac{h^2}{8mL^2} n^2$

hat z.B. zur Folge,

- dass die Energie eines Elektrons wächst, wenn man versucht, es auf kleinen Raum (L) einzusperren; das korrespondiert mit der Heisenbergschen Unschärferelation; (HUR)

- dass sich eine geringere Gesamtenergie für die beiden Elektronen ergibt, wenn sich 2 H-Atome zu einem H_2 -Atom verbinden. (*)

HUR. $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$ $\left(\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2\pi} \right)$

(*) Bsp - Rechnung.

H-Atom als Pot - T. der Länge $L \approx 2 \cdot 10^{-10}$ m

$\Rightarrow$ niedrigste Energie für das e^-. $E_1 = 9{,}4\,eV$ | für 2: $E_{ges} = 18{,}8\,eV$

2 H-Atome als Pot - T der Länge $2 \cdot L = 4 \cdot 10^{-10}$ m

$\Rightarrow$ niedrigste E für ein e^-. $E_1 = 2{,}35\,eV$ | für 2: $E_{ges} = 4{,}7\,eV$

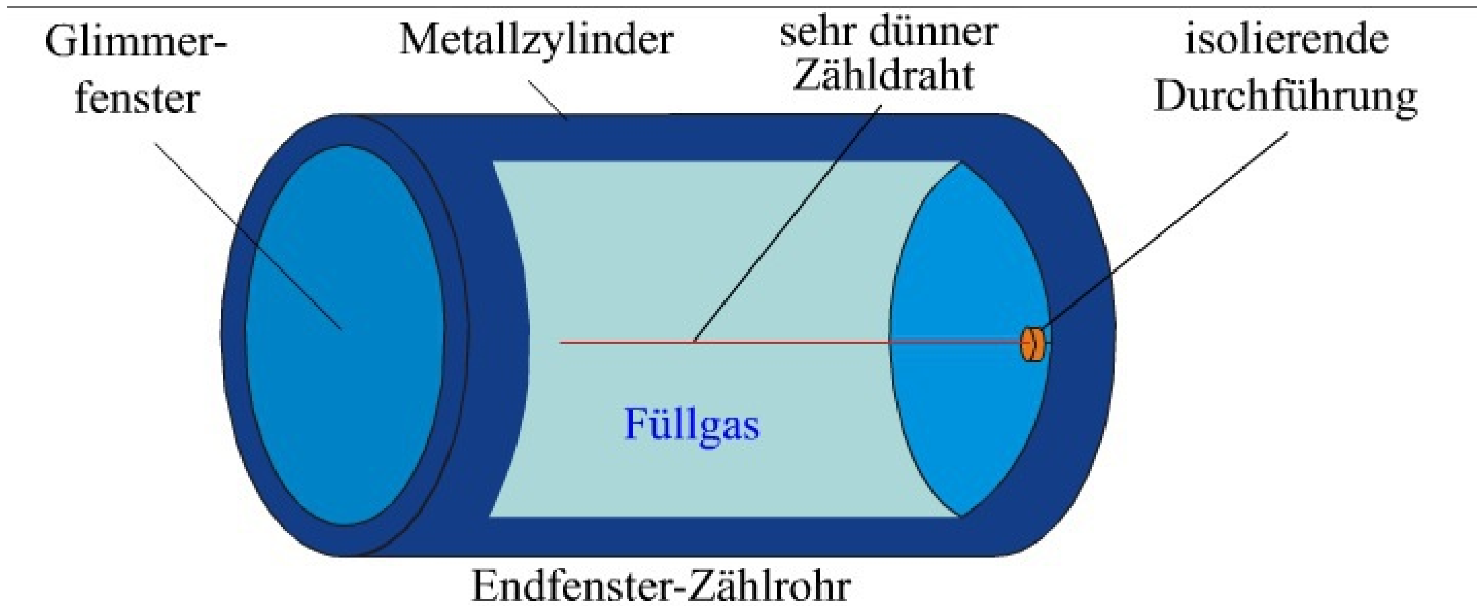
Kernphysik

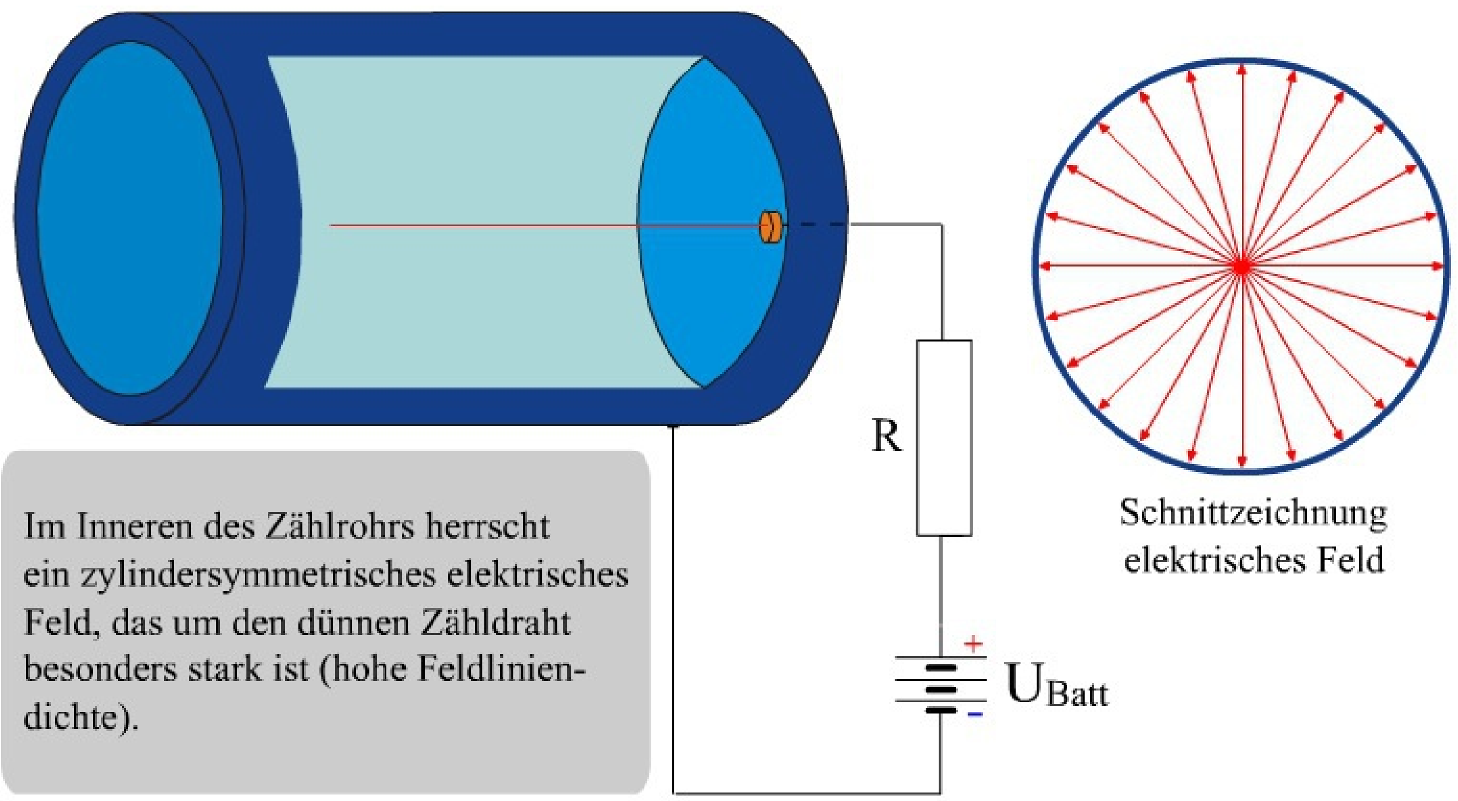
Experiment:
Am-241 wird vor einen Geigerzähler gehalten. (s. nächste Seite)
Nacheinander bringt man in den Zwischenraum ein Blatt Papier, eine Aluminiumscheibe, eine, mehrere Bleiplatten.

"Beobachtung":

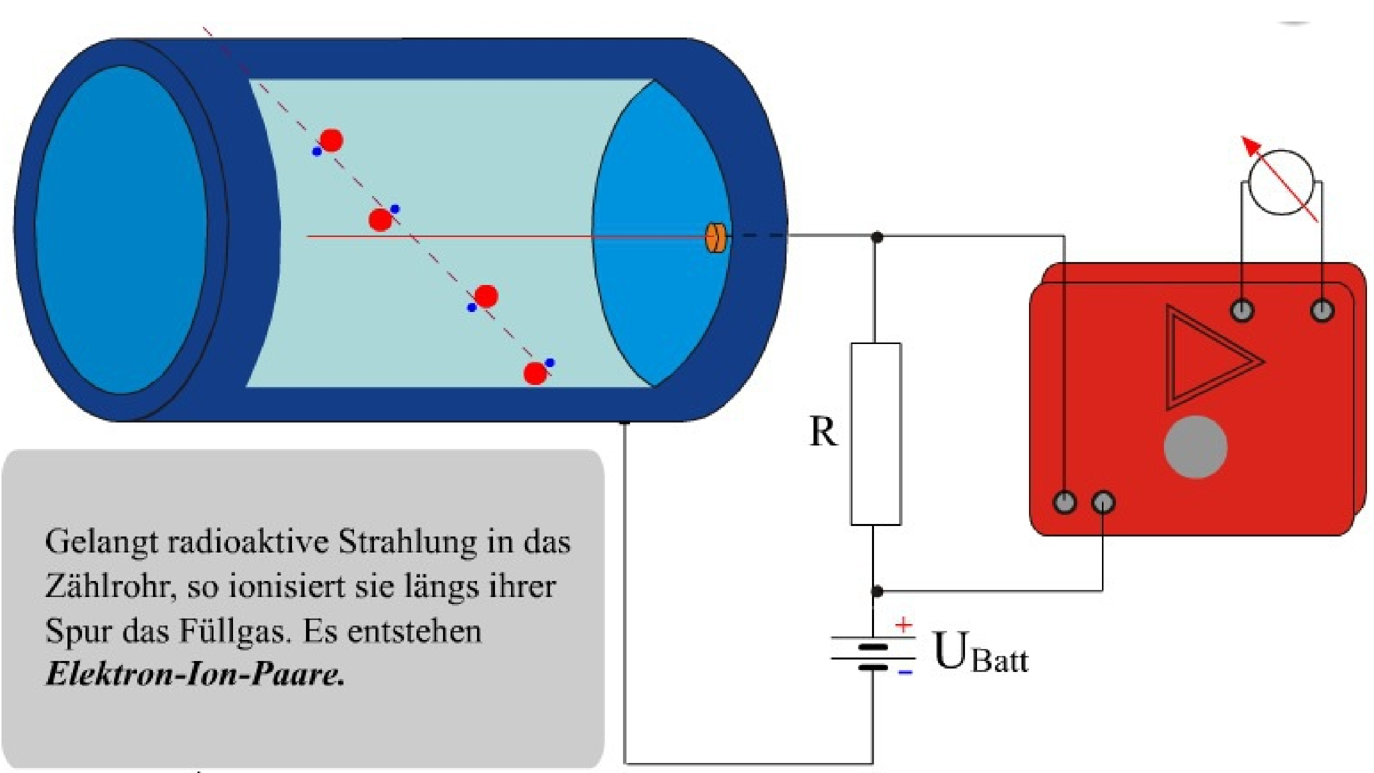
Erklärung:

Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohres ("Geigerzähler")





Im Inneren des Zählrohrs herrscht ein zylindersymmetrisches elektrisches Feld, das um den dünnen Zähldraht besonders stark ist (hohe Feldliniendichte).



Gelangt radioaktive Strahlung in das Zählrohr, so ionisiert sie längs ihrer Spur das Füllgas. Es entstehen ***Elektron-Ion-Paare.***

<-- 14.2.2013