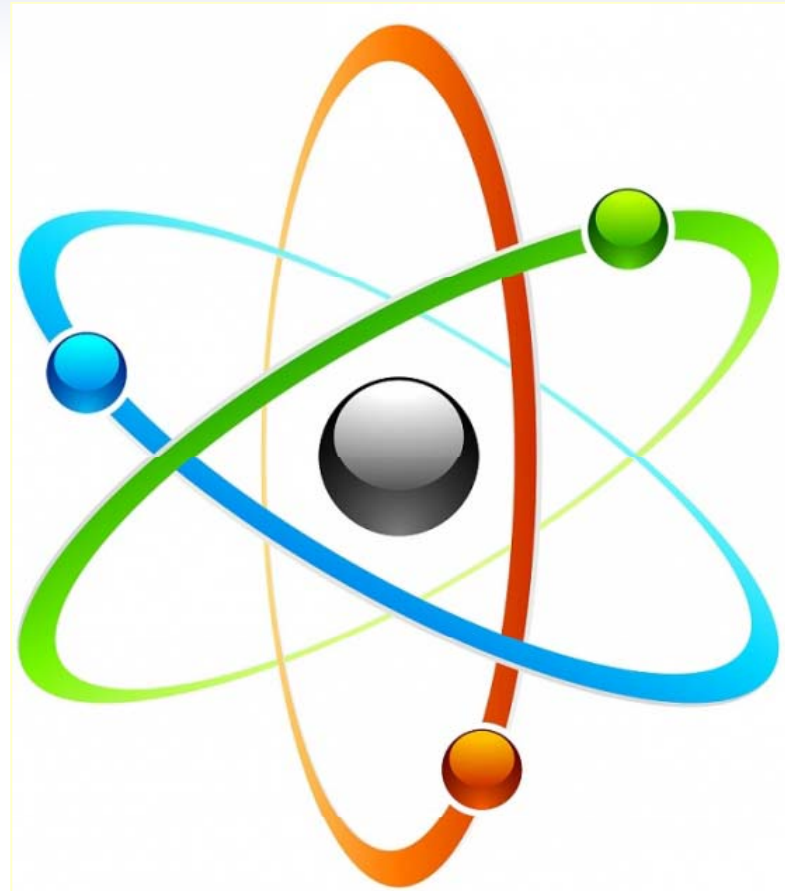


Atome sind völlig unmöglich – vom klassischen Standpunkt aus betrachtet
Richard Feynman



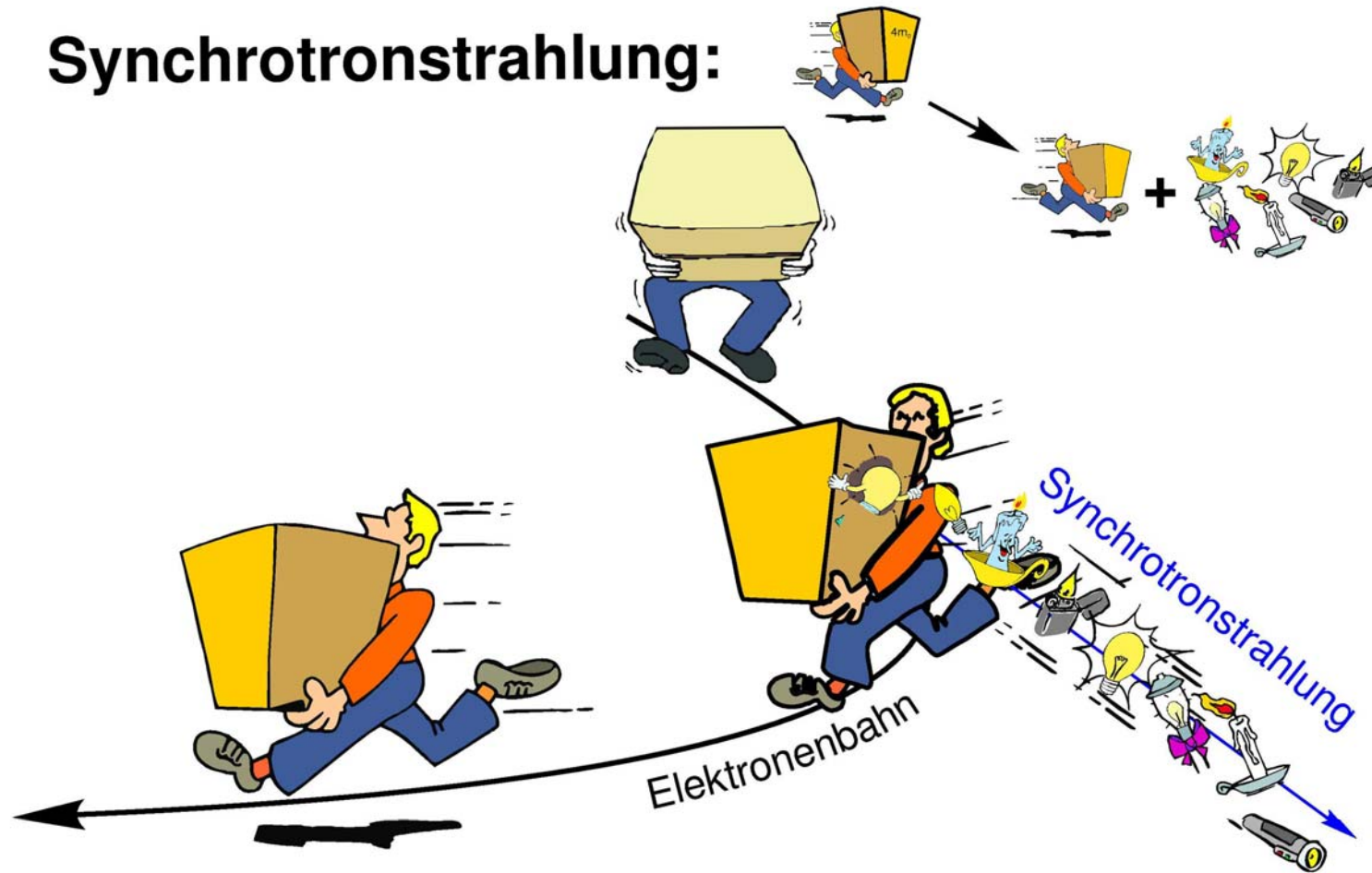
deBroglie Atom
Hauptquantenzahl
Wasserstoffspektrum
Lyman-Alpha Wald

Bohrsches Atommodell

Thema Bohrsches Atommodell

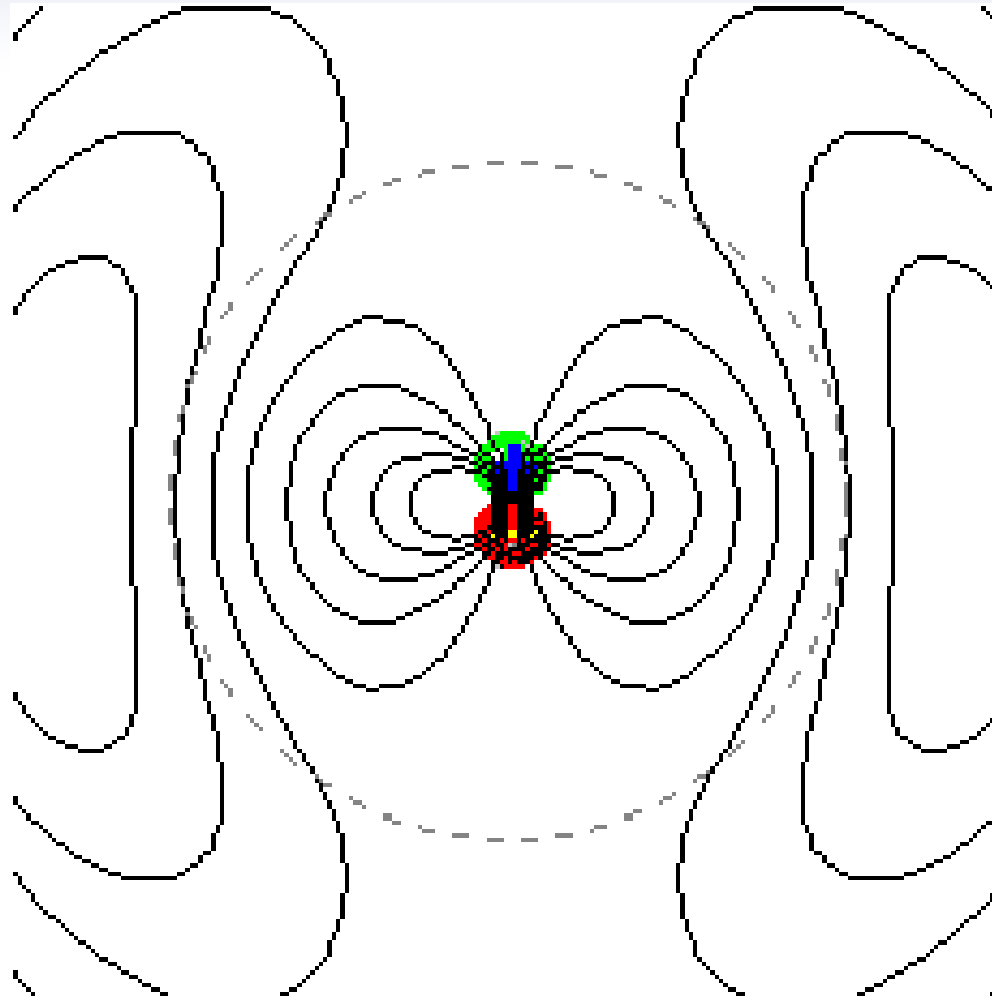
Elektronenstrahlen

Synchrotronstrahlung:



Hindenburg Disaster on an Atomic Scale

Beschleunigte Ladungen strahlen



Diagnose

Bewegte Ladungen geben Energie in Form von Dipolstrahlung ab

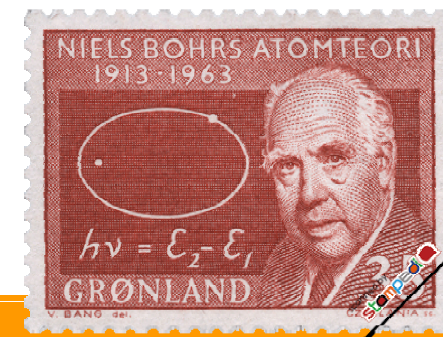
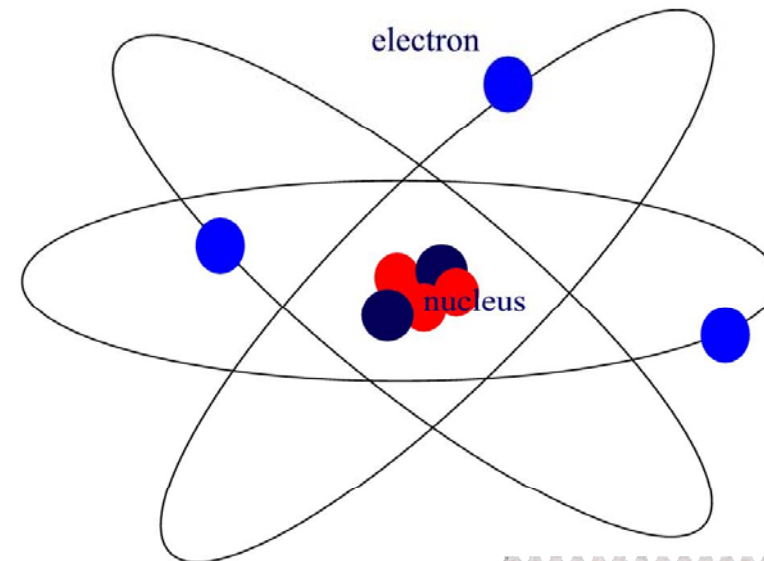
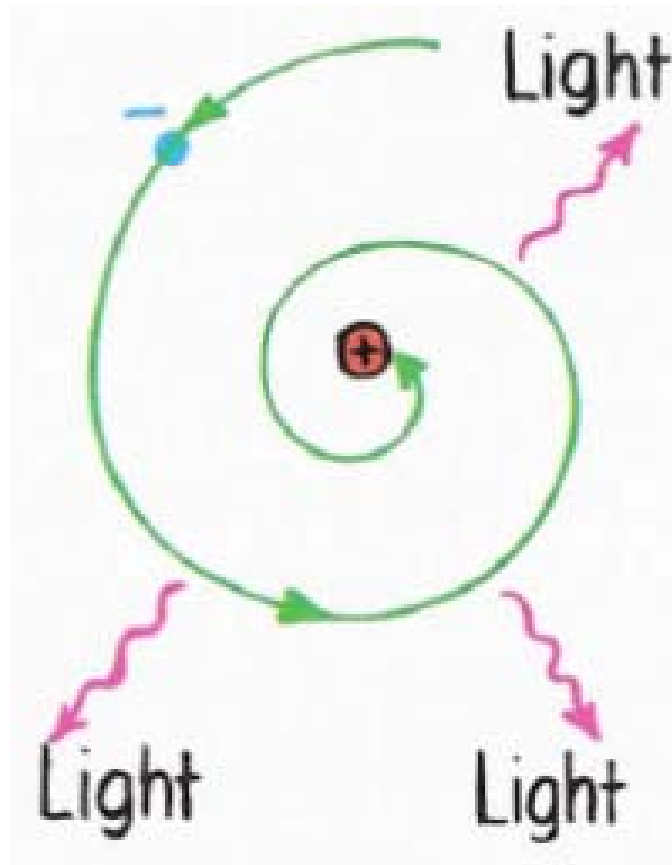


Hindenburg Disaster on an Atomic Scale

Beschleunigte Ladungen strahlen

Symptome

- durch Abgabe von Energie wird Elektron auf Kreisbahn um Proton immer langsamer
- nach wenigen Pikosekunden (genauer 5×10^{-11} s) stürzt Elektron in den Kern



Diagnose

- Atom mit Elektronen auf Bahnen um Proton sollten nicht existieren
- Bohrs Behauptung von Elektronenbahnen steht im krassen Gegensatz zur klassischen Physik



Niels Bohr
(1885-1962)

Hauptquantenzahl Bohrsches Atommodell

Symptome

Elektron-Materiewelle bewegt sich auf Kreisbahn um Proton



deBroglie Materiewelle

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e v_e} \longleftrightarrow v_e = \frac{h}{m_e \lambda_e}$$

Bedingung für stehende Materiewelle auf Elektronenbahn

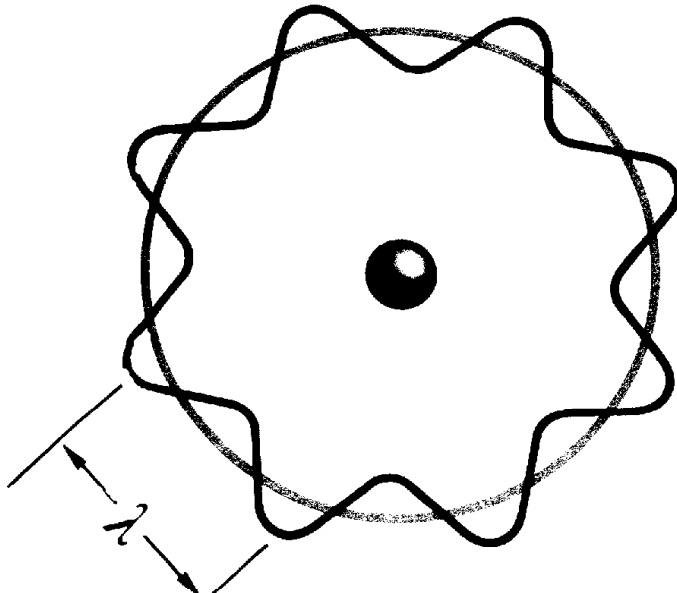
$$2\pi r_n = n_{QM} \lambda_e$$

Kreisumfang vielfache Wellenlänge

Bedingung für stehende Welle

$$\frac{1}{\lambda_e} = \frac{1}{2\pi r_n} n_{QM}$$

$n_{QM} = 1, 2, 3, \dots$



Ring Resonanz

Geschwindigkeit vs Wellenlänge

$$v_e = \frac{h}{m_e \lambda_e} = \frac{h}{2\pi m_e r_n} n_{QM}$$

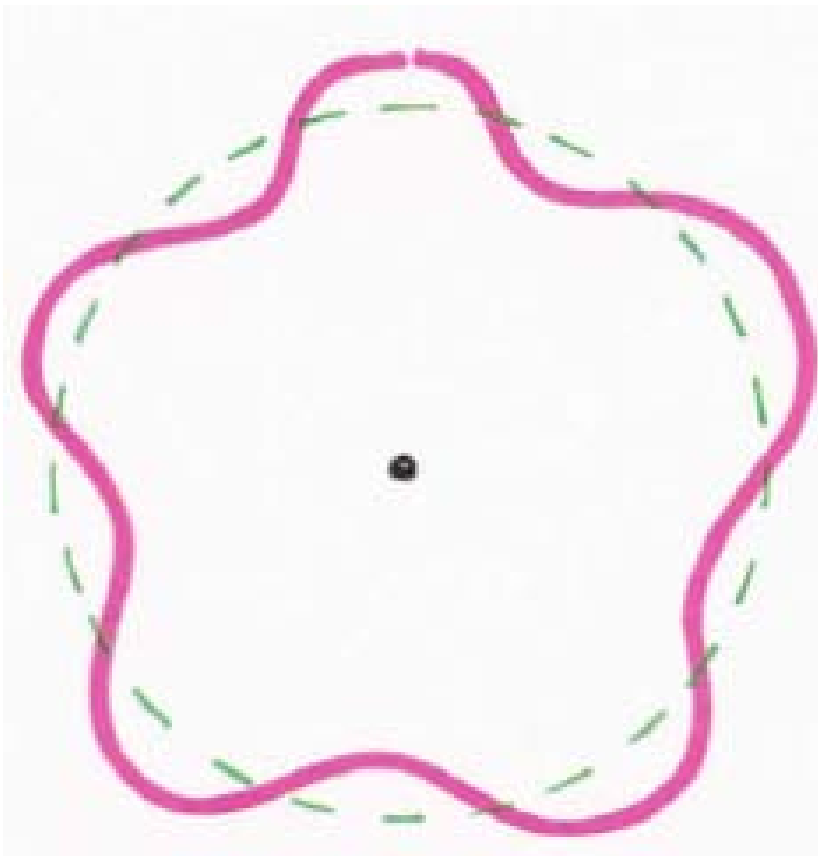
$$v_e = \frac{\hbar}{m_e r_n} n_{QM}$$

Diagnose

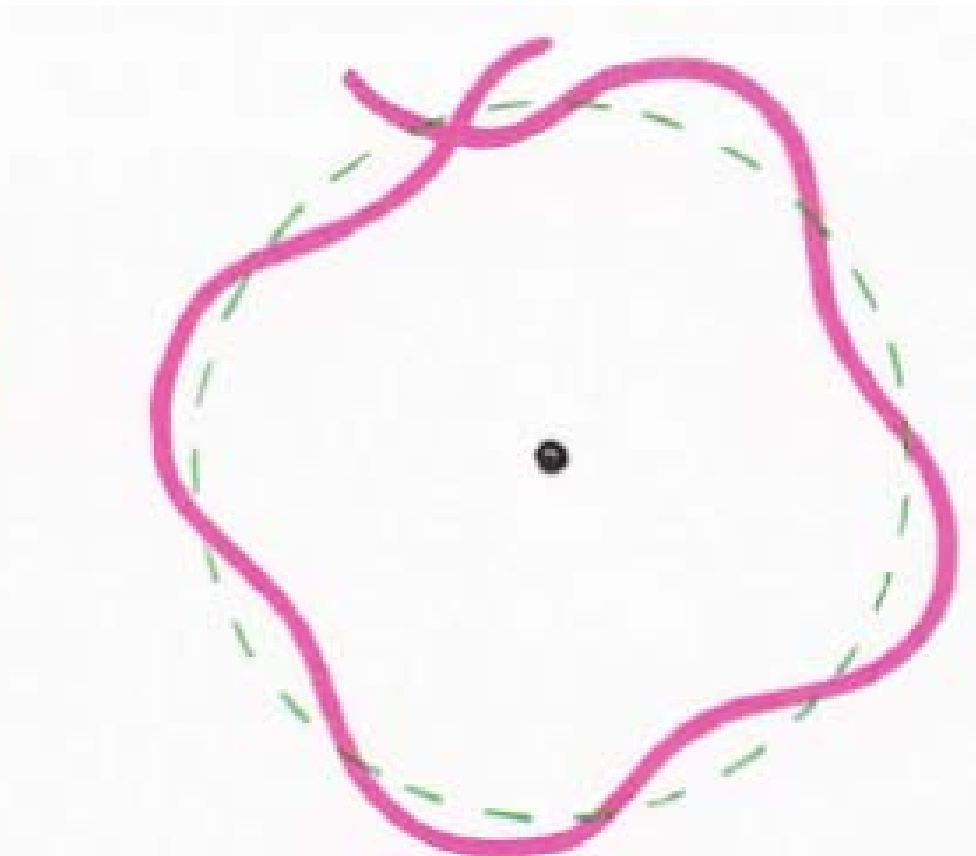
Die Zahl hat eine zentrale quantenphysikalische Bedeutung und heißt Hauptquantenzahl
- n_{QM} kann Werte von 1, 2, 3, ... annehmen

Quantisierungstufe 1 **Materiewelle**

**Wellenlänge
passt in Orbit**



**Wellenlänge passt
NICHT in Orbit**



Diagnose

Um Atomkern kreisendes Elektron stellt stehende Materiewelle dar



Bohrsches Atommodell

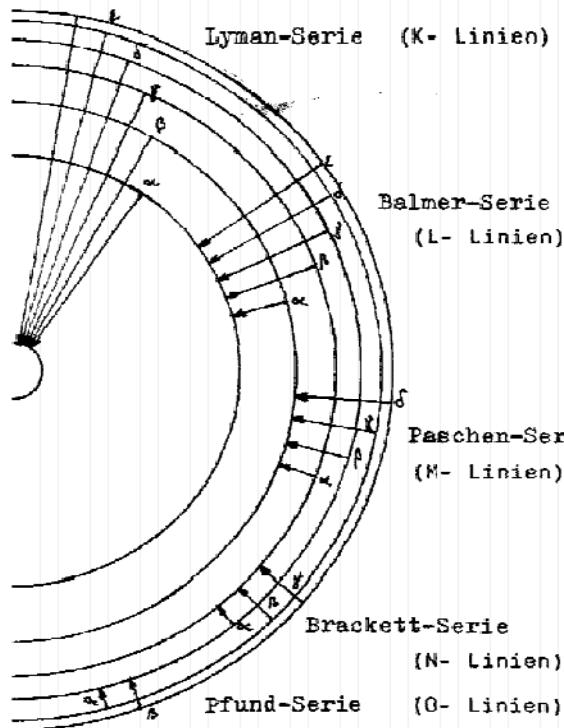


Coulombkraft

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

Zentripetalkraft

$$F_R = \frac{m_e v_e^2}{r}$$



Kräftegleichgewicht von Coulomb- und Zentripetalkraft

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2} = \frac{m_e v_e^2}{r_n}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2} = \frac{m_e n_{QM}^2 \hbar^2}{r_e m_e^2 r_n^2}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2} = n_{QM}^2 \frac{\hbar^2}{m_e r_n^3}$$

Geschwindigkeit vs Wellenlänge

$$v_e = \frac{\hbar}{m_e r_n} n_{QM}$$

Auflösung nach Radius der Elektronenbahn

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} n_{QM}^2$$

Radius der innersten Elektronenbahn

$$r_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} = 5.29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Bohrscher Atomradius, genannt a_0

Diagnose

- im Grundzustand bewegt sich Elektron auf engster Bahn um Kern
- einfache Abschätzung gibt tatsächlichen Wert des Bahnradius gut wieder

Quantisierungstufe 1 Materiewelle

Radius der Elektronenbahn

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} n_{QM}^2$$



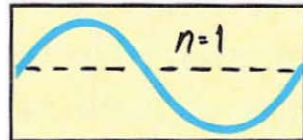
Geschwindigkeit des Elektrons auf Orbit n_{QM}

$$v_n = \frac{\hbar}{m_e r_n} n_{QM} = \frac{\hbar}{m_e} \frac{m_e e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar^2 n_{QM}^2} n_{QM}$$

$$v_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\hbar} \frac{1}{n_{QM}}$$

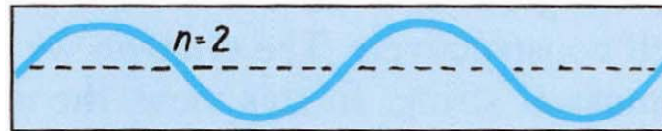
Hauptquantenzahl

$$n_{QM} = 1$$

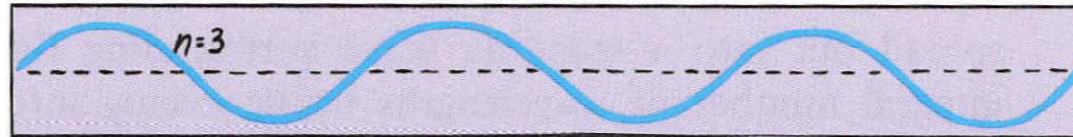


The circumferences of electron orbits from $n=1$ to $n=4$ shown "straightened out"

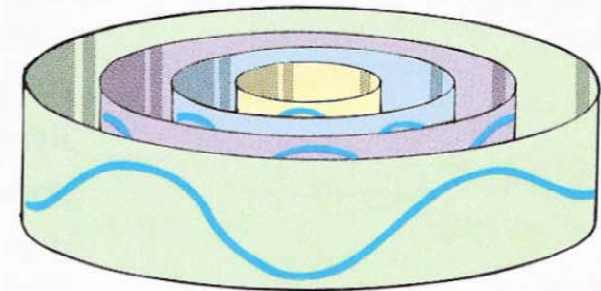
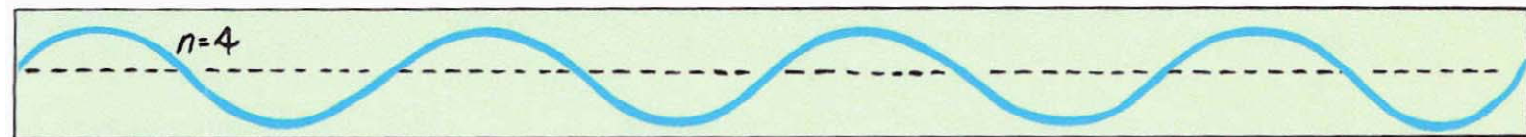
$$n_{QM} = 2$$



$$n_{QM} = 3$$



$$n_{QM} = 4$$



Diagnose

- Elektronen haben auf den einzelnen Bahnen unterschiedliche Geschwindigkeit
- Elektronengeschwindigkeit auf äußeren Bahnen erniedrigt sich
- deBroglie Wellenlänge vergrößert sich
- genaugenommen müsste man in der Darstellung die Länge der Papierbahnen ändern



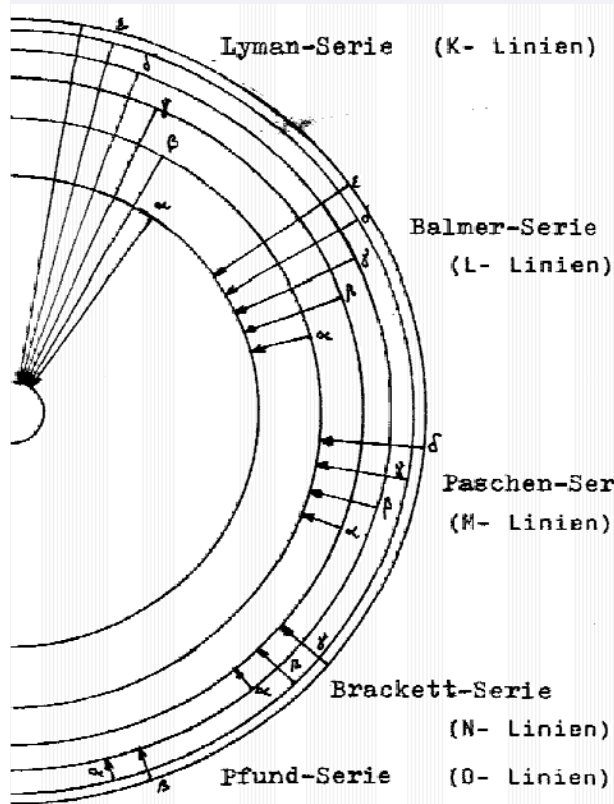
Kinetische Energie Wasserstoffatom

Geschwindigkeit des Elektrons

$$v_e = \frac{\hbar}{m_e r_n} n_{QM}$$

Radius Elektronenbahn

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} n_{QM}^2$$



Kinetische Energie des Elektrons

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_e v_e^2$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_e \left(\frac{\hbar^2}{m_e^2 r_n^2} n_{QM}^2 \right) = \frac{1}{2} m_e \left(\frac{\hbar^2}{m_e^2} n_{QM}^2 \right) \left(\frac{m_e e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar^2} \frac{1}{n_{QM}^2} \right)^2$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_e \left(\frac{1}{4(2\pi)^2} \frac{\hbar^2 m_e^2 e^4 n_{QM}^2}{\hbar^4 m_e^2 \epsilon_0^2 n_{QM}^4} \right)$$

$$E_{kin} = \frac{1}{8} \frac{1}{(2\pi)^2} \frac{(2\pi)^2 m_e e^4}{h^2 \epsilon_0^2} \frac{1}{n_{QM}^2}$$

$$E_{kin} = \frac{1}{8} \frac{m_e e^4}{\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n_{QM}^2}$$

Kinetische Energie des Elektrons

Diagnose

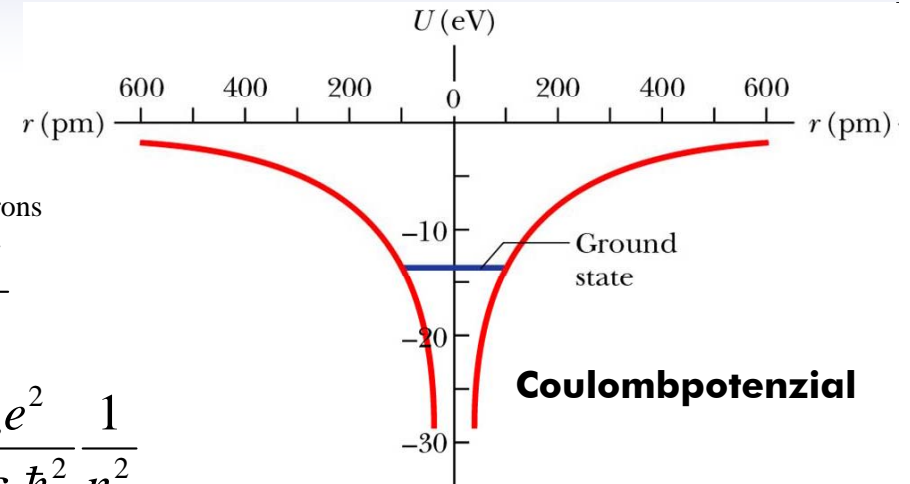
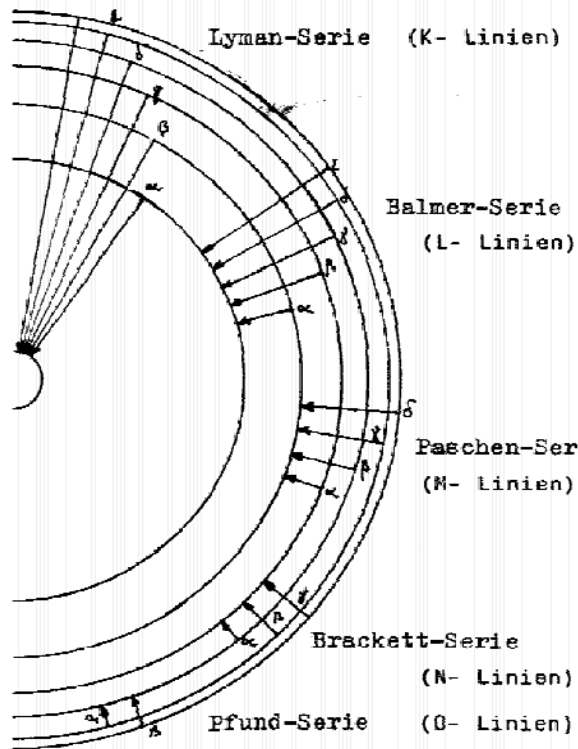
- im Grundzustand (n=1) hat Elektron die größte kinetische Energie
- Abstand der Energiezustände steigt quadratisch mit Hauptquantenzahl



Potenzielle Energie Wasserstoffatom

Radius Elektronenbahn

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} n_{QM}^2$$



Potenzielle Energie des Elektrons

$$E_{pot} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n}$$

$$E_{pot} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{m_e e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar^2} \frac{1}{n^2}$$

$$E_{pot} = \frac{m_e e^4}{4\epsilon_0^2} \frac{1}{4\pi^2} \frac{(2\pi)^2}{h^2} \frac{1}{n^2}$$

Kinetische Energie des Elektrons

$$E_{kin} = \frac{1}{8} \frac{m_e e^4}{\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n_{QM}^2}$$

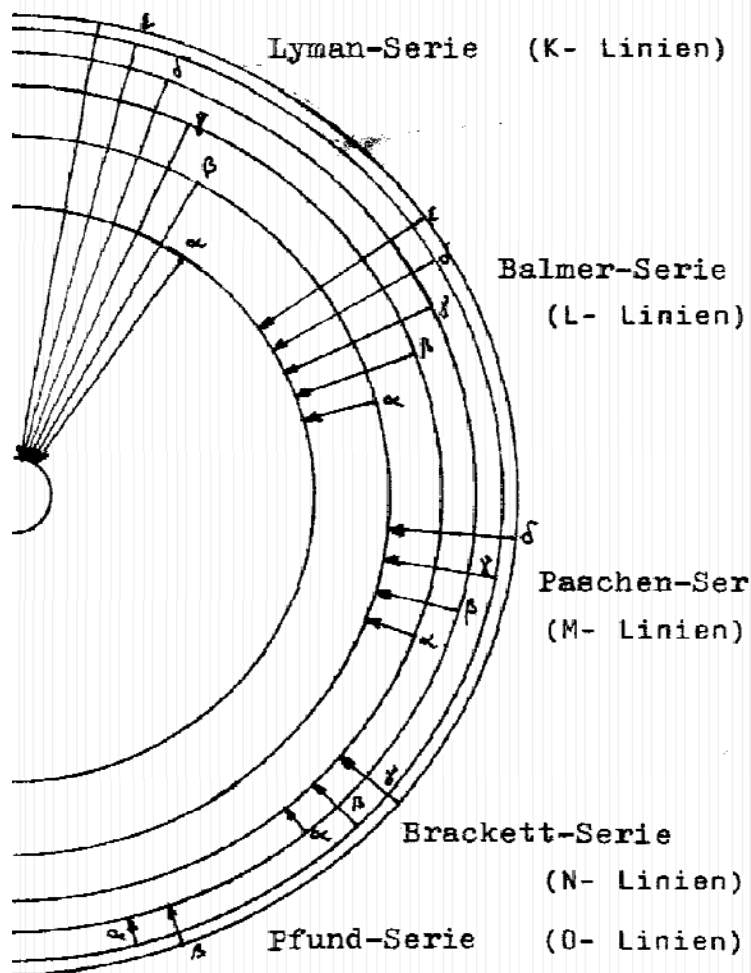
$$E_{pot} = -\frac{1}{4} \frac{m_e e^4}{\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n_{QM}^2}$$

Potenzielle Energie des Elektrons

Diagnose

- im Grundzustand hat Elektron die höchste Bindungsenergie
- beide Ausdrücke haben denselben Vorfaktor aber unterschiedliches Vorzeichen

Gesamtenergie Wasserstoffatom



Kinetische Energie des Elektrons

$$E_{kin} = \frac{1}{8} \frac{m_e e^4}{\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n_{QM}^2}$$

Potentielle Energie des Elektrons

$$E_{pot} = -\frac{1}{4} \frac{m_e e^4}{\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n_{QM}^2}$$

Gesamtenergie des Elektrons

$$E_{ges} = E_{kin} + E_{pot}$$

$$E_{ges} = \frac{1}{8} \frac{m_e e^4}{\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n_{QM}^2} - \frac{2}{8} \frac{m_e e^4}{\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n_{QM}^2}$$

Gesamtenergie des Elektrons

$$E_{ges} = -\frac{1}{8} \frac{m_e e^4}{\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n_{QM}^2}$$

Rydbergkonstante R_∞

Diagnose

- Bindungsenergie des Elektrons auf innerster Bahn beträgt **-13.59 eV**
- diese Energie muss aufgewendet werden, um Wasserstoff zu ionisieren

Quantisierungsstufe 1

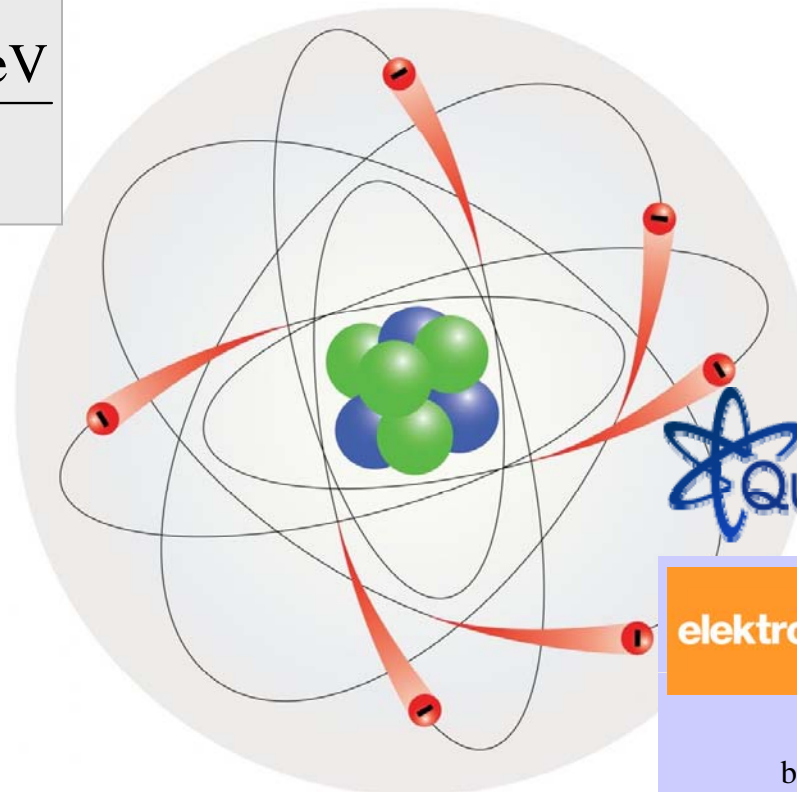
Bohrsche Postulate

- Elektronen können nur bestimmte diskrete Orbitale besetzen (stationäre Energieniveaus)
- Zustände sind gekennzeichnet durch unterschiedliche Bindungsenergien
- der elektronische Zustand mit geringster (negativ) Energie ist Grundzustand des Atoms
- Lage der Energieniveaus durch fundamentale Größe (Rydbergkonstante) festgelegt
- wenn ein Elektron seinen Energiezustand ändert, wird Strahlung absorbiert oder emittiert
- Strahlung wird nur in charakteristischen Energiemengen abgegeben/ aufgenommen

Lage der Energieniveaus

$$E_n^H = -\frac{R_\infty}{n_{QM}^2} = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n_{QM}^2}$$

im Wasserstoffatom



Quantum Mechanics

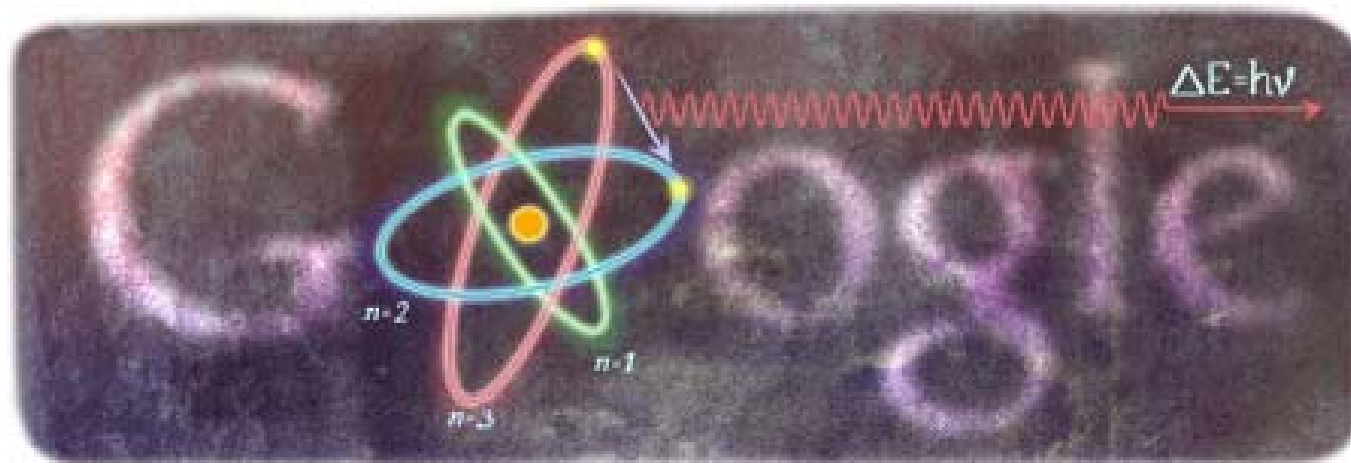
elektro

Rydbergkonstante

$$R_\infty = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2}$$

OPTIK

beinhaltet NUR Naturkonstanten,
charakteristisch für Masse, Ladung, Optik, Quanten



Google Search

I'm Feeling Lucky

The Nobel Prize in Physics 1922 was awarded to Niels Bohr for his services in the investigation of the structure of atoms and of the radiation emanating from them

Thema Bohrsches Atommodell
Linienstrahlung

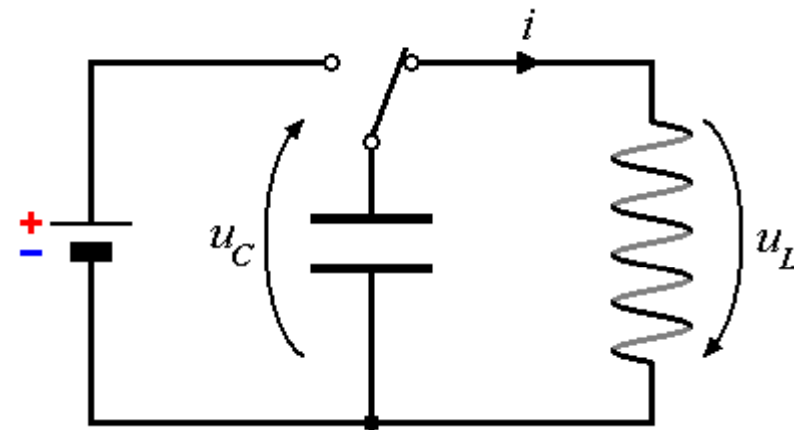
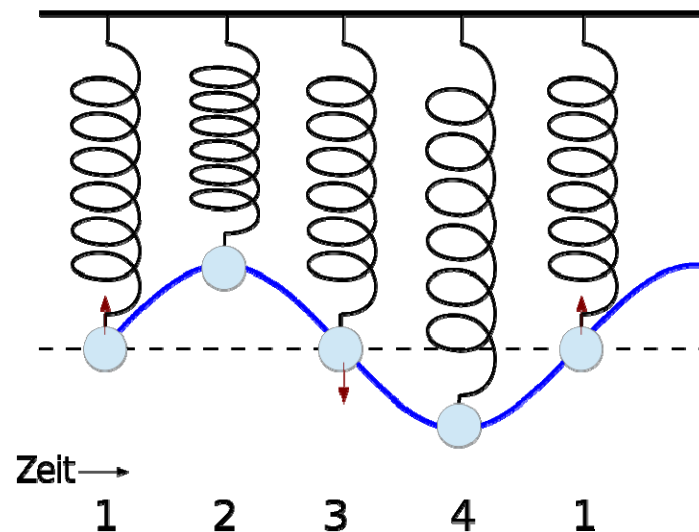




Rückblick Fingerabdruck

Hook'scher Oszillatoren der klassischen Physik

$$f_{\text{Federpendel}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_H}{m}}$$



Oszillatoren der klassischen Physik

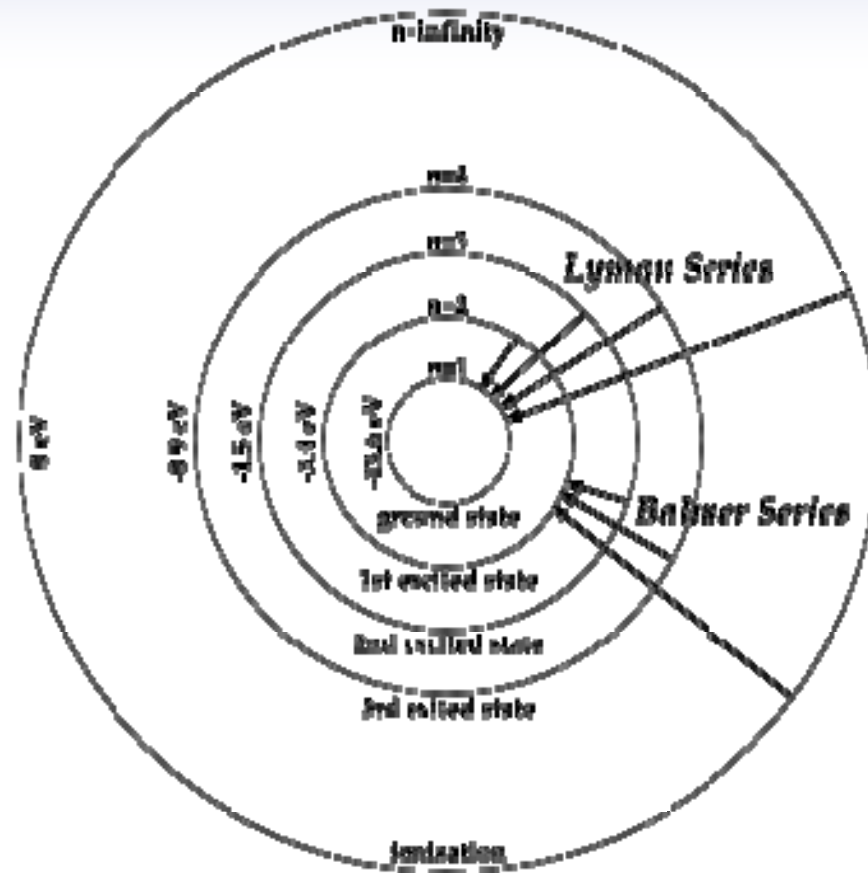
$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_e C_K}}$$

Induktivität Kapazität

Diagnose

- charakteristische Frequenzen treten auch in klassischer Physik an vielen Stellen auf
- Atom absorbiert und emittiert elektromagnetische Wellen mit charakteristischen Frequenzen

Wasserstoffatom Bahnradien



Radius der Elektronenbahnen im Bohrschen Atommodell

$$r_n = (0.529 \cdot 10^{-10} \text{ m}) \frac{n_{QM}^2}{Z}$$

Z : Anzahl Protonen

Exkurs Energieabstrahlung Bahnwechsel

Beschleunigung einer Ladung

elektro
$$a_q = \frac{F_e}{m_e} = k_C \frac{e^2}{m_e r_e^2}$$

Coulombkonstante $k_C = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Energieverlust (negativ) auf Kreisbahn um Kern durch elektromagnetische Strahlung

$$P_{EM} = \frac{dE_{EM}}{dt} = -\frac{2}{3} \frac{k_C e^2}{c^3} a_q^2$$

$$\frac{dE_{EM}}{dt} = -\frac{2}{3} \frac{k_C^3 e^6}{m_e^2 c^3 r_e^4}$$

Potenzielle Energie zwischen Elektron und Proton im Abstand r

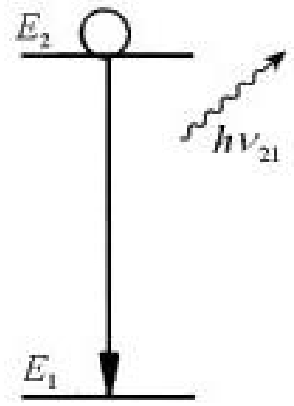
$$E_{pot} = -k_C \frac{e^2}{2r_e}$$

$$\frac{dE_{pot}}{dr_e} = k_C \frac{e^2}{2r_e^2}$$

Zeitintervall Abstandsänderung

$$\frac{dt}{dr_e} = \left(\frac{dt}{dE} \right) \left(\frac{dE}{dr_e} \right)$$

$$\frac{dt}{dr_e} = -\frac{3}{2} \frac{m_e^2 c^3 r_e^4}{k_C^3 e^6} \frac{k_C e^2}{2r_e^2} = -\frac{3}{4} \frac{m_e^2 c^3 r_e^2}{k_C^2 e^4}$$



Energieabstrahlung Bahnwechsel

Zeitintervall Abstandsänderung

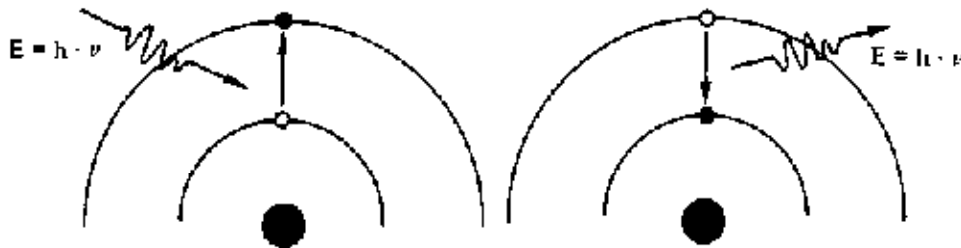
$$\frac{dt}{dr_e} = -\frac{3 m_e^2 c^3 r_e^2}{4 k_C^2 e^4}$$

Integration liefert Zeitintervall bei Wechsel zwischen Bohrschen Bahnen

$$T_{nm} = \int_0^{T_{nm}} dt = \int_{r=r_n}^{r_m} \frac{dt}{dr_e} dr_e = -\frac{3 m_e^2 c^3}{4 k_C^2 e^4} \int_{r=r_n}^{r_m} r_e^2 dr_e$$

$$T_{nm} = -\frac{3 m_e^2 c^3}{4 k_C^2 e^4} \left(\frac{1}{3} r_m^3 - \frac{1}{3} r_n^3 \right)$$

$$T_{nm} = \frac{1}{4} \frac{m_e^2 c^3}{k_C^2 e^4} (r_n^3 - r_m^3)$$



Zeitintervall bei Wechsel zwischen m=3 nach n=2

example

$$T_{32} = \frac{(9.11 \cdot 10^{-31} \text{ s})^2 (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^3}{4 (9.7 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)^2 (1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^4} \left[(47.7 \cdot 10^{-12} \text{ m})^3 - (21.2 \cdot 10^{-12} \text{ m})^3 \right]$$

$$T_{32} = 1.04 \cdot 10^{-8} \text{ s} \approx 10 \text{ ns}$$

Diagnose

Ergebnis der Bohrschen Theorie stimmt gut mit exakter quantenphysikalischer Rechnung überein

Wasserstoffatom

Energiesprünge

Lage der Energieniveaus

$$E_{n_{QM}}^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n_{QM}^2}$$

im Wasserstoffatom

example

$$E_1^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{1^2} = -13.6 \text{ eV}$$

$$E_2^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{2^2} = -3.4 \text{ eV}$$

$$E_3^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{3^2} = -1.51 \text{ eV}$$

$$E_4^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{4^2} = -0.85 \text{ eV}$$

...

$$E_{100}^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{100^2} = -0.001 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{12} = 10.20 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{23} = 1.89 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{34} = 0.38 \text{ eV}$$

Diagnose

- Coulombpotenzial wird immer flacher bei größeren Abständen zum Kern
- Abstand der Energieniveaus wird bei höheren Bahnen immer geringer

Wasserstoffatom Energiesprünge

Lage der Energieniveaus

$$E_{n_{QM}}^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n_{QM}^2}$$
 im Wasserstoffatom

Abstand n=1 zu n=4

$$\Delta E_{14} = 12.45 \text{ eV}$$

Energieabstand n=1 zu n=∞

$$\Delta E_{1\infty} = 13.6 \text{ eV}$$
 im Wasserstoffatom

example

tieftester gebundener Zustand, genannt der Grundzustand

$$E_1^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{1^2} = -13.6 \text{ eV}$$

$$E_2^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{2^2} = -3.4 \text{ eV}$$

$$E_3^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{3^2} = -1.51 \text{ eV}$$

$$E_4^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{4^2} = -0.85 \text{ eV}$$

...

$$E_{100}^H = -\frac{13.6 \text{ eV}}{100^2} = -0.001 \text{ eV}$$

Abstand n=1 zu n=3

$$\Delta E_{13} = 12.09 \text{ eV}$$

Diagnose

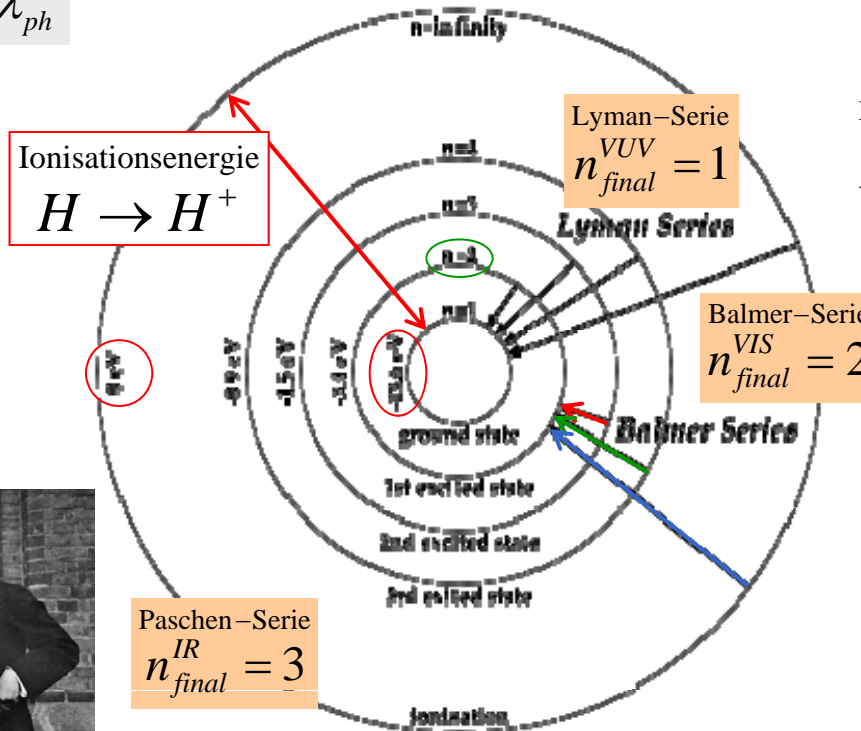
- Abstand der Energieniveaus innerster Bahn zu hohen n_{QM} ergibt das Ionisationspotenzial
- Arbeit, die notwendig ist, das Elektron aus den Bereich des Coulombpotenzials zu bringen

Quantisierung Analyse Fingerabdruck



Planck Formel

$$E_{ph} = h\nu_{ph} = h \frac{c}{\lambda_{ph}}$$



Berechnung von Übergangsfrequenzen und Wellenlängen

$$\nu_{ph} = \frac{1}{h} (E_{n_1} - E_{n_2}) = R_f \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{ph}} = \frac{\nu_{ph}}{c} = \frac{R_f}{c} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Rydbergkonstante

$$R_{\infty}^{\text{exp}} = 109\,677 \text{ cm}^{-1}$$

$$R_{\infty}^{\text{Bohr}} = 109\,737 \text{ cm}^{-1}$$

Arnold Sommerfeld
1868-1951



Diagnose

- berechnete Rydbergkonstante stimmt gut mit experimentellen Ergebnis überein
- Bohrsches Atommodell vereinfacht allerdings tatsächliche Verhältnisse stark
- Erweiterung des Bohrschen Modells durch Sommerfeld
- elliptische Orbits und Berücksichtigung von Effekten der speziellen Relativitätstheorie

Rydbergkonstante



Rydbergkonstante

$$R_{\infty} = 109\,677\text{ cm}^{-1}$$

Wert der Rydbergkonstante ergibt sich, wenn man Masse Atomkern als unendlich annimmt und relativistische Effekte vernachlässigt

Rydbergfrequenz

$$R_f = c \cdot R_{\infty} = 3.290 \cdot 10^{15}\text{ Hz}$$

Rydbergenergie

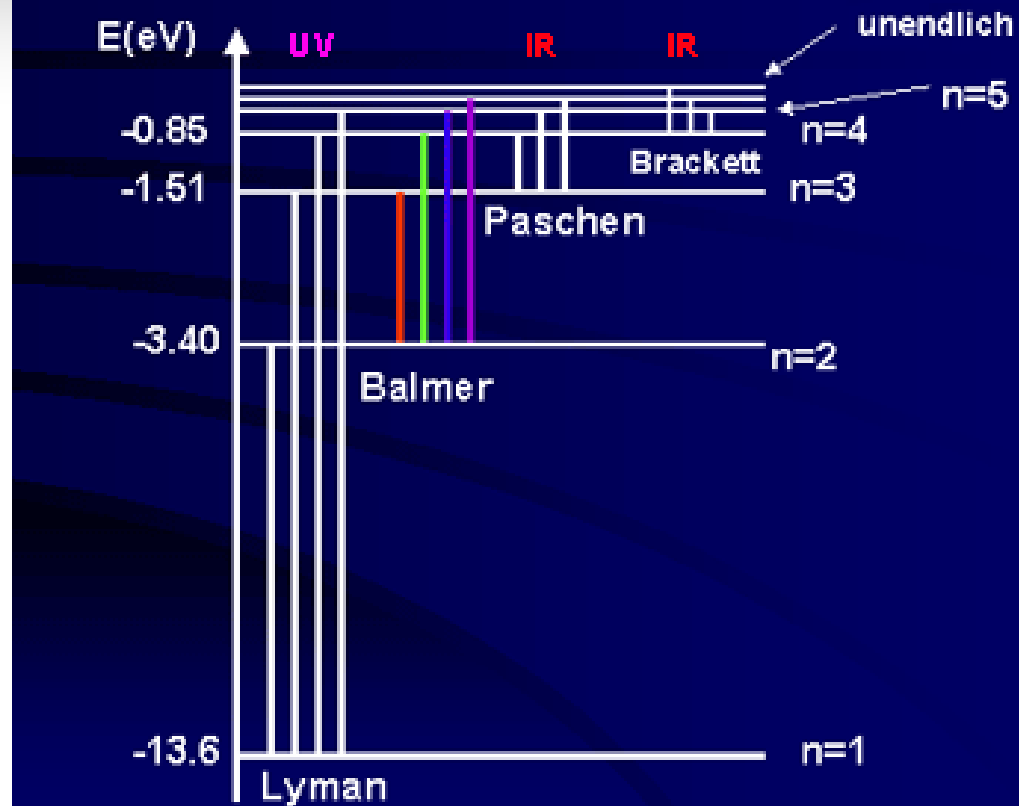
$$R_y = h \cdot c \cdot R_{\infty} = 13.6\text{ eV} = 1.0\text{ Ry}$$

Rydberg
Energieeinheit
der theoretischen Physik

Diagnose

- Unsicherheit im genauen Wert von $10\,973\,731.568\,539\,(55)\text{ m}^{-1}$ beträgt nur 5×10^{-12}
- Rydbergkonstante ist die am besten bekannte Naturkonstante

Energieniveaus im Wasserstoffatom



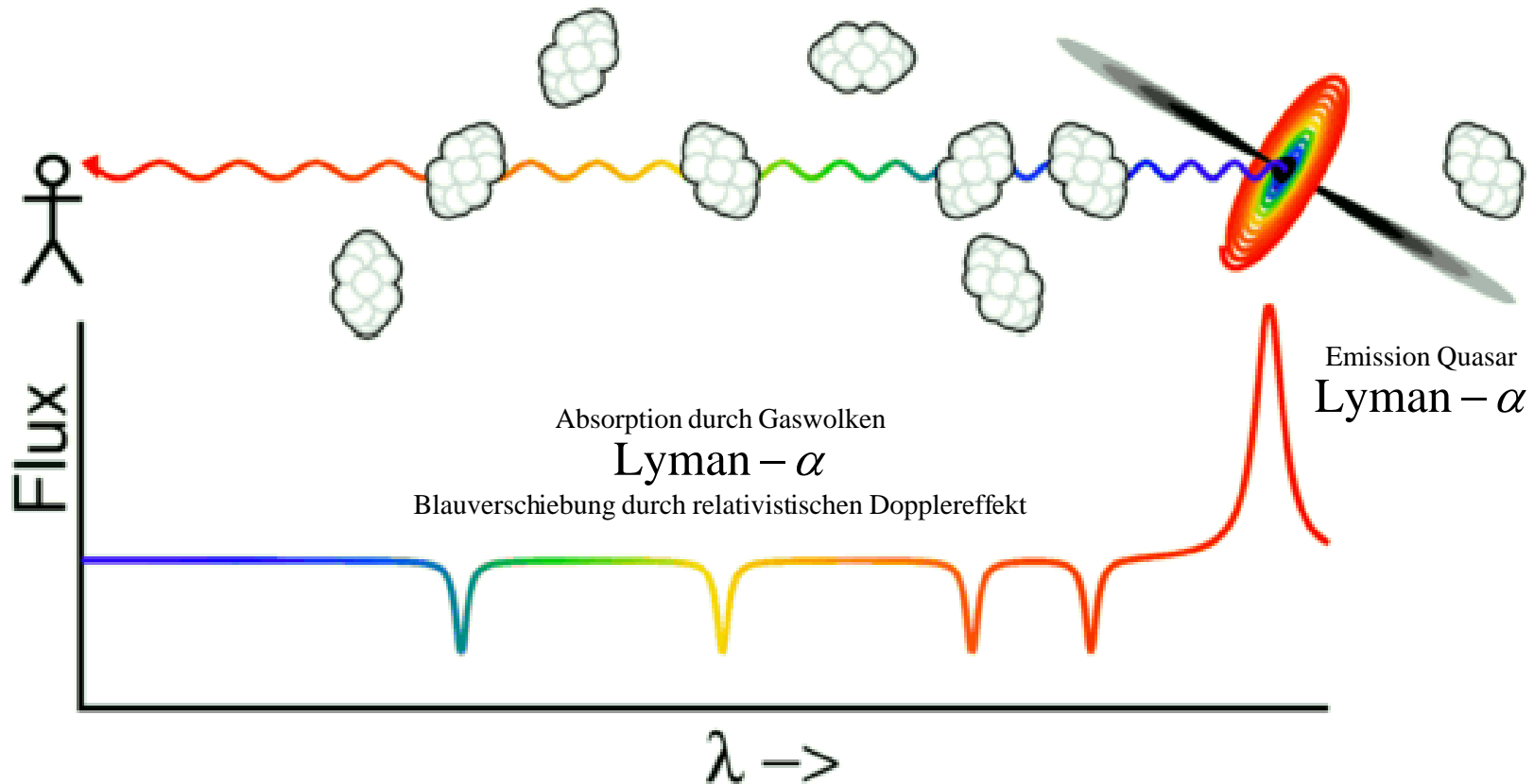
Diagnose

- im Wasserstoffatom treten charakteristische Serien von Spektrallinien auf
- Lyman-Serie mit Übergängen nach $n=1$ (Spektralbereich VUV-UV)
- Balmer-Serie mit Übergängen nach $n=2$ (Spektralbereich VIS)
- Paschen-Serie mit Übergängen nach $n=3$ (Spektralbereich IR)
- Brackett-Serie mit Übergängen nach $n=4$ (Spektralbereich FIR)
- Lyman- α (121.6 nm) ist intensive Emissionslinie und hat erhebliche Bedeutung in Astrophysik

relativistischer Dopplereffekt Lyman- α -Wald

Symptome

- Absorption von Strahlung weit entfernter Quasars durch intergalaktisches Gas
- unterschiedliche Entfernungen zum Beobachter

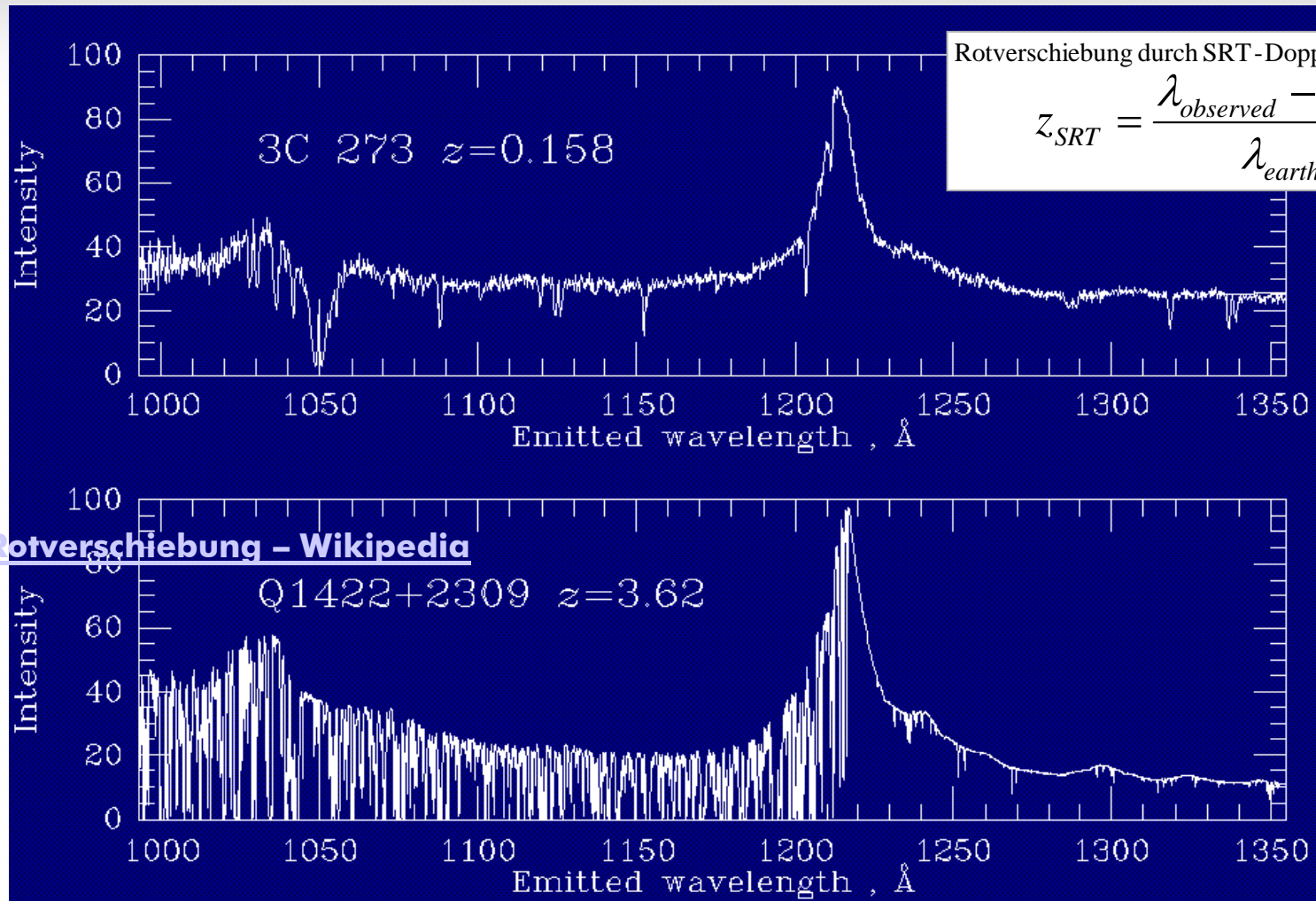


Diagnose

- hauptsächlich Ly- α Absorption der Gaswolken durch neutralen Wasserstoff
- Durchgang des Lichtes durch interstellares Gas bei unterschiedlichen Rotverschiebungen
- Ly- α Absorption durch Gaswolken bei kürzerer Wellenlänge als Ly- α Emission des Quasars

relativistischer Dopplereffekt

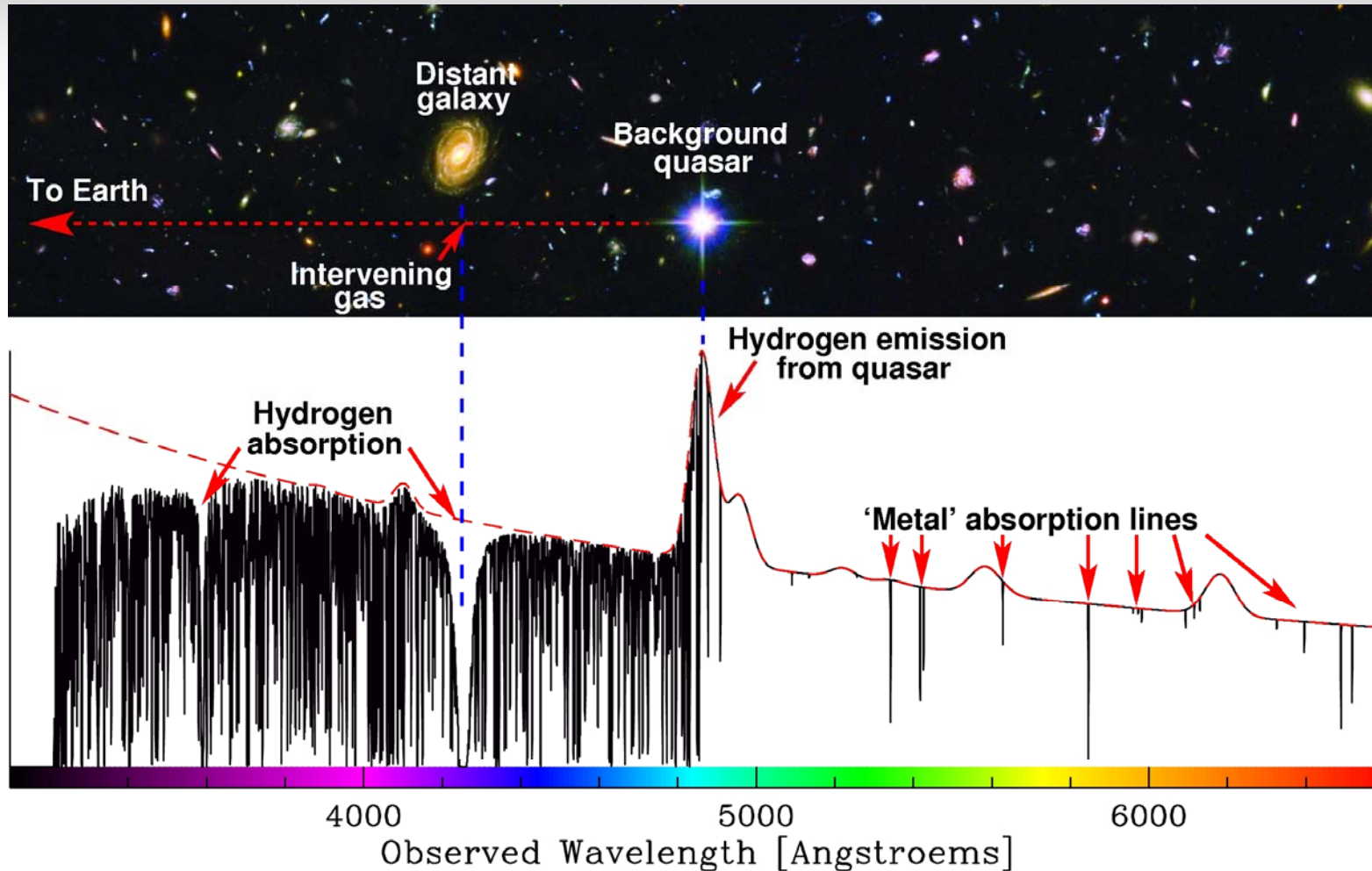
Lyman- α -Wald



Diagnose

- Anzahl der Linien nimmt mit der Entfernung der Objekte (relativistische Rotverschiebung z) zu
- Linien nicht von den Objekten selbst, sondern von dazwischen liegenden Wasserstoffwolken

relativistischer Dopplereffekt Lyman- α -Wald



Diagnose

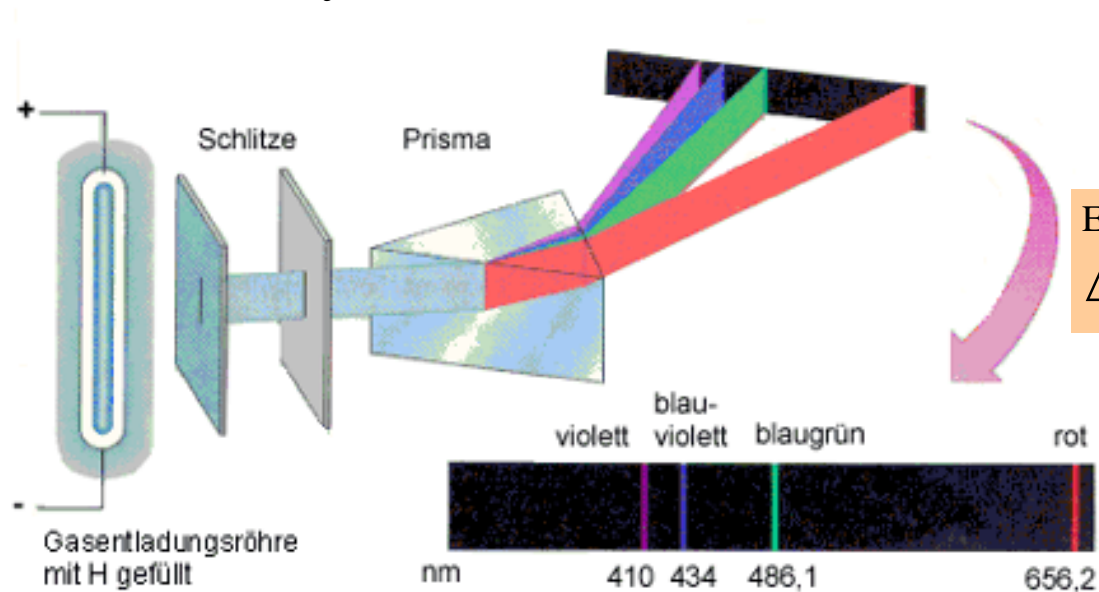
- Spektren beinhalten Anzahl, Verteilung und Stärke (Breite, Opazität) der Absorptionslinien
- Rückschlüsse auf Verteilung und Dichte der Wolken (Galaxien) im Universum
- Informationen über Struktur des Kosmos, Hubble-Konstante und Dichte-Verteilung

Faustformel

einfach berechnet

$$\lambda_{ph} [\text{nm}] = \frac{1240}{E_{ph} [\text{eV}]} \Leftrightarrow E_{ph} [\text{eV}] = \frac{1240}{\lambda_{ph} [\text{nm}]}$$

nützlich für jede Art von Photonen: von Mikrowelle bis Gamma



Ein Übergang in Balmerreihe
 $\Delta E_{3 \rightarrow 2}^{Bohr} = 1.89 \text{ eV}$

Wellenlänge des Übergangs mit Faustformel berechnet

$$\lambda_{3 \rightarrow 2}^{Bohr} [\text{nm}] = \frac{1240}{1.89} = 656.1 \text{ nm}$$



Hilfestellung Umrechnungen



$$E_e = h \nu_{ph}$$

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$e = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$N_A = 6.63 \cdot 10^{-23} \frac{1}{\text{mol}}$$

$$1.0 \text{ J} = 0.239 \text{ cal}$$

example

Energie der Photonen

$$E_{ph}^{425 \text{ nm}} = h \frac{c}{\lambda_{ph}^{425 \text{ nm}}} = 4.66 \cdot 10^{-19} \text{ J in Joule}$$

$$E_e = eU_e \Rightarrow \frac{E_{ph}^{425 \text{ nm}}}{e} = \frac{h}{e} \frac{c}{\lambda_{ph}^{425 \text{ nm}}} = 2.91 \text{ eV in Elektronenvolt}$$



$$N_A E_{ph}^{425 \text{ nm}} = N_A h \frac{c}{\lambda_{ph}^{425 \text{ nm}}} = 280.5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 67.1 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$$

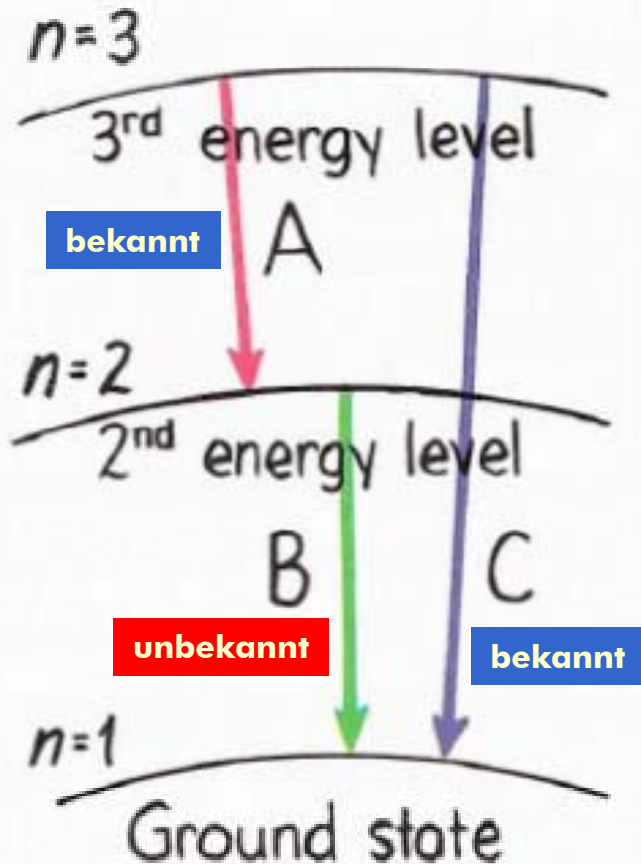
Φ



in Kilokalorien pro Mol

1908

Ritzsches Kombinationsprinzip



$$\frac{1}{\lambda_{n_3 n_1}} - \frac{1}{\lambda_{n_3 n_2}} = R_\infty \left(\frac{1}{n_3^2} - \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_3^2} + \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{n_3 n_1}} - \frac{1}{\lambda_{n_3 n_2}} = R_\infty \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{n_3 n_1}} - \frac{1}{\lambda_{n_3 n_2}} = \frac{1}{\lambda_{n_2 n_1}}$$



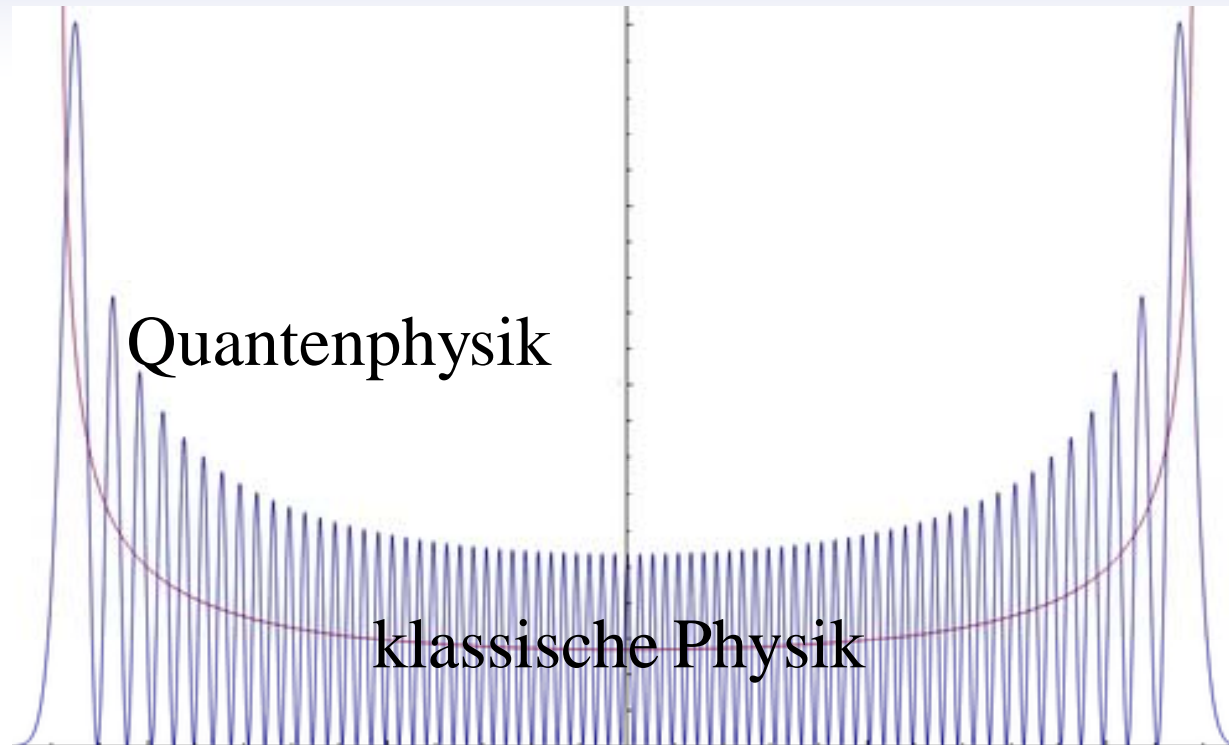
Walter Ritz
1878-1909

Diagnose

- empirisch gefundener Zusammenhang zwischen Emissionslinien eines Elements
- erklärt Frequenz der Spektrallinien ALLER Elemente
- Spektrallinie ergibt sich aus Summe/ Differenz der Frequenzen zweier anderer Spektrallinien
- Verständnis auf der Grundlage des Bohrschen Atommodell

Kombiniere Mikrowelt mit Makrowelt

Korrespondenzprinzip



Diagnose

- Quantentheorie sollte Ergebnisse der klassischen Physik wiedergeben
- klassische Beschreibung physikalischer Systeme
als Grenzfall quantenphysikalischer Beschreibung für GROSSE Quantenzahlen
- Plancksches Wirkungsquantum kann für solche Systeme VERNACHLÄSSIGT werden
- Übergänge zwischen hohen Bohrschen Bahnen zeigen kaum Änderungen in ENERGIE
- Übergänge zwischen hohen Bohrschen Bahnen zeigen kaum Änderungen im RADIUS
- Energieänderungen sind damit quasikontinuierlich und können klassisch betrachtet werden

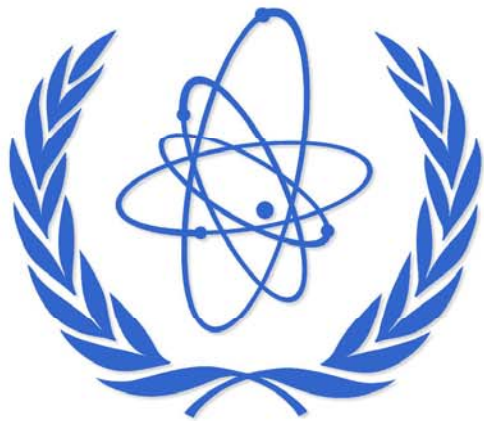
Physikalische Zustandsänderung Heißes Eisen



Diagnose

- erhitzt man ein Metall wie Eisen, hebt man Elektronen in höhere Energiezustände
- keine Änderung der chemischen Zusammensetzung
- Material ist immer noch Eisen

Extrablatt



IAEA

International Atomic Energy Agency

Atoms For Peace