

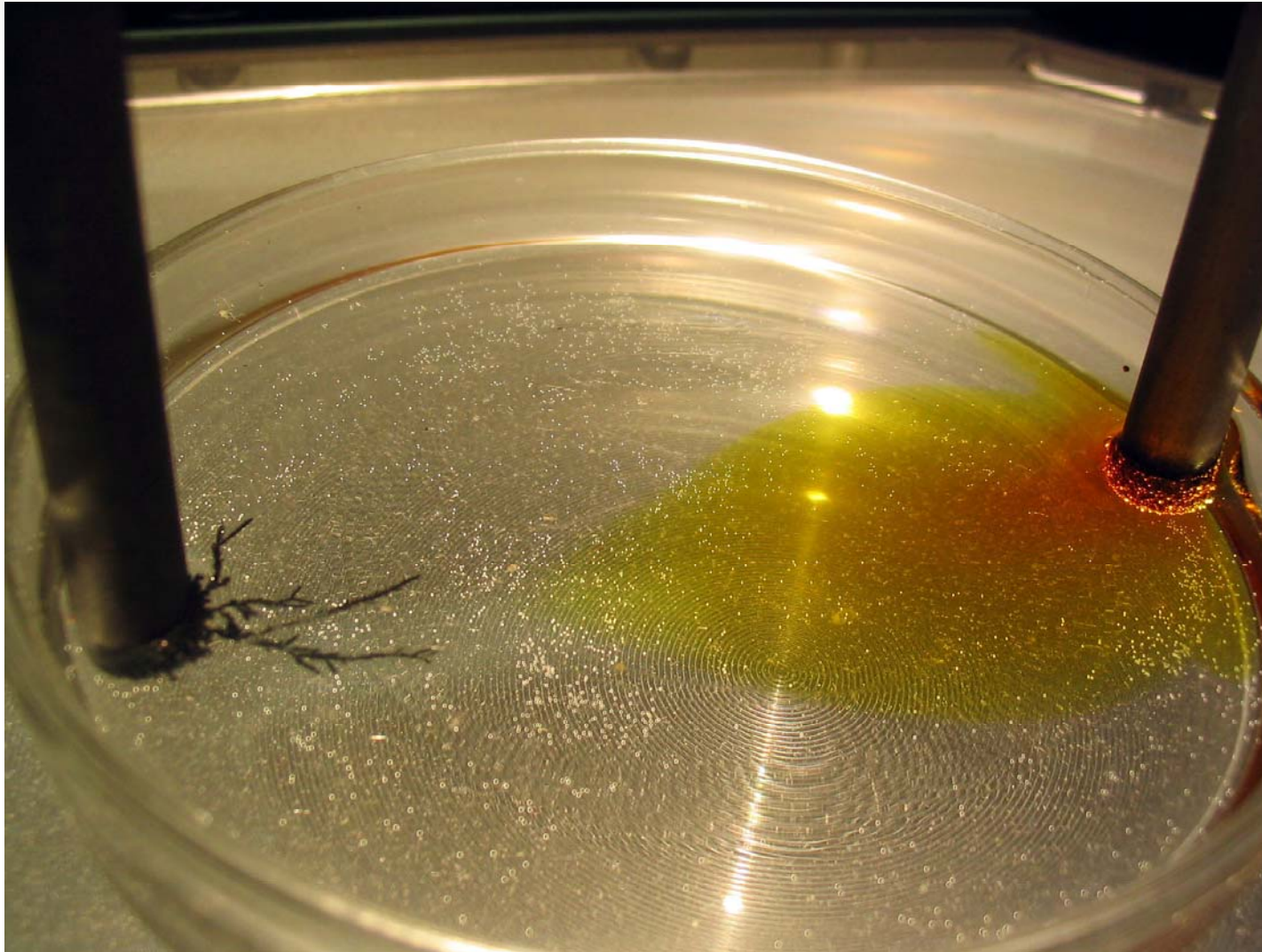
Und haben's schon mal ein Atom g'sehn, Herr Kollege?
Ernst Mach fragt Ludwig Boltzmann



Der Weg zum Atom

Thema Der Weg zum Atom

Elektrolyse



Historisches Elektrolyse

Vorstellung bis zu Beginn 19 Jahrhundert

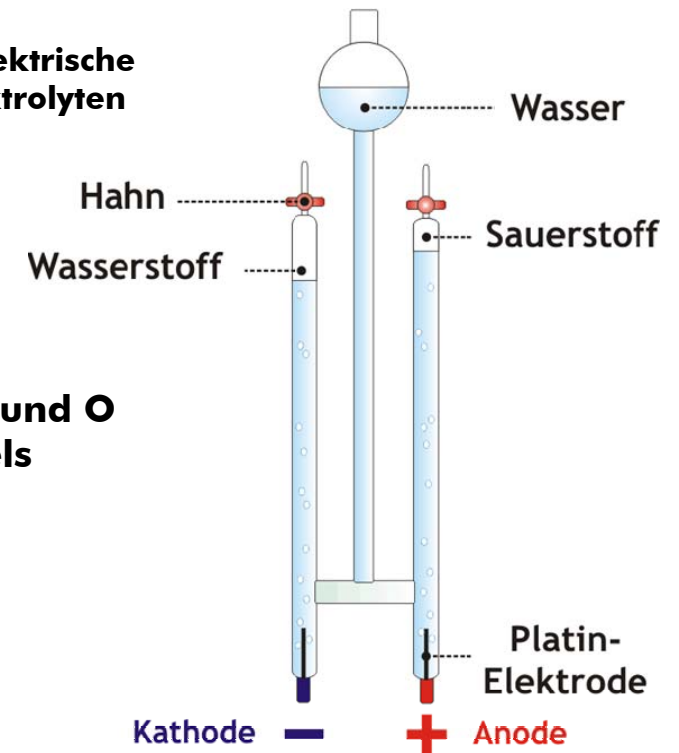
Wasser ist ein **ELEMENT**, da man es nicht in seine Bestandteile aufteilen kann

spezifischer Widerstand

$$\rho_e^{H_2O} = 2.3 \cdot 10^5 \Omega m$$

Wasser ist schlechter Leiter für elektrischen Strom

Flüssigkeiten und Lösungen, die eine elektrische Leitfähigkeit aufweisen, nennt man **Elektrolyten**

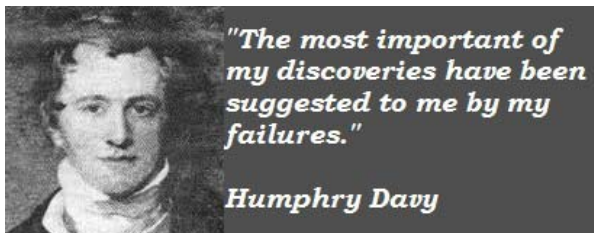
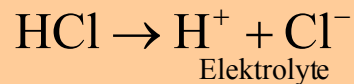


Hoffmannscher Zersetzungsapparat

Arrhenius 1887

- Entdeckung des Phänomens der elektrolytischen Dissoziation
- Wasser kann aufgespalten werden in ionische Bestandteile H und O
- Elektrolyte erhöhen elektrische Leitfähigkeit des Lösungsmittels

Beispiel
elektrolytische Dissoziation in Lösungsmittel



Humphry Davy

Humphry Davy 1807

Durch Prozess der Elektrolyse wurden neue Elemente entdeckt:
Natrium, Kalium, Barium, Magnesium, Strontium

Extrablatt

Electrolytic Conductivity

Svante August Arrhenius

The Father of Modern Physical Chemistry

(February 19, 1859 to October 2, 1927)

Accolades

1903: Won Nobel Prize for theory of electrolytic dissociation

1911: Elected a foreign member of the Royal Society and awarded



Try these animations!

Difference between strong and weak acids

Dissolution of ionic and covalent compounds

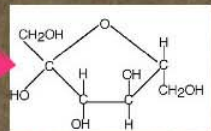
Conductivity of salt vs. sugar solution

Arrhenius found that fructose does not conduct electricity when dissolved. This is because fructose does not dissociate into ions.

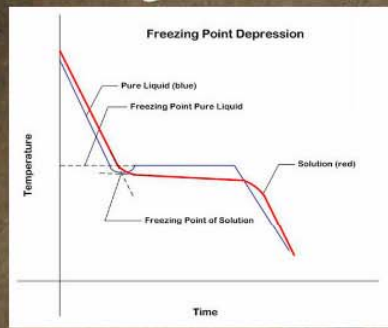
Electrolytes dissociate into oppositely charged ions when dissolved.



<http://www.youtube.com/watch?v=bELPFWz8eU>



Freezing Point Depression



Solutions have lower freezing points than the original solvent. Freezing requires a large cluster of molecules to come together at a single point.

Effect of salt on temperature of water



<http://www.youtube.com/watch?v=miWHL4U8F4w>

Biography

Hello everyone, I am Svante Arrhenius a Swedish chemist and physicist. I was born in Vik, Sweden. I

Contribution

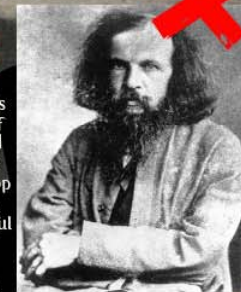
Arrhenius' major contribution to the field of chemistry is his theory of electrolytic dissociation. This theory gave way to many new ideas about ions including their effect on colligative properties. The significance of this with regards to atoms is that

Read Arrhenius' development of the theory of electrolytic dissociation

J.J. Thomson

ENEMIES

Arrhenius had several criticisms of Thomson's atomic model. Some of these critiques included that Thomson used no prior evidence to develop his model and overall, this model was not useful or significant in explaining any phenomena at that time.

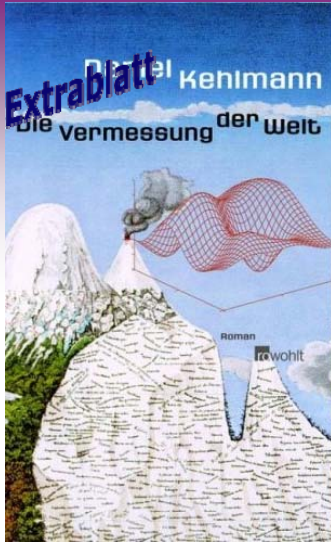


Dmitri Mendeleev

Mendeleev had critiqued Arrhenius' theory of electrolytic dissociation. This criticism caused



The Nobel Prize in Chemistry 1903 was awarded to Svante Arrhenius in recognition of the extraordinary services he has rendered to the advancement of chemistry by his electrolytic theory of dissociation

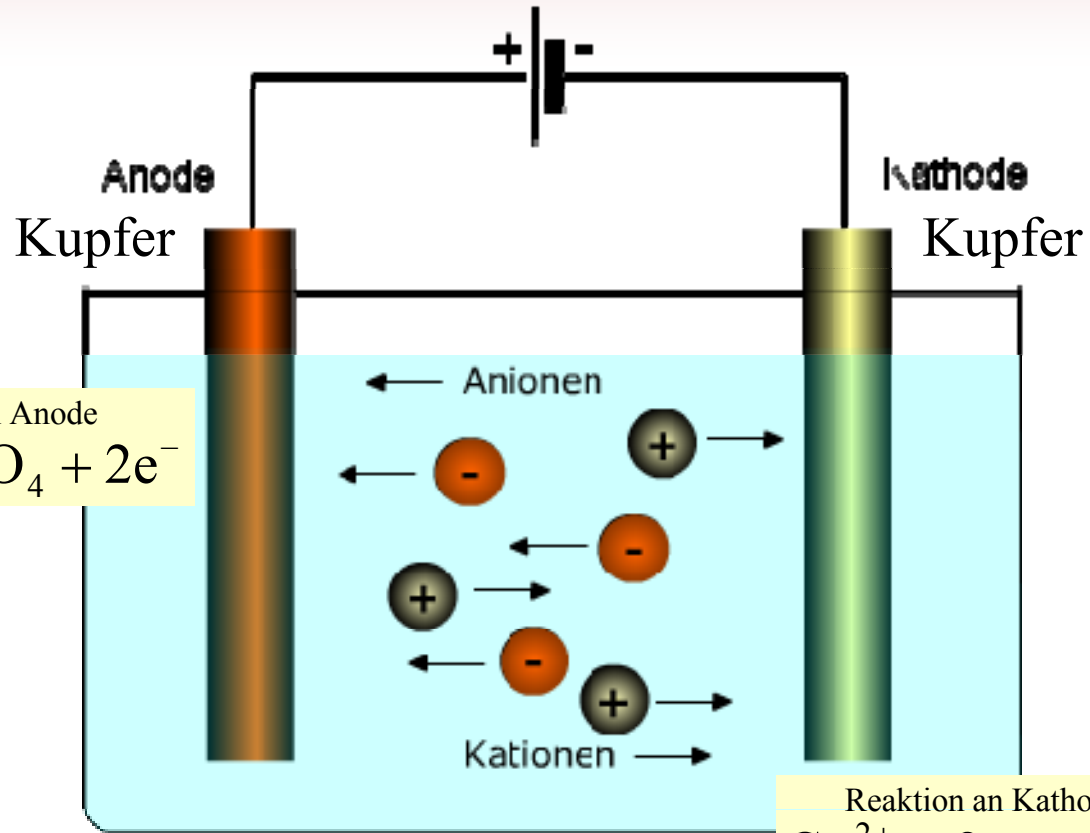
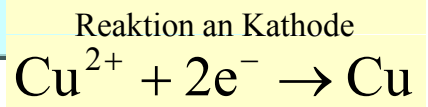
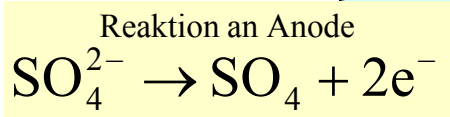
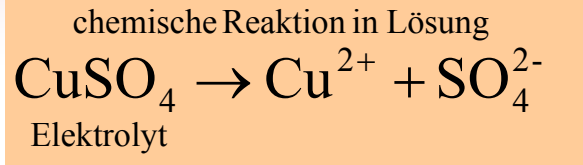


Medizinischer Selbstversuch

Zufällig stieß er auf Galvanis Buch über den Strom und die Frösche. Galvani hatte abgetrennte Froschschenkel mit zwei unterschiedlichen Metallen verbunden, und sie hatten gezuckt wie lebendig. Lag das nun an den Schenkeln, in denen noch Lebenskraft war, oder war die Bewegung von außen gekommen, aus dem Unterschied der Metalle, und von den Froschteilen bloß sichtbar gemacht? Humboldt beschloss es herauszufinden. Er zog sein Hemd aus, legte sich aufs Bett und wies einen Diener an, zwei Aderlasspflaster auf seinen Rücken zu kleben. Der Diener gehorchte, Humboldts Haut warf zwei große Blasen. Und jetzt solle er die Blasen aufschneiden! Der Diener zögerte, Humboldt musste laut werden, der Diener nahm ein Skalpell. Es war so scharf, dass der Schnitt kaum schmerzte. Blut tropfte auf den Boden. Humboldt befahl, ein Stück Zink auf eine der Wunden zu legen.

Der Diener fragte, ob er Pause machen dürfe, ihm sei nicht wohl. Humboldt bat ihn, sich nicht dumm anzustellen. Als ein Silberstück die zweite Wunde berührte, ging ein schmerzhaftes Pochen durch seine Rückenmuskeln, bis hinauf in den Kopf. Mit zitternder Hand notierte er: Muscularis cucularis, Hinterhauptbein, Stachelfortsätze des Rückenwirbelbeins. Kein Zweifel, hier wirkte Elektrizität. Noch einmal das Silber! Er zählte vier Schläge, in regelmäßigem Abstand, dann wichen die Farben aus den Gegenständen.

Stromleitung in Elektrolyten Elektrolyse



elektrisches Feld bewegt Ionen

$$E_e = \frac{U_e}{l}$$

$$F_e = m_{ion} a = q_{\pm} E_e$$

$$a = \frac{q_{\pm}}{m_{ion} \cdot l} U_e$$

Diagnose
Kontrolle der Driftbewegung der Ionen durch Anlegen einer äußeren Spannung (verkupfern)

Stromleitung in Elektrolyten

Faradaysche Gesetze



Erstes Faradaysches Gesetz

$$m_{\text{elektrolyt}} \approx Q_e = I_e \cdot t$$

- **abgeschiedene Stoffmenge proportional geflossener Ladungsmenge durch Leiter**
- **Größen wie Elektrolytkonzentration und Temperatur haben KEINEN Einfluss auf abgeschiedene Masse**

Zweites Faradaysches Gesetz

$$m_{\text{elektrolyt}} \approx \frac{m_{\text{Atom}}}{z_{\text{Wertigkeit}}}$$

| | | |
|-------------------------|--|--|
| $n_{\text{elektrolyt}}$ | [mol] | elektrolytisch transportierte Stoffmenge |
| $m_{\text{elektrolyt}}$ | [kg] | elektrolytisch transportierte Masse |
| Q_e | [F] | elektrisch transportierte Ladung |
| m_{atom} | [kg · mol ⁻¹] | Molmasse der Ionen |
| k_{ch} | [mol · A ⁻¹ · s ⁻¹] | elektrochemisches Äquivalent |
| z_W | | Wertigkeit des Ions |

Die durch bestimmte Ladung abgeschiedene Masse ist proportional zum Atomgewicht des abgeschiedenen Elements und umgekehrt proportional zu seiner Wertigkeit

Stromleitung in Elektrolyten

Faradaysche Gesetze



Symptome

- bestimmte Ladungsmenge ist notwendig, um ein Mol eines einwertigen Ions abzuscheiden

$$Q_e = \overset{\text{Elementarladung}}{e} \cdot \underset{\text{Avogadrozahl}}{N_{Avo}} = \overset{\text{Faradaykonstante}}{F_F}$$

- Ladungsmenge um beliebige Stoffmenge eines z-wertigen Ions elektrolytisch abzuscheiden

$$Q_e = \underset{\text{Wertigkeit}}{z_W} \overset{\text{Elementarladung}}{e} \cdot \underset{\text{Avogadrozahl}}{N_{Avo}} = \overset{\text{Faradaykonstante}}{F_F}$$

Naturkonstante
Faradaykonstante

$$F_F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

Diagnose
Durch gleiche Ladungsmengen
werden stets äquivalente Stoffmengen aus verschiedenen Elektrolyten abgeschieden



Stromleitung in Elektrolyten

Faradaysche Gesetze

Symptome

Berechnung von Ausbeuten und Stromverbrauch spielen wirtschaftlich und wissenschaftlich bedeutsame Rolle bei Berechnung von Stoff- und Energieumsätzen von Elektrolyten



Faradaykonstante

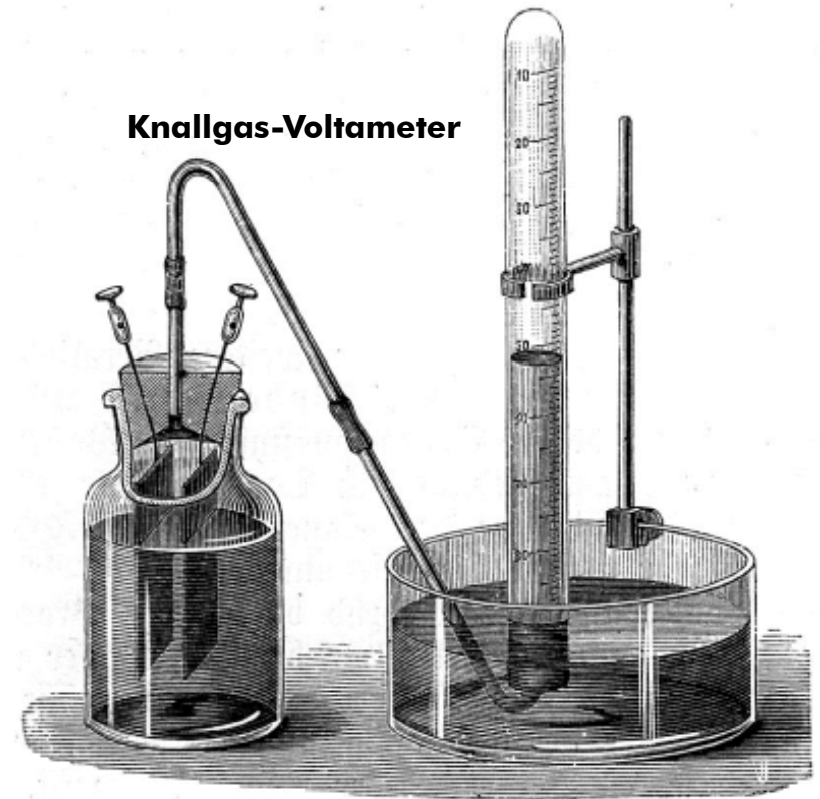
$$F_F = 96485 \text{ C/mol}$$

Zusammengefasst

Faradaysches Gesetz der Elektrolyse

$$m_{\text{elektroyt}} = \frac{I_e \cdot t}{F_F} \frac{m_{\text{Atom}}}{z_W}$$

Masse eines Stoffes, die in gegebener Zeit bei gegebener Stromstärke elektrolytisch abgeschieden wird



Knallgas-Voltmeter

Diagnose

Meilenstein im Verständnis des atomistischen Aufbaus der Materie, da Faradaysche Gesetze den Zusammenhang zwischen Wertigkeit (Eigenschaft Atom) und Ladung herstellen

... und damit Ladung und Materie

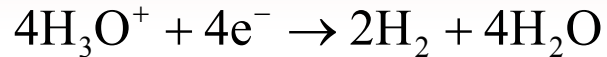
... und damit Verbindung Physik und Chemie

Elektrolytische Spaltung von Wasser

Elektrolyseur

Extrablatt

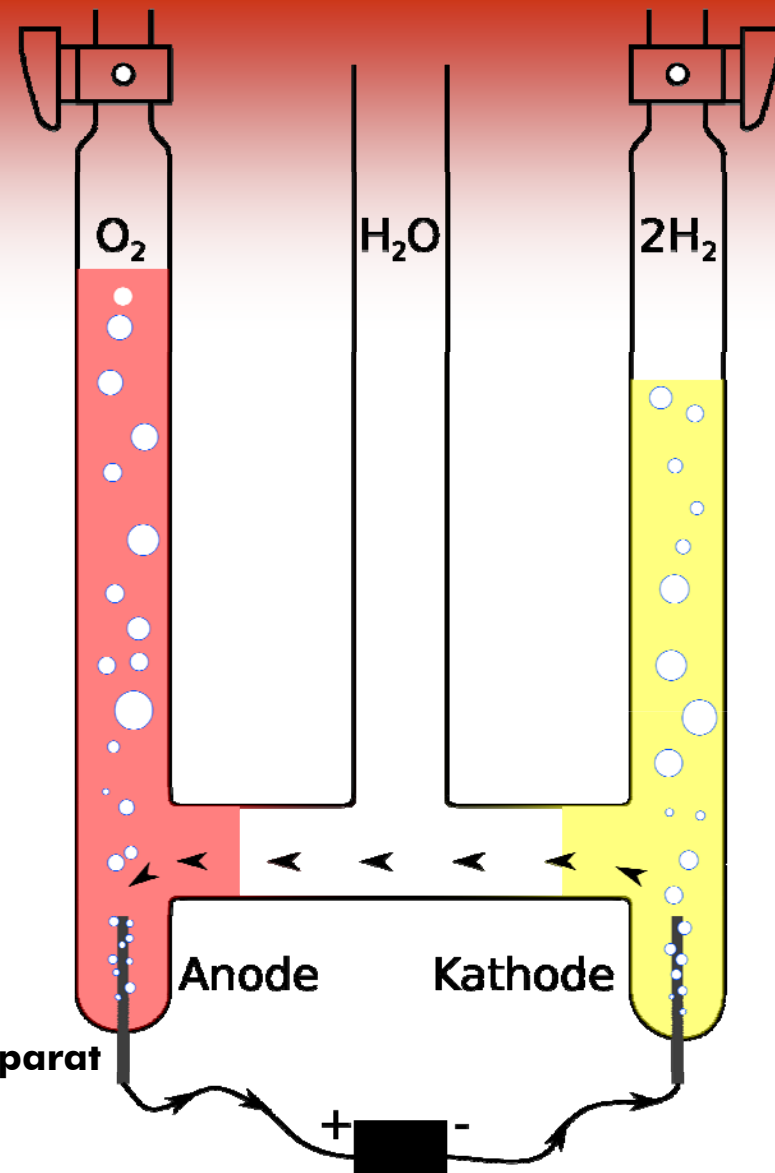
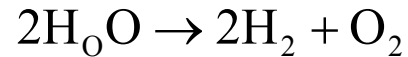
Kathodenreaktion



Anodenreaktion



Gesamtreaktion



Hoffmanscher Zersetzungsapparat

Diagnose

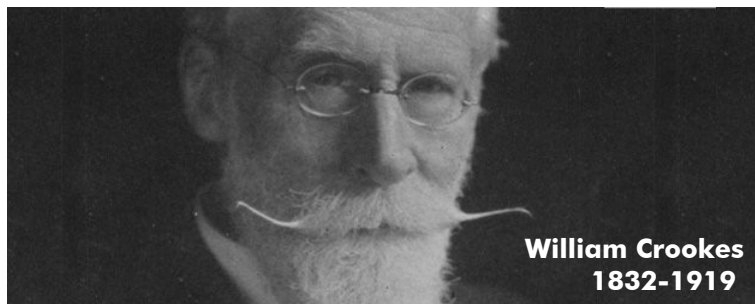
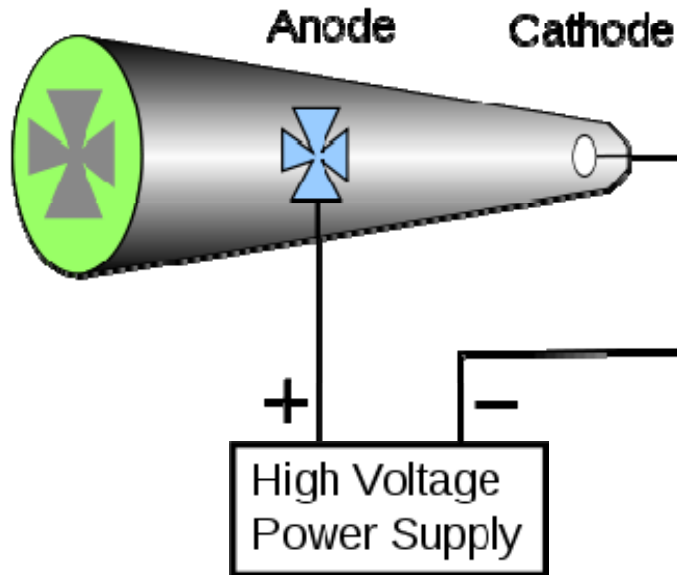
- elektrische Energiebedarf zur Herstellung von 1 m³ H₂ definiert Wirkungsgrad Elektrolyseurs
- Energiebedarf bei 12 bar Druck etwa 4,8 kWh/ m³
- Wirkungsgrad etwa 60% bezogen auf Heizwert von Wasserstoff



Geissler und Crookes Malteser Kreuz

Symptome

Elektronen werden Atomen entrissen und von Kathode (-) in Richtung Anode (+) beschleunigt



Diagnose

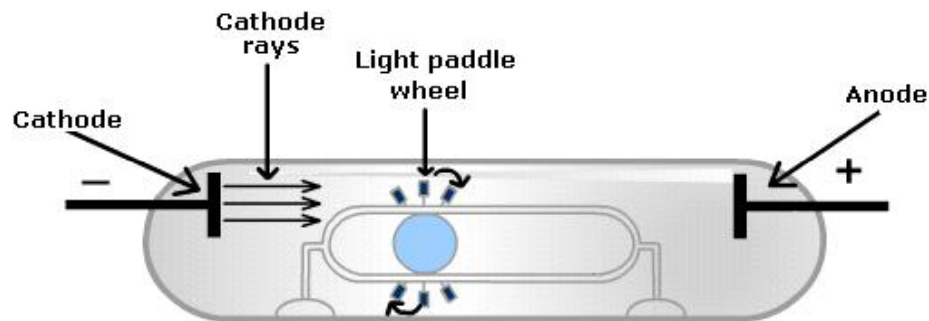
- Stöße mit Gasatomen führen zu Emission elektromagnetischer Strahlung
- Elektronen sind Teilchen und breiten sich gradlinig aus (Schattenbild des Malteser Kreuzes)



Geissler und Crookes Railway tube

Symptome

- mittlere freie Weglänge im Vakuum ist groß gegen Flugstrecke
- Elektronen bewegen Paddel im Vakuum



Diagnose
Elektronen übertragen Impuls



J.J. Thomson 1896 Das Elektron

Symptome

- elektrisches Feld lenkt Teilchen im Kondensator ab (Energie)
- magnetisches Feld lenkt Ladung auf Kreisbahn (Rechte-Hand-Regel) (Impuls)
- Ablenkung hängt von Masse des Teilchens ab

Newton Beschleunigung

$$\vec{F}_e = m_e a_e$$

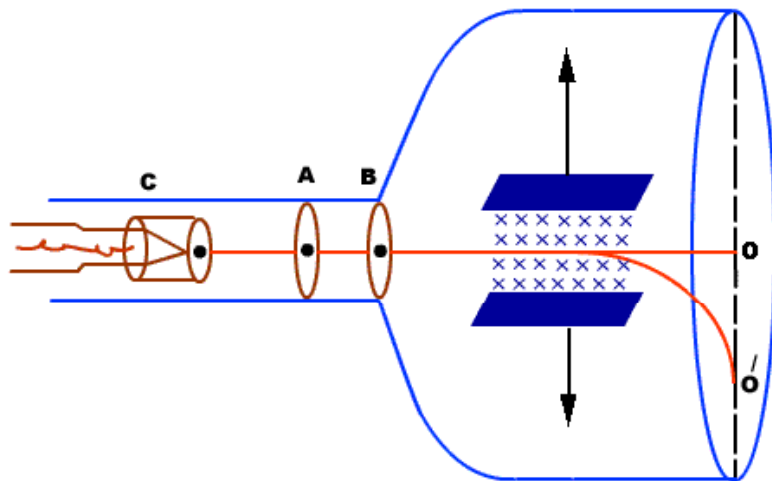
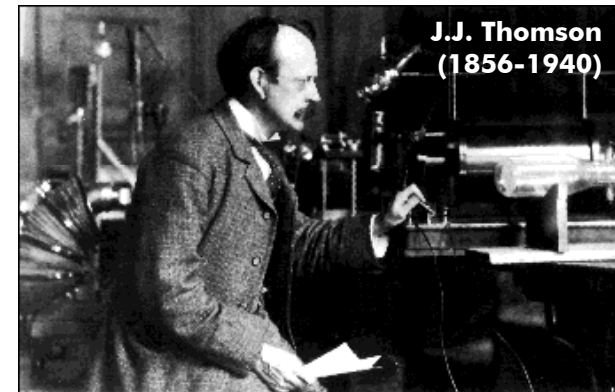
Kräftegleichgewicht
elektrostatische Wechselwirkung

$$\frac{q_e}{m_e} = \frac{a_e}{E_e}$$

Masse zu -Ladung des Elektrons

Coulombkraft

$$\vec{F}_e = q_e \cdot \vec{E}_e$$



Lorentzkraft

$$\vec{F}_M = q_e \cdot \vec{v}_e \times \vec{B}_M$$

Kräftegleichgewicht
magnetische Wechselwirkung

$$\frac{q_e}{m_e} = \frac{a_e}{v_e B_M}$$

Masse zu -Ladung des Elektrons

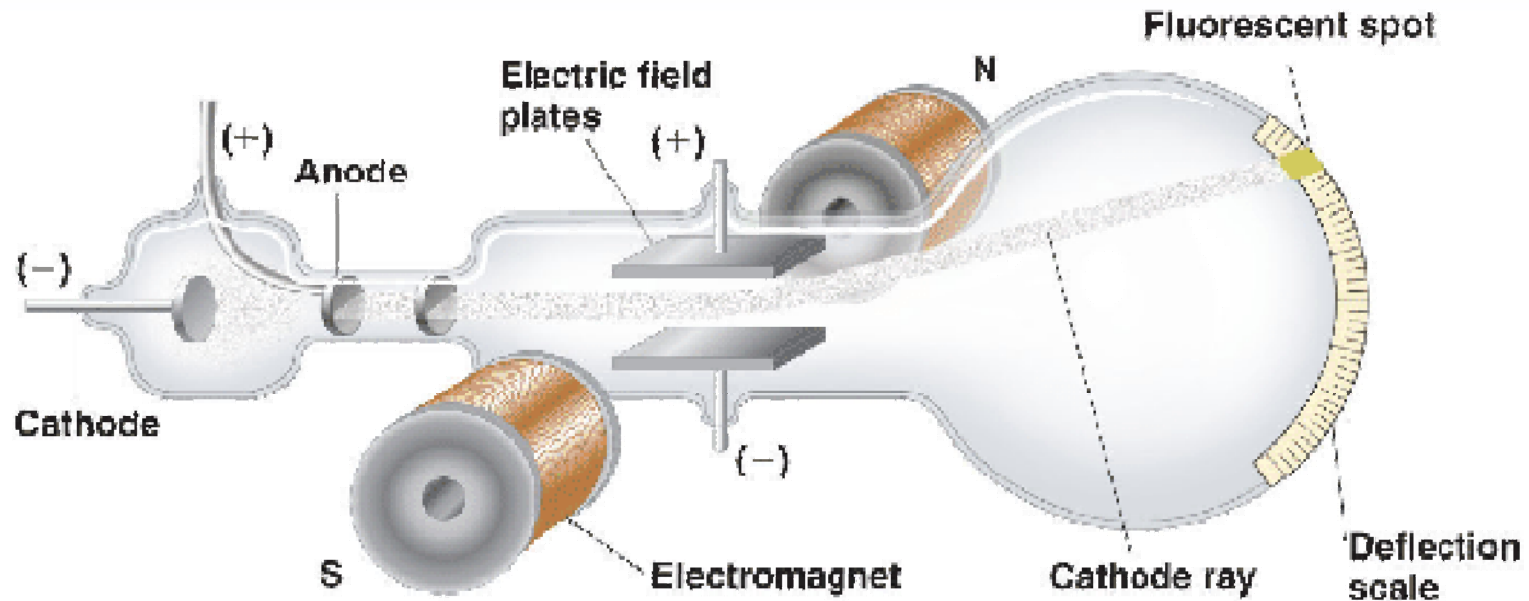
Zentripetalkraft

$$\vec{F}_R = m_e \cdot \frac{\vec{v}_e^2}{r}$$

Diagnose

Aus Verhalten des Teilchens im elektrischen/ magnetischen Feld Ladung-pro-Masse bestimmt

Anfänge der Massenspektroskopie Thomson Spektrograph



Verhältnis kann aus Ablenkung
im kombinierten elektrischen und magnetischen Feld bestimmt werden

$$\frac{q_e}{m_e} = \frac{2x_{TS} E_e}{y_{TS}^2 B_M}$$

Diagnose

Analyse der Teilchen durch kombiniertes elektrisches (Energie) und magnetisches Feld (Impuls)

Ladung-zu-Masse

Spezifische Ladung

Spezifische Ladung des Elektrons

$$\frac{q_{electron}}{m_{electron}} = -1.76 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

Verhältnis Masse-zu-Ladung

$$\frac{m_{electron}}{q_{electron}} = -5.7 \cdot 10^{-12} \frac{kg}{C}$$

Diagnose

- experimentell gefundener Wert für q/m ergibt einen beeindruckend hohen Wert
- Masse-zu-Ladung Verhältnis zeigt, dass Elektron extrem geringe Masse haben muss
- Vergleich Elektrolyse: Ladungsmenge 10^8 C/ kg benötigt in galvanischen Prozessen
- Ladung von Elektron vs Proton identisch bis auf Vorzeichen und erlaubt Massenbestimmung

Spezifische Ladung des Protons

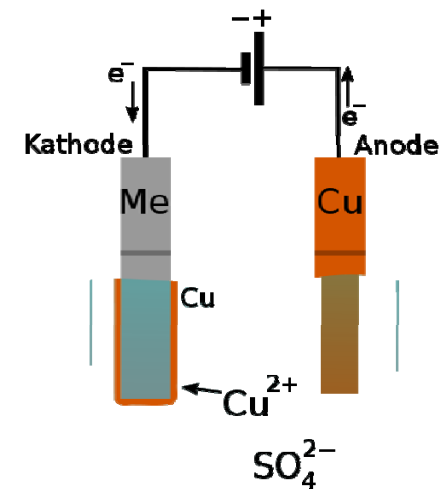
$$\frac{q_{proton}}{m_{proton}} = 9.57 \cdot 10^7 \frac{C}{kg}$$

Verhältnis Elektron-zu-Proton

$$\frac{q_{proton}}{m_{proton}} = -1836 \cdot \frac{q_{electron}}{m_{electron}}$$

Massenverhältnis Elektron-zu-Proton

$$m_{proton} = 1836 \cdot m_{electron}$$



It was only when I was convinced that the experiment left no escape from it that I published my belief in the existence of bodies smaller than the atoms (JJ Thomson)

The New York Times

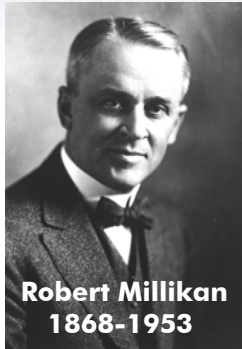
NEW YORK, WEDNESDAY, MARCH 31, 2004

- 1 Nachweis des Interferenzeffekts an einzelnen Elektronen (Jönsson 1961)
- 2 Experimente zum freien Fall (Galilei um 1600)
-  3 Öltröpfchen Experiment (Millikan 1910)
- 4 Aufspaltung von Sonnenlicht mit Hilfe eines Prismas (Newton 1665)
- 5 Nachweis der Interferenz von Licht (Young 1801)
- 6 Torsionsbalkenexperiment zur Wägung der Erde (Cavendish 1798)
- 7 Messung des Erdumfangs (Eratosthenes 300 v. Chr)
- 8 Experimente mit Körpern auf einer schiefen Ebene (Galilei 1600)
- 9 Streuexperimente am Atomkern (Rutherford 1911)
- 10 Foucaultsches Pendel (1851)

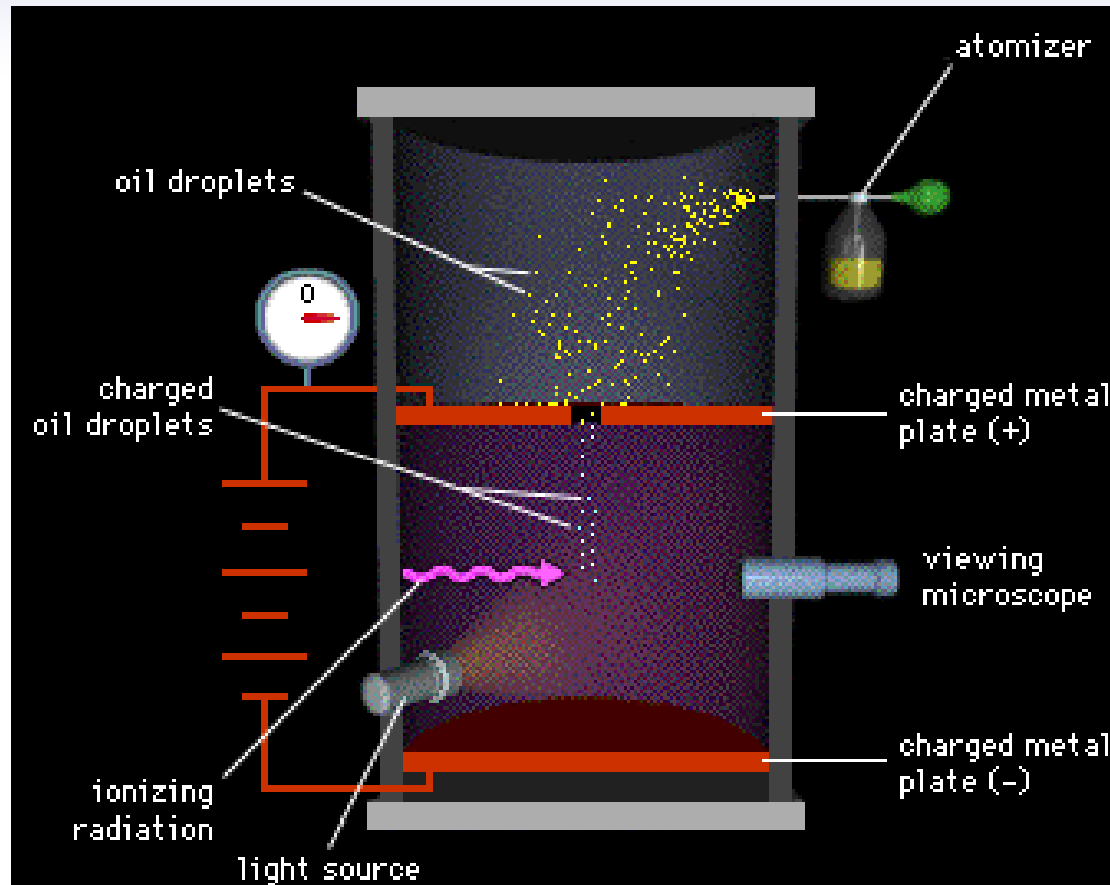


Öltröpfchen im elektrischen Feld

Elementarladung des Elektrons



Robert Millikan
1868-1953



Diagnose

- Öltröpfchen werden in Vakuumkammer gesprayed
- Energiereiche Strahlung aus radioaktiver Quelle lädt Tröpfchen elektrisch auf
- Gewicht des Tropfens wird durch elektrische Feld (Kondensator) ausbalanciert



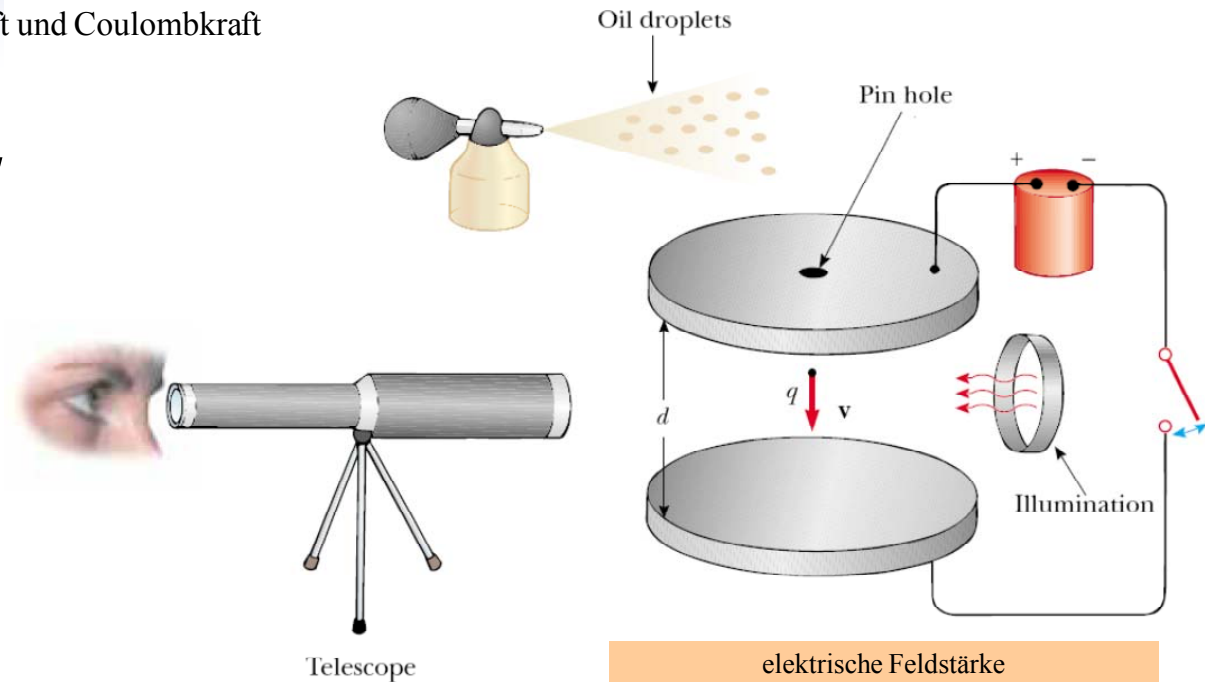
Öltröpfchen im elektrischen Feld

Elementarladung des Elektrons

Kräftegleichgewicht zwischen Gewichtskraft und Coulombkraft

$$\vec{F}_g = \vec{F}_e$$

$$m_{drop}g = q_{drop}E$$



Ladung auf Tropfen

$$q_{drop} = \frac{m_{drop}g}{E_e}$$

$$q_{drop} = \frac{m_{drop}g \cdot d_{Kondensator}}{U_e}$$

elektrische Feldstärke
 $U_e = E_e d$
berechnet aus angelegter elektrischer Spannung

Diagnose

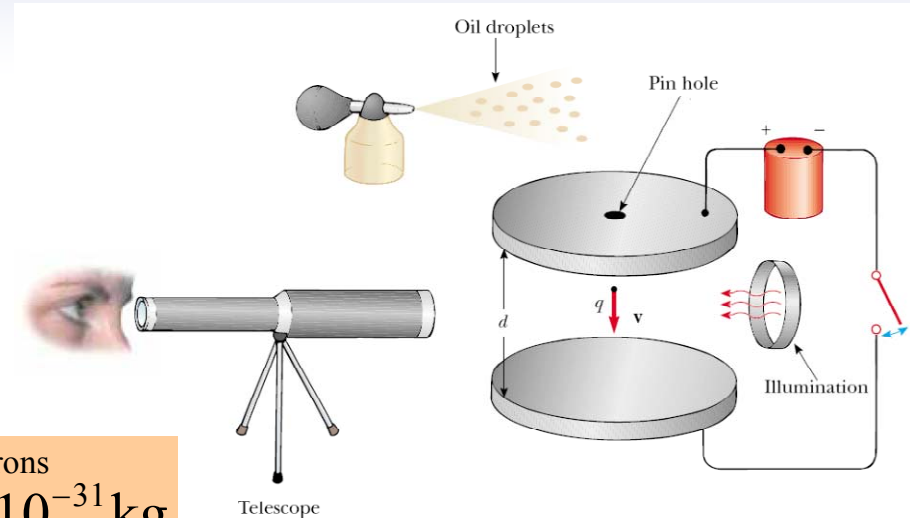
Ladungsmenge auf Tropfen kann durch Experiment bestimmt werden

Öltröpfchen im elektrischen Feld

Elementarladung des Elektrons

Ladungsmenge auf Tropfen kann aus experimentell zugänglichen makroskopischen Größen bestimmt werden

$$q_{drop} = \frac{g \cdot d_{Kondensator} \cdot m_{drop}}{U_e}$$



Masse des Elektrons

$$m_{electron} = \frac{q_{electron}}{q_{electron} / m_{electron}}$$

$$m_{electron} = \frac{-1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{-1.76 \cdot 10^{-1} \text{ C/kg}}$$

Masse des Elektrons

$$m_{electron} = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Masse des Protons = $1836 \cdot m_e$

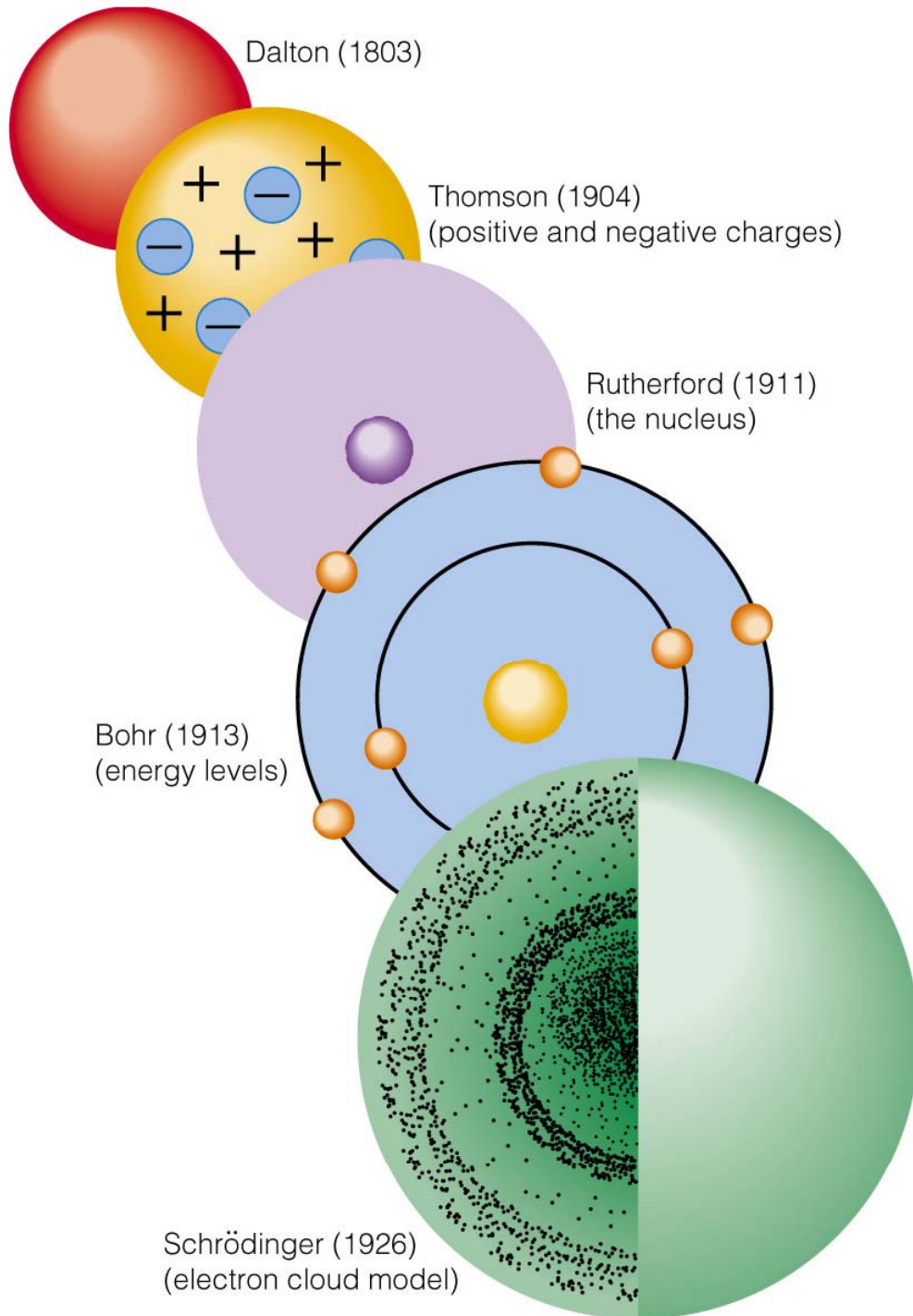
$$m_{proton} = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Diagnose

- weiterer Nachweis für die Existenz des Elektrons
- Elektron hat von allen bekannten massebehafteten Teilchen die **GERINGSTE** Masse
- Nachweis der **SUBSTRUKTUR** des Atoms
- Elektron hat nur **GERINGEN** Anteil an Masse des Atoms
- alle Elektronen sind **IDENTISCH**
- Masse und Ladung des Elektrons sind **EINDEUTIG** und **KEINE** gemittelten Werte

$$Q_e = n_{\text{ganze Zahl}} \cdot q_{electron}$$

Thema Der Weg zum Atom Atommodelle





Demokrit
(460-371 v. Chr)

Meilensteine Atome existieren?

Prinzip der Massenerhaltung (Lavoisier 1789)

Gesetz der multiplen Proportionen (Dalton 1803)

Daltons Atomhypothese (1808)

Brownsche Molekularbewegung (1827)

| | | | | | |
|----------|-----------|------|------------|------------|------------|
| | | | Ti = 50 | Zr = 90 | ? = 180 |
| | | | V = 51 | Nb = 94 | Ta = 182 |
| | | | Cr = 52 | Mo = 96 | W = 186 |
| | | | Mn = 55 | Rh = 104,4 | Pt = 197,4 |
| | | | Fe = 56 | Ru = 104,4 | Ir = 198 |
| | | Ni = | Co = 59 | Pd = 106,6 | Os = 199 |
| | | | Cu = 63,4 | Ag = 108 | Hg = 200 |
| H = 1 | | | Zn = 65,2 | Cd = 112 | |
| Be = 9,4 | Mg = 24 | | ? = 68 | Ur = 116 | Au = 197 ? |
| B = 11 | Al = 27,4 | | ? = 70 | Sn = 118 | |
| C = 12 | Si = 28 | | As = 75 | Sb = 122 | Bi = 210 ? |
| N = 14 | P = 31 | | Se = 79,4 | Te = 128 ? | |
| O = 16 | S = 32 | | Br = 80 | J = 127 | |
| F = 19 | Cl = 35,5 | | Rb = 85,4 | Cs = 133 | Tl = 204 |
| Li = 7 | Na = 23 | | K = 39 | Ba = 137 | Pb = 207 |
| | | | Ca = 40 | | |
| | | | ? = 45 | Ce = 92 | |
| | | | ?Er = 56 | La = 94 | |
| | | | ?Yt = 60 | Di = 95 | |
| | | | ?In = 75,6 | Th = 118 ? | |



Periodensystem der Elemente (Mendelejew 1869)



Demokrit
(460-371 v. Chr.)

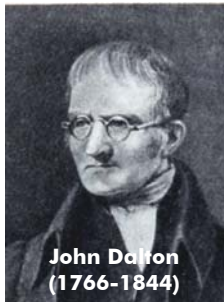
Atome existieren? Erste Hinweise



Prinzip der Massenerhaltung (1789)

Nichts wird bei Operationen künstlicher oder natürlicher Art geschaffen, und es kann als Axiom angesehen werden, dass bei jeder Operation eine gleiche Quantität Materie vor und nach der Operation existiert

Antoine-Laurent Lavoisier
(1793-1794)

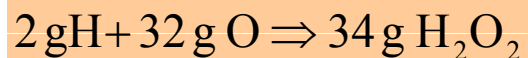
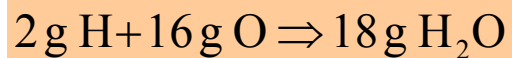


John Dalton
(1766-1844)

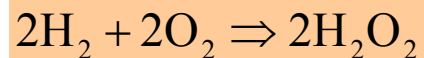
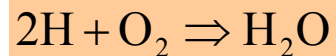
Gesetz der multiplen Proportionen (1803)

Vereinen sich zwei Elemente zu mehreren Verbindungen, so stehen die betreffenden Gewichtsverhältnisse im Verhältnis einfacher kleiner Zahlen.

example



example



Streichhölzer
verbrennen



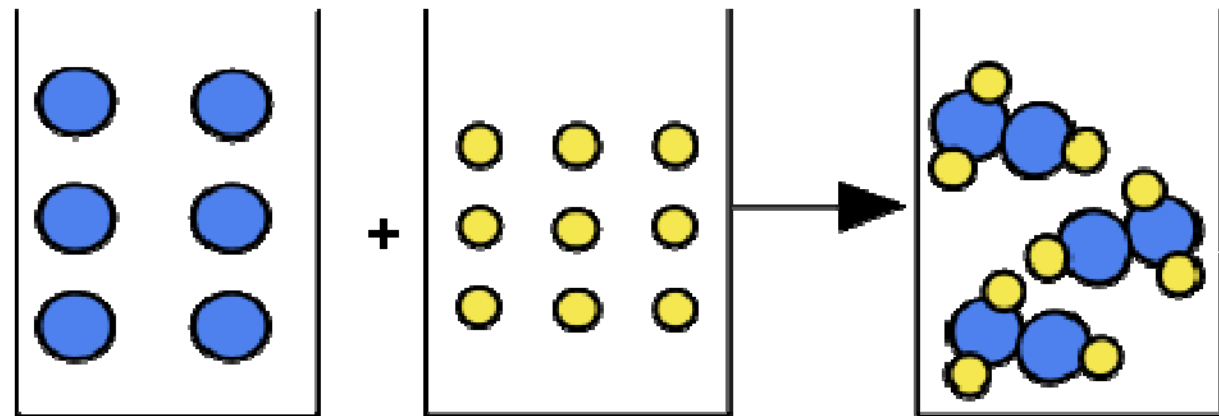
Daltons Atomhypothese 1808

...ob die letzten (kleinsten) Teilchen eines Stoffes, wie Wasser, alle gleich sind, d.h. von derselben Gestalt, demselben Gewicht etc. ist eine Frage von einiger Wichtigkeit. Aus dem, was wir wissen, haben wir keinen Grund, eine Verschiedenheit dieser (kleinsten) Teile anzunehmen: Wenn aber alle Wasserteilchen gleich aufgebaut sind, so muss das auch für die Bausteine des Wassers (die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff) gelten. Wir können daher schließen, dass die letzten Teilchen aller homogenen Stoffe völlig gleich in Gewicht, Gestalt etc. sind.

John Dalton in *A New System of Chemical Philosophy*



John Dalton
(1766-1844)



Diagnose

- **Materie besteht aus kleinsten, nicht weiter teilbaren Teilchen**
- **Atome eines Elements haben gleiche Größe, Gestalt und Masse**
- **Atome können weder erzeugt noch vernichtet werden**
- **alle Atome eines Elements sind gleich**
- **chemische Verbindungen bilden sich in ganzzahligen Mengen und definierten Verhältnissen**



Robert Brown
1773–1858

1827 Atome existieren

Brownsche Molekularbewegung

Symptome

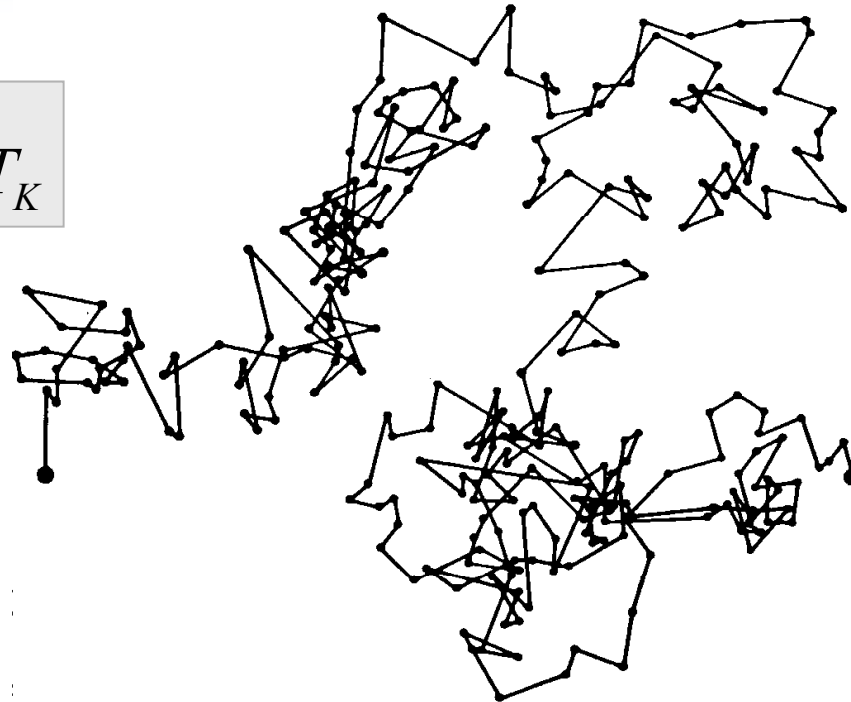
Viele Stöße kleinster Teilchen bewirken statistische Bewegung größerer Teilchen

Ideales Gasgesetz

$$pV = n_{mol} n_{avo} R_G T_K$$

Ideale Gaskonstante

$$R_G = 8.31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$



Brownsche Bewegung



Avogadrozahl

$$n_{\text{Avo}} = 6.022 \cdot 10^{23} \frac{\text{l}}{\text{mol}}$$

Loschmidt konstante

$$n_L = 2.686 \cdot 10^{25} \frac{\text{l}}{\text{m}^3}$$

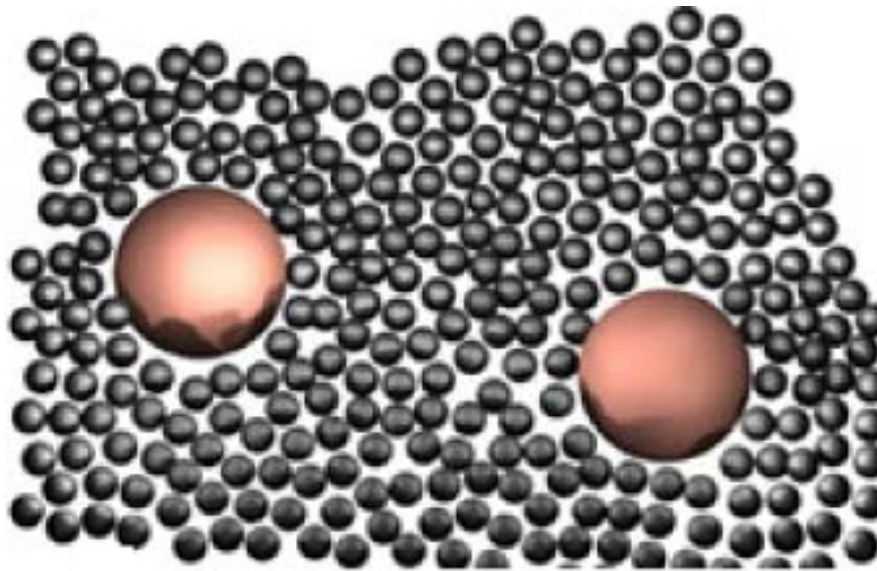
$$V_{mol} = 22.4 \frac{\text{l}}{\text{mol}}$$

Diagnose

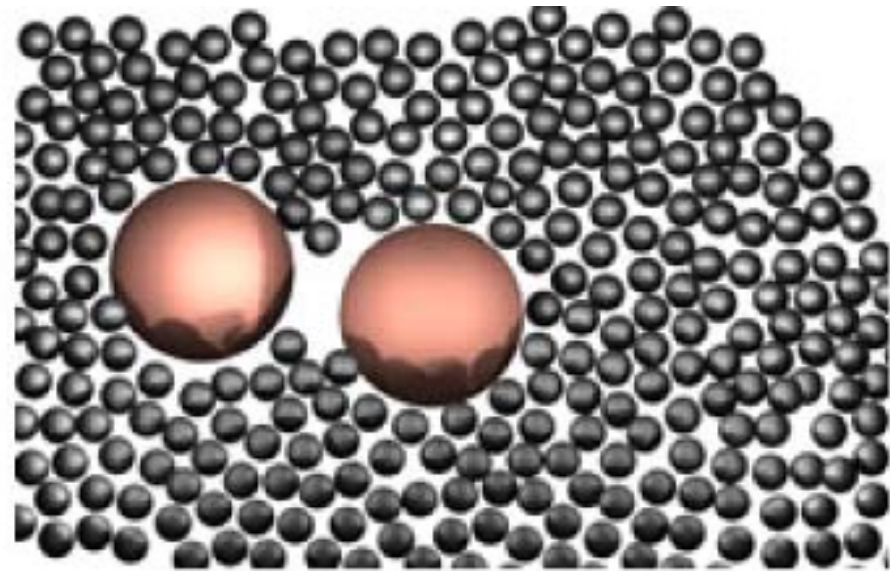
- Moleküle können nicht direkt beobachtet werden, aber ihre Wirkung auf größere Teilchen
- aus Brownschem Verhalten kann auf Größe der Moleküle geschlossen werden
- kleinere und damit zahlreichere Moleküle generieren geringere Fluktuationen
- Einstein gibt 1905 statistische Erklärung der Brownschen Molekularbewegung
- Jean-Baptiste Perrin bestimmt Größe von Atomen ($\sim 10^{-10}$ m) und Molekülen
- Ideales Gasgesetz erklärt Beziehung zwischen Zustandsgrößen

Druck, Stoffmenge, Temperatur, Volumen durch Stöße kleinster Teilchen





A



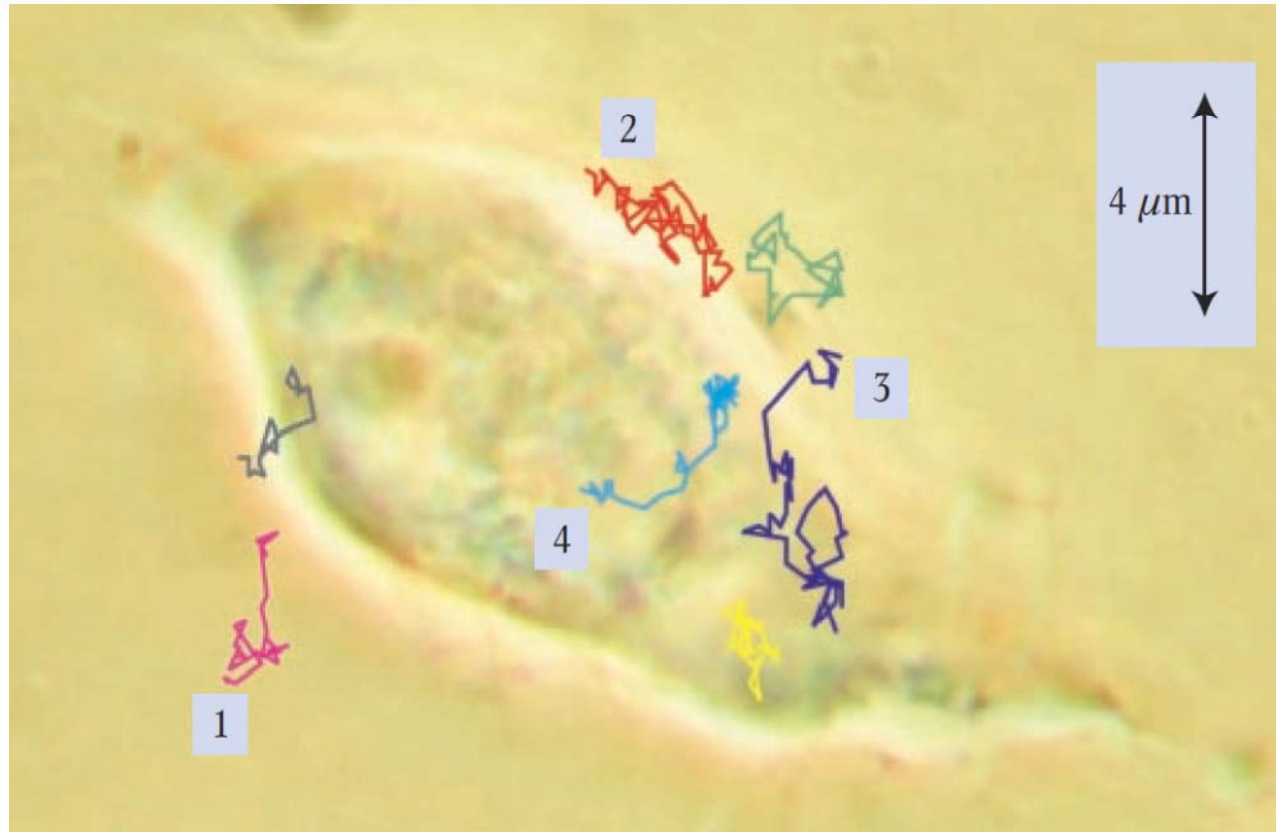
B

The Nobel Prize in Physics 1926 was awarded to Jean Baptiste Perrin for his work on the discontinuous structure of matter, and especially for his discovery of sedimentation equilibrium

Brownsche Bewegung Zickzack

Symptome

Brownsche Bewegung von Viren in Umgebung einer Zelle gibt Hinweise für Wirkstoffforschung



Diagnose

- Virus diffundiert in Lösungsmittel (1)
- Virus dockt an Zelle an (2)
- Virus durchdringt Zellmembran (3)
- Virus dringt in Zellkern ein (4)

Historisches Triaden

Symptome

Johann Döbereiner stellt 1819 Vorläufer des Periodensystems vor

| Element | Masse |
|-----------|------------|
| Calcium | 40.08 amu |
| Strontium | 87.62 amu |
| Barium | 138.33 amu |

$$m_{Sr} = \frac{\text{Mittelwert}}{2} (m_{Ca} + m_{Ba})$$

$$m_{Sr} = \frac{40.08 \text{ amu} + 137.28 \text{ amu}}{2}$$

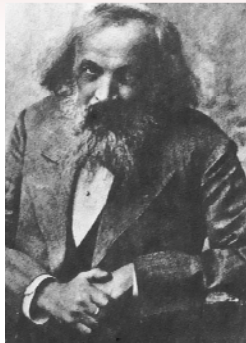
$$m_{Sr} = 88.7 \text{ amu}$$



Diagnose

- Elemente werden nach sogenannten Triaden gruppiert
- Gruppen von je drei Elementen mit ähnlichen chemischen Eigenschaften
- Atommasse des mittleren Elements Mittelwert der Atommassen der beiden anderen
- Vorhersage unbekannter Elemente wie Brom

1869 Atome existieren



Dimitri Mendelejew
(1834-1907)

Periodensystem der Elemente Periodic table of the elements

| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 18 |
|-----|-----|-------------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 1 | 2 | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| H | He | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne |
| 3 | 4 | | | | | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Li | Be | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| 11 | 12 | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43* | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| 55 | 56 | 57-71 Lanthaniden Lanthanides | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84* | 85* | 86* |
| Cs | Ba | | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| 87* | 88* | 89-103 Actiniden Actinides | 104* | 105* | 106* | 107* | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | | | | | | |
| Fr | Ra | | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Uun | UUu | UUb | | | | | | |
| | | Lanthaniden Lanthanides | 57 | 58 | 59 | 60 | 61* | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 |
| | | | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| | | Actiniden Actinides | 89* | 90* | 91* | 92* | 93* | 94* | 95* | 96* | 97* | 98* | 99* | 100* | 101* | 102* | 103* |
| | | | Ac | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |

Alkalis

Edelgase

Diagnose
Eigenschaften bestimmter Elemente wiederholen sich periodisch

Periodensystem Metalle

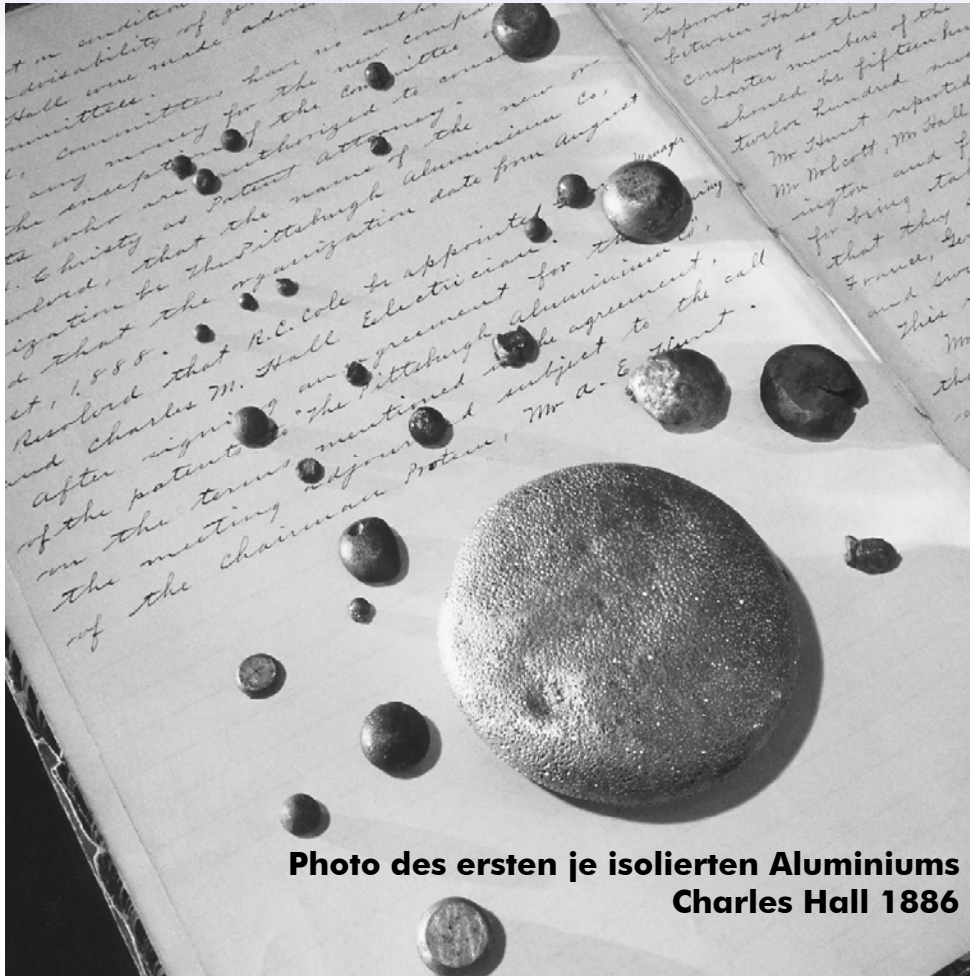


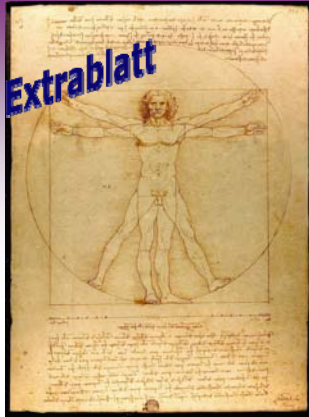
Photo des ersten je isolierten Aluminiums
Charles Hall 1886

Häufigkeit der Elemente auf der Erde

| Rang | Element | Häufigkeit |
|------|---------|------------|
| 3 | Al | 7.50% |
| 4 | Fe | 4.71% |
| 5 | Ca | 3.39% |
| 6 | Na | 2.63% |
| 7 | K | 2.40% |
| 8 | Mg | 1.93% |
| 9 | Ti | 0.58% |
| 10 | Mn | 0.09% |

Diagnose

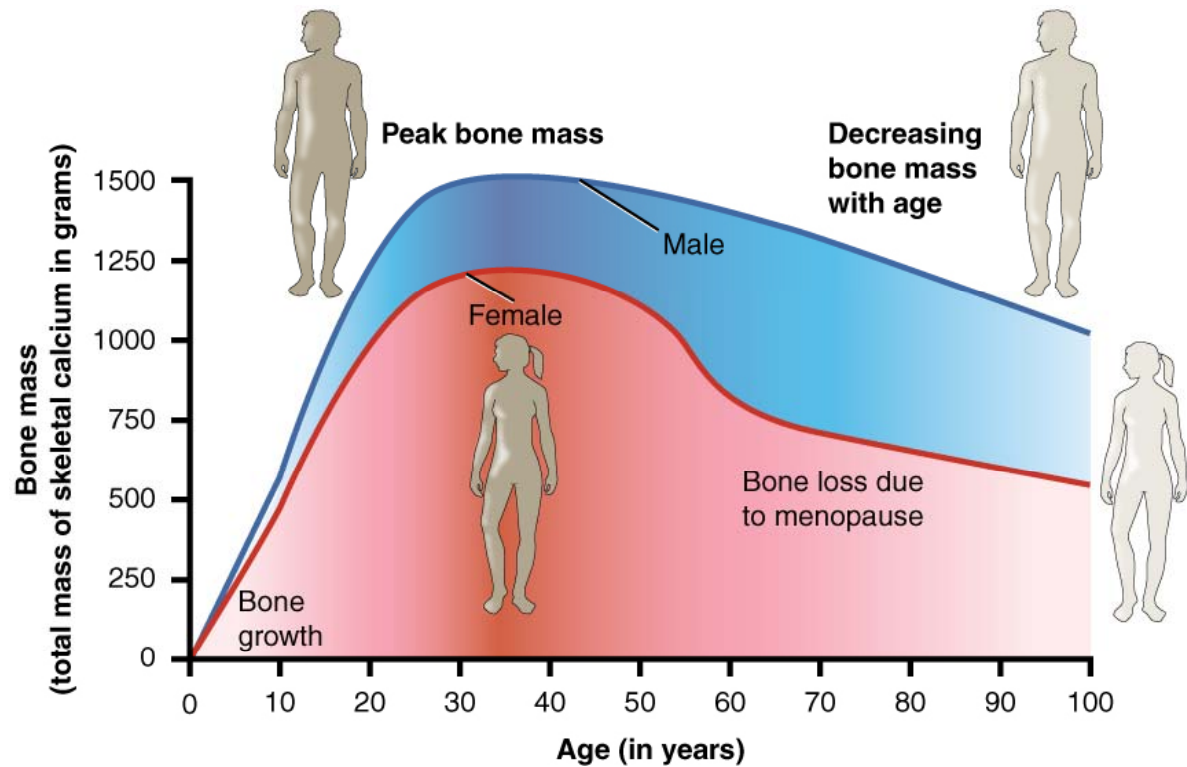
- 87 Elemente im Periodensystem (80%) sind Metalle
- Aluminium ist das am häufigsten vorkommende Metall auf der Erde



Periodensystem Metalle

Häufigkeit von Metallen im menschlichen Körper

| Rang | Element | Häufigkeit |
|------|---------|------------|
| 5 | Ca | 1.40% |
| 7 | Mg | 0.50% |
| 8 | K | 0.34% |
| 10 | Na | 0.14% |
| 12 | Fe | 0.004% |
| 13 | Zn | 0.003% |

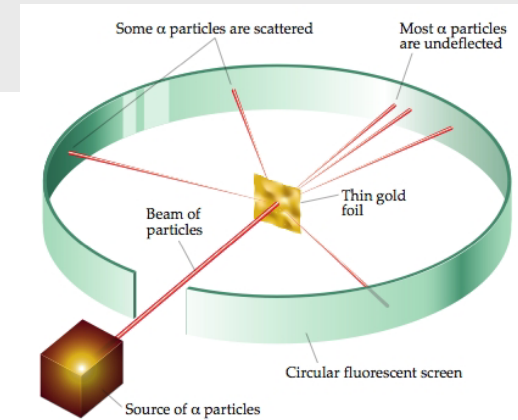


Diagnose

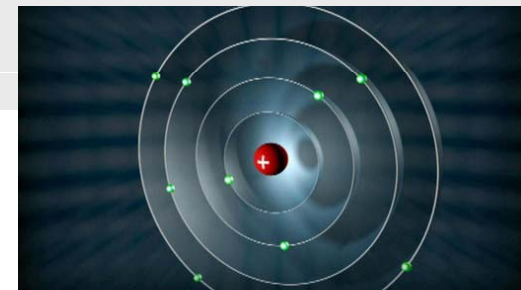
- Metalle sind im Körper vorhanden, allerdings in geringerem Anteil
- Metalle werden vom Körper funktional eingesetzt
- Beispiel ist hoher Kalziumanteil in Knochen

Meilensteine Struktur des Atoms

Innere Struktur der Atome - Rutherford Experiment



Energieverhältnisse im Atom - Bohrsches Atommodell - Quantenzahlen



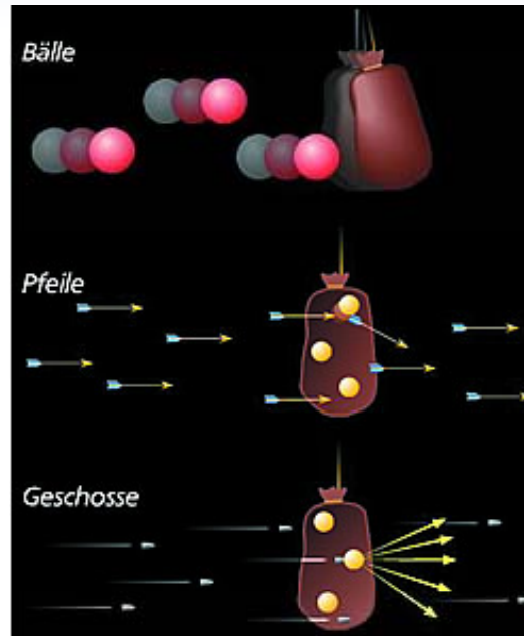
Anregung von Atomen - Fraunhoferlinien - Franck-Hertz Versuch

Rutherford Streuexperiment

Mechanische Analogie

Symptome

Wie kann man, ohne hinein zu schauen, feststellen, wie sich Masse im Beutel verteilt



Diagnose

- **Projektile treffen mit hinreichender Geschwindigkeit den Sack**
- **alle Geschosse treten mit verminderter Geschwindigkeit hinten aus Sack aus**
Materie gleichmäßig mit Materie geringer Dichte gefüllt
- **einige Projektile werden stark abgelenkt**
Geschosse sind mit kleinen, starren massiven Körpern kollidiert
- **energiereichere Projektile enthüllen mehr über inneren Aufbau des Objekts**
- **aus Ablenkung der Projektile erschließt sich die Form des Beutels**
- **Pfeile geben erste Aufschlüsse über Inneres des Beutels**
- **hochenergetische Projektile zerstören Materie im Inneren und offenbaren so innere Struktur**

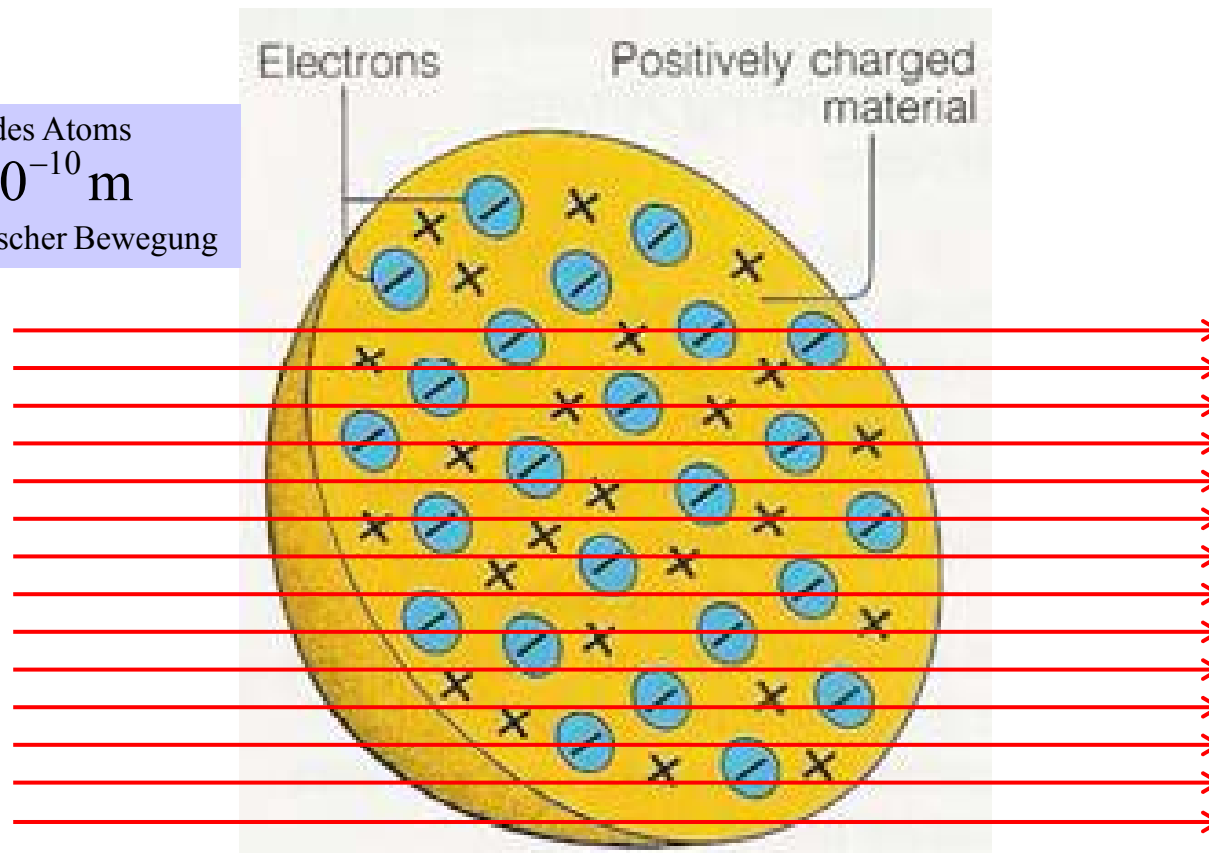


J.J. Thomson 1903 plum pudding model

Theoretisches Modell

- Atom besteht aus Körper gleichmäßig verteilter positiver Ladung
- Elektronen bewegen sich in positiven Ladungshintergrund

Durchmesser des Atoms
 $d_{Atom} \sim 10^{-10} \text{ m}$
bestimmt aus Brownscher Bewegung



Diagnose

- α -Teilchen werden aufgrund geringerer Elektronenmasse nicht stark abgelenkt
- positive Dichte zu gering, um stark abstoßend zu wirkend
- Rutherford'sche Experimente widerlegen Thomsons Vorstellung des Atoms

The New York Times

NEW YORK, WEDNESDAY, MARCH 31, 2004

- 1 Nachweis des Interferenzeffekts an einzelnen Elektronen (Jönsson 1961)
- 2 Experimente zum freien Fall (Galilei um 1600)
- 3 Öltröpfchen Experiment (Millikan 1910)
- 4 Aufspaltung von Sonnenlicht mit Hilfe eines Prismas (Newton 1665)
- 5 Nachweis der Interferenz von Licht (Young 1801)
- 6 Torsionsbalkenexperiment zur Wägung der Erde (Cavendish 1798)
- 7 Messung des Erdumfangs (Eratosthenes 300 v. Chr)
- 8 Experimente mit Körpern auf einer schiefen Ebene (Galilei 1600)
- 9 Streuexperimente am Atomkern (Rutherford 1911)
- 10 Foucaultsches Pendel (1851)



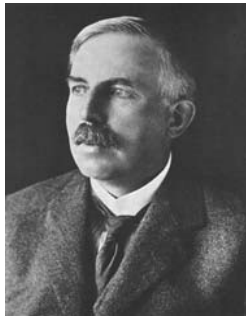


Energie- und Impulsanalyse

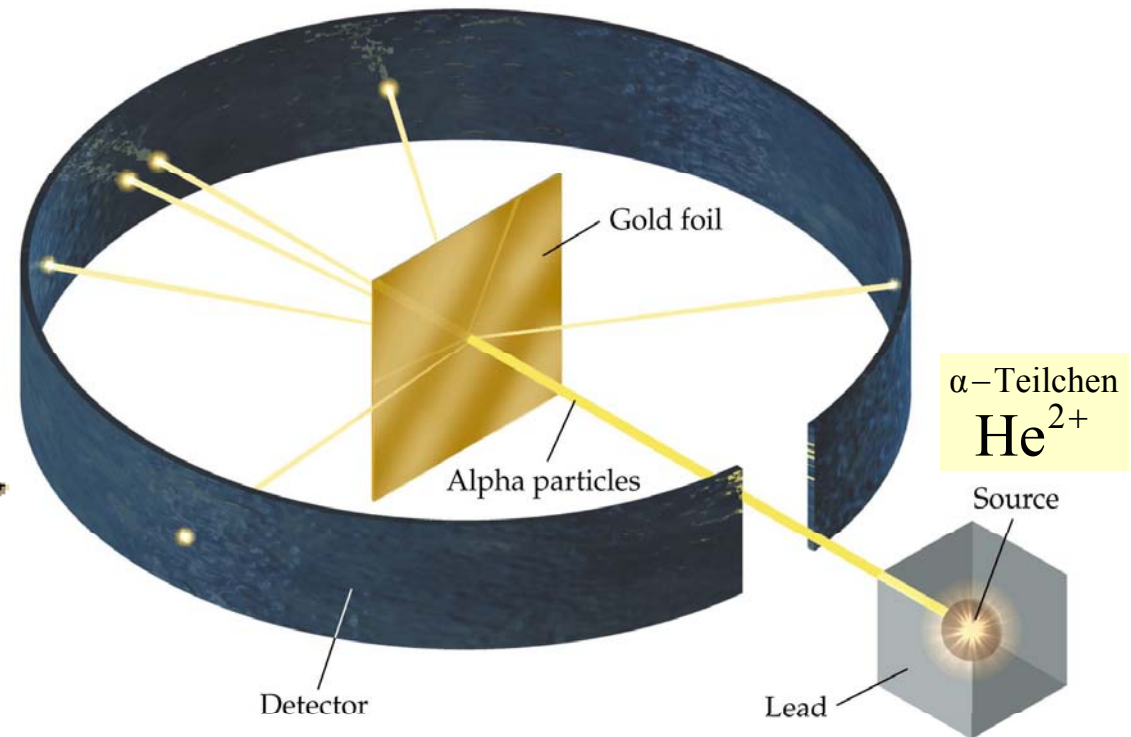
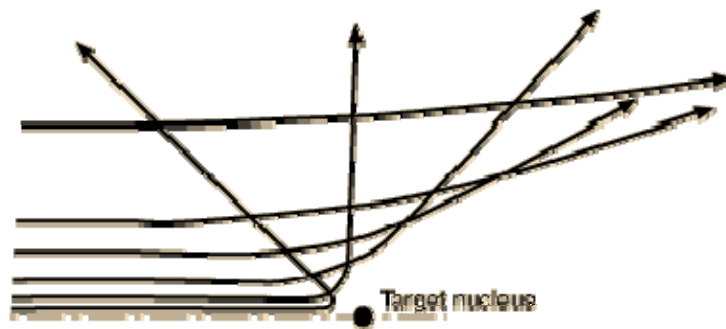
Struktur des Atoms

Symptome

- energetische Ionen (α -Teilchen) streuen an Atomen einer Goldprobe
- Winkelverteilung gestreuter Teilchen wird mit photographischer Platte erfasst



Ernest Rutherford
1871-1937



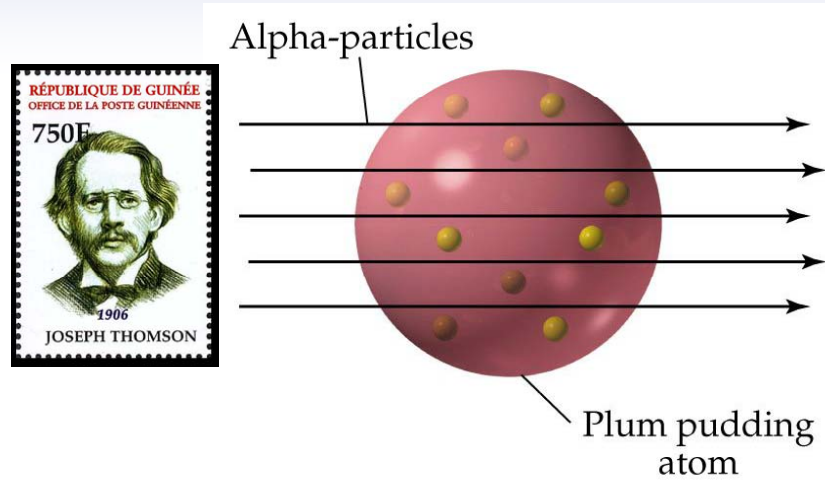
Diagnose

- nahezu alle Teilchen durchqueren die Goldfolie OHNE abgelenkt zu werden
- WENIGE (1:0.0001) werden dagegen zum Teil sehr stark abgelenkt
- Streuung in Rückwärtsrichtung impliziert Streuung an positiver geladenem Objekt Ladung
- denn nur POSITIVE Teilchen wechselwirken in dieser Weise
- positive Ladung des Atoms ist auf äußerst geringes Raumgebiet konzentriert

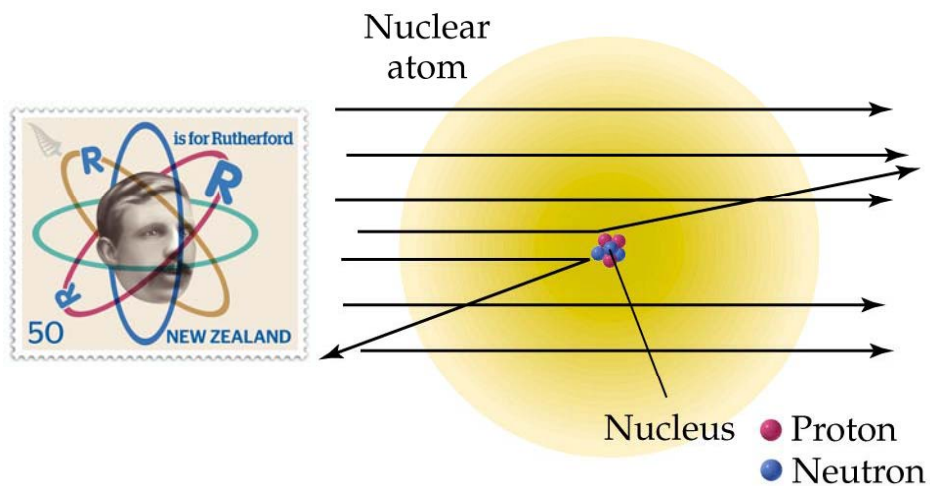


tiefer reingeschaut

Substruktur des Atoms



(a) Rutherford's Expected Result



(b) Rutherford's Actual Result

mostly empty space

Substruktur des Atoms

Symptome

Analyse des Experiments über Energie- und Impulserhaltung

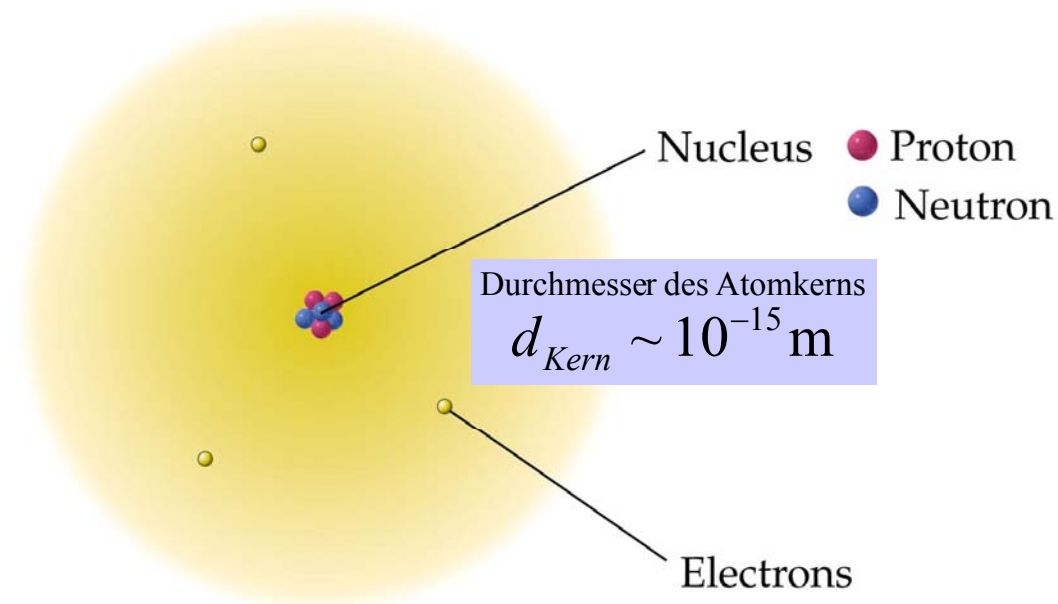
Durchmesser des Atoms

$$d_{Atom} \sim 10^{-10} \text{ m}$$

bestimmt aus Brownscher Bewegung

Größenverhältnisse

$$\frac{d_{Atom}}{d_{Kern}} \sim 10^5$$



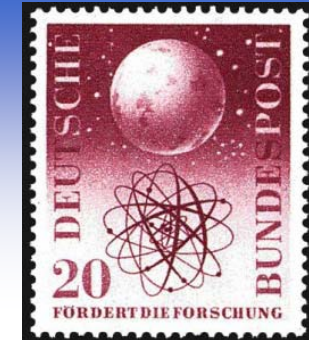
Diagnose

- Radius des Atomkerns deutlich geringer als Größe des Atoms
- Masse des Atoms ist im Kern konzentriert
- Atomkern zeichnet sich durch hohe -bislang unbekannte- Bindungskräfte aus

It was almost as incredible as if you fired a 15-inch shell at a piece of tissue paper and it came back and hit you

Ernest Rutherford n 40

mostly empty space Größenverhältnisse



Wenn Atomkern die Größe einer Konservendose hätte, würde die Atomhülle ein ganzes Fußballstadion ausfüllen.

Größe des Menschen
 $1.0 \text{ m} = 10^0 \text{ m}$

$1.0 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$

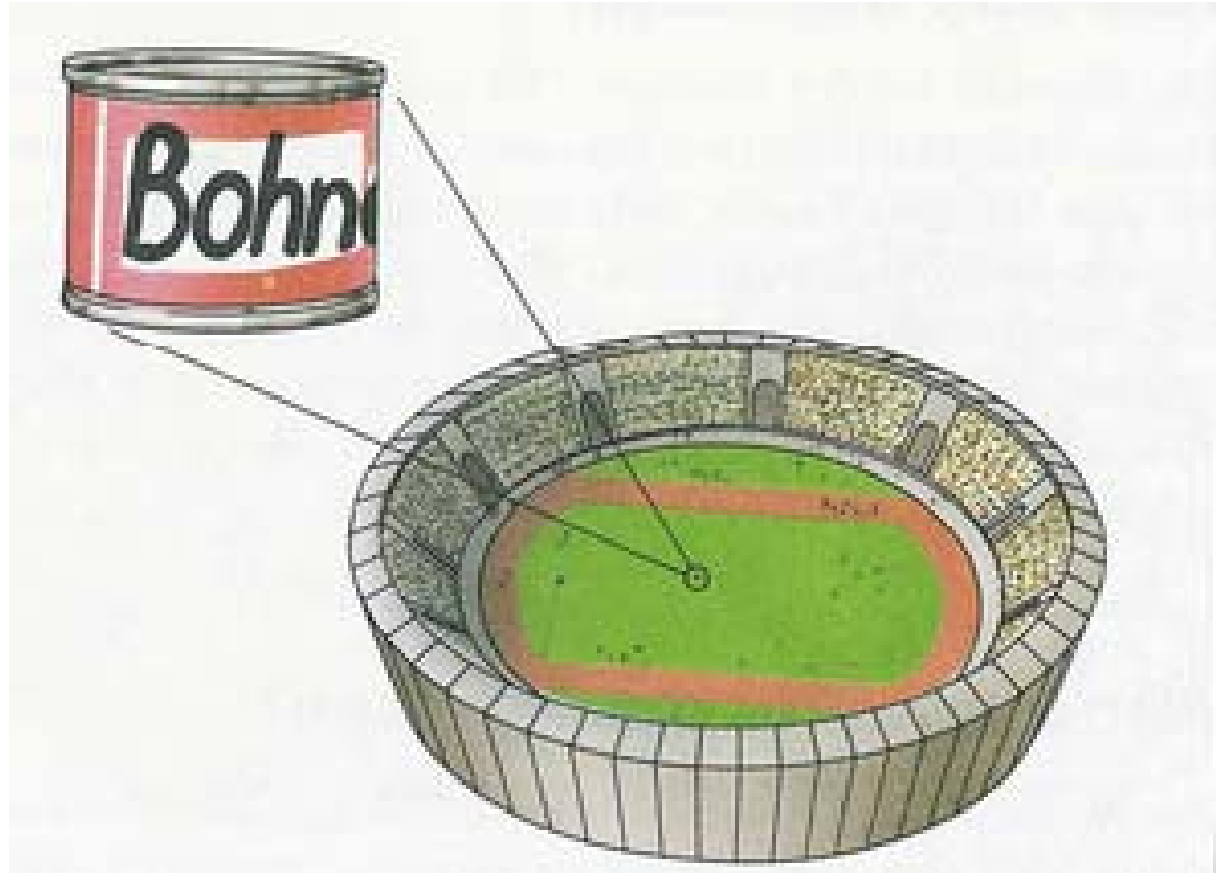
$1.0 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm} = 10^{-6} \text{ m}$

$1.0 \text{ nm} = 10^{-3} \text{ }\mu\text{m} = 10^{-9} \text{ m}$

$1.0 \text{ pm} = 10^{-3} \text{ nm} = 10^{-12} \text{ m}$

$1.0 \text{ fm} = 10^{-3} \text{ pm} = 10^{-15} \text{ m}$

Durchmesser des Atomkerns



Diagnose

- elektrostatische Abstoß verhindert, dass wir durch die große Leere hindurchfallen
- wir sitzen nicht, sondern schweben in einem Abstand von 10^{-8}m über einem Stuhl



All science is either physics or stamp collecting.

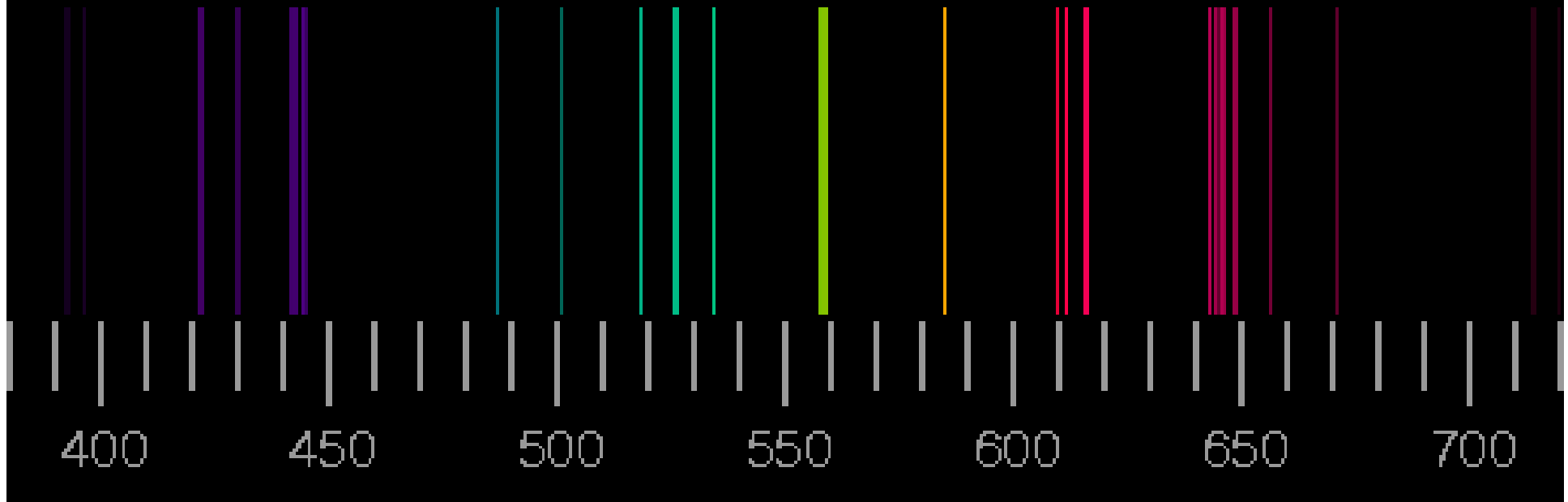
(Ernest Rutherford)

The Nobel Prize in Chemistry 1908 was awarded to Ernest Rutherford for his investigations into the disintegration of the elements, and the chemistry of radioactive substances

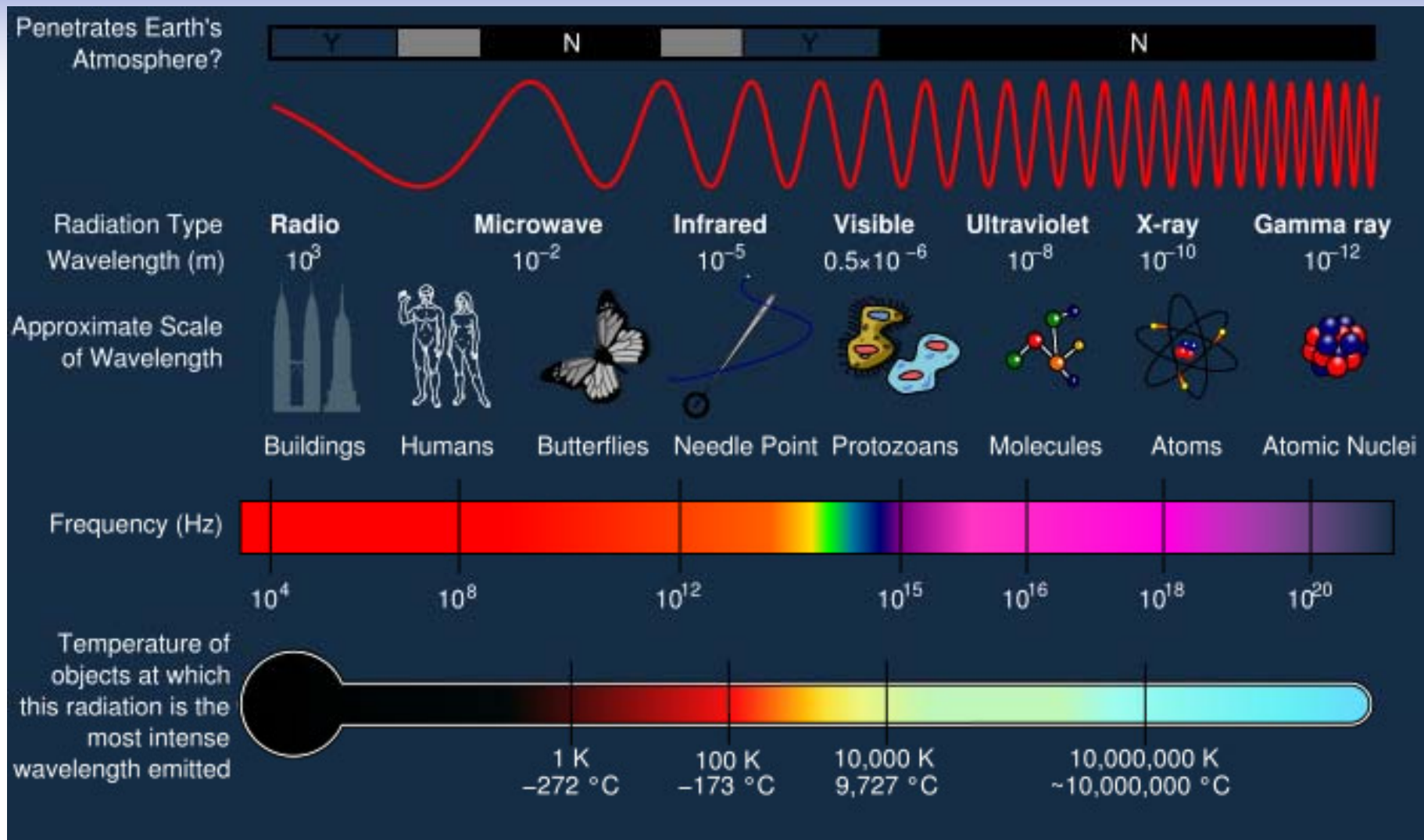
Thema Der Weg zum Atom

Emission aus Atomen

Emissionsspektrum des Elements Kalzium



Extrablatt



Diagnose

- Elektromagnetisches Spektrum ist kontinuierlich
- Spektrum des schwarzen Strahler kontinuierlich und liefert keine Hinweise auf Quantisierung



Wasserstoff empirisch Emissionslinien



Johann Jakob Balmer
1825-1898

Symptome

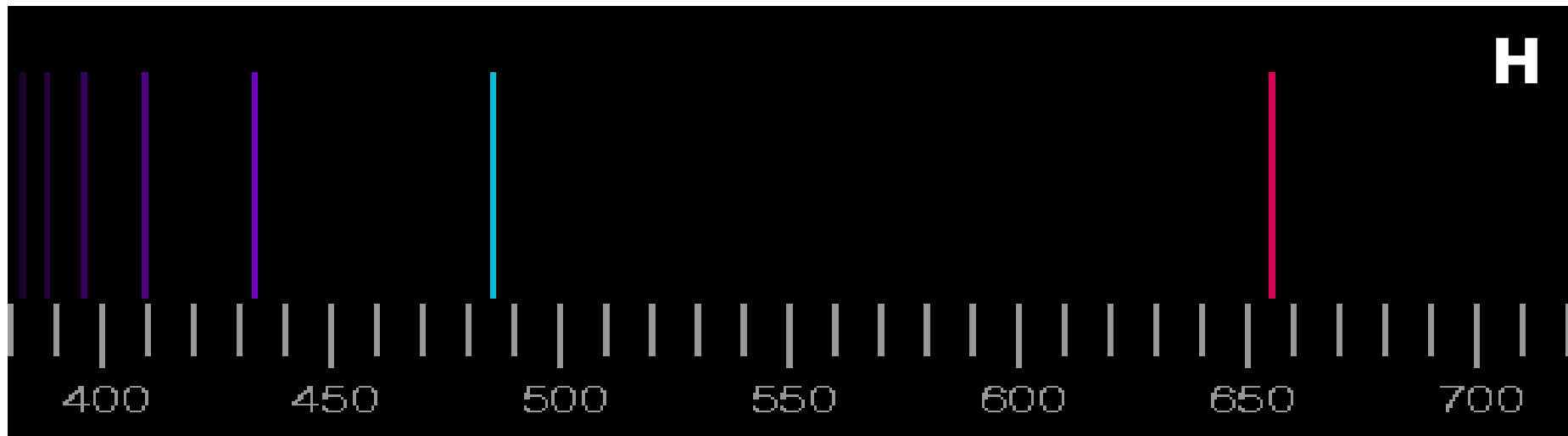
Wasserstoff emittiert vier Linien im sichtbaren Teil des optischen Spektrums

Rote Spektrallinie bei 656.21 nm (15239 cm⁻¹)

Blau-grüne Spektrallinie bei 486.07 nm (20573 cm⁻¹)

Violette Spektrallinie 434.01 nm (23041 cm⁻¹)

Violette Spektrallinie 410.12 nm (24383 cm⁻¹)



Wellenzahl

$$\bar{\nu}_{ph} = \frac{1}{\lambda_{ph}} = \frac{E_{ph}}{hc}$$

Energieeinheit der Molekülphysik

Balmerformel

$$\frac{1}{\lambda_{Balmer}} = const \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

$n=3,4,5,6$

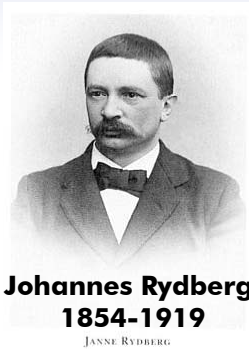
Wellenlänge/ nm

Diagnose

Wasserstoff-Spektrallinien lassen sich durch empirische Balmer-Formel gut wiedergeben



Wasserstoff Emissionsbanden



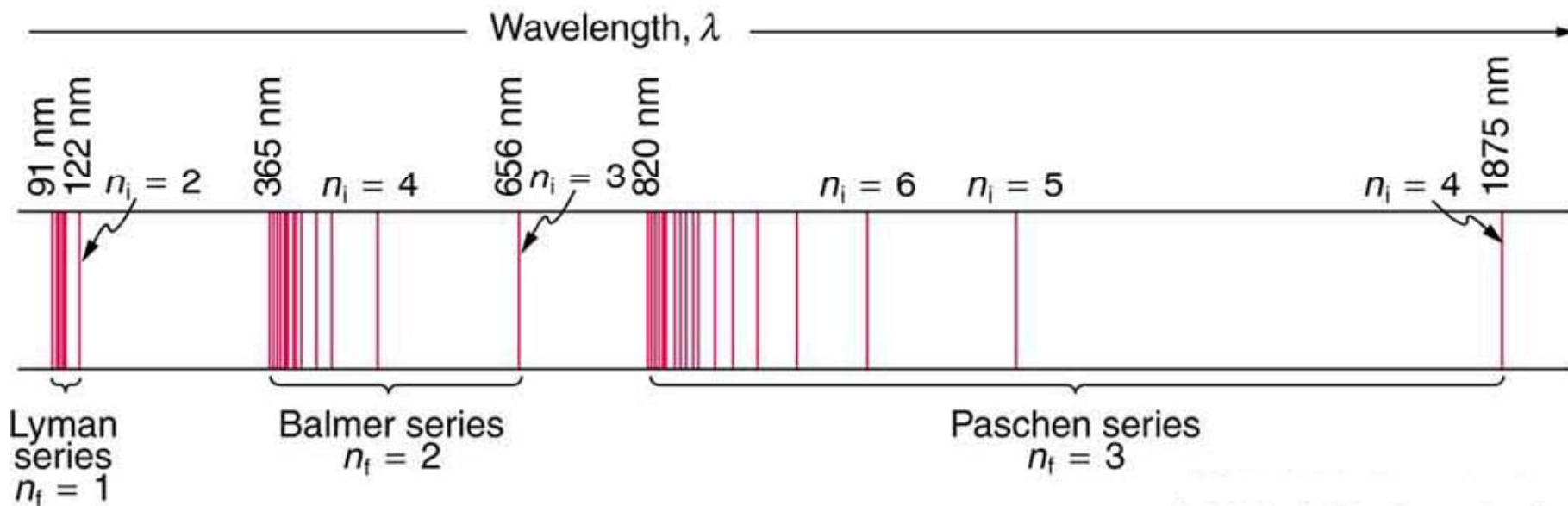
Johannes Rydberg
1854-1919
JANNE RYDBERG

Rydbergformel

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

$n_1 = 1, 2, 3, \dots$
 $n_2 = n_1 + 1, n_1 + 2, n_1 + 3, \dots$

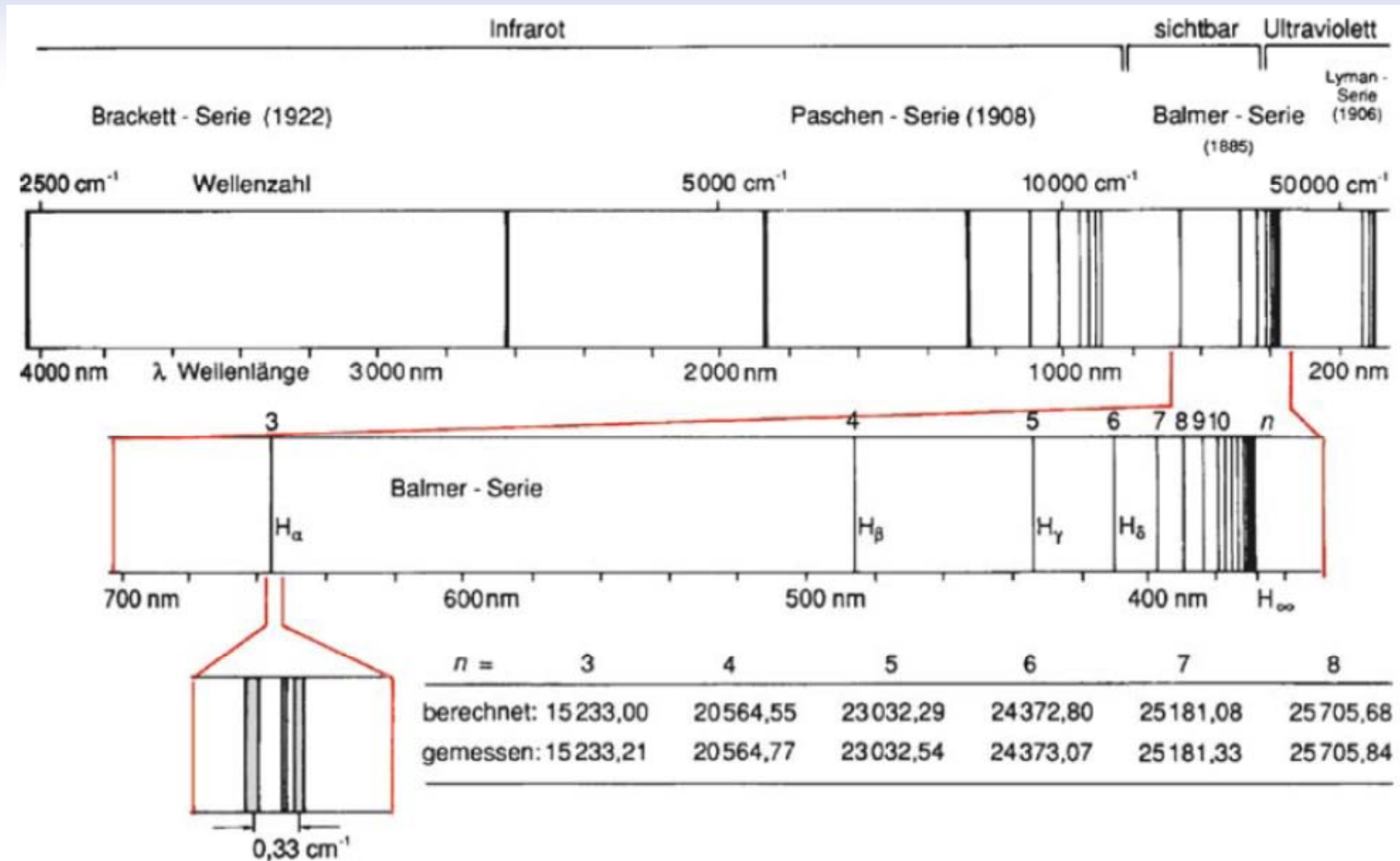
Rydbergkonstante
 $R_{\infty} = 109678 \text{ cm}^{-1}$
Angabe in Energieeinheit Wellenzahl



Diagnose

Spektrum des Wasserstoffs lässt sich durch generalisierte Balmerformel beschreiben

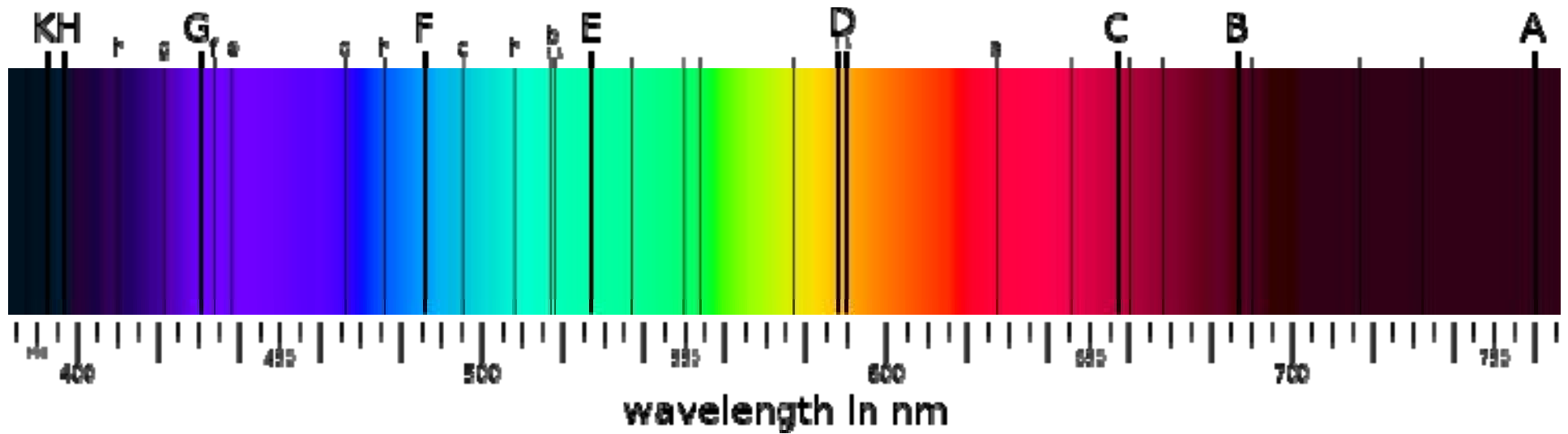
Wasserstoff Emissionsbanden



Diagnose
Die sogenannte Pfund-Serie liegt im noch weiter im IR und wurde 1924 nachgewiesen

Thema Der Weg zum Atom

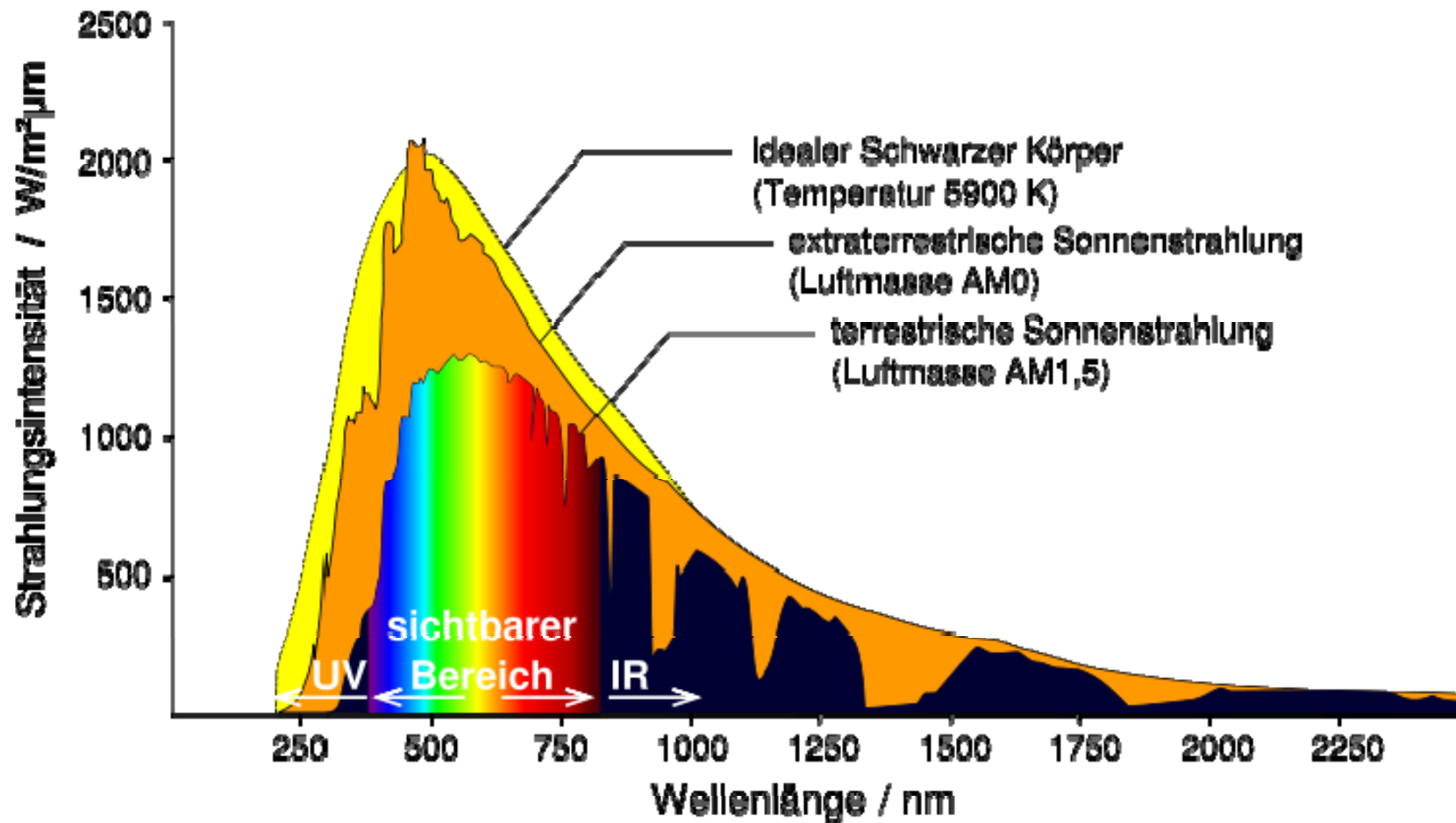
Absorption durch Atome



Schwarzer Strahler Sonne

Symptome

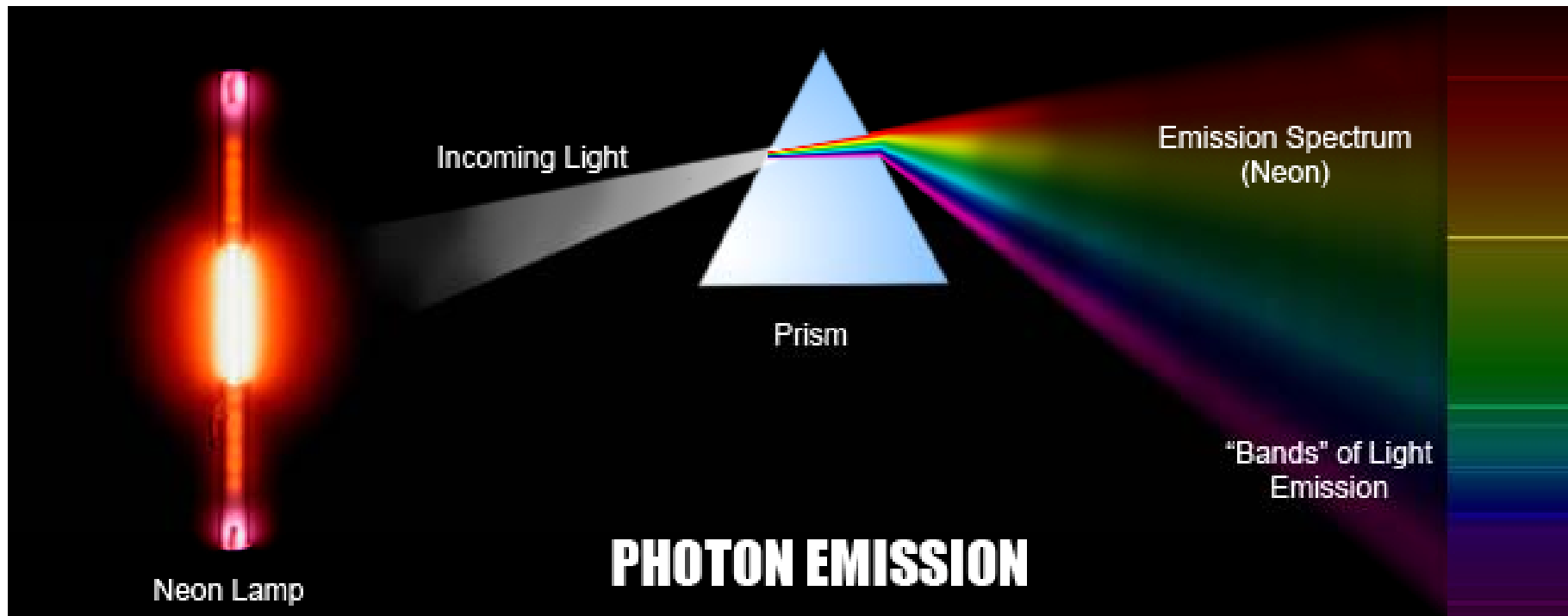
Im Spektrum der Sonne beobachtet man spektral scharfe Einbrüche in der Intensität



Diagnose

Beobachtungen deuten auf bislang unbekanntes Phänomen hin

Emission aus Atomen Linienstrahlung



Diagnose
Angeregte Neonatome geben Licht bei definierten Wellenlängen ab



Emission aus Atomen

Feuerwerk

Farbe

Element

Grün

Barium

Orange

Kalzium

Blau

Kupfer

Rot

Lithium

Weiß

Magnesium

Gold

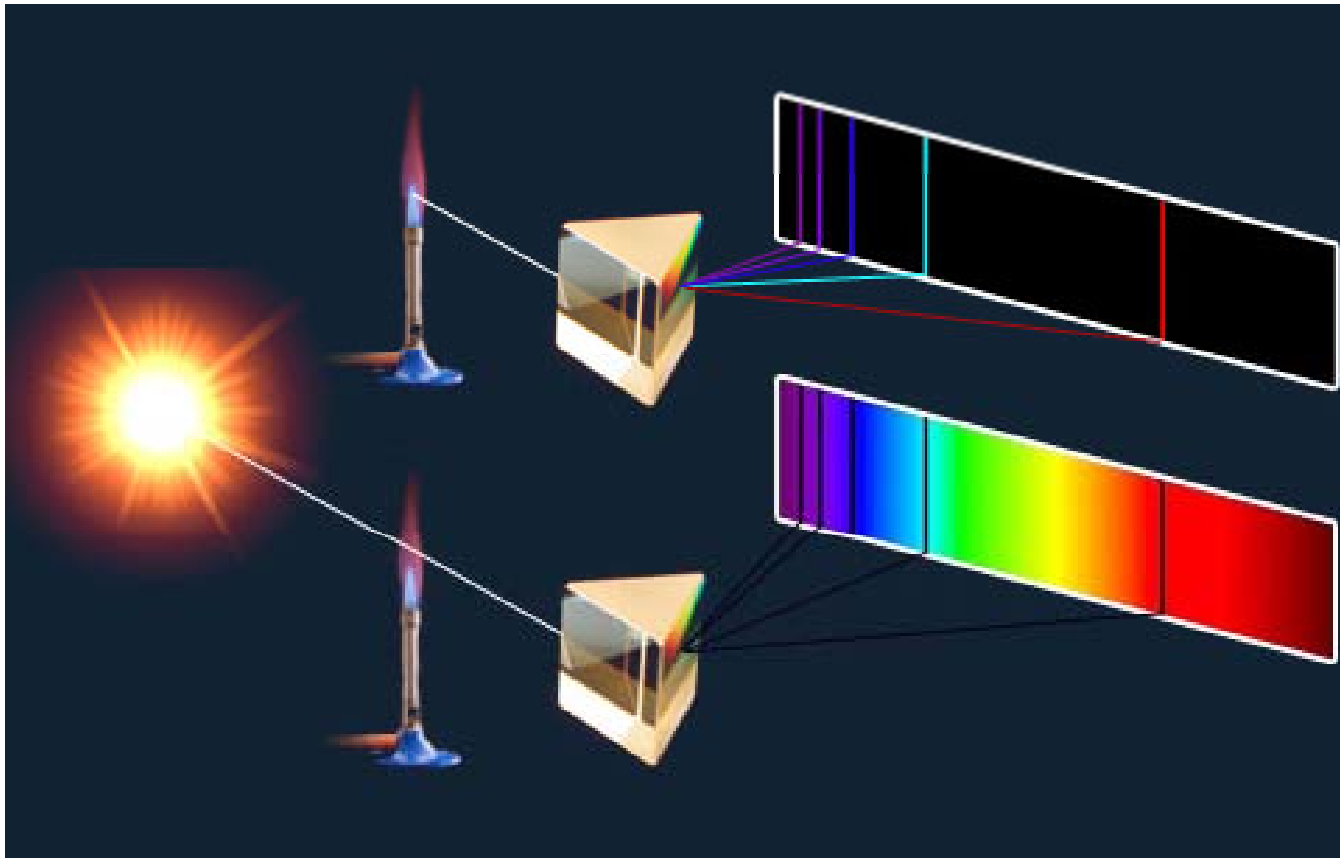
Natrium

Bunsenbrenner

Ursachenforschung

Symptome

- Kirchhoff and Bunsen vermuten, dass obere Atmosphäre der Sonne Licht absorbiert
- Wasserstoff ist möglicherweise Ursache für beobachtete Phänomen



Absorption von Licht
Na-Dampflampe durch Natrium

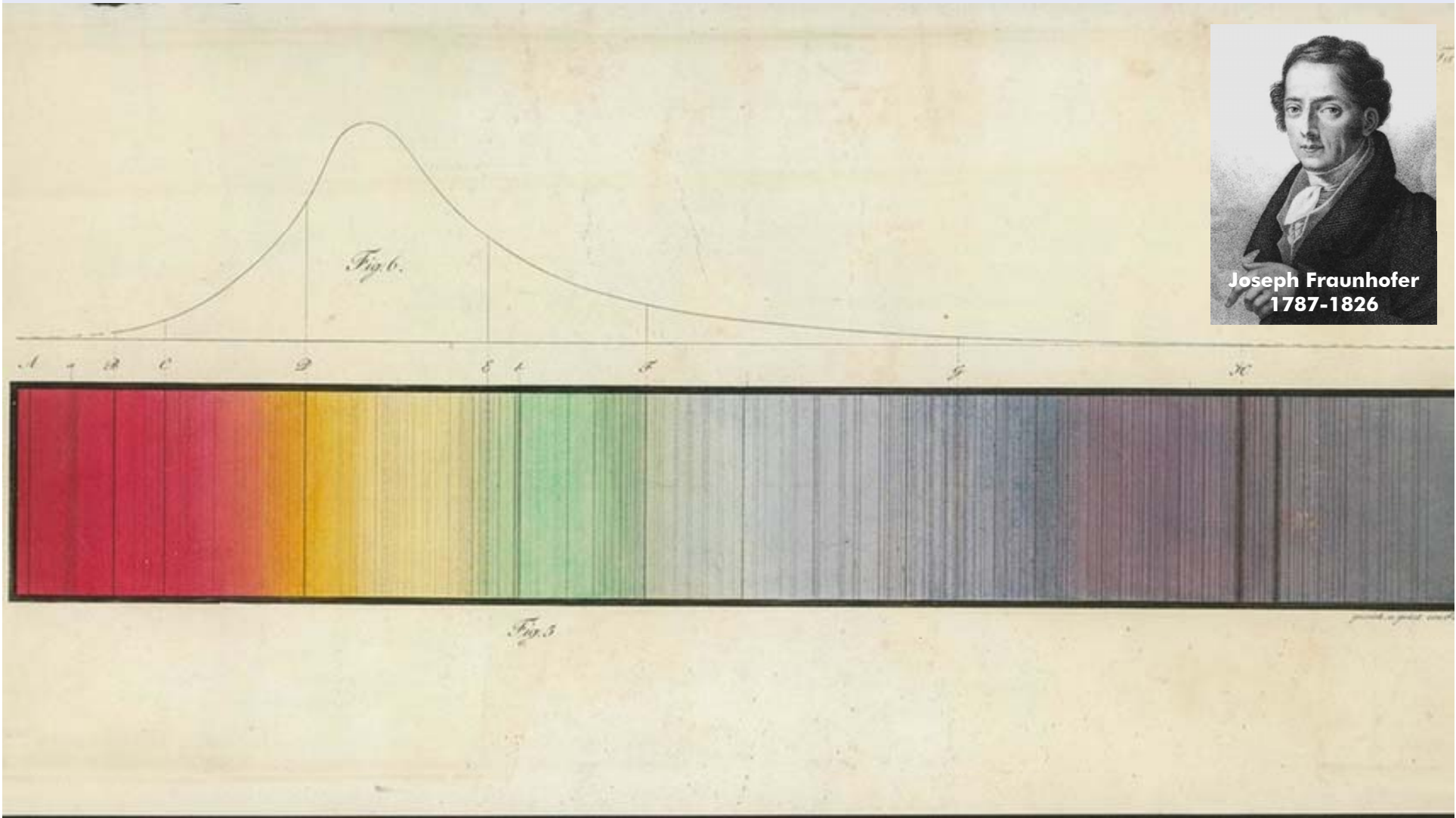
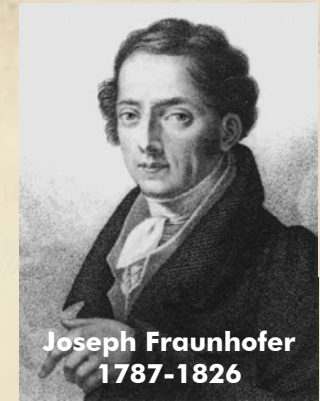


Diagnose

- Spektrum des Sonnenlicht wird nach Transmission durch ein heißes Gas beobachtet
- Vergleich mit Spektren erhitzter Substanzen

Extrablatt

Das Original 1814 Fraunhofer-Spektrum

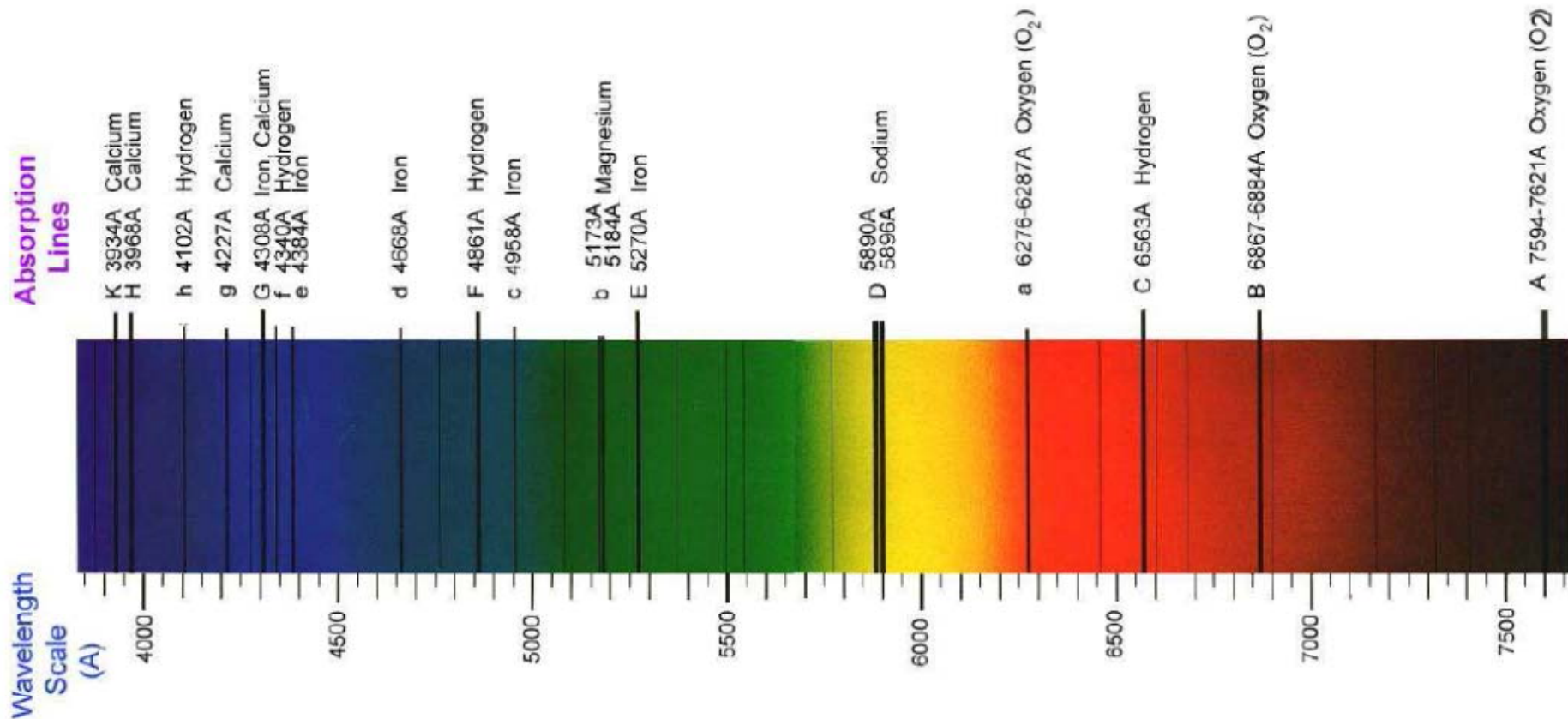


Diagnose
Fraunhofer zählt insgesamt 574 Absorptionslinien im Sonnenspektrum

Fraunhoferlinien

Symptome

Feinanalyse des Sonnenspektrum zeigt scharfe Absorptionslinien



Diagnose

Absorptionslinien stimmen mit Emissionslinien von Atomen des Periodensystems überein

Fraunhoferlinien im Absorptionsspektrum der Sonne

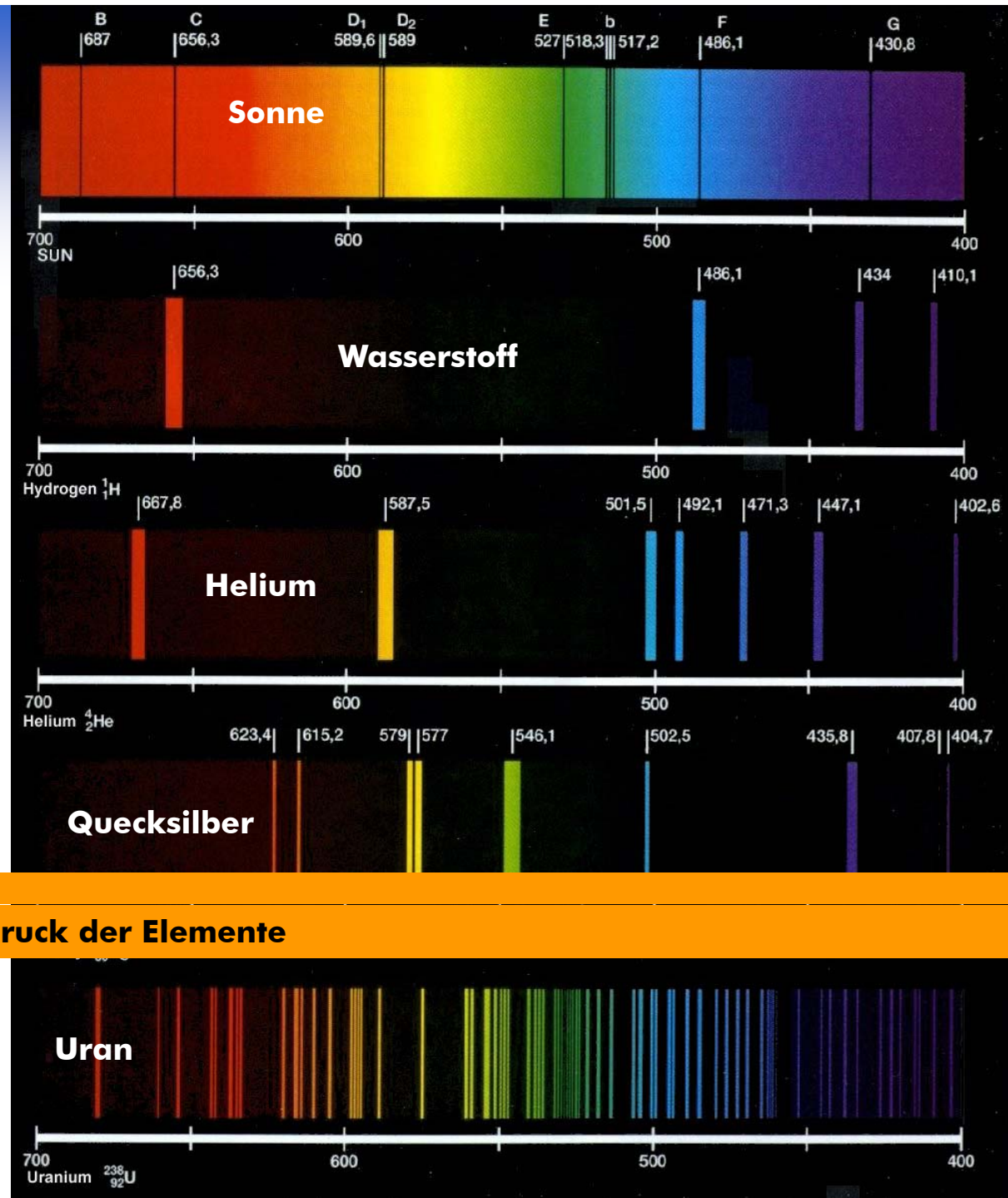


Fraunhofer
Sonne



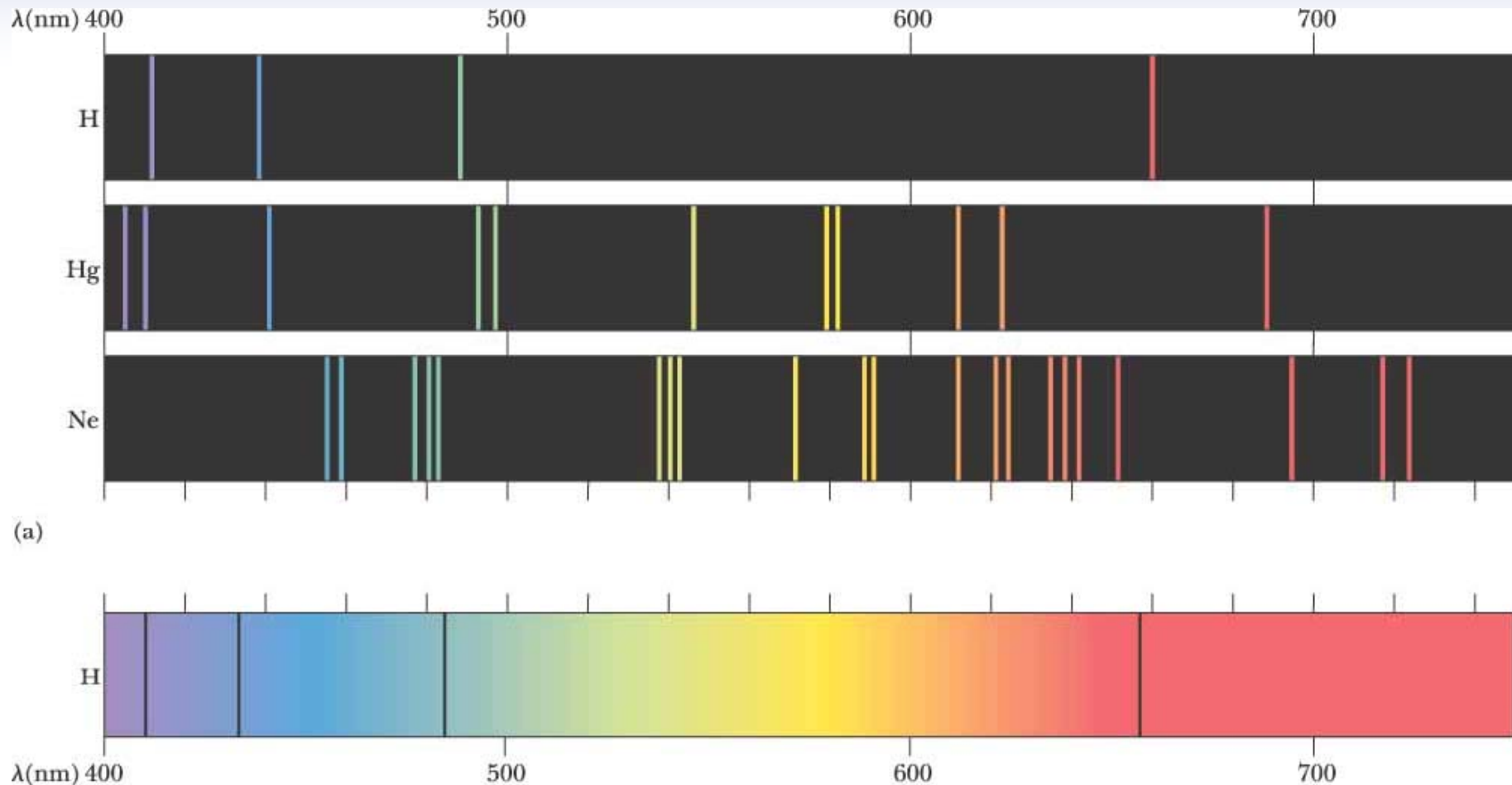
Diagnose
Absorptionslinien sind Fingerabdruck der Elemente

ebenfalls
Unique



Diagnose
Emissionslinien sind Fingerabdruck der Elemente

Sonne vs Atom



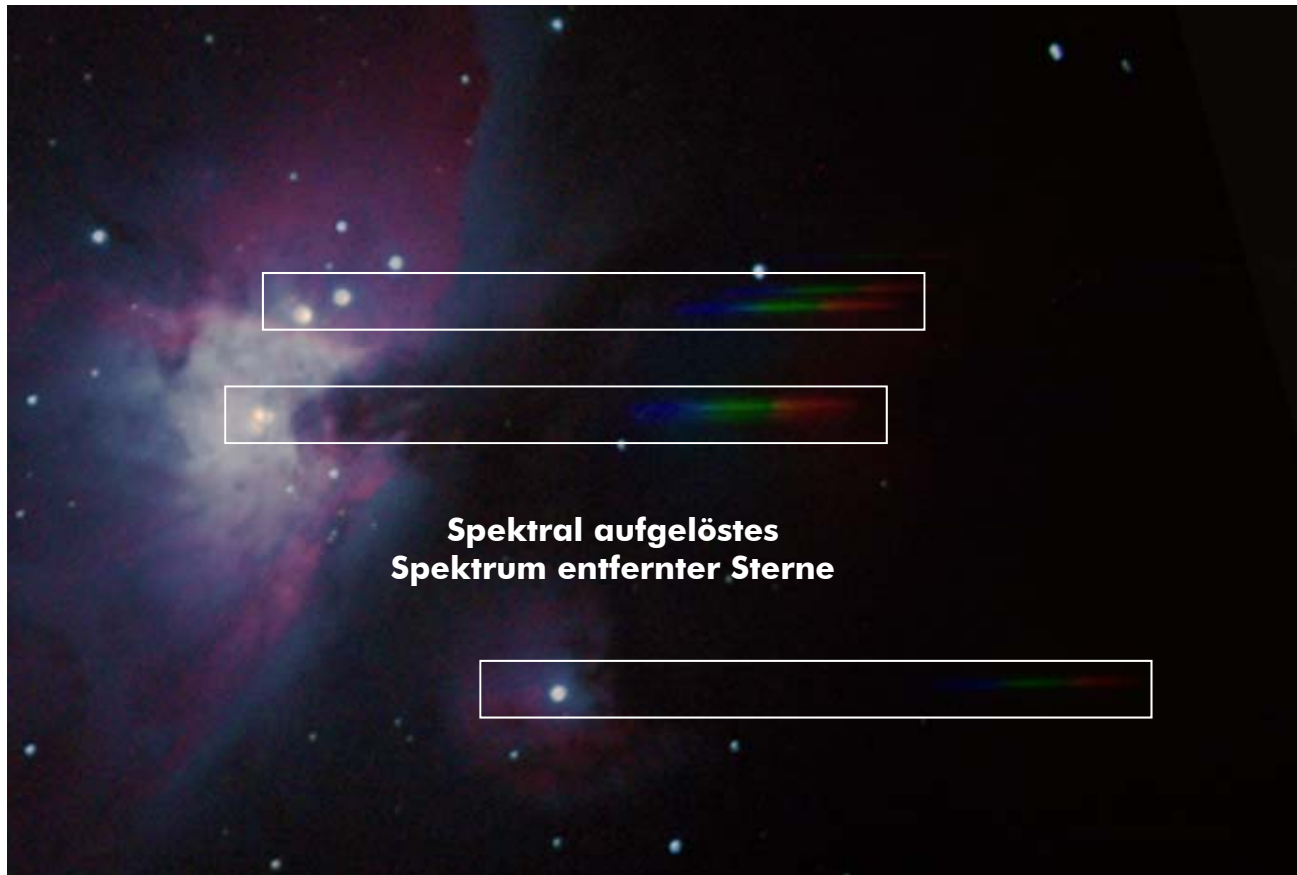
Diagnose

- Spektrum eines schwarzen Strahlers wie der Sonne ist kontinuierlich
- Absorptions- und Emissionsspektrum der Atome zeigen diskrete Linien
- Fraunhoferspektrum liefert Fingerabdruck der Elemente

Fraunhoferlinien

Symptome

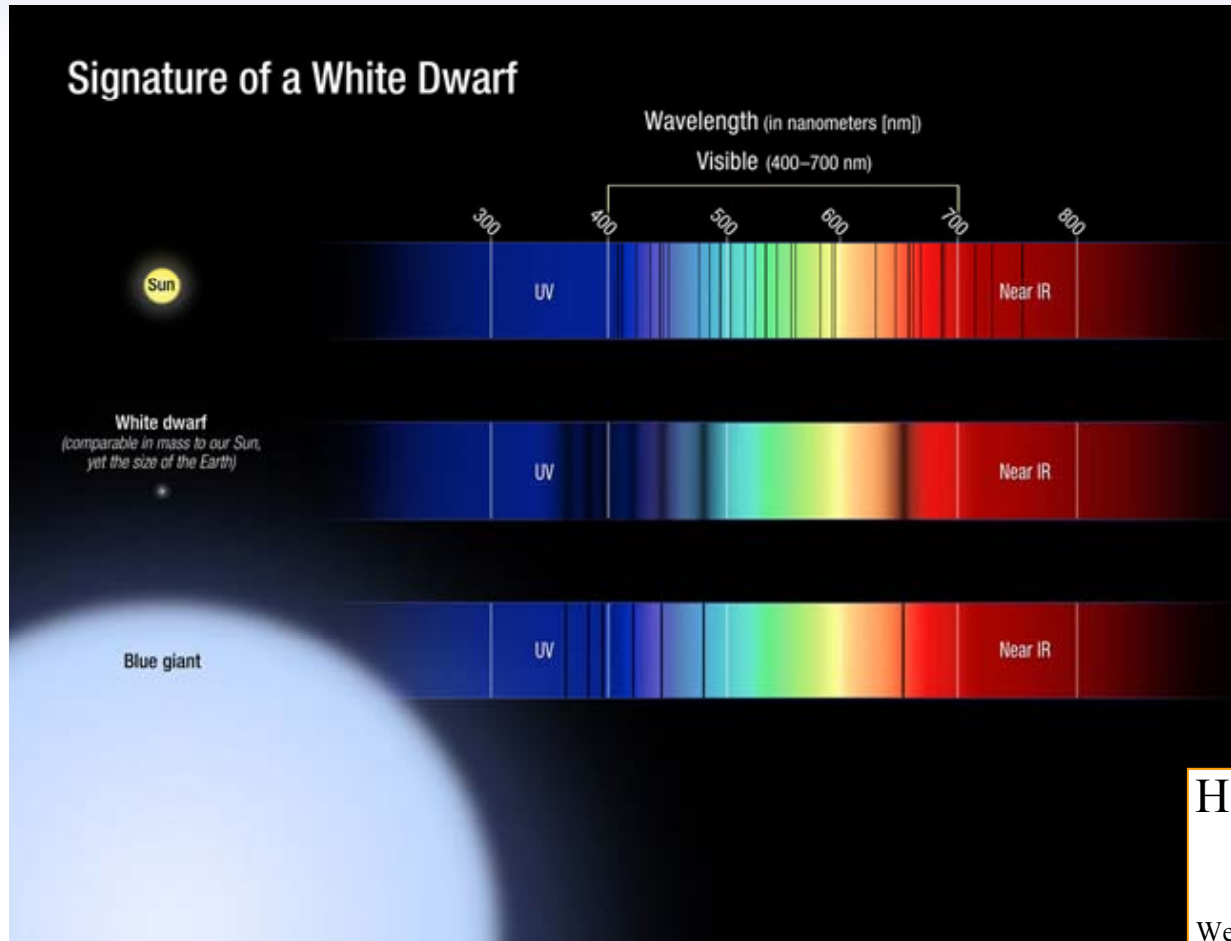
Neben den Edelgasen beobachtet man auch Absorption durch Metalle wie Natrium und Eisen



Diagnose

- Sonne muss schwere Elemente enthalten
- Fraunhoferspektrum erlaubt Analyse der Zusammensetzung weit entfernter Sterne

Licht der Sterne



Heisenbergsche Unschärferelation

$$\Delta E \quad \text{Lebensdauer} \quad \Delta t \geq \hbar / 2$$

Wellenlängenunschärfe

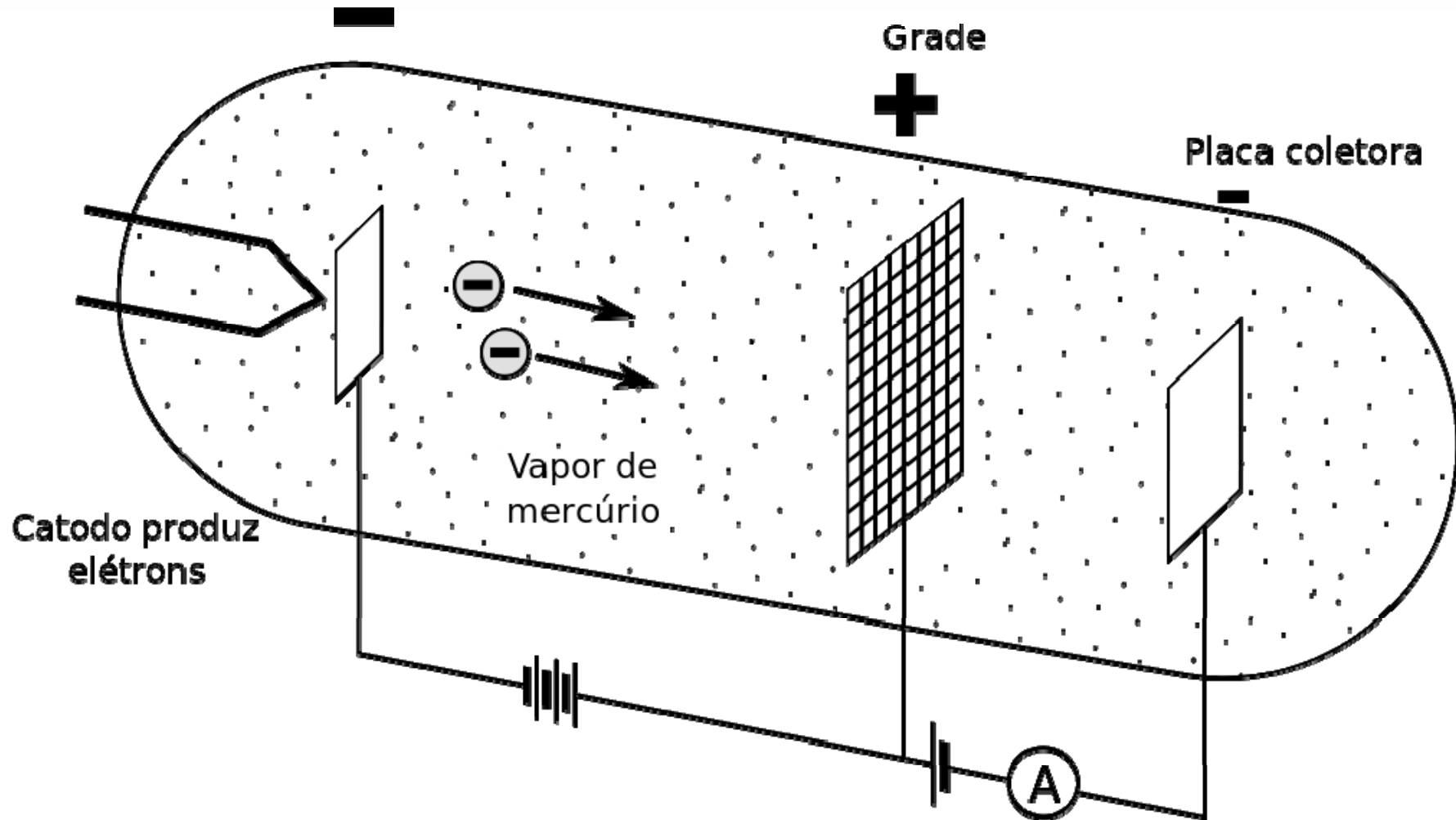
$$\Delta E = h \Delta \nu = h \frac{c}{\Delta \lambda}$$

Diagnose

- Licht entfernter Sterne beinhaltet Fraunhoferlinien
- Absorptionslinien heißer Sterne sind aufgrund hohe Druckverhältnisse stark verbreitert
- Ursache ist verringerte mittlere Lebensdauer angeregter Zustände (cf Heisenberg)

Thema Der Weg zum Atom

Franck-Hertz Versuch



1914

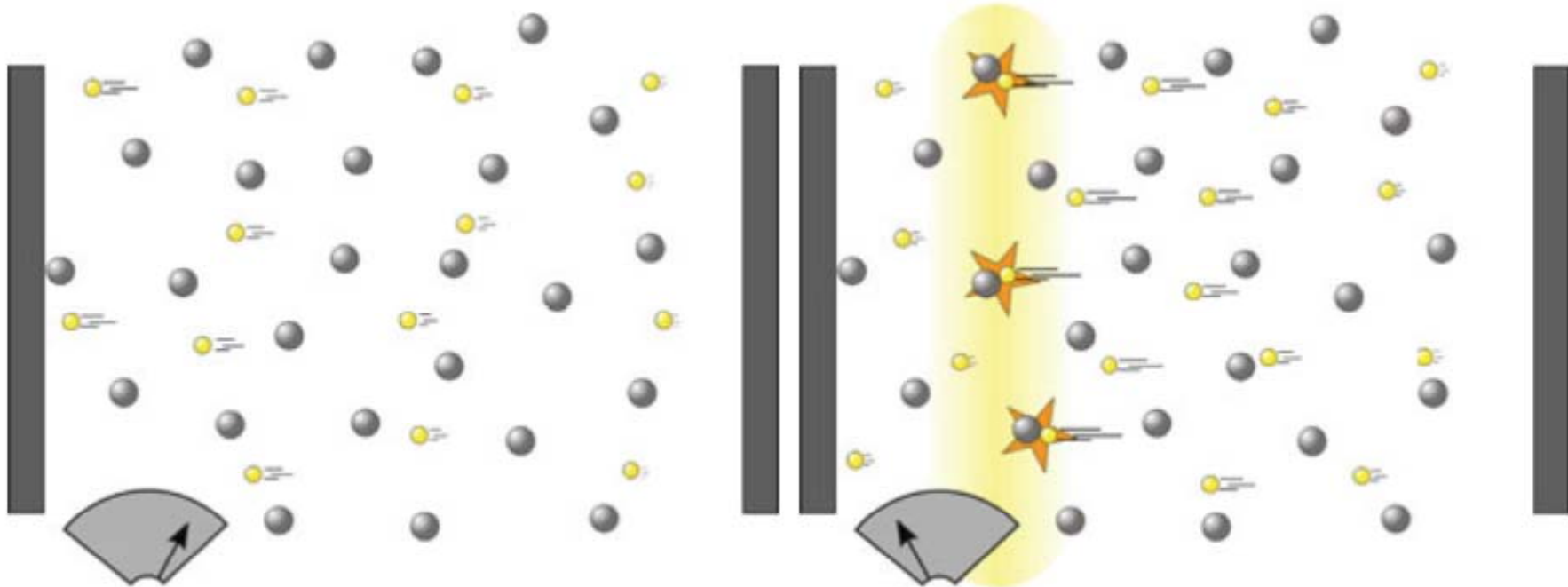
Franck-Hertz Versuch

Symptome

- Elektronenstrom sollte klassisch eine einfache Abhängigkeit von kinetischer Energie zeigen
- inelastische Stöße mit Gasatomen führen zu Energieabgabe (Analogie Reibung)

Erste experimentelle Beobachtung

Elektronen, die keine ausreichende Geschwindigkeit erreichen, verlieren **KEINE** Energie durch Stöße (elastische Stöße **OHNE** Energieübertrag)



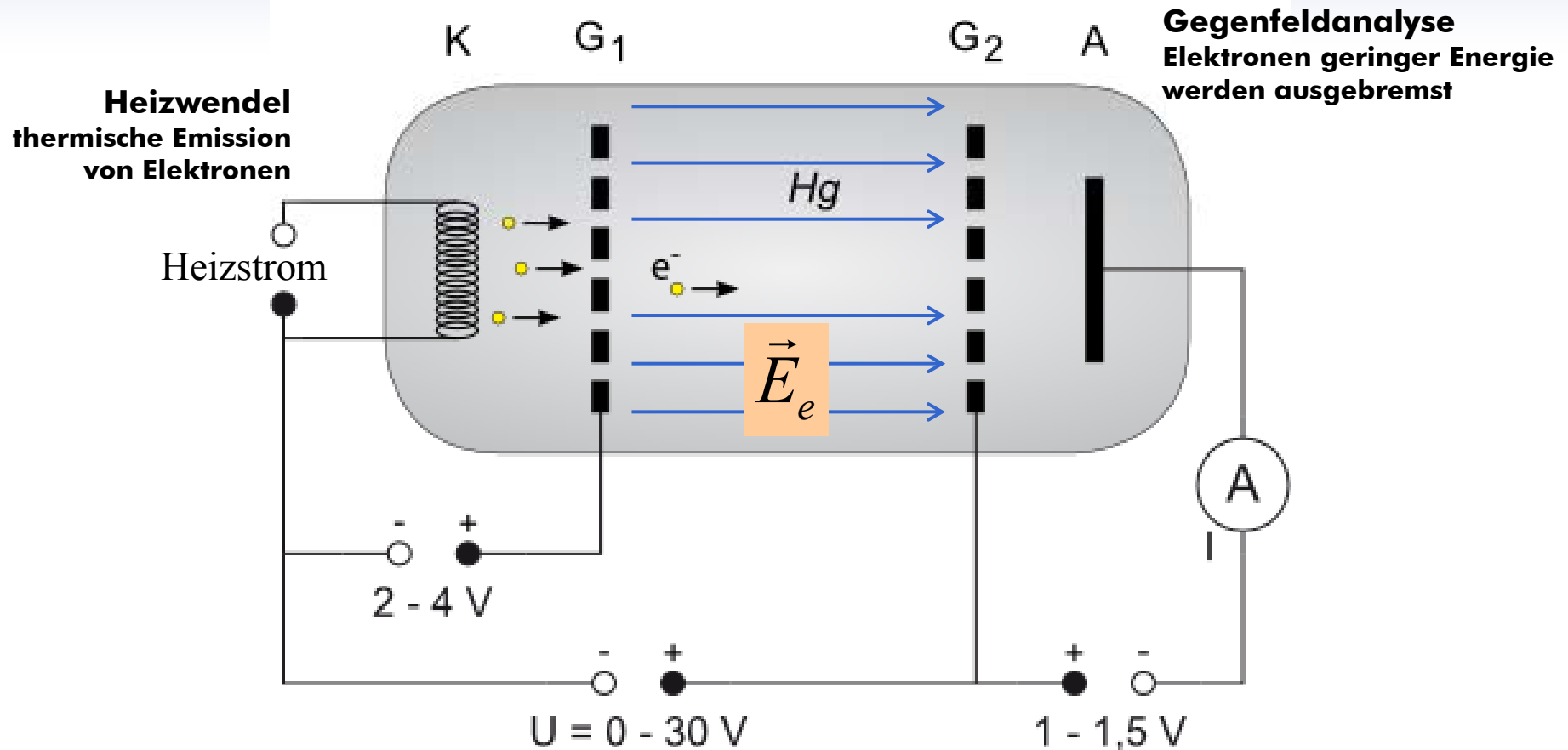
ZWEITE experimentelle Beobachtung

NUR Elektronen, die eine ausreichende Geschwindigkeit erreichen, geben Energie durch Stöße an Atome ab (inelastische Stöße **MIT** Energieübertrag)



Franck-Hertz Versuch

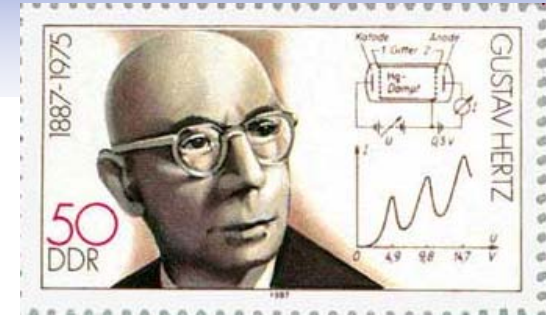
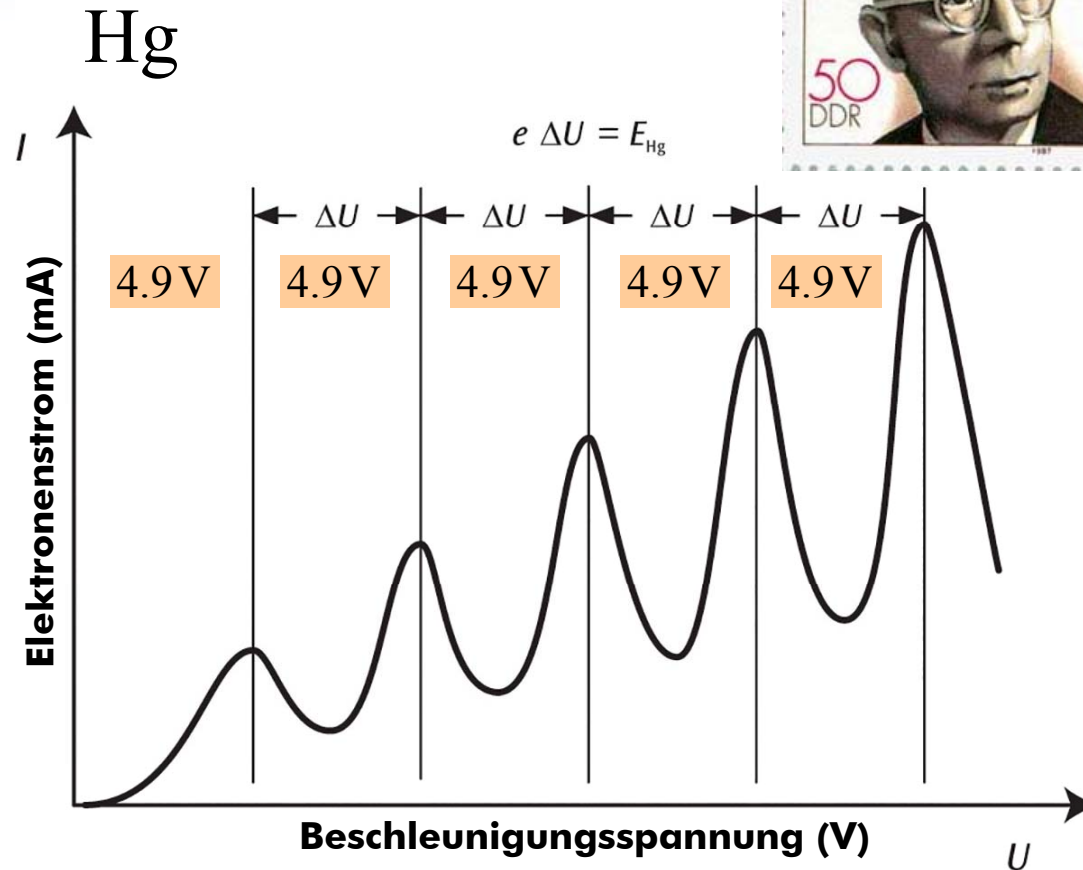
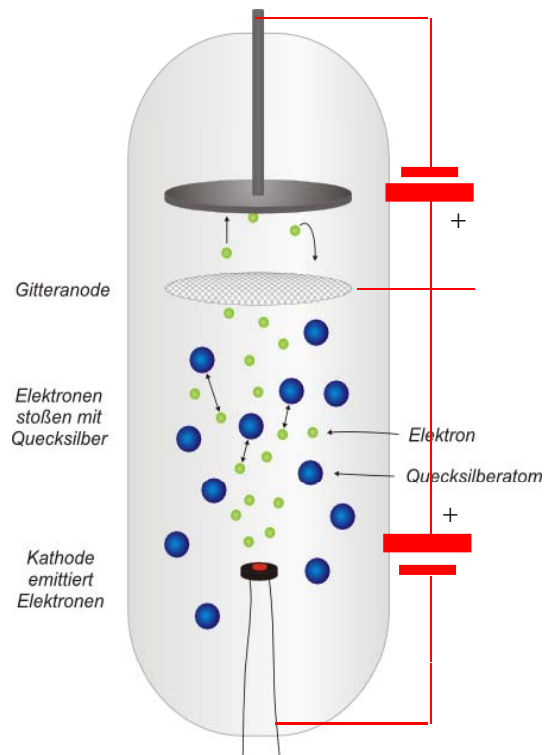
Experimenteller Aufbau



Diagnose

- zwischen Gitter G₁ und G₂ werden Elektronen durch elektrisches Feld beschleunigt
- an G₂ haben Elektronen eine bestimmte einstellbare kinetische Energie erreicht

Charakteristische Stromeinbrüche



Diagnose

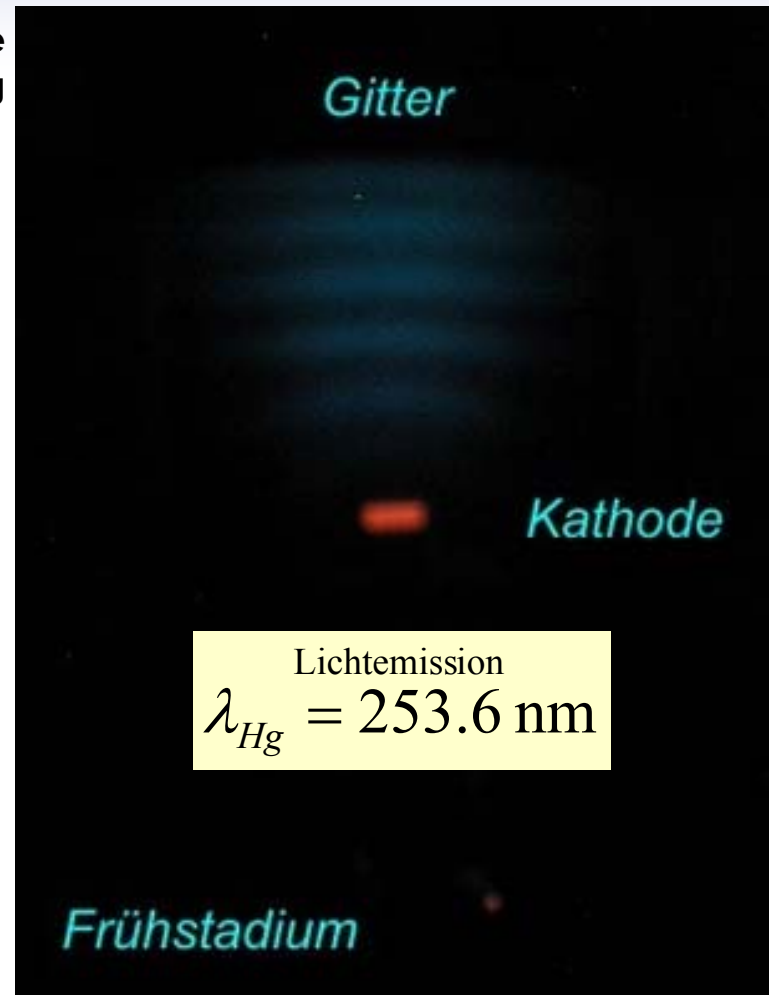
- bei charakteristischen Spannungen (4.9V, 9.8V, ...) sinkt der Elektronenstrom merklich ab
- Einbrüche im Elektronenstrom bei charakteristischen Potenzialdifferenzen von 4.9V

Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben
 J. Franck und G. Hertz Verh. Dtsch. Phys. Ges. 16, 457 (1914)

Franck-Hertz Versuch

Charakteristische Lichtemission

geringe
Beschleunigungsspannung

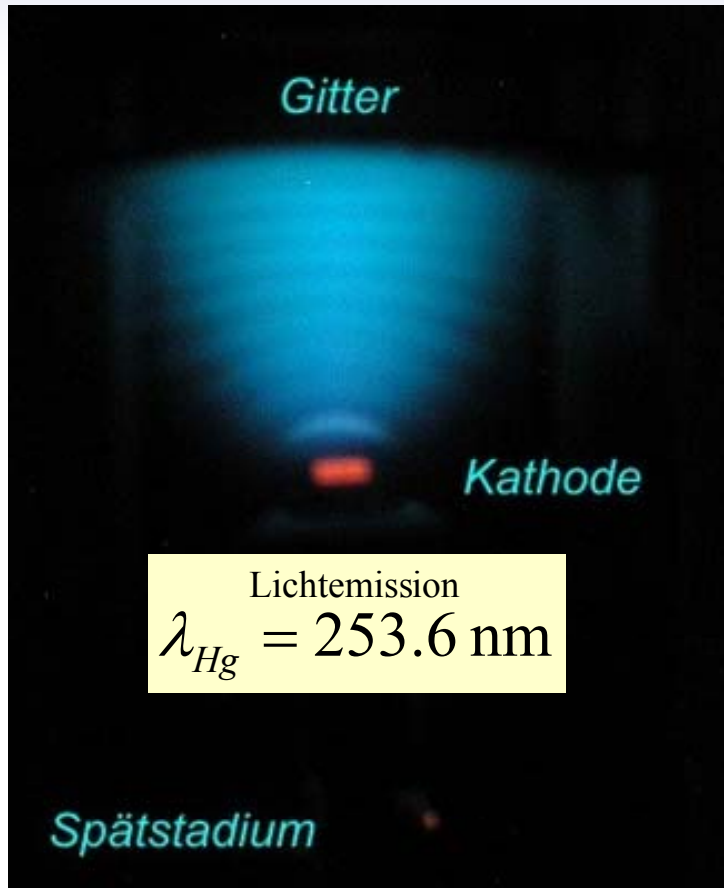


Diagnose

- Lichtemission erfolgt in definierten, räumlich getrennten Bereichen
- Spektrum des Lichts zeigt Emission bei EINER definierten Wellenlänge von 253.6 nm

Franck- Hertz Versuch

Charakteristische Lichtemission



höhere Beschleunigungsspannung



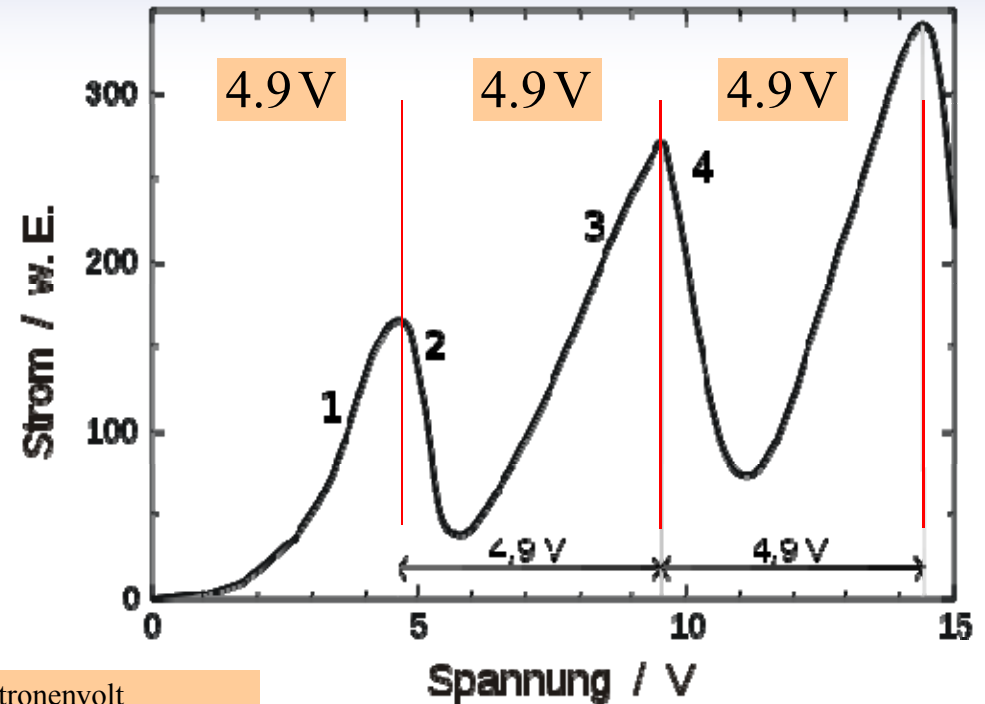
$$E_{ph} = h \frac{c}{\lambda_{Hg}} = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{253.6 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 7.83 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_e = eU_e = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 4.9 \text{ V} = 7.85 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Diagnose

- Lichtemission erfolgt in enger zusammen liegenden definierten Bereichen
- Spektrum der Lichts zeigt Emission bei EINER definierten Wellenlänge von 253.6 nm
- Energie der Photonen nach Planck und Spannungsdifferenz stimmen überein
- Schlüsselexperiment zeigt, dass Atome Energie NUR in bestimmten Portionen aufnehmen

Franck- Hertz Versuch Quantisierung im Atom



Umrechnung Joule in Energieeinheit der Atomphysik Elektronenvolt

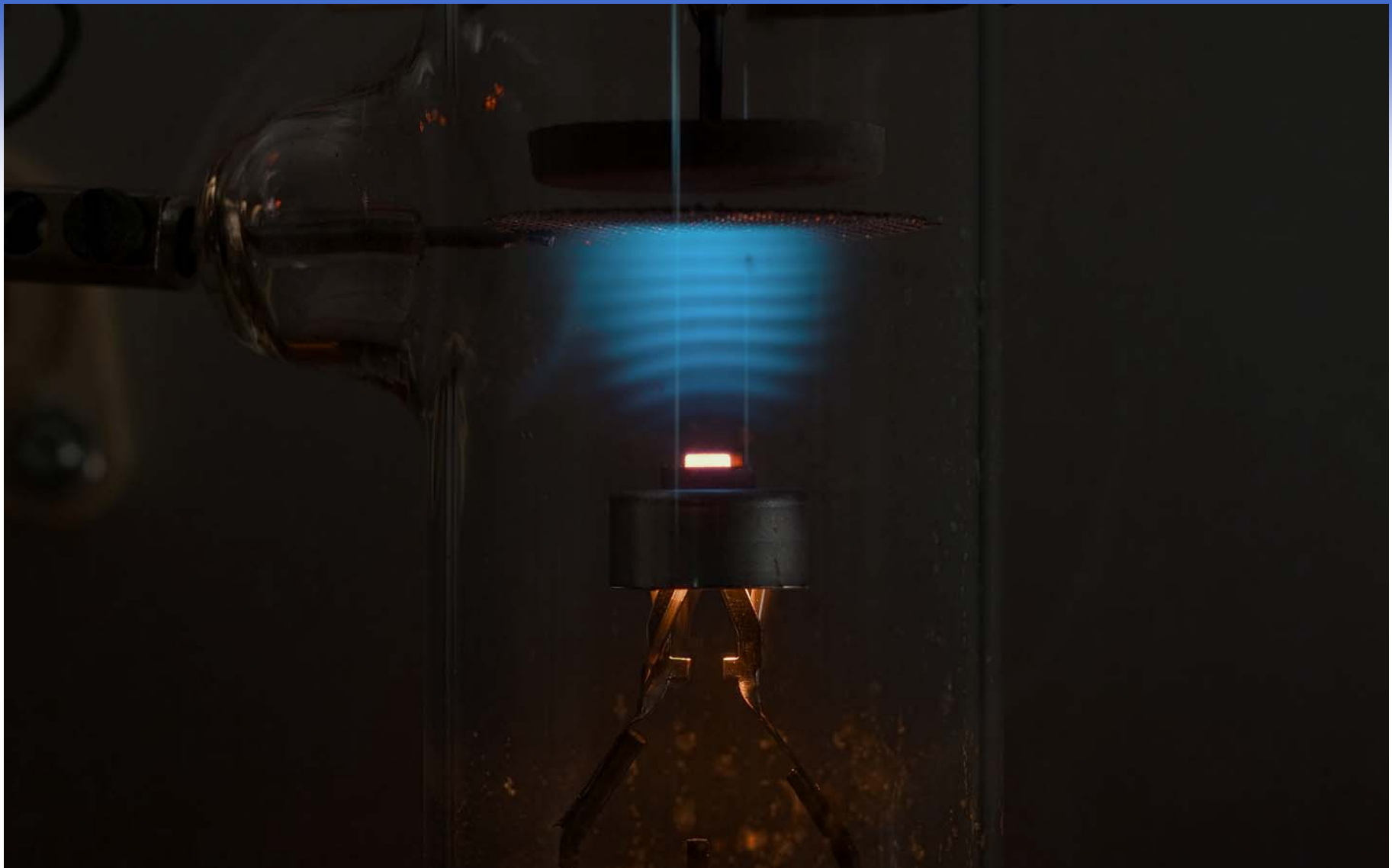


$$E_{ph}^{253.6\text{nm}} = h \frac{c}{\lambda_{ph}} \Leftrightarrow \frac{E_{ph}^{253.6\text{nm}}}{e} = \frac{h c}{e \lambda_{ph}}$$

$$E_{ph}^{253.6\text{nm}} [\text{eV}] = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 253.6 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 4.89 \text{ eV}$$

Diagnose

Photonenenergie des Lichts stimmt mit Energieabstand im Ausbremspektrum überein



Extrablatt

**The Nobel Prize in Physics 1925 was awarded jointly to
James Franck and Gustav Ludwig Hertz
for their discovery of the laws governing the impact of an electron upon an atom**