

16

Interpretation ist durch Einstein: (Planck)

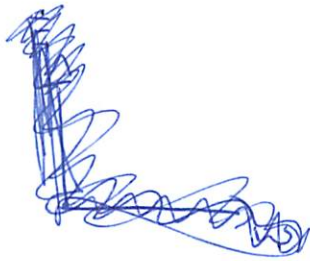
das was kommt in einzelnen "Quanten" auf
die Oberfläche, deren Energie durch die Frequenz bestimmt
ist und deren Anzahl pro Fläche und Zeit eine Intensität (W/m²) ist.

$$E = h \cdot \nu = \frac{h}{2\pi} \omega = \hbar \omega$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

1905
Nobelpreis 1921

$$\hbar = 6,58 \cdot 10^{-16} \text{ eVs}$$



Einheit: Energiemenge

$$1 \text{ eV} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

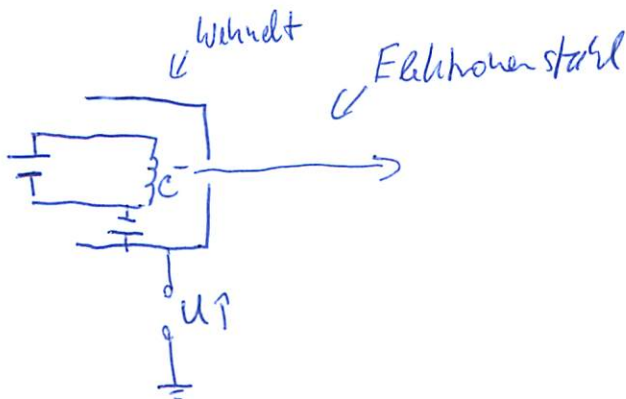
$$E = h \nu \quad \leadsto \quad 1 \text{ eV} \approx 2,42 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \quad (1 \text{ meV} = 2,42 \cdot 10^{11} \text{ Hz})$$

$$\tilde{\nu} \text{ Wellenzahl "Kugeln"} = \frac{1}{\lambda \text{ in cm}} \quad \leadsto \quad 1 \text{ eV} = 8066 \text{ Kugeln}$$

$$1 \text{ meV} = 8,066 \text{ Kugeln}$$

(~~10~~ x Kugeln bedeutet in 1 cm passen x Wellenlängen)

Elektronenbeugung



17

Davisson und Germer 1919



→ Elektron verhalten sich hier wie Wellen!

Folie, Experiment

~~mit~~ Beobachtung (nicht relativistisch)

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m E_{\text{ein}}}} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} \quad v: \text{Geschwindigkeit}$$

$E_{\text{ein}} \text{ [eV]}$	10	100	1000
$\lambda \text{ [Å]}$	3,6	1,2	0,39

de Broglie Wellenlänge

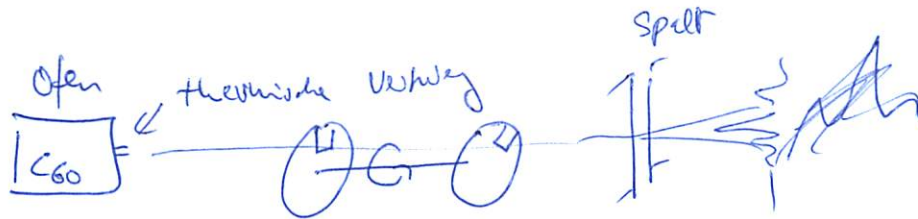
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

18

Modem Versuch

t-b. C60

(60 x 12 u !)



präzise selektion nach
der Geschwindigkeit

$$v = 220 \text{ m/s}$$

$$m = 720 \text{ u}$$

$$\lambda = 2.5 \times 10^{-12} \text{ m !}$$

→ Folie

(2)

Sicht kein Ende

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Beispiele

Elektron

$$v = 1 \text{ m/s} \quad m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\Rightarrow \lambda \approx 1 \text{ nm}$$

Fußball

$$v = 1 \text{ m/s} \quad m = 0.4 \text{ kg}$$

$$\lambda \approx 10^{-33} \text{ m}$$

nicht beobachtbar !

Sollte bekannt sein aus Optik

"Teilchen"
"Welle"

geometrische Optik für System $\gg \lambda$
Wellenoptik für System $\sim \lambda$

13
18

1.3

Struktur der Atome

1903

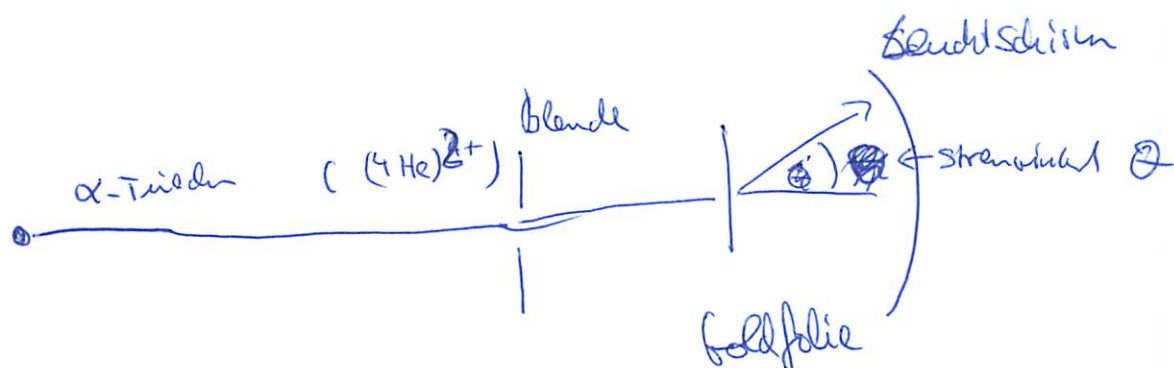
Thomson'sche Atommodell



einzelne Elektronen im Atom wie "Rosinen" im Kuchen". Positive Ladung gleichmäßig verteilt.

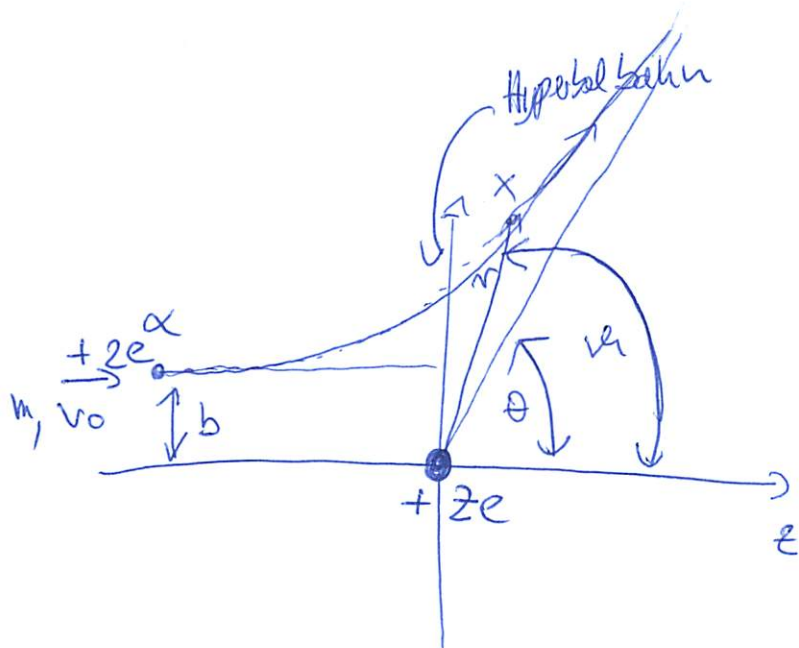
1909

Rutherford'sches Atommodell



$m_\alpha \gg m_e$, was vernachlässigbar daher die
 Streuung des α -Teilchens mit den Elektronen des
 Golds. Stoß nur mit den schwereren positiven Ladungen
 $m_\alpha \gg m_{He}$

10



$$F_x = + k_0 \frac{\sin \vartheta}{r^2}$$

$$k_0 = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0}$$

Drehimpuls $L_y = m b v_0$

m: Masse des α -Teilchens

v_0 : Anfangsgeschwindigkeit

$$= m r^2 \dot{\vartheta}$$

$$\Rightarrow r^2 = b v_0 / \dot{\vartheta}$$

$$\Rightarrow F_x = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sin \vartheta \dot{\vartheta}}{b v_0}$$

$$V_x = \int_0^{v_0 \sin \theta} dv_x = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{b v_0 m} \int_{\pi}^{\theta} \sin \vartheta \frac{d\vartheta}{dt} dt$$

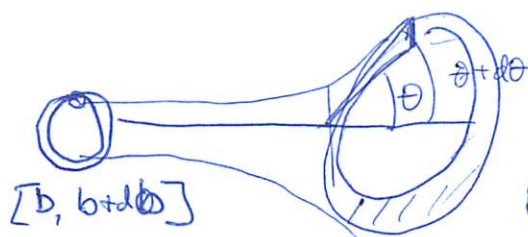
$$\uparrow$$

$$m \frac{dv_x}{dt} = F_x$$

$$dv_x = \frac{F_x}{m} dt$$

$$\Rightarrow b = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 m v_0^2} \cot(\theta/2) = \frac{k_0 \cot(\theta/2)}{2 E_{kin}}$$

201



rotationssymmetrisches
Winkelintervall
 $[\theta, \theta + d\theta]$

$$d\sigma = 2\pi b db = 2\pi b \frac{db}{d\theta} d\theta$$

Raumwinkel $d\Omega = 2\pi \sin\theta d\theta$

$$\rightarrow \frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Ze}{4\pi\epsilon_0 \cdot 4F_{kin}} \right)^2 \frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$$

Experiment von Rutherford

Streng von α Teilchen folgt verteilt $\frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$

bis zu $\theta = 150^\circ$

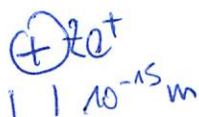
Das dazugehörige b ist $6 \cdot 10^{-15} \text{ m}$!

$\rightarrow$ Die positiven Ladungen sind konzentriert im

"Kern" des Atoms

$$m_e \ll m_{\text{Kern}}$$

Also:



10^{-10} m

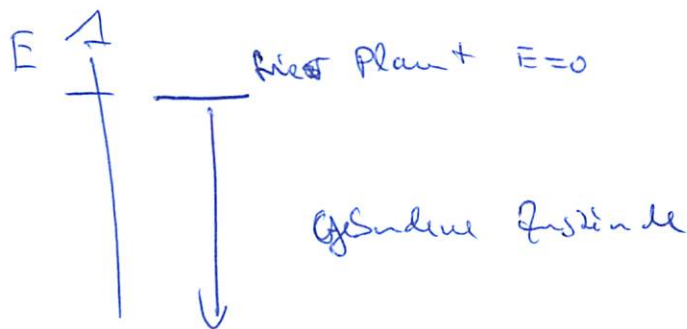
Atome
sind leer !

22

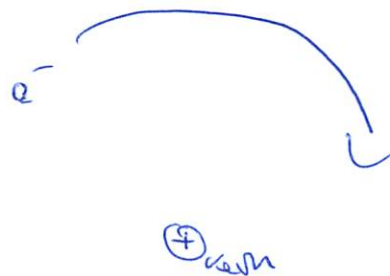
→ Atome verhalten sich ähnlich wie das Plankensystem
leicht Plank (Elektron) umkreisen die schwere Sonne (Kern)
Das Plankensystem (Atom) ist schwebend über.

1.4 Diskontinuität Spektren der Atome

Bzw Plank: zeigen sich Zentrifugalkraft und Fernkraft
ausgeglich sind Bahnen stabil. Bahnen selbstig fixiert -
legen sind das zu Fluchtgeschwindigkeit stabil



Wie sieht es mit Bahnen der Elektronen über dem Kern
aus?



Dipolmoment des
Systems führt zu
zeitlich veränderl. E-Feld

→ Abstrahlung von elektromagnetischen
Wellen

→ Spektren der Atome

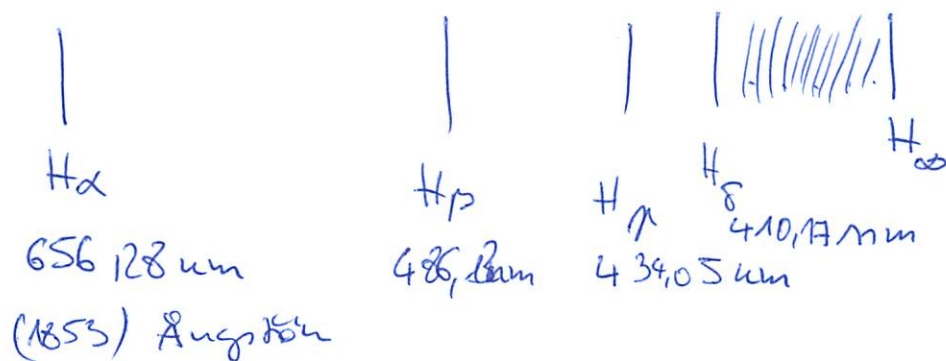
Versuch: diskontin. Linien in Emission
(und Absorption).

Kirchhoff und Bunsen: Spektralanalyse ≈ 1850
Jeder ~~Atom~~ Element hat charakteristische Spektrallinien

(23)

Das Wasserstoffspektrum

Balmer Serie des Wasserstoffs (im optischen Bereich)



1885 Balmer :
$$\lambda = \frac{n_1^2}{n_1^2 - 4} \cdot G$$

$$n_1 = 3, 4, \dots \infty$$

oder
$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n > 2 \in \mathbb{N}$$

$R_H = \frac{4}{G}$ Rydberg Konstante $R_H = 109677,581 \text{ cm}^{-1}$

Lyman Serie (UV) $\lambda < 121,6 \text{ nm}$

analog:
$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), n > 1 \in \mathbb{N}$$

Paschen Serie (IR) $\lambda < 1875 \text{ nm}$

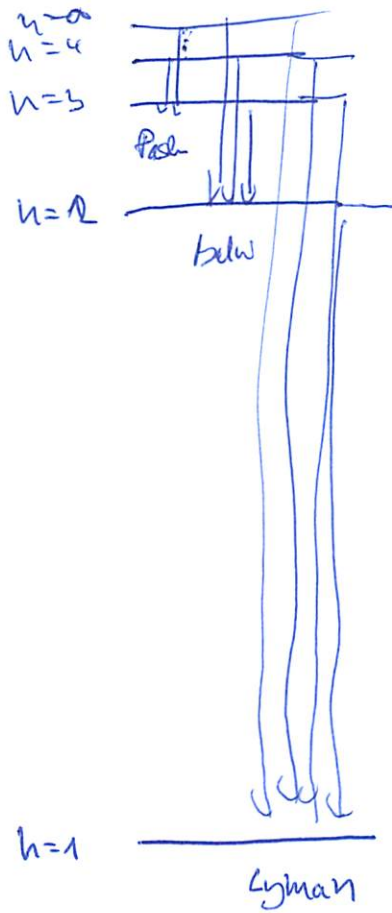
analog
$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right), n > 3 \in \mathbb{N}$$

Brackett

$$\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n > 4 \in \mathbb{N}$$

24

→ Energie schema der „Elektron Bahnen“



$$E_n = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2} = -\frac{R_H}{n^2} \quad R_H \text{ Rydberg Konstante}$$

$$1 \text{ Ry} = 13,6 \text{ eV}$$

Klassisch ist die „Quantisierung“ auf eine Reihe von diskreten Bahnenergien nicht nachvollziehbar!

Liegt das an der Quantisierung des Photons?

Nein!

Versuch von Franck und Hertz (1914)

Auch Anregung von Atomen durch Stöße mit Elektronen
belegt gleiche Quantisierung der Bahnenergien!