Das Atom als zeitlich und räumlich gequanteltes System

Autor(en): **Beck, Gottfried**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **6 (1933)**

Heft V

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-110278

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Das Atom als zeitlich und räumlich gequanteltes System

von **Gottfried Beck.**[1])

(4. VII. 33.)

Alle Messungen der Physik und Chemie werden letzten Endes auf Dimensionen der Länge, der Zeit und der Masse zurückgeführt. Die Einheiten wurden bestimmten Naturphänomenen entnommen, bei deren Wahl rein praktische Momente massgebend waren. In der Chemie sah man sich zuerst gezwungen, neue Einheiten zu wählen oder besser gesagt, die Natur legte ihre eigenen Gewichte und deren Einheiten auf die Waage des Analytikers: die Atomgewichte als deren Einheit das Gewicht des Wasserstoffatoms gilt.

Nun ist von verschiedener Seite versucht worden, eine ebenso natürliche Einheit der Zeit aufzusuchen, so von Lévi, Pokrowsky[2]), und für die Einheit der Länge habe ich versucht, eine natürliche Einheit daraus abzuleiten[3]). Die Einheit der Zeit, das Chron, wird auf verschiedenste Weise zu $4{,}37 \cdot 10^{-24}$ Sec. und die Einheit der Länge, das Odon, zu $1{,}31 \cdot 10^{-13}$ cm gefunden. Das Chron, das Odon und das Proton (event. das Elektron in einer 4-dimensionalen Welt) sind als eigentliche Einheiten anzusehen.

In der ersten Arbeit[2]) wurde zu zeigen versucht, dass jede Makrobewegung sich auflösen lasse in eine intermittierende Folge von Bewegungs-Elementen mit Lichtgeschwindigkeit über eine oder mehrere Elementarstrecken (Odonen), während einem oder mehreren Zeitelementen (Chronen) und dazwischen tretenden Ruhepausen, die sich ebenfalls über ein oder mehrere Zeitelemente erstrecken sollten. So sollte die Geschwindigkeit v_1 des Elektrons auf der Grundbahn des Wasserstoffatoms ein ganzzahliger Bruchteil der Lichtgeschwindigkeit sein, nämlich

$$\frac{c}{v_1} = 137 .$$

---

[1]) Bemerkung aus der Redaktionsordnung: Die Verantwortung für ihre Mitteilung tragen die Autoren selbst.

[2]) Pokrowsky, Ztschr. f. Phys. **51**, 737 (1928).

[3]) G. Beck, Ztschr. f. Phys. **53**, 675 (1929).

Dieses Resultat interpretiert sich nach unserer Annahme so, dass das Elektron während 136 Chronen stillsteht oder um 1 Odon hin und her oszilliert und sich während des 137. Chrons um ein Odon auf seiner Grundbahn weiterbewegt. Es hat später EDDINGTON in einem ganz anderen Zusammenhang postuliert, dass der Quotient

$$\frac{h\,c}{2\pi\,e^2} = 137,$$

d. h. ganzzahlig sein müsse. Dieser Quotient ist aber nichts anderes, als das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit zur Geschwindigkeit des Elektrons auf der Grundbahn des Wasserstoffatoms nach der Bohr'schen Theorie:

$$\frac{c}{v_1} = \frac{hc}{2\pi\,e^2}.$$

Meine Auffassung hat also von ganz anderer Seite eine Unterstützung erhalten. Im weiteren möchte ich einige neue Momente vorbringen für die zeitliche Quantelung der Bewegung. Auf Grund dieser Auffassung hatte ich die natürlichen Einheiten für die Länge ($\lambda_0 = 1{,}31 \cdot 10^{-13}$ cm $= 1$ Odon) und für die Zeit ($4{,}37 \cdot 10^{-24}$ Sec. $= 1$ Chron) durch Einsetzen in die Dimensionalausdrücke von h, e, μ, C (Gravitationskonstante) verifiziert.

Auf sehr einfache Weise lässt sich sodann eine bekannte Beziehung zwischen den Quotienten Protonen- zu Elektronenmasse mit Hilfe lauter universeller Konstanten aufstellen:

$$\frac{M}{m} = 2\left(\frac{\pi\,e^2}{hc}\right)^2 \frac{\nu_0}{\nu_1} \tag{1}$$

wo ν_1 die Rydbergfrequenz bedeutet, ν_0 die Grenzfrequenz entsprechend dem reziproken Wert des Chrons. Diese Beziehung lässt sich wesentlich vereinfachen. Das elektrische Elementarquantum e hat die Dimension $l^{3/2} m^{1/2} t^{-1} = 4{,}78 \cdot 10^{-10}$ ESE. Durch Einsetzen der Einheiten $\lambda_0 = 1{,}31 \cdot 10^{-13}$ cm, $m = 9 \cdot 10^{-28}$ gr. und $\nu_0 = 4{,}37 \cdot 10^{-24}$ Sec. (Chron) erhalten wir

$$e = 3{,}254 \cdot 10^{-10} \text{ statt } 4{,}78 \cdot 10^{-10}. \tag{2}$$

Der Quotient von $4{,}78 \cdot 10^{-10}/3{,}254 \cdot 10^{-10}$ beträgt 1,4598. Wir werden darauf noch später zurückkommen. Wir ersetzen in (2) $m^{1/2}$ nach (1) und erhalten

$$e^2 = \lambda_0^3\, M \left(\frac{hc}{\pi\,e^2}\right)^2 \cdot \frac{\nu_1\,\nu_0}{2} \cdot 1{,}459^2$$

oder

$$e^6 = \lambda_0^3 M h^2 c^2 \nu_1 \nu_0 \cdot \frac{1{,}4598^2}{2 \cdot \pi^2} = \lambda_0^9 M^3 \nu_0^5 \nu_1 \frac{1{,}459^2}{2\pi^2}$$

wegen $c = \lambda_0 \nu_0$ und $h = \lambda_0^2 M \nu_0$. Es folgt

$$e = \lambda_0^{3/2} M^{1/2} \nu_0^{5/6} \nu_1^{1/6} \sqrt[3]{\frac{1{,}4598}{\pi \sqrt{2}}}. \tag{3}$$

Aus (3) und (1) erhalten wir

$$\frac{M}{m} = \sqrt[3]{\frac{2\pi^2\, 1{,}459^4\, \nu_0}{\nu_1}}. \tag{4}$$

Der numerische Wert des Faktors $2^2 \pi\, 1{,}4598^2$ liegt so nahe bei 27, dass der Ausdruck $\sqrt[3]{2^2 \pi \cdot 1{,}4598^2}$ mit grösster Wahrscheinlichkeit ganzzahlig 3 ist. Es ist nämlich, wie wir schon erwähnt haben,

$$v_1 = \frac{2\pi e^2}{h} = \frac{2\pi\, 1{,}4598^2 m \lambda_0^3 \nu_0^2}{\lambda_0^2 M \nu_0} = \frac{2\pi\, 1{,}4598^2 m \lambda_0 \nu_0}{M}$$

nach (4) ergänzt:

$$v_1 = 2\pi\, 1{,}4598^2 \lambda_0 \nu_0 \sqrt[3]{\frac{\nu_1}{2\pi^2 \nu_0\, 1{,}4598^4}}.$$

Nun ist aber

$$\frac{c}{v_1} = \frac{c}{\sqrt[3]{2^2 \pi\, 1{,}4598^2 \nu_0^2 \nu_1 \lambda_0^3}} = \sqrt[3]{\frac{\lambda_0^3 \nu_0^3}{2^2 \pi\, 1{,}4598^2 \nu_0^2 \nu_1 \lambda_0^3}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{\nu_0}{2^2 \pi\, 1{,}4598^2 \nu_1}} = 137.$$

Das Verhältnis ν_0/ν_1 ist nach unserer Annahme ganzzahlig, also sollte es auch der Ausdruck $\sqrt[3]{2^2 \pi\, 1{,}4598^2}$ sein. In der Tat erhält man dafür 2,9918 einen in Anbetracht der Unsicherheit der e-Bestimmung genügend übereinstimmenden Wert. Es ist also der Wert des Quotienten, für den wir bisher den Wert 1,4598 gesetzt hatten, gleich

$$\frac{3}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}}.$$

Es folgt also

$$\left(\frac{\nu_0}{\nu_1}\right)^{1/3} = 411, \text{ und } \frac{\nu_0}{\nu_1} = 69426531.$$

Wenn man also den Quotient Grenzfrequenz durch Rydbergfrequenz meiner Auffassung nach als ganze Zahl einsetzt, so muss dieser den Wert 69426531 haben, eine Zahl, welche dann wohl als die mit grösserer relativer Genauigkeit bekannte der ganzen Physik anzusehen wäre. Es handelt sich hier um eine *scharf* definierte Zahl, nicht etwa um eine der üblichen Angaben 69425531 $\pm$ 0,00 . . . a. Das bedeutet sicher etwas Neues für die „ exakten " Naturwissenschaften. Hat doch Klein in seinen Vorlesungen über Differential- und Integralrechnungen ausdrücklich betont, dass bei Anwendung der Mathematik auf die Naturwissenschaften es sich stets nur um Approximationen handle. Scharfe Zahlen wie diese bieten der experimentellen Physik eine eigentümliche Grenzaufgabe.

Wir können nun den Ausdruck $2\pi^2\, 1{,}4598^4$ auch in (4) ersetzen und erhalten so die Formel

$$\frac{M}{m} = \frac{9}{2}\left(\frac{r_0}{r_1}\right)^{1/3} = \frac{3^3}{2}\, 137 = 1849{,}5. \tag{4a}$$

Man beachte wieder, dass diese Zahl absolut gilt. Es handelt sich nicht um irgendwelche Approximationsbestimmungen. Der experimentell bestimmte Wert ist in genügender Übereinstimmung mit dem heute als dem wahrscheinlichsten geltenden von 1847. Es ist zu beachten, dass das Verhältnis der Protonenmasse zu Elektronenmasse ohne weiteres aus den Dimensionen abgeleitet werden kann. Nur die Ganzzahligkeit von $2^2\pi\, 1{,}4598\ldots^2$ folgt aus unserer Annahme.

Wir wollen nun zeigen, dass auch die Annahme, dass die Grundbahn des H-Atoms als Vielfaches einer Grundeinheit der Länge zu betrachten, also auch der Raum als gequantelt anzunehmen sei, mit der Erfahrung erträglich ist.

Nach der Bohr'schen Theorie ist der Bahnradius des Wasserstoffatoms

$$r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2}.$$

Ersetzen nach der Dimensionalformel gibt

$$r_1 = \frac{\lambda_0^4 M^2 \nu_0^4}{4\pi^2 m \lambda_0^3\; m \nu_0^2 \frac{27}{4\pi}}. \tag{6}$$

Es ist nämlich bei $e = \lambda_0^{3/2} m^{1/2} \nu_0$ noch mit obigen als 1,4598 eingesetzten Quotienten

$$\frac{3}{2}\sqrt{\frac{3}{\pi}}$$

zu multiplizieren, um den richtigen Wert $4{,}78 \cdot 10^{-10}$ zu erhalten. Weiter ist

$$r_1 = \frac{\lambda_0 M^2}{27 \pi m^2} = \frac{81 \cdot 411^2 \lambda_0}{27 \pi \cdot 4}$$

oder

$$r_1 = \frac{506763 \cdot \lambda_0}{4 \pi}.$$

Auf den Umfang der Grundbahn umgerechnet

$$\frac{2 r_1 \pi}{\lambda_0} = \frac{506763}{2} = 253381\tfrac{1}{2}. \tag{7}$$

Merkwürdigerweise kommt hier noch eine halbe „Einheit" hinzu. Diese Erscheinung konnte ich mir noch nicht erklären. Aber auch hier liegt ein scharfes Resultat vor, das möglicherweise zu einer experimentellen Bestätigung Anlass geben kann.

Bahnänderung durch Mitbewegung des Kerns.

Bei Berücksichtigung der Masse des Elektrons gegenüber der Masse des Kerns erfährt der Radius der innersten Kreisbahn eine Korrektion im Sinne folgender Formeln:

$$r = \frac{h^2 (1 + \mu)}{4 \cdot \pi 2 m_e^2} \quad \text{wobei } \mu = \frac{m}{M}.$$

Weiter ist nach (6)

$$\frac{2 \pi r}{\lambda_0} = \frac{h^2 \left(1 + \frac{2}{3^2 \cdot 137}\right)}{2 \pi m_e^2 \lambda_0} = \frac{3^3 \cdot 137 \, (3^{3 \cdot 137 + 2})}{2 \cdot 3^3} = 253518\tfrac{1}{2}. \tag{8}$$

Durch die Berücksichtigung der Mitbewegung des Kerns wird also die Länge der Bahn des innersten Bohr'schen Kreises um 137 Odonen verlängert. Ganz analoge Korrektionen erfährt das Verhältnis $\frac{\nu_0}{\nu_1}$, wenn man bei der Rydbergfrequenz ν_1 die Beeinflussung des Kerns durch das Elektron berücksichtigt. Es ist bekanntlich

$$R_{\mathrm{H}} = \frac{R \infty}{1 + \frac{m}{M}} = \frac{R \infty}{1 + \frac{2}{3^3 \cdot 137}}$$

oder

$$\frac{\nu_0}{R_{\mathrm{H}}} = \frac{3^3 \cdot 137^3 (3^3 \cdot 137 + 2)}{3^3 \cdot 137} = 137^2 (3^3 \cdot 137 + 2) = 69464069.$$

(Es ist zu beachten, dass ν_1 und $R\infty$ identische Begriffe sind. Ich übernehme hier die Bezeichnungsweise von Sommerfeld.) Der

Quotient $\frac{\nu_0}{R_H}$ wird für H also um $2 \cdot 137^2$, d. h. ganzzahlig auf 69464069 vergrössert. Analoges gilt für die Frequenz des Heliumjons.

Die Rechnung gibt für $\frac{\nu_0}{\nu_{He}} = 69435915{,}5$.

Die Differenz gegenüber $\frac{\nu_0}{\nu_1}$ ist $= 9384{,}5 = \frac{1}{4} \cdot 2 \cdot 137^2$.

Um die Genauigkeitsgrenzen zu übersehen, multiplizieren wir den Wert von $\frac{\nu_0}{\nu_{He}}$ mit der von PASCHEN sehr genau bestimmten Rydbergkonstanten von He 109722,144 cm^{-1} und dividieren durch die Rydbergkonstante des Wasserstoffs 109677,691 $\pm$ 0,06. Dann erhalten wir für Wasserstoff die Zahl 69435927. Der Unterschied gegenüber der oben gefundenen Zahl beträgt nur 11.

Es existiert noch eine weitere Prüfungsmöglichkeit der räumlichen und zeitlichen Quantelung in der Erscheinung des Packungseffektes. Beim Zusammentreffen von 4 Wasserstoffatomen zu einem Heliumatom ($4 \cdot 1{,}00777 \rightarrow 4{,}0000$) entsteht ein Massenverlust von 0,03108. Das sind nach der Einstein'schen Beziehung pro Mol Helium $2{,}88 \cdot 10^{19}$ Erg ($h\nu$). Diese Energie entspricht einer Strahlungsfrequenz von $0{,}712 \cdot 10^{22} \nu$ pro Helium-Atom, das sind 32,5 Chronen auf eine Schwingung. Wenn wir einen Energieverlust, der genau *einer* Schwingung auf 32 Chronen entspricht, annehmen, so können wir das genaue Verhältnis der Atomgewichte $H:He$ ableiten zu 1 : 3,96875. Aus der Einstein'schen Beziehung $h\nu = Mc^2$ geht hervor, dass das Proton auf jedes Chron eine Schwingung ausführt. Treten nun 4 Protonen zu einem Heliumatom zusammen, so verliert das neue System auf jedes 32. Chron eine Schwingung der Materienwellen. Die Masse des neuen Systems verringert sich also um $^1/_{32}$ auf $4 \cdot 1{,}00777 - {}^1/_{32} = 3{,}99983$. Die genauesten Atombestimmungen von BAXTER und STARKWATHER[1]) geben den Wert 3,9995 bis 4,0000 an. Wenn wir das Atomgewicht des Protons = 1 setzen, so erhalten wir für Helium wieder eine scharf definierte Zahl, nämlich $4 - {}^1/_{32} = 3{,}96875$ (der Wert BAXTERS umgerechnet ergibt auf der Basis $H = 1$ 3,96904 bis 3,96855). Bei einer um eine Zehnerpotenz gesteigerten Genauigkeit der Atomgewichtsbestimmungen könnte man schon mit grösster Wahrscheinlichkeit die Frage der zeitlichen Quantelung entscheiden.

Brienz, Juli 1933.