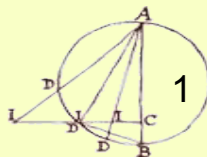


Arne Schirrmacher

Heisenberg's ladder didn't fall

Types, aims and uses of models in the history of quantum theory



metaphors

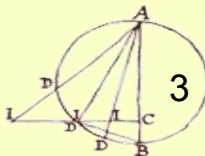
analogies

models

material models / objects

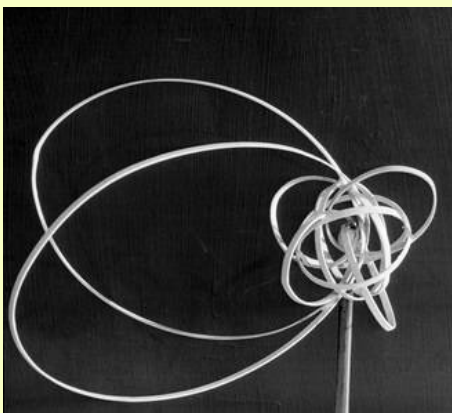
graphical renderings

graphical descriptions

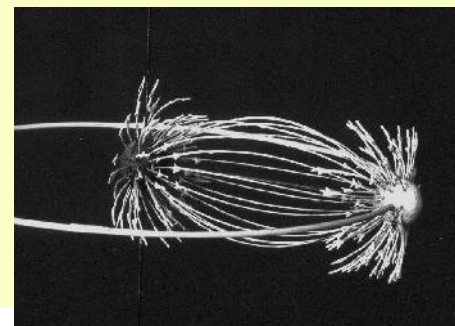


Models

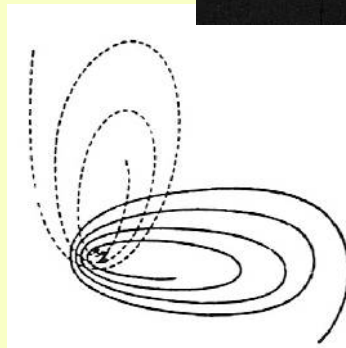
Perrin atomic model, 1901



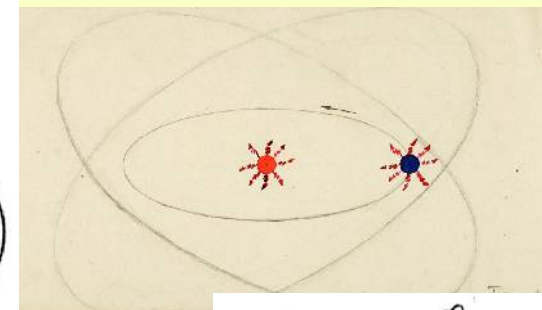
Lenard/Becker atomic model, 1904



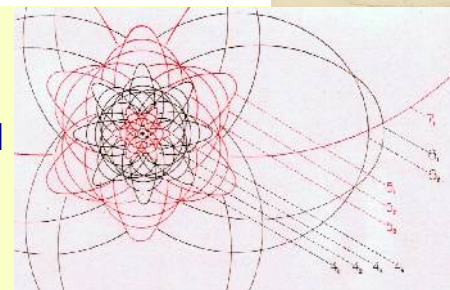
Stark atomic model for band spectra, 1908 / 1912



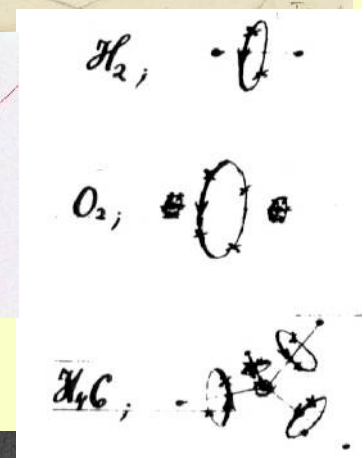
Bohr drawings of atoms and molecules, 1912



Sommerfeld/Fajans/Thiersch drawings and material model 1918



Bohr/Kramers/Holst plates on structures of atomic elements ~ 1921

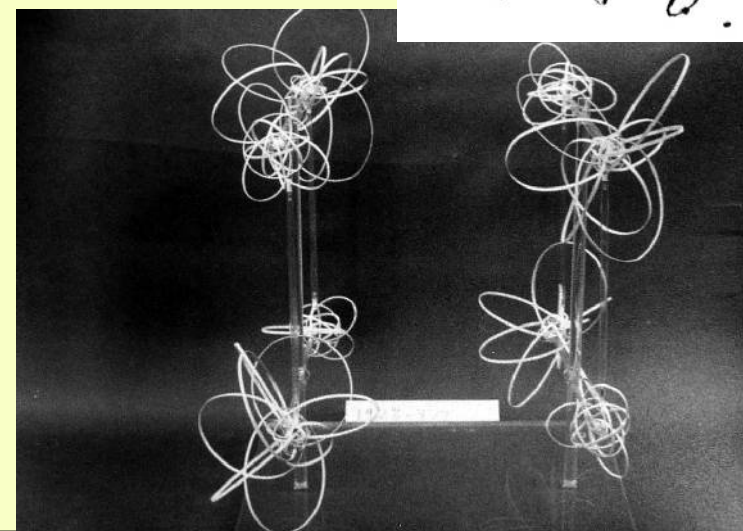
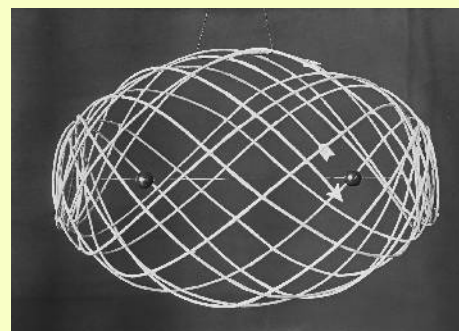
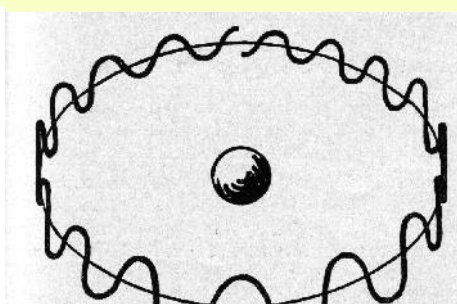
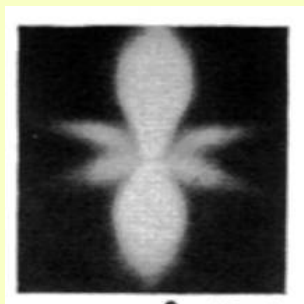


Pauli model of hydrogen molecule ion, ~ 1922

Bragg/Hartree material models of atoms and ionic crystals thereof, ~ 1923

Kirchberger's Bohr+Schrödinger model, 1928

White's photographs of (simulated) electron clouds, 1931



metaphors – analogies – models: the Boyd-Kuhn debate (1979)

Boyd

"metaphorical expressions constitute, at least for a time, an irreplaceable part of the linguistic machinery of a scientific theory: cases in which there are metaphors which scientists use in expressing theoretical claims for which no adequate literal paraphrase is known."

"one can say exactly in what respect Bohr thought atoms were like solar systems without employing any metaphorical device, and this was true when Bohr's theory was proposed."

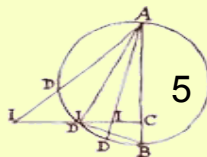
Kuhn

"Bohr and his contemporaries supplied a model in which electrons and nucleus were represented by tiny bits of charged matter interacting under the laws of mechanics and electromechanic theory. That model replaced the solar system metaphor but not, by doing so, a metaphor-like process."

"... even when that process of exploring potential similarities had gone as far as it could (...) the model remained essential to the theory. **Without its aid, one cannot even today write down the Schrödinger equation for a complex atom or molecule**, for it is to the model, not directly to nature, that the various terms in that equation refer."

* models like the Bohr atom provide an "interactive, similarity-creating process"

"Models are not, however, merely pedagogic or heuristic. They have been too much neglected in recent philosophy of science."



Why models?

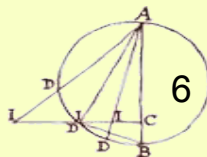
a la Hacking

models have a life of their own

Margaret Morrison: Models as autonomous agents
(1998/99)

"(1) that it is models rather than abstract theory that represent and explain the behaviour of physical systems and
(2) that they do so in a way that makes them autonomous agents in the production of scientific knowledge."

models "occupy a separate domain of scientific investigation"



Why models?

a la Hacking

models have a life of their own

Margaret Morrison: Models as autonomous agents
(1998/99)

"(1) that it is models rather than abstract theory that represent and explain the behaviour of physical systems and
(2) that they do so in a way that makes them autonomous agents in the production of scientific knowledge."

models "occupy a separate domain of scientific investigation"

MPIWG

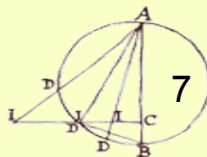
as (material) representations of mental models

Renn, Sauer, Büttner, Schemmel ...
(2000, 2007)

"Mental models can, as a rule, be externally represented by material models which also serve as the element of continuity in their transmission.."

"The backbone of the long-term transmission of mental models is the transmission of their material counterparts"

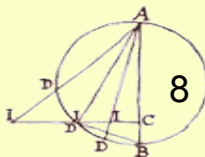
"characterized by a remarkable longevity across historical breaks as becomes clear when considering such examples as the mental model of an atom, of a balance, of the center of gravity or of positional weight."



**Are there long-term histories of mental/material models
in the history of genesis and development of quantum theory?**

I. the virtual oscillator

II. the planetary model



I. The Virtual Oscillator

- classical wave theories of light: infinite number of VOs (ether)
- Zeeman effect: Lorentz identifies atom with collection of VOs
- Drude: matter as collection of VOs with different charges
- Ritz' combination principle derived by Voigt & Riecke method with sets of VOs

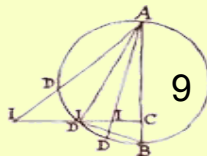
Rydberg constant as a universal constant

- Planck's resonator: only sum of energies quantized

Einstein: no, each one

- specific heat of solids
- Ersatz oscillators (Ladenburg ...)
- quantization of radiation field

John L. Heilbron: The virtual oscillator as a guide to physics students lost in Plato's cave
Science and Education 3 (2) (1994), S. 177-188.



REVUE SCIENTIFIQUE

(REVUE ROSE)

DIRECTEUR : M. CHARLES RICHEL



NUMÉRO 15

4^e SÉRIE — TOME XV

19 AVRIL 1901.

359.

PHYSIQUE

Les hypothèses moléculaires⁽¹⁾.

Nos sens ne nous permettent pas de percevoir directement la matière au delà d'un certain degré de petitesse; notre vue, par exemple, ne peut nous faire distinguer dans un objet des détails plus petits que le dixième de millimètre. Nous n'en concluons pas, cependant, que ces détails n'existent pas, et nous serons naturellement conduits à nous demander comment nous percevons l'univers si nos sens devaient tout d'un coup plus subtils.

elle n'a fait que grand considérer comme un recherche que la raison

insaisissabilité de la matière le problème d'une façon que de ces matières dissolues ou solutions, — qu'ils physiciens. Ils sont forts grossissements, parfaitement continu même. Ils apparaissent

Pour la première fois, nous entrevoyons un moyen de pénétrer dans la constitution intime de l'atome. On fera, *par exemple*, l'hypothèse suivante, qui concorde avec les faits précédents.

Chaque atome serait constitué, d'une part, par une ou plusieurs masses très fortement chargées d'électricité positive, sorte de soleils positifs dont la charge serait très supérieure à celle d'un corpuscule, et d'autre part, par une multitude de corpuscules, sorte de petites planètes négatives, l'ensemble de ces masses gravitant sous l'action des forces électriques, et la charge négative totale équivalant exactement à la charge positive totale, en sorte que l'atome soit électriquement neutre.

Les planètes négatives qui appartiennent à deux atomes différents sont identiques; s'il arrivait que les soleils positifs fussent aussi identiques entre eux, la totalité de l'univers matériel serait formée par le groupement de deux espèces seulement d'éléments primordiaux, l'électricité positive et l'électricité négative.

Si une force électrique suffisante agit sur un atome elle pourra détacher une des petites planètes, un corpuscule (formation de rayons cathodiques). Mais il sera deux fois plus difficile d'arracher un deuxième corpuscule en raison de l'excès de la charge positive totale, non altérée, sur la charge négative restante. Il sera trois fois plus difficile d'arracher un

II. The Planetary Model

Jean Perrin 1901

mètres; nous trouverons que la durée de cette gravitation (l'année de cette planète) est environ 10^{-15} secondes. Or les périodes de vibrations des raies de l'aluminium sont comprises entre 10^{-15} et $\frac{1}{2} 10^{-15}$ secondes. Il y a là une coïncidence remarquable, à ma connaissance non encore signalée (1).

Si l'atome est très lourd, c'est-à-dire probablement très grand, le corpuscule le plus éloigné du centre, — le Neptune du système —, sera mal retenu dans sa course par l'attraction électrique du reste de l'atome; la moindre cause l'en détachera; la formation de rayons cathodiques pourra devenir tellement facile que la matière paraisse spontanément *radio-active*; tels sont l'uranium, le thorium, qui précisément ont les plus grands des poids atomiques sûrement connus; tels paraissent être les nouveaux métaux fortement radio-actifs récemment découverts en France par M^{me} et M. Curie (1898) et par M. Debierne (1899).

Nous pouvons enfin concevoir que, pour les masses qui forment l'atome, il y ait plusieurs configurations stables possibles, plusieurs régimes permanents de gravitation possibles. A ces différents régimes correspondraient les différents types chimiques possibles pour un même atome (azote trivalent et pentavalent, fer des sels ferreux et fer des sels ferriques, etc.). Ainsi les progrès accomplis

(1) Conférence faite aux étudiants et aux Amis de l'Université de Paris, le 16 février 1901, par M. Jean Perrin, chargé du cours de Chimie physique à la Sorbonne.

(1) Par un procédé tout différent, M. Langevin est arrivé, en même temps que moi, à la même conclusion.



Einschließlich der Zeitschrift „Die Natur“ (Halle a. S.) seit 1. April 1902.
Organ der Deutschen Gesellschaft für volkstümliche Naturkunde in Berlin.

Redaktion: Professor Dr. H. Potonié und Oberlehrer Dr. F. Koerber
in Groß-Lichterfelde-West bei Berlin.

Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Neue Folge III. Band;
der ganzen Reihe XIX. Band.

Sonntag, den 22. Mai 1904.

Nr. 34.

Abonnement: Man abonniert bei allen Buchhandlungen
und Postanstalten, wie bei der Expedition. Der
Vierteljahrspreis ist M. 1.50. Bringegeld bei der Post
15 Pfg. extra. Postzeitungsliste Nr. 5446.



Inserate: Die zweispaltige Petitzeile 50 Pfg. Bei größeren
Aufträgen entsprechender Rabatt. Beilagen nach Über-
einkunft. Inseratenannahme durch Max Gelsdorf, Leipzig-
Gohlis, Blumenstraße 46, Buchhändlerinsetate durch die
Verlagshandlung erbeten.

Über die Konstitution der Materie.

Von Dr. A. Becker in Kiel.

[Nachdruck verboten.]

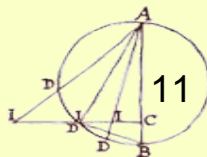
Als das erste und nächstliegende Ziel aller irgendwelchen Kenntnissen der Naturvorgänge in
Naturforschung muß wohl dasjenige gelten, die jener Zeit nicht verwundern. Von Bedeutung ist

II. The Planetary Model

Lenard / Becker 1904

- consider H^- like system of three particles

"... indeed each cathode ray particle contained within a force field [will] orbit rapidly around the positive point or describe paths, the knowledge thereof is to be expected from a yet-to-be-found solution to the three-body problem, which takes into consideration not only attracting forces but also repelling ones."



II. The Planetary Model

widespread in popular science media

1904ff.



Atome und Weltkörper.
 Von Dr. M. Wilhelm Meyer.

„Was ich weiß, das weiß ich sehr schlecht, aber was ich ignoriere, das ignoriere ich vollkommen.“ Mit diesen Worten eines französischen Gelehrten beschloß Sir W. Ramsay aus London, der berühmte Entdecker der neuen Gase in der Luft, seinen Vortrag über „Das periodische System der Elemente“ in der Schlußsitzung der Naturforscherversammlung zu Kassel im Jahre 1903.

Dieser Ausspruch charakterisiert ganz besonders die moderne Naturforschung und nicht etwa nur in dem Sinne einer bloßen Bescheidenheit, die immer die wahrhaft großen Forscher ausgezeichnet hat. Die wird man ja immer

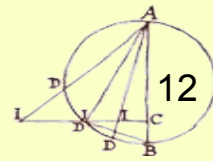
NATUR 1910 · Heft 23
 7. August 1910.
 Zeitschrift der deutschen naturwissenschaftl. Gesellschaft

Dr. M. Wilhelm Meyer: Die Urkraft des Univerjums 11

Die Urkraft des Univerjums / Von Dr. M. Wilhelm Meyer

Wenn ich hier auf meinem Selseneiland Capri die Sterne hinter der schroffen Wand des Monte Solaro untergehen sehe, so erfüllen in der Stille des heitern Abends meine Seele heilige Schauer von einer Unendlichkeit, in der ich schwebe, sicher geführt von der Allmacht der Naturkräfte, die mich in unergründlicher Mannigfaltigkeit und doch zugleich so gewaltiger Einheit umweben. Dieser helle Stern dort, der durch ähnliche, aber sehr viel geringere Reibungen, denen selbst das Getriebe des himmlischen Uhrwerks unterworfen ist.

Wehe dem Weltkörper, den Kräfte, von außen oder innen her, anpacken, um seine aus Urzeiten ererbte Bewegung zu stören! Dort über das rhythmisch zu meinen Füßen wogende Meer hinweg schweift der geistige Blick zu dem unglücklichen Kalabrien und Sizilien hinüber. Dort,



Erstens kann man in grober Annäherung von der Annahme ausgehen, daß die positiven Sphären, an welche das Valenzelektron gebunden ist, während der Schwingungen des Valenzfeldes unverändert bleiben, daß also lediglich eine Schwingung des Valenzelektrons relativ zu seiner Lage im Zustand der Ruhe in Betracht kommt. In diesem Falle haben wir anzunehmen, daß das Valenzelektron auf einer Kurve, wie sie Fig. 21 darstellt, unter mehrfachen Hinundhergängen nach seiner Bindungsstelle zurückkehrt und dabei während der Beschleunigungen im Aphel und Perihel seiner Bahn Teile seiner Deformationsenergie als Lichtenergie ausstrahlt.

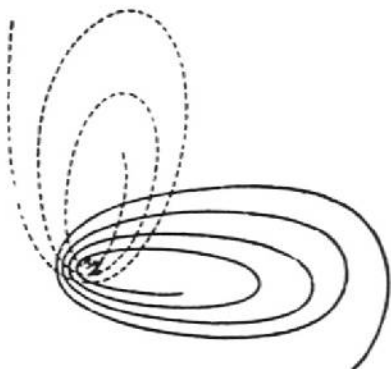


Fig. 21.

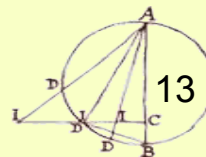
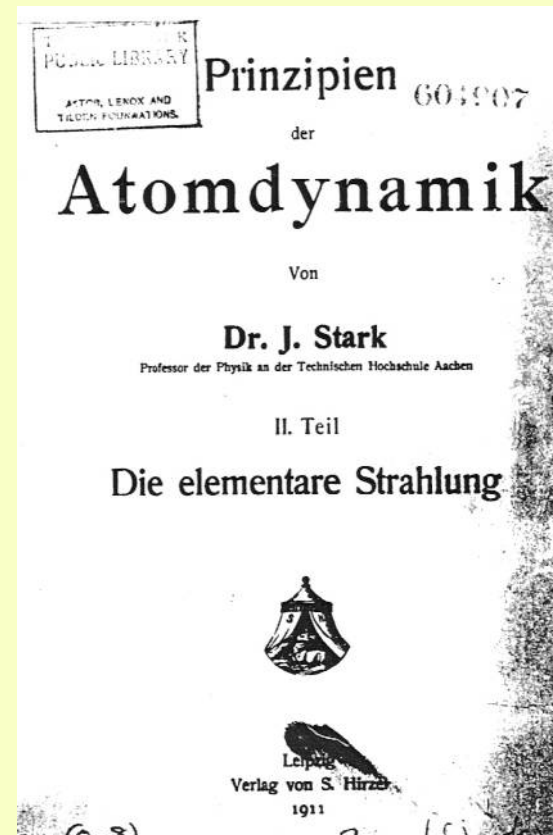
Den verschiedenen Beschleunigungsstellen der Bahn würden verschiedene Beträge der Deformationsenergie und gemäß dem Planckschen Gesetz verschiedene Frequenzen entsprechen; die Aphelfrequenzen und die Perihelfrequenzen würden unter sich eine Reihe oder eine Bande bilden, diese (kurzwellige Bande) würden bei kleineren Wellenlängen als jene (langwellige Bande) liegen. Die

beiden Bandenarten würden in der Weise miteinander gekoppelt sein, daß die kurzwellige Bande nicht ohne die langwellige zur Emission gebracht werden kann. Außerdem würde die kurzwellige Bande von einer Kante nach längeren Wellen, die langwellige Bande von einer Kante nach kürzeren Wellen laufen. Der Verfasser würde die vorstehende von ihm gezogene Folgerung nicht erwähnen, wenn sie nicht durch die Beobachtung in mehreren Fällen sich hätte bestätigen lassen; die hypothetisch gefolgerte Koppelung von kurzwelligen und langwelligen Banden werden wir weiter unten bei der Fluoreszenz kennen lernen. Wenn nun gemäß dem Vorstehenden plausibel gemacht ist, daß ein in seiner Gesamtheit schwingendes Valenzelektronenfeld eine diskontinuierliche Reihe von Frequenzen bei der Abnahme seines Energieinhalts durchlaufen muß, so ist

II. The Planetary Model

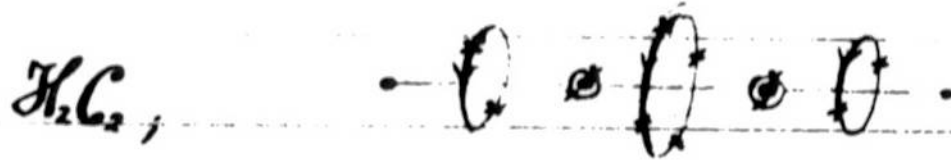
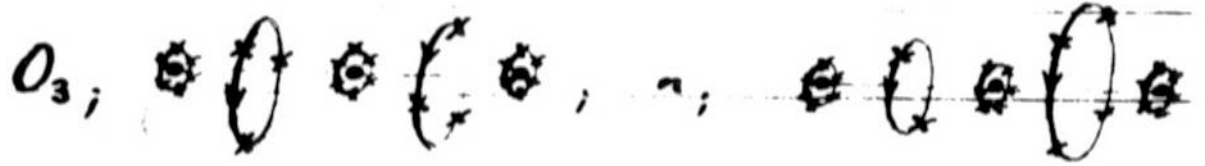
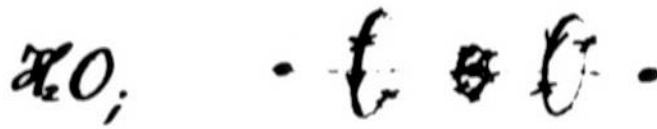
in Stark's analysis of band spectra using the quantum hypothesis

1908 / 1911



II. The Planetary Model

in Bohr's Manchester Memorandum
1912



II. The Planetary Model

Sommerfeld 1914-1919

Sommerfeld / Debye 1915

=> Martha

=> Michael

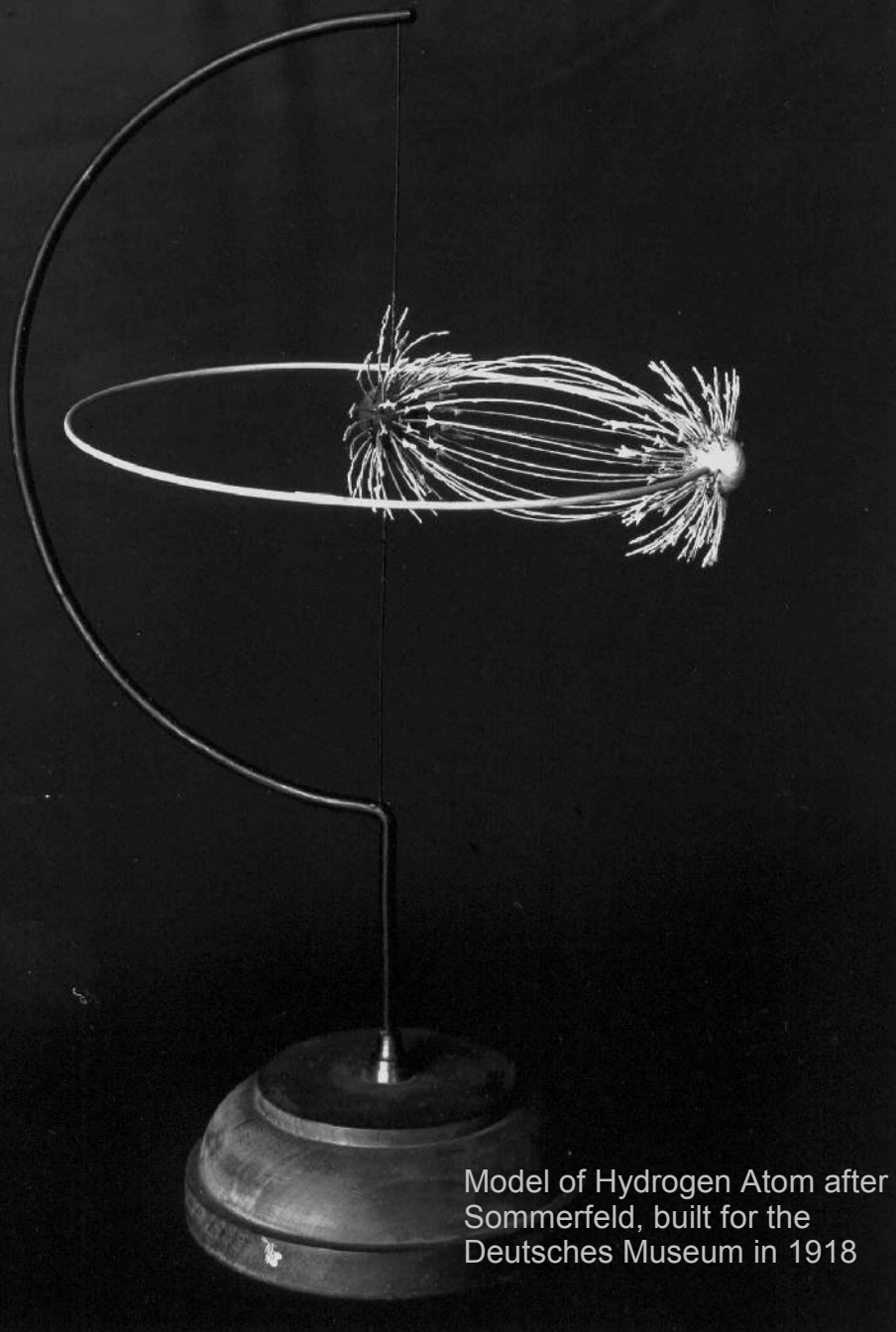
Sommerfeld: Grundlagen der Quantentheorie
und des Bohrschen Atommodells

Die Naturwissenschaften 1924

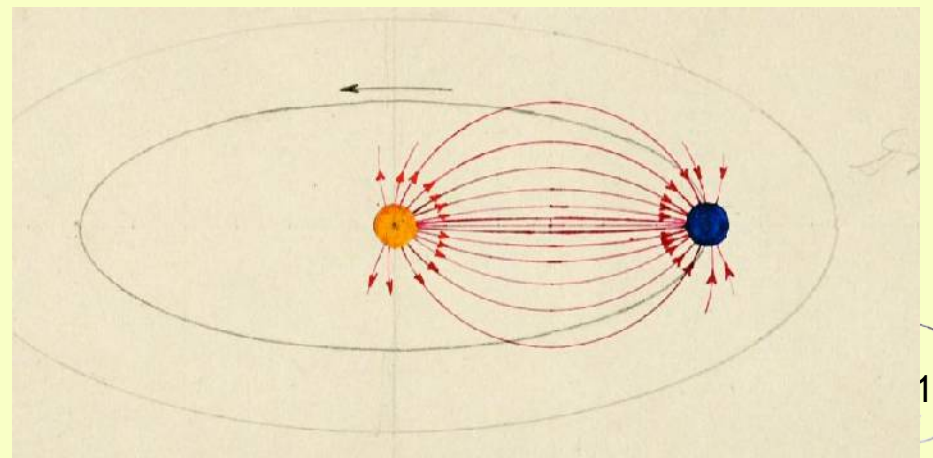
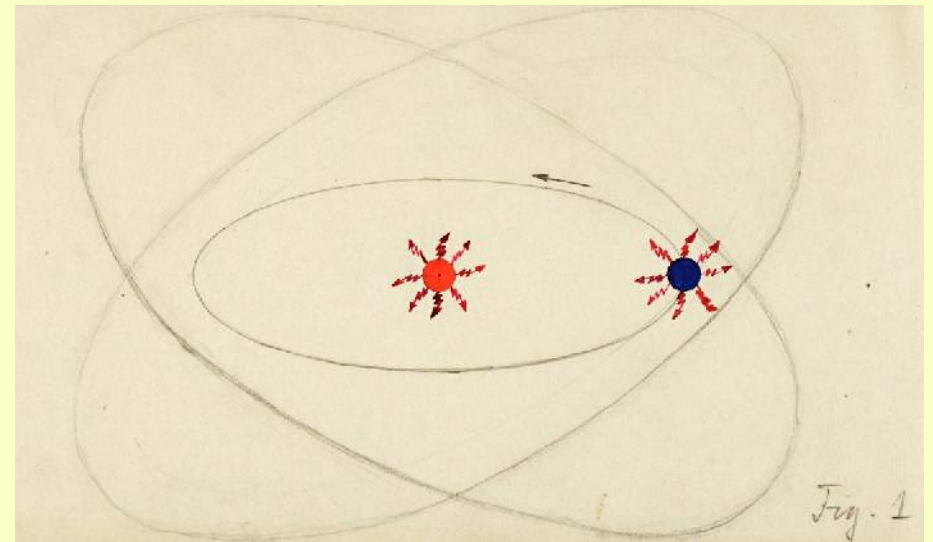
II. The Planetary Model

Sommerfeld

1918



Model of Hydrogen Atom after Sommerfeld, built for the Deutsches Museum in 1918



sich das Elektron der Mittelebene asymptotisch nähert, ohne sie zu erreichen.

2. *Symmetrische Bahnen.* Das Elektron bewegt sich symmetrisch zur Mittelebene und erfüllt einen Bereich, der von

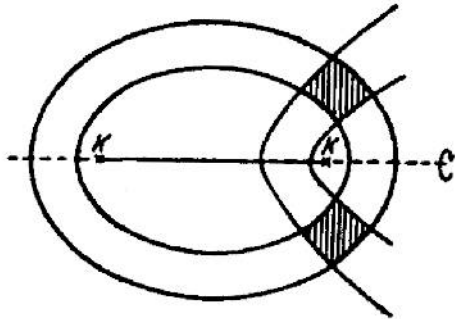


Fig. 5.

zwei Zonen von Rotationsellipsoiden $\lambda = \text{const}$ und den beiden zur Mittelebene symmetrischen Zonen von Rotationshyperboloiden $\pm \mu = \text{const}$ begrenzt ist, überall dicht (Fig. 6).

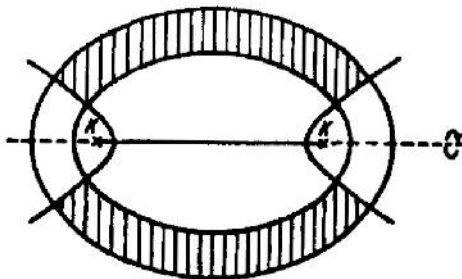


Fig. 6.

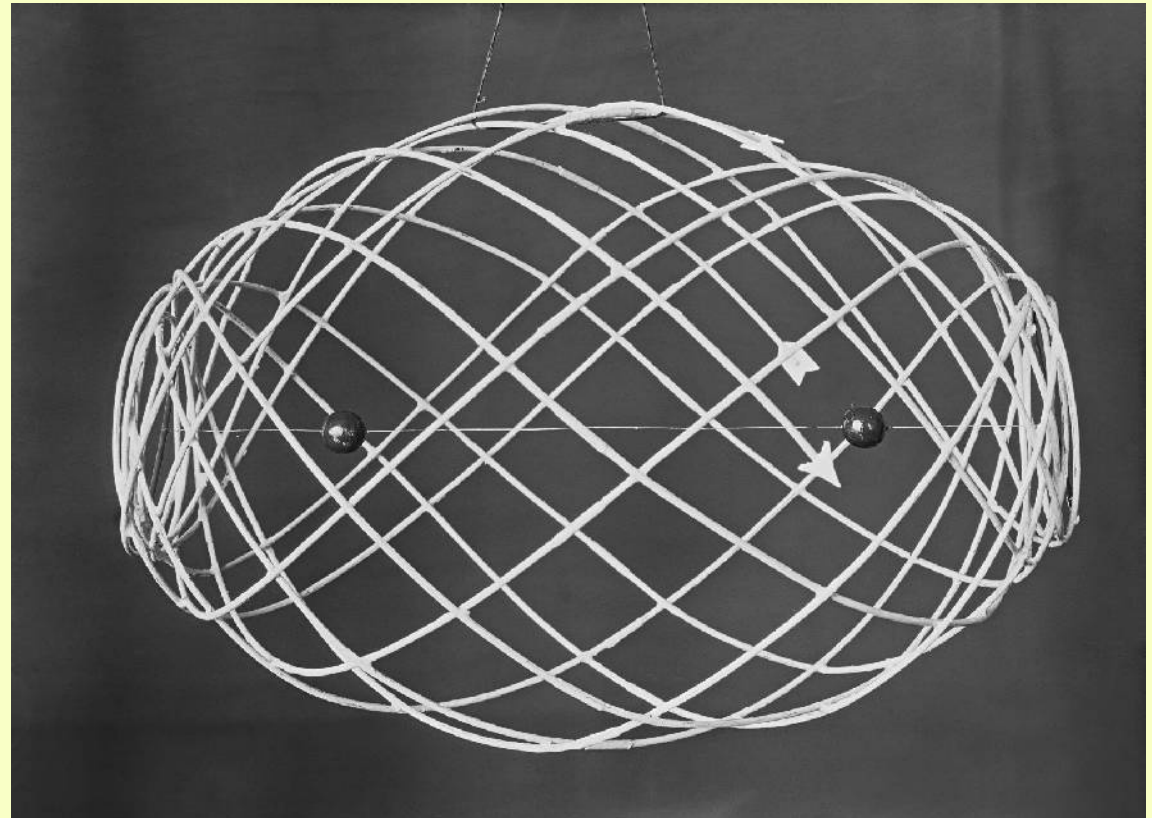
Die beiden Zonen $\lambda = \text{const}$ können im speziellen auch zusammenfallen.

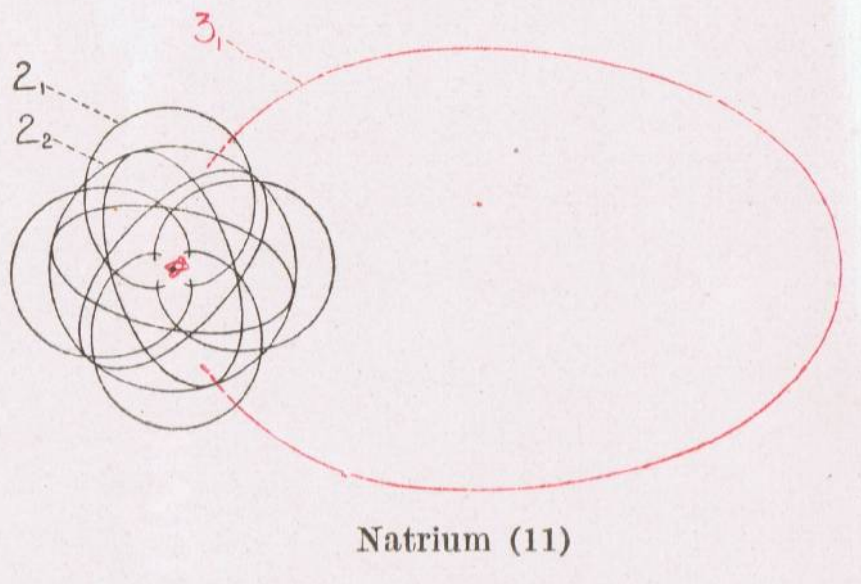
3. *Bahnen der Mittelebene.* Das Elektron bleibt dauernd in der Mittelebene und erfüllt einen Kreisring, dessen Mittelpunkt der Durchstoßpunkt der Verbindungslinie der Kerne mit der Mittelebene ist, überall dicht. Die konzentrischen Begrenzungskreise des Ringes können im speziellen auch zusammenfallen (Kreisbahnen).

II. The Planetary Model

Pauli's hydrogen molecule ion

~ 1922





II. The Planetary Model

Bohr / Kramers and Holst ~ 1921/22

Bohrs Atomteori. Almenfatteligt Fremstillet, 1922, ²1929

The atom and the Bohr theory of its structure, 1923

Die Naturwissenschaften, 1923

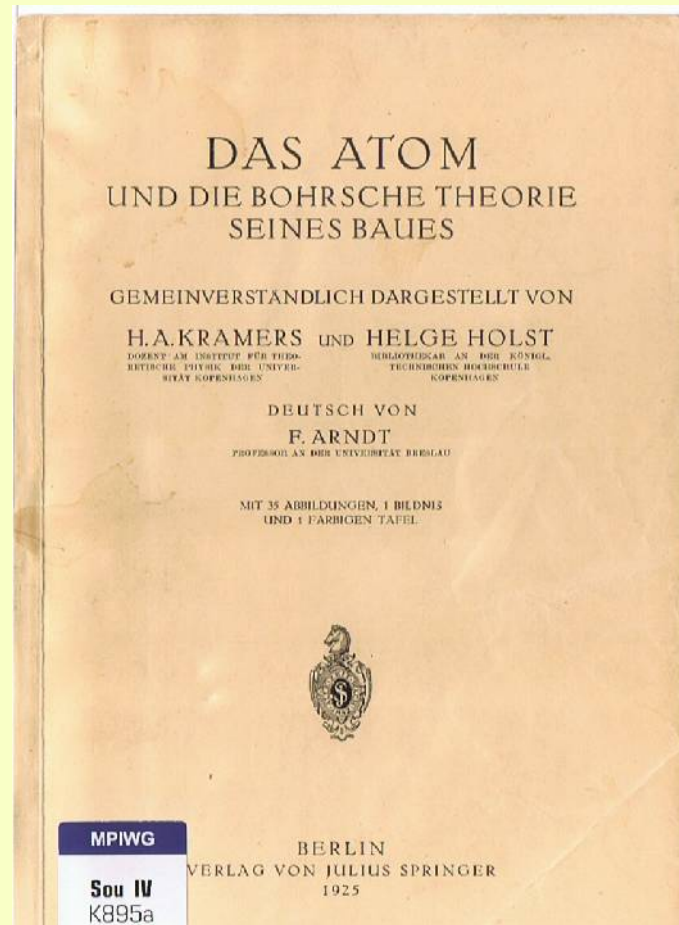
Chemistry in the Twentieth Century, 1924

Ibérica, 1924

Das Atom und die Bohrsche Theorie seines Baues, 1925

Bayrische Rundfunkzeitung, 1925

De bouw der Atomen, 1927, ²1930



seine Ladung verloren hat, so daß es nun nicht mehr Luftmoleküle unter Bildung von Ionen zerschlagen kann.

Selbst die Bahn von β -Teilchen hat man auf diese Weise photographieren können, obschon dies Elektronen sind mit einer etwa 7000mal kleineren Masse als die der Heliumatome, dafür aber von viel größerer Geschwindigkeit; diese große Geschwindigkeit bewirkt, daß die gebildeten Ionen weit voneinander entfernt sind, so daß die Wassertröpfchen um die einzelnen Ionen auf der Photographie einzeln hervortreten können (auf Abb. 21).

Viertes Kapitel.

Das Atom als Planetensystem.

Einleitung.

Wir sind nunmehr an die großen und tiefgehenden, bisher nur oberflächlich berührten Fragen nach dem Aufbau und der Wirkungsweise des „Atommechanismus“ selber gelangt. Die erste Frage ist: Wie ist die „Architektur“ des Atoms, d. h. welche Stellung nehmen die positiven und negativen Teile des Atoms zueinander ein, und wie viele sind von jeder Art vorhanden? Noch tiefer geht die zweite Frage: Welcherart sind die Prozesse, die in einem Atom vor sich gehen, und wie können wir mit ihnen die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Grundstoffe erklären? In diesem Kapitel wollen wir uns im wesentlichen an die erste Frage halten.

Die ersten wichtigen Beiträge zu ihrer Lösung verdanken wir den schönen experimentellen Untersuchungen von LEYDAR in Heidelberg. Dieser Forscher untersuchte schon vor mehr als 20 Jahren sehr genau die Ablenkung, welche Kathodenstrahlen erfahren, wenn sie durch Gase oder feste Stoffe hindurchgehen. Fallen z. B. Kathodenstrahlen auf eine dünne Metallplatte, so zeigen die Versuche, daß, wenn die Platte hinreichend dünn ist, ein großer Teil der Elektronen durch sie hindurchgehen und sie auf der anderen Seite verlassen kann, ohne einen größeren Geschwindigkeitsverlust oder eine größere Richtungsänderung zu erleiden. LEYDAR konnte hieraus schließen, daß die materiellen Atome sich gegenüber schnell bewegten elektrischen Teilchen als sehr poröse Gebilde verhalten mußten, und dies stand in schöner Übereinstimmung mit der Auffassung, daß die Elektronen selber, von denen ja eine Anzahl auch in den Atomen zugegen sein mußte, im Verhältnis zu der Ausdehnung der Atome sehr klein seien. Eindeutige Aufschlüsse darüber, wie es mit der positiven Elektrizität in den Atomen bestellt ist, waren aus diesen Versuchen nicht zu ent-

seine Ladung verloren hat, so daß es nun nicht mehr Luftmoleküle unter Bildung von Ionen zerschlagen kann.

Selbst die Bahn von β -Teilchen hat man auf diese Weise photographieren können, obschon dies Elektronen sind mit einer etwa 7000mal kleineren Masse als die der Heliumatome, dafür aber von viel größerer Geschwindigkeit; diese große Geschwindigkeit bewirkt, daß die gebildeten Ionen weit voneinander entfernt sind, so daß die Wassertröpfchen um die einzelnen Ionen auf der Photographie einzeln hervortreten können (auf Abb. 21).

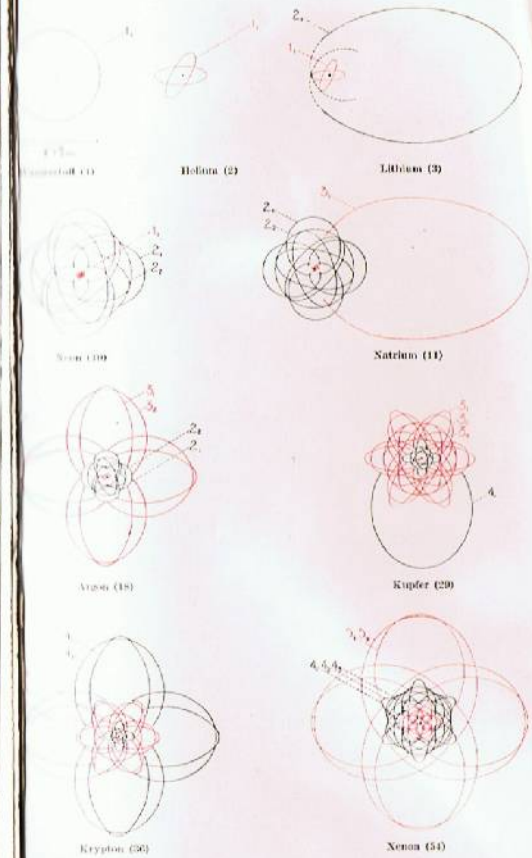
Viertes Kapitel.

Das Atom als Planetensystem.

Einleitung.

Wir sind nunmehr an die großen und tiefgehenden, bisher nur oberflächlich berührten Fragen nach dem Aufbau und der Wirkungsweise des „Atommechanismus“ selber gelangt. Die erste Frage ist: Wie ist die „Architektur“ des Atoms, d. h. welche Stellung nehmen die positiven und negativen Teile des Atoms zueinander ein, und wie viele sind von jeder Art vorhanden? Noch tiefer geht die zweite Frage: Welcherart sind die Prozesse, die in einem Atom vor sich gehen, und wie können wir mit ihnen die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Grundstoffe erklären? In diesem Kapitel wollen wir uns im wesentlichen an die erste Frage halten.

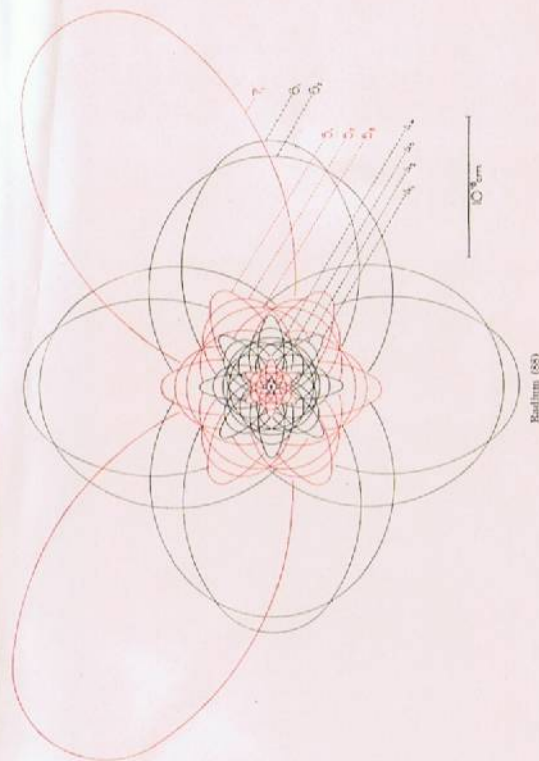
Die ersten wichtigen Beiträge zu ihrer Lösung verdanken wir den schönen experimentellen Untersuchungen von LENARD in Heidelberg. Dieser Forscher untersuchte schon vor mehr als 20 Jahren sehr genau die Abbremsung, welche Kathodenstrahlen erfahren, wenn sie durch Gase oder feste Stoffe hindurchgehen. Fallen z. B. Kathodenstrahlen auf eine dünne Metallplatte, so zeigen die Versuche, daß, wenn die Platte hinreichend dünn ist, ein großer Teil der Elektronen durch sie hindurchgehen und sie auf der anderen Seite verlassen kann, ohne einen größeren Geschwindigkeitsverlust oder eine größere Richtungsänderung zu erleiden. LENARD konnte hieraus schließen, daß die materiellen Atome sich gegenüber schnell bewegten elektrischen Teilchen als sehr poröse Gebilde verhalten mußten, und dies stand in schöner Übereinstimmung mit der Auffassung, daß die Elektronen selber, von denen ja eine Anzahl auch in den Atomen zugegen sein mußte, im Verhältnis zu der Ausdehnung der Atome sehr klein seien. Eindeutige Aufschlüsse darüber, wie es mit der positiven Elektrizität in den Atomen bestellt ist, waren aus diesen Versuchen nicht zu ent-



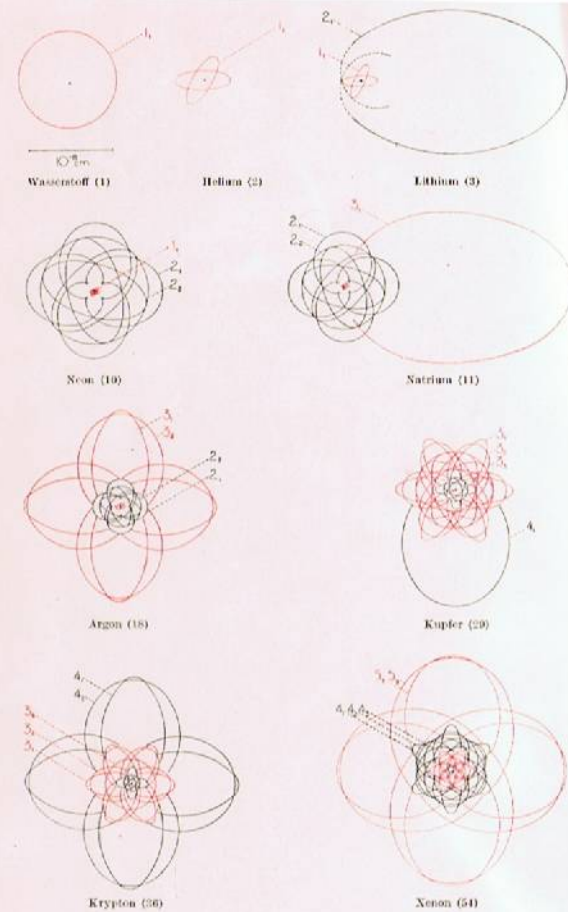
Verlag von Julius Springer in Berlin.

Temperaturstrahlung 93.	Wärmestrahlungstheorie 94, 130.
Thomson'sches Atommodell 74, 163.	Wasserstofflinien 48, 98; Feinstruktur der — 117ff.
Ultrarotes Licht 45, 167.	Wasserstoffspektrum 48, 98.
Ultraviolettes Licht 45.	Welllänge, mittlere freie 25.
Untergruppen 169.	Wellen 29ff.
Valenz u. Wertigkeit 41.	Wellenlänge 30; — des Lichtes 41.
Wahrscheinlichkeitsgesetze 86, 131, 138.	Wellentheorie des Lichtes 35, 128.
Wärme 22; mechanische Theorie der — 24.	Wertigkeit 14, 57, 63, 165.
	Zeemaneffekt 65, 122.

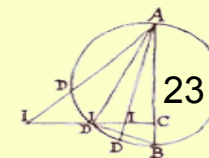
Druck der Spangenschen Buchdruckerei in Leipzig.

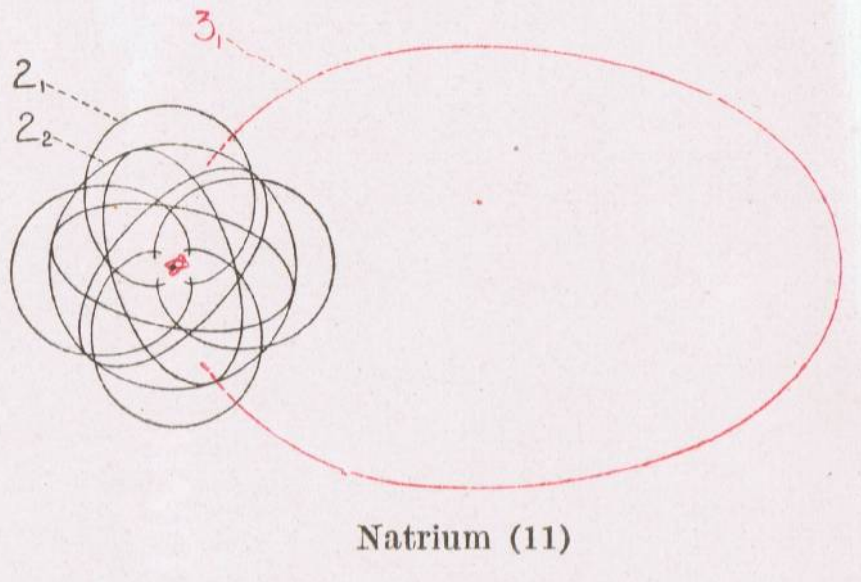


Kramers u. Heintz, Das Atom.



Verlag von Julius Springer in Berlin.





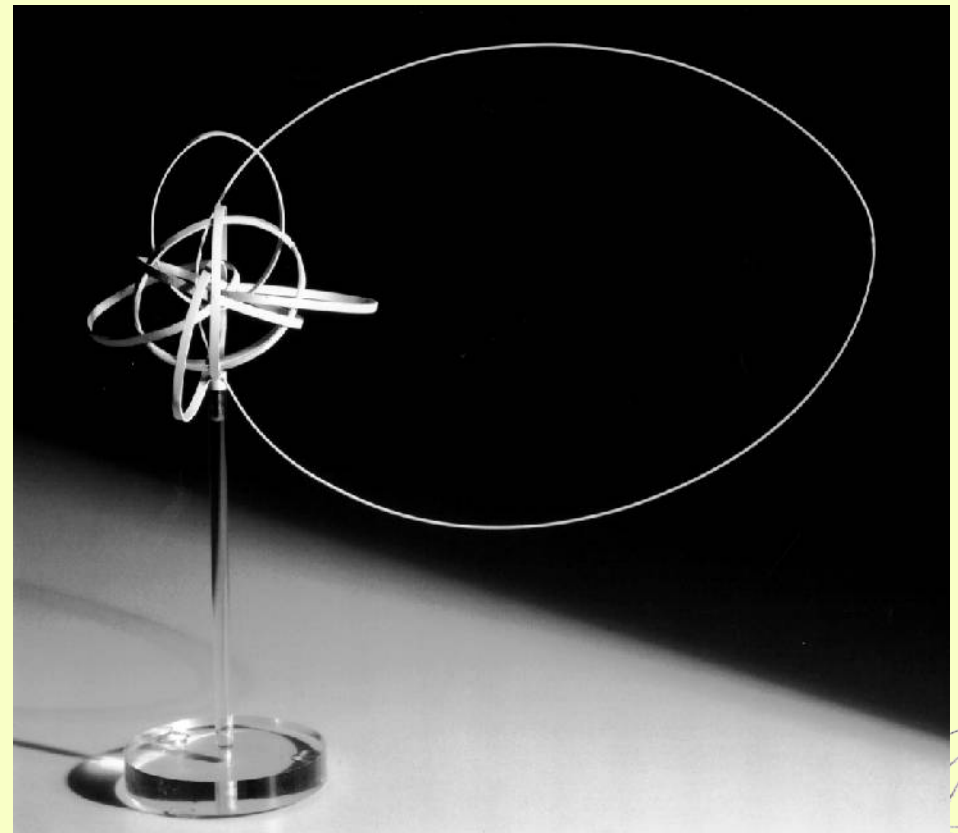
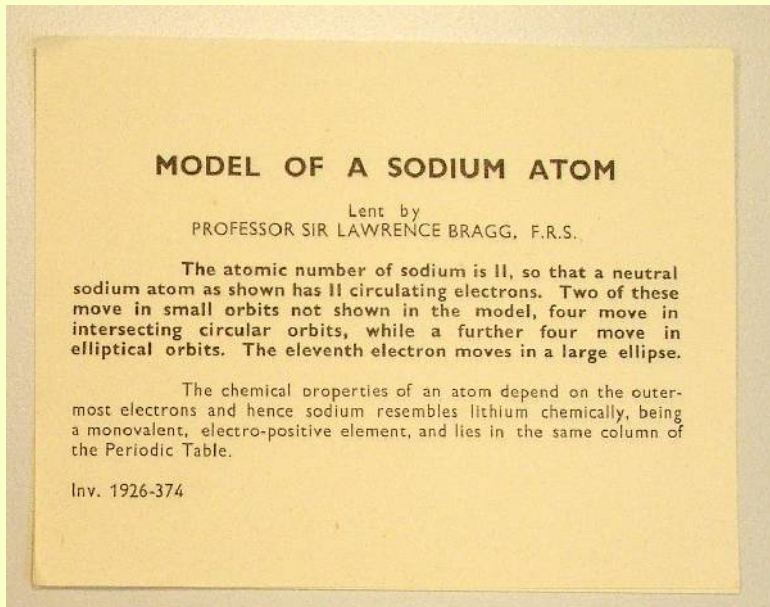
II. The Planetary Model

Bohr / Kramers and Holst ~ 1921/22

H L Bragg / Hartree ~ 1923

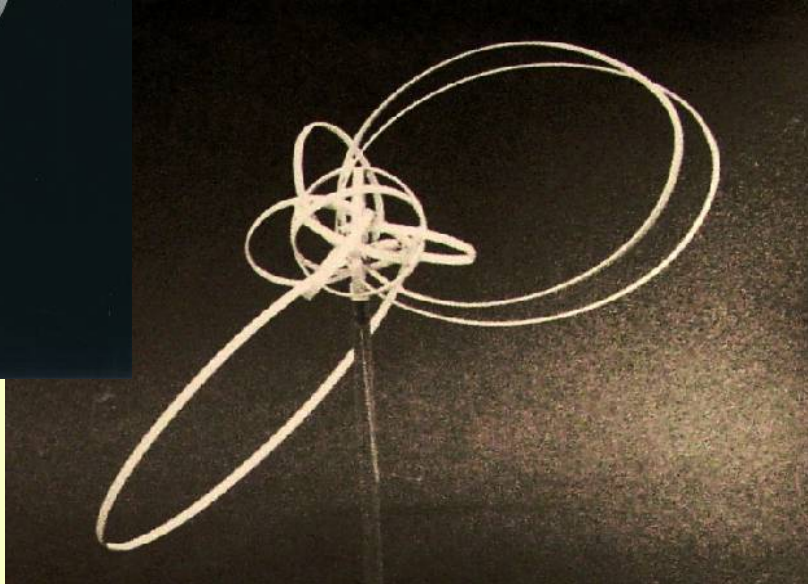
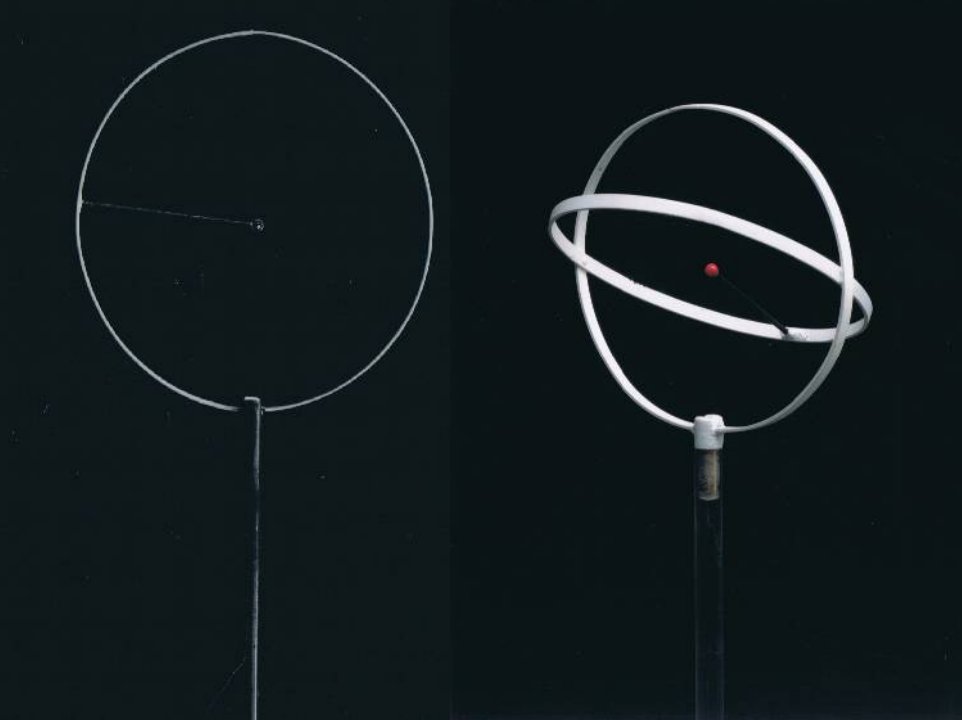
Bohrs Atomteori. Almenfatteligt Fremstillet, 1922

Science
Museum
1926



Arne Schirmacher | HQ 3 Berlin | June 29, 2010

II. The Planetary Model

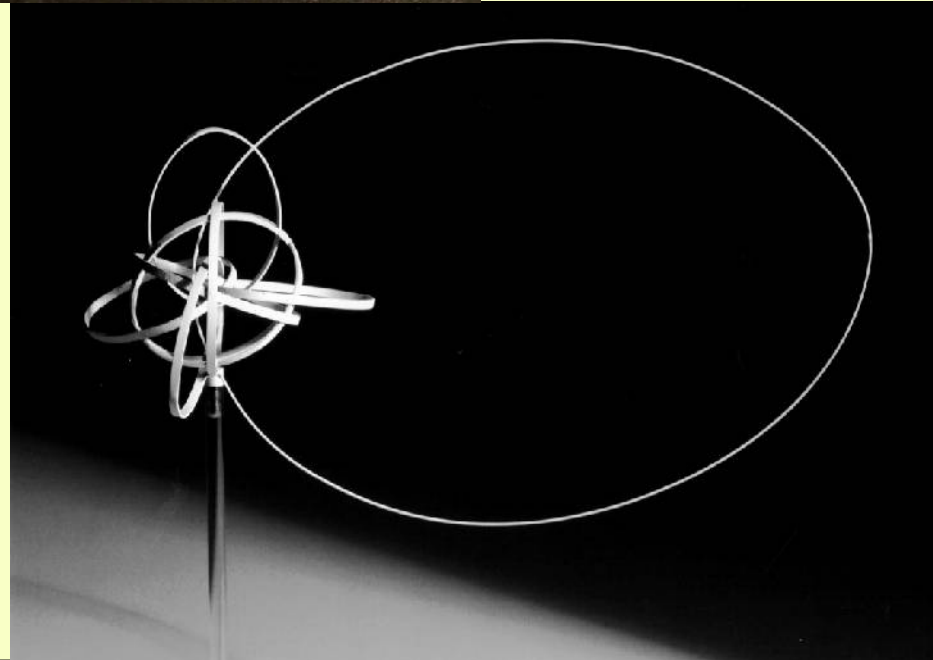


A Schirmacher:

Bohrsche Bahnen in Europa. Bilder und Modelle zur Vermittlung des modernen Atoms. In C Bigg, J Hennig (ed.), *Atombilder*, Göttingen 2009.

Von der Geschossbahn zum Atomorbital?. In M Berg et al. (ed.), *Mit Feder und Schwert. Militär und Wissenschaft – Wissenschaftler und Krieg*, Stuttgart 2009.

Arne Schirmacher | HQ 3 Berlin | June 29, 2010



MODEL OF PART OF A SODIUM CHLORIDE (ROCK SALT) CRYSTAL

Lent by PROFESSOR SIR LAWRENCE BRAGG, F.R.S.

The model shows how Rutherford-Bohr atoms are arranged in a crystal.

The chlorine atom differs from those shown in the neighbouring atom-models in being electro-negative. The addition of an electron will complete an outer set of eight electrons which form a symmetrical, stable set of orbits. In the sodium chloride crystal, the outer electron of each sodium atom goes over to, and is added to, a neighbouring chlorine atom. The resulting sodium (positive) and chlorine (negative) ions are arranged alternately on a cubic lattice.

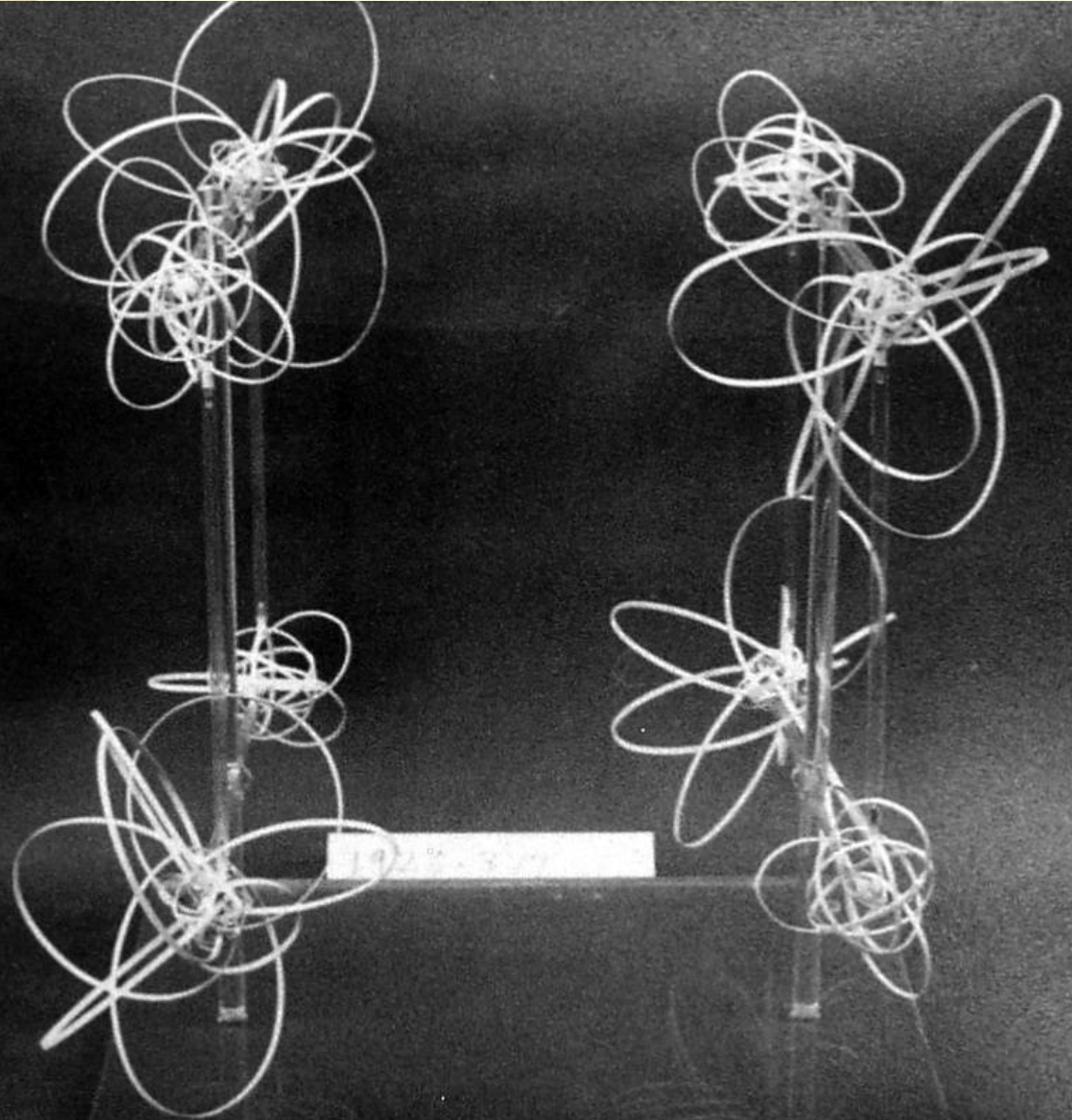
The existence of a lattice structure of this kind was first demonstrated by W. L. Bragg in 1912. He showed that atoms would reflect X-rays, and that the interference of waves from successive planes could be used to measure the wave-length of the X-rays was known, or vice versa.

His method is illustrated by an adjacent model.

Inv. 1926-377.

II. The Planetary Model

H L Bragg / Hartree ~ 1923



II. The Planetary Model

Max Born 1923

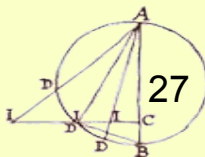
"Quantentheorie und Störungsrechnung"

Die Naturwissenschaften

"Eine der merkwürdigsten und anziehendsten Ergebnisse der Bohrschen Atomtheorie ist die Vorstellung, daß die Atome Planetensysteme im Kleinen sind.

...

Jedenfalls sehen wir, daß die Ähnlichkeit der Atome mit Planetensystemen ihre Grenzen hat."



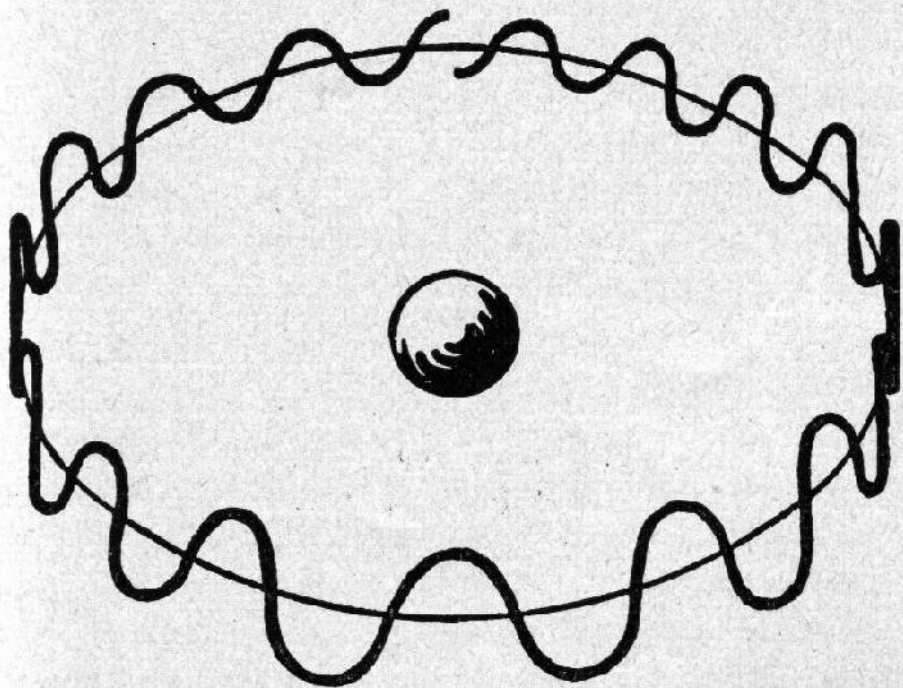


Abb. 2. Das neue Modell des Wasserstoffatoms; eine unmögliche Wellenbahn. Dort, wo die Welle mit dem Wellental begann, kommt nach Umlauf der Welle ein Wellenberg an. Ergebnis: Aufhebung der Welle; sie kann sich nicht schließen, weil die Welle nicht mit einer Tal-Phase anlangt

II. The Planetary Model

- and quantum mechanics

Paul Kirchberger (1878-1945)

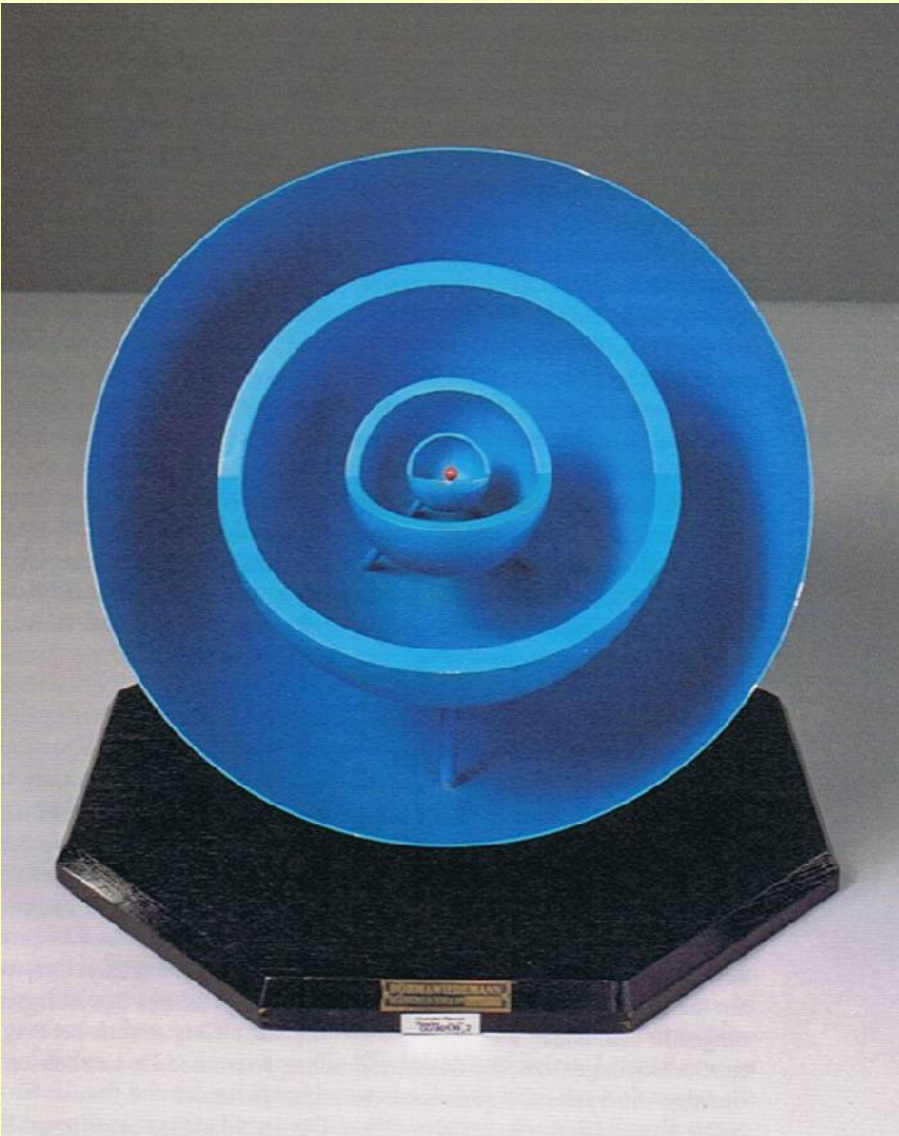
1902 dissertation with Hilbert in Göttingen

1922 quits job as high school teacher

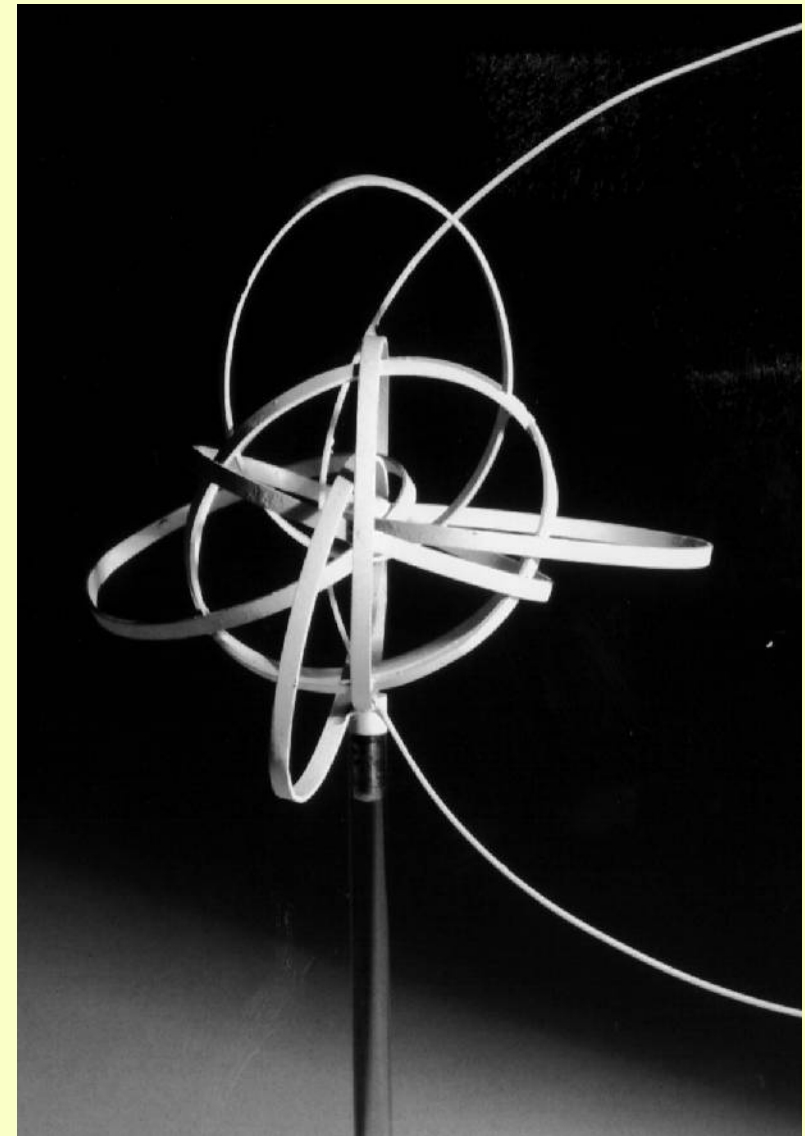
publishes "Atom-Quantentheorie" 2 vols.

writes for main newspapers on atomic and quantum physics, from 1924 on also in journals ("Kosmos")

Ein Fortschritt in der Atomtheorie, *Kosmos* 25 (1928): 109-112.

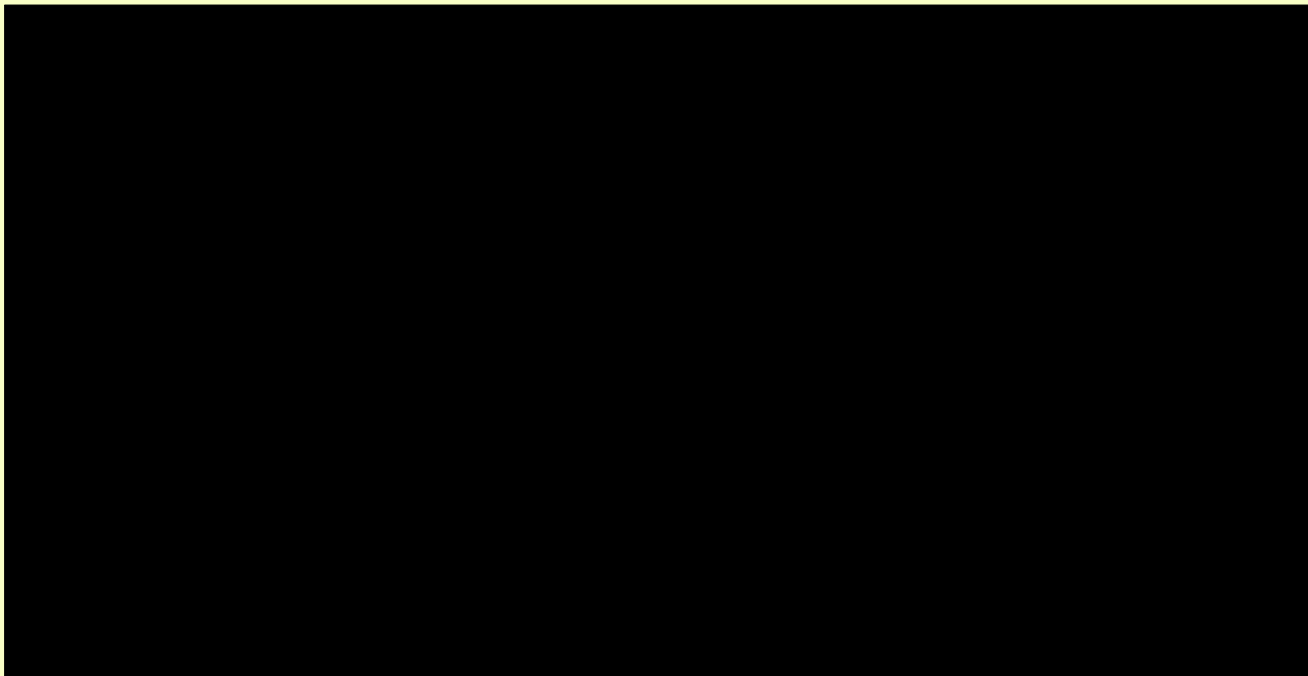


gold atom, 1927
Deutsches Museum



sodium atom, ~ 1923
Science Museum

The role of semi-classical models for quantum mechanics of complex atoms and molecules?



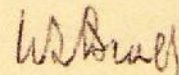
Cavendish Laboratory,
Cambridge.

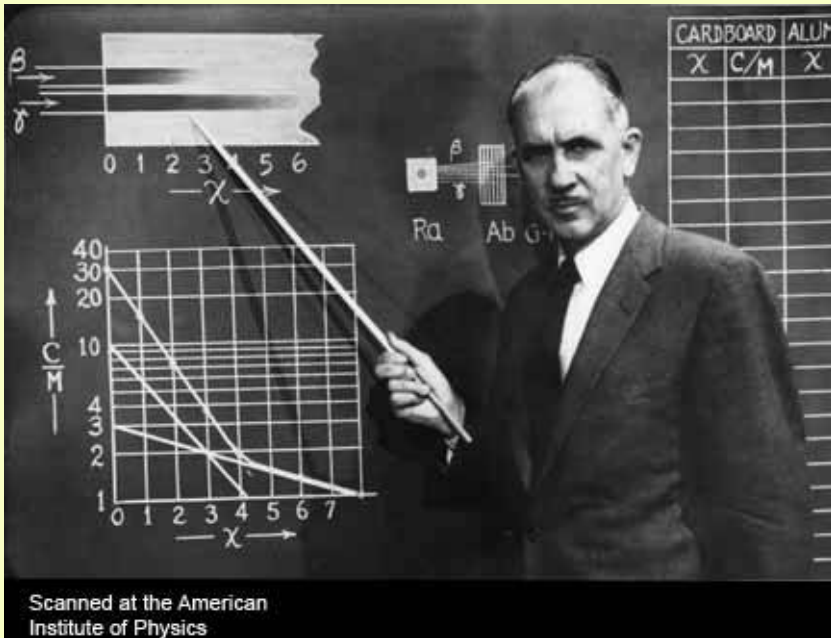
13th December, 19 46

Dear Shaw,

I shall of course be delighted to give permission for photographs to be taken of the Bohr atom models. These are, of course, only of historical interest, the conception which they represent having been replaced by the wave mechanics models. I find, however, that they are still of interest to modern mathematical physicists. I even found Bohr himself gazing at them in a fascinated way when he visited us last summer. It ought perhaps to be made clear in any little write-up you give that the models date from the early 'twenties.

Yours sincerely,





Scanned at the American Institute of Physics

Harvey Elliott White

1902-1988

1929 PhD Cornell

1929/30 Rockefeller fellow Berlin: Paschen

1930 Berkeley

...

JUNE 1, 1931

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 37

PICTORIAL REPRESENTATIONS OF THE ELECTRON CLOUD FOR HYDROGEN-LIKE ATOMS

By H. E. WHITE

UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY

(Received April 21, 1931)

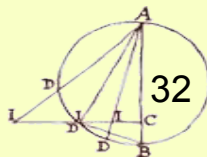
ABSTRACT

It is well known that the solutions of the wave-equation for hydrogen-like atoms may be represented graphically by interpreting $\Psi\Psi^*$ as a *probability density*. The *probability density factors* $\Phi_m\Phi_m^* \cdot [\Theta_{m,l}]^2 \cdot [R_{n,l}]^2 = \Psi\Psi^*$ are represented graphically and briefly discussed and compared with the electron orbits of four classical models. Graphs for *s*, *p*, *d*, *f*, *g*, and *h* electrons are given. An attempt to combine the *probability density factors* and form some graphical representation of $\Psi\Psi^*$ has resulted in the construction of a mechanical device or model, see Fig. 5, which when photographed, gives very closely the desired result. Photographs for the magnetic states $m=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ are given for *1s*, *2p*, *3d*, *4f*, *2s*, *3p*, *4d*, *5f*, *3s*, *4p*, and *5d* electrons, see Fig. 6.

1931 in Physical Review: Pictorial Representations of the Electron Cloud for Hydrogen-like Atoms

1949 presents physics on TV, up to 150 stations

1959 director Lawrence Hall of Science (opened 1968)



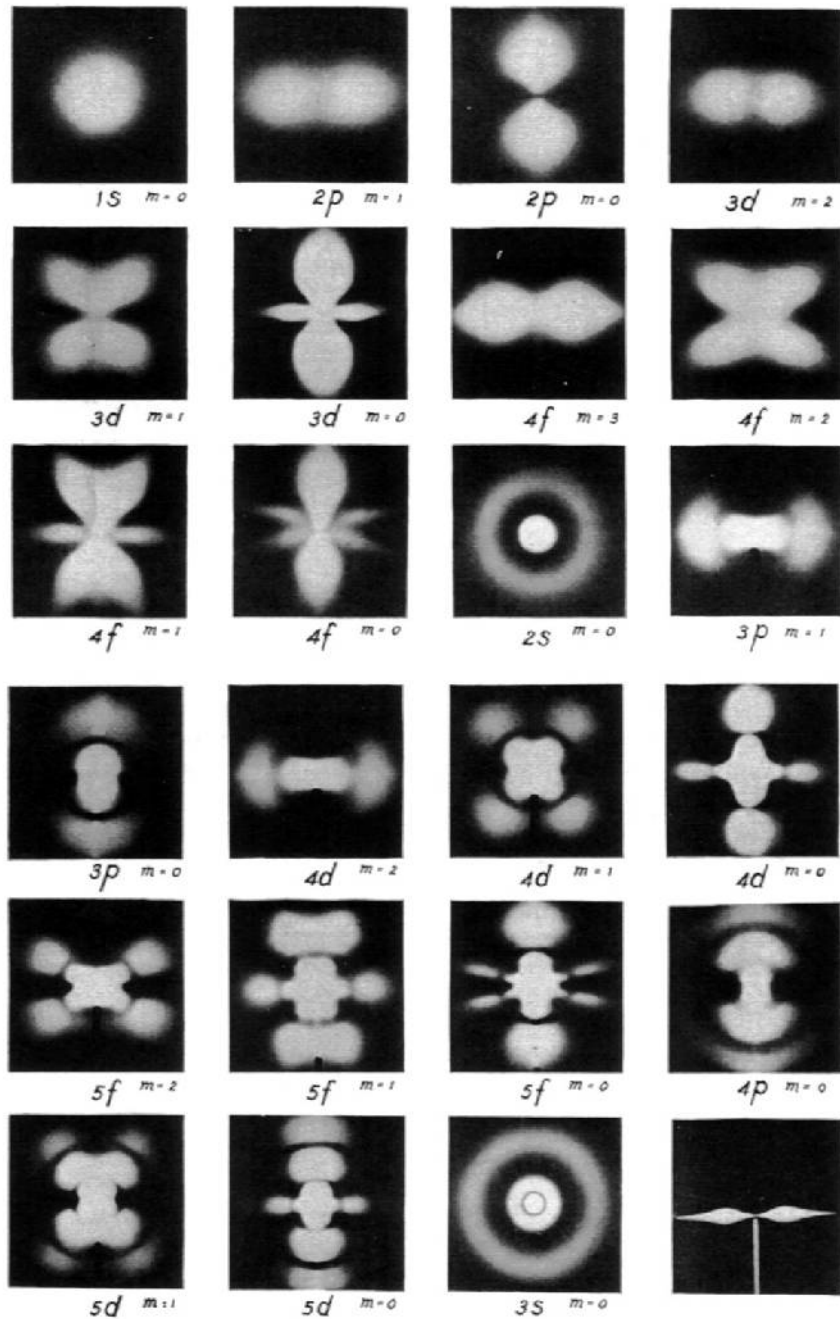


Fig. 6. Photographs of the electron cloud for various states of the hydrogen-like atoms as obtained from various models and the device shown in Fig. 5. The probability density $\Psi\Psi^*$ is symmetrical about the ϕ or magnetic axis which is vertical. The scale for each figure may be obtained from Fig. 4.

Harvey Elliott White

1902-1988

1929 PhD Cornell

1929/30 Rockefeller fellow Berlin: Paschen

1930 Berkeley

...

1931 in *Physical Review*: Pictorial Representations of the Electron Cloud for Hydrogen-like Atoms

1949 presents physics on TV, up to 150 stations

1959 director Lawrence Hall of Science (opened 1968)

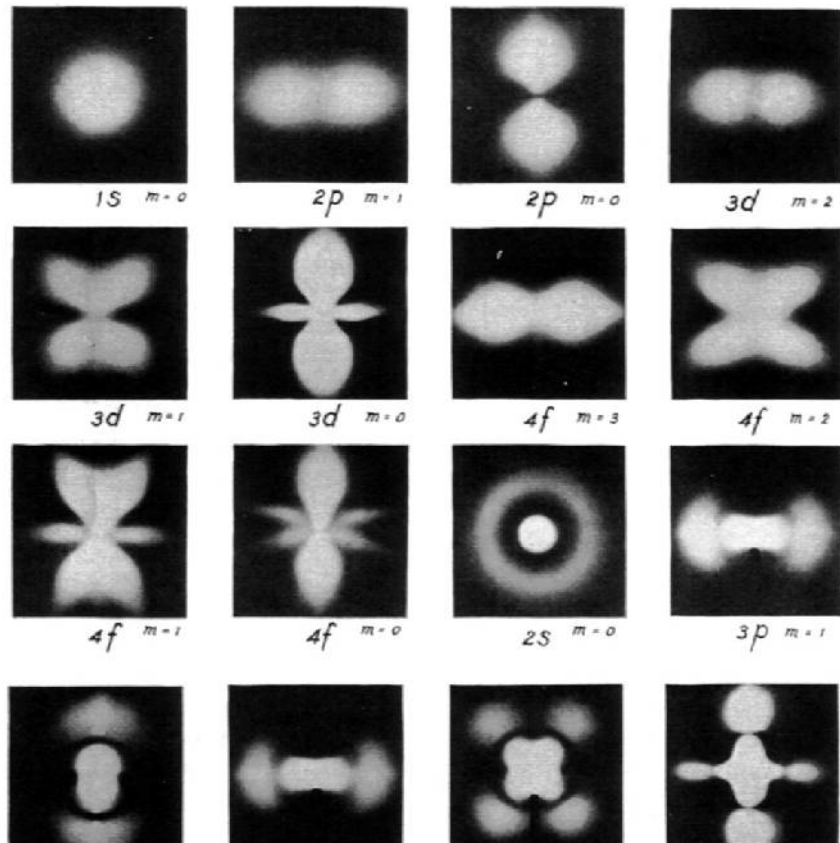


Fig. 6. Photographs of the electron cloud for various states of the hydrogen-like atoms as obtained from various models and the device shown in Fig. 5. The probability density $\Psi\Psi^*$ is symmetrical about the ϕ or magnetic axis which is vertical. The scale for each figure may be obtained from Fig. 4.

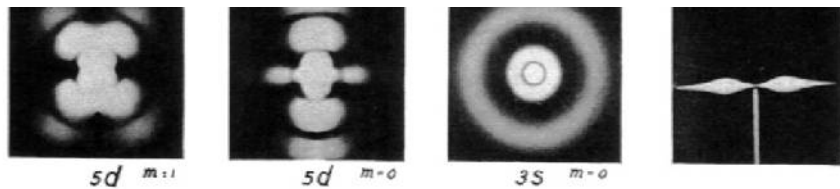


Fig. 6. Photographs of the electron cloud for various states of the hydrogen-like atoms as obtained from various models and the device shown in Fig. 5. The probability density $\Psi\Psi^*$ is symmetrical about the ϕ or magnetic axis which is vertical. The scale for each figure may be obtained from Fig. 4.

Harvey Elliott White

1902-1988

1929 PhD Cornell

1929/30 Rockefeller fellow Berlin: Paschen

1930 Berkeley

...

1931 in *Physical Review*: Pictorial Representations of the Electron Cloud for Hydrogen-like Atoms

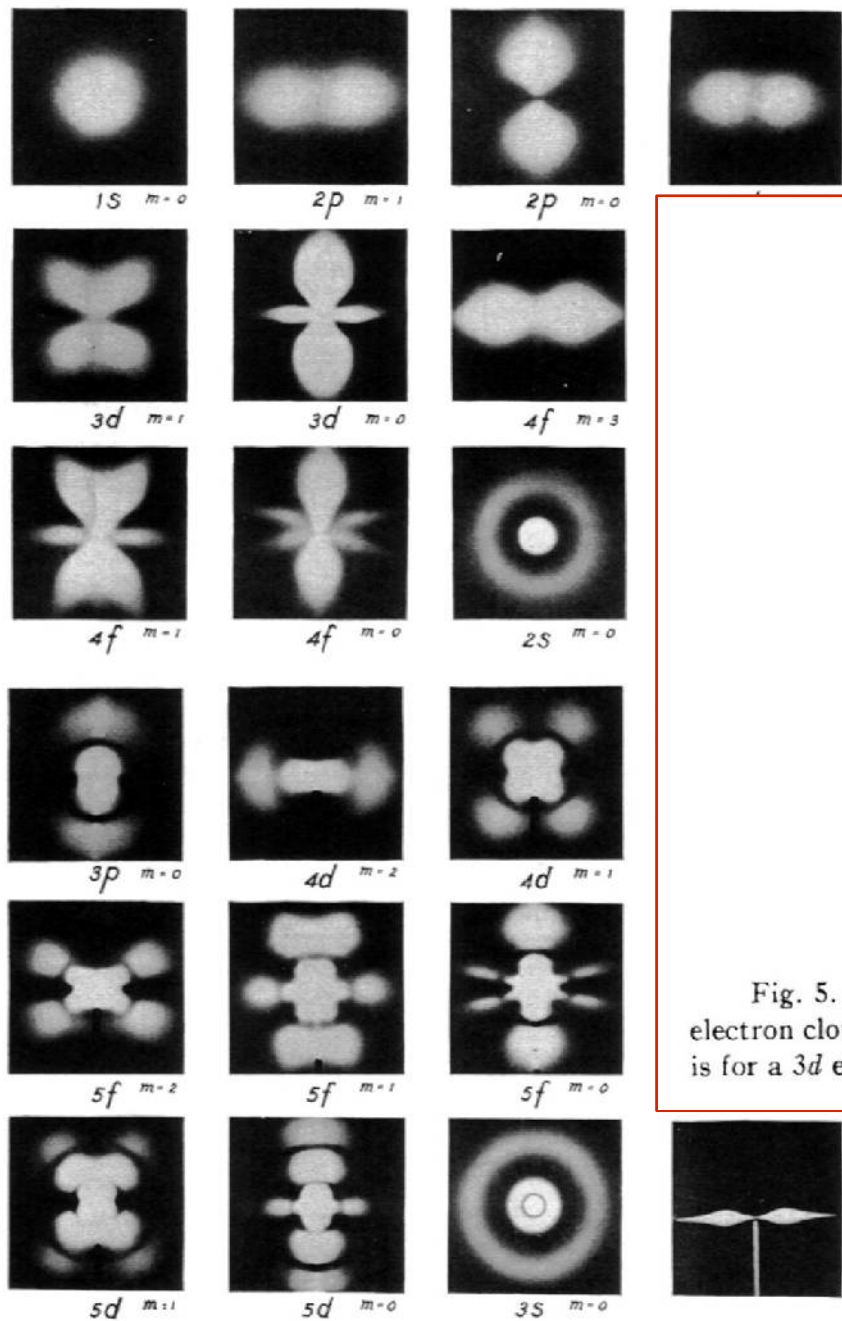


Fig. 6. Photographs of the electron cloud for various states of the hydrogen-like atoms as obtained from various models and the device shown in Fig. 5. The probability density $\Psi\Psi^*$ is symmetrical about the ϕ or magnetic axis which is vertical. The scale for each figure may be obtained from Fig. 4.

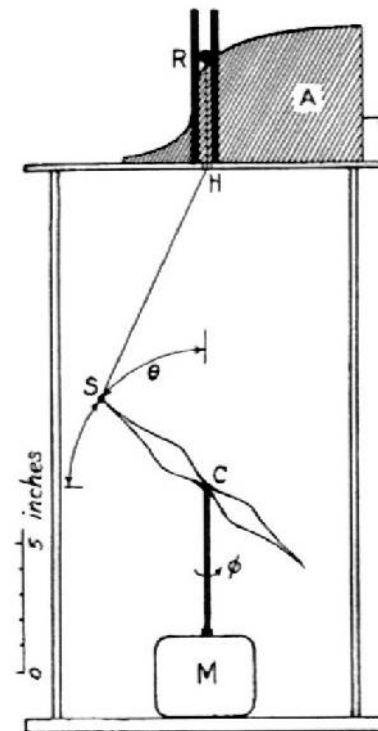
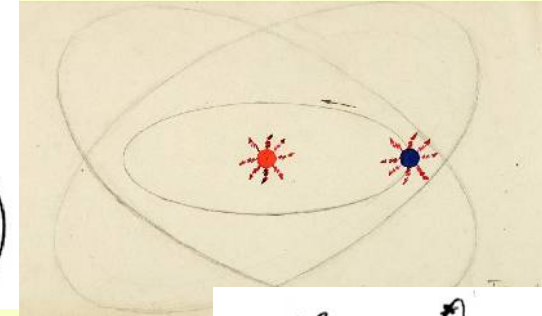
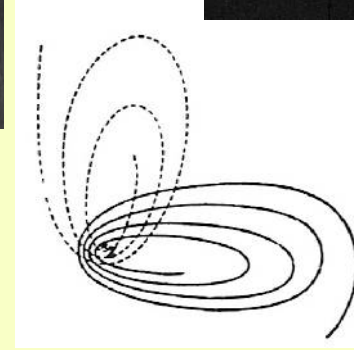
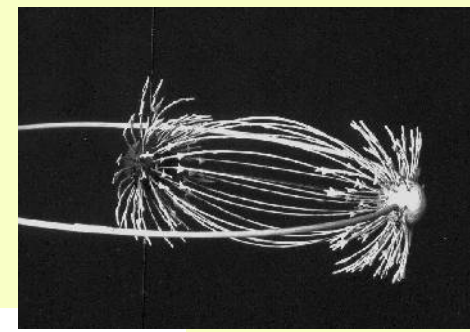
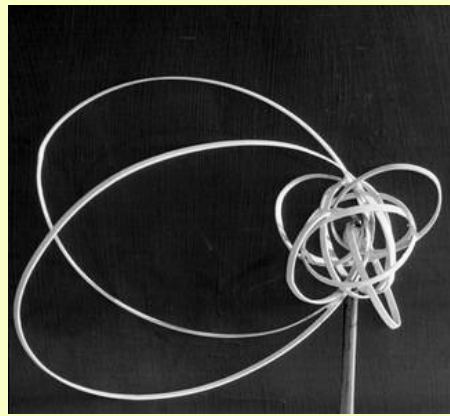
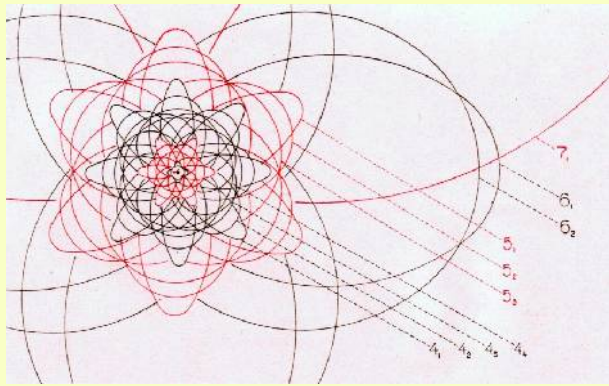


Fig. 5. A mechanical device which when set in motion and photographed represents the electron cloud for the various states of the hydrogen-like atoms. The model shown in the figure is for a $3d$ electron.



Heisenberg's ladder didn't fall

Types, aims and uses of models in the history of quantum theory

H_2 , $-O-$
 O_2 , $\oplus O \ominus$
 H_2C , $-C \oplus C \ominus$

