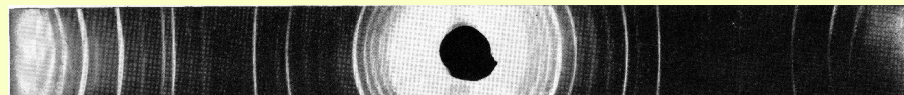
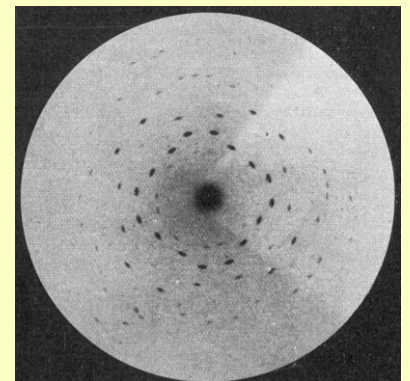
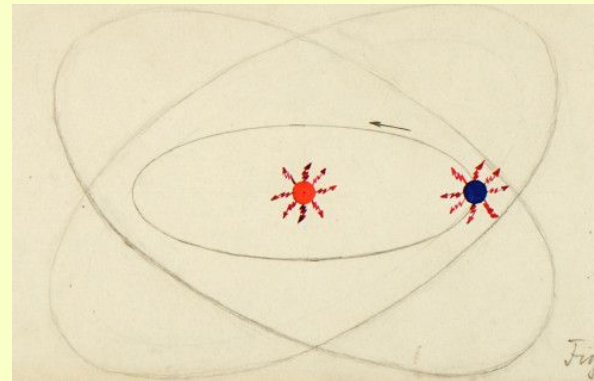
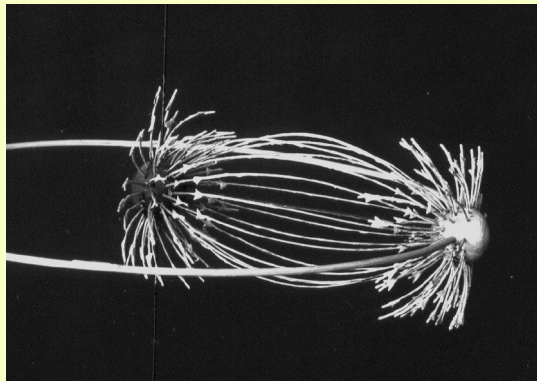


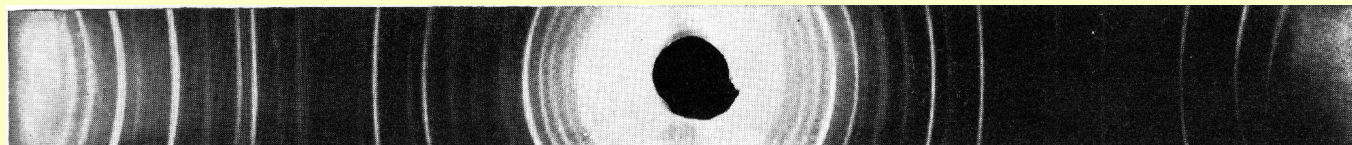
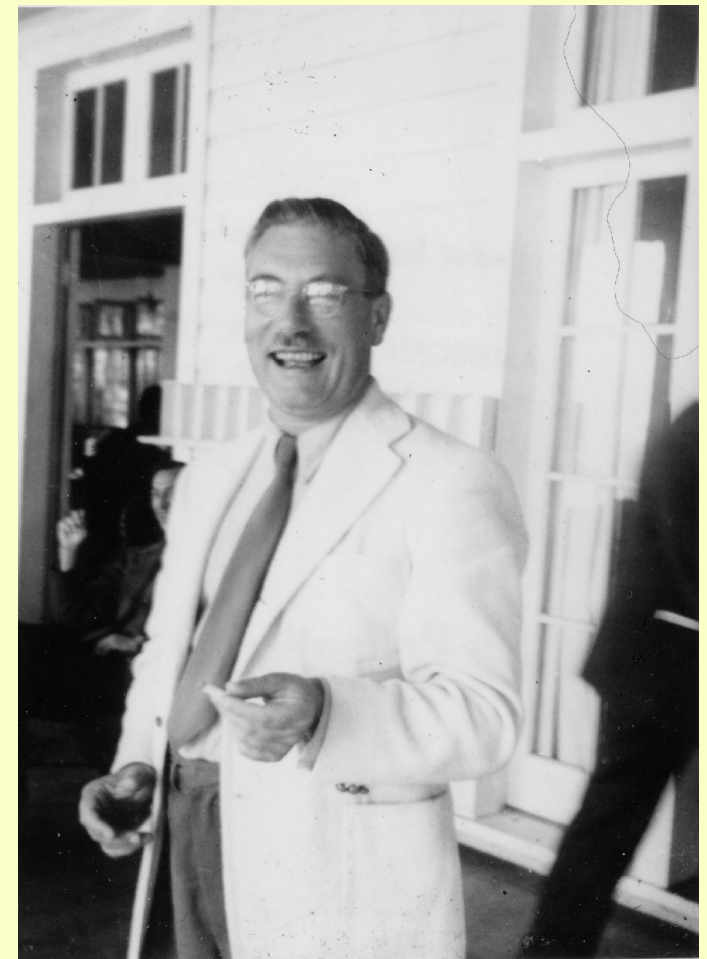
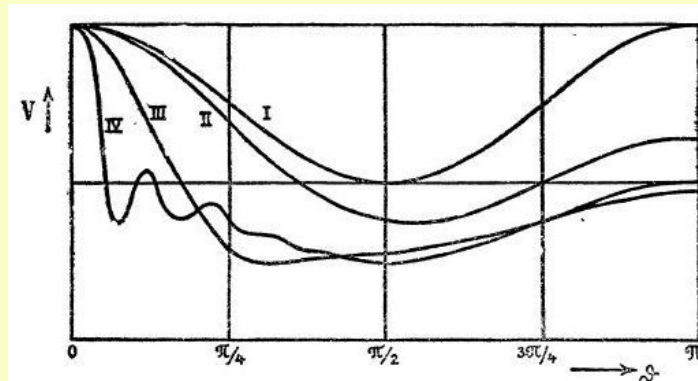
Who did really believe in Bohr's atom?

The "**Ultramikroskopie des Atominneren**" of Peter Debye
and the art of reinterpreting experimental results



Why Debye?

- Göttingen 1914-1920
- "Debye-Bohr" hydrogen molecule
- Debye-Scherrer experiment



	Attitude	Did he really believe?
Bohr	<p>"It could be that I've found out a little bit about the structure of atoms. ... If I'm right, it would not be the indication of the nature of a possibility (like J. J. Thomson's theory) but perhaps a little piece of reality."</p> <p>[letter to Harald 19. 7. 1912, BCP]</p>	<p>well, only in the first version of his theory (Rutherford memorandum) $E_{kin} = K v$ concerning 1913 theory: rather not</p>
Rutherford	<p>"There appears to me a great difficulty in your hypothesis ... namely, how does an electron decide what frequency it is going to vibrate ..."</p> <p>[letter to Bohr 20. 3. 1914, BCP]</p>	no, not really
Thomson	<p>kept on lecturing on atomic structure in 1914 and 1923 – without any mentioning of quantum or Bohr</p>	definitely not
Franck/Hertz	<p>saw only one energy difference, interpreted this as ionization</p>	definitely not, even after being told that their experiment could be read as confirming Bohr
Sommerfeld	<p>drawings in publications, letters and for exhibition model for Deutsches Museum</p>	yes, but in his typical non-exclusive way
Debye	<p>end 1914/Jan. 1915 Debye-Bohr model of hydrogen molecule</p> <p>"Consequently if atomic models with electron rings ... have any correspondence to reality, we must expect the atoms themselves to show occasional interference patterns when irradiated with x-rays; these interference cannot be obliterated entirely even though the atoms have random orientation in space."</p> <p>[Zerstreuung von Röntgenstrahlen, Feb. 1915]</p> <p>"Experiments ... showed the expected results."</p> <p>[Debye/Scherrer, Interferenzen I, Dec. 1915]</p>	yes, and in a particular realistic way ...



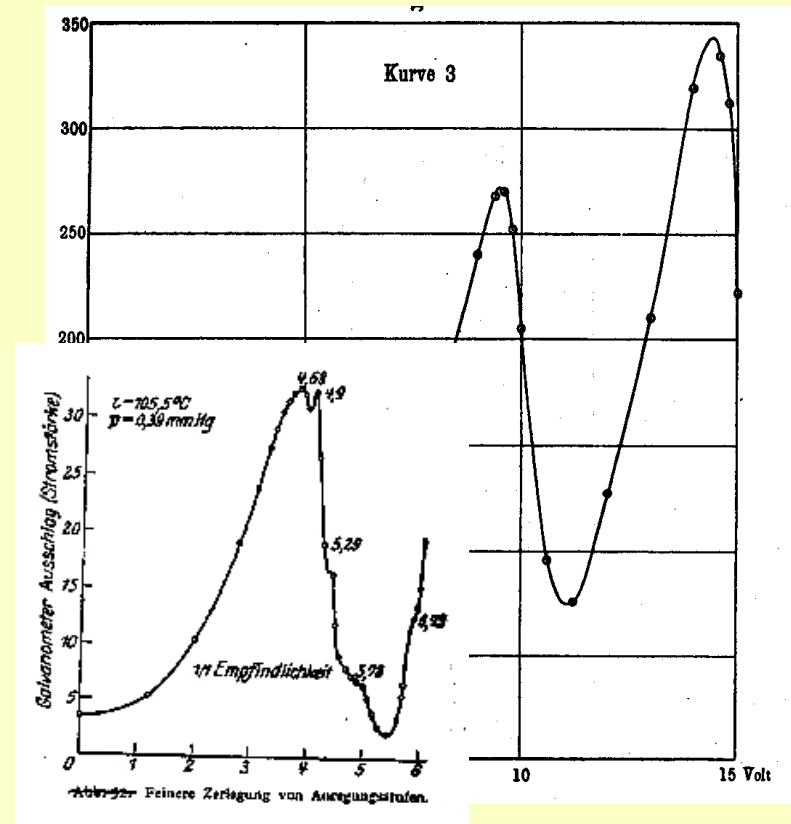
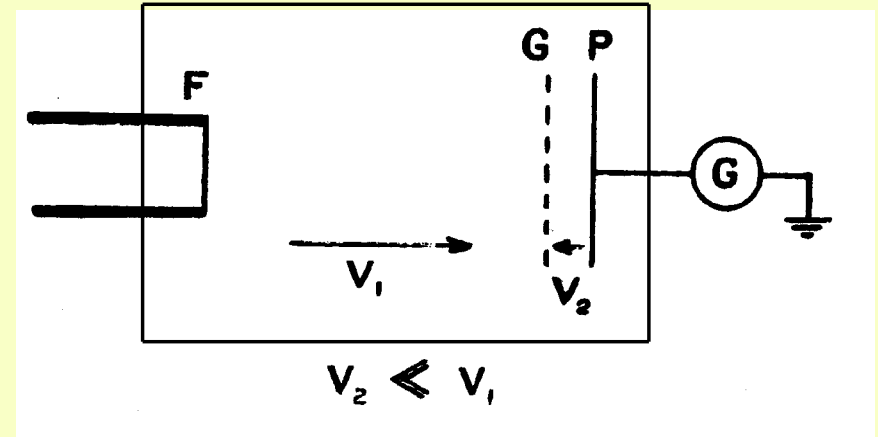
Franck-Hertz Experiment 1914

- generally interpreted as best experimental confirmation of Bohr atom
- but paper has "wrong" title

Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die **Ionisierungsspannung** desselben, Verh. DPG 16 (1914), 457-467

- Franck and Hertz maintained that they would definitively not prove Bohr
- experiment and apparatus has to be grouped into Lenard tradition (i.e. 1902 photo effect experiments)

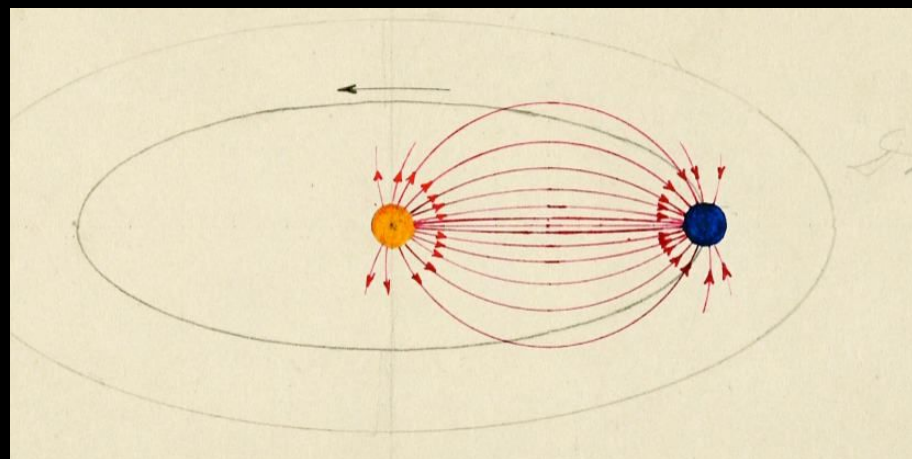
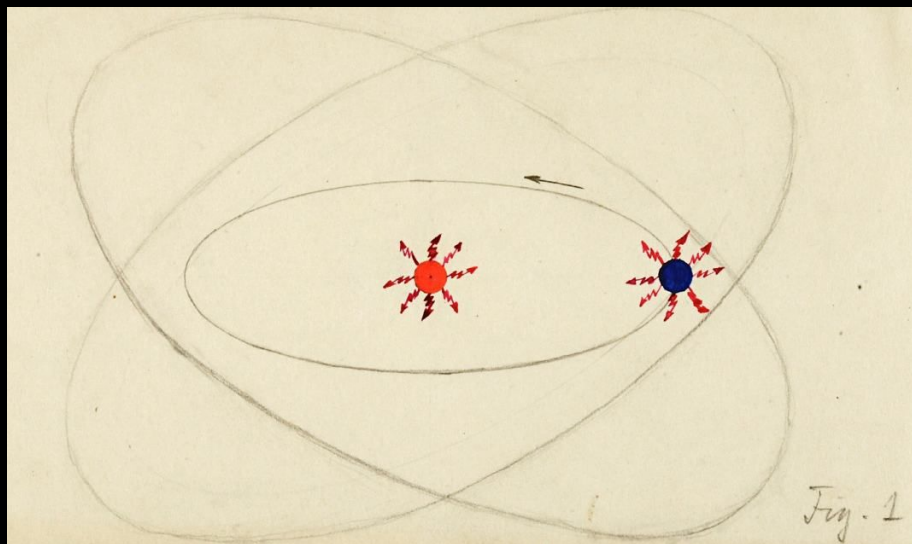
cf. Giora Hon 1989/2003



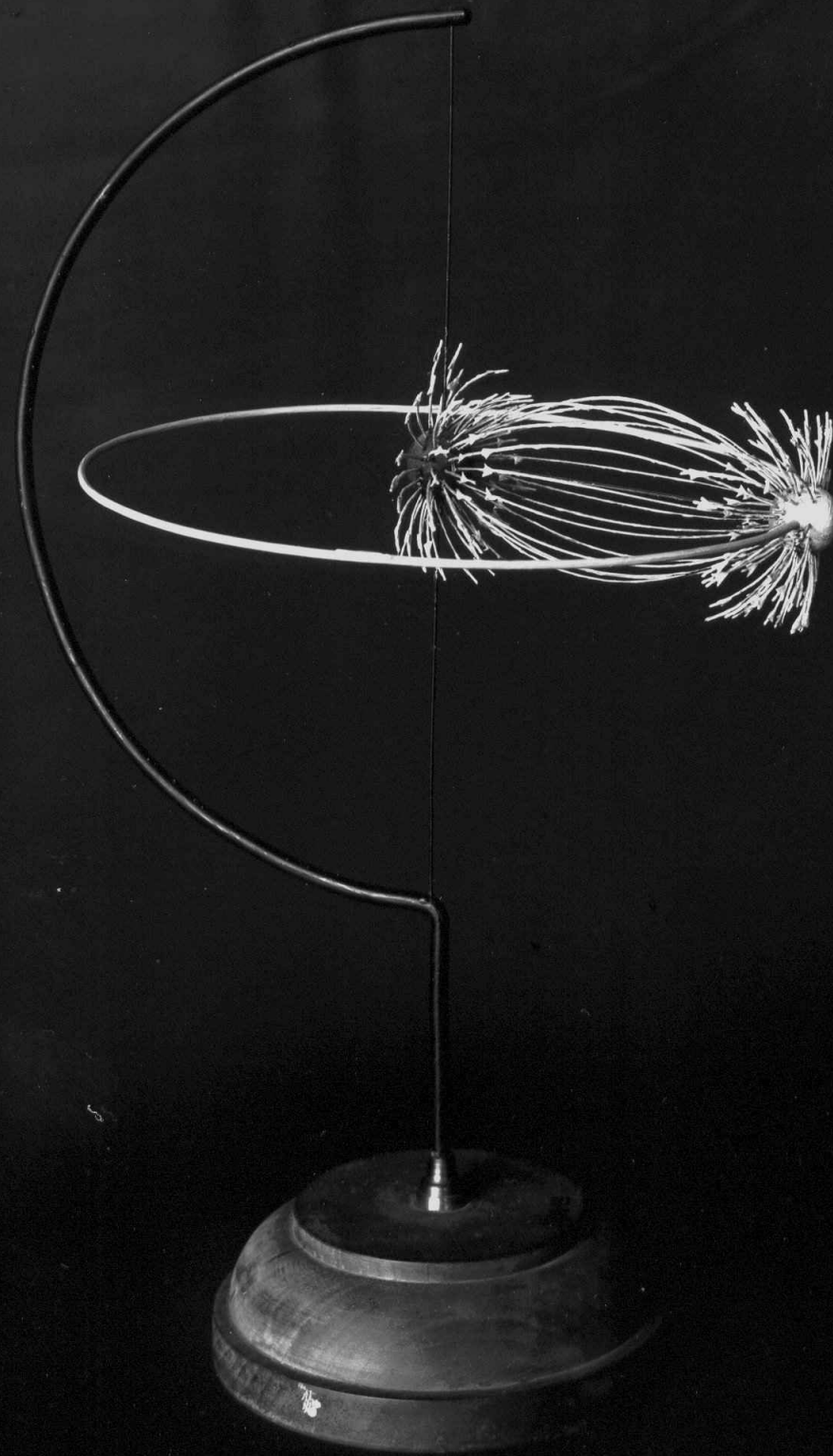
	Attitude	Did he really believe?
Bohr	"It could be that I've found out a little bit about the structure of atoms. ... If I'm right, it would not be the indication of the nature of a possibility (like J. J. Thomson's theory) but perhaps a little piece of reality." [letter to Harald 19. 7. 1912, BCP]	well, only in the first version of his theory (Rutherford memorandum) $E_{kin} = K v$ concerning 1913 theory: rather not
Rutherford	"There appears to me a great difficulty in your hypothesis ... namely, how does an electron decide what frequency it is going to vibrate ..." [letter to Bohr 20. 3. 1914, BCP]	no, not really
Thomson	kept on lecturing on atomic structure in 1914 and 1923 – without any mentioning of quantum or Bohr	definitely not
Franck/Hertz	saw only one energy difference, interpreted this as ionization	definitely not, even after being told that their experiment could be read as confirming Bohr
Sommerfeld	drawings in publications, letters and for exhibition model for Deutsches Museum	yes, but in his typical non-exclusive way
Debye	end 1914/Jan. 1915 Debye-Bohr model of hydrogen molecule "Consequently if atomic models with electron rings ... have any correspondence to reality, we must expect the atoms themselves to show occasional interference patterns when irradiated with x-rays; these interference cannot be obliterated entirely even though the atoms have random orientation in space." [Zerstreuung von Röntgenstrahlen, Feb. 1915] "Experiments ... showed the expected results." [Debye/Scherrer, Interferenzen I, Dec. 1915]	yes, and in a particular realistic way ...



The Empty Atom on Display



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



	Attitude	Did he really believe?
Bohr	"It could be that I've found out a little bit about the structure of atoms. ... If I'm right, it would not be the indication of the nature of a possibility (like J. J. Thomson's theory) but perhaps a little piece of reality." [letter to Harald 19. 7. 1912, BCP]	well, only in the first version of his theory (Rutherford memorandum) $E_{kin} = K v$ concerning 1913 theory: rather not
Rutherford	"There appears to me a great difficulty in your hypothesis ... namely, how does an electron decide what frequency it is going to vibrate ..." [letter to Bohr 20. 3. 1914, BCP]	no, not really
Thomson	kept on lecturing on atomic structure in 1914 and 1923 – without any mentioning of quantum or Bohr	definitely not
Franck/Hertz	saw only one energy difference, interpreted this as ionization	definitely not, even after being told that their experiment could be read as confirming Bohr
Sommerfeld	drawings in publications, letters and for exhibition model for Deutsches Museum	yes, but in his typical non-exclusive way
Debye	end 1914/Jan. 1915 Debye-Bohr model of hydrogen molecule "Consequently if atomic models with electron rings ... have any correspondence to reality, we must expect the atoms themselves to show occasional interference patterns when irradiated with x-rays; these interference cannot be obliterated entirely even though the atoms have random orientation in space." [Zerstreuung von Röntgenstrahlen, Feb. 1915] "Experiments ... showed the expected results." [Debye/Scherrer, Interferenzen I, Dec. 1915]	yes, and in a particular realistic way ...



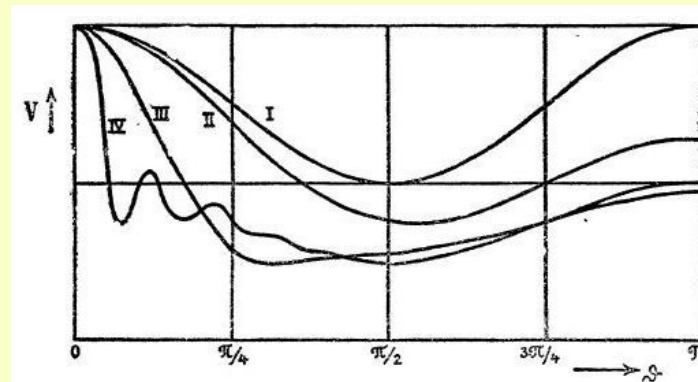
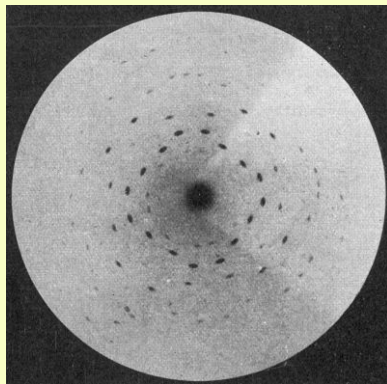
The origin of Debye's "Ultamikroskopie des Atominernen"

- Utrecht: thermal motion

- 1) Thermal motion does not limit the resolution of X-ray diffraction on crystals.

- Göttingen: atoms (Rutherford, Nicholson, Bohr)

- 2) Random distribution of atoms does not obliterate X-ray electron ring diffraction patterns.



Zerstreuung von Röntgenstrahlen.

Von
P. Debye.

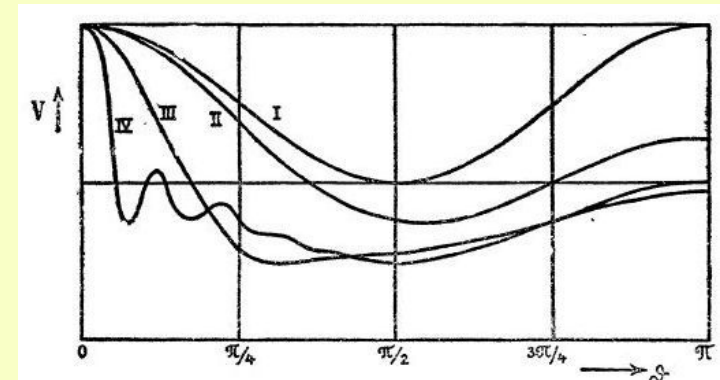
Vorgelegt von D. Hilbert in der Sitzung vom 27. Februar 1915.

Die neuere Entwicklung unserer Ansichten über den inneren Aufbau der Atome hat uns gezwungen Elektronenbewegungen als möglich anzuerkennen, die trotz sehr großer Beschleunigungen keine Energie ausstrahlen. So müssen wir z. B. im Innern eines Wasserstoffmoleküls zwei Elektronen annehmen, welche stets einander gegenüberliegend in einem Kreise von $1,05 \cdot 10^{-8}$ cm Durchmesser mit einer Winkelgeschwindigkeit $\omega = 4,21 \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{sec}}$ umlaufen¹⁾. Berechnet man das von dieser Bewegung erzeugte Feld

Andererseits ist die Wellenlänge der Röntgenstrahlen, mit denen solche Zerstreuungsversuche gemacht werden, ebenfalls von der Größenordnung 10^{-8} cm. Wenn also die Atommodelle mit Elektronenringen überhaupt der Wirklichkeit entsprechen, dann wird man erwarten müssen, daß die Atome selber bei Bestrahlung mit Röntgenstrahlen eventuell Interferenzen zeigen müssen, die auch dann nicht verwischt werden können, wenn sie ganz regellos im Raume orientiert sind.

Annalen:

Eine solche Untersuchung hat also die Bedeutung einer Ultramikroskopie des Atominneren.



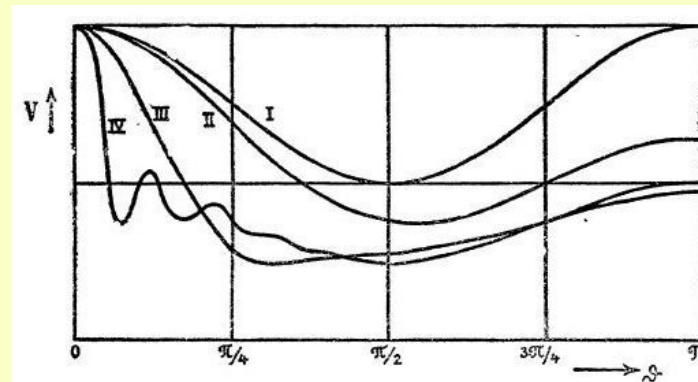
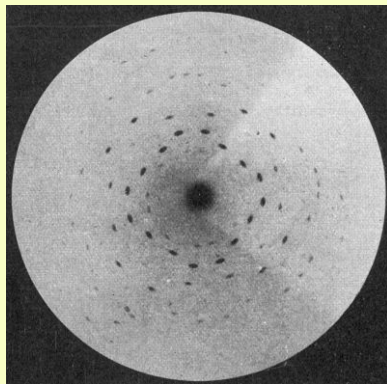
The origin of Debye's "Ultamikroskopie des Atominernen"

- Utrecht: thermal motion

- 1) Thermal motion does not limit the resolution of X-ray diffraction on crystals.

- Göttingen: atoms (Rutherford, Nicholson, Bohr)

- 2) Random distribution of atoms does not obliterate X-ray electron ring diffraction patterns.



Ultramicroscope

- 1903 build by colloid chemist Richard Zsigmondy

and Zeiss instrument maker Henry Siedentopf

- limits of microscopic resolution given by Abbe formula $\sim 0,2 \mu\text{m}$

not be be confounded with limit of visibility!

smaller objects can still be "seen" / made visible .. $0,005 \mu\text{m}$

(i. e. their diffraction disks perpendicular to the illumination)

- making visible (Sichtbarmachung), only at a price:
forgo true depiction ("unter Verzichtleistung auf
ähnliche Abbildung").

Richard Zsigmondy: Über
Sichtbarmachung und Größenbestimmung
ultramikroskopischer Teilchen ...

Annalen der Physik 10 (1903), S. 1-39.

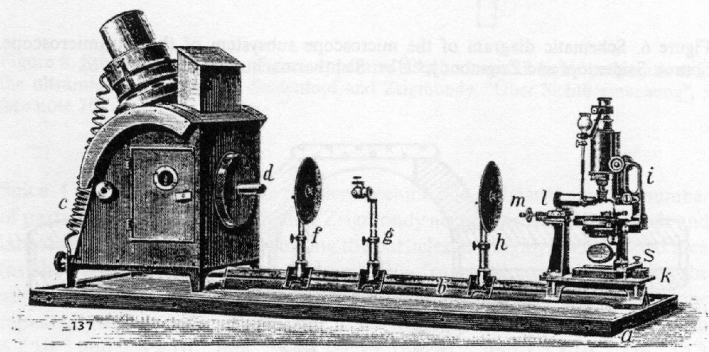


Figure 5. A slit ultramicroscope for examining fluids. (On the left is an arc lamp c). Source: *Description of Optical Appliances to Facilitate Visual Perception of Ultramicroscopic Particles. Catalogue. Carl Zeiss, Jena, 1904, 3.*

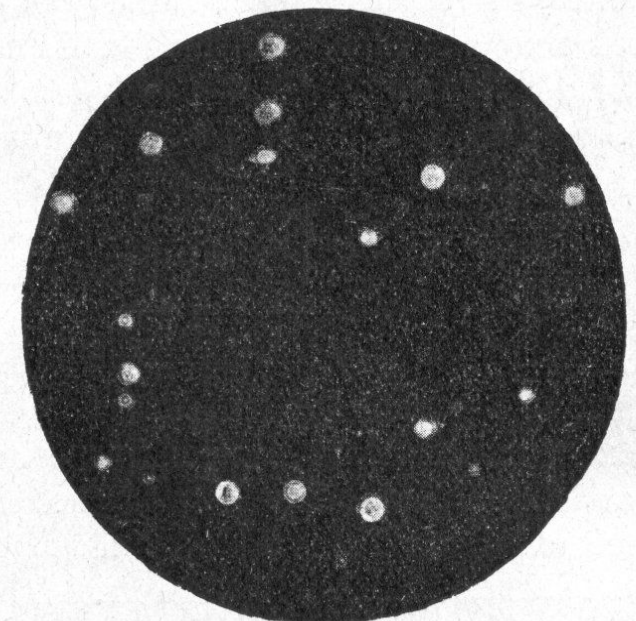


Abb. 5. Photographie ultramikroskopischer Goldteilchen einer Goldlösung. Durchschnittsgröße der einzelnen Teile 15 Millionstel Millimeter. (Aus Böschl, Kolloidchemie.)

Debye' research program ~1915

wave theory. One tried hard to become convinced of the reality of Bohr's electron orbits in the atoms in spite of all the hesitations the physicist felt in accepting the hypothesis that the electron on its stationary orbit about the atomic nucleus does not radiate,—a flagrant contradiction to Maxwell's theory. The next job to be done was therefore to find a check on Bohr's hypothesis which worked so simply and directly in the case of spectral emission, by looking for a direct evidence of the reality of the electronic orbits. Debye had come to the conclusion that specific diffraction effects should be produced with X-rays by the regular spacing of electrons on circular orbits: Using monochromatic X-rays, one should find the curve of diffracted intensity vs. angle of diffraction to show broad maxima and minima, provided the electrons kept at fixed distances from each other in the course of their motion. Debye proposed to me that we try together such diffraction experiments. We used at first a gas-filled medical X-ray tube with platinum target which happened to be available in the collection of the institute. For power source we used an enormous

Paul Scherrer:
Personal reminiscences,
1962



The Debye-Scherrer Camera

doing the experiments

The first diffraction photographs, with paper and charcoal as the scattering substances, showed no diffraction effects.

This prompted me to construct a metal X-ray tube, water-cooled and with copper target. The tube remained connected to the rotating Gaede mercury pump. An aluminium window, 1/20 mm thick, permitted the rays to emerge. I also constructed a cylindrical diffraction camera, of 57 mm diameter, with a centering head for the sample...

Debye and I were most surprised to find on the very first photographs the sharp lines of a powder diagram, and it took us not long to interpret them correctly as crystalline diffraction on the randomly oriented micro-crystals of the powder. The diffraction lines were much too sharp than that they could have been due to the few scattering electrons in each single atom...

Scherrer 1962

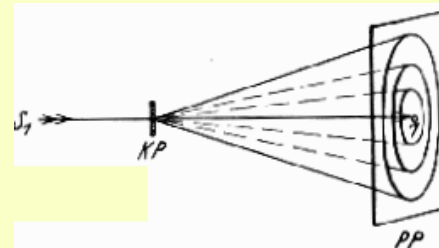
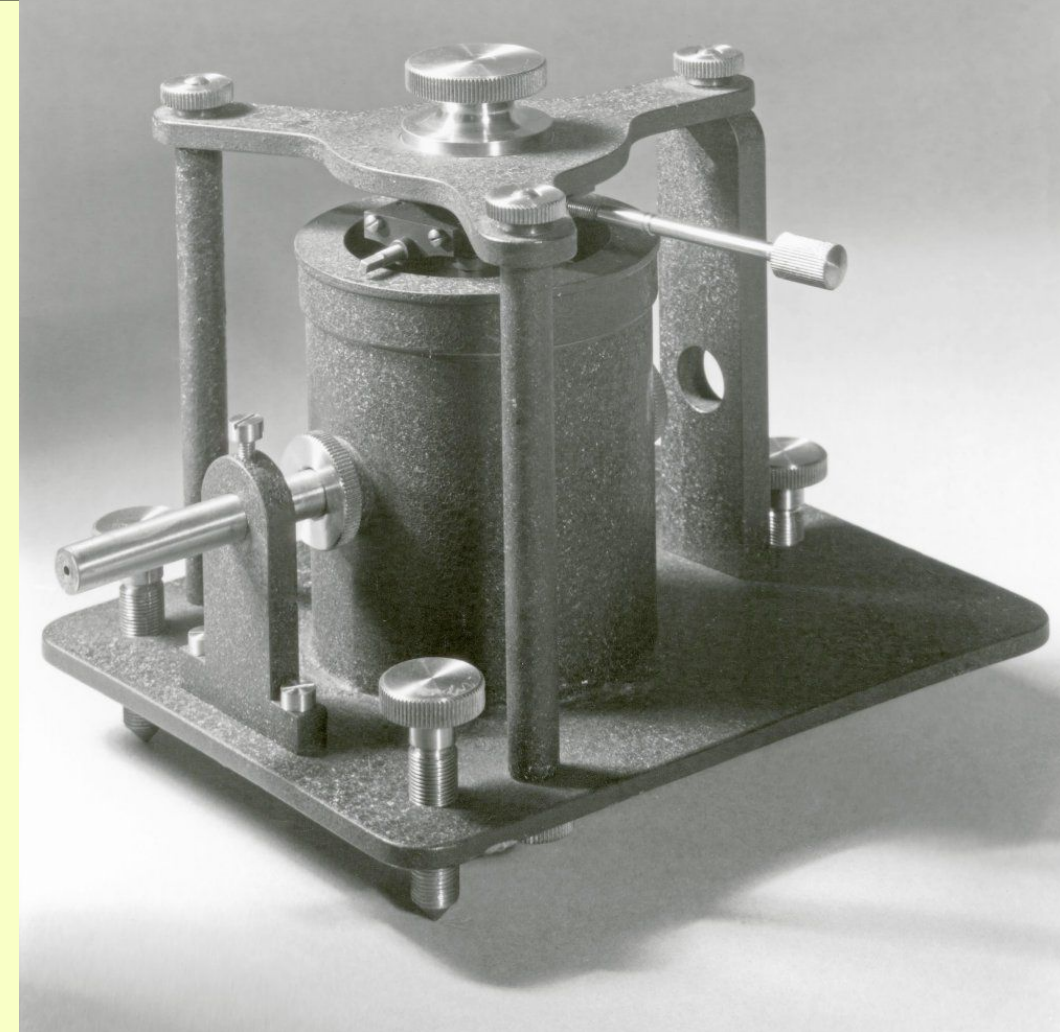


Fig. 818 Formation of X-rays diffraction figure according to Debye-Scherrer

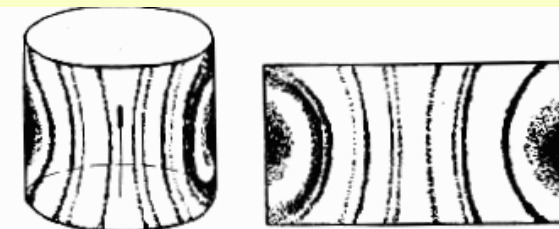


Fig. 819 X-ray diffraction image according to Debye-Scherrer



Interferenzen an regellos orientierten Teilchen
im Röntgenlicht. I.

Von

P. Debye und P. Scherrer.

Hierzu 3 Photogramme auf Tafel I, Fig. 1—3.

Vorgelegt von Herrn D. Hilbert in der Sitzung vom 4. Dezember 1915.

Vor einiger Zeit hat der eine von uns an dieser Stelle auf eine Methode aufmerksam gemacht, die dazu dienen kann sowohl über die Zahl, wie über die gegenseitige Anordnung der Elektronen im Atom auf exper. Die Möglichkeit einer so gehoben wurde darauf, Anordnung der Elektronen dann noch erkennbar regelloser Orientie

Versuche, welche inzwischen von uns in dieser Richtung an- gestellt wurden, zeigten den erwarteten Erfolg. Nebenbei aber fanden sich in einigen Fällen über den erwarteten Effekt über- gelagert anders geartete Interferenzen, welche durch die Schärfe der auftretenden Maxima klar erkennen ließen, daß für sie nicht die regelmäßige Anordnung der doch voraussichtlich recht kleinen Zahl von Elektronen im Atom verantwortlich gemacht werden konnte. In dieser vorliegenden ersten Mitteilung wollen wir uns auf die Beschreibung und Erklärung dieser einen Erscheinung allein beschränken; auf die eigentlichen Elektroneninterferenzen und verwandte Erscheinungen beabsichtigen wir in einer späteren Mitteilung näher einzugehen.

experiment vs. belief I.



Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgenlicht. I.

Von

P. Debye und P. Scherrer.

Hierzu 3 Photogramme auf Tafel I, Fig. 1—3.

Vorgelegt von Herrn D. Hilbert in der Sitzung vom 4. Dezember 1915.

Vor einiger Zeit hat der eine von uns an dieser Stelle auf eine Methode aufmerksam gemacht, die dazu dienen kann sowohl über die Zahl, wie über die gegenseitige Anordnung der Elektronen im Atom auf experimentellem Wege Aufschluß zu erlangen¹⁾. Die Möglichkeit einer solchen Messung beruht, wie damals hervorgehoben wurde darauf, daß, wenn eine Regelmäßigkeit der Anordnung der Elektronen im Atom vorhanden ist, dieselbe auch dann noch erkennbar bleibt, wenn viele solcher Atome in regelloser Orientierung mit einander gemischt vorkommen.

konnte. In dieser vorliegenden ersten Mitteilung wollen wir uns auf die Beschreibung und Erklärung dieser Erscheinung allein beschränken; auf die eigentlichen Elektroneninterferenzen und verwandte Erscheinungen beabsichtigen wir in einer späteren Mitteilung näher einzugehen.

wird. Mit Rücksicht auf unser Endziel bemerken wir, daß die in dieser Notiz besprochenen Beobachtungen auch als experimenteller Beweis für die Richtigkeit der an die Spitze gestellte Behauptung angesehen werden können.

experiment vs. belief I.



Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgenlicht. II.

Von

P. Debye und P. Scherrer.

Hierzu eine Figur und 2 Photogramme, Figur 4 und 5 auf Tafel I.

Vorgelegt von Herrn D. Hilbert in der Sitzung vom 18. Dezember 1915.

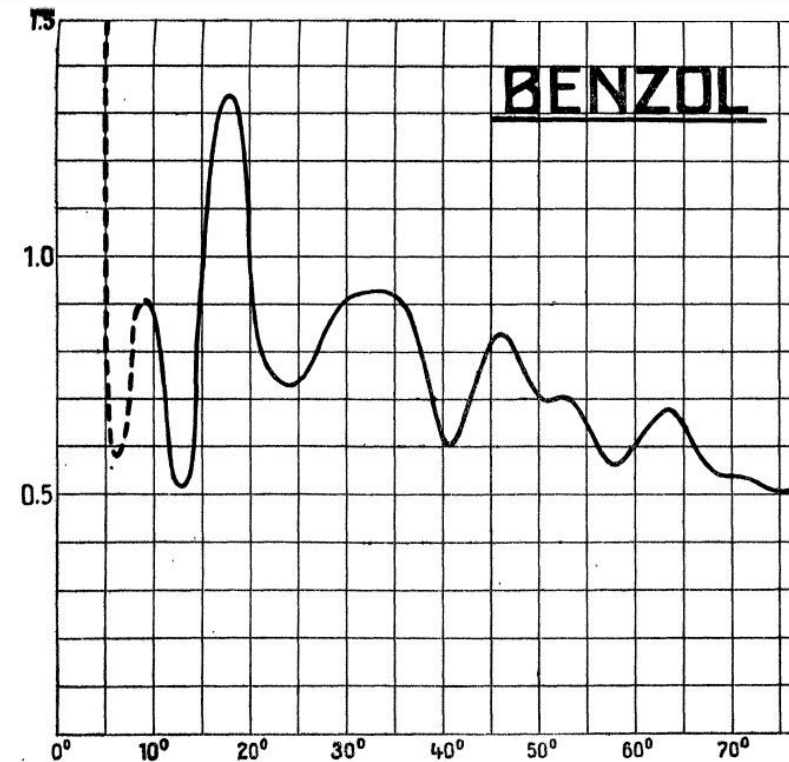
Nachdem experimentell klargelegt ist, daß ein ungeordnetes Gemisch kleinster Krystallstückchen Interferenzen zu erzeugen im Stande ist, die vollständig quantitativ diskutierbar sind, liegt es nahe als zweiten Schritt auf dem Wege zum Atominneren das Einzelmolekül als solches folgen zu lassen. Tatsächlich ist doch,

Die in der jetzigen Mitteilung besprochenen Interferenzen beziehen sich auf den Fall, daß die Atome noch als Ganzes für uns in Betracht kommen, das heißt, wir achten nur auf diejenigen Erscheinungen, bei denen $ks_{n,m} = 2\pi \frac{s_{n,m}}{\lambda}$ Null gesetzt werden kann

experiment vs. belief II.

§ 3. Theorie und Erfahrung.

Die Figur für V fängt bei $\vartheta = 0$ mit der Ordinate V_0 an. Nach einem sehr steilen Abfall bis auf 0,6 zeigt sie zunächst kleinere und dann eine stärker ausgeprägte Erhebung, an welcher wieder recht willkürlich aussehende weitere Erhöhungen und



The Debye-Scherrer story

The art of adjusting ones aims I

- Debye and Scherrer kept firmly to their initial conviction of picturing electron rings
- experiments brought different/contradicting results but initial aim was extended to even better further investigations
- language is telling!
- drastic changes of interpretation appear as new points of view is "not completely" the same as before
- localized claims: some claims in Debye-Scherrer papers appear in the *Göttinger Nachrichten* much stronger than the version in the *Annalen* or *Zeitschrift für Physik*
- in June 1917 Debye concluded from analysis of X-ray spectra:

"All atoms (except the very first) contain round the nucleus a first one quantum ring that consist of three electrons."



Über die Konstitution von Graphit und amorpher Kohle.

Von

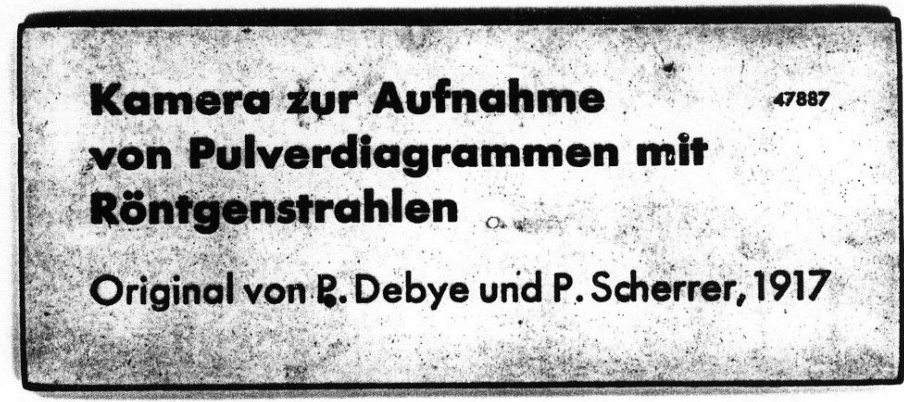
P. Debye und P. Scherrer.

Vorgelegt von P. Debye in der Sitzung vom 23. Dezember 1916.

Vor Jahresfrist konnten wir an dieser Stelle¹⁾ Bericht erstatten über Versuche, welche angeregt durch theoretische Überlegungen, die ebenfalls in den Göttinger Nachrichten Aufnahme fanden²⁾, zu einer Methode der Ultramikroskopie des Molekülinnern führten und darüber hinaus ein messendes Eindringen in das Atom selbst in den Bereich der experimentellen Möglichkeit rückten. Die zur Zeit herrschenden äußeren Umstände haben bis jetzt eine gründliche experimentelle Bearbeitung des letztgenannten Punktes verhindert, dagegen ist nunmehr eine weitere die Atomanordnung im Molekül betreffende, in Angriff genommene Frage endgültig erledigt worden. Sie bezog sich auf die Konstitution der verschie-



The Debye-Scherrer story



The art of adjusting ones aims II

- the third communication of Debye-Scherrer (Dec. 1917) replaces
"ultramicroscopy of the interior of the *atom*"
by "ultramicroscopy of the interior of the *molecule*"
- insight into the atom still vindicated, missing results blamed on insufficient equipment due to the war
- famous 1918 KWI grant application endorsed by Planck and Einstein still old rhetoric
- otherwise powder method had become primary
- Debye-Scherrer camera donated to the Deutsches Museum in 1920 became "camera for photographs of powder diagrams with X-rays"
- 1928 *Handbuch der Experimentalphysik* refers to Debye-Scherrer III only



Who did really believe in Bohr's atom?

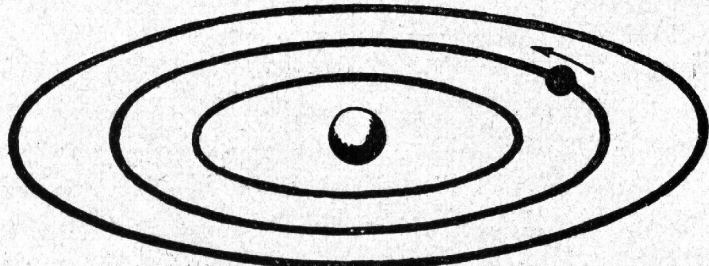
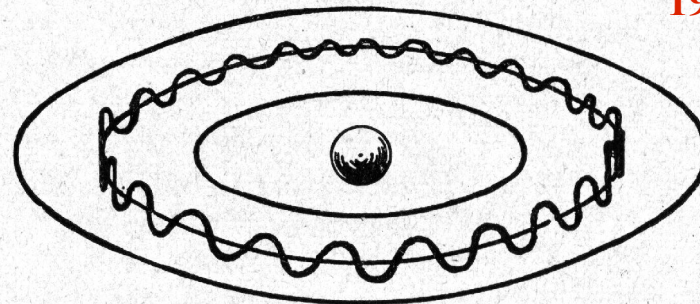
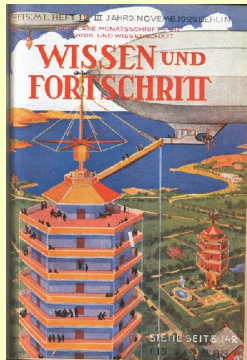
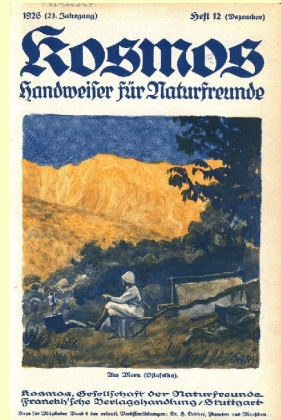


Abb. 1. Das bisherige Modell des Wasserstoffatoms; mögliche Elektronenbahnen. Die umlaufenden Planeten des Atomsystems (Elektronen) stellt man sich als kleine Punkte vor. Für diese Punkte erscheint eine Bahn so gut wie die andere.

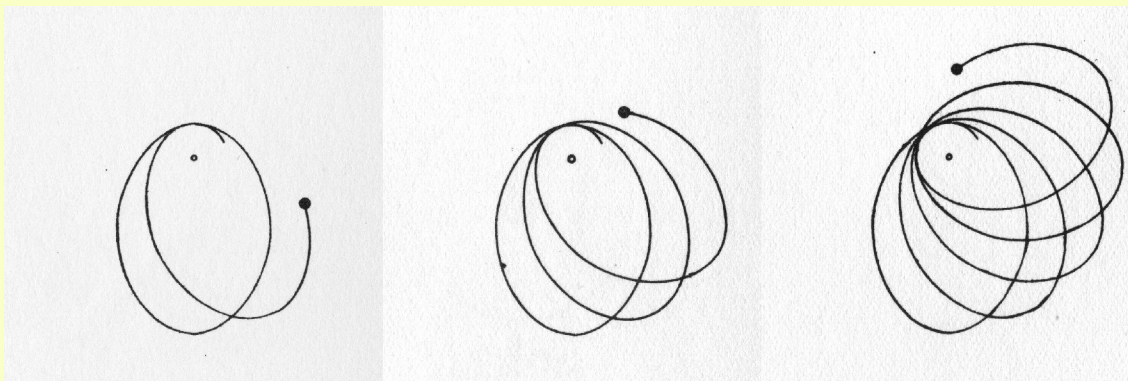
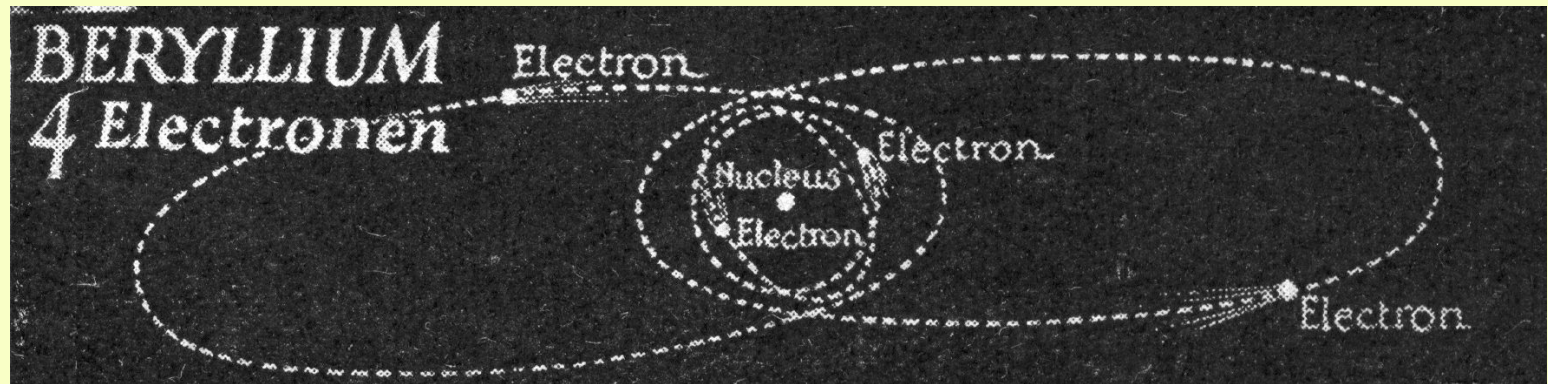


1928

Abb. 3. Das neue Modell des Wasserstoffatoms; mögliche Wellenbahnen. Die Welle ist in sich geschlossen.



1929



flip-book from Max Born:
The restless universe, 1935



The Bohr and the public anomalies

The Bohr anomaly during the first world war

"... we should not fail to recognize that, for all its novelty, Bohr's semiliteral model was a late product of Victorian physics. Its conservative features and initial triumph may have shunted away other, more radical approaches to which, in the event, the postwar revolutionaries took recourse.

... During the first world war the theory developed rapidly in absence of natural competitors"

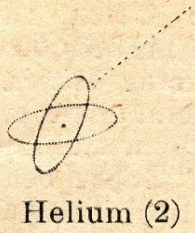
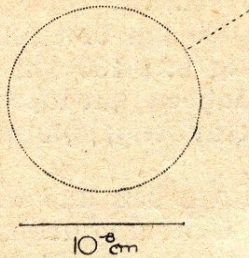
Heilbron, Am. J. Phys. 1981

The public anomaly after the first world war

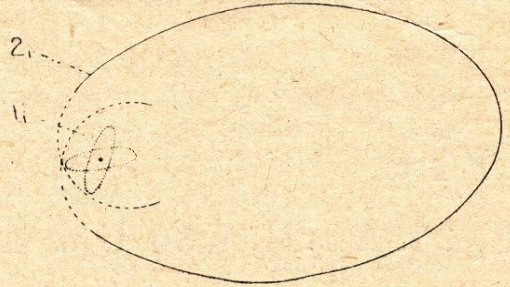
Reports on the Bohr atom appeared in Weimar Germany in wider-circulating journals, in science museums and even received coverage in the early radio program

The Bohr atom did resonate well with public demands for knowledge





mit dem positiven Teil, dem Proton, verbunden. Das leichte negative Elektron rotiert schnell um die schwerere positive Ladung, den Atomkern, ähnlich wie die Erde um die Sonne (vergl. Figur). Die durch die Rotation bedingte Zentrifugalkraft verhindert das Zusammenfallen der sich anziehenden, entgegengesetzt geladenen, Kern und Elektron. Der Radius der Bahn dieser Bewegung, der Atomradius ($0,5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$) verhält sich so zu einem cm, wie dieser zu 2000 km, die Radien des Kerns und des Elektrons sind aber noch viel (mindestens 10000 mal) kleiner.



mit 92, davon sind jetzt 87 bekannt, 5 bleiben noch zu entdecken.

Im elektrisch neutralen Zustand besitzt jedes Atom so viele negative Elektronen als seine Kernladung beträgt. Im Heliumatom bewegen sich also 2, im Uranatom 92 Elektronen um den winzigen Kern. In komplizierteren Atomen bilden die Elektronen Gruppen von engerer

3 Elektro
die 11 E
tronen d
stellt jed
einzelne
Die w
plizierte
positiv g
chen ent
radioakti
mit eine
auch Wa
enthalte
lungen,
mit α -Te
stoffkern
z. B. das
gesetzt

A.-G.:

Dienstag, den 28. April

- 2: Pressemeldungen, Zeitangabe, Wetterbericht, Börsennachrichten
- 3,30: Bayerischer Land- und forstwirtschaftlicher Rundfunkdienst der Bayer. Landesbauernkammer in Verbindung mit dem Deutschen Landwirtschaftsrat
- 4,30—5,30: Unterhaltungskonzert Kammerquartett Anny Rosenberger
 - 1. Fantasie: Mionon Thomas
 - 2. Canzona del Violino Schebel
 - 3. Morphium — Walze Boston Spoliansky
 - 4. Tanzlieder Baynes
 - 5. Türkische Wachtparade Nelson
 - 6. Geschichten a. d. Wienerwald Strauß
- 5— 5,15 (in der Pause): 15 Minuten der Frau Vortragende: Frau Elfriede Jessen
- 6: Bayerischer Land- und forstwirtschaftlicher Rundfunkdienst der Bayer. Landesbauernkammer in Verbindung mit dem Deutschen Landwirtschaftsrat
- 6,30—7,15: Vortrag Professor Dr. Fajans: Aufbau und Zerfall der Atome II Bilder und Text Seite 579
- 7,15—8: Italienischer Sprachkurs u. Vebseübung
- 8—9,15: Opernaufführung „Susannens Geheimnis“
Intermzzo in 1 Akt von Henrico Golisciani,
Musik von G. manno Wolf Ferrari
Musikalische Leitung: Hans Winter
Besetzung: Graf Gil Wilhelm Bauer
Gräfin Susanne Hannah Wilfried
Szenenbilder und Text Seite 571, 572
- 9,15: Pressemeldungen, Sachheißer Sportfunkdienst

on die r), ek- en nes m- belt eil- len so- der en ge- die er- mit en-

The Bohr and the public anomalies

The Bohr anomaly during the first world war

"... we should not fail to recognize that, for all its novelty, Bohr's semiliteral model was a late product of Victorian physics. Its conservative features and initial triumph may have shunted away other, more radical approaches to which, in the event, the postwar revolutionaries took recourse.

... During the first world war the theory developed rapidly in absence of natural competitors"

Heilbron, Am. J. Phys. 1981

The public anomaly after the first world war

Reports on the Bohr atom appeared in Weimar Germany in wider-circulating journals, in science museums and even received coverage in the early radio program

The Bohr atom did resonate well with public demands for knowledge



Who did really believe in Bohr's atom?

The "**Ultramikroskopie des Atominneren**" of Peter Debye
and the art of reinterpreting experimental results

