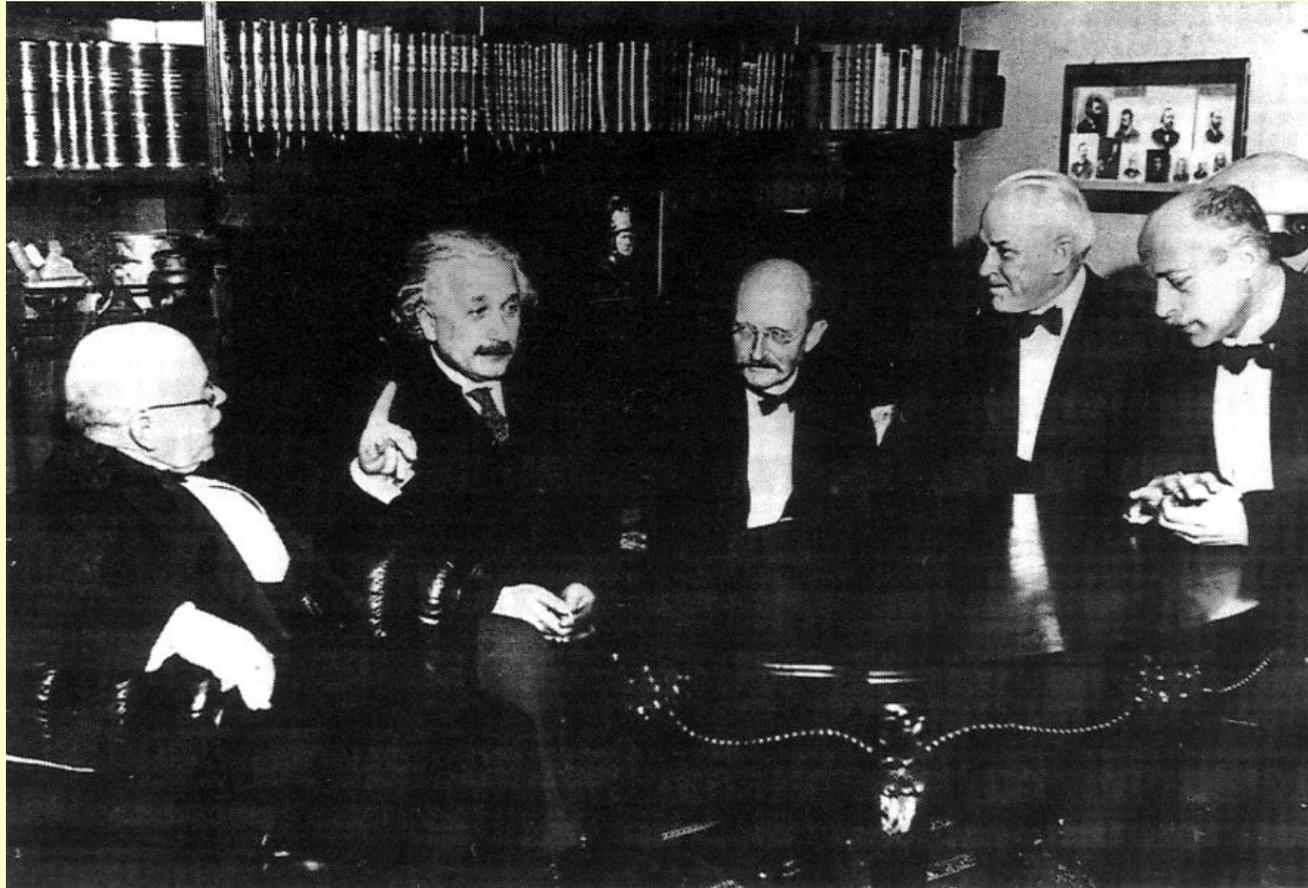


# Physics – Made in Berlin



Siegmund Brandt

Zeuthen, May 26th, 2005

## Abstract

In the first few decades of the twentieth century, Berlin was exceptional for the wealth of scientific discoveries made there. As examples we sketch contributions by *Wien, Planck, Nernst, Franck and Hertz, Einstein, Bothe and Geiger, Hahn, Meitner, and Straßmann*. We also mention the reasons for the rise and the decline of science in Berlin.

# Prologue

## Ideal Conditions for Research in Berlin 100 Years Ago

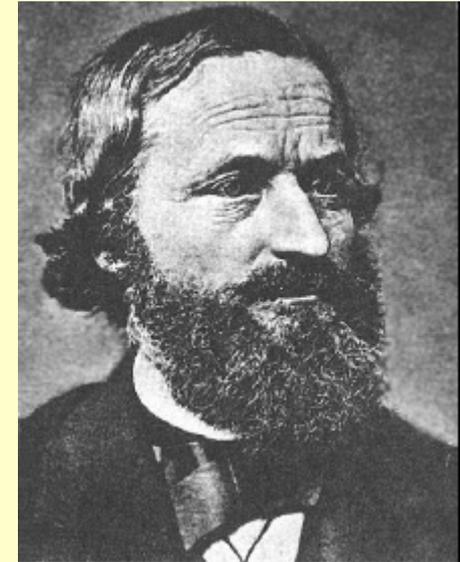


Heinrich Gustav Magnus  
(1802–1870)

Professor at Berlin Univ.  
Founds physics laboratory  
in his private house.



Hermann von Helmholtz (1821–1894)  
1870 Professor of Physics, Berlin Univ.  
1888 President Physikalisch-Technische  
Reichsanstalt



Gustav Robert Kirchhoff  
(1824 – 1887)

1875 Professor of  
Theoretical Physics,  
Berlin Univ.

Due to the initiative and the influence of Helmholtz, but also because Kaiser, government, and industry are interested, a number of excellent (and well funded) research institutions are created:

- modern research institutes for various sciences at both the **University** and the **Technical University**
- the **Physikalisch – Technische Reichsanstalt (PTR)**
- several **Kaiser – Wilhelm – Institutes (KWI)** from 1911 onwards

Moreover, both the **Prussian Academy of Science** and the Berlin Section of the **German Physical Society** are efficient platforms for rapid exchange and publication of ideas and results.

# Centers of Research in Berlin in the Early Twentieth Century



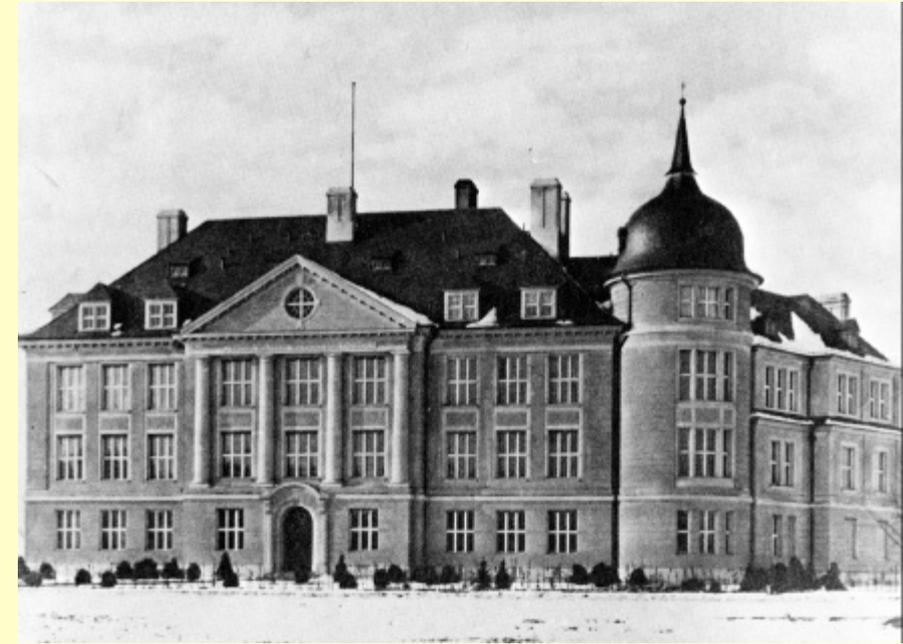
Physikalisches Institut, Reichstagsufer



Technische Hochschule, Charlottenburg



Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR),  
Charlottenburg



Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie,  
Dahlem



# Willy Wien

## Two Laws on Blackbody Radiation

When deriving his *displacement law*  
Wien was assistant at the  
Physikalisch-Technische  
Reichsanstalt (PTR)

Willy Wien  
(1864–1928)  
Nobel Prize 1911

# Black-Body Radiation: Kirchhoff, Stefan, Boltzmann

**1860 Gustav Kirchhoff** creates the concept of blackbody radiation.

The spectral energy density  $u_n(T)$  within the black body is a universal function of the temperature  $T$  and frequency  $\mathbf{n}$ .

The integrated energy density  $u(T) = \int_{\mathbf{n}=0}^{\infty} u_n(T) d\mathbf{n}$  depends on temperature only.

**1879 Joseph Stefan** (empirically):  $u = AT^4$

**1884 Ludwig Boltzmann** introduces the radiation pressure

and derives the law  $u = AT^4$

from the second law of thermodynamics.

---

For the spectral energy density  $u_l(T)$  with respect to the wavelength  $\mathbf{l}$  the following holds

$$u_l d\mathbf{l} = u_n d\mathbf{n}, \quad u_l = cu_n / \mathbf{l}^2, \quad u_n = cu_l / \mathbf{n}^2$$

# Wien's Displacement Law and Wien's Radiation Law

$$V_0$$

$$T_0 \rightarrow T$$

$$V_0 \rightarrow V$$

$$T \rightarrow T_0$$

**1893** Wien considers the following process:

1) rise of temperature  $T_0 \rightarrow T$

2) adiabatic increase of volume until  $T_0$  is reached again. Through Doppler effect at the walls a shift in frequency appears.

Result: **Wien's displacement law** which restricts the form of Kirchoff's function

$$u_n(T) = n^3 f\left(\frac{n}{T}\right)$$

**1896** With assumptions, which were difficult to justify (radiating molecules have Maxwell's velocity distribution, wavelength of the radiation depends only on the velocity of the radiating molecule), Wien finds his **radiation law**

$$u_1 = \frac{c_1}{I^5} \exp\left\{-\frac{c_2}{IT}\right\} \quad \text{or, equivalently,} \quad u_n = c'_1 n^3 \exp\left\{-\frac{c'_2 n}{T}\right\}$$

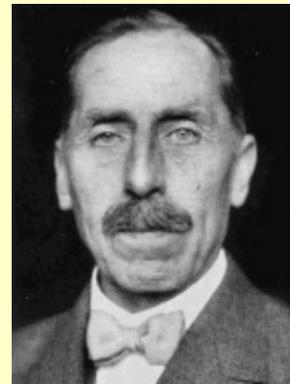
Friedrich Paschen  
(1865–1947)

**1896** Friedrich Paschen publishes measurements which he can describe by

$$u_1 = \frac{c_1}{I^{5,5}} \exp\left\{-\frac{c_2}{IT}\right\} .$$

Paschen was at the Technical Univ. of Hanover at the time.

Later (1924–1933) he was president of the PTR in Berlin.



# Max Planck

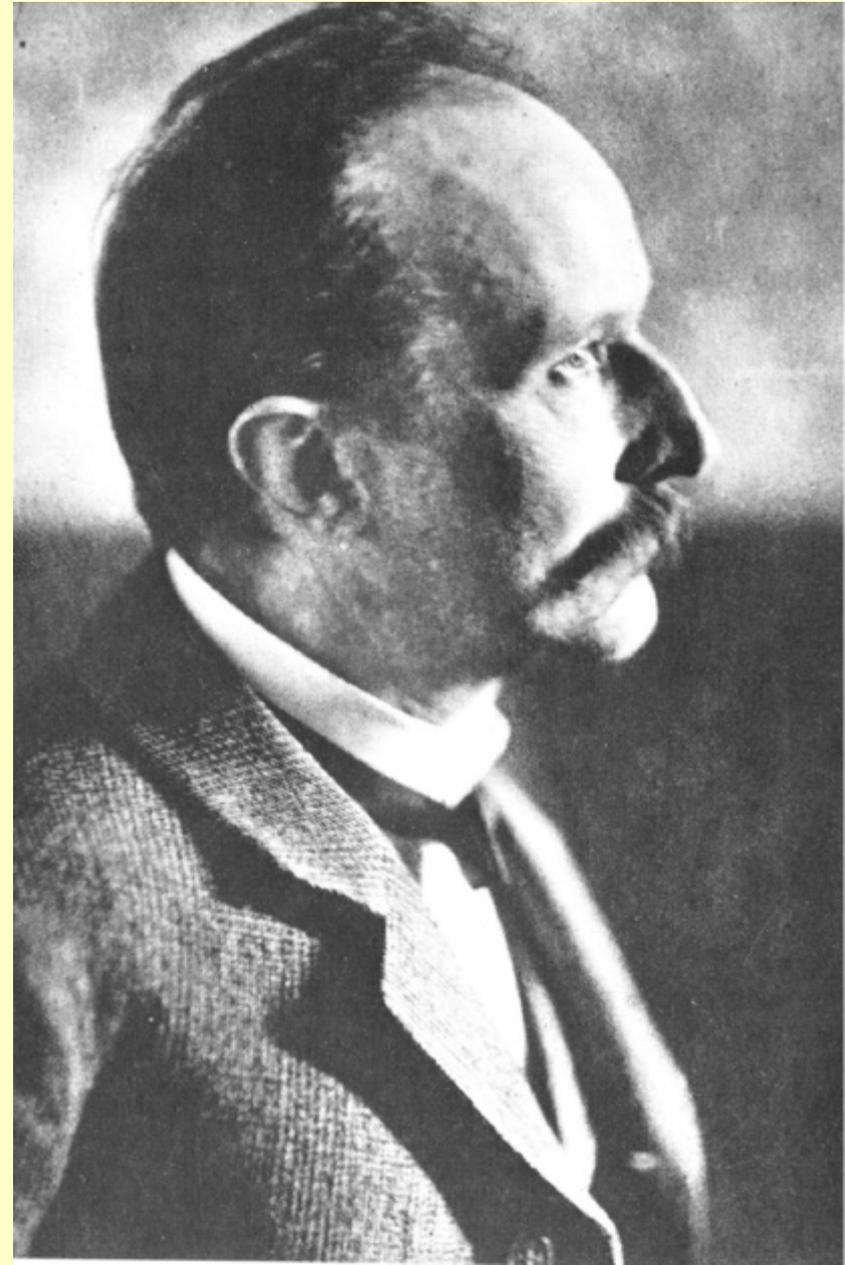
## Creation of Quantum Theory (1900)



1901

Max Planck  
(1858–1947)  
Nobel Prize 1918

1910



# Chronology

**1889** Planck succeeds Kirchhoff as Professor of Theoretical Physics at Berlin Univ.

**1895** He begins his work on blackbody radiation in which he introduces the entropy of the radiation field.

**1899** Using a plausible ansatz for the entropy he derives Wien's radiation law from the second law of thermodynamics. In the same year, the measurements of Lummer and Pringsheim show deviations from Wien's law.

**1900** Measurements of Rubens and Kurlbaum for fixed wavelength show a linear rise with temperature in agreement with a recent formula by Lord Rayleigh.



Lord Rayleigh  
(William Strutt)  
(1842–1919)  
Nobel Prize 1904

## Rayleigh's Radiation Law

**1900** Rayleigh considers the possible standing electromagnetic waves within a cavity, assigns the average energy  $kT$  to each wave, and finds

$$u_1 = c_3 \frac{T}{\lambda^4}$$

The formula diverges for  $\lambda \rightarrow 0$  but it was worthwhile to check for large wavelengths.

**1905** Only now Rayleigh computes the constant  $c_3$ . (His computation contains an error, a factor of 8. That is corrected by J.H. Jeans):

Rayleigh-Jeans Law: 
$$u_1 = \frac{8p}{\lambda^4} kT$$

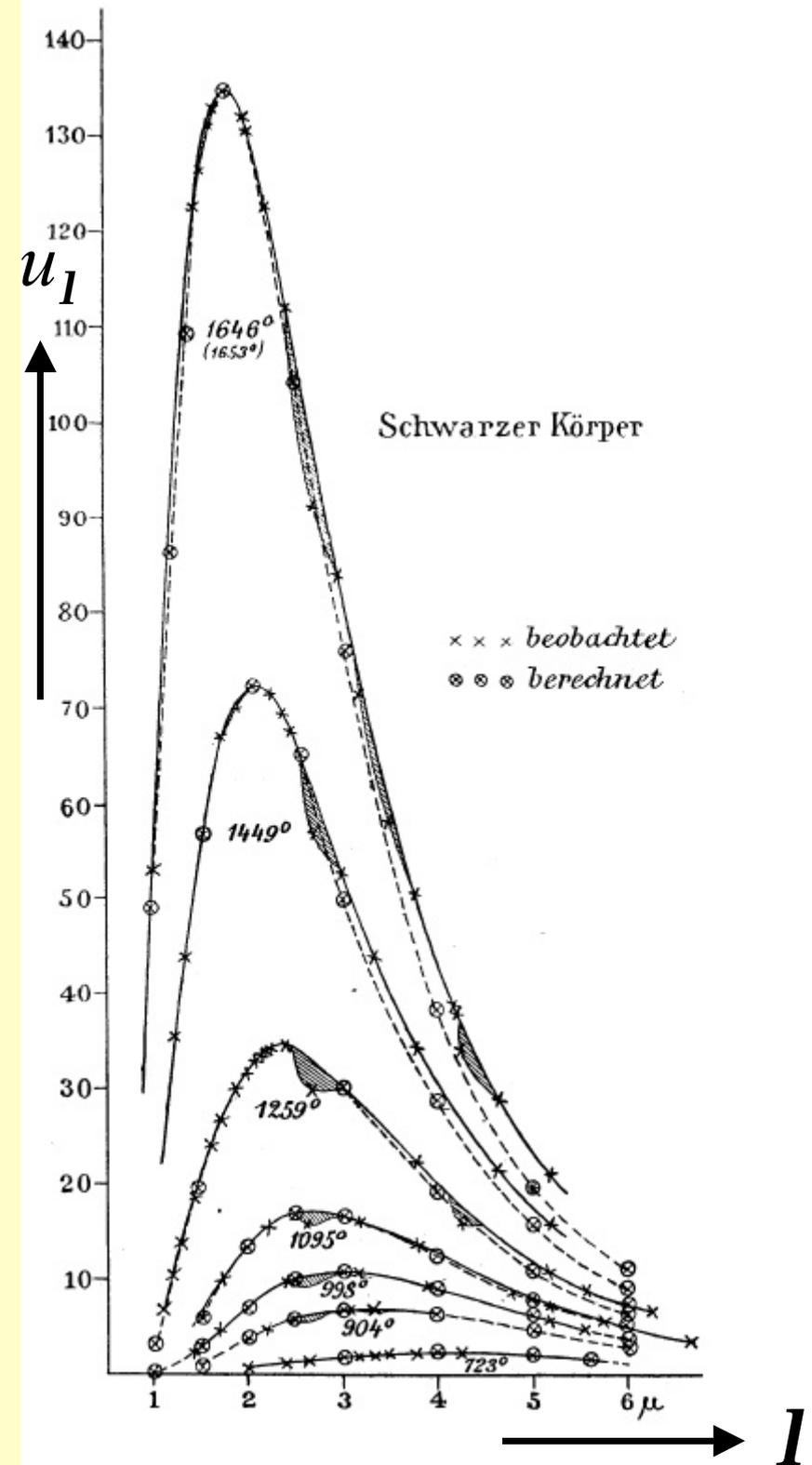
# The Measurements by Lummer and Pringsheim

The measurements were made at the PTR in Berlin.

At first it was difficult to overcome the absorption bands of water vapor in the air filling the spectrometer



Otto Lummer  
(1860–1925)



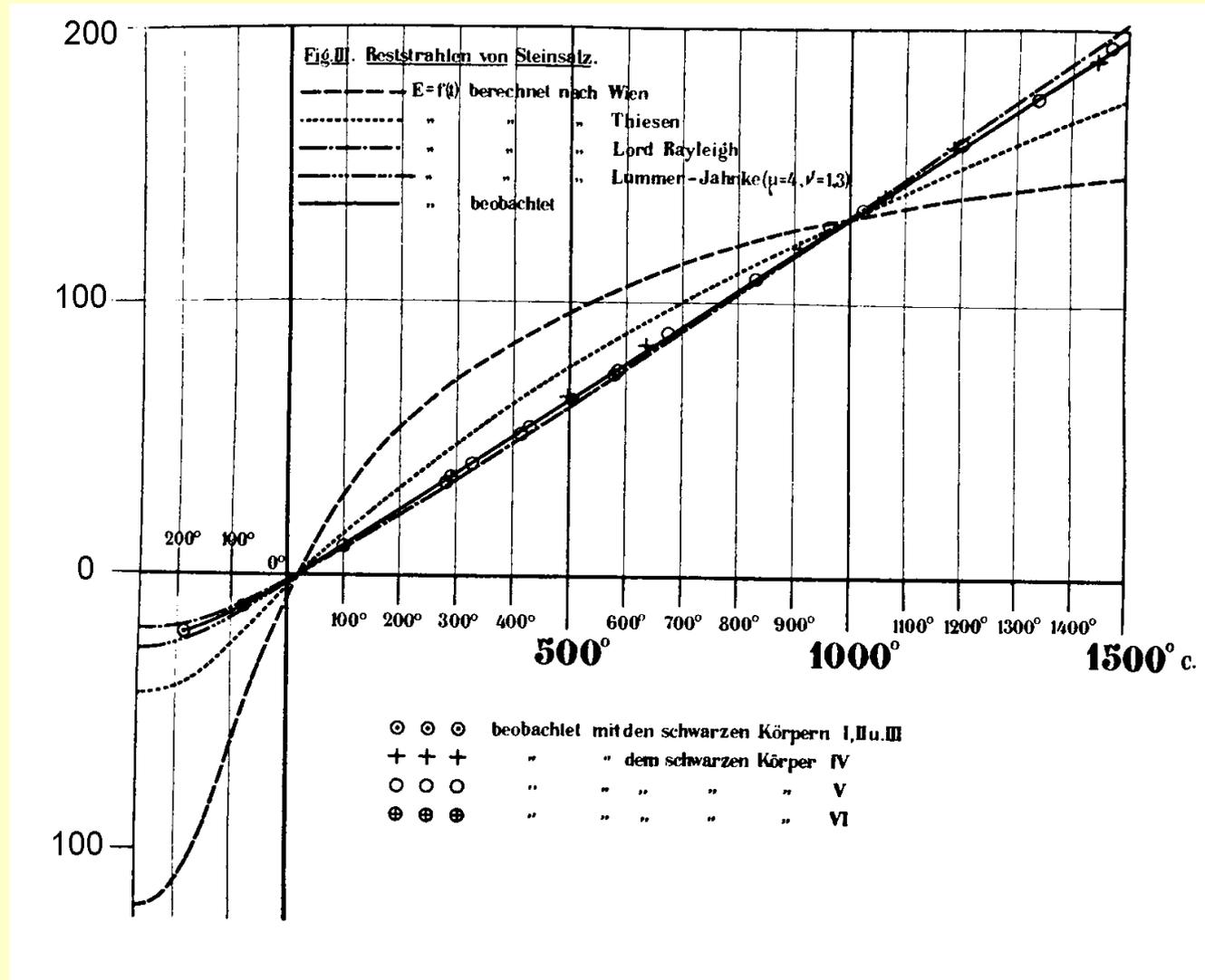
# The Measurements by Rubens and Kurlbaum



Heinrich Rubens  
(1865–1922)



Ferdinand Kurlbaum  
(1857–1927)



Rubens had developed a method (residual rays) to get monochromatic light in the far infrared.

The measurements were done in Rubens' institute at the Technical Univ. in Berlin. They show the linear rise with temperature predicted by Lord Rayleigh.

# October 19th, 1900

## Planck presents his radiation law

Sunday, October 7th, 1900

Mr. and Mrs. Planck had invited Mr. and Mrs. Rubens for afternoon coffee.

Rubens tells Planck about his recent results.

When the guests had gone home, Planck looks for and finds a radiation law that describes the experimental results.

Still the same evening he writes a postcard to Rubens telling him of his success.

#### IV.

Verhandlungen der physikal. Gesellschaft 2, p. 202; 1900.

### Ueber eine Verbesserung der Wienschen Spektralgleichung. (1)

(Vorgetragen in der Sitzung vom 19. Oktober 1900.)

Die von Herrn Kurlbaum in der heutigen Sitzung mitgeteilten interessanten Resultate der von ihm in Gemeinschaft mit Herrn Rubens auf dem Gebiete der längsten Spektralwellen ausgeführten Energiemessungen haben die zuerst von den Herren Lummer und Pringsheim auf Grund ihrer Beobachtungen aufgestellte Behauptung nachdrücklich bestätigt, daß das Wiensche Energieverteilungsgesetz nicht die allgemeine Bedeutung besitzt, welche ihm bisher von mancher Seite zugeschrieben worden war, sondern daß dies Gesetz vielmehr höchstens den Charakter eines Grenzesetzes hat, dessen überaus einfache Form nur einer Beschränkung auf kurze Wellenlängen bzw. tiefe Temperaturen ihren Ursprung verdankt<sup>1)</sup>. Da ich selber die Ansicht von der Notwendigkeit des Wienschen Gesetzes auch an dieser Stelle vertreten habe, so sei es mir gestattet, hier kurz darzulegen, wie sich die von mir entwickelte elektromagnetische Theorie der Strahlung zu den Beobachtungstatsachen stellt.

Nach dieser Theorie ist das Energieverteilungsgesetz bestimmt, sobald die Entropie  $S$  eines auf Bestrahlung ansprechenden linearen Resonators als Funktion seiner Schwingungsenergie  $U$  bekannt ist. Ich habe indes schon in meiner letzten Arbeit über diesen Gegenstand hervorgehoben<sup>2)</sup>, daß der Satz der Entropievermehrung an und für sich noch nicht hinreicht, um diese Funktion vollständig anzugeben; zur Ansicht von der Allgemeinheit des Wienschen Gesetzes wurde ich vielmehr durch eine besondere Betrachtung geführt, nämlich durch die Berechnung einer unendlich kleinen Entropievermehrung eines in einem stationären Strahlungs-

<sup>1)</sup> Auch Hr. Paschen hat, wie er mir brieflich mitteilte, neuerdings merkliche Abweichungen vom Wienschen Gesetz festgestellt.

<sup>2)</sup> M. Planck, Ann. d. Phys. 1. p. 730. 1900.

felde befindlichen Systems von  $n$  gleichen Resonatoren auf zwei verschiedene Weisen, wodurch sich die Gleichung<sup>1)</sup> ergab: [2]

$$d U_n \cdot \Delta U_n \cdot f(U_n) = n d U \cdot \Delta U \cdot f(U),$$

wobei

$$U_n = n U \quad \text{und} \quad f(U) = -\frac{3}{2} \frac{d^2 S}{d U^2},$$

aus welcher dann das Wiensche Gesetz in der Form hervorgeht [3]:

$$\frac{d^2 S}{d U^2} = \frac{\text{const.}}{U}.$$

In jener Funktionalgleichung stellt der Ausdruck auf der rechten Seite sicher die genannte Entropieänderung dar, weil sich  $n$  ganz gleiche Vorgänge unabhängig voneinander abspielen, deren Entropieänderungen sich daher einfach addieren müssen. Dagegen würde ich es wohl für möglich, wenn auch immer noch für nicht leicht begreiflich und jedenfalls schwer beweisbar ansehen, daß der Ausdruck links nicht allgemein die ihm früher von mir zugeschriebene Bedeutung besitzt, mit anderen Worten: daß die Werte von  $U_n$ ,  $d U_n$  und  $\Delta U_n$  gar nicht hinreichen, um die fragliche Entropieänderung zu bestimmen, sondern daß dazu auch  $U$  selber bekannt sein muß. Im Verfolg dieses Gedankens bin ich schließlich dahin gekommen, ganz willkürlich Ausdrücke für die Entropie zu konstruieren, welche, obwohl komplizierter als der Wiensche Ausdruck, doch allen Anforderungen der thermodynamischen und elektromagnetischen Theorie ebenso vollkommen Genüge zu leisten scheinen wie dieser.

Unter den so aufgestellten Ausdrücken ist mir nun einer besonders aufgefallen, der dem Wienschen an Einfachheit am nächsten kommt, und der, da letzterer nicht hinreicht, um alle Beobachtungen darzustellen, wohl verdienen würde, daraufhin näher geprüft zu werden. Derselbe ergibt sich, wenn man setzt<sup>2)</sup>:

$$\frac{d^2 S}{d U^2} = \frac{\alpha}{U(\beta + U)}.$$

Er ist bei weitem der einfachste unter allen Ausdrücken, welche  $S$  als logarithmische Funktion von  $U$  liefern (was anzunehmen die Wahrscheinlichkeitsrechnung nahelegt) und

welche außerdem für kleine Werte von  $U$  in den obigen Wienschen Ausdruck übergehen. Mit Benutzung der Beziehung

$$\frac{d S}{d U} = \frac{1}{T}$$

und des Wienschen „Verschiebungs“gesetzes<sup>1)</sup> erhält man hieraus zweikonstantige Strahlungsformel [6]:

$$E = \frac{C \lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1},$$

welche, soweit ich augenblicklich sehen kann, den Gang der seither publizierten Beobachtungszahlen ebenso befriedigend wiedergibt, wie die besten bisher aufgestellten Spektralgleichungen, nämlich die von Thiesen<sup>2)</sup>, die von Lummer-Jahnke<sup>3)</sup> und die von Lummer-Pringsheim<sup>4)</sup>. (Wird an einigen Zahlen erläutert.) Ich möchte mir daher erlauben, Ihre Aufmerksamkeit auf diese neue Formel zu lenken, die ich vom Standpunkt der elektromagnetischen Strahlungstheorie aus nächst der Wienschen für die einfachste halte.

<sup>1)</sup> Der Ausdruck des Wienschen Verschiebungsgesetzes ist einfach:

$$S = f\left(\frac{U}{\nu}\right),$$

wo  $\nu$  die Schwingungszahl des Resonators bedeutet. Ich werde dies bei einer anderen Gelegenheit darlegen. [5]

<sup>2)</sup> M. Thiesen, Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch. 2. p. 67. 1900. Dort findet sich auch bemerkt, daß Hr. Thiesen seine Formel schon aufgestellt hatte, ehe die Herren Lummer und Pringsheim ihre Messungen auf größere Wellenlängen ausdehnten, was ich hier hervorhebe, weil ich vor dem Erscheinen der zitierten Publikation eine etwas andere Darstellung gegeben hatte (M. Planck, Ann. d. Phys. 1. p. 719. 1900).

<sup>3)</sup> O. Lummer u. E. Jahnke, Ann. d. Phys. 3. p. 288. 1900.

<sup>4)</sup> O. Lummer u. E. Pringsheim, Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch. 2. p. 174. 1900.

<sup>1)</sup> l. c. p. 732.

<sup>2)</sup> Ich gehe aus von dem zweiten Differentialquotienten von  $S$  nach  $U$ , weil diese Größe eine einfache physikalische Bedeutung besitzt (l. c. p. 731.)

# Comparison of the Radiation Laws

**Wien**  $u_\lambda = 8\pi hc^2 \lambda^{-5} \exp\left\{-\frac{hc}{\lambda T}\right\}$

**Planck**  $u_\lambda = 8\pi hc^2 \lambda^{-5} \left[\exp\left\{\frac{hc}{\lambda T}\right\} - 1\right]^{-1}$

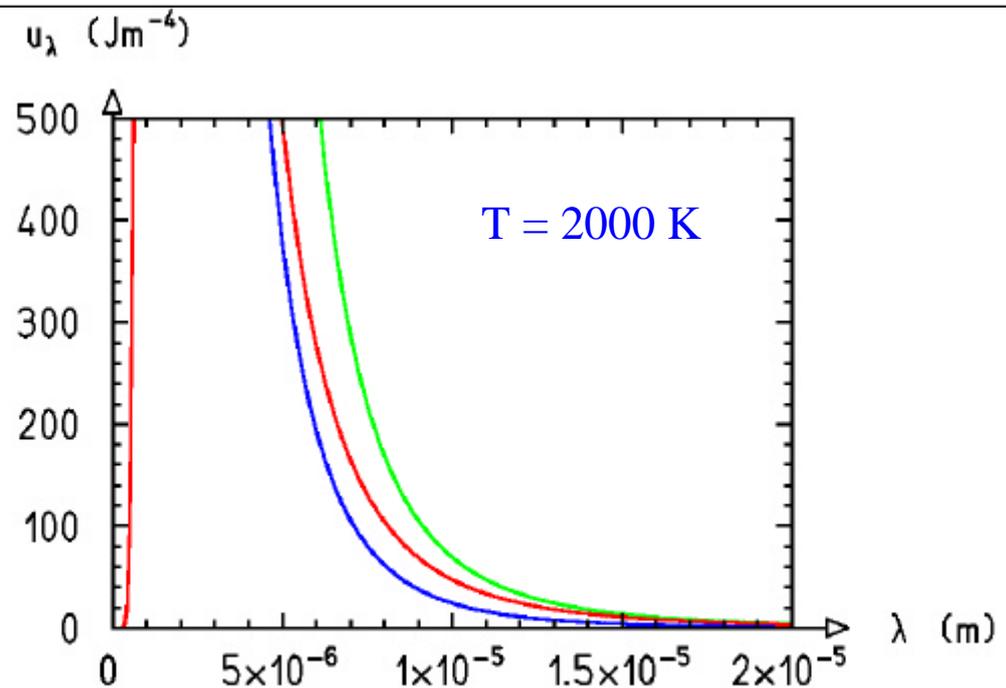
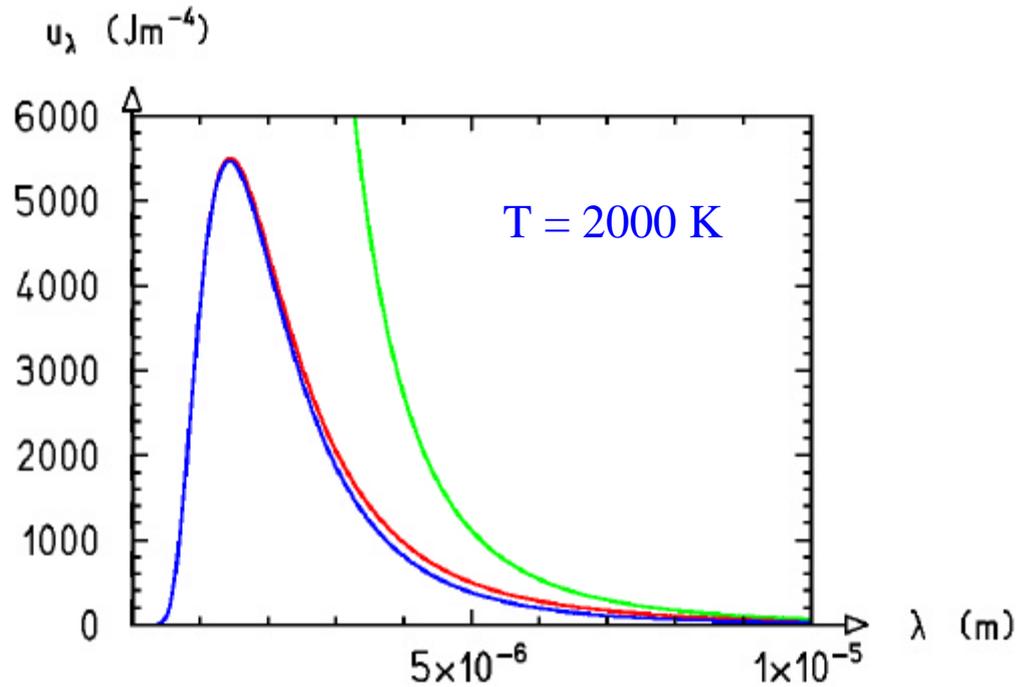
**Rayleigh-Jeans**  $u_\lambda = \frac{8\pi kT}{\lambda^4}$

Before Planck's work the constants were unknown.

Planck's Law is valid for all wavelengths.

Wien's Law is a good approximation for short wavelengths.

The Rayleigh-Jeans Law is a good approximation at large wavelengths. It diverges for short wavelengths.



December 14th, 1900

Planck reports the derivation of  
his radiation law

V.

Verhandlungen d. Deutschen physikal. Gesellschaft 2. p. 237; 1900.

## Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspektrum.

(Vorgetragen in der Sitzung vom 14. Dezember 1900.)

M. H.! Als ich vor mehreren Wochen die Ehre hatte, Ihre Aufmerksamkeit auf eine neue Formel zu lenken, welche mir geeignet schien, das Gesetz der Verteilung der strahlenden Energie auf alle Gebiete des Normalspektrums auszudrücken<sup>1)</sup>, gründete sich meine Ansicht von der Brauchbarkeit der Formel, wie ich schon damals ausführte, nicht allein auf die anscheinend gute Uebereinstimmung der wenigen Zahlen, die ich Ihnen damals mitteilen konnte, mit den bisherigen Messungsergebnissen<sup>2)</sup>, sondern hauptsächlich auf den einfachen Bau der Formel und insbesondere darauf, daß dieselbe für die Abhängigkeit der Entropie eines bestrahlten monochromatisch schwingenden Resonators von seiner Schwingungsenergie einen sehr einfachen logarithmischen Ausdruck ergibt [2], welcher die Möglichkeit einer allgemeinen Deutung jedenfalls eher zu versprechen schien, als jede andere bisher in Vorschlag gebrachte Formel, abgesehen von der Wienschen, die aber durch die Tatsachen nicht bestätigt wird.

Entropie bedingt Unordnung, und diese Unordnung glaubte ich erblicken zu müssen in der Unregelmäßigkeit, mit der auch im vollkommen stationären Strahlungsfelde die Schwingungen des Resonators ihre Amplitude und ihre Phase wechseln, sofern man Zeitepochen betrachtet, die groß sind gegen die Zeit einer Schwingung, aber klein gegen die Zeit einer Messung. Die konstante Energie des stationär schwingenden Resonators ist danach nur als ein zeitlicher

<sup>1)</sup> M. Planck, Verhandl. der Deutschen Physikal. Gesellsch. 2. p. 202. 1900. [1]

<sup>2)</sup> Inzwischen haben die Herren H. Rubens und F. Kurlbaum (Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin vom 25. Oktober 1900, p. 929) für sehr lange Wellen eine direkte Bestätigung gegeben.

Mittelwert aufzufassen, oder, was auf dasselbe hinauskommt, als der augenblickliche Mittelwert der Energien einer großen Anzahl von gleichbeschaffenen Resonatoren, die sich im nämlichen stationären Strahlungsfelde weit genug entfernt voneinander befinden, um sich nicht gegenseitig direkt zu beeinflussen. Da somit die Entropie eines Resonators durch die Art der gleichzeitigen Energieverteilung auf viele Resonatoren bedingt ist, so vermutete ich, daß sich diese Größe durch Einführung von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen, deren Bedeutung für den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik Herr L. Boltzmann<sup>1)</sup> zuerst aufgedeckt hat, in die elektromagnetische Theorie der Strahlung würde berechnen lassen müssen. Diese Vermutung hat sich bestätigt; es ist mir möglich geworden, einen Ausdruck für die Entropie eines monochromatisch schwingenden Resonators, und somit auch für die Verteilung der Energie im stationären Strahlungszustand, d. h. im Normalspektrum, auf deduktivem Wege zu ermitteln, wobei es nur nötig wird, der von mir in die elektromagnetische Theorie eingeführten Hypothese der „natürlichen Strahlung“ [3] eine etwas weitergehende Fassung zu geben als bisher. Außerdem aber haben sich hierbei noch andere Beziehungen ergeben, die mir für weitere Gebiete der Physik und auch der Chemie von erheblicher Tragweite zu sein scheinen.

Indessen liegt mir heute nicht sowohl daran, jene Deduktion, welche sich auf die Gesetze der elektromagnetischen Strahlung, der Thermodynamik und der Wahrscheinlichkeitsrechnung stützt, hier systematisch in allen Einzelheiten durchzuführen, als vielmehr daran, Ihnen den eigentlichen Kernpunkt der ganzen Theorie möglichst übersichtlich darzulegen, und dies kann wohl am besten dadurch geschehen, daß ich Ihnen hier ein neues, ganz elementares Verfahren beschreibe, durch welches man, ohne von einer Spektralformel oder auch von irgendeiner Theorie etwas zu wissen, mit Hilfe einer einzigen Naturkonstanten die Verteilung einer gegebenen Energiemenge auf die einzelnen Farben des Normalspektrums, und dann mittels einer zweiten Naturkonstanten auch die Temperatur dieser Energiestrahlung zahlenmäßig berechnen kann. Es wird Ihnen bei dem anzugebenden Verfahren manches willkürlich und umständlich erscheinen, aber ich lege hier, wie gesagt, nicht Wert auf den Nachweis der Notwendigkeit und der leichten praktischen Ausführbarkeit, sondern nur auf die Klarheit und

<sup>1)</sup> L. Boltzmann, namentlich Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. z. Wien (II) 76. p. 373. 1877.

Eindeutigkeit der gegebenen Vorschriften zur Lösung der Aufgabe.

In einem von spiegelnden Wänden umschlossenen diathermanen Medium mit der Lichtfortpflanzungsgeschwindigkeit  $c$  befinden sich in gehörigen Abständen voneinander eine große Anzahl von linearen monochromatisch schwingenden Resonatoren, und zwar  $N$  mit der Schwingungszahl „ (pro Sekunde),  $N'$  mit der Schwingungszahl  $\nu'$ ,  $N''$  mit der Schwingungszahl  $\nu''$  etc., wobei alle  $N$  große Zahlen sind. Das System enthalte eine gegebene Menge Energie: die Totalenergie  $E_t$ , in erg, die teils in dem Medium als fortschreitende Strahlung, teils in den Resonatoren als Schwingung derselben auftritt. Die Frage ist, wie sich im stationären Zustand diese Energie auf die Schwingungen der Resonatoren und auf die einzelnen Farben der in dem Medium befindlichen Strahlung verteilt und welche Temperatur dann das ganze System besitzt.

Zur Beantwortung dieser Frage fassen wir zuerst nur die Schwingungen der Resonatoren ins Auge, und erteilen ihnen versuchsweise bestimmte willkürliche Energien, nämlich den  $N$  Resonatoren  $\nu$  etwa die Energie  $E$ , den  $N'$  Resonatoren  $\nu'$  die Energie  $E'$  etc. Natürlich muß die Summe:

$$E + E' + E'' + \dots = E_0$$

kleiner sein als  $E_t$ . Der Rest  $E_t - E_0$  entfällt dann auf die im Medium befindliche Strahlung. Nun ist noch die Verteilung der Energie auf die einzelnen Resonatoren innerhalb jeder Gattung vorzunehmen, zuerst die Verteilung der Energie  $E$  auf die  $N$  Resonatoren mit der Schwingungszahl  $\nu$ . Wenn  $E$  als unbeschränkt teilbare Größe angesehen wird, ist die Verteilung auf unendlich viele Arten möglich. Wir betrachten aber — und dies ist der wesentlichste Punkt der ganzen Berechnung —  $E$  als zusammengesetzt aus einer ganz bestimmten Anzahl endlicher gleicher Teile und bedienen uns dazu der Naturkonstanten  $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$  [erg  $\times$  secl]. Diese Konstante mit der gemeinsamen Schwingungszahl  $\nu$  der Resonatoren multipliziert ergibt das Energieelement  $\epsilon$  in erg, und durch Division von  $E$  durch  $\epsilon$  erhalten wir die Anzahl  $P$  der Energieelemente, welche unter die  $N$  Resonatoren zu verteilen sind. Wenn der so berechnete Quotient keine ganze Zahl ist, so nehme man für  $P$  eine in der Nähe gelegene ganze Zahl. [4]

Nun ist einleuchtend, daß die Verteilung der  $P$  Energieelemente auf die  $N$  Resonatoren nur auf eine endliche ganz

bestimmte Anzahl von Arten erfolgen kann. Jede solche Art der Verteilung nennen wir nach einem von Herrn Boltzmann für einen ähnlichen Begriff gebrauchten Ausdruck eine „Komplexion“. Bezeichnet man die Resonatoren mit den Ziffern 1, 2, 3... bis  $N$ , schreibt diese der Reihe nach nebeneinander, und setzt unter jeden Resonator die Anzahl der auf ihn entfallenden Energieelemente, so erhält man für jede Komplexion ein Symbol von folgender Form:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	38	11	0	9	2	20	4	4	5

Hier ist  $N = 10$ ,  $P = 100$  angenommen. Die Anzahl aller möglichen Komplexionen ist offenbar gleich der Anzahl aller möglichen Ziffernbilder, die man auf diese Weise, bei bestimmtem  $N$  und  $P$ , für die untere Reihe erhalten kann. Um jedes Mißverständnis auszuschließen, sei noch bemerkt, daß zwei Komplexionen als verschieden anzusehen sind, wenn die entsprechenden Ziffernbilder dieselben Ziffern, aber in verschiedener Anordnung, enthalten. Aus der Kombinationslehre ergibt sich die Anzahl aller möglichen Komplexionen zu [5]

$$\frac{N \cdot (N+1) \cdot (N+2) \dots (N+P-1)}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot P} = \frac{(N+P-1)!}{(N-1)! \cdot P!}$$

und mit genügender Annäherung [6]

$$= \frac{(N+P)^{N+P}}{N^N P^P}$$

Dieselbe Rechnung führen wir bei den Resonatoren der übrigen Gattungen aus, indem wir für jede Resonatorgattung die Anzahl der bei der für sie angenommenen Energie möglichen Komplexionen bestimmen. Die Multiplikation aller so erhaltenen Zahlen ergibt dann die Gesamtzahl  $\mathfrak{R}$  der bei der versuchsweise vorgenommenen Energieverteilung in allen Resonatoren zusammengenommen möglichen Komplexionen.

So entspricht auch jeder anderen willkürlich vorgenommenen Energieverteilung  $E, E', E'', \dots$  eine in der angegebenen Weise zu bestimmende Zahl  $\mathfrak{R}$  von möglichen Komplexionen. Unter allen Energieverteilungen nun, welche bei konstant gehaltenem  $E_0 = E + E' + E'' + \dots$  möglich sind, gibt es eine einzige ganz bestimmte, für welche die Zahl der möglichen Komplexionen  $\mathfrak{R}_0$  größer ist als für jede andere; diese Energieverteilung suchen wir auf, even-

tuell durch Probieren; denn sie ist gerade diejenige, welche die Resonatoren im stationären Strahlungsfelde annehmen, wenn sie insgesamt die Energie  $E_0$  besitzen. Dann lassen sich alle Größen  $E, E', E'' \dots$  durch die eine Größe  $E_0$  ausdrücken. Durch Division von  $E$  durch  $N$ , von  $r'$  durch  $N'$  etc. erhält man dann den stationären Wert der Energie  $U_\nu, U'_\nu, U''_\nu, \dots$  eines einzelnen Resonators einer jeden Gattung, und daraus auch die räumliche Dichtigkeit der dem Spektralbezirk  $\nu$  bis  $\nu + d\nu$  angehörenden strahlenden Energie im diathermanen Medium: [7]

$$u_\nu d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot U_\nu d\nu,$$

wodurch auch die in dem Medium enthaltene Energie bestimmt ist.

Von allen angeführten Größen erscheint jetzt nur noch  $E_0$  als willkürlich gewählt. Man sieht aber leicht, wie auch noch  $E_0$  aus der gegebenen totalen Energie  $E_t$  zu berechnen ist. Denn wenn der gewählte Wert von  $E_0$  etwa einen zu großen Wert von  $E_t$  ergeben sollte, so ist er entsprechend zu verkleinern und umgekehrt.

Nachdem so die stationäre Energieverteilung mit Hilfe der einen Konstante  $h$  ermittelt ist, findet man die entsprechende Temperatur  $\vartheta$  in Celsiusgraden mittels einer zweiten Naturkonstanten  $k = 1,346 \cdot 10^{-16}$  [erg : grad] durch die Gleichung:

$$\frac{1}{\vartheta} = k \frac{d \log \mathfrak{R}_0}{d E_0}.$$

Das Produkt  $k \log \mathfrak{R}_0$  ist die Entropie des Systems der Resonatoren; sie ist die Summe der Entropien aller einzelnen Resonatoren. [8]

Es würde nun freilich sehr umständlich sein, die angegebenen Rechnungen wirklich auszuführen, obwohl es gewiß nicht ohne Interesse wäre, an einem einfachen Fall einmal den so zu erreichenden Grad von Annäherung an die Wahrheit zu prüfen. Viel direkter zeigt eine allgemeinere, genau an der Hand der gegebenen Vorschriften ausgeführte, durchaus mühelose Rechnung [9], daß die auf solche Weise bestimmte Energieverteilung im durchstrahlten Medium dargestellt wird durch den Ausdruck:

$$u_\nu d\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{d\nu}{e^{\frac{h\nu}{k\vartheta}} - 1},$$

welcher genau der von mir früher angegebenen Spektralformel entspricht:

$$E_{\lambda} d\lambda = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda \vartheta}} - 1} \cdot d\lambda.$$

Die formalen Abweichungen sind bedingt durch die Unterschiede in der Definition von  $u_{\nu}$  und  $E_{\lambda}$ . Die obere Formel ist insofern etwas allgemeiner, als sie für ein ganz beliebiges diathermanes Medium mit der Lichtfortpflanzungsgeschwindigkeit  $c$  gilt. Die mitgeteilten Zahlenwerte von  $h$  und  $k$  habe ich aus dieser Formel nach den Messungen von F. Kurlbaum<sup>1)</sup> und von O. Lummer und E. Pringsheim<sup>2)</sup> berechnet. [10]

Ich wende mich noch mit einigen kurzen Bemerkungen zu der Frage nach der Notwendigkeit der angegebenen Deduktion. Daß das für eine Resonatorgattung angenommene Energieelement  $\epsilon$  proportional sein muß der Schwingungszahl  $\nu$ , läßt sich unmittelbar aus dem höchst wichtigen Wienschen sogenannten Verschiebungsgesetz folgern [11]. Die Beziehung zwischen  $u$  und  $U$  ist eine der Grundgleichungen der elektromagnetischen Strahlungstheorie. Im übrigen basiert die ganze Deduktion auf dem einen Satz, daß die Entropie eines Systems von Resonatoren, mit gegebener Energie proportional ist dem Logarithmus der Gesamtzahl der bei dieser Energie möglichen Komplexionen, und dieser Satz läßt sich seinerseits zerlegen in zwei andere: 1. daß die Entropie des Systems in einem bestimmten Zustand proportional ist dem Logarithmus der Wahrscheinlichkeit dieses Zustandes, und 2. daß die Wahrscheinlichkeit eines jeden Zustandes proportional ist der Anzahl der ihm entsprechenden Komplexionen, oder mit anderen Worten, daß irgend eine bestimmte Komplexion ebenso wahrscheinlich ist als irgendeine andere bestimmte Komplexion. Der 1. Satz kommt, auf Strahlungsvorgänge angewandt, wohl nur auf eine Definition der Wahrscheinlichkeit eines Zustandes hinaus, insofern man bei der Energiestrahlung von vornherein gar kein anderes Mittel besitzt, um die Wahrscheinlichkeit zu definieren, als eben die Bestimmung der Entropie. Hier

liegt einer der Unterschiede gegenüber den entsprechenden Verhältnissen in der kinetischen Gastheorie. Der 2. Satz bildet den Kernpunkt der ganzen vorliegenden Theorie; sein Beweis kann in letzter Linie nur durch die Erfahrung geliefert werden. Er läßt sich auch als eine nähere Präzisierung der von mir eingeführten Hypothese der natürlichen Strahlung auffassen, die ich bisher nur in der Form ausgesprochen habe, daß die Energie der Strahlung sich vollkommen „unregelmäßig“ auf die einzelnen in ihr enthaltenen Partialschwingungen verteilt<sup>1)</sup>. Ich beabsichtige die hier nur angedeuteten Ueberlegungen nächstens an anderer Stelle ausführlich mit allen Rechnungen mitzuteilen, zugleich mit einem Rückblick auf die bisherige Entwicklung der Theorie.

Zum Schluß möchte ich noch auf eine wichtige Konsequenz der entwickelten Theorie hinweisen, die zugleich eine weitere Prüfung ihrer Zulässigkeit ermöglicht. Hr. Boltzmann<sup>2)</sup> hat gezeigt, daß die Entropie eines im Gleichgewicht befindlichen einatomigen Gases gleich ist  $\omega R \log \Omega_0$ , wobei  $\Omega_0$  die Anzahl der bei der wahrscheinlichsten Geschwindigkeitsverteilung möglichen Komplexionen (die „Permutabilität“),  $R$  die bekannte Gaskonstante ( $8,31 \cdot 10^7$  für  $O = 16$ ),  $\omega$  das für alle Substanzen gleiche Verhältnis der Masse eines wirklichen Moleküles zur Masse eines g-Moleküles darstellt. [12] Sind nun in dem Gase auch strahlende Resonatoren vorhanden, so ist nach der hier entwickelten Theorie die Entropie des ganzen Systems proportional dem Logarithmus der Zahl aller möglichen Komplexionen, Geschwindigkeiten und Strahlung zusammengenommen. Da aber nach der elektromagnetischen Theorie

<sup>1)</sup> M. Planck, Ann. d. Phys. 1. p. 73. 1900. Wenn Hr. W. Wien in seinem Pariser Rapport (II, p. 38, 1900) über die theoretischen Gesetze der Strahlung meine Theorie der irreversibeln Strahlungsvorgänge deshalb nicht befriedigend findet, weil sie nicht den Nachweis erbringe, daß die Hypothese der natürlichen Strahlung die einzige ist, welche zur Irreversibilität führt, so verlangt er nach meiner Meinung von dieser Hypothese doch wohl etwas zu viel. Denn wenn man die Hypothese beweisen könnte, so wäre es eben keine Hypothese mehr, und man brauchte eine solche überhaupt gar nicht erst aufzustellen. Dann würde man aber auch nichts wesentlich Neues aus ihr ableiten können. Von demselben Standpunkt aus müßte doch wohl auch die kinetische Gastheorie als unbefriedigend erklärt werden, weil der Nachweis noch nicht erbracht ist, daß die atomistische Hypothese die einzige ist, welche die Irreversibilität erklärt, und ein entsprechender Vorwurf dürfte mehr oder minder alle nur auf induktivem Wege gewonnenen Theorien treffen.

<sup>2)</sup> L. Boltzmann, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien (II) 76. p. 428. 1877.

<sup>1)</sup> F. Kurlbaum, Wied. Ann. 65. p. 759. 1898. ( $S_{1,0} - S_0 = 0,0731$  Watt: cm<sup>2</sup>).

<sup>2)</sup> O. Lummer und E. Pringsheim, Verhandl. d. Deutschen Physik. Gesellsch. 2. p. 176. 1900. ( $\lambda_m \vartheta = 2940 \mu \times \text{grad}$ ).

der Strahlung die Geschwindigkeiten der Atome vollkommen unabhängig sind von der Verteilung der strahlenden Energie, so ist die Gesamtzahl der Komplexionen einfach gleich dem Produkte der auf die Geschwindigkeiten und der auf die Strahlung bezüglichen Zahlen, mithin die Gesamtentropie, wenn  $f$  einen Proportionalitätsfaktor bedeutet:

$$f \log (\mathfrak{N}_0 \mathfrak{N}_0) = f \log \mathfrak{N}_0 + f \log \mathfrak{N}_0.$$

Der erste Summand ist die kinetische, der zweite die Strahlungsentropie. Durch Vergleichung mit den vorigen Ausdrücken erhält man hieraus:

$$f = \omega R = k,$$

oder

$$\omega = \frac{k}{R} = 1,62 \cdot 10^{-24},$$

d. h. ein wirkliches Molekül ist das  $1,62 \cdot 10^{-24}$ fache eines g-Moleküles, oder: ein Wasserstoffatom wiegt  $1,64 \cdot 10^{-24}$  g, da  $H = 1,01$ , oder: auf ein g-Molekül eines jeden Stoffes gehen  $\frac{1}{\omega} = 6,175 \cdot 10^{23}$  wirkliche Moleküle. [13] Hr. O. E.

Meyer<sup>1)</sup> berechnet diese Zahl auf  $640 \cdot 10^{21}$ , also nahe übereinstimmend.

Die Loschmidtsche Konstante  $\mathfrak{N}$ , d. h. die Anzahl Gasmoleküle in 1 ccm bei 0° C und 1 Atm. Druck ist: [14]

$$\mathfrak{N} = \frac{1013200}{R \cdot 273 \cdot \omega} = 2,76 \cdot 10^{19}.$$

Hr. Drude<sup>2)</sup> findet  $\mathfrak{N} = 2,1 \cdot 10^{19}$ .

Die Boltzmann-Drude'sche Konstante  $\alpha$  d. h. die mittlere lebendige Kraft eines Atoms bei der absoluten Temperatur 1 ist: [15]

$$\alpha = \frac{3}{2} \omega R = \frac{3}{2} k = 2,02 \cdot 10^{-16}.$$

Hr. Drude<sup>3)</sup> findet  $\alpha = 2,65 \cdot 10^{-16}$ .

Das Elementarquantum der Elektrizität  $e$ , d. h. die elektrische Ladung eines positiven einwertigen Ions oder Elektrons ist, wenn  $\epsilon$  die bekannte Ladung eines einwertigen g-Ions bedeutet: [16]

$$e = \epsilon \omega = 4,69 \cdot 10^{-10} \text{ elektrostatisch.}$$

<sup>1)</sup> O. E. Meyer, Die kinetische Theorie der Gase, 2. Aufl. p. 337. 1899.

<sup>2)</sup> P. Drude, Ann. d. Phys. 1. p. 578. 1900.

<sup>3)</sup> i. v.

Hr. F. Richarz<sup>1)</sup> findet  $1,29 \cdot 10^{-10}$ , Hr. J. J. Thomson<sup>2)</sup> neuerdings  $6,5 \cdot 10^{-10}$ . [17]

Alle diese Beziehungen beanspruchen, wenn die Theorie überhaupt richtig ist, nicht annähernde, sondern absolute Gültigkeit. Daher fällt die Genauigkeit der berechneten Zahlen wesentlich mit derjenigen der relativ unsichersten, der Strahlungskonstanten  $k$ , zusammen, und übertrifft somit bei weitem alle bisherigen Bestimmungen dieser Größen. Ihre Prüfung durch direktere Methoden wird eine ebenso wichtige wie notwendige Aufgabe der weiteren Forschung sein.

## Planck's Determination of Avogadro's Number and of the Elementary Charge

### Planck's Radiation Law

$$u_1 = 8phcI^{-5} \left[ \exp \left\{ \frac{hc}{kIT} \right\} - 1 \right]^{-1}$$

1. By fit to the measurements: Precision determination of Planck's constant  $h$  and Boltzmann's constant  $k$ .
2. Since the gas constant  $R=Nk$  is well known, the Avogadro number  $N$  can be determined.
3. From electrolysis the Faraday constant  $F=Ne$  is known. With the new value of  $N$  the elementary charge  $e$  can be determined precisely.

# Planck's Derivation of his Radiation Law, December 1900

There are  $N$  resonators of frequency  $\nu$ ,  $N'$  of  $\nu'$ , ....

The energy of a resonator is quantized.

The smallest quantum for a resonator of frequency  $\nu$  is

$$\varepsilon = h\nu \quad .$$

A total of  $P$  energy quanta ( $P\varepsilon = E$ ) is distributed among the  $N$  resonators:

resonator 1 carries  $P_1$  quanta, resonator 2 carries  $P_2$  quanta, ...

The number of possibilities to perform this distribution is (if one does **not distinguish** between the quanta, that is, if one does not take into consideration which quantum is associated with which resonator)

$$R = \frac{(N + P)^{N+P}}{N^N P^P} \quad .$$

For all frequencies:

$$\begin{aligned} E_0 &= E + E' + \dots \\ R_0 &= R + R' + \dots \end{aligned} \quad .$$

Among the values of  $R_0$ , which are possible by distributing the energies onto the frequencies, Planck chooses the maximum value, i. e., maximum entropy. From this Planck's radiation law follows.

# Planck 1942



Walther Nernst  
The Third Law of  
Thermodynamics  
(1905)



*W. Nernst*

Walther Nernst  
(1864–1941)  
Nobel Prize  
1920

## Nernst *en route* to Berlin

Walter Nernst, one of the founders of Physical Chemistry, did important work in experiment and theory. Thanks to the invention of an incandescent electric lamp that needed no protective vacuum he was also a rich man.

In 1905 he became Professor of Physical Chemistry in Berlin and moved there from Göttingen.

Still in the same year he postulated the **third heat law**.

He liked to tell that the idea had come to him *during his lecture* in the physico-chemical institute.

1905: Nernst, in his own car, starting with his family (and a mechanics) from Göttingen to Berlin





Nernst  
Lecturing  
in Berlin  
1926

Dampfdruck in mm Hg

Temp	H <sub>2</sub> O	Alkohol	Hg
-20°	0.22	0.55	0.0022
0°	0.6	1.5	0.006
+20°	1.75	4.5	0.0175
+40°	5.5	14	0.055
+60°	15	40	0.15
+80°	35	100	0.35
+100°	100	200	1.00

Dampfdruck in mm Hg

Temp	H <sub>2</sub> O	Alkohol	Hg
-10°	0.3	0.7	0.003
0°	0.6	1.5	0.006
+10°	1.1	2.8	0.011
+20°	1.75	4.5	0.0175
+30°	2.5	6.5	0.025
+40°	3.5	9.0	0.035
+50°	4.8	12.0	0.048
+60°	6.5	16.0	0.065
+70°	8.5	21.0	0.085
+80°	11.0	27.0	0.11
+90°	14.0	35.0	0.14
+100°	18.0	45.0	0.18

Temp

Temp	Alkohol	Hg
-20°	0.0022	0.0022
-10°	0.003	0.003
0°	0.006	0.006
+10°	0.011	0.011
+20°	0.0175	0.0175
+30°	0.025	0.025
+40°	0.035	0.035
+50°	0.048	0.048
+60°	0.065	0.065
+70°	0.085	0.085
+80°	0.11	0.11
+90°	0.14	0.14
+100°	0.18	0.18

# The Third Heat Law

With  $T$  temperature,  $U$  (inner) energy, and  $A$  free energy the second heat law was written by Helmholtz

$$\Delta A - \Delta U = T \frac{d\Delta A}{dT}$$

Taking into account experimental facts, Nernst postulated in the limit  $T \rightarrow 0$

$$\frac{d\Delta A}{dT} \rightarrow 0 \quad , \text{ i.e., } \quad \Delta A \rightarrow \Delta U$$

And therefore 
$$\frac{d\Delta U}{dT} \rightarrow 0$$

**The specific heat vanishes as one approaches absolute zero temperature. Absolute zero itself cannot be reached.**

## Ueber die Berechnung chemischer Gleichgewichte aus thermischen Messungen.

Von

**W. Nernst.**

Mit einer Figur.

Vorgelegt in der Sitzung am 23. Dezember 1905.

Für die Beziehungen zwischen chemischer Energie und Wärmeentwicklung bei chemischen Prozessen glaubte bekanntlich Berthelot eine sehr einfache Lösung gefunden zu haben, indem er beide Größen einander gleichsetzte.

Damit hängt aufs Engste die bereits früher aufgestellte sogenannte Thomsonsche Regel zusammen, wonach die von einem galvanischen Elemente gelieferte elektrische Arbeit der Wärmeentwicklung des stromliefernden Prozesses gleich sein sollte<sup>1)</sup>.

Nachdem man aber zur Bestimmung der chemischen Energie, d. h. der maximalen Arbeit, die von einem chemischen Prozesse geleistet werden kann, zwei Wege aufgefunden hatte, indem man obige Größe einmal aus dem chemischen Gleichgewichte, sodann auch aus der elektromotorischen Kraft reversibler galvanischer Elemente abzuleiten gelernt hatte, da zeigte sich, daß keineswegs jene maximale Arbeit mit der thermochemisch bestimmten Wärmetönung zusammenfällt.

Besonders klar hat dies Helmholtz ausgesprochen, der übrigens bereits vor Berthelot zunächst die Vermutung aufgestellt hatte<sup>2)</sup>, daß die elektromotorische Kraft durch die Wärmetönung gegeben sei (sogen. Regel von Thomson) und der dann später (1882)

1) Vergl. hierzu z. B. Nernst, Theoret. Chemie, vierte Aufl., S. 668 u. 691.

2) Gesetz von der Erhaltung der Kraft. 1847.

# Nernst, Specific Heats, and Quantum Theory



Nernst with Lindemann (later Lord Cherwell)  
1937 in Oxford where he was given an  
honorary doctor degree

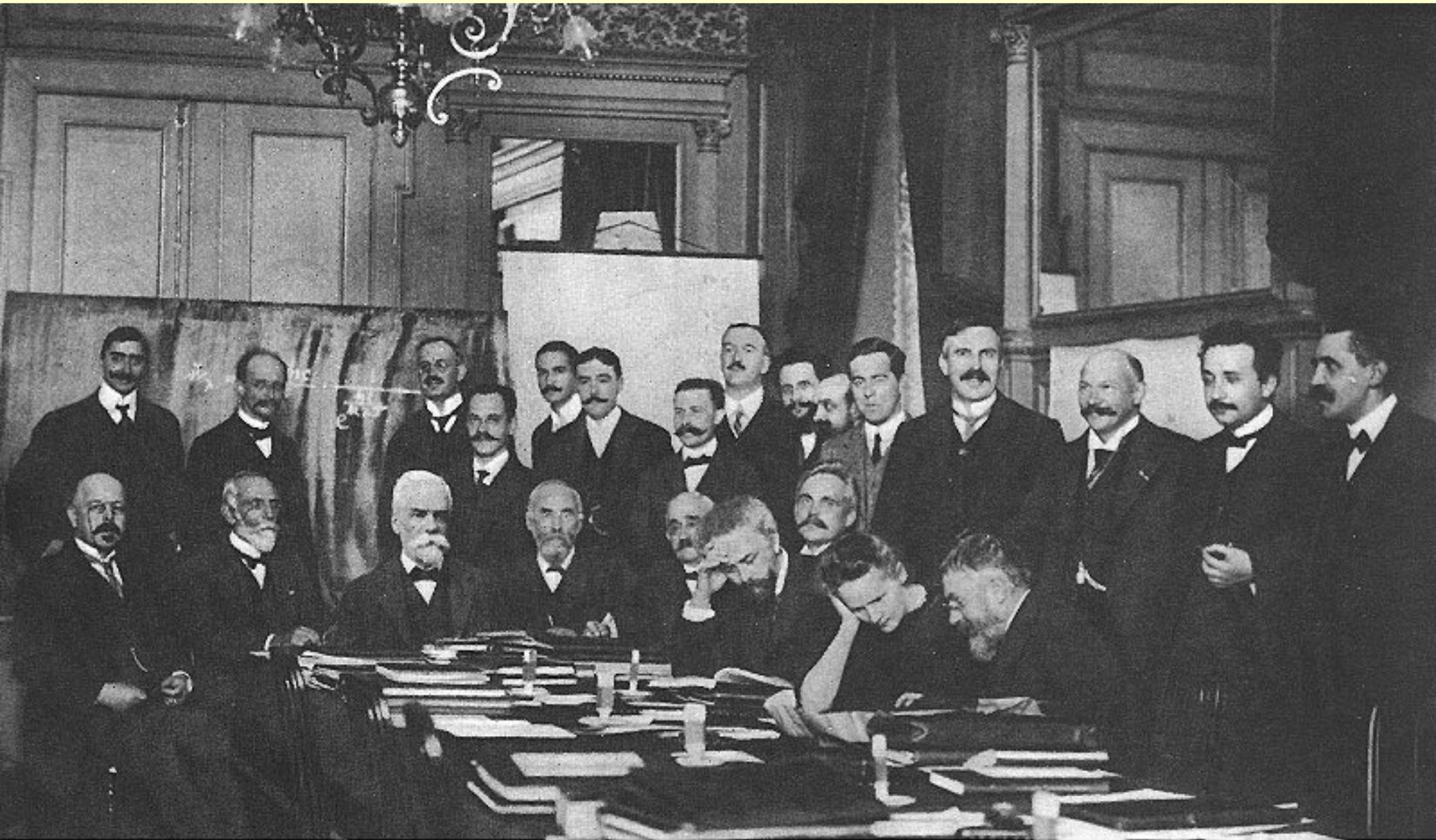
In order to check his heat law, Nernst starts a program to measure specific heat at low temperatures, assisted by Ph.D students and later coworkers, in particular A. Eucken and F.A. Lindemann. (Lindemann later turns the Clarendon Lab in Oxford into a center of low-temperature research. In 1933 he starts a successful initiative to offer jobs to scientists fleeing Germany. He becomes scientific advisor to Churchill and is made Lord Cherwell.)

Nernst becomes very interested in Einstein's theory of 1906 explaining abnormally low specific heats with the help of quantum theory. In 1913 Nernst and Planck travel to Zurich and convince Einstein to move to Berlin.

In 1910 he convinced the Belgian industrialist Solvay to call (and finance) an international scientific conference on the subject *the theory of radiation and the quanta*. The first *Solvay Conference* is held in autumn 1911 in Brussels. (Lorentz chairs the conference, Lindemann is one of the scientific secretaries.

Whereas the first and second heat law find their explanation in *classical statistical mechanics*, the third heat law can only be based on *quantum statistics*. It is a quantum phenomenon.

# The First Solvay Conference 1911 – Initiated by Nernst



GOLDSCHMIDT  
NERNST

PLANCK  
BRILLOUIN

RUBENS  
SOLVAY

LINDEMANN  
SOMMERFELD  
M. DE BROGLIE  
LORENTZ

HASENOHRL  
HOSTELET  
RNUOSEN  
WARBURG  
PERRIN

HERZEN  
WIEN  
Madame CURIE

JEANS  
RUTHERFORD  
POINCARÉ

KAMERLINGH ONNES

EINSTEIN

LANGEVIN

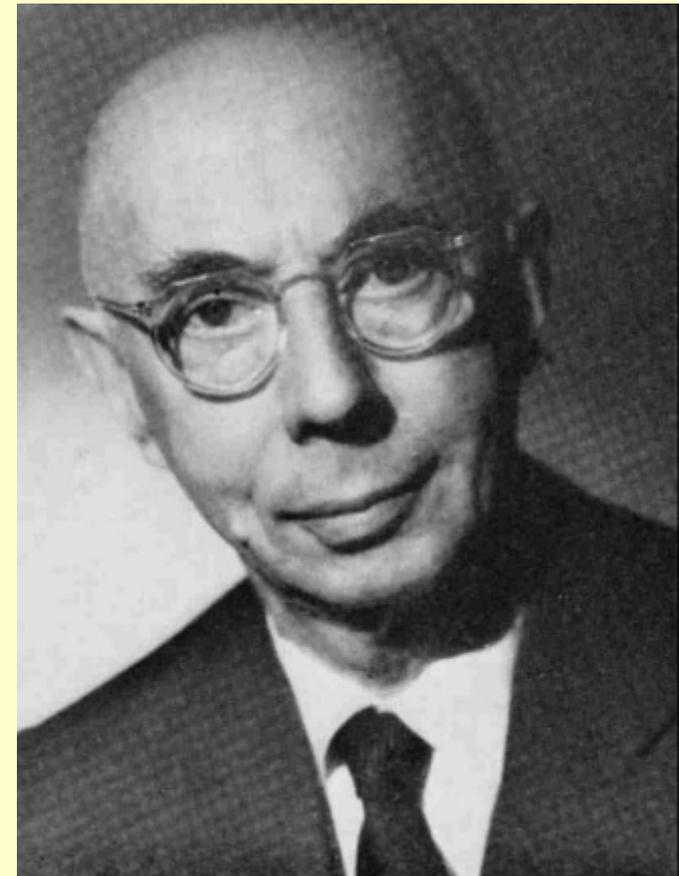
# James Franck and Gustav Hertz

## Measuring Planck's Constant with a Voltmeter (1914)



In 1914 Franck was  
Privatdozent and Hertz was  
assistant in the Physics  
Institute of Rubens and  
Berlin University

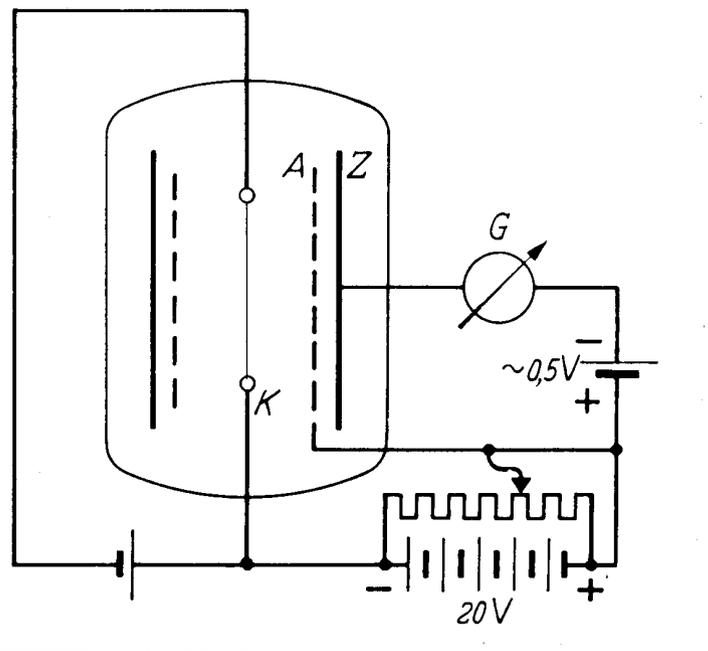
James Franck  
(1882 – 1964),  
Nobel Prize 1925



Gustav Hertz  
(1887 – 1975)  
Nobel Prize 1925

# Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben; von J. Franck und G. Hertz.

(Vorgetragen in der Sitzung vom 24. April 1914.)



## Zusammenfassung.

1. Es wird gezeigt, daß die Elektronen im Quecksilberdampf elastische Zusammenstöße mit den Molekülen erleiden, bis zu einer kritischen Geschwindigkeit.

2. Es wird ein Verfahren beschrieben, diese kritische Geschwindigkeit auf ein Zehntel Volt genau zu messen. Sie ist gleich der Geschwindigkeit, die Elektronen besitzen, die 4,9 Volt durchlaufen haben.

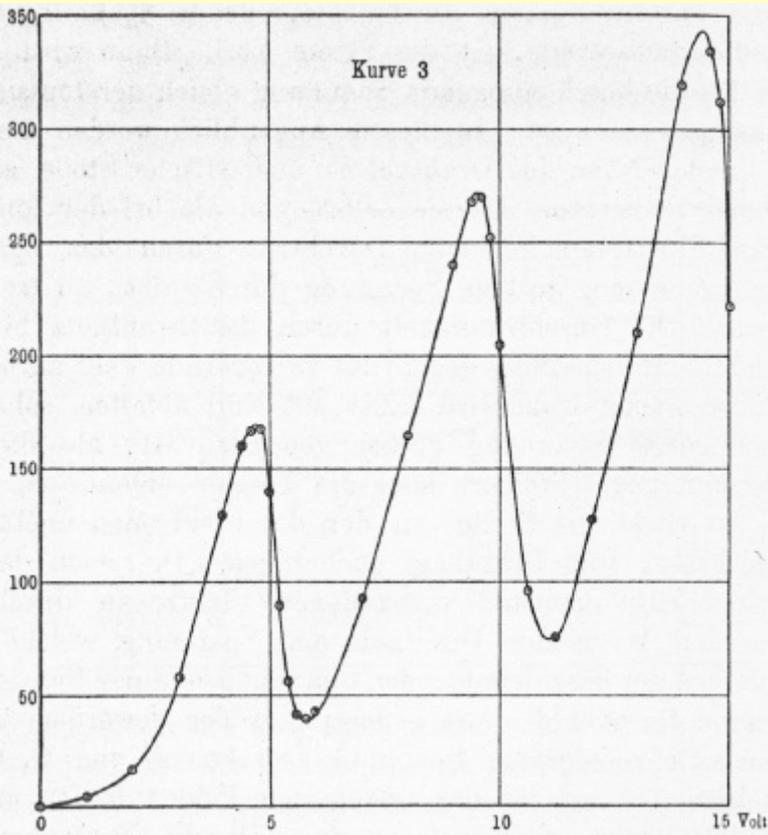
3. Es wird gezeigt, daß die Energie eines 4,9-Voltstrahles genau gleich einem Energiequantum der Quecksilberresonanzlinie  $253,6 \mu\mu$  ist.

4. Es werden die Gründe dafür diskutiert, daß bei der Energieabgabe der 4,9-Voltstrahlen an die Quecksilbermoleküle ein Teil der Stöße zur Ionisation führt, so daß 4,9 Volt die Ionisierungsspannung des Quecksilberdampfes wäre. Ein anderer Teil der Stöße scheint Lichterregung hervorzurufen, von der wir vermuten, daß sie in der Emission der Linie  $253,6 \mu\mu$  besteht<sup>1)</sup>.

Ein Teil der verwandten Apparate, sowie das benutzte Platin ist aus Mitteln der SOLVAY-Stiftung angeschafft, wofür wir unseren besten Dank auszusprechen haben.

Berlin, den 5. Mai 1914. Physik. Institut der Universität.

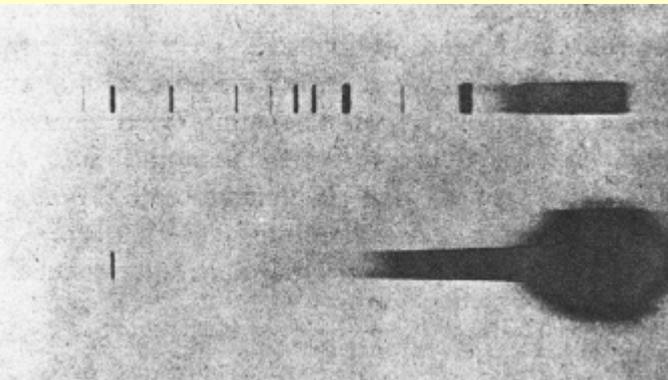
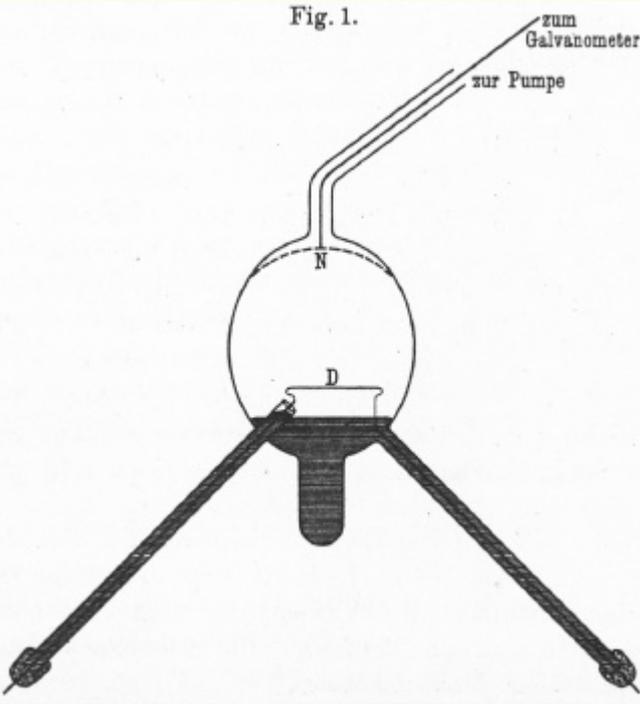
<sup>1)</sup> Anmerkung bei der Korrektur (16. Mai): Wir haben unterdes Versuche angestellt, um die Anregung der Linie  $253,6 \mu\mu$  durch 4,9 Volt-Strahlen nachzuweisen, die in der Tat ein positives Resultat ergaben; wir werden darüber im nächsten Heft der Verhandlungen berichten.



# Über die Erregung der Quecksilberresonanzlinie 253,6 $\mu\mu$ durch Elektronenstöße; von J. Franck und G. Hertz.

(Eingegangen am 21. Mai 1914.)

Fig. 1.



→ *I*

## Zusammenfassung.

Die Ergebnisse unserer beiden Arbeiten über die Zusammenstöße zwischen Elektronen und Quecksilberatomen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die Elektronen werden an den Quecksilberatomen ohne Energieverlust reflektiert, solange ihre kinetische Energie kleiner ist, als der Betrag  $h\nu$ , wobei  $\nu$  die der Resonanzlinie entsprechende Frequenz ist.

2. Sobald die kinetische Energie eines Elektrons den Wert  $h\nu$  erreicht hat, wird bei einem der nächsten Zusammenstöße dieses Energiequantum an das im Atom befindliche Spektrum der Frequenz  $\nu$  übertragen.

3. Die übertragene Energie wird zum Teil zur Ionisation benutzt, zum Teil als Lichtstrahlung der Frequenz  $\nu$  ausgestrahlt.

4. Die Größe  $h$  ergibt sich aus diesen Versuchen zu  $6,59 \cdot 10^{-27}$  erg sec mit einem möglichen Fehler von 2 Proz.

Ein Teil der benutzten Apparate ist aus Mitteln der Solvay-Stiftung angeschafft, wofür wir bestens zu danken haben.

Berlin, Physikalisches Institut der Universität, 18. Mai 1914.

# The Reaction of Niels Bohr



Niels Bohr

(1885 - 1962)

Nobel Prize 1922

Bohr had published his theory of stationary states of the atom in 1913.

In a paper *On the Quantum Theory of Radiation and the Structure of the Atom*, published in *Phil. Mag.* 30 (1915) 394, he interprets the potential of 4.9 Volts found by Franck and Hertz as **excitation rather than ionization potential**.

Similar considerations may possibly apply also to the recent remarkable experiments of Franck and Hertz on ionization in mercury vapour †. These experiments show strikingly that an electron does not lose energy by collision with a mercury atom if its energy is smaller than a certain value corresponding to 4.9 volts, but as soon as the energy is equal to this value the electron has a great probability of losing all its energy by impact with the atom. It was further shown that the atom, as the result of such an impact, emits a radiation consisting only of the ultraviolet mercury line of wave-length 2536, and it was pointed out that if the frequency of this line is multiplied by Planck's constant, we obtain a value which, within the limit of experimental error, is equal to the energy acquired by an electron by a fall through a potential difference of 4.9 volts. Franck and Hertz assume that 4.9 volts corresponds to the energy necessary to remove an electron from the mercury atom, but it seems that their experiments may possibly be consistent

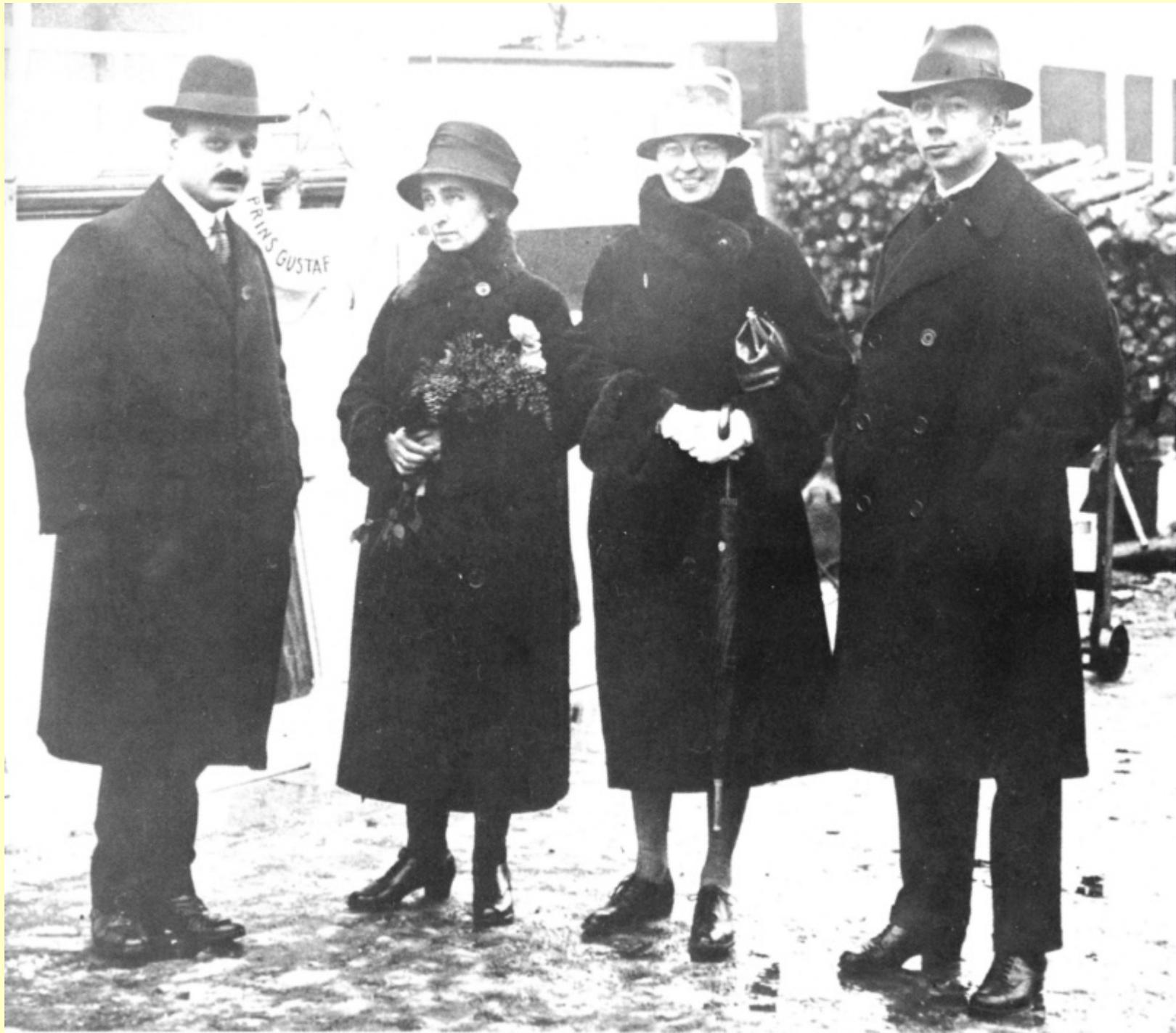
with the assumption that this voltage corresponds only to the transition from the normal state to some other stationary state of the neutral atom. On the present theory we should expect that the value for the energy necessary to remove an electron from the mercury atom could be calculated from the limit of the single line series of Paschen, 1850, 1403, 1269 \*. For since mercury vapour absorbs light of wave-length 1850 †, the lines of this series as well as the line 2536 must correspond to a transition from the normal state of the atom to other stationary states of the neutral atom (see I. p. 16). Such a calculation gives 10.5 volts for the ionization potential instead of 4.9 volts ‡. If the above considerations are correct it will be seen that Franck and Hertz's measurements give very strong support to the theory considered in this paper. If, on the other hand, the ionization potential of mercury should prove to be as low as assumed by Franck and Hertz, it would constitute a serious difficulty for the above interpretation of the Rydberg constant, at any rate for the mercury spectrum, since this spectrum contains lines of greater frequency than the line 2536.

\* Franck & Hertz, *Verh. d. D. Phys. Ges.* xv. p. 34 (1913).

† Cuthbertson, *Proc. Roy. Soc. A.* lxxxiv. p. 13 (1910).

‡ Franck and Hertz, *Verh. d. D. Phys. Ges.* xvi. pp. 457, 512 (1914).

# Franck and Hertz with their Wives in Stockholm 1926



# Albert Einstein in Berlin (1914 – 1932)



Albert Einstein (1879 -- 1955), Nobel Prize 1921

In his apartment in Haberlandstraße 5

# Einstein in Berlin

From 1914 to 1933 Einstein held a triple position in Berlin

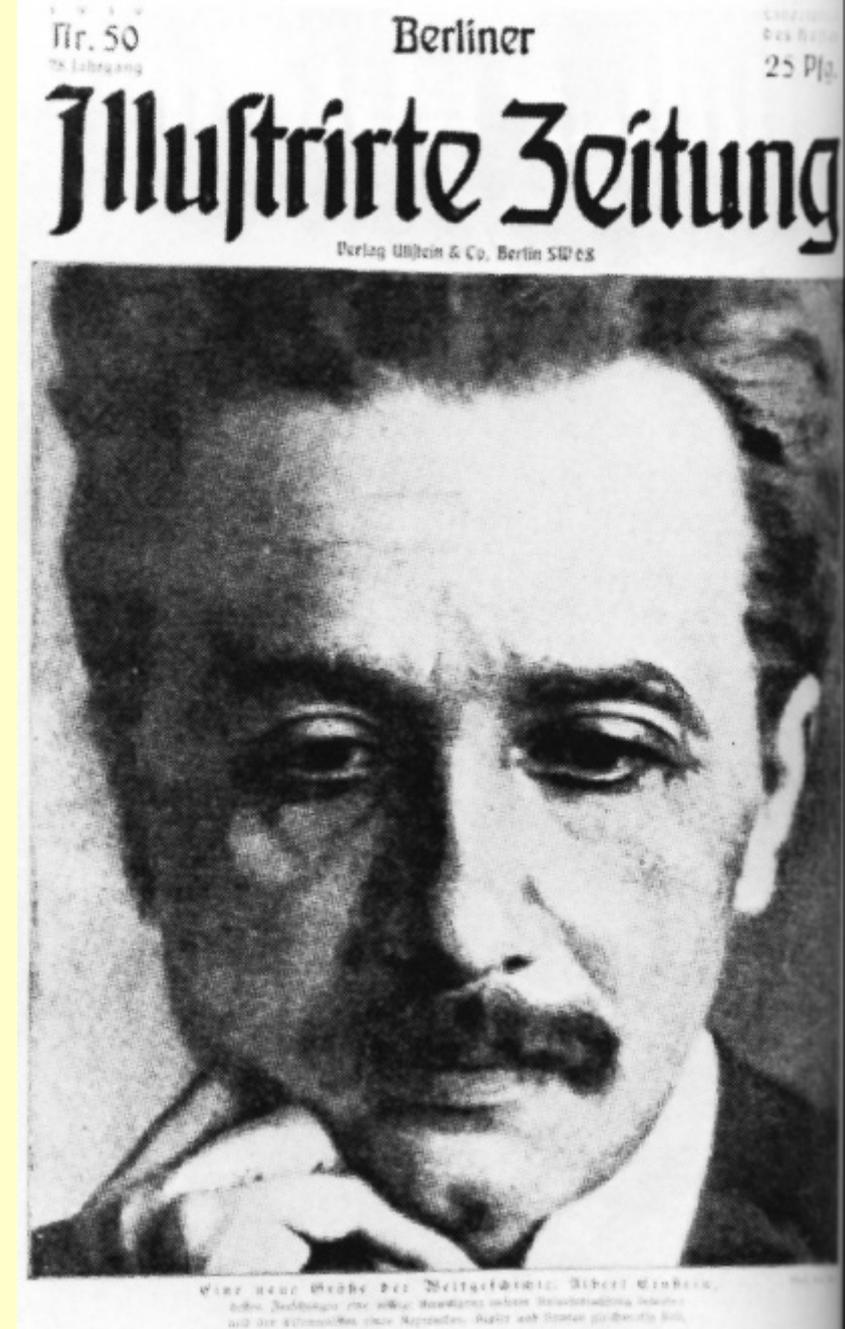
- a paid position within the **Prussian Academy of Sciences**
- a professorship at **Berlin Univ.** without obligation to teach
- directorship of the **KWI of Physics** (the institute began to work only in 1917)

In addition he worked in various capacities for the **PTR**. For several years he was president of the **German Physical Society**.

## Einstein's main achievements in Berlin:

- **general relativity completed**
- **motion of perihelion of Mercury**
- **bending of light by stars**
- **A and B coefficients in radiative transitions**
- **Einstein – de Haas effect**
- **Bose – Einstein statistics**

During the war years (1914 – 1918) alone, Einstein published about 50 papers and one book



Berlin Illustrated Paper of December 14, 1919.  
Einstein on the cover after Eddington's  
successful expedition

# Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie.

## A. Prinzipielle Erwägungen zum Postulat der Relativität.

### §1. Die spezielle Relativitätstheorie.

Die im nachfolgenden dargelegte Theorie bildet die denkbar weitgehendste Verallgemeinerung der heute allgemein als Relativitätstheorie bezeichneten Theorie; die Teile im folgenden, speziell Relativitätstheorie und setze sie als bekannt voraus. Diese Verallgemeinerung wurde sehr erleichtert durch die Gestalt, welche der speziellen Relativitätstheorie durch Minkowski gegeben wurde, welcher Mathematiker zuerst die formale Gleichwertigkeit der räumlichen <sup>Koordinaten</sup> und der Zeitkoordinate klar erkannte und für den Aufbau der Theorie nutzbar machte. Die für die allgemeine Relativitätstheorie nötigen mathematischen Hilfsmittel lagen fertig bereit in dem „absoluten Differentialkalkül“, welcher auf den Forschungen von Gauss, Riemann und Christoffel über nichteuklidische Mannigfaltigkeiten ruht und von Ricci und Levi-Civita in ein System gebracht und bereits für die Probleme der theoretischen Physik angewendet wurde. Ich habe im Abschnitt B der vorliegenden Abhandlung alle für uns nötigen, bei dem Physiker nicht als bekannt vorauszusetzenden mathematischen Hilfsmittel so weit als möglich einfacher und durchsichtiger Weise entwickelt, sodass ein Studium mathematischer Literatur für das Verständnis der vorliegenden Abhandlung nicht erforderlich ist. Endlich sei an dieser Stelle dankbar meines Freundes, des Mathematikers Grossmann, gedacht, der mir durch seine Hilfe nicht nur das Studium der einschlägigen mathematischen Literatur ersparte, sondern mich auch beim Suchen nach den Feldgleichungen der Gravitation unterstützte.

## A. Prinzipielle Erwägungen zum Postulat der Relativität.

### §1. Die spezielle Relativitätstheorie.

Die spezielle Relativitätstheorie <sup>theorie</sup> beruht auf dem folgenden Postulat, welches auch durch die Galilei-Newton'sche Mechanik Genüge geleistet wird: Wird ein Koordinatensystem  $K$  so gewählt, dass in Bezug auf dasselbe die physikalischen Gesetze in ihrer einfachsten Form gelten, so gelten dieselben Gesetze auch in Bezug auf jedes andere Koordinatensystem  $K'$ , das relativ zu  $K$  in gleichförmiger Translationsbewegung begriffen ist. Das Postulat nennen wir  $R_0$ , spezielles Relativitätsprinzip. Durch das Wort „speziell“ soll angedeutet werden, dass das Prinzip auf den

# ANNALEN DER PHYSIK

## VIERTE FOLGE. BAND 49.

### 1. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie; von A. Einstein.

Die im nachfolgenden dargelegte Theorie bildet die denkbar weitgehendste Verallgemeinerung der heute allgemein als „Relativitätstheorie“ bezeichneten Theorie; die letztere nenne ich im folgenden zur Unterscheidung von der ersteren „spezielle Relativitätstheorie“ und setze sie als bekannt voraus. Die Verallgemeinerung der Relativitätstheorie wurde sehr erleichtert durch die Gestalt, welche der speziellen Relativitätstheorie durch Minkowski gegeben wurde, welcher Mathematiker zuerst die formale Gleichwertigkeit der räumlichen Koordinaten und der Zeitkoordinate klar erkannte und für den Aufbau der Theorie nutzbar machte. Die für die allgemeine Relativitätstheorie nötigen mathematischen Hilfsmittel lagen fertig bereit in dem „absoluten Differentialkalkül“, welcher auf den Forschungen von Gauss, Riemann und Christoffel über nichteuklidische Mannigfaltigkeiten ruht und von Ricci und Levi-Civita in ein System gebracht und bereits auf Probleme der theoretischen Physik angewendet wurde. Ich habe im Abschnitt B der vorliegenden Abhandlung alle für uns nötigen, bei dem Physiker nicht als bekannt vorauszusetzenden mathematischen Hilfsmittel in möglichst einfacher und durchsichtiger Weise entwickelt, so daß ein Studium mathematischer Literatur für das Verständnis der vorliegenden Abhandlung nicht erforderlich ist. Endlich sei an dieser Stelle dankbar meines Freundes, des Mathematikers Grossmann, gedacht, der mir durch seine Hilfe nicht nur das Studium der einschlägigen mathematischen Literatur ersparte, sondern mich auch beim Suchen nach den Feldgleichungen der Gravitation unterstützte.

“Prof.  
Albert Einstein  
fiddling”



*Prof. Albert Einstein geigend*

*Orlik*

Drawing entitled “*Prof. Albert Einstein geigend*” by the Berlin Artist  
Emil Orlik (1870–1932)

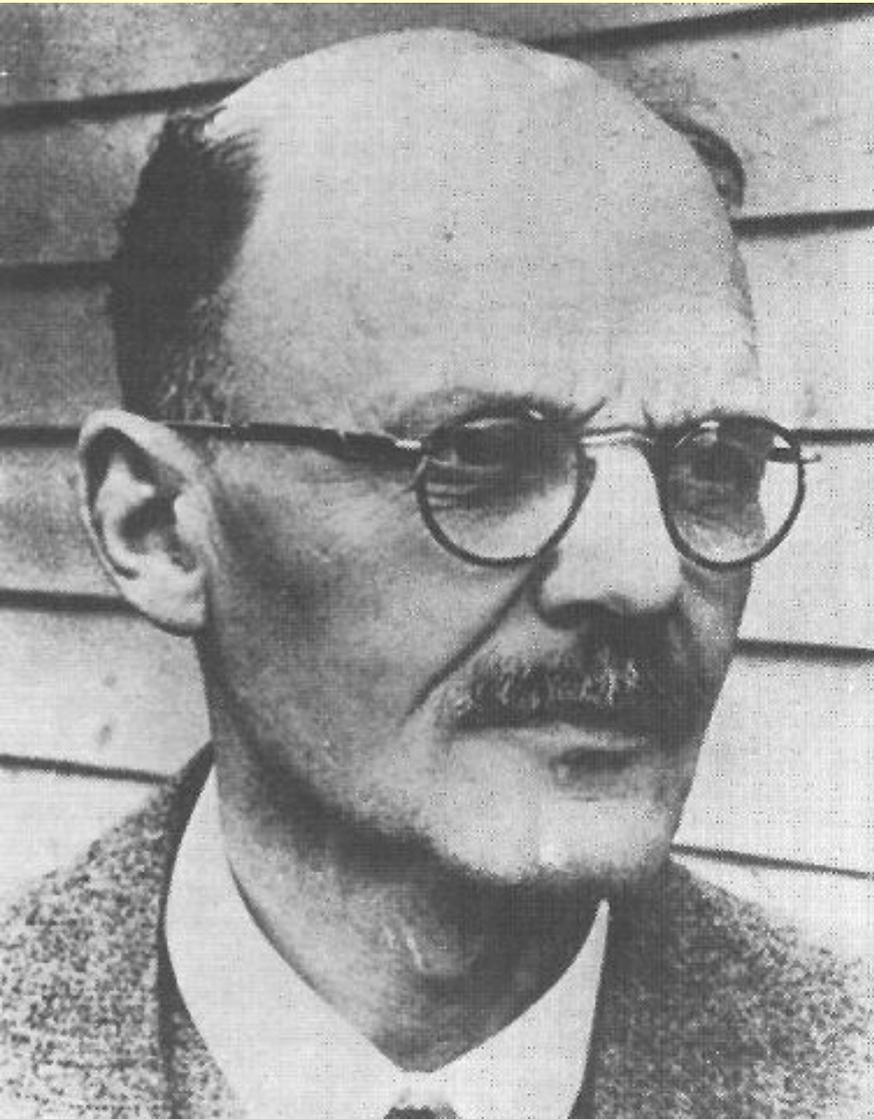
The solar  
Observatory  
(Einstein Tower)  
in Potsdam



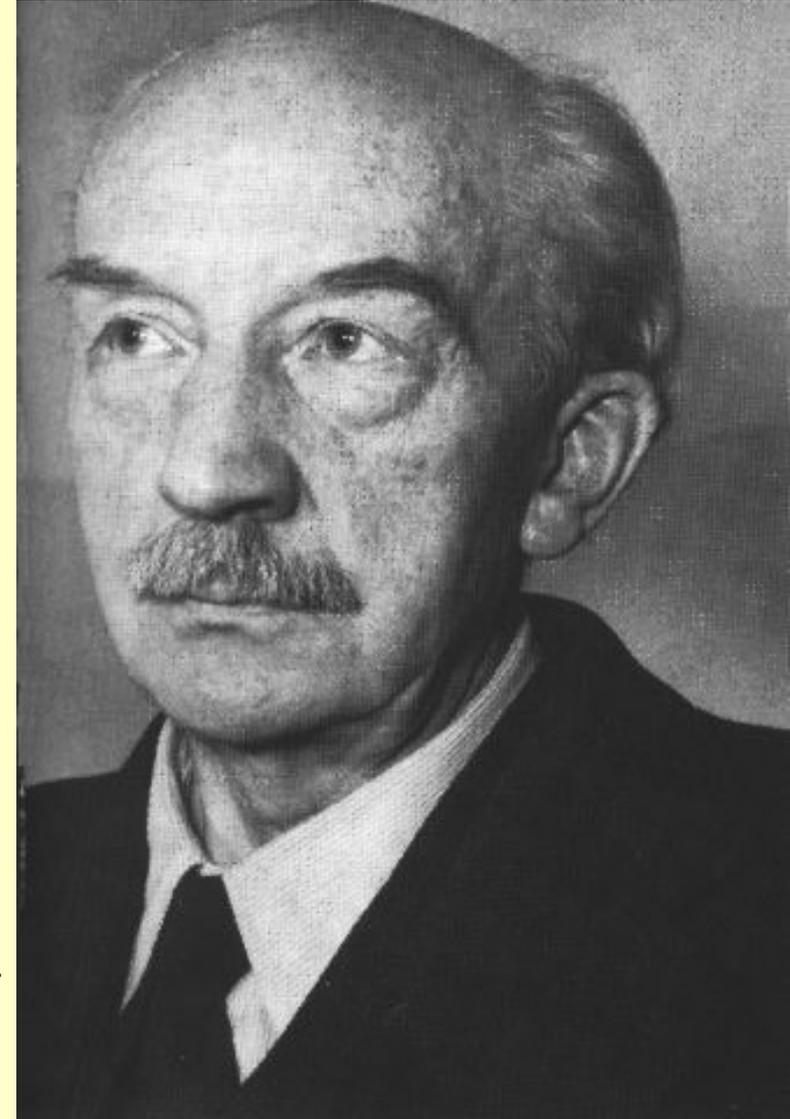
Einstein's summer house  
in Caputh near Potsdam

# Walther Bothe and Hans Geiger

## The Last Word on Compton Scattering and the Coincidence Method (1925)



Hans Geiger  
(1882 - 1945)



Walther Bothe  
(1891 - 1957)  
Nobel Prize 1954

# Different Interpretations of the Compton Effect

## The Nature of the Light Quantum



Arthur H. Compton  
(1892 – 1962)  
Nobel Prize 1927

**1923** Compton discovers the Compton effect and interpretes it as elastic scattering of a light quantum and an electron. Both are particles having energy and momentum.

At the time most physicists still attribute the quantum nature of light to the interaction of electromagnetic waves with matter and not to electromagnetic waves themselves.

**1924** Bohr, Kramers and Slater propose a theory of the Compton effect in which energy and momentum conservation and even causality do not hold in every individual scattering process but only in statistical average.

**1925** Bothe and Geiger show that the secondary electron and the secondary photon appear simultaneously and that therefore causality holds. *The nature of the light quantum as particle is established.*

At the time Geiger was director and Bothe was scientific member of the radiation laboratory of the PTR.

The experiment by Bothe and Geiger is the first electronic *coincidence experiment*. The signals of the two Geiger needle counters were recorded side by side on film. The coincidence in time could then be established later by eye to within a few tenths of a millisecond. Bothe later refined the coincidence method by using electronic circuits. It is now at the heart of all electronic nuclear and particle physics experiments



Niels Bohr Archive

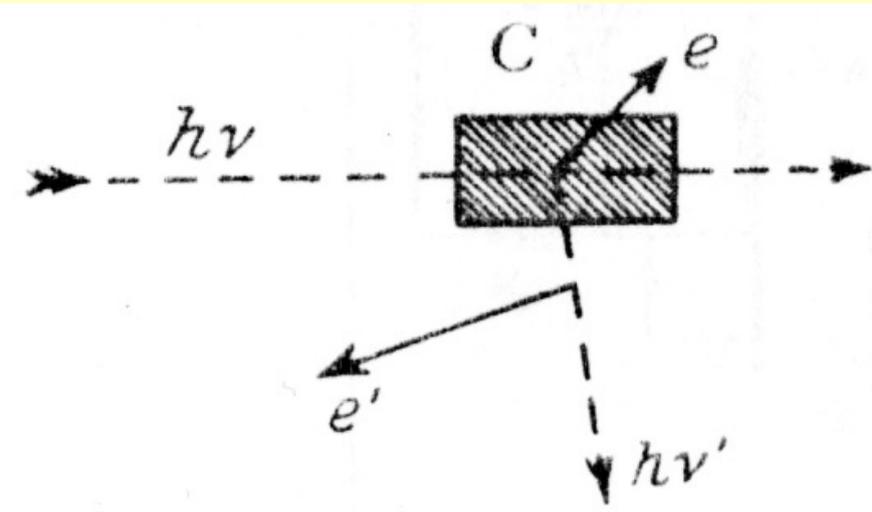
Bohr in 1925

# Über das Wesen des Comptoneffekts: ein experimenteller Beitrag zur Theorie der Strahlung.

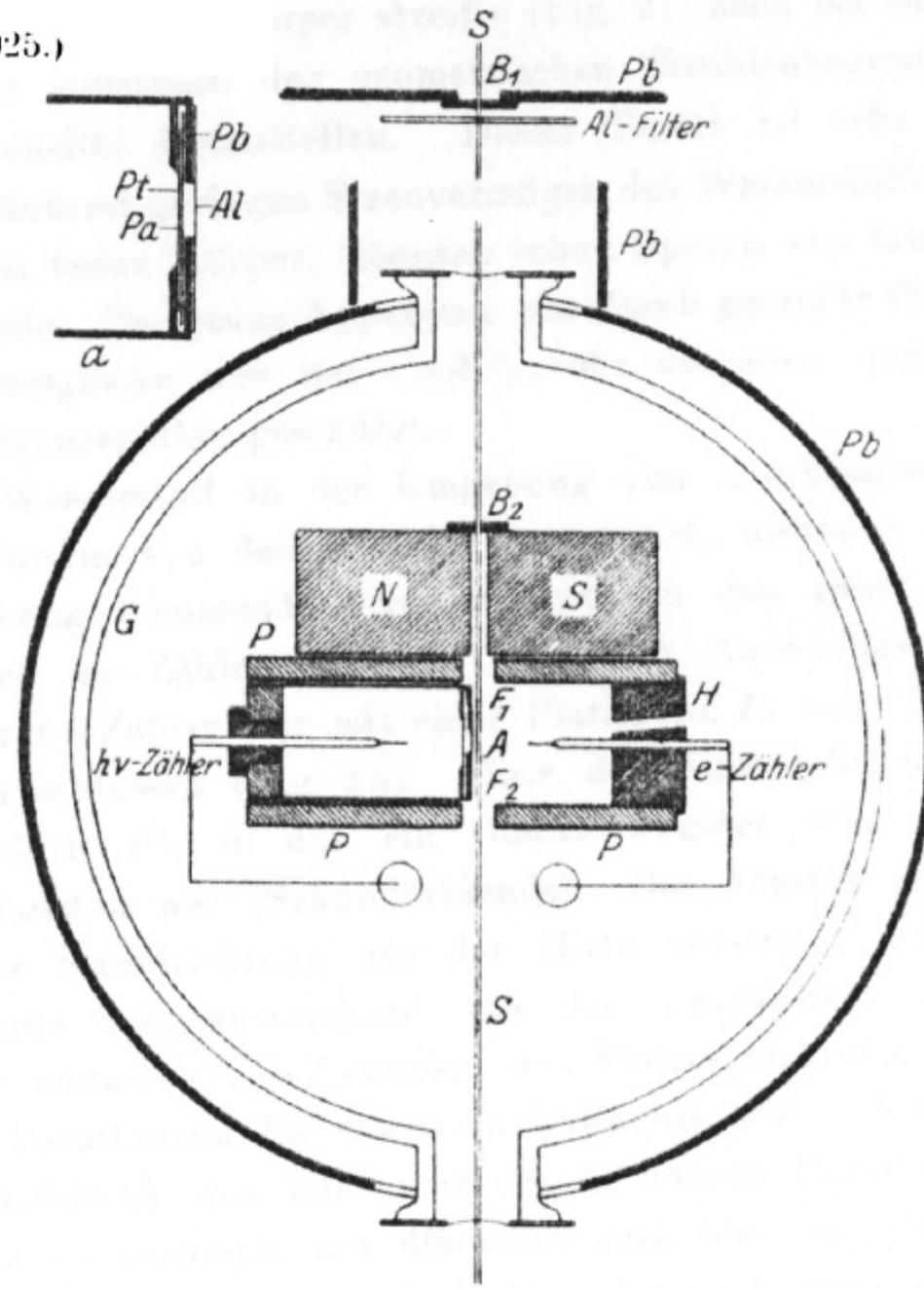
Von **W. Bothe** und **H. Geiger** in Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Mit neun Abbildungen. (Eingegangen am 25. April 1925.)



The electron of the primary Compton effect, produced in the gas of one counter by a photon from an X-ray source, is recorded as a signal in that counter. The secondary photon can traverse a thin window to a second counter where it may again produce a Compton effect which produces a signal there.



Example of a coincidence. The broad white lines show the signals in the two counters as a function of time.

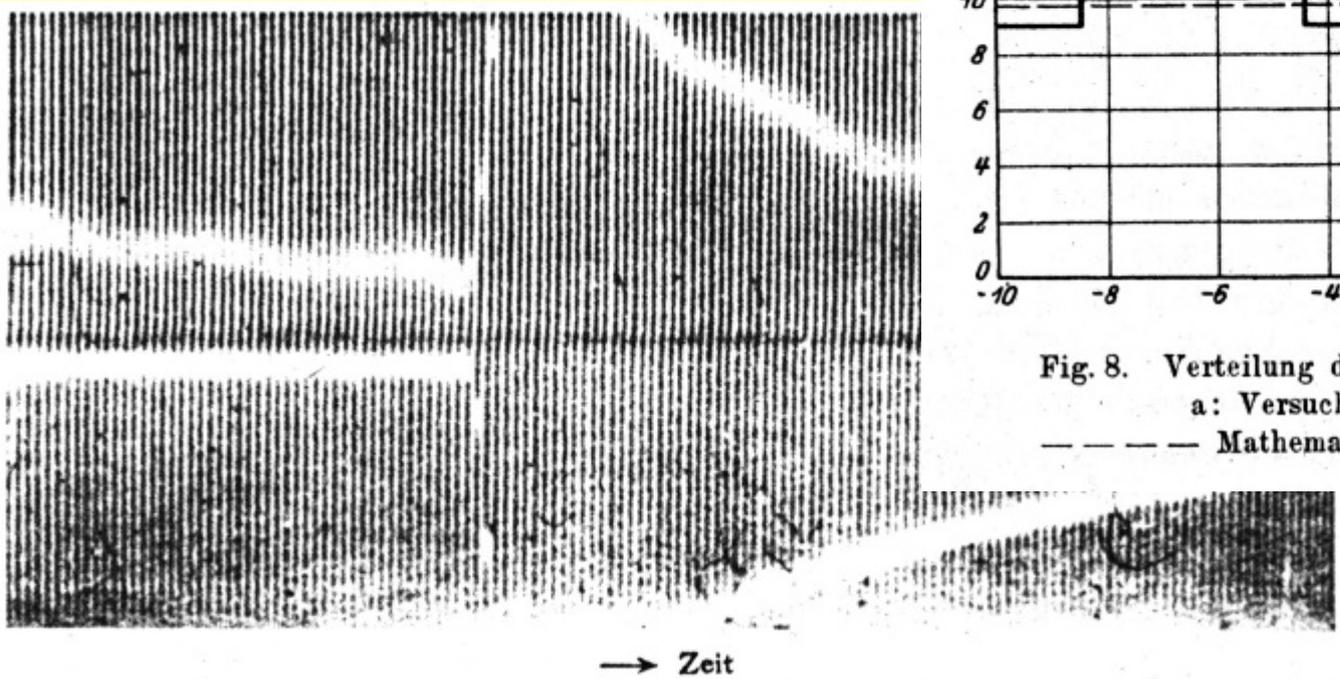


Fig. 7. Beispiel einer Koinzidenz. Streifenabstand  $\frac{1}{1000}$  Sekunde. Oben  $e$ -Ausschläge, unten  $h\nu$ -Ausschlag.

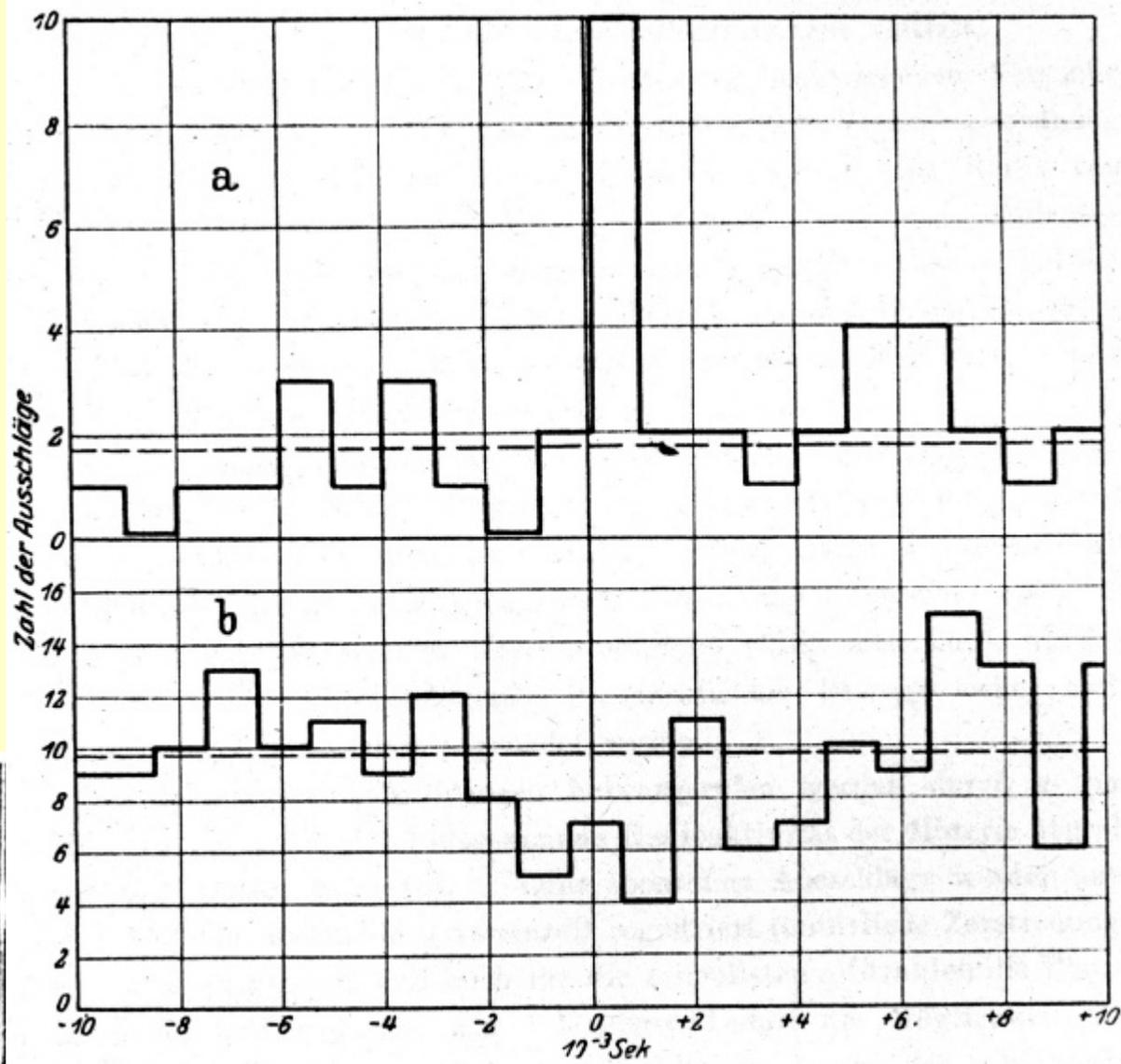
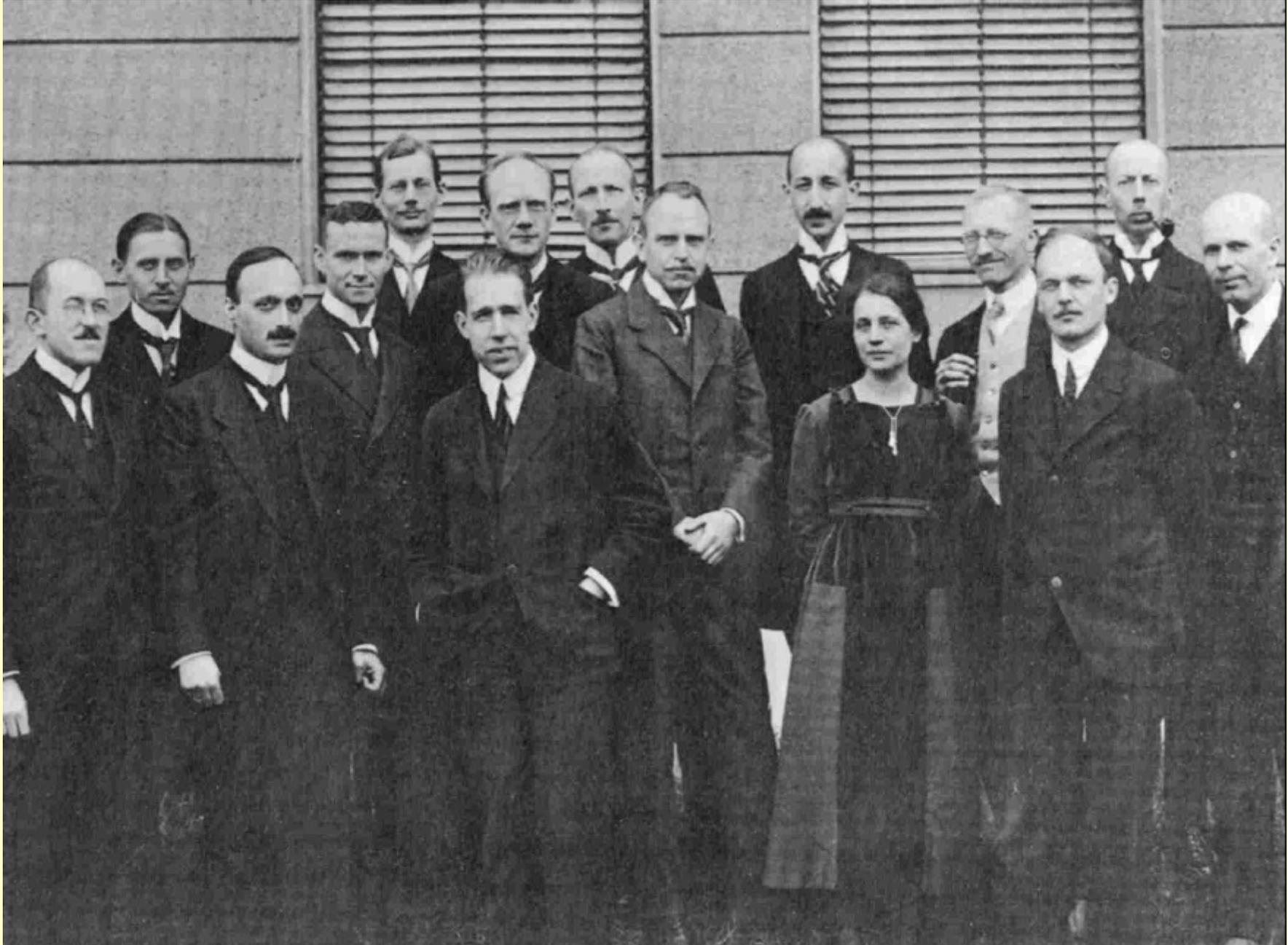


Fig. 8. Verteilung der Abstände zwischen  $e$ - und  $h\nu$ -Ausschlägen  
 a: Versuchsgruppe III. b: Blindversuch 13d.  
 - - - - - Mathematische Erwartung bezogen auf  $\frac{1}{1000}$  Sekunde.

Histogram of time differences.

# Berlin Life in the Twenties and Early Thirties



Stern, Lenz, Franck, Ladenburg, Knipping, Bohr, Wagner, von Baeyer, Hahn, von Hevesy, Meitner, Westphal, Geiger, Hertz, Pringsheim ([Colloquium by Niels Bohr 1920](#))

## Berlin Physicists and Chemists in 1921, Including Five (Future) Nobel Laureates



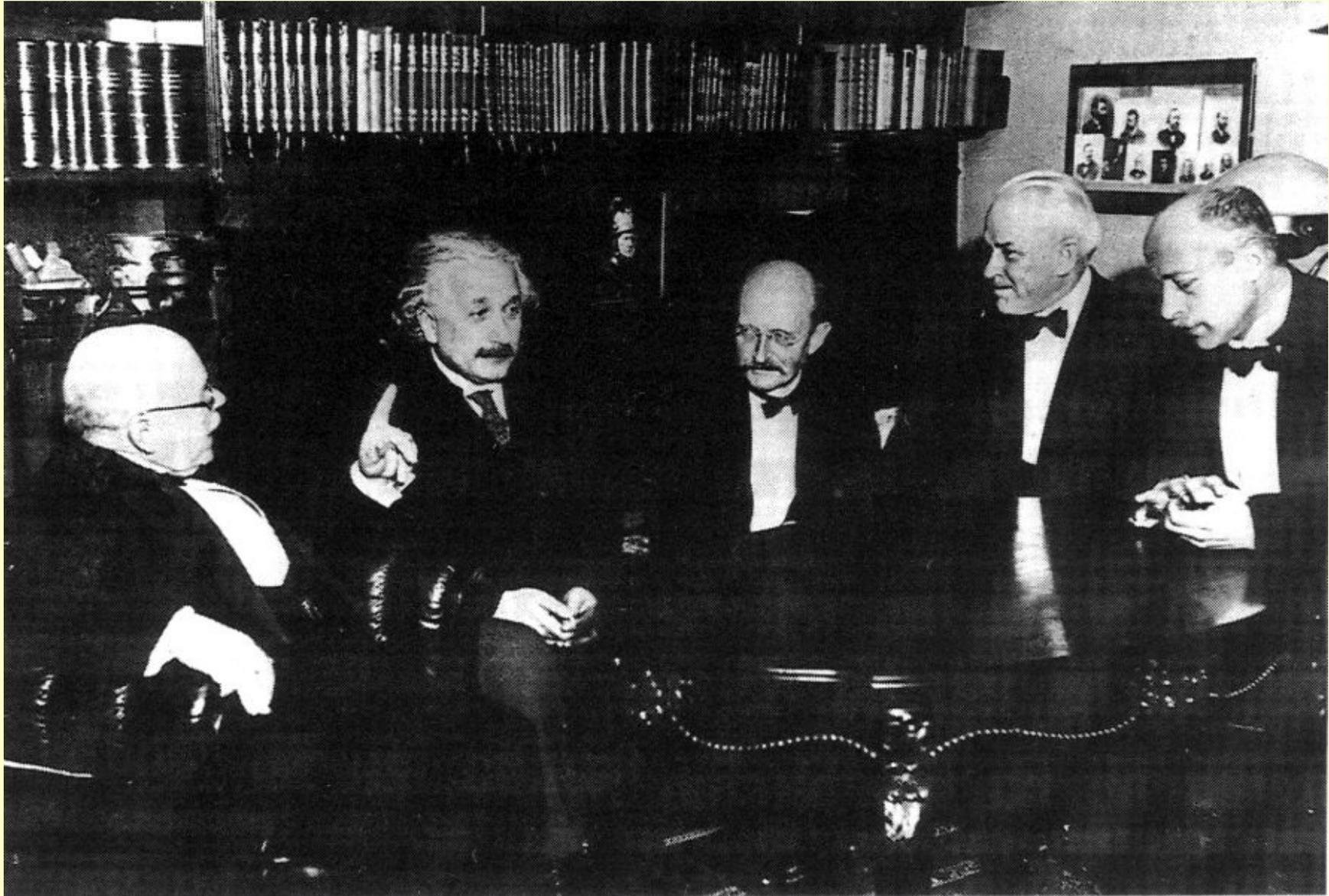
Walther Grotian, Wilhelm Westphal, Otto von Baeyer, Peter Pringsheim, **Gustav Hertz**

**Albert Einstein**

**Fritz Haber**

Hertha Sponer, Mrs. Franck, **James Franck**, Lise Meitner, **Otto Hahn**

## Berlin Nobel Laureates with Guest



**Nernst**

**Einstein**

**Planck**

**Millikan von Laue**

## Schrödinger in Berlin

Lecture at  
Berlin  
University

Being introduced by Max Planck in 1929  
as member of the Prussian Academy



# Schrödinger's Signatures in the "Studienbuch" (Lecture Record) of...

8. tes Studiensem. 3. tes Semest. a. d. Univ. Berlin		
Eigenhändige Eintragung des Lehrers		
Anmeldung und Datum	Platznummer	Abmeldungen und Datum
I	II	III
1 Johannes 21. 12. 11.		G. Gubbins 4. Feb. 1932
2 Johannes 21. 12. 11.		G. Gubbins 4. Feb. 1932
3 Schrödinger 14. 12. 31.		Schrödinger 24. 2. 32
4 Schrödinger 14. 12. 31.		Schrödinger 24. 2. 32
5		
6 Traube 16. 12.		

7  
 8  
 9  
 10  
 11  
 12

Bescheinigung über Verg  
 Name  
 Brandt Maria  
 Essen  
 Name  
 Brandt Maria  
 Essen

Laufschriftzettel B  
 Konto Berlin  
 Nr. 712 28  
 Buchungsart  
 64  
 Reichsmark  
 80  
 Brandt Maria  
 Essen  
 BERLIN  
 29 2 39  
 1

Nicht ausstellen	WL Semest. 1931/2	Belegbuchblatt	Kass.-Nr.	Nicht ausstellen
Erh. Betr. bei 1/4 Hon. Erl. 20. 11. 1931	Lehrer	Vorlesung	Woch. Std.	Betrag im 26. 1931
IV	Prof. Gubbins	Physik in der Natur und in der Technik	4	10
	Prof. Gubbins	Spannungsgleichgewichte	1	5
	Prof. Gubbins	Erleuchtung I	4	10
	Prof. Gubbins	Spannungsgleichgewichte	1	-
	Prof. Gubbins	Spannungsgleichgewichte	1	-
	Prof. Traube	Spannungsgleichgewichte	1	10
	Prof. Traube	Spannungsgleichgewichte	1	10
	Prof. Traube	Spannungsgleichgewichte	2	5
	Prof. Traube	Spannungsgleichgewichte	4	10
	Prof. Traube	Spannungsgleichgewichte	4	20
	Prof. Traube	Spannungsgleichgewichte	2	5

13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

135 RM gestundet  
 80  
 + 5  
 85  
 Gesamtbetrag  
 5,-  
 Stud-gebühr  
 Gesamtbetrag  
 80 00  
 135,- gest.  
 150  
 135,- gest.  
 80 00

... the Berlin Student Maria Brandt, Mother of the  
Lecturer of the Present Talk

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

Studienbuch

für

*Fräulein* ~~Herrn~~ *Maria Brandt, geb. Emschermann*  
Fräulein (Vor- und Zunamen)

geboren am *5. VIII 07*

zu *Essen, Provinz*  
(Ort, Provinz und Staat)

staatsangehörig in *Preußen*  
(Staat)

Fakultät: *Philosophische*

Studienfach: *Physik*



Maria Brandt with son Sigmund, Berlin 1936

# Otto Hahn, Lise Meitner, and Fritz Straßmann

## Nuclear Fission (1938)



Lise Meitner (1878 – 1968)

Otto Hahn (1879 – 1968)  
Nobel Prize 1944



Fritz Straßmann (1902 – 1980)



**Otto Hahn** studied chemistry in Marburg, worked with Ramsay in London and Rutherford in Montreal (1902 – 1904), joined the Chemical Institute on Berlin Univ. (1906) and the newly founded KWI for Chemistry in 1912.

**Lise Meitner** studied physics in Vienna, started working with Hahn in 1906, became Scientific Member of KWI in 1913 and extraordinary Prof. At Berlin Univ. in 1926. When Austria was annexed in 1938 she lost her protection as foreigner from the Nazi laws and fled via Holland to Sweden just before the decisive experiments began.

**Fritz Straßmann** studied chemistry in Hanover, joined the KWI in 1929, first on a fellowship, then unpaid, and later as assistant.

Hahn and Meitner 1908 in their laboratory in the Chemical Institute of Berlin Univ.



## Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction

On bombarding uranium with neutrons, Fermi and collaborators<sup>1</sup> found that at least four radioactive substances were produced, two of which atomic numbers larger than 92 were ascribed. Further investigations<sup>2</sup> demonstrated the existence of at least nine radioactive periods, six of which were assigned to elements beyond uranium, and nuclear isomerism had to be assumed in order to account for their chemical behaviour together with their genetic relations.

In making chemical assignments, it was always assumed that these radioactive bodies had atomic numbers near that of the element bombarded, since only particles with one or two charges were known to be emitted from nuclei. A body, for example, with similar properties to those of osmium was assumed to be eka-osmium ( $Z = 94$ ) rather than osmium ( $Z = 76$ ) or ruthenium ( $Z = 44$ ).

Following up an observation of Curie and Savitch<sup>3</sup>, Hahn and Strassmann<sup>4</sup> found that a group of at least three radioactive bodies, formed from uranium under neutron bombardment, were chemically similar to barium and, therefore, presumably isotopic with radium. Further investigation<sup>5</sup>, however, showed that it was impossible to separate these bodies from barium (although mesothorium, an isotope of radium, was readily separated in the same experiment), so that Hahn and Strassmann were forced to conclude that isotopes of barium ( $Z = 56$ ) are formed as a consequence of the bombardment of uranium ( $Z = 92$ ) with neutrons.

At first sight, this result seems very hard to understand. The formation of elements much below uranium has been considered before, but was always rejected for physical reasons, so long as the chemical evidence was not entirely clear cut. The emission, within a short time, of a large number of charged particles may be regarded as excluded by the small penetrability of the 'Coulomb barrier', indicated by Gamov's theory of alpha decay.

On the basis, however, of present ideas about the behaviour of heavy nuclei<sup>6</sup>, an entirely different and essentially classical picture of these new disintegration processes suggests itself. On account of their close packing and strong energy exchange, the particles in a heavy nucleus would be expected to move in a collective way which has some resemblance to the movement of a liquid drop. If the movement is made sufficiently violent by adding energy, such a drop may divide itself into two smaller drops.

In the discussion of the energies involved in the deformation of nuclei, the concept of surface tension of nuclear matter has been used<sup>7</sup> and its value has been estimated from simple considerations regarding nuclear forces. It must be remembered, however,

that the surface tension of a charged droplet is diminished by its charge, and a rough estimate shows that the surface tension of nuclei, decreasing with increasing nuclear charge, may become zero for atomic numbers of the order of 100.

It seems therefore possible that the uranium nucleus has only small stability of form, and may, after neutron capture, divide itself into two nuclei of roughly equal size (the precise ratio of sizes depending on finer structural features and perhaps partly on chance). These two nuclei will repel each other and should gain a total kinetic energy of c. 200 Mev., as calculated from nuclear radius and charge. This amount of energy may actually be expected to be available from the difference in packing fraction between uranium and the elements in the middle of the periodic system. The whole 'fission' process can thus be described in an essentially classical way, without having to consider quantum-mechanical 'tunnel effects', which would actually be extremely small, on account of the large masses involved.

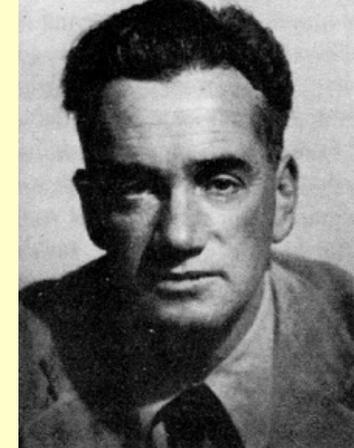
After division, the high neutron/proton ratio of uranium will tend to readjust itself by beta decay to the lower value suitable for lighter elements. Probably each part will thus give rise to a chain of disintegrations. If one of the parts is an isotope of barium<sup>8</sup>, the other will be krypton ( $Z = 92 - 56$ ), which might decay through rubidium, strontium and yttrium to zirconium. Perhaps one or two of the supposed barium-lanthanum-cerium chains are then actually strontium-yttrium-zirconium chains.

It is possible<sup>9</sup>, and seems to us rather probable, that the periods which have been ascribed to elements beyond uranium are also due to light elements. From the chemical evidence, the two short periods (10 sec. and 40 sec.) so far ascribed to <sup>239</sup>U might be masurium isotopes ( $Z = 43$ ) decaying through ruthenium, rhodium, palladium and silver into cadmium.

In all these cases it might not be necessary to assume nuclear isomerism; but the different radioactive periods belonging to the same chemical element may then be attributed to different isotopes of this element, since varying proportions of neutrons may be given to the two parts of the uranium nucleus.

By bombarding thorium with neutrons, activities are obtained which have been ascribed to radium and actinium isotopes<sup>8</sup>. Some of these periods are approximately equal to periods of barium and lanthanum isotopes<sup>5</sup> resulting from the bombardment of uranium. We should therefore like to suggest that these periods are due to a 'fission' of thorium which is like that of uranium and results partly in the same products. Of course, it would be especially interesting if one could obtain one of these products from a light element, for example, by means of neutron capture.

Meitner and Frisch, having been informed by Hahn of his results, in a letter to *Nature*, suggest the fission of the uranium nucleus into two.



Otto Robert Frisch  
(1904 – 1979)

It might be mentioned that the body with half-life 24 min.<sup>3</sup> which was chemically identified with uranium is probably really <sup>239</sup>U, and goes over into an eka-rhenium which appears inactive but may decay slowly, probably with emission of alpha particles. (From inspection of the natural radioactive elements, <sup>239</sup>U cannot be expected to give more than one or two beta decays; the long chain of observed decays has always puzzled us.) The formation of this body is a typical resonance process<sup>9</sup>; the compound state must have a life-time a million times longer than the time it would take the nucleus to divide itself. Perhaps this state corresponds to some highly symmetrical type of motion of nuclear matter which does not favour 'fission' of the nucleus.

LISE MEITNER.

Physical Institute,  
Academy of Sciences,  
Stockholm.

O. R. FRISCH.

Institute of Theoretical Physics,  
University,  
Copenhagen.  
Jan. 16.

<sup>1</sup> Fermi, E., Amaldi, F., d'Agostino, O., Rasetti, F., and Segrè, E. *Proc. Roy. Soc., A*, **146**, 483 (1934).

<sup>2</sup> See Meitner, L., Hahn, O., and Strassmann, F., *Z. Phys.*, **106**, 249 (1937).

<sup>3</sup> Curie, I., and Savitch, P., *C.R.*, **208**, 906, 1643 (1938).

<sup>4</sup> Hahn, O., and Strassmann, F., *Naturwiss.*, **26**, 756 (1938).

<sup>5</sup> Hahn, O., and Strassmann, F., *Naturwiss.*, **27**, 11 (1939).

<sup>6</sup> Bohr, N., *NATURE*, **137**, 344, 351 (1936).

<sup>7</sup> Bohr, N., and Kalckar, F., *Kgl. Danske Vid. Selskab, Math. Phys. Medd.*, **14**, Nr. 10 (1937).

<sup>8</sup> See Meitner, L., Strassmann, F., and Hahn, O., *Z. Phys.*, **106**, 538 (1938).

<sup>9</sup> Bethe, A. H., and Placzek, G., *Phys. Rev.*, **51**, 450 (1937).

## The Second Paper by Hahn and Straßmann

### Nachweis der Entstehung aktiver Bariumisotope aus Uran und Thorium durch Neutronenbestrahlung; Nachweis weiterer aktiver Bruchstücke bei der Uranspaltung<sup>1</sup>.

VON OTTO HAHN UND FRITZ STRASSMANN, Berlin-Dahlem.

In their second paper (subm. Jan 28, 1939)  
Hahn and Straßmann

- confirm finding barium
- report the fission of thorium
- report finding of noble gas (Xe or Kr)
- acknowledge the contribution of Lise Meitner to the experience of their group which enabled them to do this work in such a short time.

#### *Zusammenfassung.*

1. Die Entstehung von Bariumisotopen aus Uran wurde endgültig bewiesen.
2. Auch für das Thorium wurde die Bildung von Bariumisotopen festgestellt.
3. Über die Atomgewichte einiger der entstehenden Bariumisotope wurden Aussagen gemacht.
4. Augenscheinlich sind einige der Bariumisotope aus Thorium identisch mit denen aus Uran.
5. Unserer Meinung nach behalten die „Transurane“ ihre ihnen bisher zugeschriebene Stellung bei.
6. Als zweite Bruchstückgruppe wurden zunächst Strontium und Yttrium festgestellt.
7. Durch eine geeignete Versuchsanordnung wurde auch das Auftreten eines Edelgases bewiesen, das seinerseits ein Alkalimetall nachbildet. Eine Entscheidung, ob es sich um Xenon-Caesium oder um Krypton-Rubidium handelt, konnte noch nicht getroffen werden. In jedem dieser Fälle würden sich dann die nachgewiesenen Folgeprodukte Barium-Lanthan usw., bzw. Strontium-Yttrium usw. daraus bilden.

Daß die im Vorstehenden beschriebenen, zahlreichen neuen Umwandlungsprodukte sich in verhältnismäßig kurzer Zeit mit — wie wir glauben — erheblicher Sicherheit feststellen ließen, war nur möglich durch die Erfahrung, die wir bei den früheren, in Gemeinschaft mit L. MEITNER durchgeführten systematischen Versuchen über die Transurane und die Thoriumwandlungsprodukte sammeln konnten.

New York Times  
Jan. 28, 1939

Niels Bohr mentioned the analysis of Meitner and Frisch on Jan 26, 1938 at a meeting of the American Physical Society.

This triggered discussions, instant experiments, and also this newspaper article.



Niels Bohr in the US,  
1938

Let's announce this! Weibung! 28.1.

THE NEW YORK TIMES,

## Atom Explosion Frees 200,000,000 Volts; New Physics Phenomenon Credited to Hahn

By The Associated Press.

WASHINGTON, Jan. 28.—American scientists heard today of a new phenomenon in physics—explosion of atoms with a discharge of 200,000,000 volts of energy.

Theoretical physicists attending a meeting sponsored by the Carnegie Institution of Washington and George Washington University said that Dr. Enrico Fermi of the University of Rome told yesterday that this had been accomplished by Dr. O. Hahn of Berlin.

The report so stirred the limited circle of scientists with facilities to carry on such experiments that work attempts to duplicate Dr. Hahn's accomplishment has begun at the Carnegie institution's terrestrial magnetism laboratory and at Columbia University.

Scientists at the meeting said the discovery was comparable in significance to the original discovery of radioactivity thirty years ago.

They said that it was too soon to discuss possible applications of the

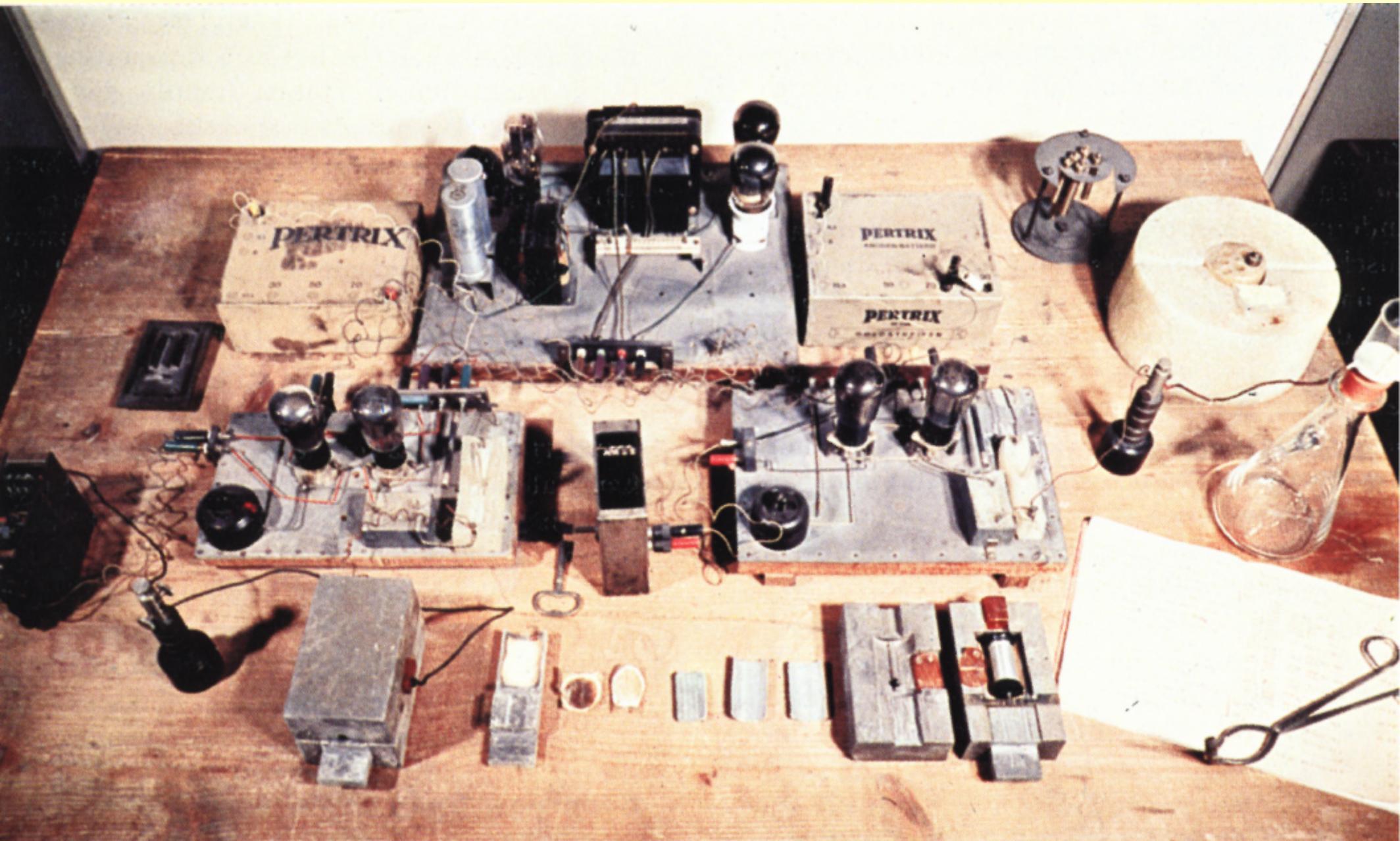
new 200,000,000-volt force, which is thirty times more powerful than radium, but pointed to the fact that radium is now the most efficient weapon used for the treatment of cancer. Like radium, it may be twenty or twenty-five years before the phenomenon could be put to practical use and it might not be practical at all, they said.

Dr. Fermi related that Dr. Hahn bombarded a synthetic element known as "eka uranium" with neutrons, the slow-moving particles of the atom, and produced barium, the substance used in making X-ray pictures of the stomach and intestines.

The only way that this could occur, according to physicists, would be for the eka uranium atom to split apart to form barium and the rare element molybdenum.

In causing such a split a force of 200,000,000 volts would be generated since atoms are held together by electrical forces many hundred times more powerful than the force of gravity which holds the stars, planets, sun, earth and moon in their orbits.

# Laboratory Table of Hahn and Straßmann





# Epilogue

## When, How, and Why did the Golden Times End ?

1914 – 1918 The *first world war* destroys the unique position of the richly funded science in Germany and especially in Berlin.

1933 *Nazi terror* destroys the intellectual infrastructure of science in Germany.

1939 – 1945 The *second world war* destroys the physical infrastructure.

1945 Berlin is a *divided city*. The rest of its attraction to scientists is lost.

**Einstein leaves** (here only the Physics Institute in Berlin)

Paul Langevin wrote: *Such an event can only be compared to a supposed relocation of the Vatican to the New World. The pope of physics moves. The United States become the center of science.*



Kurt Mendelssohn, Ph.D student and assistant of Nernst, later Professor in Oxford, wrote: *Far from destroying the spirit of German scholarship, the Nazis had spread it all over the world. Only Germany was to be the loser.*

# Berlin Scientists in the Drama of the Twentieth Century



Planck, von Laue, and Hahn in 1946

The Kaiser-Wilhelm Society was saved by its two post-war presidents Planck and Hahn and by Planck's agreement to its new name *Max-Planck Society*.

Of the 11 Berlin scientists on which we reported here, 10 were still alive in 1933.

Of these

- 6 resigned or were forced to give up their positions after Jan. 31, 1933 (Franck, Hertz, Einstein, Nernst, Bothe, Meitner),
- 3 found it wise to leave Germany (Franck, Einstein, Meitner),
- 7 were involved in nuclear energy programs during the war (Franck and Einstein [mainly through the letter to Roosevelt], in the Anglo-American effort and Hertz, Bothe, Geiger, Hahn and Strassmann in Germany,
- 1 (Hahn) was taken to England for one year and 1 (Hertz) to the Soviet Union for nine years after the war,
- 5 made important contributions to rebuilding science in Germany after the war, Planck, Bothe, Hahn and Straßmann in the West and Hertz in the East (Nernst died in 1944 and Geiger in 1945).

## Literature

Otto Hahn, Vom Radiothor zur Uranspaltung, Vieweg, Braunschweig 1962

J. Mehra, H. Rechenberg, The Historical Development of Quantum Theory, 6 Vols,  
Springer, New York 1982-2001

Kurt Mendelssohn, The World of Walther Nernst, MacMillan London 1973

Abraham Pais, Inward Bound, Oxford University Press, Oxford 1986

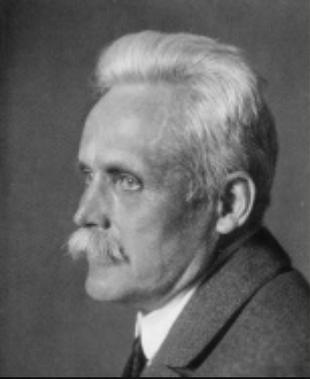
Abraham Pais, 'Subtle is the Lord...', Oxford University Press, Oxford 1982

Max Planck, Vorträge und Erinnerungen, Hirzel, Stuttgart 1949

Max Planck, Die Ableitung der Strahlungsgesetze, Ostwalds Klassiker Bd. 206, Harri Deutsch, Ffm. 1997

Max Planck, Physikalische Abhandlungen und Vorträge, Vieweg, Braunschweig 1958

# What Became of our Heroes ?



**Wien:** Professor in Aachen (1896), Giessen (1899), Würzburg (1900), and Munich (1920). Wien dies in Munich 1928



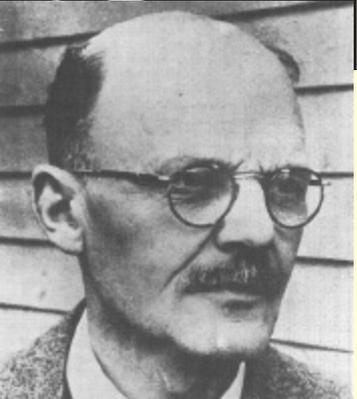
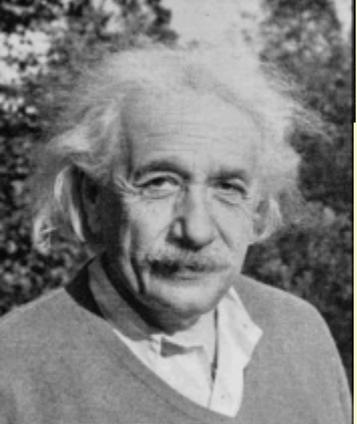
**Planck:** 1912 Secretary, Prussian Academy of Sciences, 1926 Emeritus, 1930–37 President, Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (KWG), 1933 Interview with Hitler, speaks out for Jewish Scientists, January 1945 Planck's son Erwin executed because of involvement with attempt to kill Hitler in 1944, July 1945 again president of KWG (succeeded in 1946 by Otto Hahn), 1946 Foundation of the Max-Planck-Gesellschaft as continuation of KWG. 1947 Planck dies in Göttingen.



**Nernst:** Until 1922: Professor of Physical Chemistry Berlin, 1922 President of Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR) Berlin, 1924 Professor of Physics Berlin, 1933 resigns. Nernst dies 1944 on his farms in Zibelle, Silesia.



**Franck:** 1921 Professor in Göttingen (together with Max Born), resigns 1933, 1934 Copenhagen, 1935 Prof. at Johns-Hopkins Univ. Baltimore, since 1938 at Univ. of Chicago, works on Manhattan Project, co-authors the **Franck-Report** which urges the US government not to use the atomic bomb before demonstrating its power to the enemy on uninhabited land, Emeritus 1947. 1964 Franck dies while visiting Göttingen.



## What Became of our Heroes (continued)?

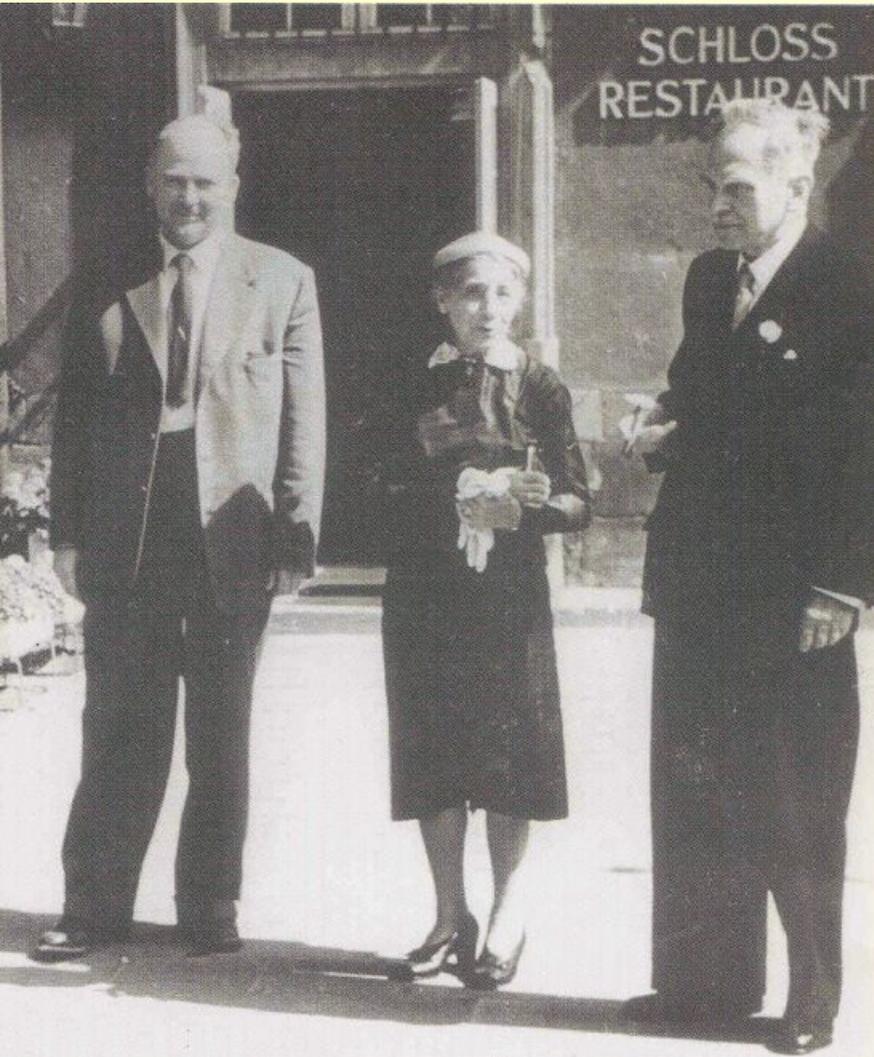
**Hertz:** 1920 works at Philips in Eindhoven (NL), Professor in Halle (1926), and at the Technical Univ. Berlin (1927), 1935 resigns and begins work in the Siemens Laboratories in Berlin among other topics on isotope separation, 1945 brought to the Soviet Union, 1954 Professor in Leipzig, 1961 Emeritus. 1975 Hertz dies in Berlin.

**Einstein:** 1917 Director of Kaiser-Wilhelm Institute of Physics, 1933 does not return from visit to the US, member of the Institute for Advanced Studies in Princeton, 1939 writes letter to President Roosevelt warning of possible German atomic bomb. 1955 Einstein dies in Princeton.

**Bothe:** 1925 Head of Dept. of Radioactivity of PTR Berlin, Professor in Giessen (1930) and Heidelberg (1932), resigns 1934 to become Director of Physics within the Kaiser-Wilhelm Institute of Medical Research in Heidelberg and builds a cyclotron there, 1946 again also Professor of Physics at Heidelberg Univ. 1957 Bothe dies in Heidelberg.

**Geiger:** Professor in Kiel (1925), Tübingen (1929), and at Technical Univ. Berlin (1936), 1928 Geiger-Müller counter, editor of *Handbuch der Physik* and *Zeitschrift für Physik*. 1945 Geiger dies in Potsdam.

# What Became of our Heroes (continued)?



Straßmann, Meitner and Hahn 1956

**Hahn:** Until 1944 Head of Dept. of Radioactivity in the Kaiser-Wilhelm Institute for Chemistry in Berlin, 1944 after destruction of the institute moves to provisional labs in Tailfingen (Württemberg), 1945 interned in England, 1946 President of Max-Planck-Gesellschaft in Göttingen, 1957 Declaration of the Göttingen Eighteen (together with Straßmann and 16 other German scientists) against nuclear armament. 1968 Hahn dies in Göttingen.

**Meitner:** Until 1938 Head Physics Dept. in the Kaiser-Wilhelm Institute for Chemistry in Berlin, 1938 flees to Holland, then guest at Nobel Institute for Physics in Stockholm, 1946 Guest Professor at Catholic Univ., Washington, D.C., 1947 Professor at Technical Univ. in Stockholm, 1954 Emeritus, 1960 move to Cambridge in England to stay with her nephew O.R. Frisch. 1968 Meitner dies in Cambridge.

**Straßmann:** Until 1945 assistant at Dept. of Radioactivity in the Kaiser-Wilhelm Institute for Chemistry, 1946 Professor at Mainz Univ., for some years director of Max-Planck Institute for Chemistry in Mainz, 1970 Emeritus, 1980 Straßmann dies in Mainz.

**In 1966 Hahn, Meitner, and Straßmann are the first foreigners to be awarded the Enrico-Fermi Prize by the President of the United States.**