Der Franck-Hertz-Versuch

EXPERIMENT · VERSUCHSANLEITUNG MIT HINTERGRUND

Der Franck-Hertz-Versuch hat einen zweifelhaften Ruf. Er gilt als Pflichtversuch in Oberstufe und Grundpraktikum, als trocken, und die Röhre will oft nicht so, wie sie soll. Dabei zeigt er etwas, das man mit bloßen Augen nie sehen könnte: dass ein Atom Energie nur in festen Portionen aufnimmt. Nicht ein bisschen, nicht ein bisschen mehr, sondern genau 4,9 Elektronenvolt oder gar nichts. Diese Seite ist so aufgebaut, dass Sie den Versuch verstehen, bevor Sie vor dem Gerät sitzen, und hinterher wissen, warum die Kurve so aussieht, wie sie aussieht.

Was in der Röhre passiert

Kern des Versuchs ist eine Glasröhre mit ein wenig flüssigem Quecksilber, die in einem kleinen Ofen auf rund 180 °C erhitzt wird, damit sich genug Quecksilberdampf bildet [1]. In der Röhre sitzen drei Elektroden (Abb. 1). Eine geheizte Kathode gibt Elektronen ab. Eine Spannung *U* zwischen Kathode und einem Gitter beschleunigt sie. Hinter dem Gitter liegt die Anode, und zwischen Gitter und Anode eine kleine Gegenspannung von wenigen Volt, die die Elektronen wieder abbremst. Gemessen wird der Strom, der an der Anode ankommt.

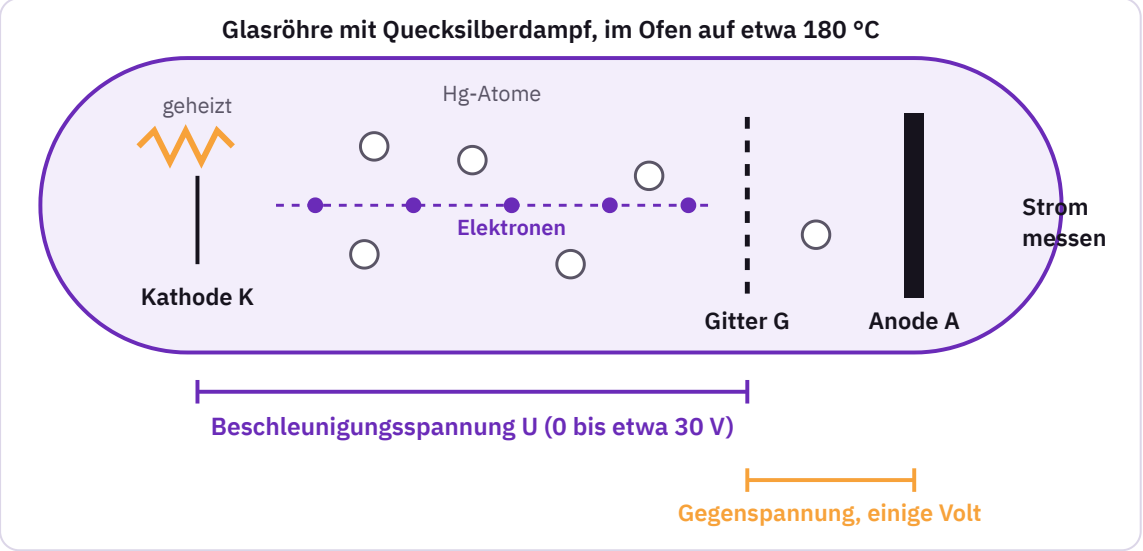


Abb. 1: Schema einer Franck-Hertz-Röhre. Eigene Darstellung.

Auf dem Weg zum Gitter stoßen die Elektronen ständig mit Quecksilberatomen zusammen. Die meisten dieser Stöße sind elastisch, das Elektron prallt ab wie ein Tischtennisball von einer Bowlingkugel und verliert dabei fast keine Energie. Es kommt also mit ungefähr der Energie am Gitter an, die ihm die Spannung *U* mitgegeben hat. Ob es danach die

Gegenspannung überwindet und zur Anode gelangt, hängt davon ab, ob ihm genug Energie geblieben ist.

So läuft die Messung ab

1. Ofen einschalten und warten, bis die Temperatur stabil ist. Das dauert meist eine Viertelstunde, die Geduld lohnt sich.
2. Kathodenheizung einschalten und einige Minuten warten, bis die Kathode gleichmäßig Elektronen abgibt.
3. Gegenspannung auf einen kleinen Wert einstellen, für Quecksilber nennen Praktikumsanleitungen einige Volt [1].
4. Die Beschleunigungsspannung langsam von null hochdrehen und den Anodenstrom aufzeichnen, am besten mit einem Messwerterfassungssystem oder einem Oszilloskop im XY-Betrieb.
5. Die Spannungen ablesen, bei denen der Strom ein Minimum hat, und ihre Abstände bestimmen.

Die Kurve und was sie verrät

Würden die Elektronen nur elastisch stoßen, müsste der Anodenstrom mit wachsender Spannung einfach immer weiter steigen. Tatsächlich steigt er nur bis zu einem bestimmten Wert, bricht dann ein, steigt wieder, bricht wieder ein, in auffallend gleichmäßigen Abständen (Abb. 2). James Franck und Gustav Hertz haben 1914 für diesen Abstand Werte zwischen 4,8 und 5,0 Volt gemessen und 4,9 Volt als besten Wert angegeben [2].

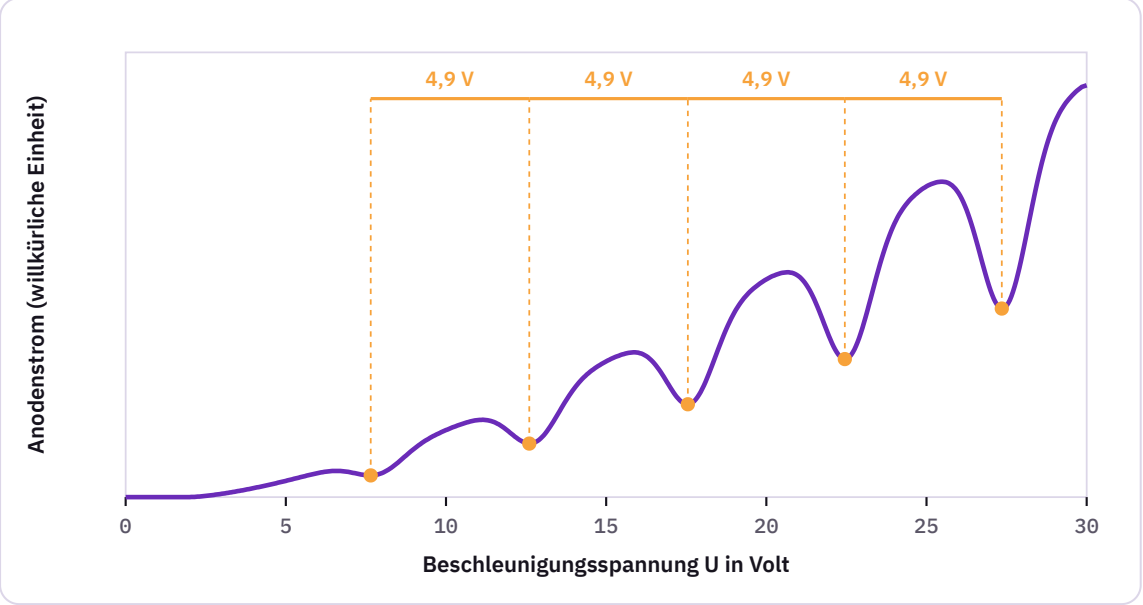


Abb. 2: Typischer Verlauf des Anodenstroms, schematisch. Die Minima (orange) folgen im Abstand von etwa 4,9 V aufeinander. Eigene Darstellung nach dem Verlauf üblicher Praktikumsmessungen [1].

Die Erklärung ist erstaunlich einfach, sobald man sie einmal kennt. Ein Quecksilberatom kann einem Elektron Energie abnehmen, aber nur genau 4,9 Elektronenvolt auf einmal. Hat das Elektron weniger, prallt es elastisch ab. Hat es genug, regt es das Atom an und steht danach fast ohne Energie da. Es schafft die Gegenspannung nicht mehr, und der Strom fällt. Erhöht man die Spannung weiter, erreichen die Elektronen die 4,9 eV schon auf halbem Weg zum Gitter, stoßen dort unelastisch und werden danach erneut beschleunigt. Bei der doppelten Spannung reicht es für zwei solche Stöße, bei der dreifachen für drei. Daher das regelmäßige Muster. Aus dem Abstand ΔU der Minima folgt die Anregungsenergie:

$$\Delta E = e \cdot \Delta U \approx 4{,}9 \ \ \mathrm{eV} \tag{1}$$

Das Atom behält diese Energie nicht lange. Nach rund einer Zehnmillionstelsekunde [3] gibt es sie als Licht wieder ab, und zwar mit genau der Wellenlänge, die zu 4,9 eV gehört:

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} \approx 254 \ \ \mathrm{nm} \tag{2}$$

Das liegt im Ultravioletten und ist mit bloßem Auge nicht zu sehen. Franck und Hertz haben es trotzdem nachgewiesen, noch im selben Jahr, mit einem Quarzspektrografen: Sobald die Spannung 4,9 Volt überschritt, erschien im Spektrum die Quecksilberlinie bei 253,6 nm, und nur diese [4]. Der heutige Tabellenwert liegt bei 253,65 nm in Luft, entsprechend 4,89 eV [3].

Woran es im Praktikum oft hakt

Das erste Minimum liegt nicht bei 4,9 Volt. Das irritiert fast jeden, der den Versuch zum ersten Mal macht, und ist kein Fehler. Kathode und Gitter bestehen aus verschiedenen Metallen mit unterschiedlicher Austrittsarbeit, dazu kommen Raumladungen vor der Kathode. Dadurch ist die Spannung, die die Elektronen tatsächlich spüren, um ein bis zwei Volt gegen die eingestellte verschoben. Für die Auswertung zählen deshalb nur die Abstände zwischen den Minima, nicht ihre absolute Lage.

Die Abstände sind nicht ganz gleich. Wer genau misst, findet, dass sie mit jeder Ordnung ein wenig wachsen. Das liegt daran, dass ein Elektron nach Erreichen der 4,9 eV noch ein Stück weiterfliegt, bevor es auf ein Atom trifft, und dabei zusätzliche Energie aufnimmt. Wie stark der Effekt ist, hängt von der mittleren freien Weglänge und damit von der Temperatur ab [5]. Wer das im Protokoll anspricht, statt es als Messfehler abzutun, hat den Versuch verstanden.

Die Kurve ist flach oder verrauscht. Meist ist der Ofen noch nicht warm genug. Bei zu wenig Dampf fliegen viele Elektronen ohne Stoß durch, die Minima werden flach. Ist es dagegen zu heiß, stoßen die Elektronen so oft, dass der Strom insgesamt sehr klein wird. Auch die Gegenspannung lohnt einen zweiten Versuch: Etwas mehr macht die Minima tiefer, zu viel lässt kaum Strom übrig.

Bei hoher Spannung leuchtet es blau. Dann hat die Spannung die Ionisierungsgrenze überschritten, und es bildet sich eine Gasentladung. Spannung sofort zurückdrehen, die Röhre nimmt das sonst übel.

Mit Neon kann man es sehen

Viele Schulen nutzen eine Variante mit Neon. Die Röhre muss nicht geheizt werden, und die Abstände der Minima sind viel größer, etwa 19 Volt. Vor allem aber leuchtet es: Die angeregten Neonatome geben einen Teil der Energie als sichtbares rotes bis gelbes Licht ab, mit Wellenlängen zwischen etwa 585 und 703 nm [1]. In der Röhre erkennt man dünne leuchtende Schichten zwischen Kathode und Gitter. Bei etwa 19 Volt erscheint die erste, bei etwa 38 Volt die zweite. Jede Schicht markiert die Stelle, an der die Elektronen gerade genug Energie für einen Anregungsstoß gesammelt haben. So wird das Ergebnis des Versuchs buchstäblich sichtbar.

Ein Irrtum, der den Nobelpreis bekam

Die Geschichte des Versuchs hat eine Wendung, die selten erzählt wird. Als Franck und Hertz ihre Arbeit im April 1914 in Berlin vortrugen, deuteten sie die 4,9 Volt als Ionisierungsspannung, also als die Energie, die man braucht, um ein Elektron ganz aus dem Quecksilberatom zu reißen. So steht es schon im Titel [2]. Ein Jahr zuvor hatte Niels

Bohr sein Atommodell veröffentlicht, nach dem Elektronen im Atom nur bestimmte Energiestufen besetzen dürfen [6]. Franck und Hertz kannten es, nahmen es aber zunächst nicht als Erklärung für ihre Messung.

Es war vor allem Bohr, der 1915 darauf hinwies, dass die Messung genau das zeigt, was sein Modell verlangt: eine Anregung auf die erste höhere Stufe, nicht eine Ionisierung [7]. Die tatsächliche Ionisierungsenergie von Quecksilber liegt bei gut 10 eV [3]. Der Erste Weltkrieg unterbrach die Arbeit, beide Forscher wurden eingezogen. Danach setzte sich Bohrs Deutung durch, und 1925 bekamen James Franck und Gustav Hertz den Physik-Nobelpreis „für ihre Entdeckung der Gesetze, die den Stoß eines Elektrons auf ein Atom bestimmen“ [8]. Gustav Hertz war übrigens ein Neffe von Heinrich Hertz, der 1887 den Fotoeffekt entdeckt hatte.

Für die Physik war der Versuch ein Wendepunkt. Bis dahin hatte man diskrete Energiestufen nur indirekt aus Spektrallinien erschlossen. Hier zeigte sich die Quantelung zum ersten Mal in einem Experiment, bei dem die Atome mit Teilchen und nicht mit Licht angeregt wurden. Dass Energie in festen Portionen kommt, war damit nicht mehr nur eine Eigenschaft des Lichts, sondern der Materie selbst. Mehr dazu in unserem Artikel Was sind Quanten?

Zum Nachschlagen

Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper

Wolfgang Demtröder · Springer, 2016 · ISBN 978-3-662-49093-8

Das Standardlehrbuch zur Atomphysik, mit dem Franck-Hertz-Versuch, Atomspektren und allem, was man für die Auswertung im Praktikum braucht.

Bei Amazon ansehen*

Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik

Werner Heisenberg · Piper Taschenbuch · ISBN 978-3-492-22297-6

Wer wissen will, wie die Physiker um Bohr damals über Atome stritten, liest es hier aus erster Hand, in Gesprächsform und ohne Formeln.

Bei Amazon ansehen*

* Werbelink: Kaufen Sie über diesen Link, erhalten wir von Amazon eine kleine Provision, am Preis ändert sich für Sie nichts. Mehr Empfehlungen auf unserer Seite Bücher zur Quantenphysik.

Quellen

1. Universität des Saarlandes, Physikalisches Grundpraktikum: *Franck-Hertz-Versuch.* Versuchsanleitung, Version 5, März 2009. uni-saarland.de.
2. J. Franck, G. Hertz: *Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben.* In: Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 16 (1914), S. 457–467. Faksimile bei der DPG: dpg-physik.de.
3. A. Kramida, Yu. Ralchenko, J. Reader und NIST ASD Team: *NIST Atomic Spectra Database* (Version 5), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg. physics.nist.gov/asd.
4. J. Franck, G. Hertz: *Über die Erregung der Quecksilberresonanzlinie 253,6 μμ durch Elektronenstöße.* In: Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 16 (1914), S. 512–517.
5. G. Rapior, K. Sengstock, V. Baev: *New features of the Franck-Hertz experiment.* In: American Journal of Physics 74 (2006), S. 423–428, doi:10.1119/1.2174033.
6. N. Bohr: *On the Constitution of Atoms and Molecules.* In: Philosophical Magazine 26 (1913), S. 1–25, doi:10.1080/14786441308634955.
7. N. Bohr: *On the quantum theory of radiation and the structure of the atom.* In: Philosophical Magazine 30 (1915), S. 394–415, doi:10.1080/14786440908635413.
8. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Physics 1925.* nobelprize.org/prizes/physics/1925/summary.

Zitiervorschlag

```
quanten.de: Der Franck-Hertz-Versuch. Stand: Oktober 2026. URL:
https://quanten.de/franck_hertz_versuch.html (PDF:
https://quanten.de/pdf/franck_hertz_versuch.pdf)
```


Texte und Abbildungen © 2026 quanten.de. Nutzung mit Quellenangabe und Link gern, kommerzielle Nutzung nach Absprache: info@quanten.de

Weiterlesen: Der Fotoeffekt · Was sind Quanten? · Periodensystem · 100 Jahre Quantenmechanik

Online-Fassung mit aktualisierten Quellen: https://quanten.de/franck_hertz_versuch.html