

Historischer Hintergrund zum Franck-Hertz-Versuch

Die Quantenphysik bildet zusammen mit der allgemeinen Relativitätstheorie Albert Einsteins die Grundpfeiler für das physikalische Weltbild und hat eine große Bedeutung für die moderne Physik. Durch die Quantenphysik und die spezielle sowie allgemeine Relativitätstheorie Einsteins kam es zu Beginn des 20. Jahrhunderts zu einem Paradigmenwechsel in der Physik. Dieser führte fortan zu einer anderen Sichtweise als die der klassischen Physik. Auch in der modernen Physik bleiben die Erkenntnisse aus der klassischen Physik erhalten. Es erweiterte und vertiefte sich jedoch das Wissen im Bereich der Teilchen-, Kern- und Atomphysik sowie der Astrophysik und der Kosmologie. Die moderne Physik und damit auch die Quantenphysik lieferten bedeutende Beiträge für zahlreiche technische Anwendungen in der heutigen Zeit. Der Begriff Quantenphysik vereint die Phänomene, die auf der Grundlage beruhen, dass bestimmte Größen nicht beliebige, sondern nur diskrete Werte annehmen können und sich somit auf die Quantenhypothese von Max Planck beziehen.

Das Jahr 1900 stellt den Beginn der Quantenphysik und mithin einen Meilenstein für die moderne Physik dar. Mit der Vorstellung des Strahlungsgesetzes und der Einführung der Naturkonstante h , dem nach ihm benannten Planckschen Wirkungsquantum, legte Max Planck den Grundstein für die Quantenphysik. Einer der ersten Effekte, der durch die Quantenphysik erklärt werden konnte, war der Photoeffekt, der bereits vorher entdeckt wurde. Heinrich Hertz beobachtete 1887, dass der Funkenüberschlag bei einer Funkenstrecke durch ultraviolettes Licht beeinflusst wird. Auf der Grundlage dieser Beobachtung beschäftigten sich Wilhelm Hallwachs und später Philipp Lenard intensiver mit dem Photoeffekt. Dabei machte Hallwachs die Beobachtung, dass eine negativ aufgeladene Zinkplatte durch UV-Strahlung entladen werden kann. Mit Hilfe elektrischer und magnetischer Felder konnte Lenard dann nachweisen, dass bei wachsender Lichtintensität zwar die Zahl der herausgelösten Elektronen steigt, die kinetische Energie jedoch gleich bleibt und ausschließlich von der Frequenz des Lichts abhängig ist. Dieses Phänomen konnte mit der klassischen Wellenvorstellung vom Licht nicht erklärt werden.

Für die Deutung dieses Phänomens war - wie bereits angedeutet - das Strahlungsgesetz von Planck bahnbrechend. Mit dem planckschen Strahlungsgesetz wird die Verteilung der elektromagnetischen Energie der Wärmestrahlung eines schwarzen Körpers in Abhängigkeit von der Wellenlänge oder der Frequenz angegeben. Bei der Entdeckung des Strahlungsgesetzes fiel Planck auf, dass eine Herleitung mit der klassischen Physik in diesem Fall nicht möglich ist. Um dieses Problem zu lösen, führte er ein neues Postulat ein. Dies besagte, dass der Energieaustausch zwischen Oszillatoren und dem

elektromagnetischen Feld nicht kontinuierlich, sondern vielmehr in Form kleiner Energiepakete, Quanten, stattfindet.

Er forderte, dass elektromagnetische Wellen der Frequenz ν nur in Quanten, d.h. in ganzzahligen Vielfachen der Energie $E = h \nu$ von Materie emittiert werden können, wobei das plancksche Wirkungsquantum h eine fundamentale Naturkonstante darstellt.

Albert Einstein verwendete die Plancksche Lichtquantenhypothese zur Erklärung des photoelektrischen Effektes und zeigte, dass Licht tatsächlich aus Energiequanten, den Photonen, besteht. Die Deutung des Photoelektrischen Effektes trug wesentlich zur Entstehung der Quantentheorie bei, wofür Einstein 1921 den Nobelpreis erhielt.

1913 entwickelte Niels Bohr ein Atommodell, wofür er die Plancksche Quantentheorie als Grundlage verwendete. Um dieses Atommodell zu entwickeln, musste der dänische Physiker mit einigen Vorstellungen der klassischen Physik brechen. Er entwickelte das nach ihm benannte Bohrsche Atommodell, in dem sich die Elektronen auf bestimmten Bahnen um den Atomkern bewegen. Dabei kann jeder Bahn eine bestimmte Energie zugeordnet werden. Die Elektronen können so bei Energiezufuhr auf kernfernere Bahnen springen. Beim Zurückspringen der Elektronen wird diese Energie in Form von Strahlung z.B. als Licht oder Röntgenstrahlung wieder frei. Solche Strahlungsübergänge sind jedoch nur zwischen zwei Elektronenzuständen möglich, deren Energien E_1 und E_2 zwei erlaubten Bahnen entsprechen. Die Photonenenergie ist durch $E = h \cdot \nu = E_2 - E_1$ gegeben.

Eine experimentelle Evidenz für das Bohrsche Atommodell schuf der Franck-Hertz-Versuch. James Franck und Gustav Hertz führten in der Zeit von 1912 und 1914 Versuche durch, welche die Energiequantelung der Atomzustände mit Elektronenstoßanregung deutlich machen. Mit dem nach ihnen benannten Franck-Hertz-Versuch konnte die Quantentheorie und das Bohrsche Atommodell unterstützt werden. Ein Ergebnis, dass so nicht beabsichtigt war. James Franck und Gustav Hertz führten ihre Versuche mit einer anderen Zielsetzung durch und erkannten die Bedeutung ihrer Forschungsergebnisse zunächst nicht. Ihre Versuche sollten vielmehr zum Zwecke der Prüfung der Townsendschen Stoßionisationstheorie dienen. Sie hatten die Erwartung, mit ihren Versuchen die Ionisierungsenergie von Quecksilber bestimmen zu können. Die Versuche sollten an eine frühere Arbeit anknüpfen, in denen Franck und Hertz zeigen konnten, dass die Ionisierungsspannung eine für jedes Gas charakteristische Größe ist und konnten diese für Helium, Neon, Argon, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff messen. So haben sie bereits 1913 zum ersten Mal die charakteristische Kennlinie für Helium und Neongas gemessen. Als diese Versuche dann auf Metalldämpfe angewendet werden sollten, kam die verwendete Apparatur an ihre Grenzen. Durch die hohen Temperaturen bei den Versuchen mit Metalldämpfen konnten Störungen nicht mehr ausgeschlossen werden. So war das Ziel, eine Methode auszuarbeiten, die zu einem genaueren Ergebnis liefert und zum anderen auf Metalldämpfe anwendbar ist. Damit sollte die Beziehungen geprüft werden, die sich aus der Quantentheorie und der Betrachtung von Atommodellen, zwischen der Größe Ionisierungsspannung und anderen Atomkonstanten, ergeben. Dies wurde durch Untersuchungen der Wechselwirkungen zwischen Elektronen und Gasmolekülen möglich.

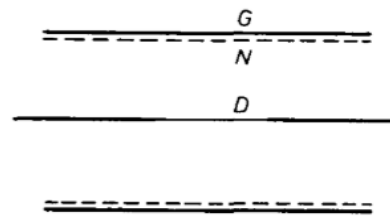


Abbildung: Apparatur Franck-Hertz-Röhre (Onlinelibrary, S. 296)

Die nebenstehende Abbildung zeigt die zu diesem Zweck entwickelte Apparatur. Diese bestand aus einer Glasröhre in der sich ein Platindraht befand.

Der Platindraht wurde durch einen elektrischen Strom zum Glühen gebracht. Zusätzlich war ein feines Platindrahtnetz eingebaut, welches den Draht umgab. Dieses war wiederum zylindrisch von einer Platinfolie umgeben. Durch das Erhitzen der Glühkathode bzw. das Anlegen der Heizspannung, erhalten einige Elektronen ausreichend Energie, um aus dieser auszutreten. In der mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre konnten nun die Quecksilberatome und die Elektronen in Wechselwirkung miteinander treten. Während der Messung wurde eine verzögernde Spannung zwischen dem Platindrahtnetz und der Platinfolie angelegt und der Strom in Abhängigkeit von der beschleunigenden Spannung zwischen dem Draht und dem Platindrahtnetz gemessen. Franck und Hertz formulierten in ihrer Originalarbeit 1914 welche Erscheinungen sie für die Ionisierungsenergie von Quecksilber erwarten.

Sie erwarteten, dass sich die Ionisation jedes Mal dann wiederholt, wenn die beschleunigende Spannung gleich einem Vielfachen der Ionisierungsspannung ist. So wurde eine Kurve erwartet, die Maxima mitwachsender Größe besitzt. Der Abstand der Maxima sollte dabei immer gleich der Ionisierungsspannung sein. In ihrer Originalarbeit veröffentlichten Franck und Hertz die nebenste-

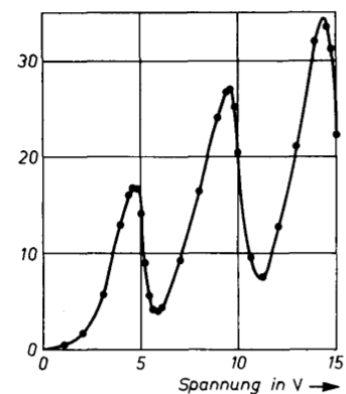


Abbildung: Anodenstrom als Funktion der Beschleunigungsspannung (Onlinelibrary, S. 298)

hende Messkurve
für Quecksilber.

Die Messkurve entsprach den Erwartungen, so dass diese entsprechend von den beiden Physikern interpretiert wurde. So machten sie in ihrer Originalarbeit deutlich, dass die scharf ausgeprägten Maxima eine genaue Messung der Ionisierungsspannung ermöglichen. Als Ionisierungsspannung des Quecksilberdampfes bestimmten Franck und Hertz 4,9 Volt. Die unelastischen Stöße zwischen den Elektronen und Quecksilberatomen führen in dieser Interpretation zur Ionisation der Quecksilberatome. Zu diesem Zeitpunkt war ihnen die Bohrsche Atomtheorie nicht bekannt. Außerdem fiel den beiden Physikern bei der Interpretation der Ergebnisse der Zusammenhang zwischen ihren Ergebnissen und der spektroskopischen Untersuchung an Quecksilber von Robert William Wood auf, der zeigte, dass eine UV-Linie von 253,6 Nanometern typisch für Quecksilber sei. Dies ist eine Wellenlänge, die einer Energie von 4,84 eV entspricht und sehr nahe an dem Versuchsergebnis von Franck und Hertz lag. Ein Zusammenhang, den beide weiterhin näher untersuchten, so dass nur einige Monate nach ihrer Erstveröffentlichung eine weitere Abhandlung erschien, die den Nachweis dieser spektralen Linie in der Franck-Hertz-Röhre diskutierte.

Kurz nach der Veröffentlichung gab Niels Bohr 1915 den Hinweis zur richtigen Interpretation dieser Ergebnisse. Bohr merkte an, dass die 4,9 Volt genau der Energie entsprechen könnten, die zum Übergang vom Normalzustand in einen anderen stationären Zustand des neutralen Atoms notwendig sei.

Zu diesem Zeitpunkt lehnten sie diese Theorie ab und hielten an der Idee von der Ionisation fest, die sich bereits gefestigt hatte. Franck und Hertz überdachten ihre Interpretation nach dem Krieg, als sie 1920 in Berlin Bohrs Vortrag „Über die Serienspektren der Elemente“ hörten und schlossen sich in Folge dessen der Interpretation von Bohr an. Als Gesamtergebnis gaben die beiden Physiker bekannt, dass die Folgerungen der Bohrschen Theorie mit dem Verfahren des Elektronenstoßes im Quecksilberdampf belegt werden konnte.

Außerdem erschien Franck und Hertz dieses Verfahren als eine in vielen Fällen brauchbare

Ergänzung der spektralanalytischen Methoden darzustellen. Franck und Hertz bestimmten den Zusammenhang zwischen den Energieverlusten der Elektronen und der Lichtemission des Gases. Dazu wurde das Quecksilbergas mit Elektronen der Energie 4,9 Volt in Kontakt gebracht und so eine Emission einer Strahlung von 253,7nm nachgewiesen. Es konnte also mit dem Franck-Hertz-Versuch belegt werden, dass Atome nur von Energien bestimmter Portionen bzw. Quanten angeregt werden können. Es bestehen also, wie im Bohrschen Atommodell angenommen, diskrete Energieniveaus, dessen Energiebeträge charakteristisch für das entsprechende Atom sind. Es wurde außerdem gezeigt, dass auch die Abgabe bzw. Emission der Energie durch Elektronen nur gequantelt erfolgen kann. So hat jedes zum Leuchten gebrachte Gas ein charakteristisches Emissions- bzw. Absorptionsspektrum. Die spektroskopische Untersuchung des von den angeregten Atomen ausgesendeten Lichtes hat gezeigt, dass dieses aus diskreten Linien besteht. Die Linienspektren haben diskrete Wellenlängen bzw. Frequenzen. Demnach werden nur Photonen mit diskreten Energiebeträgen emittiert. Das Linienspektrum ist für das jeweilige Atom charakteristisch.

Aufgrund der fundamentalen Bedeutung der Experimente von Franck und Hertz aus den Jahren 1911 bis 1914 für die Entwicklung der Quantentheorie erhielten die beiden Autoren 1925 den Nobelpreis für Physik.

Bibliographie

Bildung-Isa: Franck-Hertz-Versuch. Internet:

<http://www.gym-rathenau.bildung-lsa.de/Physik/Prakti/Dok2015/e21.pdf>

(01.07.2016).

Deutsches Museum; Schirmmacher, Arne: Dem Experiment verpflichtet, der Theorie aufgeschlossen: James Franck als Experimentalphysiker neuen Stils in Berlin und Göttingen. In: Preprint 8, James Franck – Robert Wichard Pohl Briefwechsel 1906–1964 (2013), S. 7-15.

Freie Universität Berlin: Der Photoeffekt und die Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums. Internet:

<http://www.physik.fuberlin.de/studium/schulkontakte/physlab/labor/img/Photoeffekt-Physlab.pdf> (12.06.2016).

Kleint, Christian: Gustav Hertz - zur 100. Wiederkehr seines Geburtstages. In: Phys. B1. 43 (1987) Nr. 7, S. 255-257.

Leifiphysik: Franck-Hertz-Historisches. Internet:

<http://www.leifiphysik.de/atomphysik/atomaerer-energieaustausch/geschichte/franck-hertz-historisches> (01.08.2016).

Onlinelibrary: Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben. Internet:

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pbhl.19670230702/e> (03.08.2016).

Quantenwelt: Historisches zur Quantenmechanik. Internet:

<http://www.quantenwelt.de/quantenmechanik/historisch/> (13.07.2016).

Spektrum: Hohlraumstrahlung. Internet:

<http://www.spektrum.de/lexikon/physik/hohlraumstrahlung/6847> (12.06.2016).

Universität des Saarlandes: Physikalisches Grundpraktikum für Physiker/innen Teil III

Franck-Hertz-Versuch. Internet:

http://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/scripts/Franck-Hertz_neu_5.pdf

(01.07.2016).

Wikipedia: Geschichte der Physik. Internet:

https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Physik (19.07.2016).

Wikipedia: Quantenphysik. Internet:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Quantenphysik> (18.07.2016).

Historischer Hintergrund zum Franck-Hertz Versuch wurde von Sandra Ledderer im Rahmen des Flensburger Projekts StoryTelling verfasst.
