



Grundpraktikum II

A2 Franck-Hertz Versuch

Santiago Rodriguez

22. November 2019

Student: Santiago Rodriguez
santiago.rodriguez@physik.hu-berlin.de

Betreuer: Vinzenz Zimmermann

Raum: N.201

Messplatz: N.1

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Versuchsaufbau und Durchführung	2
3	Anodenstrom I_A in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung U_B	3
3.1	Graphische Darstellungen des Oszilloskops	3
3.2	Auswertungen	4
4	Diskussion	6
5	Literaturverzeichnis	6

1 Abstract

Der Franck-Hertz Versuch ist ein experimenteller Nachweis der im bohrschen Atommodell postulierten, diskreten Energieniveaus von Elektronen. Anfang des 20. Jahrhunderts fanden in der Physik mehrere physikalische Vorgänge auf atomarer Skala, so unter anderem im Bereich der Spektrometrie die konkreten Spektrallinien der Emissions- und Absorptionsspektren von Elementen wie Wasserstoff H , keine Erklärung unter den bislang konstruierten Gesetzen der klassischen Mechanik und Elektrodynamik. Dies fuhr darauf zurück, dass damals in der Physik noch kein ausreichend realitätsgetreues Atommodell entwickelt worden war, der solche Vorgänge erklären oder ihre Ursache anschaulich machen konnte. 1913 formulierte Niels Bohr, aufbauend auf das experimentell begründete, Rutherford-sche' Atommodell, durch Vergleich des Atomkerns und der um ihn liegenden Elektronen mit der Sonne und den Planeten die sie umkreisen das sog. Bohrsche Atommodell. Nach diesem Modell würden die Elektronen nicht beliebig zufällig um den Atomkern liegen so wie nach Rutherfords Vorstellung, sondern auf bestimmten, diskreten Kreisbahnen um dem Atomkern. Auf diesen könnten sie sich dann überwiegend durch ihren Drehimpuls aufhalten, da dann ein Kräftegleichgewicht zwischen ihrer Zentrifugalkraft und der vom Kern ausgeübten Coulombkraft entstehen würde, so wie bei den Planeten die die Gravitationskraft der Sonne durch die Zentrifugalkraft von ihren Kreislauf um den Baryzentrum des Körpersystems ausgleichen. Um jedoch zu erklären, warum die Elektronen während ihren Kreislauf um den Kern keine Energie verlieren indem sie wie gewöhnliche bewegte Ladungen elektromagnetische Strahlung abgeben, musste Bohr mehrere Postulate aufstellen die bedauerlicherweise nicht mit der klassischen Physik vereinbar waren. Diese *Bohrschen Postulate* setzten hierbei u.a. voraus, dass sich die Elektronen auf ihren Kreisbahnen um den Kern ohne Energieverlust bewegen könnten und diese Kreisbahnen bereits diskret vorausgesetzt seien. D.h., es sind nach Bohr nur bestimmte Energieniveaus E_1, E_2, \dots, E_n möglich, an denen die Elektronen um den Kern kreisen können, wobei sie aber auch in der Lage sind, unter Anregung von Photonen oder freien, beschleunigten Elektronen auf eine Umlaufbahn mit einem höheren Energieniveau angeregt zu werden. Nach einer kurzen Zeit kehren die angeregten Elektronen in ihren ursprünglichen Zustand zurück und emittieren dabei ein Photon der Energie $E_\gamma = fh = \Delta E$, wobei ΔE die Energiedifferenz zwischen den beiden energetischen Zuständen des Elektrons $\Delta E = E_2 - E_1$ ist. Diese Anregung müsste zusätzlich aufgrund der diskreten Energie der Umlaufbahnen immer bei bestimmten Energiewerten der anregenden Photonen oder Elektronen stattfinden, was hier im Franck-Hertz Versuch mithilfe der Spektrallinien von Neon- und Quecksilbergas unter Anregung durch beschleunigte Elektronen gezeigt werden kann.

2 Versuchsaufbau und Durchführung

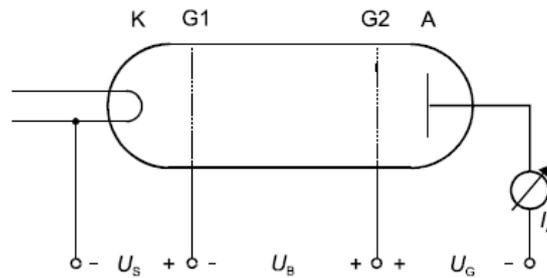


Abbildung 1: Schaltung der Hg- und Ne-Röhren [3]

Der Aufbau des Versuches besteht aus zwei identisch geschalteten, mit jeweils Neon- und Quecksilbergas gefüllten Gasröhren. Mithilfe einer Saugspannung U_S werden an der Glühkathode K Elektronen der Ladung $q = -e$ freigesetzt, die dann durch den Gitter $G1$ in ein zu ihrer Bewegung gleich gerichtetes elektrisches Feld der Spannung U_B eintreten. Hier werden sie dann vom elektrischen Feld beschleunigt und können entweder die dadurch gewonnene kinetische Energie in einem inelastischen Stoß an eins der Gasatome abgeben oder ohne Energie zu verlieren ans zweite Gitter $G2$ gelangen. An der anderen Seite des Gitters befindet sich dann ein elektrisches Feld mit Gegenspannung U_G der die Elektronen abbremst und sie bei geringen kinetischen Energien daran hindert, an den Auffänger A anzukommen. Die Elektronen, die bis zum Auffänger gelangen, erfüllen somit die Bedingung $E_{kin} = \frac{m_e}{2} \cdot v^2 \geq e \cdot U_G$ und werden von diesem aufgenommen. Es entsteht somit ein messbares Strom I_A am Auffänger, der direkt davon abhängig ist, wie viele von den an der Glühkathode abgegebenen und später beschleunigten Elektronen noch genug Energie beibehalten um das Gegenfeld zu überwinden.

Mithilfe der vorhin erwähnten Bedingung $E_{kin} = \frac{m_e}{2} \cdot v^2 \geq e \cdot U_G$ für die kinetische Energie der beschleunigten Elektronen soll hierbei durch Beobachtung der mit Quecksilbergas und der mit Neongas befüllten Röhre ermittelt werden, ab welchen kinetischen Energien E_{kin} sowie Beschleunigungsspannungen U_B sichtbare Emissionslinien entstehen. Außerdem soll der am Auffänger entstehende Strom $I_A(U_B)$ während den ganzen Beobachtungsprozess ebenfalls gemessen und mithilfe eines Oszilloskops und Schreibers graphisch dargestellt werden.

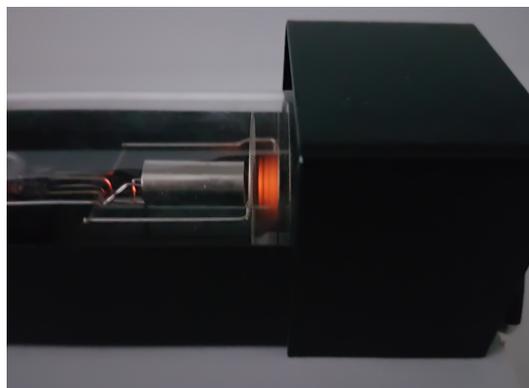


Abbildung 2: Spektrallinien einer Neonröhre

3 Anodenstrom I_A in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung U_B

3.1 Graphische Darstellungen des Oszyloskops

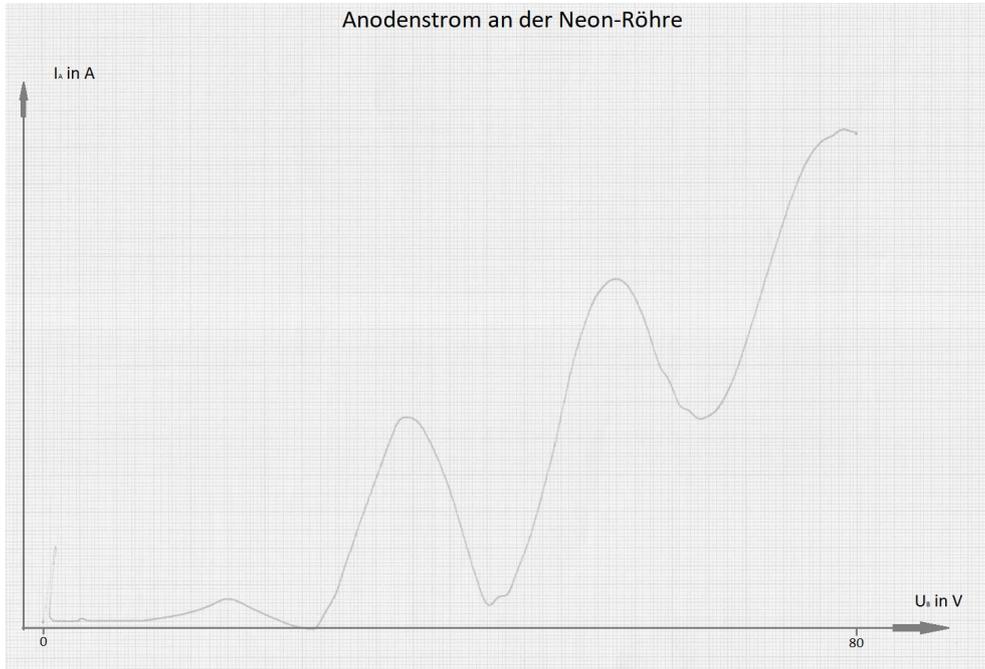


Abbildung 3: Funktion $I_A(U_B)$ für eine Neongasröhre

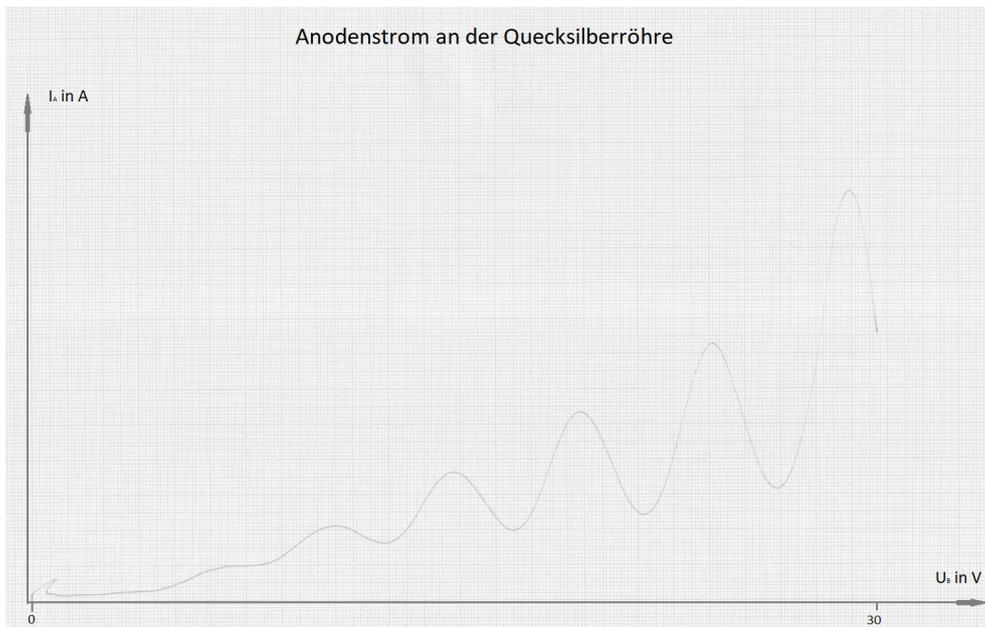


Abbildung 4: Funktion $I_A(U_B)$ für eine Quecksilbergasröhre

3.2 Auswertungen

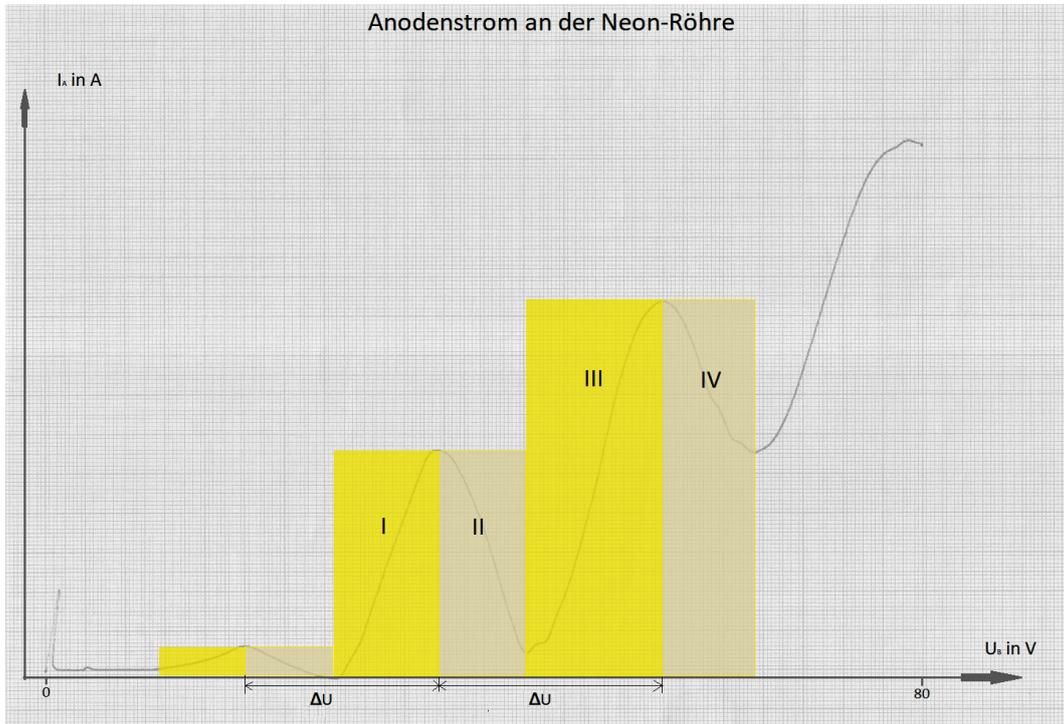


Abbildung 5: Auswertungsgraph für eine Neongasröhre

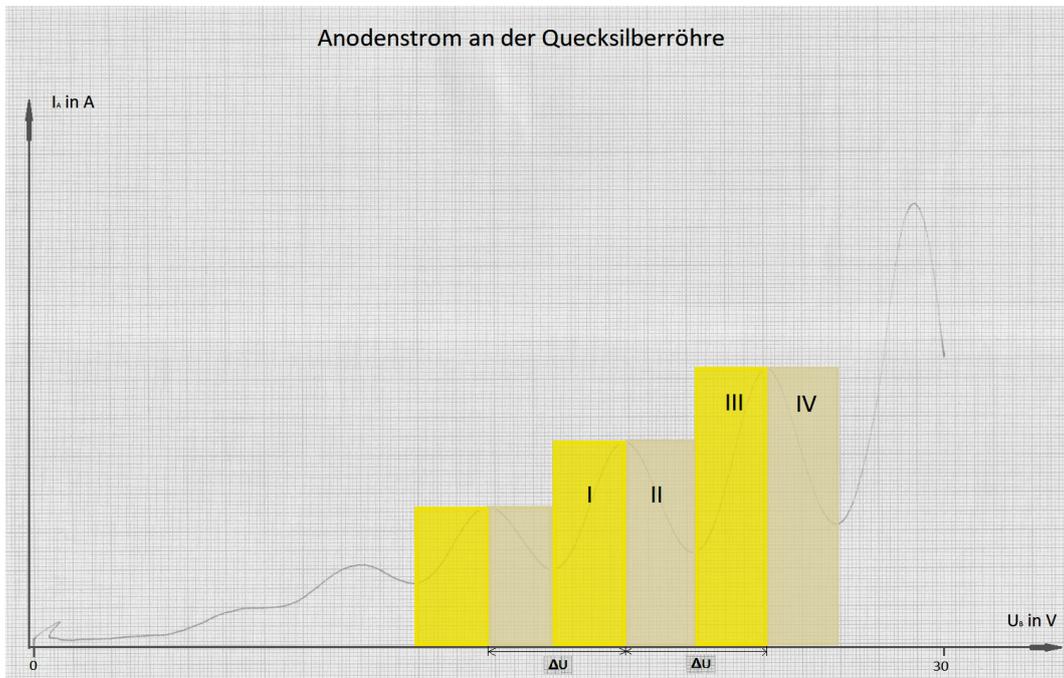


Abbildung 6: Auswertungsgraph für eine Quecksilbergasröhre

Sowohl bei der mit Neongas gefüllten Röhre (Abb.3) als auch bei der mit Quecksilberdampf (Abb.4) entstehen sehr charakteristische Kurven des Franck-Hertz Versuches für die Funktion $I_A(U_B)$. Da der Anodenstrom I_A mit $I_A = \frac{N \cdot e}{t}$ direkt proportional zur Anzahl N der am Auffänger ankommenden Elektronen ist, deutet die Größe desselben auf die Anzahl der Elektronen die die Gegenspannung U_G überwinden könnten. Man merkt, dass bei wachsender Beschleunigungsspannung U_B in Abschnitt I an beiden Röhren die Anzahl der am Auffänger ankommenden Elektronen fast linear ansteigt. Dieser Anstieg sieht sich aber ab einem bestimmten Wert für U_B jedoch unterbrochen und selbst bei ansteigender Beschleunigungsspannung überwinden im Abschnitt II immer weniger Elektronen die Gegenspannung U_G . Ein erneuter Anstieg findet in Abschnitt III statt, der analog zu Abschnitt I positiv linear verläuft bis ab einem bestimmten Wert von U_B -Abschnitt IV- die Anzahl der ankommenden Elektronen selbst bei ansteigender Beschleunigungsspannung abnimmt.

Warum dieser charakteristische Verlauf entsteht kann mithilfe der Vorstellung inelastischer Stoßprozesse zwischen den beschleunigten Elektronen und den Gasatomen in der Röhre veranschaulicht werden. Nach dieser Vorstellung würden die Elektronen mit einer durch die Beschleunigungsspannung U_B versetzten (u. somit proportionalen), kinetischen Energie E_{kin} gegen die gebundenen Elektronen an den Gasatomen entweder in einem elastischen oder einem inelastischen Stoßprozess stoßen. Bei der elastischen Fallunterscheidung würde der freie Elektron szsg. am Gasatom abprallen ohne seine kinetische Energie zu übertragen während beim inelastischen Fall die gesamte kinetische Energie des Elektrons an das gebundene Elektron im Gasatom übertragen werden und diesen auf ein höheres Energieniveau anregen würde. Damit dieser inelastische Stoß aber stattfindet muss der stoßende Elektron genau die kinetische Energie tragen, um das am Gasatom gebundene Elektron auf eine energetisch höhere Umlaufbahn zu bringen, d.h., es muss gelten $\Delta E = E_{n+1} - E_n = E_{kin}$.

Dies gilt bei den vorigen Abbildungen also offensichtlich dann, als zwischen den Abschnitten I-II und III-IV der Anodenstrom I_A anfängt abzunehmen, weil einige der Elektronen mit den Gasatomen inelastisch stoßen und somit die notwendige Energie verlieren, die sie gebraucht hätten um die Gegenspannung U_G noch zu überwinden. Da der Anodenstrom jedoch nur abnimmt und nicht Null wird, müssen einige Elektronen trotz ihrer ausreichenden kinetischen Energie für die Anregung des Gasatoms immer noch an den Auffänger ankommen, i.a., sie geben ihre Energie doch nicht ab. Der Grund, warum nicht alle Elektronen ihre Energie abgeben und im Gegenfeld aufgefangen werden, ist auch durch diese Vorstellung anschaulich beschreibbar durch die Tatsache, dass nicht alle Elektronen mit den Gasatomen stoßen, bzw., die Wahrscheinlichkeit dass ein einziges Elektron mit eins der am Gasatom gebundenen Elektronen stößt ist sehr gering und kommt nur aufgrund der großen Anzahl N an beschleunigten Elektronen vor.

Bei immer weiter ansteigenden Beschleunigungsspannungen wiederholt sich dieser Vorgang so wie bei III-IV im selben Intervall ΔU , woraus dann die Energiedifferenz $\Delta E = e \cdot \Delta U$ der Energieniveaus bestimmt werden kann. Es folgt somit für Neon- und Quecksilber aus den arithmetischen Mittelwerten und der Unsicherheitsbewertung der Messdaten;

$$\Delta E_{Ne} = (32 \pm 2) \cdot 10^{-19} J \quad \Delta E_{Hg} = (7,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-19} J \quad (1)$$

4 Diskussion

Die unter Sektion 3. ermittelten Werte für die Energiedifferenz zwischen den beiden energetischen Zuständen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit aufgrund eines Fehlers messtechnisch falsch, da die resultierenden Werte für die Energiedifferenzen nach dem Prinzip $\Delta E = E_\gamma = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ Photone der Wellenlänge $\lambda \in [50, 300]nm$ bei der Rückkehr des Elektrons in den Ruhezustand abgeben würde. Diese Wellenlänge liegt jedoch im UV-Bereich elektromagnetischer Strahlung, d.h. i.a. nicht sichtbares Licht, doch wie bei Abbildung 2. zum Experiment mit der Neonröhre zu sehen ist, müssten zumindest bei der Neonröhre auch Photonen im Bereich von $[500, 700]nm$ emittiert werden. Da dies auch der Fall zu sein scheint und der numerische Wert um eine Größenordnung vom erwarteten Wert der Wellenlänge für rotes Licht abweicht, muss ein Fehler bei der Skala, bzw., Erstellung des Diagramms vorliegen, der durch die fremde und auch etwas alte Natur des Oszilloskopschreiber Systems vorgekommen sein könnte. Eine wiederholte Messung und Korrektur der Messdaten, bzw., ein Vergleich der Messergebnisse mit anderen Gruppen würde somit unter anderen Umständen evtl. an dieser Stelle angemessen sein.

Nicht destotrotz liefert der Experiment trotzdem die erwartete Kurve, die die bohrschen Postulate experimentell nachweisen kann. Denn ohne die Annahme, dass die Elektronen an den Umlaufbahnen erst bei ganz bestimmten Energiewerten ΔE in der Lage sind, auf eine energetisch höhere Umlaufbahn angeregt zu werden und dann durch Abgabe eben dieser Energie in der Form von Photonen der Wellenlänge $\lambda = h \cdot \frac{c}{\Delta E}$ auf die ursprüngliche Umlaufbahn zurückzukehren, könnten weder die Emissionslinien noch ihre gleiche Farbe und somit Wellenlänge erklärt werden. Dass die Leuchterscheinung in der Röhre gleichzeitig mit einer Abnahme der am Auffänger ankommenden, freien Elektronen vorkommt, weist andererseits darauf hin, dass die anregende Energie für die Gasatome von den Stoßprozessen mit diesen beschleunigten Teilchen kommen muss, da ohne diesen Energieverlust einiger Elektronen die Kurve vollständig linear ansteigen würde.

Das erste bohrsche Postulat, der die Existenz diskreter Bahnen mit bestimmten, zugehörigen Energiewerten voraussagt, und das zweite der die Anregungsmöglichkeit für die Elektronen auf den Bahnen voraussetzt, wird von den in diesem Experiment erlangten, empirischen Befunden unterstützt. Nur die Aussage, dass Elektronen ohne jeglichen Energieverlust auf diesen Umlaufbahnen bleiben können, oder die Ursache dafür, geht über die Ergebnisse dieses Versuches hinaus und müsste später zu einem anderen Zeitpunkt erneut aufgegriffen werden.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Elektrodynamik und Optik*, 2012
- [2] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik*, 2007
- [3] Dr. Uwe Müller: *A2 - Franck-Hertz Versuch*, 2019