

## Einleitung:

Der Franck-Hertz-Versuch wurde von James Franck und Gustav Hertz 1914 in Berlin durchgeführt. Im Versuch werden Stöße zwischen Elektronen und Gasatomen untersucht. Drei Jahre zuvor wurde von Rutherford der Atomkern entdeckt, wodurch das Rutherford'sche Atommodell aufgestellt wurde. Dieses erweiterte man mit den Bohr'schen Postulaten, die schliesslich durch den Franck-Hertz-Versuch bestätigt wurden. Der Versuch belegt die Existenz von Energieniveaus in den Atomen.

1926 bekamen J. Franck und G. Hertz für ihren Versuch den Nobelpreis in Physik.

## Theorie:

Die Valenzelektronen des Quecksilberatoms befinden sich im Grundzustand G (siehe Abb.1). Durch ideale Bedingungen kann ein Valenzelektron durch Energieaufnahme in den angeregten Zustand H gelangen. Dafür benötigt es die Anregungsenergie:

$$\Delta E = E_H - E_G = 4.88eV \approx \Delta U \cdot e$$

Sobald das Valenzelektron sich in einem höheren Energieniveau befindet, fällt es aufgrund des energetisch ungünstigen Zustandes unter der Emission eines Lichtquants in den Grundzustand zurück. Dieses Photon besitzt die Energie  $\Delta E = 4.88eV$  und eine Wellenlänge von 253.6 nm.

Abb. 1: Energie-Niveaus von Hg

Im Franck-Hertz-Experiment kommt die Energieübertragung durch Zusammenstöße zwischen den Elektronen ( $e^-$ ) in der Röhre und den Quecksilberatomen zustande.

- Solange die kinetische Energie eines  $e^-$  kleiner ist als die benötigte Anregungsenergie kommt es zu einem **elastischen Stoss**. Aufgrund des viel geringeren Gewichtes des  $e^-$  im Vergleich zum Atom verliert es beim Stoss praktisch keine kinetische Energie. Im verdünnten Gas in der Röhre kann das Elektron somit ohne wesentlichen Energieverlust eine grosse Strecke zurücklegen.
- Ist die kinetische Energie hingegen grösser als  $\Delta E = 4.88eV$ , kommt es zu einem **unelastischen Stoss**. Dabei geht die kinetische Energie des  $e^-$  in innere Energie des Atoms über, wodurch das Atom einen energiereicheren Zustand erreicht. Die Energien der Niveaus sind definiert, weshalb bei einem solchen Stoss nur bestimmte Energiebeträge ( $\Delta E$ ) aufgenommen werden können.

## Versuchsaufbau und Durchführung:

Die Versuchsanordnung besteht aus einem Heizofen, der an einem Strom- und Spannungsnetzgerät angeschlossen ist. Im Heizofen befindet sich die Franck-Hertz-Röhre, die mit dem Quecksilberisotop  $^{202}\text{Hg}$  gefüllt ist. In der Röhre herrscht ein niedrigerer Druck als ausserhalb, sodass eine Temperatur zwischen 150°C und 200°C genügt um in den gasförmigen Aggregatzustand überzugehen (Sdp. 357°C).

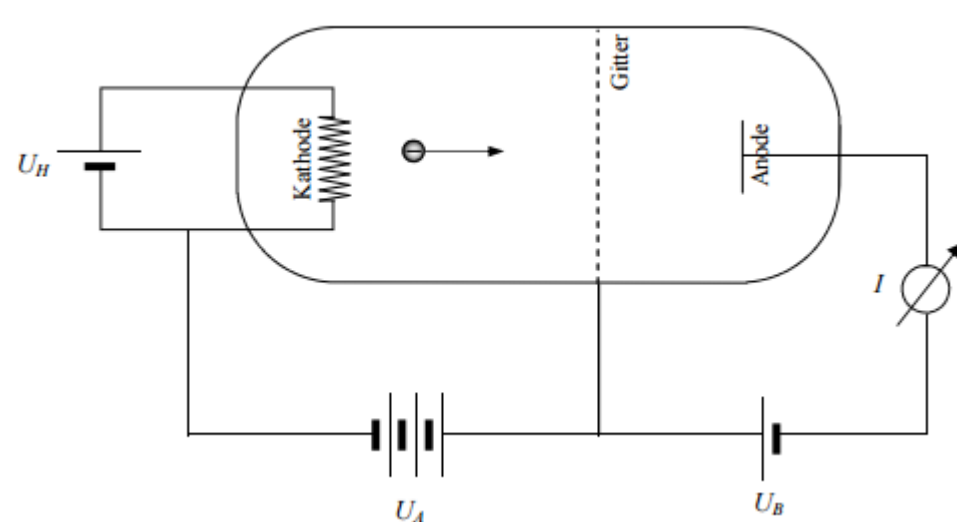
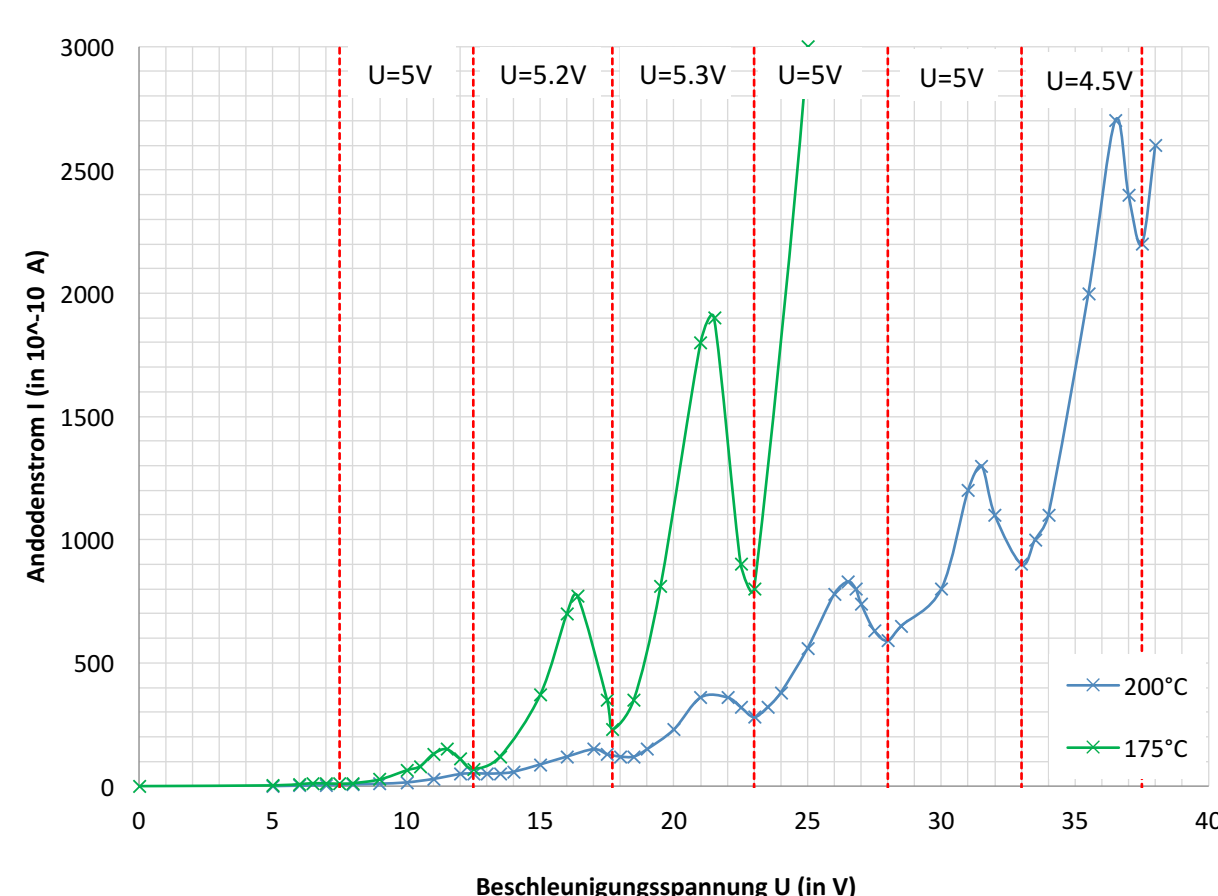


Abb. 2: Schematischer Aufbau des Versuchs

Die  $e^-$  werden aus der Heizkathode ( $U_H = 6.3V$ ) thermisch emittiert. Durch die variable Beschleunigungsspannung  $U_A$  (zwischen 0V und 70V) werden die  $e^-$  zum Gitter hin beschleunigt. Lediglich ein geringer Teil der  $e^-$  durchqueren das Gitter und werden anschliessend von der Gegenspannung  $U_B = 1.5V$  abgebremst. Falls diese die Bremsspannung  $U_B$  überwinden, erreichen sie die Anode, in welcher der Strom gemessen wird. Das Experiment besteht darin den Strom  $I$  in Abhängigkeit zur variablen Spannung  $U_A$  aufzunehmen.

Beim Aufnehmen der Messung ist es wichtig, dass die Maxima und Minima des U-I-Diagramms festgestellt werden, da man deren Lagen für die Auswertung benötigt.

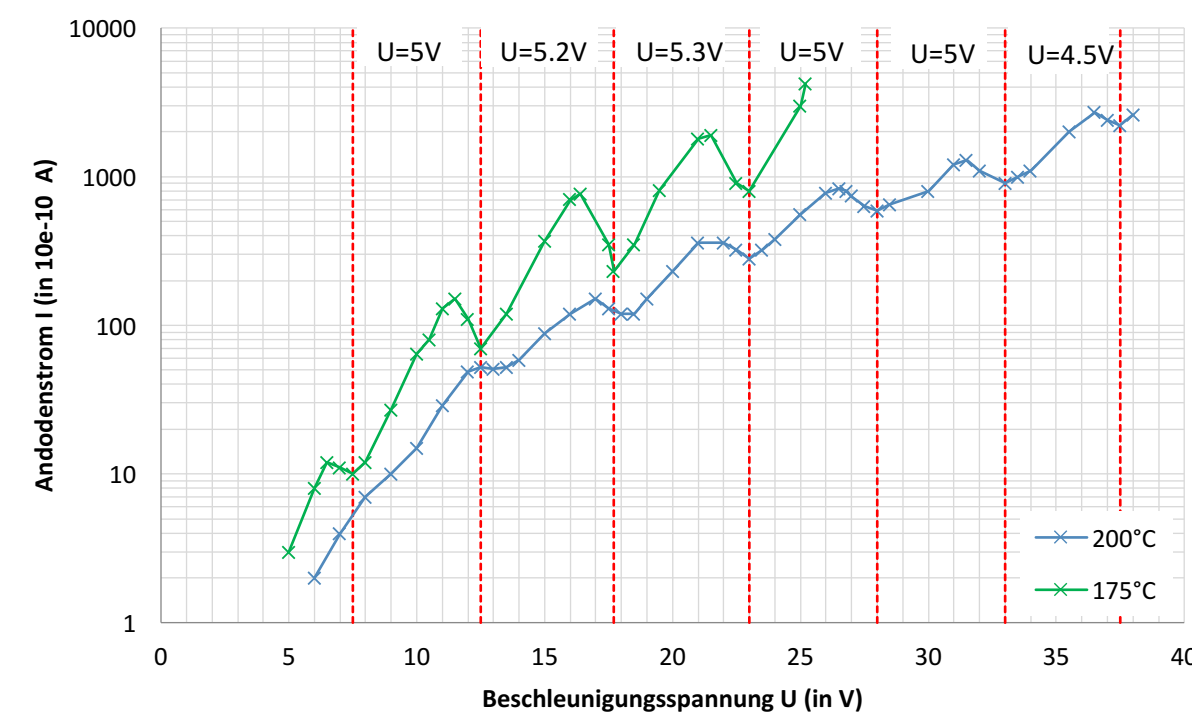
## Resultate:



Abstände die Minima:

#Minima	$\Delta U$ (in V)
1	5,0
2	5,2
3	5,3
4	5,0
5	5,0
6	4,5
	5,0

Abb. 3



Trägt man die Werte logarithmisch auf, so ist das erste Minimum deutlich besser sichtbar. Man könnte zudem vermuten, dass die Maxima auch auf einer Geraden liegen.

Abb. 4

## Beobachtungen und Erklärungen:

1. **Beobachtung:** Erhöht man die Spannung  $U_A$ , so wächst der gemessene Strom an, bis es ein Maximum erreicht (siehe Abb.3 und 4). Beim Erreichen der Maxima leuchten in der Franck-Hertz-Röhre einzelne Schichten blau auf. Dabei gilt: pro Maximum kommt ein aufleuchtender Streifen hinzu (siehe Abb.5).

**Erklärung:** In der ersten Phase nimmt die kinetische Energie des  $e^-$  zu. Sobald die Energie genügt, um die Gegenspannung  $U_B$  zu überwinden, wird Strom gemessen. Je höher die Energie, desto höherer der Strom. Entsprechend steigt der Strom monoton an, bis es ein Maximum erreicht. Das Maximum entspricht einem unelastischen Stoss, wobei Licht emittiert wird. Das heisst beim Durchqueren der Spannung  $U_A$  wird es mehrmals beschleunigt, sodass es zu mehreren unelastischen Zusammenstößen kommt. Entsprechend erscheinen mehrere blaue Streifen in verschiedenen Abständen zu einander. Der Abstand entspricht der Strecke die das  $e^-$  benötigt, um die benötigte Geschwindigkeit zu erlangen.

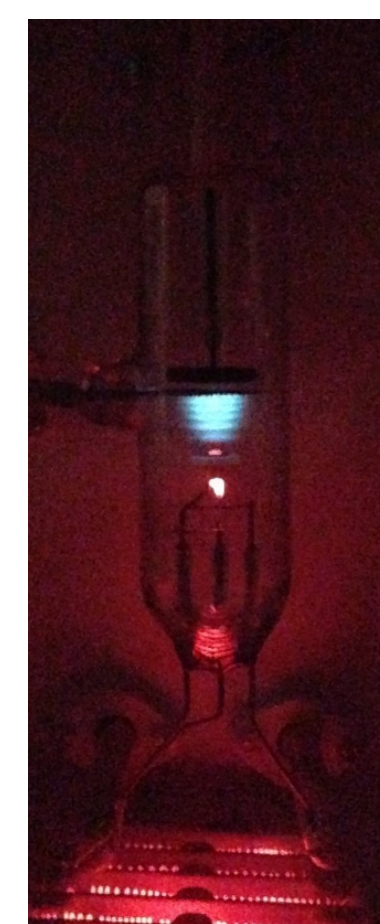


Abb. 5: Anregungszonen

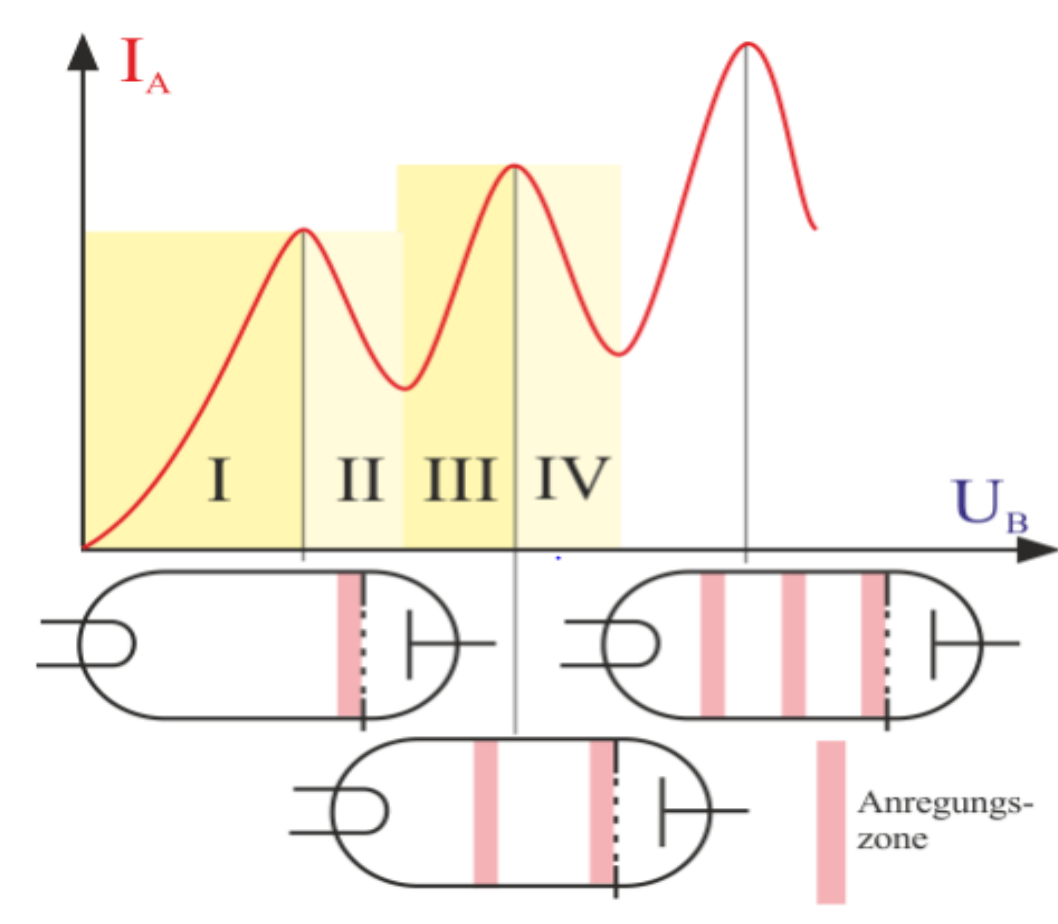


Abb. 6: Darstellung der Anregungszonen

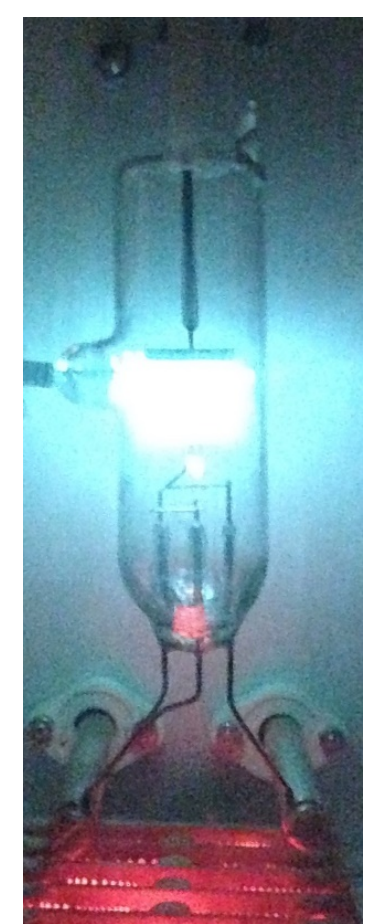


Abb. 7: Ionisierung

2. **Beobachtung:** Nach dem Erreichen eines Maximums nahm der gemessene Strom rasant ab, bis es ein Minimum erreichte. Dieses entsprach nie 0 Ampere.

**Erklärung:** Nach dem das Elektron beim unelastischen Stoss (Maximum) seine Energie praktisch ganz verlor, besass es nicht genügend Energie um die Gegenspannung  $U_B$  zu überwinden, weshalb der Strom abnahm. Es erreichte nie das 0-niveau, weil auf der Beschleunigungsstrecke längst nicht alle Elektronen mit einem Atom kollidieren und die Geschwindigkeit verlieren.

3. **Beobachtung:** Die Abstände zwischen den Maxima beziehungsweise Minima sind näherungsweise konstant.

**Erklärung:** Die Abstände sind ca.  $5V \approx 4.88eV$  breit. Dies entspricht der Energie ( $\Delta E$ ) die das  $e^-$  zwischen zwei Maxima aufnehmen muss, um das Quecksilberatom auf einen energetisch höheren Zustand anzuregen.

4. **Beobachtung:** Sobald die Spannung  $U_A$  genügend gross ist, leuchtet das ganze Gas intensiv blau auf. Dieser Vorgang gleicht einem Zünden des Gases.

**Erklärung:** Ein  $e^-$  kann ausreichend kinetische Energie gewinnen, sodass es beim Zusammenstoss das Atom ionisiert. Dadurch findet eine Kettenreaktion statt. Das Gas leuchtet intensiv, da es viele ionisierte Atome enthält, die beim Einfangen von Elektronen Photonen (Licht) aussenden.

5. **Beobachtung:** Beim Vergleichen der beiden Diagramme bei unterschiedlichen Temperaturen bemerkt man, dass bei niedrigeren Temperaturen der I-Wert stärker anwächst, während der U-Wert gleich bleibt.

**Erklärung:** Bei 175°C ist die Dichte des Quecksilbergases geringer als bei 200°C. Deshalb ist es bei 175°C unwahrscheinlicher mit einem Atom unelastisch zu stossen. Somit erreichen mehr  $e^-$  die Anode ohne ihre kinetische Energie einzubüssen, weshalb der gemessene Strom grösser ist.

## Quellen:

- <http://www.leifiphysik.de/atomphysik/atomarer-energieaustausch/versuche/franck-hertz-realversuch> (5.5.2016)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Franck-Hertz-Versuch> (8.5.2016)
- Uni Basel: Praktikumsanleitung zum Franck-Hertz-Versuch (2015)
- [http://www.dick.chemie.uni-regensburg.de/studium/files/Elektronische\\_Uebergaenge\\_in\\_Atomen.pdf](http://www.dick.chemie.uni-regensburg.de/studium/files/Elektronische_Uebergaenge_in_Atomen.pdf) (6.5.2016)
- <https://ip.uni-goettingen.de/get/text/1612> (5.5.2016)

Kontakt zur Lehrperson:

Reinhard Weiß, [reinhard.weiss@edubs.ch](mailto:reinhard.weiss@edubs.ch), Gymnasium Kirschgarten Basel