

4 Anhang: Deutung des Experiments

Befindet sich die Franck-Hertz-Röhre im kalten Zustand, so steigt der Strom I_G streng monoton mit der angelegten Beschleunigungsspannung U_B an (rote Kurve in der Abbildung). Dieses Verhalten lässt sich wie folgt verstehen: Die geheizte Kathode emittiert aufgrund des glühelektrischen Effekts Elektronen. Diese Elektronen bilden vor der Kathode eine Raumladungswolke. Bei einer kleinen Beschleunigungsspannung nimmt nur ein sehr kleiner Teil der Elektronen aus der Raumladungswolke am Stromtransport teil – die anderen fallen in die Kathode zurück. Die „abgesaugten“ Elektronen werden durch das elektrische Feld beschleunigt und haben anschließend die kinetische Energie

$$E_{kin} = e \cdot U_B$$

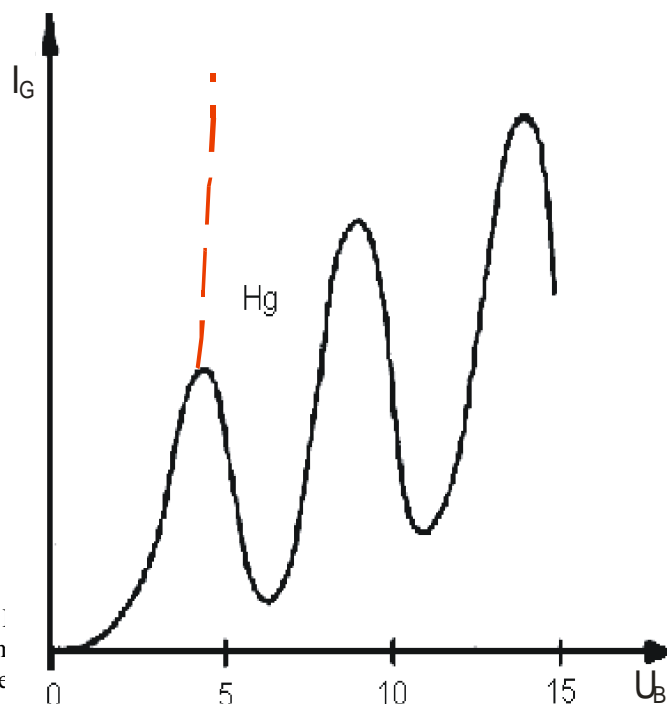
Die Anode hat die Form eines Gitters, das die meisten Elektronen passieren können (sie fliegen durch die Maschen). Die Elektronen, die das Gitter passiert haben, müssen nun durch ein Gegenfeld laufen und werden abgebremst, erreichen bei genügend hoher Energie aber schließlich die Gegenelektrode.

Wird die Beschleunigungsspannung weiter erhöht, so werden immer mehr Elektronen aus der Raumladungszone abgesaugt und gelangen zur Gegenelektrode; der Strom nimmt zu. Das in der Röhre befindliche Quecksilber stört den Prozess nicht, da bei Zimmertemperatur der Quecksilberdampfdruck sehr gering ist (Dampfdruck $p_{Hg} = 0,16$ Pa bei 293 K) und es kaum Quecksilberatome gibt, mit denen die Elektronen wechselwirken können.

Die Kurve sieht jedoch völlig anders aus, wenn die Röhre auf eine Temperatur von ca. 180 °C aufgeheizt wird. In regelmäßigen Abständen zeigt die Kurve dann Minima und Maxima.

Deutung:

Durch das Aufheizen ist ein Teil des Quecksilbers in die Dampfphase übergegangen (Dampfdruck $p_{Hg} \approx 2$ mbar). Die Wahrscheinlichkeit, dass es zwischen den Elektronen und den Quecksilberatomen zu Stößen kommt, ist nun erheblich größer. Bei geringen Beschleunigungsspannungen entspricht der Verlauf der Kurve dem bei Zimmertemperatur, d.h. die Elektronen geben trotz der Stöße keine Energie an die Quecksilberatome ab. Die Quecksilberatome nehmen keine Energie auf, d.h. die Stöße sind *elastisch*¹.



¹ Ein *elastischer* Stoß ist ein Stoßprozess, bei dem keine Energie übertragen wird. Hier bleiben sowohl Bewegungsenergie als auch Impuls erhalten. Ein *inelastischer* Stoß ist ein Stoßprozess, bei dem Bewegungsenergie übertragen wird. Der (Gesamt-)Impuls bleibt jedoch auch hier erhalten.

Bei steigender (Beschleunigungs-)Spannung fällt die Kurve plötzlich stark ab. Dies kann nur so gedeutet werden, dass die Elektronen durch die Stöße Energie verloren haben und nun nicht mehr alle in der Lage sind, die Gegenspannung zu durchlaufen und zur Gegenelektrode zu gelangen.

Dieses Verhalten ist ein Hinweis auf quantisierte Energiestufen der Elektronen im Quecksilberatom. Erst wenn ein stoßendes Elektron genügend Energie besitzt, um ein äußeres Elektron im Quecksilberatom energetisch mindestens auf die nächsthöhere (Energie-)Stufe anzuregen, kann es an dieses seine Energie übertragen und der Stoß wird unelastisch.

Wird die Beschleunigungsspannung weiter erhöht, so werden solche unelastischen Stöße räumlich bereits vor Erreichen der Gitter-Anode stattfinden. Die dadurch abgebremsten Elektronen können auf ihrem restlichen Weg zur Anode wieder Energie aus dem elektrischen Feld aufnehmen und die Gegenspannung zwischen Gegenelektrode und Anode überwinden; der Strom I_G steigt wieder an. Der zweite Abfall in der Kurve beginnt bei derjenigen Beschleunigungsspannung, bei der die Elektronen auf ihrem Weg von der Kathode zur Anode die Quecksilberatome zweimal anregen können. Die kinetische Energie reicht nun wieder nicht aus, um das Gegenfeld zu überwinden; der Strom beginnt wieder zu fallen.

Mit steigender Beschleunigungsspannung erhöht sich die Stromstärke wieder, bis jeweils weitere unelastische Stöße erfolgen können.

Aufgabe:

Die Beschleunigungsspannung sei am Anfang so hoch, dass gerade ein Stoß (pro Elektron) stattfindet. Wo liegt in diesem Fall die Stoßzone?

Beschreiben Sie, wie die Stoßzone wandert, wenn die Beschleunigungsspannung langsam erhöht wird! Wann entsteht eine neue Stoßzone? Wo liegen die Stoßzonen, wenn gerade zwei Stöße (drei Stöße, vier Stöße usw.) stattfinden?