



Messung der Driftgeschwindigkeit von Elektronen in Gasen

Versuch Nr. 1

Vorbereitung - 22. Oktober 2012

Ausgearbeitet von Martin Günther und Nils Braun

ergeben, wobei E die angelegte Feldstärke, m die Elektronenmasse und e die Einheitsladung ist. Die Elektronen stoßen jedoch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit P mit den umliegenden Gasatomen. Dies ist ein stochastischer Prozess, der (näherungsweise) binomialverteilt ist. Nimmt man eine Kollisionsrate $1/\tau$ (also die mittlere Zeit τ zwischen zwei Stößen) an, so bedeutet das vor allem, dass die Wahrscheinlichkeit P , eine Kollision in einem gewissen Zeitintervall t zu finden, exponentialverteilt ist:

$$P(t) = \frac{1}{\tau} e^{-t/\tau}$$

Für jeden Wert von t erhält man also einen gewissen Wert für x (aus der Bewegung durch das elektrische Feld) nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit P (da, wenn das Elektron vorher gestoßen hat, die Strecke x nicht erreicht werden kann). Man erhält also als zeitlichen Erwartungswert von x :

$$E(x) = \int xP = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \frac{e}{m} E t^2 \frac{1}{\tau} e^{-t/\tau} dt = \frac{e}{m} E \tau^2$$

Durch die Kollisionen mit den Gasatomen ergibt sich statt einer beschleunigten Bewegung durch das Feld eine Bewegung mit - im Mittel - konstanter Driftgeschwindigkeit. Die mittlere Driftgeschwindigkeit ist gegeben durch

$$\langle v_D \rangle = \frac{E(x)}{\tau} = \frac{e}{m} E \tau = \mu E$$

μ nennt man auch die Beweglichkeit der Elektronen.

Die Kollisionsrate $1/\tau$ ist abhängig von der Teilchendichte N , dem Streuquerschnitt σ und der

momentanen Elektronengeschwindigkeit ω

$$\frac{1}{\tau} = N\sigma\omega$$

Die Elektronengeschwindigkeit ω ergibt sich hierbei aus der gesamten kinetischen Energie der Elektronen E mit

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 = E_{\text{el}} + E_{\text{therm}}$$

Somit ist die mittlere Driftgeschwindigkeit proportional zur so genannten reduzierten elektrischen Feldstärke

$$\langle v_D \rangle \sim \frac{E}{P}$$

mit dem Druck P des Gases.

Diffusion

Der beschleunigten gerichteten Bewegung der Elektronen ist eine ungerichtete Diffusionsbewegung aufgrund der Brownschen Molekularbewegung überlagert. Bei einer gewissen Temperatur T ist die thermische Energie der Elektronen in Näherung Maxwell-Boltzmann-verteilt mit dem bekannten Erwartungswert $3/2kT$. Die Ladungswolke diffundiert deshalb in den sie umgebenden Raum wie ein zerfließendes Gaußpaket mit dem Diffusionskoeffizienten D . Da es sich beim verwendeten Argon um ein so genanntes heißes Gas handelt, bei dem der Energiegewinn durch das elektrische Feld weit aus größer als die thermische Energie ist, kann diese Diffusionsbewegung vernachlässigt werden.

Veränderung des Streuquerschnitts

Der Streuquerschnitt σ ist stark energieabhängig. Doch nicht nur diese klassisch zu erwartende Energieabhängigkeit spielt eine Rolle, sondern auch der nur quantenphysikalisch zu erklärende "Ramsauereffekt". Bei bestimmten Energien befindet sich die De-Broglie-Wellenlänge der Elektronen im Bereich der Ausdehnung der Gasatome. Somit werden die Gasatome aufgrund quantenphysikalischer Interferenzeffekte für die Elektronen "durchsichtig" und der Wirkungsquerschnitt sinkt rapide (Ramsauer-Minimum). Aus diesem Grund ändert sich auch die Kollisionsrate und damit die mittlere Driftgeschwindigkeit je nach Elektronenenergie.

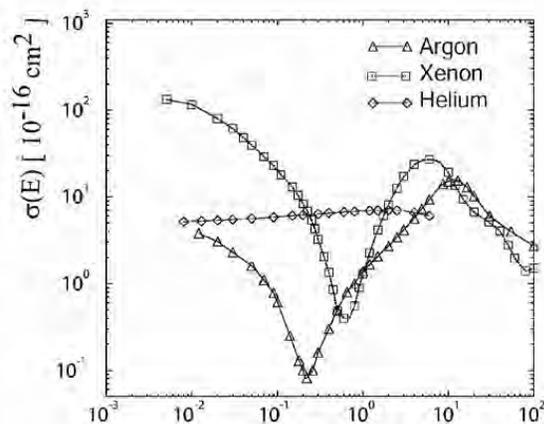


Abbildung 2: Ramsauereffekt. Quelle "Blaues Buch"

3 Zugeseetztes Gas

Als Gas wird in diesem Versuch ein Argon-Methan-Gemisch verschiedener Zusammensetzung verwendet. Der zugeseetzte organische Anteil sorgt dafür, dass Photonen aus dem Gasverstärkungsprozess über Rotations- und Vibrationsniveauänderungen aufgenommen werden, welche ansonsten zu dauerhaften Gasentladungen führen würden. Der Anteil wird deshalb auch als Löschgas bezeichnet.

Der Zusatz wirkt sich jedoch natürlich auch auf die Driftgeschwindigkeit aus. Bei reinem Argon liegen die Elektronenenergien schon bei geringen reduzierten Feldstärkewerten in Bereichen überhalb des Ramsauerminimums. Der Streuquerschnitt ist also größer und damit die Driftgeschwindigkeit kleiner. Der zugeseetzte Löschgasanteil führt jetzt dazu, dass die Elektronen ihre Energie über die Niveauwechsel der Vibrations- und Rotationszustände verlieren und somit in einen Energiebereich kommen, in welchen das Edelgas Argon ein Ramsauerminimum hat. Die Elektronen stoßen weniger oft mit den Edelgasatomen und besitzen deshalb eine höhere Driftgeschwindigkeit. Natürlich ist die Tatsache, ob ein Ramsauerminimum vorliegt oder nicht, auch abhängig von der Elektronenenergie und damit vom angelegten Feld.

Quellen

"Blaues Buch"
wikipedia.de