

Bewegung von Ladungsträger in Feldern

I) Einführung

Frei bewegliche Elektronen *in* Metalldrähten sind Voraussetzung für die Stromwirtschaft. Durch permanente Stöße erreichen die Elektronen hier nur eine geringe Durchschnittsgeschwindigkeit. Im Vakuum oder in verdünntem Gasen hingegen lassen sich die Ladungsträger stark beschleunigen und können so in Leuchtstoffröhren, Glimmlampen, Rundfunk- und Fernschröhren, Massenspektroskopen und Großbeschleunigern entsprechend genutzt werden. Besonders wichtig ist das Elektron. Millikan konnte 1910 zeigen, dass die negative Ladung im Atom nicht etwa kontinuierlich verteilt ist, sondern dass sie aus einzelnen Ladungsportionen, den Elektronen, besteht.

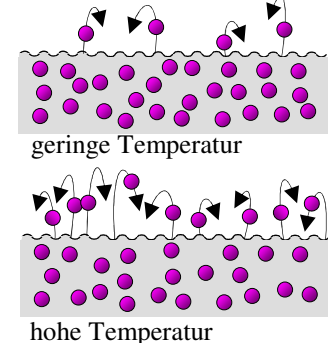
II) Erzeugung freier Ladungsträger

Die Elektronen im Atom, Molekül oder Festkörper sind elektrostatisch gebunden. Um sie freizusetzen, muss eine *Ablösearbeit* W_A zugeführt werden. Dafür gibt es verschiedene Methoden.

1) Freisetzung von Elektronen

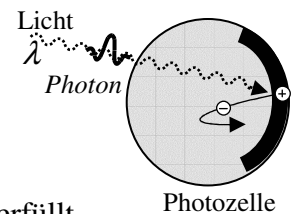
a) Glühemission: Emission von Elektronen durch Wärme..

In einer stromdurchflossenen Glühwendel übertragen die Atomrümpfe durch Stöße eine mehr oder weniger große Geschwindigkeit auf die Elektronen, sodass diese eine statistische Geschwindigkeitsverteilung besitzen, bei welcher die schnellsten, wie bei der Verdunstung, „abdampfen“ können. Bei einer gegebenen Temperatur stellt sich ein Gleichgewicht ein: Im Mittel springen so viele Elektronen aus dem Metall heraus, wie wieder in es zurückfallen. Je höher die Temperatur, desto weiter verschiebt sich der Gleichgewichtspunkt. Glüht der Draht, so ist er von einer erheblichen Wolke freier Elektronen umgeben. Weil die *Elektronenröhren* alter Radios auf der Glühemission beruhen, nennt man sie auch abfällig „Dampfradios“.



b) Photoemission: Emission von Elektronen durch Licht.

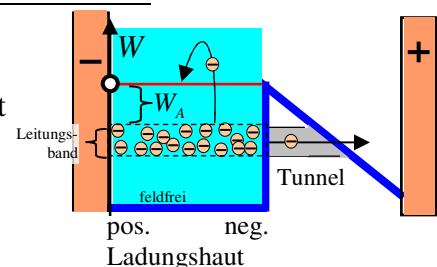
Hier wird eine Metallplatte mit Licht der Wellenlänge λ bestrahlt. Einstein erkannte, dass Licht aus einzelnen Lichtteilchen, den Photonen, besteht, die jeweils die Energie $W = h \cdot f$ tragen. ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $f = c / \lambda$). Nach dem Eins-zu-Eins-Prinzip können *nicht* zwei Photonen gemeinsam ihre Energie auf ein Elektron übertragen. Somit setzt die Photoemission erst ein, wenn die Frequenz (Farbe) des Lichtes die Bedingung $h f > W_A$ erfüllt.



Besitzt das Licht diese Mindestfrequenz, so steigt die Anzahl der freigesetzten Elektronen mit der Anzahl der im Lichtstrom enthaltenen Photonen, d.h. mit der Intensität, bzw. Helligkeit des Lichtes an. Im Belichtungsmesser wird der Photoeffekt technisch genutzt.

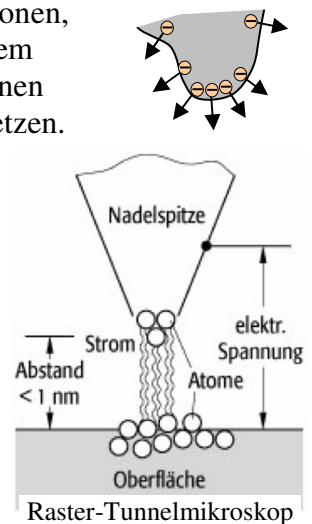
c) Feldemission: Emission von Elektronen durch einen Quanteneffekt.

Zwischen zwei geladenen äußeren Polen liegt ein Metallblock. Durch Influenz (Ausbildung einer positiven und negativen Ladungshaut gegenüber den Polen) bleibt das Innere selbst bei großer äußerer Feldstärke feldfrei. Die frei beweglichen Elektronen des Metallblocks bekommen also von dem äußeren Feld gar nichts mit. Sie befinden sich energetisch in einem schmalen Bereich, dem sog. Leitungsband, aus dem sie nach klassisch physikalischer Vorstellung nicht heraus können. Tatsächlich sprühen die Elektronen aber aus einer feinen Metallspitze geradezu heraus, wenn eine ausreichende Spannung angelegt wird. Das nutzt man beim



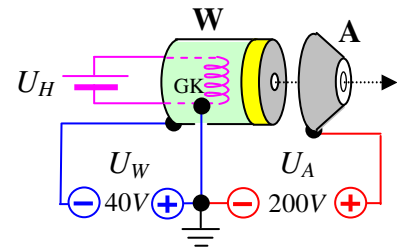
Raster-Tunnelmikroskop. Warum kann das äußere Feld die Elektronen, trotz Influenz, aus dem Metallblock heraus ziehen? Das liegt an dem quantenmechanischen Tunneleffekt. Dieser erlaubt es den Elektronen für eine ganz kurze Zeitspanne den Energieerhaltungssatz zu verletzen.

Das Gesetz dafür ist sehr einfach, es heißt $\Delta W \cdot \Delta t \approx h$. Dabei ist $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ wieder das Plancksche Wirkungsquantum. Je schmaler die Energiebarriere in der obigen Abbildung ist, desto weniger Zeit Δt brauchen die Elektronen für diese ansich verbotene Zone und „untertunneln“ dann auch ein recht hohes ΔW . Auch in Natur und Technik kommt der Tunneleffekt vor, nämlich z.B. beim Blitzableiter.



d) Die Elektronenkanone

Für viele Anwendungszwecke benötigt man eine möglichst punktförmige Elektronenquelle, deren Austrittsrate steuerbar ist. Dies gelingt mit der „Elektronenkanone“: Eine Glühkathode GK befindet sich innerhalb des sog. Wehneltzylinders W, der gegenüber der Kathodenwendel durch die Spannung U_W negativ geladen ist. Dadurch werden die emittierten Elektronen von den Zylinderwänden abgehalten. Nur ein kleines Loch ermöglicht den Austritt, dessen Intensität durch größere Werte von U_W auf null gesenkt werden kann. Vor dem Austrittsloch befindet sich die positiv geladene Anode A. Sie beschleunigt die Elektronen. Diese folgen jedoch nicht genau den Feldlinien, welche vom Zylinderloch zum Anodenblech verlaufen, sondern die meisten schießen aufgrund ihrer Trägheit durch die Anodenbohrung, aus welcher dann ein in Anzahl und Geschwindigkeit steuerbarer Elektronenstrahl austritt. Der Energiesatz $\frac{1}{2} m_e v^2 = e \cdot U_A$ liefert die Austrittsgeschwindigkeit $v = \sqrt{2e \cdot U_A / m_e}$.

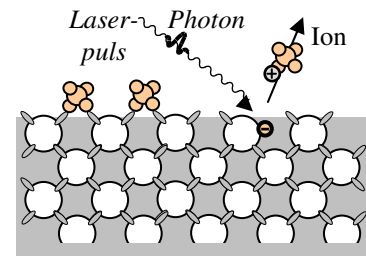


Die Elektronenladung beträgt $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Das Elektron hat die Masse $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Aufgabe: Zeige, dass die Elektronen bei einer Beschleunigungsspannung $U_A = 100\text{V}$ mit der Geschwindigkeit $v \approx 21,4$ Millionen km/h aus der Anodenbohrung austreten.

2) Freisetzung von Ionen.

Wir kennen die Schwärzung der Innenseite des Glaskolbens alter Glühlampen. Beim Glühen springen nicht nur Elektronen aus der Wendel, es lösen sich auch Atome und komplette Metallcluster ab. Im evakuierten Kolben füllt sich daher der Raum um die Glühwendel mit einem entsprechenden Gas. Einige Gasteilchen schlagen sich auf den verfügbaren Oberflächen nieder und werden dort chemisch gebunden.



Den Vorgang nennt man Adsorption. Erhitzt man die Oberfläche, so werden die Teilchen wieder abgedampft (Desorption). Die Ablösung lässt sich durch Laserimpulse exakt steuern. Viele der desorbierten Teilchen werden dabei ionisiert.

Aufgabenblatt 1. Bewegung von Ladungsträger in Feldern

- 1) Erläutere, was man unter der *Ablösearbeit* W_A versteht.
- 2) Erkläre den Begriff „Emission“.
- 3) Erkläre, inwiefern die Glühemission temperaturabhängig ist.
- 4) Skizziere eine Welle und zeichne die Wellenlänge und die Amplitude ein.
- 5) Erläutere, was man unter einem „Photon“ versteht.
- 6) Benenne die Bedeutung der Buchstaben in den Formeln $W = h \cdot f$ und $f = c / \lambda$.
- 7) Erkläre, warum die Energie W eines Photons antiproportional zur Wellenlänge des Lichtes ist, zu dem dieses Photon gehört.
- 8) Erkläre, wie die Photoemission funktioniert und warum sie erst bei einer gewissen Frequenz des Lichtes einsetzt.
- 9) Die Feldemission funktioniert nur durch einen Quanteneffekt. Erläutere dies.
- 10) Benenne die Einzelteile einer Elektronenkanone und bearbeite die zugeh. Aufgabe.
- 11) Was versteht man unter Adsorption und Desorption?
- 12) Über welches Teilthema dieses Themenkreises möchtest du noch mehr erfahren und deshalb dazu ein Referat halten?

