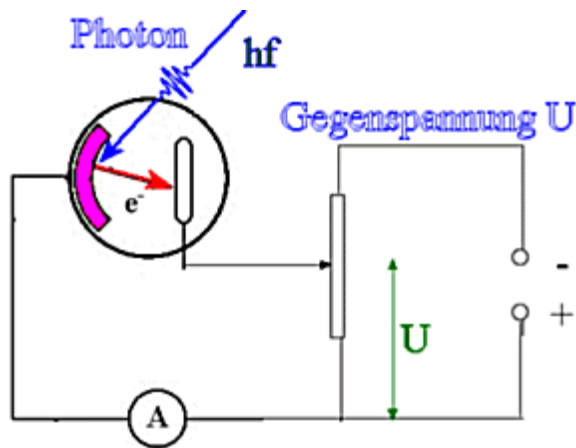


# Internetpräsentation zum Fotoeffekt

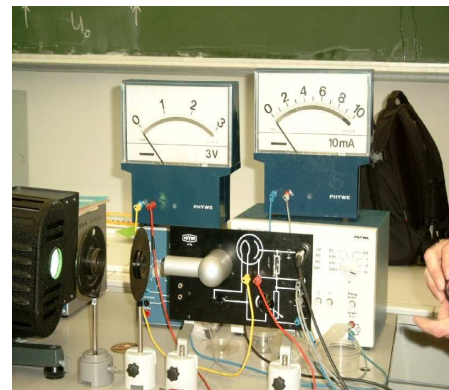
von Jan H. Hedder

Bestrahlt man eine elektrisch negativ aufgeladene Metalloberfläche (z.B. Zink oder Aluminium) mit Licht kurzer Wellenlänge, so entlädt sie sich. Diese Entladung ist darauf zurückzuführen, dass beim Auftreffen des Lichtes negativ geladene Elektronen von der Metallplatte abgelöst werden. Man bezeichnet diese Erscheinung als (äußeren) lichtelektrischen Effekt oder Fotoeffekt.

Mit der klassischen Physik kann man diesen Vorgang folgendermaßen verstehen: Das Licht transportiert als elektromagnetische Welle Energie und Impuls, die beim Auftreffen auf die Metalloberfläche auf ein Elektron der Metallplatte übertragen werden. Das Elektron kann genügend kinetische Energie erhalten, um die Austrittsarbeit zu überwinden und die Metalloberfläche zu verlassen. Eine genauere Untersuchung ist möglich mit Hilfe der Fotozelle, die unten skizziert ist.



Versuchsaufbau zur Gegenfeldmethode



Die Zelle besteht aus einem Vakuumgefäß, das eine mit einem Alkalimetall beschichtete Kathode K und eine Anode A enthält. Zwischen K und A kann eine Spannung  $U$  angelegt werden (zunächst mit dem Minuspol an der Kathode). Bestrahlt man nun die Kathode mit sichtbarem Licht, so fließt im Stromkreis ein „Fotostrom“, dessen Stärke mit dem Amperemeter abgelesen werden kann. Dabei wächst der Strom  $I$  zunächst mit der Spannung  $U$  und erreicht schließlich einen Sättigungswert, dessen Betrag von der Intensität des Lichtes abhängt. Polt man die Spannungsquelle um, d. h. legt man ihren Pluspol an die Kathode, so fließt anfangs der Fotostrom weiter; er verschwindet aber dann bei einem bestimmten Wert der Gegenspannung, der von der Frequenz des eingestrahnten Lichtes abhängt. Die quantitative Auswertung solcher Experimente führt jedoch zu Ergebnissen, die nicht mit der Wellentheorie des Lichtes erklärbar sind.

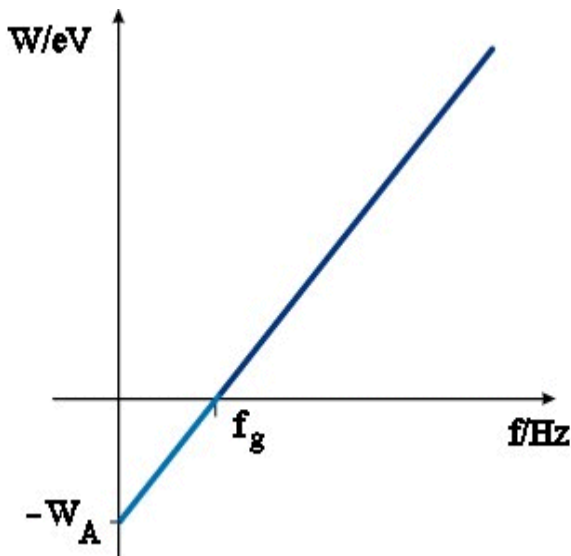
Die wichtigsten experimentellen Ergebnisse sind:

1. Es gibt eine kurzwellige Grenzfrequenz  $f_g$ . Nur Licht mit einer Frequenz, die größer ist als  $f_g$ , kann Elektronen auslösen; die Grenzfrequenz hängt von der Art des Metalls der Fotokathode ab.
2. Mit der oben erwähnten Gegenfeldmethode kann die kinetische Energie der Fotoelektronen gemessen werden. Die Elektronen werden in das Vakuum ausgesandt und müssen die Gegenspannung überwinden, um die Anode zu erreichen. Nach der Gleichung  $W_{\text{pot}} = W = Q \cdot U$  besitzen Elektronen, die durch eine Spannung  $U$  beschleunigt werden, die potentielle Energie  $W = e \cdot U$ . Den gleichen Energiebeitrag

verlieren sie, wenn sie eine Gegenspannung durchlaufen müssen. Macht man die Gegenspannung nun so groß, dass die beim Fotoeffekt emittierten Elektronen die Anode gerade nicht mehr erreichen, dann folgt aus dem Energieerhaltungssatz:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = e \cdot U_g$$

Wird auf diese Weise die kinetische Energie der Elektronen bestimmt, so findet man, dass sie mit der Frequenz  $f$  des einfallenden Lichtes linear zunimmt.



$W_A$  - Austrittsarbeit des Metalls der Kathode;  $f_g$  - Grenzfrequenz

3. Die Emission der Fotoelektronen erfolgt augenblicklich; experimentell kann keine Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen des Lichtes auf der Metallplatte und der Emission der Fotoelektronen nachgewiesen werden.
4. Die Anzahl der Fotoelektronen ist proportional der Intensität des auffallenden Lichtes.

Jeder Versuch, diese Erkenntnisse mit der Wellentheorie des Lichtes zu erklären, scheitert. Da nach dieser Theorie bei Steigerung der Intensität des Lichtes nicht die Zahl der Fotoelektronen, sondern ihre kinetische Energie erhöht werden müsste – im Gegensatz zum experimentellen Ergebnis.

Nicht zu klären ist außerdem die lineare Frequenzabhängigkeit der Elektronenenergie und das Auftreten einer Grenzfrequenz, unterhalb derer kein Fotoeffekt stattfindet. Nach der Wellentheorie ist zu erwarten, dass die ankommende Welle nach einiger Zeit soviel Energie an ein Elektron abgegeben hat, dass sie zur Überwindung der Austrittsarbeit des Metalls ausreicht. Dieses Elektron würde dann zeitlich verzögert nach dem Auftreffen des Lichtes emittiert werden.

Einstein hat im Jahr 1905 gezeigt, dass man den Fotoeffekt sofort erklären kann, wenn man annimmt, dass Licht aus Teilchen besteht und seine Intensität gegeben ist durch die Energie und die Anzahl der pro Zeit- und Flächeneinheit eintreffenden Teilchen.

Diese Lichtteilchen, die als Lichtquanten oder Photonen bezeichnet werden, sollen eine Energie besitzen, die der folgenden Gleichung entsprechen soll:

$$E = h \cdot f$$

Dabei ist  $h$  die Plancksche – Konstante :

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ W s}^2 = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

Nach der Theorie von Einstein stoßen diese Lichtquanten mit den Elektronen im Metall zusammen und der Photoeffekt kann als elastischer Stoß zwischen zwei Teilchen, nämlich Photon und Elektron erklärt werden. Die kinetische Energie des Elektrons nach dem Verlassen der Metalloberfläche lässt sich aus dem Energieerhaltungssatz angeben; wenn  $W_A$  die Austrittsarbeit des Metalls und  $m_e$  die Masse des Elektrons bedeuten:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 = h \cdot f - W_A \quad (\text{Einstein-Gleichung})$$

$W_A$  ist die Austrittsarbeit, welche nötig ist, um Elektronen aus einer Platte zu lösen.

Mit der obigen Gleichung ist die Existenz einer Grenzfrequenz  $f$  leicht zu erklären:

$$h \cdot f = W_A$$

Dies ist die Mindestenergie, die von einem Photon auf ein Elektron übertragen werden muss, damit es die Austrittsarbeit des Metalls überwinden kann.

