

Facharbeit

„Millikan-Versuch“

März 2003

Fabian Stutzki

Physik LK – Herr Becker

Inhaltsverzeichnis

I. Biographie von Robert Andrews Millikan	3
II. Der Millikan-Versuch	3
1. Das Elektron	3
2. Der „originale“ Millikan-Versuch	4
3. Die „modernisierte Form“ des Millikan-Versuchs	4
4. Der Versuch in der Praxis	4
5. Versuchsauswertung	5
III. Videoanalyse	8
6. Aufzeichnung	9
7. Analyse	9
IV. Literaturverzeichnis	11

I. Biographie von Robert Andrews Millikan

Robert Andrews Millikan wurde am 22. März 1869 in Marrison, Illinois, geboren. Nach einer „normalen“ Schullaufbahn studierte er an der Columbia University sowie an den Universitäten von Berlin und Göttingen. Seit 1896 war er Mitglied der Fakultät der Universität von Chicago. In Chicago wurde er 1910 Professor für den Bereich Physik. Elf Jahre später, 1921, verließ er die Chicagoer Universität und wurde Leiter des Norman Bridge Laboratory of Physics am California Institute of Technology in Pasadena.

In seiner aktiven Zeit forschte R. A. Millikan unter anderem im Bereich kosmische Strahlung und Röntgenstrahlung, ermittelte experimentell den Wert des Planckschen Wirkungsquantums und schrieb mehrere Bücher, die das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Religion beschreiben.

Zu seinen größten Erfolgen zählt allerdings der noch heute unter dem Namen Millikan-Versuch bekannte Öltropfen-Versuch zur Bestimmung der Elementarladung e eines Elektrons. 1923 wurde Millikan für dieses Experiment mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

II. Der Millikan-Versuch

1. Das Elektron

Benjamin Franklin beschrieb erstmals um 1750, dass eine elektrische Ladung durch „kleine Teilchen“ hervorgerufen wird. Im Jahre 1881 erhielten diese „kleinen Teilchen“ den Namen „Elektronen“. 16 Jahre später wurde durch J. J. Thomson der Teilchencharakter der Elektronen durch das Verhältnis e/m bestimmt. 1903 gab es ein erstes Experiment von H. A. Wilson, das den Betrag der Ladung bestimmte. In einer Reihe von Experimenten konnte die Elementarladung des Elektrons auf $0,66 \cdot 10^{-19}$ bis $1,47 \cdot 10^{-19}$ Coulomb festgelegt werden. Wilsons Experiment nutzte die Geschwindigkeit eines eingesprühten und per Röntgenstrahlen ionisierten Wassertröpfchens zwischen

zwei Metallplatten eines Plattenkondensators aus, um mithilfe der Gravitationskraft die Elementarladung zu berechnen.

2. Der „originale“ Millikan-Versuch

Robert Andrews Millikan versuchte ab 1909 den Wilson-Versuch zu verbessern. Millikan erzeugte das elektrische Feld mit einer 10kV-Batterie, deren Spannung an einem Plattenkondensator angelegt wird. In der Mitte der oberen Platte brachte Millikan einen Zerstäuber an, der etwa 1 μm große Öltröpfchen in den Zwischenraum des Plattenkondensators einsprühen kann. Mithilfe eines Mikroskops konnte Millikan die kleinen Öltröpfchen beobachten und die Zeit stoppen, die ein Tropfen unter Einwirkung der Schwerkraft für die markierte Entfernung von 1,303 cm benötigt. Der Öltröpfchen wurde anschließend durch einen Röntgenstrahl ionisiert und durch das elektrische Feld nach oben „gezogen“. Millikan maß abermals die Zeit für die Strecke von 1,303 cm.

3. Die „modernisierte Form“ des Millikan-Versuchs

Obwohl das Prinzip des Millikan-Versuchs gleich geblieben ist, wurde er von Forschern weiter vereinfacht und verbessert.

In einer „moderneren Form“ des Versuchs werden die Öltröpfchen direkt beim Einsprühen ionisiert und gelangen bereits ionisiert zwischen die beiden Kondensatorplatten. Der Vorgang des nachträglichen Ionisierens mithilfe eines Röntgenstrahls entfällt somit.

4. Der Versuch in der Praxis

Liest man zusammengefasste Versuchsdurchführungen, so scheint der Versuch recht einfach durchführbar zu sein. Bei der Durchführung stieß ich allerdings auf einige Probleme.

Als erstes musste ich das Material für den Versuch vervollständigen. Hierzu erkundigte ich mich bei Leybold, welches Öl ich benötige. Mitte Februar konnte ich das benötigte Öl bei Leybold abholen.

Anfang März startete ich den ersten Versuch. Nach Auswechseln einer

durchgebrannten Glühbirne musste das „Beobachtungs-Mikroskop“ neu auf die Kammer ausgerichtet werden, auch die Beleuchtung war nicht optimal, bis ich nach einstündiger Arbeit eine geeignete Stellung gefunden hatte. Anschließend versuchte ich erstmals einen Öltropfen zu erzeugen. Leider fehlte der „Original-Zerstäuber“ zu diesem Gerät, so dass ich mich mit einigen mitgebrachten Spitzen behelfen musste. Nach einigen Versuchen stellte sich heraus, dass die Öltropfen durch das Einspritzen eine zu hohe Geschwindigkeit hatten, zu groß und nicht zu beobachten waren. Als nächstes versuchte ich mich mit einem selbst gebastelten Zerstäuber aus drei Glasröhren zu behelfen, auch dies schlug fehl.

Ich informierte mich in der nächsten Woche bei Rolf Berger, dem Sammlungsleiter in der Universität zu Köln, über einen Zerstäuber für den Millikan-Versuch. Da die Universität das gleiche Millikan-Gerät besitzt, konnte ich mir den Zerstäuber ausleihen.

Am nächsten Nachmittag konnte ich erstmals Öltropfen durch das Mikroskop beobachten. Leider konnte ich diese noch nicht ablenken. Es stellte sich heraus, dass die Anschlüsse am Millikan-Gerät nicht mehr funktionierten, so dass keine Spannung am Plattenkondensator anlag. Durch ein andere Steckverbindung konnte ich dieses Problem umgehen und erzielte die ersten brauchbaren Ergebnisse.

Für den nächsten Morgen organisierte ich eine Webkamera und eine Videokamera, mit denen ich meinen Versuch dokumentieren und in einem späteren Schritt auswerten wollte. Näheres hierzu im Kapitel „Videoanalyse“

5. Versuchsauswertung

Als ersten Teil des Versuchs beobachte ich ein kleines Öltröpfchen, das durch das Sichtfeld des Mikroskops fällt. Auf dieses Teilchen wirken zwei Kräfte, zum einen die Gravitationskraft F_g , die das Teilchen nach unten beschleunigt, und zum anderen die Luftreibungskraft F_r und die Auftriebskraft F_A , die das Teilchen abbremsen. Nach kurzer Zeit wird aus einer beschleunigten eine

gleichförmige Bewegung und ein Kräftegleichgewicht entsteht:

$$F_g = F_r + F_A \Rightarrow F_g - F_A = F_r$$

Die einzelnen Kräfte lassen sich wie folgt berechnen:

$$F_g = m g$$

g Erdbeschleunigung = $9,81 \text{ m/s}^2$

$$\Rightarrow F_g = \rho_{\text{öl}} \frac{4}{3} \pi r^3 g$$

Die Masse m lässt sich aus der Dichte des Öls

$$\rho_{\text{öl}} = 900 \text{ kg/m}^3 \text{ und dem Volumen } V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

berechnen.

$$F_r = 6 \pi \eta_{\text{Luft}} v_1 r$$

Reibung an einer Kugel nach Stokes.

$$\eta_{\text{Luft}} = 1,81 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2 \text{ Viskosität der Luft}$$

v_1 Fallgeschwindigkeit

$$F_A = \rho_{\text{Luft}} V g$$

Dichte der Luft $\rho_{\text{Luft}} = 1,3 \text{ kg/m}^3$

$$\Rightarrow F_A = \rho_{\text{Luft}} \frac{4}{3} \pi r^3 g$$

Durch Einsetzen und Umformen lässt sich der Radius des Tropfens r berechnen:

$$F_g - F_A = F_r$$

$$\rho_{\text{öl}} \frac{4}{3} \pi r^3 g - \rho_{\text{Luft}} \frac{4}{3} \pi r^3 g = 6 \pi \eta_{\text{Luft}} v_1 r \quad \text{einsetzen}$$

$$\Leftrightarrow \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{Luft}}) = 6 \pi \eta_{\text{Luft}} v_1 r \quad \text{ausklammern}$$

$$\Leftrightarrow r^2 = \frac{9 \eta_{\text{Luft}} v_1}{2 (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{Luft}}) g} \quad \text{umformen}$$

$$\Leftrightarrow r = \frac{9 \eta_{\text{Luft}} v_1}{2 (\rho_{\text{öl}} - \rho_{\text{Luft}}) g} \quad \text{auflösen}$$

Im weiteren Verlauf des Versuchs bewege ich das Teilchen gegen die Gravitationskraft indem ich das elektrische Feld verstärke. Der Tropfen bewegt sich nach kurzer Zeit mit einer gleich bleibenden Geschwindigkeit v_2 . Ich betrachte die Gravitationskraft F_g , die Kraft des elektrischen Feldes

$F_q = qE = q \frac{U}{d}$ (Kondensatorspannung U , Plattenabstand d), die Reibungskraft F_{r2} und die Auftriebskraft F_A , so dass sich folgende Gleichung ergibt.

$$\begin{aligned}
 F_A + F_q &= F_g + F_{r2} \\
 \frac{4}{3} \pi r^3 g + q \frac{U}{d} &= \frac{4}{3} \pi r^3 g + 6 \pi \eta_{Luft} v_2 r && \text{einsetzen} \\
 \Leftrightarrow 6 \pi \eta_{Luft} v_2 r &= \frac{4}{3} \pi r^3 g - \frac{4}{3} \pi r^3 g + q \frac{U}{d} && \text{umformen} \\
 \Leftrightarrow 6 \pi \eta_{Luft} v_2 r &= \frac{4}{3} \pi r^3 g (Luft - \ddot{o}l) + q \frac{U}{d} && \text{ausklammern,} \\
 &&& \text{einsetzen von r} \\
 \Leftrightarrow 6 \pi \eta_{Luft} v_2 \frac{9 \eta_{Luft} v_1}{2(\ddot{o}l - Luft)g} &= \frac{4}{3} \pi \frac{9 \eta_{Luft} v_1}{2(\ddot{o}l - Luft)g} g (Luft - \ddot{o}l) + q \frac{U}{d} \\
 \Leftrightarrow q \frac{U}{d} &= 6 \pi \eta_{Luft} v_2 \frac{9 \eta_{Luft} v_1}{2(\ddot{o}l - Luft)g} - \frac{4}{3} \pi \frac{9 \eta_{Luft} v_1}{2(\ddot{o}l - Luft)g} g (Luft - \ddot{o}l) \\
 \Leftrightarrow q \frac{U}{d} &= \frac{9 \eta_{Luft} v_1}{2(\ddot{o}l - Luft)g} (6 \pi \eta_{Luft} v_2 - \frac{4}{3} \pi \frac{9 \eta_{Luft} v_1}{2(\ddot{o}l - Luft)g} g (Luft - \ddot{o}l)) \\
 \Leftrightarrow q \frac{U}{d} &= \frac{9 \eta_{Luft} v_1}{2(\ddot{o}l - Luft)g} (6 \pi \eta_{Luft} v_2 - 6 \pi \eta_{Luft} v_1 \frac{Luft - \ddot{o}l}{\ddot{o}l - Luft}) \\
 \Leftrightarrow q \frac{U}{d} &= 6 \pi \eta_{Luft} \frac{9 \eta_{Luft} v_1}{2(\ddot{o}l - Luft)g} (v_2 - v_1(-1)) \\
 \Leftrightarrow q \frac{U}{d} &= 6 \pi \eta_{Luft} \frac{9 \eta_{Luft} v_1}{2(\ddot{o}l - Luft)g} (v_2 + v_1) \\
 \Leftrightarrow q \frac{U}{d} &= \frac{18 \pi \eta_{Luft} (v_2 + v_1) \eta_{Luft} v_1}{2(\ddot{o}l - Luft)g} \\
 \Leftrightarrow q &= \frac{18 \pi \eta_{Luft} d (v_2 + v_1) \eta_{Luft} v_1}{U 2(\ddot{o}l - Luft)g}
 \end{aligned}$$

Setzt man in diese Formel alle Werte ein, so erhalt man:

$$q = \frac{18\pi \cdot 1,812,5(1,62 + 3,07) \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-5} \frac{N \cdot s \cdot m}{m^2 \cdot s} \cdot 1,813,07 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-5} \frac{N \cdot s \cdot m}{m^2}}{610^2 \cdot V \cdot 2(900 - 1,3 \frac{kg}{m^3}) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$\Leftrightarrow q = \frac{1200 \cdot 10^{-13} \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot 5,556710^{-8} \text{ kg}}{610^2 \cdot V \cdot 17632,494 \frac{kg}{m^2 \cdot s^2}}$$

$$\Leftrightarrow q = \frac{1200 \cdot 10^{-13} \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot 2,35710^{-4} \text{ kg}}{610^2 \cdot V \cdot 132,787 \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$\Leftrightarrow q = \frac{2828,4 \cdot 10^{-17} \frac{kg \cdot m}{s^2} \text{ kg}}{769,722 \cdot 10^2 \cdot V \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$\Leftrightarrow q = 3,675 \cdot 10^{-19} \frac{kg \cdot m \cdot kg \cdot m \cdot s}{s^2 \cdot V \cdot kg}$$

$$\Leftrightarrow q = 3,675 \cdot 10^{-19} \frac{kg \cdot m^2 \cdot s^3 \cdot A}{s^2 \cdot kg \cdot m^2}$$

$$\Leftrightarrow q = 3,675 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Leider konnte ich in meinem Versuch nur eine erfolgreiche Messung durchführen. Erst nach einer ganzen Versuchsreihe kann man sehen, dass jedes Ergebnis auf ein ganzzahliges Vielfaches einer Elementarladung e zurückzuführen ist.

In meiner Arbeit habe ich gezeigt, dass das untersuchte Öltröpfchen genau zwei Elementarladungen besitzt.

III. Videoanalyse

Um die Versuchsdaten aufzuzeichnen, habe ich mich für eine Videoanalyse entschieden. Ich werde also alle Daten aufzeichnen und erst im nächsten Schritt analysieren. Hierfür steht mir das Programm „EasyVid“ zur Verfügung. Dieses Programm erlaubt das Pixel-genaue Analysieren einer Aufzeichnung in Verbindung mit der Aufnahmezeit. Aus diesen Daten kann man die

Geschwindigkeit eines Objekts bestimmen.

6. Aufzeichnung

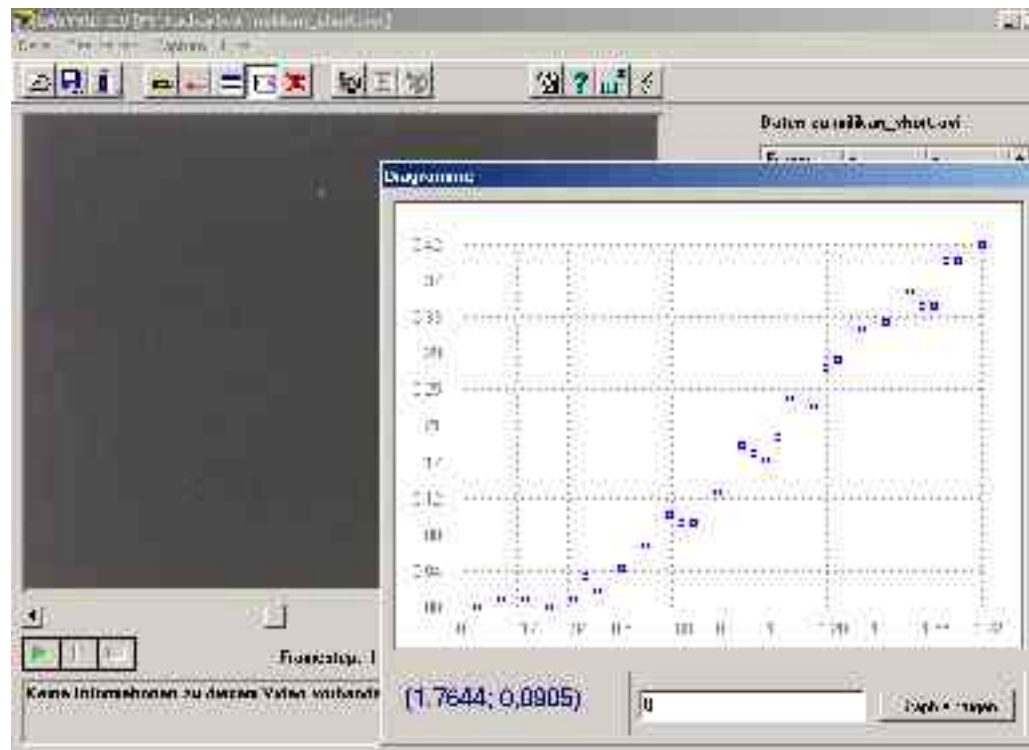
Als schwierigster Teil der Video-Analyse stellte sich die Aufzeichnung heraus. Die Kamera muss sehr lichtempfindlich sein, um die kleinen, beleuchteten Tropfen auszumachen. Allein durch diese Voraussetzung schieden eine Digitalkamera und eine Digitale Videokamera aus. Auf Videos dieser beiden Kameras konnte man keinerlei Tropfen erkennen.

Die Aufzeichnung gelang schließlich mit einer einfachen „Aldi-Webkamera“, die abgesehen von der Software keine Probleme machte. Das aufgezeichnete Video, immerhin gut 300 MByte, brannte ich auf eine CD um es zu Hause zu analysieren.

7. Analyse

Zur Analyse nutze ich das Programm EasyVid. Wie oben bereits beschrieben, ist es mit diesem Programm möglich ein Video Pixel-genau zu analysieren.

Hierzu muss dem Programm zuerst eine Kalibrierungsstrecke angegeben werden. Diese Strecke teilt dem Programm den Maßstab des Videos mit. Die Strecke muss mit zwei Punkten gezeichnet werden und die entsprechende reale Länge eingegeben werden. Anschließend muss der Koordinatenursprung gewählt werden. Dieser dient lediglich dazu, dass der Anfangswert der Messung beispielsweise auf Null gelegt werden kann. Als nächstes müssen einzelne Messwerte eingetragen werden. Ich habe insgesamt 43 Messwerte eingetragen. Das Programm kann nun ein Diagramm erstellen, an dem sich einzelne Werte und Tendenzen ablesen lassen.



Im linken Bereich des Diagramms sieht man die Beschleunigung. Im weiteren Verlauf zeigt das Diagramm eine Gerade. Der Öltropfen wird nicht mehr beschleunigt und hat seine maximale Geschwindigkeit erreicht. Die Analyse des Diagramms ergab eine Geschwindigkeit $v_1=3,07 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ für den frei fallenden Öltropfen.

Mit der gleichen Vorgehensweise lässt sich auch die Steiggeschwindigkeit $v_2=1,62 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ bestimmen.

IV.Literaturverzeichnis

- Volk und Wissen, Das große Tafelwerk, ISBN 3-06-020760-7
- Dorn-Bader Physik 12/13, Gymnasium Sek II, Herausgeber Dr. Franz Bader, ISBN 3-507-10722-8, Druck A, Seite 28
- Kopie der Bedienungsanleitung: „Millikan-Gerät 09071.00“ der Firma Phywe
- http://www.hpg-speyer.de/faecher/physik/millikan/m_m_biog.htm
- <http://www.wissen.de> (Stichwort „Millikan“)
- http://ac16.uni-paderborn.de/lehrveranstaltungen/_aac/vorles/skript/kap_2/kap2_3/millikan.html

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.
