

Schriftliche Abiturprüfung 2005 – Sachsen-Anhalt
Physik 13 n
(Leistungskursniveau)

Thema V3: Das Millikan-Experiment

Das Millikan-Experiment wird mit einem geeigneten Computerprogramm simuliert. Dieses ermöglicht, für verschieden große und unterschiedlich geladene Öltröpfchen die Steig- und Fallgeschwindigkeit zu ermitteln.

Als Grundlage wird das Stoke'sche Gesetz für die Reibungskraft $F = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$ verwendet. Der Auftrieb bleibt unberücksichtigt. Dadurch wird, verglichen mit dem Realexperiment, eine Idealisierung vorgenommen.

Durchführung:

Der Experimentator blickt durch ein Mikroskop (Bild 1) in den Raum zwischen den Platten des Plattenkondensators mit dem Plattenabstand d . An die Kondensatorplatten wird die Spannung U angelegt.

Teilexperiment 1

Nach dem Einbringen positiv geladener Öltröpfchen in diesen Raum wird ein Tröpfchen, das nach unten sinkt, vom Experimentator ausgewählt. Um die Fallgeschwindigkeit v_F berechnen zu können, muss die Zeit t_F gestoppt werden, in der das Tröpfchen eine bestimmte Strecke s (gemessen in Skalenteilen (SKT)) durchfällt.

Teilexperiment 2

Die Spannung U wird umgepolt. Für das nun steigende Tröpfchen misst man die Steigzeit t_S und die zurückgelegte Strecke s .

Die Messungen beider Teilexperimente werden für weitere Öltröpfchen wiederholt.

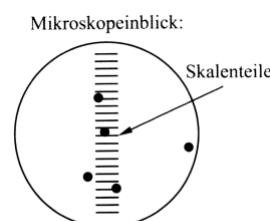


Bild 1

Messwerte und Ergebnisse:

Nr.	s in SKT	t_F in s	t_S in s	U in V	Q_n in 10^{-19} C
1	6	3,12	3,36	200	3,12
2	6	3,22	3,36	280	1,65
3	6	2,84	3,92	195	6,47
4	6	3,19	3,49	215	3,06
5	6	1,83	6,38	205	14,30
6	6	4,84	5,10	180	1,53
7	6	4,32	6,41	145	4,90
8	6	3,44	4,94	130	8,02
9	6	5,86	10,10	50	

Weiter Daten: Dichte des Öls: $\rho = 900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
 Viskosität der Luft: $\eta = 1,81 \cdot 10^{-5} \text{ Ns} \cdot \text{m}^{-2}$
 Plattenabstand: $d = 5 \text{ mm}$
 Mikroskop: $1\text{SKT} \hat{=} 0,085 \text{ mm}$

Aufgaben:

- 1 Skizzieren Sie die Versuchsanordnung zur Spannungseinstellung und Spannungsmessung am Kondensator für das Teilexperiment 1 für positiv geladene Öltröpfchen.
- 2 Begründen Sie das Zustandekommen der gleichförmigen Bewegung in beiden Teilexperimenten. Stellen Sie dazu die Kraftansätze für den Sink- und Steigfall auf.
- 3 Wenn man das Öltröpfchen als kleine Kugel betrachtet, kann seine Ladung Q näherungsweise mit folgender Gleichung berechnet werden:

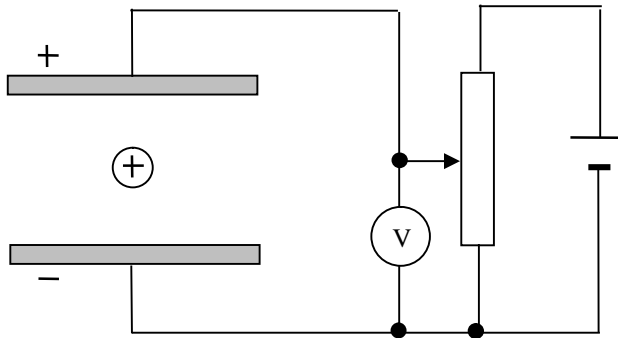
$$Q = \frac{9 \cdot d \cdot \pi}{2 \cdot U} \cdot \sqrt{\frac{\eta^3 \cdot (v_F - v_S) \cdot (v_F - v_S)^2}{\rho \cdot g}}$$

Berechnen Sie mit den in den Telexperimenten 1 und 2 gemessenen bzw. den daraus berechneten Größen die Ladung Q_9 .

- 4 Welche hypothetische Schlussfolgerung kann man aus der Größe der Ladungen Q_1 bis Q_9 gezogen werden? Begründen Sie Ihre Aussage.

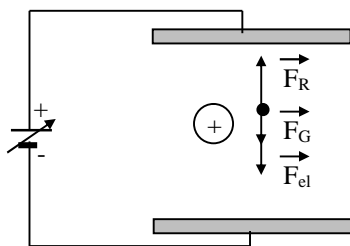
Lösung:

1.



2.

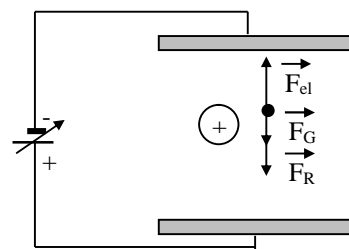
Kraftansätze:



gleichförmiges Sinken des Öltröpfchens:

$$F_R = F_{el} + F_G$$

$$6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_F = Q \cdot E + m \cdot g$$



gleichförmiges Steigen des Teilchens:

$$F_{el} = F_G + F_R$$

$$F_R = F_{el} - F_G$$

$$6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_F = Q \cdot E - m \cdot g$$

Begründung für gleichförmige Bewegung:

- Die Reibungskraft nimmt mit der Geschwindigkeit zu
- Bei einer bestimmten Geschwindigkeit stellt sich ein Kräftegleichgewicht ein, so dass die Teilchen nicht mehr beschleunigt werden, sondern sich mit konstanter Geschwindigkeit gleichförmig bewegen.

Sinken:

$$6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_F = Q \cdot E + m \cdot g$$

$$v_F = \frac{m \cdot g + Q \cdot \frac{U}{d}}{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r}$$

Steigen:

$$6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_s = Q \cdot E - m \cdot g$$

$$v_s = \frac{-m \cdot g + Q \cdot \frac{U}{d}}{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r}$$

- Auf der rechten Seite der Gleichung für die Sink- und Steiggeschwindigkeit stehen nur konstante Größen, also müssen die entsprechenden Geschwindigkeiten gleich bleiben.

3.

$$v_{s_9} = \frac{s}{t_{s_9}} = \frac{6 \cdot 8,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{10,10 \text{ s}} = 5,05 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_{F_9} = \frac{s}{t_{F_9}} = \frac{6 \cdot 8,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{5,86 \text{ s}} = 8,70 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q = \frac{9}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d}{U} \cdot \sqrt{\frac{\eta^3 \cdot (v_1 - v_2) \cdot (v_1 + v_2)^2}{\rho \cdot g}}$$

$$Q = \frac{9}{2} \cdot \frac{\pi \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{50 \cdot 10^4 \text{ V}} \cdot \sqrt{\frac{(1,81 \cdot 10^{-5})^3 \text{ N}^3 \cdot \text{s}^3 \text{ m}^{-6} \cdot (8,7 - 5,05) \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ((8,7 + 5,05) \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2}{0,90 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}}$$

$$Q = 9,63 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

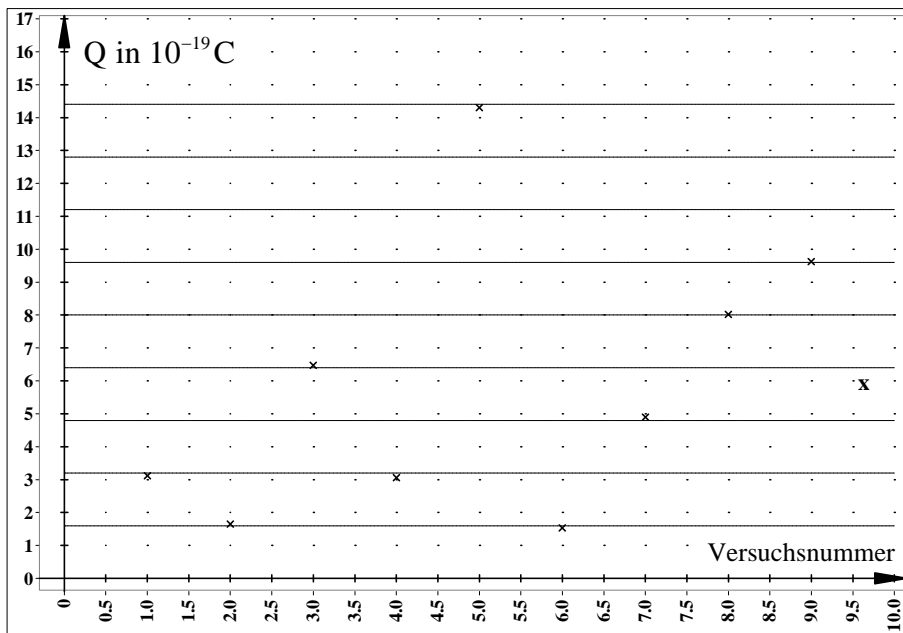
$$[Q] = \frac{\text{m}}{\text{V}} \cdot \sqrt{\frac{\text{N}^3 \cdot \text{s}^3 \text{ m}^{-6} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}} = \frac{\text{m}}{\text{V}} \cdot \sqrt{\frac{\text{N}^3 \cdot \text{s}^2 \text{ m}^{-1}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{N}^3 \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}}{\text{V}^2 \cdot \text{kg}}}$$

$$= \sqrt{\frac{\text{kg}^3 \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-6} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}}{\text{V}^2 \cdot \text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{kg}^2 \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}^{-4}}{\text{V}^2}} = \sqrt{\frac{\text{J}^2}{\text{V}^2}} = \sqrt{\frac{\text{V}^2 \cdot \text{A}^2 \cdot \text{s}^2}{\text{V}^2}} = \text{As} = \text{C}$$

4. Hypothetische Schlussfolgerung:

- Die Ladungen der Öltröpfchen sind annähernd ganzzahlige Vielfache der Elementarladung
- Es gibt eine kleinste nicht mehr teilbare Ladung, die Elementarladung.

Begründung durch grafische Darstellung:



- Darstellung zeigt, dass die parallelen Linien voneinander den gleichen Abstand besitzen.
- Der Abstand entspricht der Elementarladung.

oder (aber das setzt ja die Kenntnis der Elementarladung voraus)

Begründung durch Berechnung der ganzzahligen Vielfachen der Elementarladung:

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\frac{Q}{e}$	1,95	1,03	4,04	1,91	8,93	0,96	3,06	5,01	6,05

- Es gibt annähernd einen konstanten Faktor, durch den sich jede gemessenen Ladung Q als ganzzahliges Vielfaches ergibt.
- Es treten keine Vielfache kleiner 1 auf \Rightarrow
 - Es muss demzufolge eine kleinste, nicht mehr teilbare elektrische Ladung, die Elementarladung geben.