

V23 Bestimmung der Viskosität von zähen Flüssigkeiten

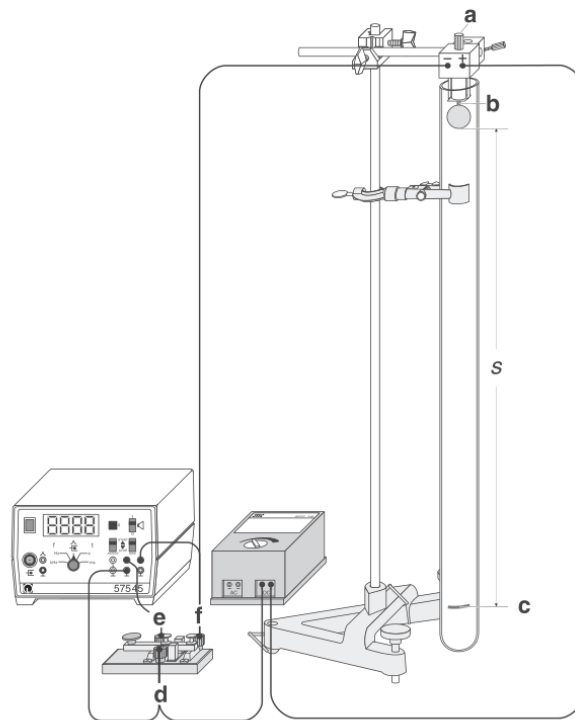


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Viskosität von Glycerin

Versuchsziele

- Aufbau eines Kugelfall-Viskosimeters.
- Bestimmung der dynamischen Viskosität von Glycerin.

Vorbereitung

Machen Sie sich vor dem Versuch mit dem Stokesschen Reibungsgesetz, der Auftriebskraft und der Bestimmung der Fallgeschwindigkeit aus Fallstrecke und Fallzeit vertraut. Beachten Sie außerdem, dass die Viskosität stark temperaturabhängig ist.

Fragen zur Vorbereitung

- Welche Kräfte wirken auf eine Kugel, die sich in einer viskosen Flüssigkeit nach unten bewegt?
- Warum stellt sich nach kurzer Zeit eine konstante Endgeschwindigkeit ein?
- Welche Größen müssen experimentell bestimmt werden, um aus der Fallzeit die Viskosität zu berechnen?
- Warum muss die Stokes-Gleichung für eine endliche Fallröhre korrigiert werden?

Grundlagen

Bewegt sich eine Kugel durch eine Flüssigkeit, so wirkt eine der Bewegungsrichtung entgegengesetzte Reibungskraft. Für eine Kugel mit Radius r in einer Flüssigkeit mit der dynamischen Viskosität η gilt nach Stokes:

$$F_1 = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v \cdot r \quad \text{Gl.1}$$

Beim senkrechten Fall der Kugel wirken zusätzlich die Auftriebskraft und die Gewichtskraft:

$$F_2 = (4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_1 \cdot g \quad \text{Gl.2}$$

$$F_3 = (4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_2 \cdot g \quad \text{Gl.3}$$

Im stationären Fall gilt $F_1 + F_2 = F_3$. Daraus folgt für die Viskosität:

$$\eta = (2/9) \cdot r^2 \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot t / s \quad \text{Gl. 4}$$

Da die Flüssigkeit nicht unendlich ausgedehnt ist, muss die Gleichung für die endliche Fallröhre korrigiert werden. Für eine Kugel auf der Achse eines Zylinders mit Radius R ergibt sich:

$$\eta = (2/9) \cdot r^2 \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot t / s \cdot 1 / (1 + 2,4 \cdot r/R) \quad \text{Gl.5}$$

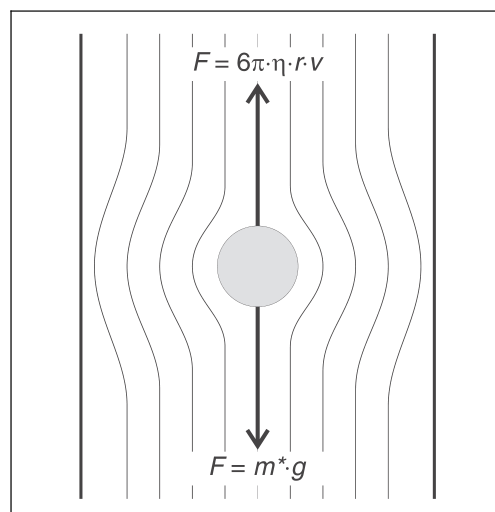


Abbildung 2: Schematische Strömung um eine fallende Kugel

Aufbau

- Stativmaterial montieren und die Fallröhre schräg halten.
- Glycerin langsam und möglichst blasenfrei bis fast zum oberen Rand einfüllen.
- Fallröhre mit Muffe und Klemme sicher befestigen.
- Haltemagnet an das Kleinspannungs-Netzgerät anschließen; der Minuspol wird über den Morsetaster geführt.
- Spannung auf 12 V einstellen und die Stahlkugel am Eisenkern anhängen.
- Haltemagnet so positionieren, dass die Kugel mittig in die Flüssigkeit eintaucht.
- Fallstrecke s einige Zentimeter über dem Röhrenboden markieren und ausmessen.

Durchführung

- Zählgerät auf Null stellen.
- Morsetaster auslösen und die fallende Kugel beobachten.
- Sobald die Kugel die Markierung erreicht, den Taster loslassen.
- Fallzeit t am Zählgerät ablesen und notieren.
- Die Messung mehrfach wiederholen und aus den Einzelwerten den Mittelwert bilden.
- Für eine neue Messung die Kugel mit dem Magnetpaar von außen am Boden einfangen und zum Haltemagneten zurückführen.

Messbeispiel

Für die im Handblatt angegebene Beispielmessung wurden folgende Werte verwendet:

Fallstrecke s	66,6 cm
Kugeldurchmesser d	16,0 mm
Durchmesser der Fallröhre D	44 mm
Kugelmasse m_2	16,7 g
Masse von 100 ml Glyzerin m_1	125,4 g
Einzelmessungen der Fallzeit t	2084 ms, 2110 ms, 2104 ms, 2036 ms, 2116 ms

Auswertung und Ergebnis

Aus den fünf gemessenen Fallzeiten ergibt sich ein Mittelwert von $t = 2,090$ s. Mit den berechneten Dichten $\rho_2 = 7787 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ für die Kugel und $\rho_1 = 1254 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ für Glyzerin erhält man nach der korrigierten Gleichung:

$$\eta = 1,53 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

Als Literaturwert für Glyzerin bei 20 °C ist im Handblatt $\eta = 1,480 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ angegeben. Beim Vergleich ist zu beachten, dass die Viskosität von Glyzerin stark temperaturabhängig ist.

Zusatzinformation

Die Bewegungsgleichung der fallenden Kugel lautet

$$m \cdot dv/dt = F_3 - F_2 - F_1$$

Daraus ergibt sich eine Relaxation gegen die Endgeschwindigkeit mit der Zeitkonstante τ . Für die im Beispiel verwendeten Parameter beträgt $\tau = 39$ ms. Da die gesamte Fallzeit etwa 2,1 s beträgt, ist die Annahme einer konstanten Fallgeschwindigkeit in guter Näherung erfüllt.

Literatur