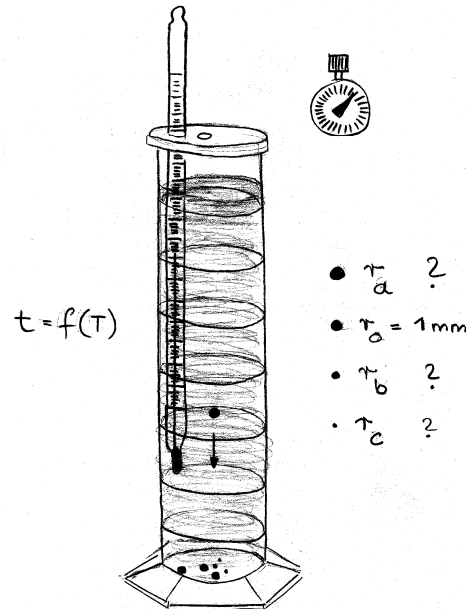


KUGELFALLVISKOSIMETER

GPI

Stichworte

Laminare Strömungen.

Innere Reibung, Viskosität; Strömungswiderstand, *Stokessches*- und *Hagen-Poiseuillesches* Gesetz.

Turbulente Strömungen und *Reynolds-Zahl*.

Ziele des Versuchs

Untersuchung von Strömungswiderstand, innerer Reibung, Viskosität und laminaren Strömungen um eine Kugel; *Stokessches Gesetz*. Temperaturabhängigkeit der Viskosität.

Literatur

[1]: Kapitel 3.3

[2]: Kapitel 16.2 mit 18.1

Aufgaben

- Messung der Fallgeschwindigkeit von Stahlkugeln mit bekanntem und unbekanntem Radius in Abhängigkeit von der Temperatur.
- Untersuchung der funktionalen Abhängigkeit der Viskosität des Glycerins von der Temperatur. Bestimmung der Viskosität des Glycerins bei 20 °C und Vergleich mit dem Literaturwert.
- Bestimmung der Radien der unbekannt Stahlkugeln aus den Messungen und Vergleich mit einer direkten Messung mit einer Mikrometerschraube.
- Aufstellung und Lösung der Bewegungsgleichung mit den Randbedingungen $v(t=0) = v_0 = 0$ und $v(t \rightarrow \infty) = v_\infty$ und Abschätzung der Zeit bzw. Wegstrecke, ab der die Kugeln mit praktisch konstanter Geschwindigkeit sinken.

Physikalische Grundlagen

Flüssigkeiten (kontinuierliche Medien) können *laminar* oder *turbulent* strömen. Bei laminaren Strömungen werden die auftretenden Reibungskräfte durch die Viskosität η (Koeffizient der inneren Reibung) bestimmt. Als Beispiel gilt für die Reibungskraft R bei der Bewegung einer Kugel in einer viskosen Flüssigkeit das *Stokessche Gesetz*:

$$(1) \quad R = -6 \pi \eta r v$$

wobei r der Radius und v die Geschwindigkeit der Kugel sind.

Fällt eine Kugel unter Einfluss der Schwerkraft in einer Flüssigkeit, so greift entgegengerichtet zur Widerstandskraft die Schwerkraft G vermindert um den Auftrieb A an, und unabhängig von der Anfangsgeschwindigkeit stellt sich wegen der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungskraft nach einiger Zeit ein Gleichgewicht ein, bei dem die Summe aller Kräfte verschwindet:

$$(2) \quad G + A + R = 0$$

Die Kugel fällt dann mit konstanter Geschwindigkeit, aus der die Viskosität berechnet werden kann.

Temperaturabhängigkeit

Die innere Reibung wird bei Flüssigkeiten durch intermolekulare Wechselwirkungen verursacht und nimmt mit steigender Temperatur ab. In vielen Fällen folgt sie einem funktionalen Verlauf der Form:

$$(3) \quad \eta(T) = A e^{\frac{B}{T}}$$

Darstellung der physikalischen Grundlagen

(zur Vorbereitung als Teil des Berichts): Neben der Messmethode (Messgleichungen) sollen die Themen innere Reibung und laminare Strömungen und die Definition der Viskosität kurz dargestellt werden.

Apparatur und Geräte

Standzylinder mit Ringmarken und Thermometer; gefüllt mit Glycerin (siehe Abbildung auf der Titelseite). Kühlschranks. Stahlkugeln verschiedener Größe. Pinzette. Papier und 2-Propanol zum Reinigen der Kugeln. Stoppuhr. Metallmaßstab. Mikrometerschraube.

Versuchsdurchführung und Auswertung

Die Messung der Temperaturabhängigkeit der Viskosität wirft Probleme auf: Die Temperatur als Zustandsgröße setzt ein thermodynamisches Gleichgewicht voraus, das praktisch aber nur sehr aufwendig zu realisieren ist. Im Sinne eines Kompromisses zwischen Aufwand und Ergebnis ist folgender Versuchsablauf vorgesehen:

Die Standzylinder sind in einem Kühlschranks vorhanden. Sie werden bei Versuchsbeginn der Raumtemperatur ausgesetzt und wärmen sich dabei auf, so dass die Temperatur veränderliche Werte annimmt. Diese Aufwärmung ist ein dynamischer Vorgang ohne thermodynamisches Gleichgewicht. Man kann jedoch näherungsweise voraussetzen, dass die systematische Verfälschung der Werte bei allen Messungen in etwa gleich ist, so dass der funktionale Verlauf der Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur dennoch gut beobachtet werden kann.

Der Versuchsablauf sieht etwa folgendermaßen aus: Die Standzylinder werden bei Versuchsbeginn aus dem Kühlschranks genommen. Dann werden während einer bestimmten Zeitspanne (etwa 1 Stunde), und damit über ein bestimmtes Temperaturintervall (etwa 6 bis 10 K), nacheinander und wiederholend die Fallzeiten für die verschiedenen Kugeln $t(r_0)$, $t(r_a)$, $t(r_b)$, $t(r_c)$, und die zugehörige Temperaturen gemessen, wobei alle anderen Messumstände gleich bleiben müssen (Fallstrecke der Kugeln, Lage des Thermometers, etc). Bei der Fallstrecke ist die beschleunigte Anfangsphase der Kugeln zu beobachten und gegebenenfalls zu berücksichtigen. Zur Temperaturmessung wird empfohlen, Anfangs- und Endwert für jede Fallzeit zu protokollieren, und später für die Auswertung den Mittelwert heranzuziehen. Man erhält so ein Werteschema für die Fallzeiten in Abhängigkeit von der Temperatur und den vier Radien.

Jeder Versuch einer gleichmäßigen Temperierung (z.B. durch Umrühren des Glycerins) ist zwecklos und schafft Umstände, die eine weitere Versuchsdurchführung unmöglich machen (z.B. Luftblasen im Glycerin).

Das *Stokessche Gesetz* gilt streng nur für die Bewegung einer Kugel in einem unbegrenzt ausgedehnten Medium. In einem engen zylindrischen Rohr erhöht sich der Widerstand infolge der Randstörungen. Deshalb sollten die Kugeln möglichst zentral im Zylinder fallen. Außerdem muss die Messung ein genügendes Stück oberhalb des Bodens gestoppt werden.

Die Kugeln müssen vor Versuchsbeginn gut von anhaftendem, altem Glycerin befreit (gereinigt) werden (warm?). Sie können nach Versuchsende mit einem Magneten wieder aus den Standzylindern entfernt werden.

Zur Auswertung werden die Fallzeiten in Abhängigkeit von der Temperatur in einer geeigneten einfach-logarithmischen Darstellung aufgetragen. Zur Kontrolle der Messung empfiehlt es sich, diese Darstellung messbegleitend direkt während der Versuchsdurchführung anzufertigen. An der Ordinate kann später zusätzlich eine zweite Achse mit den konkreten Viskositätswerten eingezeichnet werden, die sich aus den Fallzeiten der bekannten Kugel ergeben.

Die Bestimmung der Radien der unbekannt Kugeln läuft auf eine Verhältnismessung der Fallzeiten zur

Kugel r_0 heraus, sofern vorausgesetzt werden kann, dass alle anderen Messumstände gleich bleiben. Für die Viskosität ist dies experimentell nicht gegeben, da sich die Temperatur unbeeinflussbar ändert. Jedoch können aus der grafischen Darstellung durch Interpolation mit Hilfe von Ausgleichsgeraden Vergleichsdaten gewonnen werden.

Ergänzende Fragen

Der Übergang von laminaren zu turbulenten Strömungen wird durch die *Reynolds-Zahl* R_E beschrieben:

$$(4) \quad R_E = \frac{\rho r v}{\eta}$$

wobei ρ die Dichte der Flüssigkeit ist. In welchem Bereich liegen die *Reynolds-Zahlen* bei diesem Experiment? Ist damit sichergestellt, dass es sich um laminare Strömungen handelt?