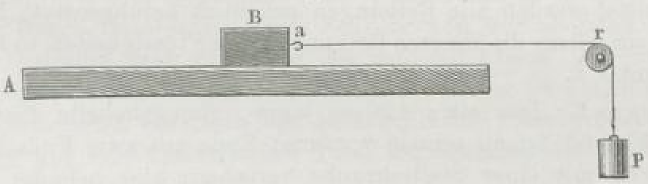
VIII. Reibung.

1. Reibung fester Körper.

Gebraucht wird: Langes Eichenholzbrett mit Fußschrauben und Stützstange, verstellbare Rolle in Gabel, große und kleine Wagschale, Schnur, Gewichtssatz, Libelle, Eichenholzklötze mit Ösen; Senkel, Maßstab; Bleirolle mit Drahtbügel.

Einleitung. Gleitet die Oberfläche eines Körpers längs der Oberfläche eines anderen, gegen die er mit einer bestimmten Kraft, dem Normaldrucke, senkrecht drückt, so stellt sich der Bewegung eine Widerstandskraft W entgegen, welche man auf eine Reibung zwischen den beiden Flächen zurückführt. Sind die beiden reibenden Flächen im speziellen ebene Flächen und liegen sie horizontal (Fig. 63), so

Fig. 63.



kann die dem vertikalen Normaldrucke N entsprechende Widerstandskraft der Reibung aus der Beschleunigung b ermittelt werden, welche eine in der Horizontalen wirkende Gewichtskraft P dem gleitenden Körper B erteilt. Ist G dessen Gewicht, L eine auf ihn eventuell gesetzte Belastung, so ist der Normaldruck $N = G + L$ und die gesamte bewegte Masse nach S. 30: $(P + N)/g$, wo g die Beschleunigung der Schwere ist. Es ist daher:

$$\frac{P + N}{g} \cdot b = P - W.$$

Die Beschleunigung b mißt man, indem man die Zeit t bestimmt, welche der Körper zur Zurücklegung eines bestimmten Weges s benötigt; dann ist nach S. 31:

$$s = \frac{1}{2}\, b t^2 \quad \text{und} \quad b = \frac{2\,s}{t^2}.$$

Man findet, daß W in erster Annäherung proportional mit N wächst, so daß das Verhältnis $W/N = \mu$ nahezu eine für die Natur der reibenden Flächen charakteristische Konstante: der „Reibungskoeffizient der Bewegung“ ist.

Neigt man die ebene Unterlage A so lange, bis der sich selbst überlassene, ruhende Körper B vom Gewichte G eben hinabzugleiten beginnt, und findet dieses bei dem Winkel ϱ statt, so ist die die schiefe Ebene hinabziehende, die Reibung eben überwindende Kraft

$$G \,.\, \sin\varrho = W_0,$$

die zur Ebene normale Druckkraft aber

$$G \,.\, \cos\varrho = N_0, \quad \text{und} \quad \mu_0 = \frac{W_0}{N_0} = tg\,\varrho$$

der „Reibungskoeffizient der Ruhe“; den Winkel ϱ nennt man den Reibungswinkel.

Wird ein rollender Körper vom Radius r und dem Gewichte G auf einer ebenen Unterlage fortgezogen, so genügt zur Überwindung der hier auftretenden „rollenden Reibung“ im allgemeinen eine viel kleinere Zugkraft P' als bei der „gleitenden Reibung“, eine Kraft, die außerdem dem Radius r umgekehrt proportional ist; man setzt

$$P' = \varrho' \frac{G}{r}$$

und nennt ϱ' den „Koeffizienten der rollenden Reibung“. Durch Schmiermittel werden alle Reibungen erheblich herabgesetzt; für diese kommen vor allem die inneren Reibungen von Flüssigkeiten in Betracht, s. w. u. unter 2.

Apparat. Das etwa 120 cm lange, ebengehobelte Eichenholzbrett A, Fig. 63, ist an seinem vorderen Ende mit zwei Fußschrauben, am anderen mit einer Stellschraube versehen; hier befindet sich an seiner Unterseite eine umklappbare Stütze, mit der das Brett in verschiedenen Neigungen festgestellt werden kann, wobei es auf den beiden vorderen Schrauben ruht. Auf dem Brette sind in der Nähe der Enden zwei Strichmarken gezogen. In seiner Verlängerung ist am Tischrande eine hoch oder tief zu stellende Rolle befestigt, über die eine Schnur mit Wagschale gelegt wird. Als Gleitkörper dienen verschiedene flache Eichenholzklötze mit Ösen an zwei Seiten.

Übung 1. 1. Man horizontiert das Brett mit der Libelle, legt den zuvor gewogenen Klotz (Gewicht G) mit paralleler Faserrichtung auf das Brett, stellt die Rolle in solche Höhe, daß der obere Teil des Fadens horizontal ist, und legt so viele Gewichte in die ebenfalls gewogene Schale, daß sich der Klotz beim Loslassen in Bewegung setzt (Gewicht von Schale und aufgelegten Stücken: P).

2. Man zieht den Klotz über die zweite Marke zurück, läßt den Springzeiger einer passend eingerichteten Sekundenuhr in dem Augenblicke, in dem er dieselbe passiert, los und arretiert ihn beim Passieren der ersten Marke.

3. Aus dem Abstande s der beiden Marken, der abgelesenen Zeit t und den Gewichten berechnet man W und μ.

4. Man wiederholt die Übung mit etwas größeren Zuggewichten P und dementsprechend größeren Gleitgeschwindigkeiten; man findet, daß μ mit der Geschwindigkeit etwas zunimmt.

5. Man setzt auf B Gewichte L, so daß der Normaldruck $N = G + L$ größer wird; W wird dann ebenfalls größer gefunden, etwas größer, als der einfachen Proportionalität entsprechen würde, so daß μ selbst mit dem Normaldrucke wächst.

6. Man stellt den unbelasteten oder belasteten Klotz hochkant aber parallelfaserig auf (wobei die Rolle höher zu stellen ist); man findet angenähert die gleichen Werte für μ wie vorhin:

Die Reibung ist unabhängig von der Größe der reibenden Flächen und wächst angenähert proportional dem Normaldrucke.

7. Man stellt den Klotz mit den Fasern senkrecht zur Unterlage: der Reibungskoeffizient ist wesentlich größer.

Beispiel: μ ergibt sich bei parallelen Fasern zu etwa 0,46, bei senkrechten Fasern zu etwa 0,52.

Übung 2. 1. Man hebt das Holzbrett an einem Ende in die Höhe, neigt es so lange, bis der auf dasselbe gelegte Klotz eben zu gleiten beginnt, und stellt die Stütze dieser Lage entsprechend fest.

2. Durch Herablassen eines Senkels von der obersten Kante des Brettes bestimmt man die Basis der schiefen Ebene und mißt deren Höhe sowie die Basislänge; das Verhältnis beider ist gleich dem „Reibungskoeffizienten der Ruhe" μ_0 beider Flächen, der größer ist als μ; mit Hilfe der trigonometrischen Tafel am Schlusse des Buches erhält man den Reibungswinkel.

Beispiel: $\mu_0 = 0{,}62$.

Übung 3. 1. Die große Bleirolle wird auf das genau horizontierte Eichenbrett gelegt, die Schnur in den die Achse derselben fassenden Drahtbügel gehängt und an die Schnur die kleinere, vorher gewogene Schale befestigt.

2. Durch Auflegen von Gewichten bestimmt man die Zugkraft P', welche die Rolle eben bewegt; aus Rollengewicht und Radius erhält man den Koeffizienten der rollenden Reibung ϱ'.

Beispiel: $\varrho' = 0{,}024$.

2. Innere Reibung der Flüssigkeiten.

Gebraucht wird: Apparat für Durchfluß, Fig. 64, mit Kapillarröhren von verschiedenen Dimensionen; Flaschen F; Chronoskop; Pyknometer; Lösungen von $NaCl$ (7- und 12proz.) und NH_4NO_3 (20- und 40proz.).

Einleitung. Fließt eine Flüssigkeit durch ein langes horizontales Rohr, so erfahren die näher der Achse gelegenen, schneller fließenden Schichten der Flüssigkeit durch die innere Reibung an den näher der Wand gelegenen, langsamer fließenden bzw. ruhenden Schichten eine Verzögerung. Die durch das Rohr fließende Flüssigkeitsmenge hängt von dem Drucke und der Reibung ab. Die Reibung selbst ist bestimmt durch die Dimensionen des Rohres.. Ist das Rohr im Verhältnisse zu seiner Länge eng, hat es einen kreisförmigen Querschnitt von dem Radius r, die Länge l, ist der Druck p und η eine von der Natur der Flüssigkeit abhängige Konstante, so ist das während der Zeit z ausfließende Flüssigkeitsvolumen V:

$$V = \frac{\pi}{8\eta} \frac{p r^4}{l} z \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Das ausfließende Volumen ist direkt proportional der vierten Potenz des Radius, umgekehrt proportional der Länge und der Konstanten η, dem inneren Reibungs- oder Viskositätskoeffizienten. $1/\eta$ heißt der Fluiditätskoeffizient:

$$\eta = \frac{\pi p r^4}{8 V l} z \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Dient zu allen Versuchen dasselbe Rohr, fließt stets dasselbe Volumen V aus, und bleibt der Druck p der gleiche, so ist:

$$\eta = a . z,$$

wo a eine nur von den Dimensionen des Rohres und von dem Drucke abhängige Konstante bedeutet.

Bestimmen wir mit demselben Rohre für dasselbe Volumen bei demselben Drucke die Ausflußzeiten z_1 und z_2 zweier Flüssigkeiten mit den Reibungskoeffizienten η_1 und η_2, so ist: $\eta_1 : \eta_2 = z_1 : z_2$. Kennt man den Reibungskoeffizienten η_1 für die eine der beiden Flüssigkeiten, so ergibt sich aus einer solchen Bestimmung η_2; es ist:

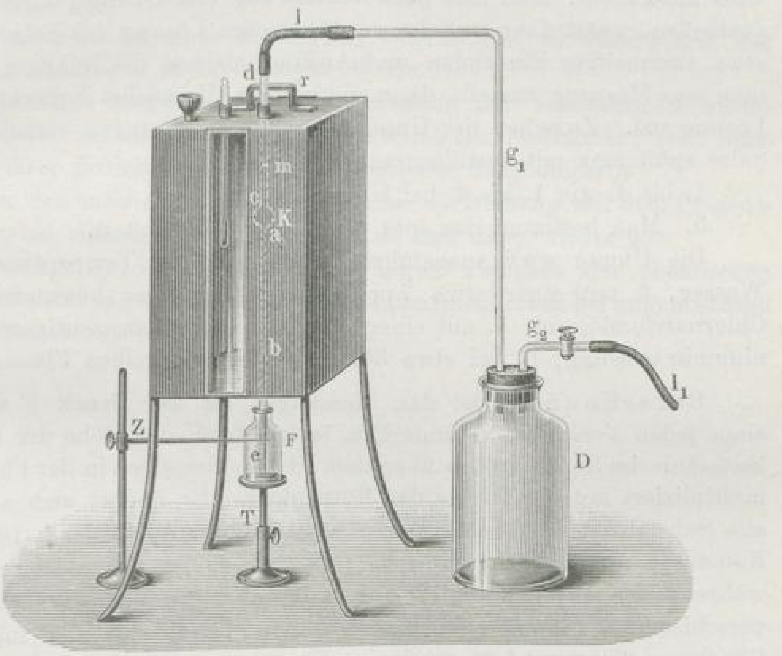
$$\eta_2 = \eta_1 . z_2 / z_1.$$

Spezifischen Reibungskoeffizienten nennt man die Zeit, die eine Flüssigkeit braucht, um durch eine Kapillarröhre zu fließen, unter Bedingungen, unter denen ein gleiches Volumen Wasser von bestimmter Temperatur durch dieselbe Röhre in der Zeit Eins fließen würde.

Apparat nach Arrhenius (Fig. 64). An das untere Ende einer vertikalen Kapillarröhre ab ist eine weitere Röhre be angesetzt, an das obere Ende eine Kugel K angeblasen, an die selbst wieder ein weiteres Glasrohr cd angesetzt ist, das unmittelbar oberhalb K bei c etwas verengt ist. Über das Ende d wird ein Schlauch l geschoben, der d mit einer Glasröhre g_1 verbindet, die in das Innere der Flasche D reicht; an eine andere Röhre, die durch den D verschließenden Stöpsel geht, ist ein Hahn g_2 angeschmolzen, der mit einem Schlauche l_1 verbunden ist. Unter das Ende e der Röhre be setzt man eine Flasche F, die auf einem Tische T steht, den man hoch und niedrig stellen kann.

Die Kapillarröhre befindet sich in einem parallelepipedischen Messingkasten (Höhe 34 cm, Seite der Basis 14 cm), in dessen Vorder- und Hinterwand Fenster eingesetzt sind. Die Röhre *de* ist in einem am Boden befindlichen Tubulus mittels eines Korkes befestigt. In dem Deckel des Messinggefäßes befinden sich Löcher für das Rohr *cd* und die einen Rührer *r* tragenden Stäbe, sowie zwei Tubuli, in den einen wird ein Thermometer eingesetzt, der andere dient zum Eingießen von kaltem oder warmem Wasser. Neben dem Tischchen *T* steht ein Messingstab, auf dem sich ein horizontaler Zeiger *Z* verschieben läßt. Die Flüssigkeiten werden in gleich weite Flaschen gegossen.

Fig. 64.



Bei dem Arrheniusschen Apparat ändert sich der Druck mit der untersuchten Flüssigkeit. Anordnungen, bei denen dies nicht der Fall ist, sind von G. Wiedemann u. a. angegeben.

Übung 1. Die Gesetze für die Ausflußzeiten werden für destilliertes Wasser mit verschieden weiten und verschieden langen Röhren geprüft, die in Korke eingesetzt sind, welche in den Tubus am Boden des Gefäßes passen. Die Längen der Röhren werden an einem Maßstabe gemessen, die Radien derselben und das Volumen der Kugeln durch Auswägen mit Quecksilber bestimmt (S. 56).

1. Man filtriert die zu untersuchende Flüssigkeit sorgfältig in eine der Flaschen *F*; die Flüssigkeit darf keine Staubteilchen usw. enthalten, da diese sich in den Kapillarröhren festsetzen und dadurch die Ausflußzeit vergrößern können.

2. Man stellt die Flasche auf den Tisch T, den man verstellt, bis die Flüssigkeitsoberfläche mit dem Zeiger Z zusammenfällt.

3. Man saugt am Schlauche l_1, schließt den Hahn g_2, läßt die Flüssigkeiten in die Höhe steigen, etwa bis m.

4. Man öffnet den Hahn g_2, läßt das Chronoskop in dem Moment angehen, in dem die Flüssigkeitsoberfläche an der Verengung bei c vorbeigeht, und hält es wieder an, wenn sie an a vorbeigeht. Man liest die Zeit ab, die dazu nötig ist, sie sei z.

Die Übung wird zwei- bis dreimal wiederholt.

Übung 2. Die Reibung verschiedener Salzlösungen wird untersucht. Man läßt nach Ausführung von Übung 1 alles Wasser ausfließen, spült dann mit der verdünntesten Lösung des Salzes durch etwa zweimaliges Einsaugen und Ausfließenlassen die Röhre aus, ehe man eine Messung anstellt, dann nimmt man die nächst konzentriertere Lösung usf. Zwischen der Untersuchung von Lösungen verschiedener Salze spült man mit destilliertem Wasser aus.

1. bis 4. wie 1. bis 4. bei Übung 1.

5. Man bestimmt das spez. Gew. s der Flüssigkeit.

Die Übung wird ausgeführt: a) bei niederer Temperatur 1. mit Wasser, 2. mit einer etwa 7prozentigen und einer konzentrierteren Chlornatriumlösung, 3. mit einer 20- und einer 40prozentigen Ammoniumnitratlösung; b) bei etwa 30 bis 40° mit denselben Flüssigkeiten.

Berechnung. Bei den Messungen ist der Druck p während eines jeden Versuches veränderlich, er ist gleich der Höhe der Flüssigkeitssäule im Kapillarrohre über dem Niveau derselben in der Flasche F, multipliziert mit der Dichte der Flüssigkeit. Er ändert sich aber für alle Substanzen in gleicher Weise während des Ausfließens; ist c eine Konstante und s das spezifische Gewicht, so ist der mittlere Druck während des Versuches $p = c.s$. Ist aber bei den Versuchen mit verschiedenen Flüssigkeiten der Druck p verschieden, so folgt aus Gleichung 2): $\eta = bzp$, wo b eine Konstante ist. Also

$$\eta = b.c.s.z,$$

der Reibungskoeffizient ist proportional dem Produkte aus Dichte und Ausflußzeit.

Stellt man Beobachtungen an zwei verschiedenen Flüssigkeiten mit derselben Röhre an, so ist:

$$\eta_1 : \eta_2 = s_1 z_1 : s_2 z_2.$$

Beispiel:		Wasser	NaCl etwa 7 Proz.	NaCl etwa 12 Proz.	NH_4NO_3 etwa 20 Proz.	NH_4NO_3 etwa 40 Proz.
	s	1	1,051	1,090	1,085	1,179
$t = 14{,}5^0$	s	252	266	284	212	222
	$s.z$	252	280	310	230	262
$t = 35^0$	z	164	176	191	151	166
	$s.z$	164	185	208	164	196

Aus den Versuchen mit diesen Flüssigkeiten ergibt sich:

1. Bei Wasser und bei Lösungen nimmt mit zunehmender Temperatur die Reibung ab, also die Fluidität zu.

2. Chlornatriumlösungen besitzen eine um so größere Zähigkeit, je konzentrierter sie sind. Bei Ammoniumnitratlösungen nimmt die Zähigkeit bis zu einer bestimmten Konzentration ab, sie ist also kleiner als die des reinen Wassers, und nimmt dann wieder zu. Bei höheren Temperaturen liegt das Minimum der Zähigkeit bei geringeren Konzentrationen und ist weniger ausgesprochen.

Allgemeines. Die Reibung der Flüssigkeiten nimmt mit der Temperatur ab.

Setzt man zu einer Flüssigkeit eine andere, so ändert sich der Reibungskoeffizient in verwickelter Weise.

Besonders eingehend ist das Verhalten der Salzlösungen untersucht, teils um die innere Reibung selbst zu bestimmen, teils auch wegen ihrer Beziehungen zu der elektrischen Leitfähigkeit.

Bei den meisten Salzlösungen wächst die Reibung mit dem Prozentgehalte, bei einzelnen nimmt sie erst ab und dann wieder zu.

Durchgreifende einfache Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung und den Reibungskoeffizienten haben bei ungemischten Flüssigkeiten sich noch kaum ergeben.
