Das dritte Gesetz können wir in der Uhrmacherei als vollständig wahr annehmen, und wollen auch in Folgendem annehmen, dass sämmtliche drei Gesetze als richtig bestehen.

Die Reibung hängt von der Natur der sich berührenden Flächen ab; harte und gut polirte Körper werden weniger Reibung verursachen als weiche und rauhe.

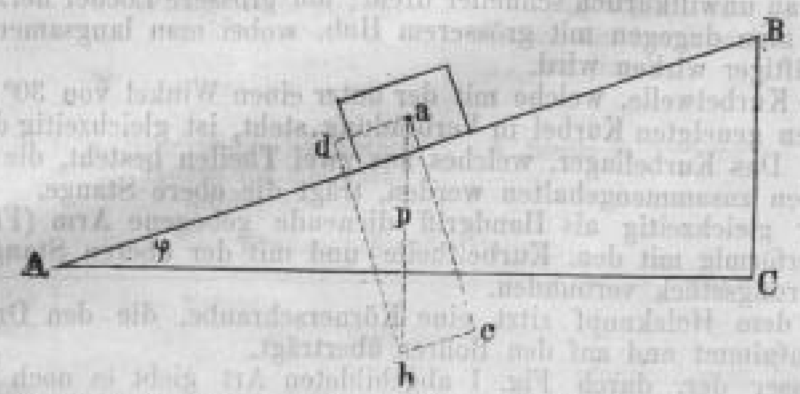
Um die Reibung als Kraft in die Rechungen einzuführen muss zuerst ein durch Versuche zu ermittelnder Coefficient f bekannt sein. Sei F die Kraft der Reibung und N der auf die Flächen normal gerichtete Druck, so wird der Quotient $\frac{F}{N}$ constant sein. Dieser Quotient ist gleich dem Reibungscoefficienten f. Ich habe denselben durch Versuche bei den in der Uhrmacherei gebräuchlichen Metallen und Edelsteinen zwischen 0,12 und 0,15 gefunden, und nehme letzteren Werth in meinen Rechnungen an. Man erhält dann die zu überwindende Kraft F der Reibung, indem man den Normaldruck N mit f multiplicirt.

Wir haben also:

$$F = f N$$

Der einfachste Versuch um den Reibungscoefficienten zu ermitteln besteht wohl darin, den Körper auf einer schiefen Ebene herunter gleiten zu lassen.

Fig. 26.



Sei Fig. 26 a der Schwerpunkt des Körpers. Die Resultante der Schwerkraft, welche in dem Punkte a angreift, ist gleich dem Gewichte p des Körpers. Die Richtung dieser Kraft ist von a nach b. Machen wir $\overline{ab} = p$. Wir können diese Kraft p in zwei andere zerlegen, wovon die Eine $\overline{ad}$ parallel der schiefen Ebene gerichtet ist, und den Körper in Bewegung zu setzen strebt, die Andere $\overline{ac}$ ist normal auf diese Ebene gerichtet, und ist also gleich dem Normaldruck N.

Indem wir das Parallelogram vollenden, haben wir $\overline{ad} = \overline{bc}$.

Ist die schiefe Ebene A B jetzt so gestellt, dass der Körper mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit heruntergleitet, so ist die Komponente $\overline{ad}$ gleich und entgegengesetzt der Kraft F der Reibung. Wir haben also:

$$\frac{F}{N} = \frac{cb}{ac} = f.$$

Die Dreiecke a c b und A C B sind ähnlich.

Daher

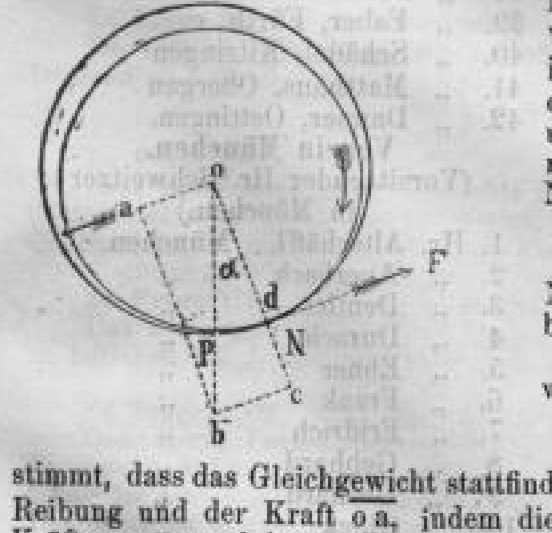
$$\frac{cb}{ac} = \frac{CB}{AC} = \text{tang. } \varphi = f.$$

Der Winkel φ welchen die schiefe Ebene mit der Horizontalen macht, wird der Reibungswinkel genannt, und seine trigonometrische Tangente ist gleich dem Reibungscoefficienten f.

Die Reibung der Unruhezapfen, wenn sich die Uhr in der verticalen Lage befindet.

Wenn sich die Unruhe in dieser Lage in Ruhe befindet, so wird die Berührung von Zapfen und Zapfenloch in der durch den Mittelpunkt des Zapfens gezogenen Verticalen stattfinden. Wird die Unruhe in Bewegung gesetzt, so wird der Zapfen zuerst eine rollende Bewegung annehmen und dadurch im Zapfenloch in die Höhe steigen, bis zu einem Punkte d, Fig. 27. Um diesen Punkt d zu bestimmen, zerlegen wir die Kraft $\overline{ob}$ welche wir gleich dem Gewichte P der Unruhe gemacht haben in zwei andere, die Eine $\overline{oc}$, welche durch den Berührungspunkt d geht und auf Zapfen und Zapfenloch normal gerichtet ist. Der Werth dieser Normalkraft N ist

Fig. 27.



$$N = P \cos \alpha$$

Die andere $\overline{oa}$, welche mit dieser Normalkraft einen rechten Winkel bildet, deren Werth ist $= P \sin \alpha$.

Die Reibung F in dem Punkte d wird sein.

$$F = f N = f P \cos \alpha.$$

Der Winkel α wird dadurch bestimmt, dass das Gleichgewicht stattfinden muss zwischen der Kraft F der Reibung und der Kraft $\overline{oa}$, indem diese beiden Kräfte sich zu einem Kräftepaare vereinigen. Wir haben also:

$$P \sin \alpha = f P \cos \alpha \text{ und daraus}$$

$$\text{tg } \alpha = f.$$

Da aber $f = \text{tg } \varphi$ so muss auch $\alpha = \varphi$ also gleich dem Reibungswinkel sein und daher $F = P \sin \varphi$.

Das Moment M F dieser Kraft ist gleich dem Moment des vorhererwähnten Kräftepaares und wird erhalten, indem wir die Reibung mit dem Radius r des Zapfens multipliciren also

$$M F = P r \sin \varphi$$

Die mechanische Arbeit T r F erhalten wir, indem wir das Kraftmoment mit dem durchlaufenen Winkel multipliciren. Wenn die Unruhe einen Umgang schwingt so ist dieser Winkel $= 2\pi$ also

$$T r F = 2 \pi r P \sin \varphi. \qquad (34)$$

Ist P = 0.15, so ist $\varphi = 8° 32'$ und $\sin \varphi = 0{,}1483$, daher

$$T r F = 2 \times 0{,}1483 \, P \pi r = 0{,}2966 \, P \pi r \qquad (35)$$

Das Gewicht P der Unruhe vertheilt sich auf beide Zapfen. Der eine oder der andere dieser Zapfen erhält, je nachdem die Unruhe denselben näher gerückt ist, einen stärkeren Druck. Sind aber die Durchmesser beider Zapfen gleich, so ist, da die Summe des Druckes immer gleich P ist, auch die Summe beider Reibungen gleich.

Die Gleichungen (34) und (35) enthalten also die durch die Zapfenreibung verlorene Arbeit beider Zapfen.

(Fortsetzung folgt).

Einiges über Optik

von

Hermann Sievert.

(Fortsetzung von No. 18.)

In neuerer Zeit bedient man sich für Divergenz und Linsenstärke einer anderen Bezeichnung, welche das Rechnen wesentlich vereinfacht, und zugleich den Vortheil hat, dass sie international ist. Man ist eben auch hierin zum metrischen System übergegangen, und nimmt zum Messen der Brennweite statt des Zolles den Meter als Einheit. Ferner bezeichnet man die Linsen nicht mehr nach ihrer Brennweite, sondern nach ihrem wirklichen Brechungswerthe, welcher ja das Umgekehrte (die Reciproke) der Brennweite ist, und endlich hat man an die Stelle der unbequemen gewöhnlichen Brüche Decimalbrüche gesetzt. Auf diese Weise ist die neue metrische Bezeichnung der Linsenstärke nach Dioptrien entstanden. So ist z. B. der Werth einer Linse von 0,40 m Brennweite gleich 2,5 $\left(\frac{1}{0{,}40}\right)$ Dioptrien und 1 Meter Brennweite ist gleich 1 Dioptrie.

Wenn wir dieselbe Bezeichnung auch auf die Divergenz der Lichtstrahlen anwenden, so wird man sehen, wie leicht mit Hülfe der nachstehenden Reciprokentafel jede Rechnung ausgeführt ist.

Reciprokentafel für Brennweiten und Objectentfernung.

1 Brennweite und Objectentf. in Metern	2 Dioptrien und Divergenz	1 Brennweite und Objectentf. in Metern	2 Dioptrien und Divergenz	1 Brennweite und Objectentf. in Metern	2 Dioptrien und Divergenz
0,05	20,0	0,18	5,55	0,60	1,67
0,055	18,2	0,19	5,26	0,65	1,54
0,06	16,7	0,20	5,00	0,70	1,43
0,065	15,4	0,21	4,76	0,80	1,25
0,07	14,3	0,22	4,54	0,90	1,11
0,075	13,3	0,23	4,35	1,00	1,00
0,08	12,5	0,25	4,00	1,10	0,91
0,09	11,1	0,27	3,70	1,20	0,83
0,10	10,0	0,30	3,33	1,30	0,77
0,11	9,1	0,33	3,03	1,40	0,71
0,12	8,3	0,35	2,86	1,50	0,67
0,13	7,7	0,37	2,70	2,00	0,50
0,14	7,14	0,40	2,50	2,50	0,40
0,15	6,67	0,44	2,27	3,33	0,30
0,16	6,25	0,50	2,00	5,00	0,20
0,17	5,88	0,55	1,82	10,00	0,10

Zum Messen der Linsen genügt eine sehr einfache Vorrichtung. Man theilt einen hölzernen Stab in die durch Spalte 1 vorgeschriebenen Theile von 0,05 bis 1,50 Meter, und schreibt statt der Längenmasse die in Spalte 2 daneben stehenden Dioptrien hinein. Am vorderen Ende bringt man dann eine Vorrichtung zum Aufstecken der Gläser an, und zwar so, dass die betreffenden Entfernungen vom Mitteldurchschnitt der Linse an zählen. Ein Schieber oder auch ein rechtwinkliches Holzklötzchen mit davor geklebtem weissem Papier zum Auffangen des umgekehrten Bildes vervollständigt den ganzen Apparat.

Das zur Erzielung des Bildes benutzte Object muss stets möglichst weit entfernt sein, und jedenfalls ausserhalb der Brennweite der Linse sich befinden. Denn wenn z. B. der Gegenstand genau in der Brennweite ist, so wird natürlich nur die Divergenz aufgehoben, d. h. die Strahlen treten parallel aus der Linse, und es kann gar kein Bild entstehen. Ferner muss das Object genügend hell sein, damit man nicht ängstlich das Seitenlicht abzuschliessen braucht, und doch ein deutlich sichtbares Bild erhält. Für ein tiefes, im Hintergrunde etwas dunkles Zimmer eignet sich als Object sehr gut eine Fensteröffnung, deren umgekehrtes Bild dann sehr klar hervortritt, oder auch ein gegenüberliegendes Haus, ein gegen den hellen Himmel sich abhebender Baum u. s. w. Des Abends ist dagegen eine brennende Lampe das beste Object. Sehr passend ist es, wenn man das Object entweder in 2—2,50—3,33—5 oder 10 Meter Entfernung von der Linse bringt, weil man dann mit abgerundeten Divergenzwerthen zu thun hat.

Das Verfahren ist nun einfach folgendes: Angenommen, es steht eine Lampe als Object 3,33 Meter weit vor der Linse, so hat man nur den Papierschirm auf dem Stabe zu schieben bis das Bild der Lampe klar erscheint. Dann liest man von dem Stabe den dioptrischen Werth ab und legt demselben die Divergenz 0,30 zu. Die Summe ist die Linsenstärke in Dioptrien. Eine etwa gewünschte Umwandlung in alte Nummern Rheinländisch erfolgt leicht mit Hülfe einer Tabelle, die wohl jeder College, der mit optischen Sachen handelt, in Händen hat. Es dürfte