läufig auf einer Zykloide zu bewegen. Er benutzte dazu die Eigenschaft der Zykloide, daß sie ihre eigene Abwickelungskurve ist. Zu beiden Seiten der Pendelaufhängung brachte er zykloidisch geformte Führungsbacken an, an die sich der lange Aufhängungsfaden anlegen sollte (Abb. 1). Diese Führung, die ihrerseits wieder Anlaß zu Fehlern gab, war überflüssig geworden, als man gelernt hatte, die Schwingungsweite kleiner und gleichförmiger zu halten.

Die Schwingungsdauer eines Pendels ist nicht nur abhängig von der Länge des Pendels, sondern auch von der Beschleunigung der Schwerkraft. Diese Beschleunigung kann zwar für einen Ort der Erde als gleichbleibend angesehen werden, an verschiedenen Orten aber ist sie verschieden. Das rührt daher, daß die Erde keine Kugel und kein gleichförmig zusammengesetzter Körper ist. Je weiter ein Körper vom Mittelpunkt der Erde entfernt ist, um so geringer ist die Schwerkraftbeschleunigung. Die Erde trägt um ihren Aequator einen Gürtelwall von mehr als 21 km Höhe, außerdem kommt noch die Fliehkraft hinzu, deshalb ist am Aequator die Schwerkraftbeschleunigung g erheblich geringer als am Pol. Am Pol ist sie 983,21 cm/sec^2, am Aequator nur 978,03 cm/sec^2. In Tabelle 3 sind die Werte der Schwerkraftbeschleunigungen g für die Breiten $\varphi = 40^0 \div 60^0$, bezogen auf die Meeresoberfläche, zusammengestellt[1]).

Tabelle 3

Geographische Breite	Schwerkraftbeschleunigung in cm/sec^2	Geographische Breite	Schwerkraftbeschleunigung in cm/sec^2
40°	980,165	50°	981,066
41	255	51	155
42	345	52	243
43	435	53	330
44	525	54	417
45	616	55	502
46	706	56	587
47	797	57	670
48	887	58	752
49	977	59	833
		60	912

Will man aus einem solchen Wert für die Meeresoberfläche den Wert für eine bestimmte Höhe H m über der Meeresoberfläche berechnen, so muß man 0,00031·H cm von dem Tabellenwert abziehen, wo H in Metern zu nehmen ist. Ist z. B. ein Ort auf dem 47. Breitengrade 125 m über dem Meere, so ergibt die Rechnung:

g für Meereshöhe	980,797 cm/sec^2,
Berichtigung für 125 m Höhe	— 0,039 „
g für 125 m über dem Meere	980,758 cm/sec^2.

Hiermit kommt aber schon eine Unsicherheit in die Rechnung, denn unter Umständen kann der Faktor 0,00031 bis auf 0,00020 zurückgehen. In diesem Falle würde g für 125 m über dem Meere 980,797 — 0,025 = 980,772 sein. Man sieht, daß mindestens für die dritte Stelle hinter dem Komma keine Gewähr übernommen werden kann. Die Höhenmessung braucht also auch nicht sehr genau zu sein. Es genügt eine solche mit dem Barometer von einer bekannten Stelle aus (z. B. dem Bahnhof), wobei man für 1 mm Fallen der Barometeranzeigung eine Erhebung von 11 m annehmen kann.

Noch eine andere Unsicherheit kommt hinzu, die von der ungleichförmigen Zusammensetzung der Erdrinde herrührt. An manchen Stellen liegt schweres Gestein, an anderen leichteres, an anderen Stellen finden sich Hohlräume unter der Erdoberfläche. Infolgedessen weichen die gemessenen Werte für g von den errechneten ab. Im allgemeinen hält sich diese Abweichung in den Grenzen zwischen 0,00 und 0,05 cm/sec^2, indessen ergeben sich vereinzelt auch Abweichungen von 0,2 bis 0,3. In Deutschland beträgt die Abweichung selten mehr als 0,05, die stärkste Abweichung (auf der Schneekoppe) ist 0,14.

Will man die Schwerkraftbeschleunigung möglichst genau finden, so benutzt man nicht die aus der Formel sich ergebenden Werte, sondern man geht von einem benachbarten Orte aus, dessen g gemessen ist, und bestimmt daraus mittels geeigneter Zwischenrechnungen das gesuchte g. Eine vorzügliche Zusammenstellung von zuverlässig gemessenen Werten findet sich in dem Werk von Dr. S. Riefler: Tabellen der Luftgewichte, die Druckäquivalente und der Gravitation, Berlin 1912.

Bringt man eine Pendeluhr von einem Orte mit der Schwerkraftbeschleunigung g_1 nach einem anderen Orte mit der Schwerkraftbeschleunigung g_2, so ist die tägliche Gangänderung

$$\Delta t = 44\,(g_1 - g_2)\ \mathrm{sec},$$

worin g_1 und g_2 in Zentimeter zu messen sind.

Ist z. B.

g_1 von Glashütte	981,06,
und g_2 von Hamburg	981,38,
so ist $g_1 - g_2$	— 0,32,

und die Gangabweichung ist $44 \cdot (-0{,}32) = -14$ sec, d. h. eine Uhr, die in Hamburg richtiggehen soll, muß in Glashütte so eingestellt werden, daß sie im Tage 14 sec nachgeht. Diese Rechnung läßt sich durch Berücksichtigung anderweiter Einflüsse noch verfeinern, für die Praxis aber reicht sie aus.

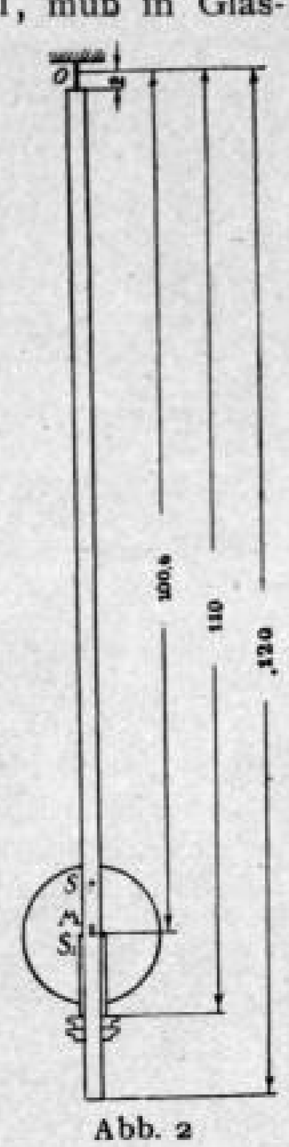

Abb. 2

Bisher konnten wir mit dem einfachen, gedachten, sogenannten mathematischen Pendel arbeiten. Wir denken es uns als einen schweren Punkt an einer gewichtlosen Stange, die sich um ihren anderen Endpunkt drehen kann. Seine Länge ist natürlich der Abstand des Punktes vom Drehpunkt. Sehr nahe kommt man einem solchen Pendel, wenn man eine kleine Metallkugel an einem zarten Seidenfaden aufhängt. Die Länge dieses Pendels ist nahezu der Abstand vom Schwerpunkt der Kugel bis zum Aufhängepunkt. Nun sind aber unsere Pendel wesentlich andere Gebilde; sie haben eine Pendelstange, deren Gewicht gegenüber der Pendellinse nicht zu vernachlässigen ist, und die Linse selbst ist ein ziemlich ausgedehnter Körper. Ein solches Pendel nennt man ein **physisches Pendel**. Seine Länge ist nicht einfach zu bestimmen. Die Länge des mathematischen Pendels, das mit diesem physischen Pendel gleiche Schwingungsdauer hat, die sogen. „reduzierte Pendellänge", ist

$$l_r = \frac{J \cdot g}{\mathfrak{M}},$$

worin J das Trägheitsmoment des Pendels bzw. seiner Drehachse ist und M das Kraftmoment des gesamten Pendel-

---

1) **Man berechnet die Schwerkraftbeschleunigung nach der Helmertschen Formel vom Jahre 1909 für Meereshöhe**

$$g = 978{,}030\left(1 + 0{,}005302 \cdot \sin^2\varphi - 0{,}000007\,\sin^2 2\varphi\right)\mathrm{cm/sec^2},$$

worin φ die geographische Breite ist. Im allgemeinen wird es genügen, wenn man nur die beiden ersten Glieder der Klammer berücksichtigt. Die Formel heißt dann:

$$g = 978{,}03 + 5{,}185 \cdot \sin^2\varphi.$$