

ausschließlich auf Probieren, ohne daß man sich über die Gesetzmäßigkeit der Zusammenhänge irgendwie klar wäre. In Heft 5 des 47. Jahrganges der „Zeitschrift für Instrumentenkunde“, 1927, Seite 241 bis 249, habe ich Wege zu weisen versucht, auf denen man vielleicht zur Erkenntnis der bei der Federwahl maßgeblichen Umstände wird gelangen können. Dabei sind aber die „peitschenförmigen“ Federn mit nach unten zu abnehmender Klingenbreite noch gar nicht berücksichtigt.

Welch außerordentliches Interesse die praktischen Astronomen an diesen Dingen zeigen, beweist eine Abhandlung von F. Hayn in Band 229 der „Astronomischen Nachrichten“, Nr. 8, wo Versuche mit dem neuen Pendel der Leipziger Sternwartenuhr besprochen werden, die als eine Fortsetzung der Experimente von Laugier und Winnerl angesehen werden können. Dies neue Pendel mit dem verhältnismäßig geringen Gewicht von 6,5 kg hat die Sternwarte im vorigen Jahre von Riefler erhalten; es hängt an zwei Federn von 0,1 mm Stärke, 4 mm Blattbreite und 3 mm Länge. Da die Federn für dieses Pendel als zu dick angesehen wurden, machte man zugleich Versuche mit einem anderen Paar, das nur halb so stark war. Beide Sorten sind

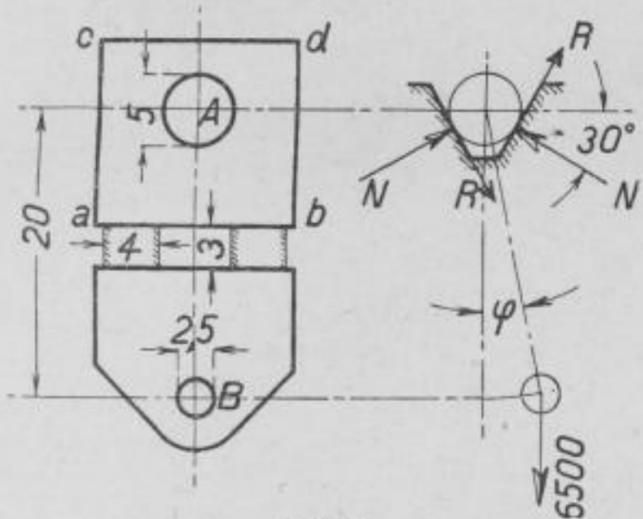


Bild 3

im Handel erhältlich. Bild 3 zeigt links die Federn mit ihren Klemmungen. Die Auflagerung geschieht mit Hilfe runder Stifte, deren oberer, in einem keilförmigen Schlitze gelagerter die erhebliche Stärke von 5 mm besitzt. Das Pendel kann natürlich nur dann eben schwingen und richtig arbeiten, wenn die Punkte A und B und der Pendelschwerpunkt in einer lotrechten Geraden liegen, die auf der Kante ab senkrecht steht. Wegen der großen Stiftstärke und der durch sie hervorgerufenen Reibung aber stellt sich diese normale Lage durchaus nicht von selbst ein, und man war gezwungen, die zu ab möglichst genau parallel gearbeitete Kante cd mit Hilfe einer Libelle wagerecht zu stellen. Es zeigte sich nämlich, daß bei diesem Pendel zur Drehung der Klemmungen um den Zapfen A mindestens ein Moment von 1000 Gramm-Millimetern erforderlich war, das das Pendelgewicht nach Bild 3 (rechts) aber erst dann aufbringen kann, wenn der Winkel φ 26,5 Bogenminuten beträgt. Denn es ist ja:

$$\begin{aligned} 6500 \cdot 20 \cdot \sin \varphi &= 1000, \\ \sin \varphi &= 0,0077, \\ \varphi &= 26,5. \end{aligned}$$

Eine solche Abweichung aus der Lotrichtung ist natürlich unzulässig. Die Sachlage gestattet zugleich einen Rückschluß auf die Größe der Reibungsziffer zwischen dem Zapfen A und seinen, einen Winkel von 60° bildenden Stützflächen. Gemäß Bild 3 erfordert das Gleichgewicht in der Lotrechten, daß

$$2 \cdot N \cdot \sin 30^\circ = 6500$$

sein muß, worin N der Stützdruck der Keilflächen ist. Es ergibt sich:

$$N = 6500 \text{ Gramm,}$$

denn $\sin 30^\circ$ ist $\frac{1}{2}$. Bezeichnet man die Reibungsziffer mit f, so ist also jede der beiden Reibungskräfte $R = f \cdot N = 6500 \cdot f$; zur Drehung des Zapfens mit dem Radius 2,5 mm um seinen Mittelpunkt sind somit

$$2 \cdot 6500 \cdot f \cdot 2,5 \text{ Gramm-Millimeter}$$

erforderlich; da es nach den Versuchen ihrer 1000 sein müssen, so folgt:

$$2 \cdot 6500 \cdot f \cdot 2,5 = 1000, \text{ also } f = 0,03.$$

Das ist herzlich wenig, und es ist zu bezweifeln, daß der Zapfen wirklich so leicht drehbar ist. Damit wird die Sachlage also noch schlechter. Man sieht, wie wesentlich es ist, die obere Federfassung auf leichtbeweglichen Schraubenspitzen zu lagern, die freilich immer noch so viel Reibung besitzen müssen, daß Bewegungen des Pendels senkrecht zur Schwungebene verhindert werden. Unter anderem ist es die Erddrehung, die solche Bewegungen einzuleiten sucht.

Mit diesem Pendel also, dessen Graham-Anker das Gangrad bei $48'$ Auslenkung frei gab, hat man in Leipzig folgende interessanten Versuche gemacht, um die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Schwungweite festzustellen: Das freie Pendel wurde zunächst auf eine Auslenkung von $120'$ gebracht, und dann so lange in Abständen von 30 Minuten durch elektrischen Kontakt mit einem Normalpendel verglichen, bis die halbe Schwungweite auf $50'$ zusammengeschrumpft war. Weiter wurde das Werk eingesetzt, der Ausschlag wieder künstlich auf $120'$ gebracht und so lange beobachtet, bis die Schwungweite ihren Gleichgewichtswert angenommen hatte und nicht weiter abnahm; das dauerte rund fünf Stunden. Auch hierbei wurde alle 30 bis 60 Minuten verglichen. Endlich wurde die Schwungweite bei angeschlossenem Uhrwerk bis auf $60'$ herabgebremst und dann wieder so lange beobachtet, bis sie sich zum normalen Gleichgewichtswert aufgeschaukelt hatte.

Diese Versuche wurden nicht bloß mit der $\frac{1}{10}$ mm starken Feder durchgeführt, sondern auch mit der halb so starken. Das ungemein interessante Ergebnis der Versuche ist in Bild 4 idealisiert zur Darstellung gebracht: die dünne Linie bezieht sich auf die schwache und die dicke auf die starke Feder. Jedesmal bedeutet die nach oben gemessene Ordinate der Kurve den Tagesgang bei der unten ablesbaren, einseitig gemessenen Schwungweite. Nebenbei bemerkt, diese Kurven sind bloß eine Auslese aus den mannigfaltigen in Leipzig gemachten Aufzeichnungen.

In den Diagrammen bedeutet, wie üblich, ein großer

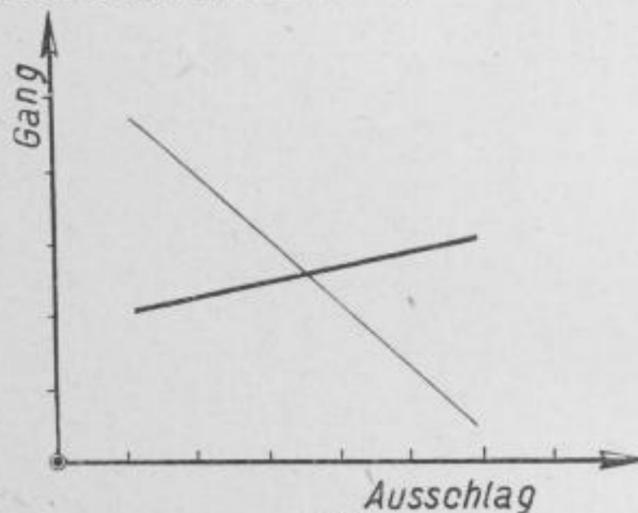


Bild 4

Gang starkes Nachbleiben und umgekehrt. Man erkennt sofort, daß die Schwingungsdauer bei Anwendung der schwachen Feder mit der Schwungweite abnimmt und die Uhr schneller geht, bei der starken jedoch wie beim mathematischen Pendel mit der Schwungweite größer wird. Die schwache Feder verleiht dem Pendel also Eigenschaften, die denen des mathematischen Pendels entgegengesetzt sind und bestätigen, daß man den Mangel an Isochronismus durch passende Federwahl bekämpfen kann.

Der Experimentator hat das Ergebnis der durch die Kurven dargestellten Versuchsreihe auch noch in Gangformeln gebracht; sie lauten:

$$\begin{aligned} \text{Für die schwache Feder u. 1,8 kg Zuggewicht: } g &= g_0 - 0,18 \cdot z \\ \text{„ „ starke „ „ 1,2 „ „ „ } g &= g_0 + 0,04 \cdot z \end{aligned}$$

Darin ist g_0 der Tagesgang in Sekunden bei normaler Schwungweite und z der Zuwachs der von der Mitte an