

Das Quarzpendel. Quarz ist Kieselsäure (SiO<sub>2</sub>). Es kommt kristallisch und kristallinisch in einer ganzen Reihe von Edelsteinen und Halbedelsteinen vor, was schon auf seine große Härte hinweist. Vor knapp zwei Jahrzehnten ist es gelungen, in der Knallgasflamme aus Quarz einen glasartigen Körper herzustellen, das Quarzglas, das von allen festen Körpern wohl den geringsten Ausdehnungskoeffizienten ( $\alpha = 0,000\,000\,4$ ) hat. Es lag nahe, diesen Stoff für Pendelstangen zu benutzen. Im Jahre 1912 wurden gleichzeitig an zwei Stellen Versuche damit gemacht, durch Sartori in Wien und Reubold in Hannover. Das Quarzglas hat vor dem Nickelstahl einige Vorzüge: es ist billiger, hat keine merkbare säkulare Störung, und die Ausdehnung in der Wärme erfolgt nicht ruckweise, sondern ganz gleichmäßig. Ein großer Nachteil ist die Zerbrechlichkeit, die sich der allgemeinen Verbreitung dieses vorzüglichen Werkstoffes in der Uhrmacherei entgegenstellt. Auch ist die Befestigung schwierig; sowohl die Aufhängung als auch der die Pendellinse tragende Teil müssen aus Metall (Messing oder Eisen) hergestellt werden und durch Schrauben oder Kift mit der Pendelstange verbunden werden. Das Ausgleichstück wird noch kleiner als beim Nickelstahlpendel.

d) Die Temperaturschichtung

In jedem Raum, der Temperaturschwankungen unterworfen ist, kann man feststellen, daß die Temperatur an der Decke höher ist als am Boden. Nur ein Raum, der durch vollkommen isolierende Wände dem Zu- und Abfluß der Wärme entzogen ist, nimmt im Laufe der Zeit eine gleichmäßige Temperatur an. In Räumen, in denen die Temperatur fließt (d. h. praktisch in allen Räumen), zeigt sich eine Temperaturschichtung. Dabei sind 3° auf 1 m Höhe nichts Ungewöhnliches. Das Pendel wird also oben in der wärmeren Luft stärker ausgedehnt als unten. Ist nun, wie beim Rostpendel, das Ausgleichstück so groß, daß es über den größten Teil des Pendels hinweggeht, so wird die Pendelstange und der Ausgleichkörper in gleicher Weise von der Schichtung betroffen und es wird sich kein wesentlicher Fehler einstellen. Anders aber, wenn, wie beim Quecksilberpendel und beim Nickelstahlpendel, das Ausgleichstück unten sitzt, dann wird das Ausgleichstück einer geringeren Temperatur unterworfen sein als der bis in den oberen Teil des Gehäuses hineinragende Pendelstab. Das würde nicht schaden, wenn der Temperaturunterschied zwischen oben und unten immer derselbe wäre; aber je nach dem Temperaturfluß schwankt er zwischen nahezu Null und 4–5°. Das bringt Fehler in den Gang. Man ist gezwungen, bei Uhren für wissenschaftliche Zwecke den Temperaturfluß zu beobachten und ihn in der Ganggleichung in Rechnung zu setzen. Auf diese Fehlerquelle hat schon Bessel 1843 hingewiesen. Man kann zwar das Temperaturgefälle vermindern, indem man das Gehäuse der Uhr ganz oder teilweise aus gut leitendem Metall, z. B. Kupfer, macht, wie es oft bei luftdicht eingeschlossenen Uhren geschieht (siehe Abschnitt 19, Abb. 87); dann möchte aber dieses Gehäuse noch umschlossen sein von einem gut isolierenden Übergehäuse.

Seit Jahrzehnten bemüht sich Professor Wanach vom Geodätischen Institut in Potsdam, der sich um die Feinstellung der Uhren sehr verdient gemacht hat, die Konstrukteure anzuregen, daß sie Pendelformen suchen, die der Temperaturschichtung Rechnung tragen. Das Rostpendel, das diesem Fehler kaum unterworfen ist, scheidet wegen seiner anderen, früher erwähnten Unzulänglichkeiten aus. Im vorigen Jahrhundert kam für feine Uhren das Quecksilberpendel und seit der Jahrhundertwende das Nickelstahlpendel (und das Quarzpendel) in Frage, die

der Schwankung stark unterworfen sind. Der Anregung Wanachs folgend, baute Dr. S. Riefler 1891 ein Schichtungspendel mit Quecksilber. Er benutzte als Pendelstange ein nahtloses Mannesmannrohr, das er zu zwei Dritteln mit Quecksilber füllte. So einleuchtend der Gedanke ist, so zeigt sich doch bei genauerer Nachprüfung unter Berücksichtigung der Ausführungen, die wir beim Huygensschen Läufer gemacht haben, daß hierdurch gerade das Gegenteil bewirkt wird.

Dann wurde das Quecksilberpendel durch das Nickelstahlpendel verdrängt. Professor Strasser und Dr. Riefler bemühten sich, dieses Pendel auch als Schichtungspendel zu bauen. Professor Strasser hängte die Pendellinse in einen Galgen, oberhalb dessen er das Ausgleichstück anbrachte. Indessen fürchtete er für die Stabilität des Pendels und verließ diese Konstruktion bald wieder.

Ähnliche Gründe werden wohl Riefler veranlaßt haben, lange mit der Herausgabe einer geeigneten Konstruktion zu zögern. Erst kurz vor seinem Tode, 1911, brachte er ein Pendel heraus, das bei genügender Sicherheit den Ansprüchen an ein Schichtungspendel genügt. Auch er mußte den Pendelstab unterbrechen. Die Konstruktion geht aus Abb. 85 hervor. Das Ausgleichrohr

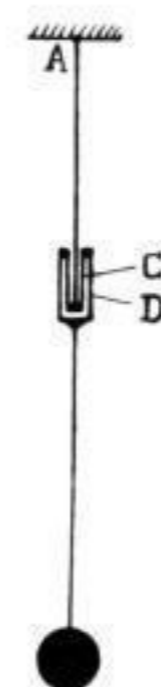


Abb. 85

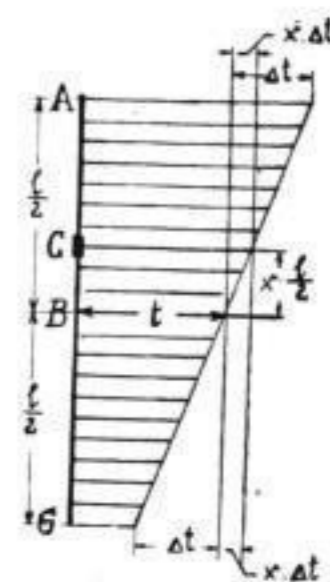


Abb. 86

aus Messing C, das den Pendelstab mit wenig Spiel umfaßt, ist mit ihm verschraubt. Am oberen Ende ist es mit einem Nickelstahlrohr D verschraubt, an dem unten der untere Teil der Pendelstange befestigt ist.

Die Länge des Ausgleichstückes haben wir im vorigen Abschnitt berechnet. Es erhebt sich aber noch die Frage, an welcher Stelle der Pendelstange das Ausgleichstück angebracht werden muß. Dazu müssen wir eine Annahme über die Schichtung der Temperatur im Uhrgehäuse machen. Es ist zwar nicht anzunehmen, daß diese Schichtung sich immer gleichförmig über die ganze Höhe erstrecken wird; je nach den äußeren Umständen wird das Gefälle bald unten, bald oben größer sein. Im großen und ganzen werden wir uns aber nicht zu weit von der Wirklichkeit entfernen, wenn wir ein gleichmäßiges Temperaturgefälle annehmen, wie es in Abb. 86 dargestellt ist. Ist die Temperatur in der Mitte  $t$ , so nehmen wir an, daß sie am oberen Ende um  $\Delta t$  größer sei und am unteren Ende um denselben Betrag  $\Delta t$  kleiner. Das Ausgleichstück C muß so angebracht werden, daß die zusätzliche Verlängerung des oberen Pendelstückes  $\Delta l_1$  gleich ist dem Betrage  $\Delta l_2$ , um den der untere Teil des Pendels hinter der Ausdehnung im Punkt C zurückbleibt. Da es sich um kleine Fehler handelt, genügt eine Überschlagsrechnung. Die Lage des Punktes C drücken wir