

Schwingungen macht, so dürfte die Länge des dazu gehörigen Pendels nicht nur den 2., sondern es müsste den  $2 \times 2 = 4$ . Theil von der Länge des ersteren betragen; soll es anstatt einer Schwingung deren drei machen, so wäre der  $3 \times 3 = 9$ . Theil von der Länge des ursprünglichen Pendels nöthig.

5) Derselbe Fall ist auch bezüglich der Stärke (bei vorausgesetzten sonstigen gleichen Verhältnissen, z. B. bezüglich der Qualität und Härte des Stahles u. s. w.). Ein Stahlband, was 4 mm breit und 0,20 mm stark ist, wird die Schwingung in der Hälfte der Zeit vollenden, wie ein solches, welches nur 1 mm breit und ebenso stark ist.

Bezüglich der Drehscheibe gelten folgende Gesetze:

6) Entfernung der Schwere vom Mittelpunkte der Drehung, beziehentlich Grösse der Scheibe und Schwingungsdauer sind direkt proportional, d. h. ein Torsionspendel, bei dem sich die Schwere der Masse auf 12 cm Entfernung vom Mittelpunkte befindet, braucht zu seiner einmaligen Schwingung doppelt so viel Zeit, als ein anderes, das bei gleicher Schwere der Masse diese nur 6 cm entfernt vom Mittelpunkte enthält.

7) Die Dauern der einzelnen Schwingungen verhalten sich zu einander wie die Quadratwurzeln aus den Gewichten, wodurch die Scheibe beschwert wird, d. h. die Schwingungsdauer ist bei einem vierfach beschwerten Pendel erst die doppelte des ursprünglich beschwerten, wenn die Beschwerung sich in gleicher Entfernung von der Drehachse befindet.

Versuchen wir nun auf Grund dieser Gesetze eine möglichst vortheilhafte Gestalt des Torsionspendels ausfindig zu machen, so müssen wir zunächst und vor allem darauf achten, dass ein günstiges Verhältnis hergestellt wird zwischen Länge, Breite und Stärke des Stahlbandes einerseits und Grösse und Schwere der Scheibe andererseits. Eine sehr schwere Scheibe würde die Elastizitätsgrenze eines zu schwachen Bandes herabsetzen; auch die Haltbarkeit oder, wissenschaftlich ausgedrückt, die Bruchgrenze ist zu berücksichtigen, besonders deswegen, weil die Summe der fortgesetzten Bewegungen sonst die Festigkeit zu beeinträchtigen im Stande wäre.

Die Scheibe muss mit ihrem Schwerpunkte ein wenig unterhalb der unteren Befestigung des Stahlbandes liegen, damit sie eine sichere horizontale Lage einnehmen kann. Würde der Schwerpunkt oberhalb liegen, so würde sie umstülpen. Die Entfernung des Schwerpunktes vom Befestigungspunkte ist ohne Einfluss auf die Schwingungen. Die obere Befestigung muss derart sein, dass das Stück, welches das Stahlband hält, ohne sich mitzudrehen, dem Pendel eine natürliche Lage einzunehmen gestattet.

Die beabsichtigte Erhöhung der Schwingungsdauer wird man namentlich dadurch erreichen, dass man der Drehscheibe bei einer möglichst grossen Durchmessergrösse eine solche Gestalt gibt, dass das Volumen sich an der Peripherie befindet. Den Luftwiderstand zu beseitigen ist eine Hauptaufgabe, da er von Einfluss auf die Schwingungsdauer ist und eine grössere Verdichtung nicht nur verzögernd, sondern auch hindernd wirkt. Der Luftwiderstand des gewöhnlichen Pendels ist zweierlei Natur: einmal entsteht solcher dadurch, dass Luft zu verdrängen ist. Die verdrängte Luft wird selbstverständlich stets wieder denjenigen Raum auszufüllen suchen, den das Pendel erst verlassen hat. Sind auch die Formen des Pendels diesem Durchschneiden der Luft noch so günstig, so wird diese Luftbewegung stets hemmend wirken. Die andere Art des Luftwiderstandes ist auf die grössere oder geringere Reibung der Luft an der Oberfläche des Gegenstandes und an deren Unebenheiten zurückzuführen.

Die Torsionspendelscheibe wird, wenn sie an allen Theilen gut rundläuft und nicht durchbrochen ist, wenn ihre Oberflächen gut zentrisch und namentlich glatt sind, nur wenig Widerstand in der Luft erleiden. Der Luftwiderstand des Stahlbandes ist der geringen Oberfläche und Langsamkeit der Bewegung des Bandes halber kaum in Erwähnung zu bringen. Der Widerstand der Luft, den das einfache Pendel durch Verdrängen erleidet, fällt beim Torsionspendel ganz weg, vielmehr ist die Luft geeignet, dasselbe wieder in die zentrische Bewegung zurückzusetzen, wenn es diese durch etwaige Nebenbewegungen verlassen haben sollte. Dieser geringe Luftwiderstand ist von grossem Werthe; denn durch denselben

werden die einzelnen Schwingungen bis zu einem solchen Maasse isochronisch, wie es kein gewöhnliches Pendel erreicht. Auch ist dadurch der Kraftverlust um ein Bedeutendes beschränkt worden.

Von überraschendem Erfolge ist hauptsächlich die Torsionselastizität des Stahlbandes; dasselbe erfordert zur Ergänzung der bei jeder Schwingung verloren gegangenen Kraft so wenig neue Kraft, dass es wirklich an das Unglaubliche grenzt. Ich habe mit der Kraft von einer Taschenuhr ein Torsionspendel getrieben, welches in 10 Sekunden eine Schwingung vollendete. Da nun dieselbe Uhr sonst bei 18000 Schlägen pro Stunde in einer Sekunde fünf Schwingungen macht, so wird sie nun 50 Mal so langsam, mithin anstatt einen Tag 50 Tage lang gehen und auch nur den fünfzigsten Theil an Reibung und Abnutzung erleiden, ein Effekt, der erstaunlich ist, vorzüglich, wenn man die Grösse und Schwere des Torsionspendels in Betracht zieht. Die Schwere der Scheibe betrug 850 gr., die Masse derselben bildete in Schwungradform eine Wulst, welche in ihrer Mitte 55 mm von der Drehachse entfernt war, die Länge des Stahlbandes war 455 mm, die Breite 1,30 mm, die Stärke 0,13 mm. Die Scheibe drehte sich um das vierfache des Hebungsbogens; trieb man sie nur um die Grösse des letzteren an, so brauchte sie drei Stunden Zeit bis zur Entfaltung ihrer vollen Schwingung, so gering war die treibende Kraft im Verhältnis zur Schwere der Scheibe.

Beobachten wir nun das Torsionspendel während der Schwingung und bei dem Uebergange aus dem Ruhezustande in den schwingenden, so werden wir zunächst finden, dass jede Schwingung am Ende in langsamerem, in der Mitte der Schwingungsdauer in schnellerem Tempo erfolgt. In der Gegend des Ruhepunktes sind die Schwingungen am schnellsten, wie beim gewöhnlichen Pendel und bei der Unruhe. Die Bewegung ist selbst bei grossen Schwingungen in deren Mitte noch so langsam, namentlich im Vergleich zur schnell-schwingenden Taschenuhr, dass die Trägheit oder das Beharrungsvermögen der treibenden Theile nur im allergeringsten Maasse ins Spiel kommen kann.

Befestigen wir in vier gleichen Entfernungen vom Ende des stillstehenden Stahlbandes vier nach gleicher Richtung stehende Arme und drehen die Scheibe eine Umdrehung um ihre Achse, so wird der oben befestigte Arm um 90 Grad, der mittelste um einen halben Kreisumfang, der unterste um  $\frac{3}{4}$  eines Kreises seine Stellung verändert haben. Erhält man am oberen Arme das Pendel langsam in Bewegung, so dass es Drehungen von je einem ganzen Kreise macht, so wird man es oben nur um den vierten Theil, also im rechten Winkel zu führen haben, dreht man das im Ruhezustande befindliche Stahlband am Arme des oberen vierten Theiles der Länge um den vierten Theil eines Kreises, und hält den Arm in dieser Lage fest, so wird sich das Pendel zunächst bis zu demselben Winkel in Drehung setzen, dann auf seinen alten Ort zurückschwingen. Die hierauf folgenden Schwingungen werden sich jedoch in der Weise verändern, dass sie sich immer mehr nach derjenigen Seite zu vergrössern, nach welcher man die Richtung des Stahlbandes verändert hatte, und sie werden sich nach der Seite zu verkleinern, von welcher aus die Drehung erfolgt ist. Je stärker das Stahlband ist, desto weiter erfolgt die erste Schwingung, desto eher werden die Schwingungen sich nach dem veränderten Aufhängungspunkte regeln. Selbstverständlich wird das Pendel, wenn es wieder in Ruhezustand versetzt worden ist, diesen auch um ebensoviel verändert haben, als erst der Arm mit dem Stahlbande verändert worden ist. Der Aufhängungspunkt des Pendels ist durch die Drehung des Bandes im rechten Winkel nun nicht mehr der oberste Punkt seiner Länge, sondern er ist da, von wo an das Band sich in seiner natürlichen Lage befindet, also von wo an es in gedrehtem Zustande erhalten wird. Wenn also die Verdrehung an diesem Punkt des oberen vierten Theiles der Länge dauernd erfolgt, so werden seine Schwingungen alsdann um den  $4 \times 4 = 16$ ten Theil beschleunigt worden sein. Hieraus geht hervor, dass, wenn der Antrieb des Pendels am Bande erfolgt, dessen Länge und mithin Schwingungsdauer hierdurch nothwendiger Weise