

der in seiner Bewegung durch zwei Anlagestifte 8 begrenzt ist; die Spitze desselben bewegt sich der Begrenzung entsprechend auf der Skala 9, während das entgegengesetzte kürzere Ende 10 in einem verstärkten Teil einen Stift hat, an welchem ein kleines Gewicht 11, z. B. 0,2 g = 200 mg, gehängt werden kann. Die Platte ist mit zwei Füßen 12 versehen, auf welchen die Platte beim Anhängen der Gewichte und Ablesen der Spannungszahl gestellt wird. In gleicher Seitenhöhe der Füße ist der runde Fuss 13 eingeschraubt, so dass die Platte auf diese drei Füße gelegt wird, wenn die Spirale abgenommen oder befestigt wird. In meinem Apparat beträgt die Hebellänge (am Zeiger) für das Anhängen-

e = 0,09 mm und den der Umlaufzahl entsprechenden Längen L anzuhängen wäre, den Elastizitätskoeffizienten zu 22000000 angenommen. Die Formel ist für das Kraftmoment der Spirale =  $M\alpha = pr$ , und da  $M = \frac{Ebe^3}{12L}$ , so ist  $p_1 = \frac{Ebe^3}{12L\alpha}$  und da  $\alpha = \frac{\pi n}{180}$ , so ist  $p = \frac{Ebe^3\pi n}{12L180r}$ , und bei einem Umlauf Spannung ist  $p = \frac{Ebe^3360^0\pi}{12L180^0r} = \frac{Ebe^32\pi}{12Lr}$ .

Setzt man die Werte ein, so erhält man bei

17 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Spiralumlängen für	p <sub>1</sub> = 320 mg,
16 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	p <sub>2</sub> = 342 "
15 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	p <sub>3</sub> = 364 "
14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	p <sub>4</sub> = 390 "
13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	p <sub>5</sub> = 418 "
12 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	p <sub>6</sub> = 451 "
11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	p <sub>7</sub> = 490 "
10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	p <sub>8</sub> = 537 "
9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	p <sub>9</sub> = 594 "
8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	p <sub>10</sub> = 663 "

Die Differenz zwischen p<sub>1</sub> und p<sub>2</sub> beträgt 22 mg und steigt immer mehr an, bis sie von p<sub>8</sub> bis p<sub>9</sub> zuletzt 70 mg beträgt. Zur Vervollständigung sind auch noch die Kraftmomente der Spirale bei jedem verkürzten Umlauf (von 17<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umlängen bis herab zu 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umlängen) bei einem

Umlauf Spannung der Spirale berechnet. Das Kraftmoment der Spirale =  $M\alpha$ , ebenso ist es auch  $pr$ ; also  $M\alpha = pr$  und  $M = \frac{pr}{\alpha}$ , oder nach Graden für einen Umlauf Spannung

ist  $M = \frac{pr180^0}{\pi n^0} = \frac{pr180}{\pi 360} = \frac{pr}{2\pi}$ . Setzt man für p<sub>1</sub> bis p<sub>10</sub>

die oben erhaltenen Werte ein, so ist bei 17<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Spiralumfang  $M_1 = \frac{320 \cdot 20}{6283} = 1019$ , für 16<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umfang ist  $M_2 = 1088$ , für 15<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umfang ist  $M_3 = 1160$ , für 14<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umfang ist  $M_4 = 1240$ , für 13<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umfang ist  $M_5 = 1331$ , für 12<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umfang ist  $M_6 = 1438$ , für 11<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umfang ist  $M_7 = 1560$ , für 10<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umfang ist  $M_8 = 1710$ , für 9<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umfang ist  $M_9 = 1900$ , für 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umfang ist  $M_{10} = 2111$ .

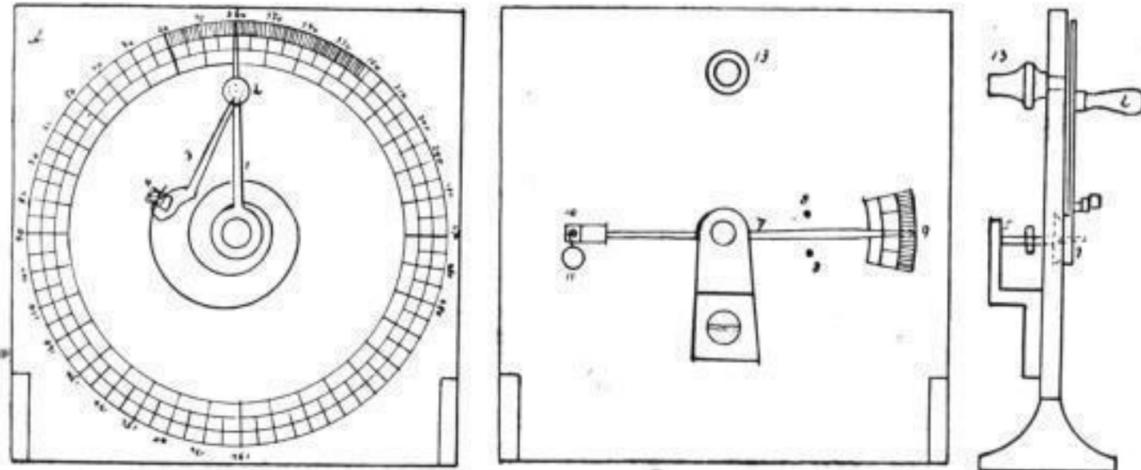
Die Differenzen betragen von M<sub>1</sub> bis M<sub>10</sub>:  
69 72 80 90 107 122 150 190 211.

Man ersieht aus den Versuchen und aus den Berechnungen, dass die Differenzen immer grösser werden, dass man also bei jedem verkürzten Umlauf vermehrtes Gewicht aufwenden muss, um die Spirale einen Umlauf zu spannen. Während zu Anfang bei der Verkürzung von 17<sup>1</sup>/<sub>2</sub> auf 16<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umfang die Differenz unerheblich war, wächst sie bei jedem verkürzten Umlauf steigend an; man ersieht daraus, wie ungünstig die Kraftübertragung auf die Unruh bei immer kürzer werdender Spirale wird. Wenn z. B. eine Schwingungszunahme der Unruh von 1/4 Umlauf eintritt, so wird bei der Spirale von 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umlängen, bei welcher die Kraftzunahme bei einem Umlauf Spannung 70 mg betrug, sonach bei 1/4 Umlauf vermehrte (oder verminderte) Unruhschwün-

gung =  $\frac{70}{4} = 17,5 \text{ mg} = 0,0175 \text{ g}$  betragen. Diese ver-

mehrte oder verminderte Kraft wird auf die Unruh übertragen; um die grösseren oder kleineren Schwingungen in genau derselben Zeit vollziehen zu können, müsste die Spirale genau isochronisch sein. Wenn man dagegen die Spirale von 17,5 auf 16,5 Umlauf kürzt, findet für einen Umlauf Spannung nur eine Kraftveränderung von 20 mg statt, und bei

1/4 Umlauf Spannung der Spirale nur  $\frac{20}{4} = 5 \text{ mg} = 0,005 \text{ g}$



gewicht 20 mm und die Anhängengewichte für stärkere Spiralen 0,2 g = 200 mg, für schwache Spiralen 0,05 g = 50 mg. Die Spirale wird nun mit der Rolle auf dem Zapfen und mit dem äusseren Ende an dem beweglichen Arm 4 befestigt, ohne das Gewicht an den hinteren Hebelzeiger zu hängen. Auf der Vorderseite wird nun der andere Zeiger an dem Griffe so lange gedreht, bis der hintere Zeiger in der Mitte der Skala (auf 0) steht, so dass die Spirale ganz entspannt ist, dann wird das kleine Gewicht von 0,2 g = 200 mg an den Zeiger des hinteren Hebelarmes gehängt und die Spirale so lange gespannt, bzw. der vordere Zeiger so lange gedreht, bis wiederum der hintere Zeiger auf der Mitte der Skala (auf 0) steht. Die Anzahl der vom vorderen Zeiger (vom ungespannten bis zum gespannten Zustand der Spirale) durchlaufenen Grade zeigt den Spannungswinkel der Spirale nach Graden an.

Mit dem Apparat habe ich zunächst die Kraft verschieden starker und verschieden langer Spiralen gemessen, u. a. eine Spirale von 17<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umlängen. Erst ist die lange Feder in das Spiralmass genommen, der Spannungswinkel bei einem konstanten Gewicht von 0,2 g = 200 mg notiert, dann genau ein Umlauf abgebrochen, wieder der Spannungswinkel bei gleichem Gewicht notiert usw., bis nach und nach die Spirale auf 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Umlauf verkürzt wurde, wobei bei jedem verkürzten Umlauf zunehmend vermehrtes Gewicht aufgewendet werden muss, um die Spirale einen Umlauf zu spannen. Bei 17<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Spiralumlängen war der Zeiger 244° zu drehen, bis Gleichgewicht eintrat.

Bei 16<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Spiralumlängen war der Zeiger 220° zu spannen,

" 15 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	"	"	"	197°	"	"
" 14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	"	"	"	175°	"	"
" 13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	"	"	"	155°	"	"
" 12 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	"	"	"	137°	"	"
" 11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	"	"	"	119°	"	"
" 10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	"	"	"	103°	"	"
" 9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	"	"	"	90°	"	"
" 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	"	"	"	"	77°	"	"

Ferner habe ich noch berechnet, wieviel Gewicht p nach der gemessenen Spirallänge b = 0,23 mm, Spirallänge

