

Beiträge zur Geophysik

Zeitschrift

für

physikalische Erdkunde

Herausgegeben

von

Prof. Dr. Georg Gerland

III. Band

Mit 162 Textfiguren, 1 Lichtdrucktafel, 1 Karte und 2 Tabellen

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1898.

XIII.

Zusammenstellung, Erläuterung und kritische Beurtheilung der wichtigsten Seismometer mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Verwendbarkeit.

Gekrönte Preisschrift der philosophischen Fakultät der Kaiser-Wilhelms-Universität Strassburg

von

Dr. R. Ehlert.

Mit 91 Figuren im Text.

Seismometer haben in erster Linie den Zweck, die Bewegung ihres Aufstellungsortes während eines Erdbebens konform abzubilden. Solange man nun die Art dieser Bewegung nicht erkannt hatte, war es unmöglich, sogleich richtige Prinzipien für die Konstruktion von Erdbebenapparaten aufzustellen, da dieselben ja erst durch ihre Aufzeichnungen die Theorie der Seismologie erschliessen sollten. In Folge dieses wenig förderlichen Kreisprozesses sind die prinzipiellen Fortschritte in der Seismometrie naturgemäss langsame. Man unterschied bei der Bewegung eines einzigen Punktes zwar sofort die drei rechtwinklichen Komponenten und richtete demnach Apparate für horizontale Beschleunigungen (Pendel) und Vertikalbewegungen (Spiralen) ein, aber man bedachte nicht, dass das Fundament eines Instrumentes mehreren Punkten zugleich angehört und daher auch Neigungsänderungen ausgesetzt ist. Noch heute ist diese Unklarheit nicht verschwunden, und wir sind ausser Stande, zu sagen, ob die eine oder die andere Ursache unsere Pendel bewegt, oder ob, wie

es wahrscheinlich ist, Horizontalbeschleunigungen neben Oscillationen bestehen¹⁾).

Wir können die Aufgabe eines Seismometers daher nun folgendermassen präcisiren: es sollen die drei Komponenten der Bewegung des Aufstellungsortes und ferner die Variationen seines Niveaus konform abgebildet werden. Instrumentell wird man derart verfahren; dass man einmal einen Vertikalapparat aufstellt, ferner ein Instrument, welches nur auf Horizontalbeschleunigungen in zwei zu einander senkrechten Richtungen reagirt, und endlich, nur für Variationen der Lothrichtung, einen Oscillographen, wie ihn Bertin bezeichnet. Die Trennung der beiden letzten Typen ist noch nicht geleistet, und es wird nunmehr überflüssig sein, bei Besprechung der Pendel etc. auf die Zweideutigkeit ihrer Aussagen immer wieder hinzuweisen. Dieselbe ist aber ausdrücklich zu betonen, denn sie ist charakteristisch für unseren Standpunkt in der Erdbebenkunde.

Um eine konforme Abbildung zu erhalten, ist es nöthig, einen durch das Beben bewegten Schreibstift auf einer absolut unbewegten Schreibtischplatte aufzeichnen zu lassen. Daher ist es bei Seismometern das vornehmste Erforderniss, inmitten der bewegten Theile eine horizontal oder vertikal oder endlich absolut stationäre Masse (steady point) zu erhalten, und es sind zu diesem Zwecke die mannigfaltigsten Kompensationsmethoden erfunden und angewendet worden, welche die Nachwirkungen der Erdbebenstösse auf träge Massen (Pendel, Spiralen, Flüssigkeiten) zu vernichten geeignet sind. Ob dabei das ruhige Pendel etc. auf die bewegte Erde, oder diese auf die stationäre mit einer Registrirfläche versehene Masse schreibt, ist natürlich gleichgültig. Endlich ist auf die Zeitbestimmung der einzelnen Erschütterungsphasen das grösste Gewicht gelegt.

In den kultivirten Erdbebenländern, Italien und Japan, ist unsere Wissenschaft naturgemäss am weitesten vorgeschritten, aber auch in Amerika, Neu-Seeland und in den meisten europäischen Ländern finden wir, mehr oder weniger zerstreut, seismische Stationen vor. Je nach Bedürfniss konstruirte man registrirende Seismometer, von den einfachsten bis zu den komplizirtesten, oder begnügte man sich mit Einrichtungen, welche die Zeit irgend einer Erdbebenphase angaben (Avisatoren oder Seismoskope). Hiernach theilen wir die Instrumente am natürlichsten ein in Seismoskope, wenn sie

1) A. Schmidt, Die Aberration der Lothlinie; Beiträge zur Geophysik, herausgegeben von G. Gerland, Bd. III, 1, 1896.

nur die Zeit bestimmen und keinerlei Messung von Amplitude oder Richtung zulassen, und in Seismometer oder Seismographen, wenn beides geleistet wird. Die weitergehende Theilung E. Brassart's¹⁾ in Seismoskope (Ankündiger), Seismometer (Ankündiger mit Messung des betreffenden Stosses), Seismographen (Messen des Maximalausschlages) und endlich in Seismometrographen (vollständige graphische Darstellung), führt zu künstlichen Spaltungen, welche einer nützlichen Systematik zuwiderlaufen. Wir trennen die Seismometer am natürlichsten in solche für horizontale und für vertikale Bewegung und stellen diesen also die Seismoskope gegenüber. Die Instrumente für die Horizontalkomponenten sind die vertikalen und horizontalen Pendel, die rollenden Körper, die hydrostatischen Apparate und endlich vereinzelt besondere Einrichtungen. Die Vertikalinstrumente sind Spiralen oder auf hydrostatischer Grundlage beruhende Systeme. Ebenso theilen wir die Seismoskope nach den Komponenten ein. Auch wird es vorthellhaft sein, die Registrirapparate, obwohl sie bei Besprechung der Seismometer bereits behandelt worden, noch einmal übersichtlich zu ordnen, um bei diesen nicht unwichtigen Nebenapparaten die Kritik zu erleichtern. Im Allgemeinen werden die einzelnen Gruppen neben einer grundsätzlichen Theilung zwischen den englisch-japanischen und italienischen dem historischen Gange der Erfindungen nach behandelt werden, weil auf diese Art das Verständniss der neueren verwickelteren Einrichtungen natürlich begründet wird. Dabei ist es hier nicht meine Absicht, tiefer in die Theorie der Instrumente und überhaupt allzusehr ins Einzelne zu dringen, jedoch wird die ausführlich angeführte Originallitteratur die Wege zu weiterer Verfolgung anweisen. Die zahlreichen Figuren sind nicht massstabsgerecht, sondern es sind je nach dem Bedürfnisse grösserer Deutlichkeit einzelne Theile vergrössert dargestellt. Es handelte sich nur um die klare Wiedergabe der wesentlichen Merkmale der Apparate, und die oft beigefügten Dimensionen werden eine treue Vorstellung der Instrumente ermöglichen. Auch hierin würde in vielen Fällen auf die Originalzeichnungen zurückgegangen werden müssen. Die Zahl der Abbildungen dagegen ist möglichst gross, weil nicht geleugnet werden kann, dass das schnelle Verständniss durch auch nur skizzenhafte Zeichnungen ungemein gefördert wird. Am Schlusse endlich wird eine Tabelle, welche nach den mechanischen Prinzipien angeordnet ist, die Uebersicht und die Kritik erleichtern.

1) Anali VIII, 4, 1886, p. 18, Anm. 3.

Da die Originalbeschreibungen von Seismometern in den verschiedensten Zeitschriften und Monographien zerstreut sind, oft dabei von völlig ungleichen Gesichtspunkten geleitet sind und durch Unklarheit häufig das Verständniss erschweren, war es bis jetzt schwierig, die zur Anwendung kommenden Apparate bezüglich ihrer Güte mit einander zu vergleichen. Von dieser Unklarheit ist selbst ein so neues Werk wie Hörnes' Erdbebenkunde in ihrem zweiten Abschnitte nicht frei, welches über die heute zur Anwendung kommenden Mittel der Erdbebenbeobachtung nur ein sehr unvollkommenes Bild gewährt. Die vorliegende Abhandlung hat den Zweck, eine kritische Vergleichung, welche allein zu wahren Fortschritt in der Seismometrie führen kann, zu ermöglichen oder doch zu erleichtern. Es wird hier der Versuch gemacht, alle Erdbebeninstrumente von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus einer Prüfung betreffs ihres praktischen Werthes zu unterziehen, welche für alle Fälle doch den Vortheil haben kann, Klarheit in diesem interessanten Gebiete zu verbreiten.

Theil I.

Instrumente zur Messung der Horizontalkomponente der Erdbebenbewegung.

A. Pendelinstrumente.

Ein gewöhnliches Pendel von der Schwingungsdauer t sei an einem mit der Erde starr verbundenen Gerüste aufgehängt. Empfängt das als unelastisch vorausgesetzte Stativ Horizontalbeschleunigungen in wechselnder Richtung von der Periode T , so wird das Pendel in um so grössere Schwingungen gerathen, je mehr $T = 2 n t$ ist. Da nun T variabel ist, aber in der Nähe des Epicentrums selten den Werth von $0^s,2$ übertrifft, so wird man, um die Pendelmasse in Ruhe zu erhalten, am sichersten t sehr gross, das Pendel also sehr lang machen.

Wird nämlich $\frac{t}{T}$ sehr gross, so wird der Unterschied zwischen $2 n t$ und $(2 n - 1) t$ im Verhältniss zu T unbedeutend, und wir erhalten in den Aufzeichnungen des Pendels Abbilder von der Periode T . Wie

wir genauer sehen werden, erzeugt die Reibung am Aufhängepunkt und am Registrirapparate ein Mitschwingen des Pendels, welches aber bei grossen Werthen von t in dem Rekorde deshalb keine Verwirrung stiften kann, weil die Erdschwingungen den Pendelbewegungen in gleicher Weise superponirt erscheinen, wie die Wellenkräuselungen den langen Meereswogen. Immerhin hat man auch hier Kompensationsversuche angestellt. Bei grösserem Abstände vom Epicentrum aber wächst T , und hier kann es nützlich sein, den umgekehrten Weg zu gehen, und t sehr klein, das Pendel sehr kurz zu machen. Denn hier ist einerseits der Fall möglich, dass die Pendelmasse, bei langsamen Beschleunigungen stets senkrecht unter dem Aufhängepunkt verharrend, den Bewegungen desselben derart nachfolgt, dass Kurven von der Periode T aufgezeichnet werden; geräth das Pendel nun andererseits in Oscillationen, so erscheinen diese den Erdschwingungen von der Periode T als Kräuselungen superponirt. Es ist klar, dass gerade in den Uebergängen Schwierigkeiten entstehen und dass die oft unberechenbaren Reibungseinflüsse und die Elasticitätsverhältnisse der Montirung hierin ein zielbewusstes Voranschreiten recht erheblich hemmen mussten. Dafür spricht die grosse Zahl derjenigen Methoden eine deutliche Sprache, durch welche man die Tendenz des Pendels, nach einer Ablenkung in die Ruhelage zurückzukehren, auf ein Minimum zu reduzieren suchte. Eine zweite, allerdings geringere Schwierigkeit ergab sich aus der Nothwendigkeit, die Abbildung der seismischen Verschiebungen, welche schon bei etwa 5 mm Amplitude zerstörend wirken können, in geeigneter Weise zu vergrössern, ohne dadurch eine zu grosse Reibung einzuführen. Hier ist man indessen zu sehr vollkommenen Methoden gelangt, in deren erster Linie natürlich die optischen stehen.

1. Vertikale Pendel.

Als die älteste und einfachste Vorrichtung zur Erdbebenmessung war schon 1841 in Comrie¹⁾ in Schottland das gewöhnliche, lange Pendel erkannt und angewendet, wie uns Mallet²⁾ 1858 kritisch berichtet. Die Spitze der Pendelmasse schrieb auf feinem Sande oder auf einer berussten Glasplatte ihre Bewegung auf. Man war daher, sofern die einzelnen aufgezeichneten Linien sich nicht allzusehr gegenseitig überdeckten³⁾, im Stande, die wesentlichste Stossrichtung zu

1) Rep. 1841, p. 46.

2) Rep. 1858; Trans. I, 1880, p. 3 ff.

3) Tokio Daig. 1883, Nr. 9, p. 20, § 22.

erkennen, während eine Bestimmung der Amplitude wegen der un kompensirten Eigenschwingungen völlig illusorisch ist. Die „static records“ der Engländer in Japan, also die Aufzeichnungen auf unbewegter Registrirfläche, werden, wie man auf Abbildungen¹⁾ sehen kann, bei einigermassen lange dauernder, oder komplizirter Bewegung völlig unleserlich, und schon 1855 finden wir daher bei Kreil²⁾ den Registrirstreifen durch ein Uhrwerk bewegt. Hierdurch wird vor allem das so wichtige Moment der Zeitbestimmung berücksichtigt, auch werden die Pendelbewegungen auseinandergezogen und dadurch entzifferbar gemacht. Kreil hüllte die Pendelmasse in einen frei herumlaufenden Cylindermantel ein, an dessen Innenseite zwei senkrecht zu einander an der Pendelmasse angebrachte Stifte die beiden horizontalen Komponenten der gegenseitigen Bewegung aufzeichneten. Hierdurch wurden schon ziemlich unverzerrte Abbilder von stärkeren Erschütterungen erhalten, wie Milne³⁾ in seinen Experimenten 1881 mit einem Pendel von 11,7 m Länge und etwa 16 kg Masse, und einem solchen von 13 m und 40 kg nachwies. Hierbei, wie auch bei Verbeck⁴⁾ 1872 und 1873, der einen Pinsel als Schreibstift anbrachte, ist die schwere Masse für den ersten Anfang wenigstens sicher als stationär anzusehen, da immer einige Zeit vergeht, bis sich die Bewegung vom Aufhängepunkt nach dem Pendelkörper fortgepflanzt hat. Das Gleiche gilt auch für das Vertikalpendel in dem Cecchi-Seismographen (Fig. 64 a (m') u. Fig. 64 c), welches trotz seiner Suspension an 2 senkrecht zu einander gerichteten Spitzenpaaren auch nur für den ersten Augenblick als stationär anzusehen ist.

Ganz einfach ist endlich das leichte Pendel von A. Schmidt, welches den Vorzug der Billigkeit hat und bestimmt ist, die Maximalamplitude und Richtung eines Stosses eindeutig zu bestimmen. (Fig. 1)⁵⁾. Das mit Blei ausgegossene, hölzerne Parallelepipeton m von 660 g Gewicht ist an dem einzigen Faden s derartig doppelt an dem Gerüste p suspendirt, dass es bei Schwingungen in der Fadenebene parallel zu sich selbst verharrt. Bei Schwingungen senkrecht dazu nimmt der Bügel b den frei durch ihn hindurchgesteckten Draht c mit sich und bewegt, da der Draht um die horizontale Achse a drehbar ist,

1) Hörnes, 1893, p. 162.

2) Milne, Monogr. 1886, p. 25; Hörnes, 1893, p. 156.

3) Trans. III, 1881, p. 23 ff.

4) Trans. I, 1880, p. 23.

5) Die in die Figuren eingetragenen Maasse sind durchweg cm.

das obere Ende i desselben in der Pfeilrichtung. Dabei werden die auf dem Draht d sitzenden Papierreiterchen rr seitlich verschoben. Im Ganzen sind drei solcher Pendel aufgehängt, deren Ebenen den Winkel von 45° (besser wäre 60°) einschliessen. Das hölzerne Pendelgerüst ist durch Kreuzungen versteift, aber nicht isolirt,

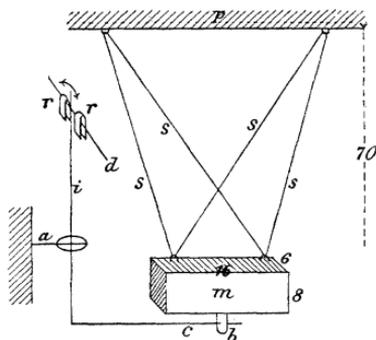


Fig. 1.

sondern direkt auf den Erdboden gestellt. Die Masse m ist gering und wird selten stationär bleiben, sondern durch Eigenschwingungen je nach der Periode der Erdbewegung die Reiter i zu sehr oder zu wenig von einander entfernen. Auch ist der Apparat wenig empfindlich, da der biegsame, schwankende Draht ci kleine, von b ertheilte Bewegungen leicht in sich selbst vernichtet. Bei Schwingungen parallel zur Fadenebene endlich, welche i unbeeinflusst lassen sollen, treten dennoch Störungen ein, da ci selten völlig senkrecht und lothrecht zu b stehen wird.

Die Angaben an den Reiterchen haben daher eigentlich nur den Werth, dass sie wenigstens von der Existenz irgend welcher Bewegung Kunde geben. Die Apparate sind zu Strassburg und in Hohenheim bei Stuttgart aufgestellt.

Den ersten wirklichen Seismographen hat in Japan J. A. Ewing¹⁾ im Jahre 1879 konstruirt (Fig. 2). An einem möglichst starren Holzgerüst (Fig. 2 a) ist ein gusseiserner Ring m von 25 kg an drei sich bald vereinigenden Drähten von 6,82 m Länge frei aufgehängt. Diametral ist über den Ring (Fig. 2 b) ein Eisenstab n mit zwei nahe der Mitte eingebohrten Löchern aufgeschraubt, welche kleine senkrechte Messingcylinder dd enthalten. In dieselben passen genau die Kugelköpfe (e in Fig. 2 c) der Indices h , welche derart in kardanischen Ringen auf den Böcken f ruhen, dass sie immer nur eine einzige Komponente registriren können. Denn bewegt sich der mit der Erde durch das Postament g fest verbundene Bock f gegen die stationäre Masse z. B. in der Richtung xx , so dreht sich der Index sowohl um den Mittelpunkt von e , als auch um die Achse yy und die Spitze h dreht sich um ihre eigene Längsachse; tritt aber eine Verschiebung in der Richtung yy ein, so dreht sich der ganze äussere Ring i und

1) Trans. I. p. 38 ff., 1880.

mit ihm verbunden h um xx , und h zeichnet auf der durch das Werk K gedrehten, berussten Scheibe l eine Komponente der Horizontalbewegung, und zwar fünf Mal vergrößert auf. Ebenso der andere, rechtwinklig zu jenem stehende Index. Da die komplette Schwingungsdauer $2t = 5^s$ beträgt, so ist der Charakter der Aufzeichnungen der in Fig. 2d angedeutete, woselbst die ausgezogene Linie die Erdbewegung, die punktirte die zu Grunde liegende Pendelschwingung angibt. Für den ersten Anfang ist die Masse stationär und die Amplitudenangaben brauchbar, später werden dieselben wegen der am Aufhängepunkt und Registrirapparat erzeugten Reibung un-

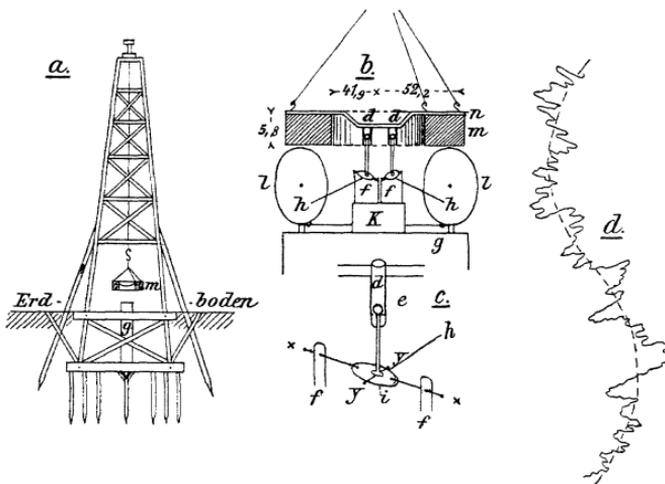


Fig. 2.

genau, immer aber bleibt die Richtungsangabe lange Zeit genügend. Dagegen ist eine Torsion des Aufhänge drahtes, wie Brassart¹⁾ richtig bemerkt, wegen des Abstandes der Röhren dd von einander schädlich, und es würde, wie sich leicht aus der Fig. 2b ergibt, besser sein, an n einen einzigen Stab anzubringen, dessen Bewegung unten erst in zwei Komponenten zerlegt wird. Ewing hat die Registrirvorrichtung später noch dahin verändert²⁾, dass er (Fig. 3b, Grundriss) an dem Querarm n eine Platte a mit zwei senkrecht zu einander gerichteten Schlitzten anbrachte. In diesen ragen die rechtwinklig aufgebogenen Enden bb' der Indices ii' , die um die vertikalen Achsen cc' drehbar sind, hinein. Bewegen sich nun bei einem

1) Annali VIII, 4, 1886, p. 21.

2) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 38, § 37.

Erdbeben die mit der Erde fest verbundenen Achsen cc' in der Richtung parallel zu cb , so wird durch die stationäre Masse m nur der Index i' gedreht, bei einer Bewegung parallel zu $c'b'$, zeichnet nur der Arm i auf. In dieser Weise ist also ebenfalls eine Dekomposition erreicht. Die einfache, unzerlegte Registrirung (Fig. 3a) geschieht dadurch, dass ein einziger Indikator i bei c in einem durch die Schraube d justirbaren kardanischen Ringe gehalten und oben gegen die Mitte des Querarmes n angelegt ist. Zugleich ist bei genügender Verlängerung des unteren Endes von i eine Vergrößerung (1:10)

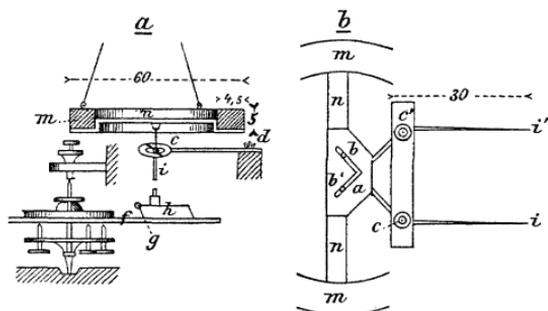


Fig. 3.

erreicht. Der Schreibstift besteht aus dem Strohalm h mit einer Stahlspitze (rechts in der Fig.) und ist durch das Gewichtchen g äquilibrirt. Die Registrirscheibe ist in der feinsten Weise justirt. Ueber die Zeitmarkirung ist in der Originalbeschreibung nichts angegeben. Die Leistungen des

seiner Zeit in Tokio montirten Apparates sind den hier geäußerten Erwartungen entsprechend gewesen.

Zu der gleichen Zeit erfand Thomas Gray¹⁾ in Tokio ein Seismometer, welches neben den horizontalen auch die vertikale Komponente anzuzeigen geeignet sein sollte, und welches daher zu den Universalapparaten zu zählen ist, die wir im Folgenden gesondert zusammenstellen wollen. Er ist aber, wie auch der folgende Apparat, von so einfacher Konstruktion und passt so gut an diese Stelle, dass es natürlicher ist, von einer systematischen Spaltung hier abzusehen. Hier ist (Fig. 4) die Masse m an einem in das Stativ p gespannten Stahldraht t (Fig. 4a) mittels des Drahtes s angehängt. Unter der Annahme nun, dass die Elasticität von t die Masse für den Anfang stationär macht, würde eine vertikale Verschiebung von p gegen m möglich sein. Der Seidenfaden l' bewegt dann die feste Rolle r' mit dem Index i' , und man kann an dem Kreisbogen die Maximalbewegung ablesen. Für die Messung der horizontalen Komponenten sind (Fig. 4b) drei Rollen r angebracht, um die Richtung eindeutig zu fixiren²⁾.

1) Trans. I, 1880, p. 44 ff.

2) Ehlert, Horizontalpendel-Beobachtungen, Anhang. Beiträge z. Geoph. III, 1, 1896.

Die Stifte i zeichnen auch hier ein vollständiges Bild und zwar in 25facher Vergrößerung auf den berussten Glasplatten g auf. Die bei variabler Feuchtigkeit veränderlichen Seidenfäden l ersetzte Gray später¹⁾ durch Aluminiumdraht, und um die Vergrößerung, welche die Indices i bei der Drehung der Rollen durch ihre Trägheit erzeugen, aufzuheben, führte er eine biflare Aufhängung²⁾ von i an den Rollen r (Fig. 4c) mittels der Fäden f ein. In diesem Falle folgt i der Drehung von r nur langsam nach, und ein Herumschleudern ist trotz des Gegengewichtes k ausgeschlossen. Eine zahlenmässige Reduktion der Vertikal- auf die Horizontalkomponente ist hier unmöglich und vor allem, wenn die Richtung der Erdbebenstösse wechselt, ist die Bestimmung dieser Richtung unausführbar, da die Platten g durch kein Uhrwerk getrieben werden. Eine einigermaßen

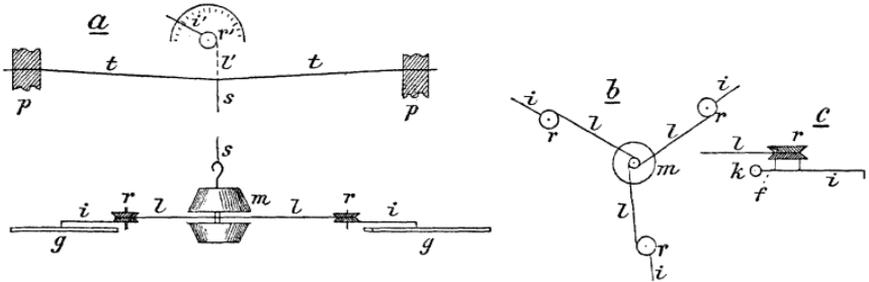


Fig. 4.

brauchbare Beobachtung ist nur dann möglich, wenn der Beobachter Torsion während einer Störung zugegen ist. Auch hier wirkt die zufällig schädlich, da die Fäden oder Drähte l sich um die Achse von m herumwickeln.

Einen ersten Versuch zur Kompensation der Eigenschwingungen machte der geniale Gottfried Wagener³⁾ mit der Anbringung eines sog. Indikatorpendels an seinem Apparat⁴⁾, welcher in einer 25 kg schweren, mittels eines 6,5 m langen Seidenstrickes an einer 4seitigen Holzpyramide aufgehängten Kugel besteht. (Fig. 5.) Dieselbe endigt an ihrem unteren Teile in einer kleinen, 19 mm starken Kugel α ; in normaler Lage hängt diese senkrecht über einer eben-

1) Trans. III, 1881, p. 2.

2) Phil. Mag. 1881, p. 199 ff.

3) Ges. Ostasien Bd. II, Heft 13. p. 318; Bd. VI, Heft 57.

4) Trans. I, 1880, p. 54 ff., Trans. III, p. 107 ff.; XII, 1887; Tokio Daig. 1883, Nr. 9, p. 37 f.; Annali VIII, 4, 1886, p. 21 ff.; Hörnes 1893, p. 158.

schwingungen entweder dadurch unmöglich gemacht werden, dass ein Theil der Masse sich der Ruhelage möglichst nähern kann, oder durch eine Kraft, welche das Pendel um so mehr verhindert, die durch einen Stoss erhaltene Lage zu verlassen, je mehr es abgelenkt worden ist. Die erste Kompensation wird mittels einer Kugel in einer Kalotte (Fig. 6a) oder durch einen Quecksilber oder Wasser enthaltenden Trog (6b) unter der Masse m bewirkt, während Ewing weniger günstig eine Spirale zwischen dem Aufhängepunkt und einem hoch gelegenen Punkte des Aufhänge drahtes anwendet. In Fig. 6a strebt die Kugel e wie auch der Schwerpunkt der Quecksilber- oder Wassermasse d in Fig. 6b danach, immer senkrecht unter e zu bleiben; daher wird das Trägheitsmoment der ganzen Pendel verringert und die Tendenz derselben, auch m unter e zu bringen, um so mehr verkleinert, als der Winkel α wächst. Die Gleichgewichtsbedingungen hat Gray im 3. Bd. der Transactions etc. berechnet, dagegen ist über den Erfolg von praktischen Versuchen nichts bekannt geworden.

Thatsächlich werthvoller ist daher das gut erprobte Mittel Grays, Astasirung durch eingeführte Reibung zu erreichen, welches er an einem eigenen, gut funktionirenden Pendel¹⁾ angewendet hat (Fig. 7). An dem 113 cm hohen Holzgestell B ist mittels der regulirbaren Schraube a und eines Seidenfadens der Bleiring m (Höhe 3 cm, Durchmesser 17 cm) aufgehängt, welcher die Glasplatte p und den Eisenstab b trägt. Auf dem mit B fest verbundenen Arme g ruht das Indikatorpendel c mittels der Kugel d leicht auf; unten endet es mit einem gut beweglichen Aluminiumstift i , welcher auf der Fläche k schreibt, während der 17 cm lange Teil c aus Bambus gefertigt ist. Mit dem oberen Ende greift es als feine Spitze in ein hartes Lager

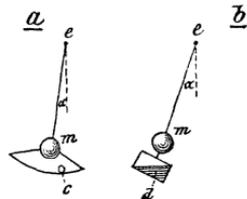


Fig. 6.

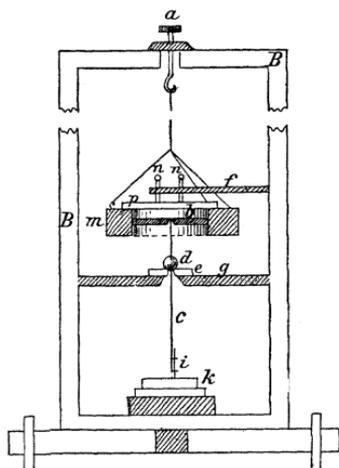


Fig. 7.

¹⁾ Trans. XII, 1887, p. 22 ff.; Milne, Monogr., 1886, p. 22 ff.; Annali VIII, 4, 1886, p. 20; Phil. Mag. 1881, p. 199; Trans. III, 1881, p. 145 ff.

in b ein, und wir haben hier genau denselben Vorgang zu beobachten wie bei dem Wagener'schen Indikator, indem auch hier b stationär, g bewegt ist. Das Bemerkenswerthe aber ist die Belastung der Platte p durch 2 je 50 g schwere Eisenstäbe nn , welche frei durch den Stativarm f geführt sind. Denn bewegt sich dieser nach links, so gleiten der Voraussetzung nach die Stäbe nn , ohne die Lage von m zu verändern, über p hinweg, während sie durch ihr Gewicht sehr wohl im Stande sind, dem langsamen Streben von m nach links hin

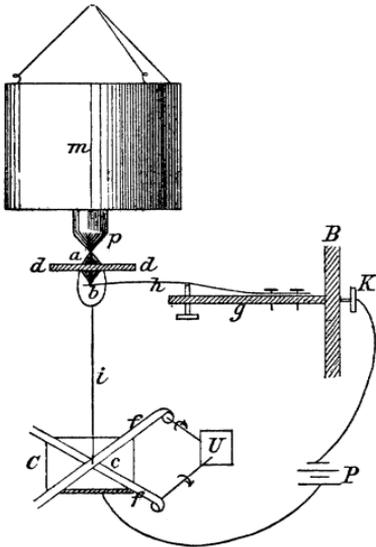


Fig. 8.

Widerstand zu bieten. Für rasche Bewegungen ist dies wohl auch der Fall, es kann aber sehr gut eintreten, dass die Gleitstäbe die Masse bei langsamer Bewegung der Erde direkt mit sich ziehen, dass also gerade das Gegentheil des Beabsichtigten erreicht wird. Dies dürfte, abgesehen von der mangelhaften Registrirvorrichtung das grösste Bedenken gegen diesen Apparat sein¹⁾.

Interessant wegen seiner eigenthümlichen Registrirvorrichtung und seines sehr empfindlichen Indikators ist der 1887 von John Milne konstruirte „tremor-recorder“²⁾, welcher, wie schon der Name sagt, nicht, wie die vorigen Instrumente, für starke Erschütterungen eingerichtet ist, sondern gerade

auf die allerkleinsten Erzitterungen oder Tremors reagiren soll (Fig. 8). An einem 1,62 m hohen Gerüst hängt ein 105,8 cm langer Eisendraht mit einem 7,6 cm dicken, 6,3 cm hohen, mit Blei ausgefüllten Kupfercylinder m von 3,5 kg Gewicht. Der mit dem Stativ B verbundene Arm g trägt eine starke Feder h als Unterlage für das Anzeigerpendel i . Dieses besteht aus einer massiven Scheibe d , die an beiden Seiten mit je einer kegelförmigen Spitze a , b versehen ist; die obere legt sich gegen eine unten an m angebrachte Spitze p , während die untere auf erwähnter Feder h aufliegt. Fest mit d ist der Zeiger i verbunden, welcher die Feder h als Ring umschliesst. Durch das Uebergewicht d ist das untere Pendel in einen labilen,

1) Annali VIII, 4, 1886, p. 20.

2) Phil. Mag. 1881, p. 356; Hörnes, 1893, p. 151 ff.; Rep. 1893, p. 288.

sehr empfindlichen Zustand gekommen, und es dürfte nicht selten der Fall eintreten, dass es völlig von h herunterfällt. Ueber der in der Figur perspektivisch gezeichneten Kupferplatte C laufen, durch das Uhrwerk U getrieben, zwei sich rechtwinklig in c kreuzende, breite Morsestreifen und die Registrirung geht derart vor sich, dass die Batterie P alle 5^m einen Strom durch die Schraube K , durch h , b , i und die Platte C sendet, wodurch bei c ein die Streifen durchlöchernder Funken entsteht. Die Vergrößerung beträgt hier $\frac{c}{b} \frac{b}{a} = \frac{415}{6}$ mm = nahezu 70, und wir erhalten auf den Streifen die beiden Komponenten der horizontalen Erzitterungen in Gestalt von Punktreihen, welche übrigens zu jedem Stundenanfang besonders markirt sind.

Wir kommen nun zu der geistvollsten Art der Kompensation, welche in unserem Gebiete je erdacht worden ist, und welche die vorigen Methoden an praktischer Vollkommenheit wohl noch übertrifft, wie die zahlreichen Beweise in Tokio selbst, aber auch in Californien¹⁾ darthun. Es ist das Ewing'sche Doppelpendel vom Jahre 1882²⁾ (Fig. 9). Die Eigenschwingungen haben bekanntlich darin ihre Ursache, dass ein Pendel ein stabiler Körper ist. Verbindet man daher mit demselben ein System von labilem Gleichgewicht in bestimmtem Verhältniss derart, dass Astasie oder nur noch sehr geringe Stabilität auftritt, so müssen die Eigenbewegungen dieses nun gleichsam willenlos gemachten Pendels aufhören. Dies System von labilem Gleichgewicht ist nun ein umgekehrtes Pendel. Fig. 9 a und b stellen denselben Apparat in zwei zu einander rechtwinkligen Schnitten dar. Die Masse m_1 hängt an dem Trapez S und mit der Spitze E bei d auf dem Holzgerüst L als normales Pendel von der Länge l ; das umgekehrte Pendel mit der kleineren Masse m_2 stützt sich mit den Spitzen k auf die wiederum auf den Stiften l ruhende Platte h in b . Die Auflagerung der Spitzenpaare auf ihre Lager findet stets einmal als Schneide und einmal als konische Spitze in rundem Loche statt, durch welche Einrichtung den Lagerversetzungen vorgebeugt sein soll. Die ganze Art der Unterstützung von m_2 aber ist besser als eine

1) Am. Journ. 37, 1889, p. 392 ff. (Holden).

2) Trans. V, 1882, p. 89 ff; Annali VIII, 4, 1886, p. 22 ff. Nach demselben Prinzip ist auch der Schwingungszeichner von Fränkel konstruirt, welcher jedoch lediglich bautechnischen Zwecken zu dienen bestimmt ist. (Schweizerische Bauzeitung [herg. v. A. Waldner] Bd. XXVIII, 2, 1896, Zürich, 11. Juli. p. 10. ff.)

einfache Aufrichtung einer einzigen Spitze in einer konischen Vertiefung, weil nunmehr Rotationen von m_2 um die Vertikale weit mehr vermieden werden; dies labile Pendel habe die Länge l_2 . Beide Massen werden nun in der Weise mit einander reibungslos verbunden, dass eine feine mit halbkugelförmigem Ende versehene Stange t von der Mitte der Querstange f herab in ein genau passendes, cylindrisches Loch von m_2 bis a hineinreicht. Mit m_2 ist der Index i verbunden, welcher mit

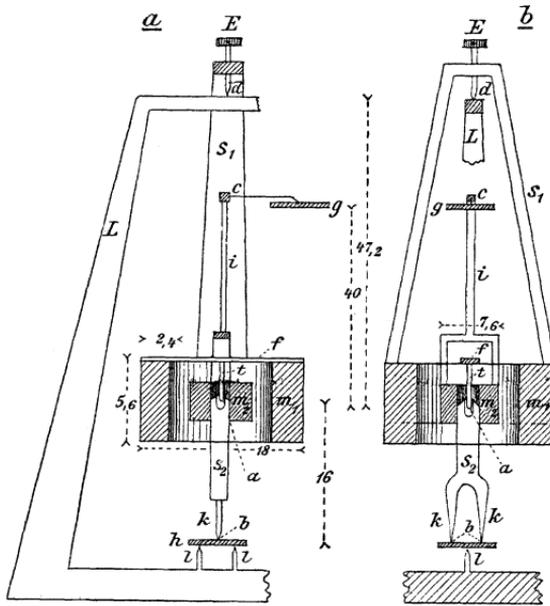


Fig. 9.

einer Stahlspitze auf der berusteten Glasplatte g die Bewegung von b gegen a in dem Verhältniss $\frac{ca}{ab}$ vergrößert aufschreibt. Liegt der Schwerpunkt von m_1 bei n über a , und derjenige von m_2 bei e unter a (in Fig. 9 nicht angegeben), so ist, wenn wir $m_1 \frac{dn}{na} = \mu_1$ und $m_2 \frac{eb}{ae} = \mu_2$, $ad = \lambda_1$, und $ba = \lambda_2$ nennen, völlige Astasie erreicht, sobald die Gleichung $\mu_1 \lambda_2 = \mu_2 \lambda_1$ erfüllt ist. In diesem Falle ist a völlig stationär, und es ist nicht zu leugnen, dass wenn die Reibung bei b und d aufgehoben werden könnte, hier ein relativ vollkommenes Instrument vorläge. Nur die Registrirmethode dürfte noch zu ver-

bessern sein, und es sei im Allgemeinen hier nochmals darauf verwiesen, dass Neigungsänderungen des Lothes dasselbe erzeugen würden, wie bedeutende Horizontalbeschleunigungen, was ja bereits als ein Charakteristikum aller unserer Horizontalinstrumente hervorgehoben wurde. Ewings (wohl nach Sekiya's¹⁾ Idee) an den Doppelpendel vorgenommene Veränderung²⁾ ist nicht wesentlich und dürfte nur wegen der geringeren Reibung als Verbesserung anzusehen sein (Fig. 10). m_1 hängt an drei Drähten s_1 , i ist nicht mehr mit m_2 verbunden, sondern m_2 sowohl wie i enden als Kugelgelenke und sind genau in ein cylindrisches Loch von m_1 eingepasst. a ist wieder stationär, wenn obige Gleichung besteht, und i schreibt auf g die Bewegung des den

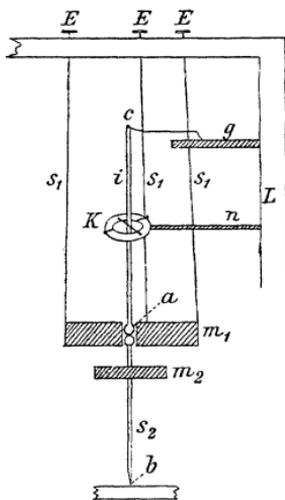


Fig. 10.

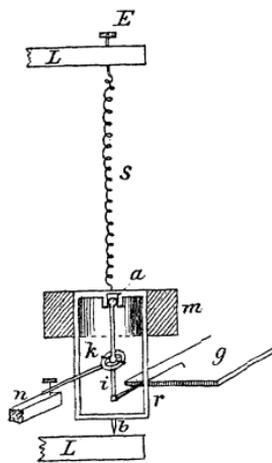


Fig. 11.

Index mit einem kardanischen Ringe K umfassenden Armes n gegen a vergrößert auf. Auch dieses Instrument hat bei starken Erdbeben gute Aufzeichnungen geliefert.

Noch bedeutend einfacher, aber nicht so zuverlässig ist die Ewing'sche Vereinigung der Massen m_1 und m_2 zu einer einzigen³⁾ (Fig. 11). Da die Kugelgelenke fortfallen, m aber sich stets um den Punkt b dreht, so muss die Aufhängung selbst nachgiebig gestaltet werden. Der Ring m ist an die Spirale s angehängt und stützt sich andererseits mittels des Rahmens r auf den Punkt b ; a bleibt dann

1) Trans. VIII, 1885, p. 83—85.

2) Trans. XII, 1887, p. 83.

3) Trans. VI, 1883, p. 19; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 44, § 42; Nat. 30 (1884), p. 149; Annali VIII, 4, 1886, p. 23.

ebenfalls stationär, wenn die Spannung der Feder das Gewicht von m in geeigneter Weise kompensirt, und i zeichnet auf g (in der Fig. perspektivisch gezeichnet) die Bewegung des Ringes k gegen a auf. Hier ist die Reibung allerdings sehr verringert, aber die Spirale bringt bei ihrer variablen Elasticität ein Unbestimmbares in den Apparat, abgesehen von der auch bei der vorigen Form vorhandenen Gefahr einer Rotation von m um die Vertikale in Folge der Aufstellung auf eine einzige Spitze.

Das Doppelpendel erfuhr von John Milne noch weitere Modifikationen, welche die Masse m_2 verkleinern und den Index wieder

mit ihr verbinden, aber nach unten zu verlängern. Hierdurch entstehen im Ganzen stabilere, also weniger kompensirte Systeme (Fig. 12), welche nichts destoweniger auch gute Resultate in Tokio geliefert haben; vor Allem ist die Vergrößerung ziemlich bedeutend. Fig. 12 a¹⁾ zeigt die Stütze s_2 , welche sich bei b in kardanischer Aufhängung befindet, nach unten zu als Index i (gefirnisster Bambusstab) verlängert, während sich bei a das alte Kugelgelenk vorfindet.

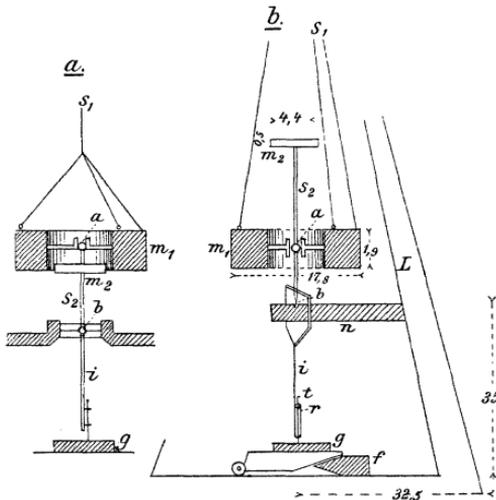


Fig. 12.

In Fig. 12 b²⁾ ist s_2 durch den Ring m_1 aufwärts durchgeführt und m_2 nach oben hin versetzt. Hierdurch ist fast das Gleiche erreicht wie in dem vorigen Modelle, denn während dort die Länge m_2b klein, ab aber gross waren, ist hier m_2b gross und ab verkleinert; m_2 ist aber hier leichter regulirbar. s_2 setzt sich unten, bei b als Spitze aufliegend, noch weit fort und trägt am Ende die Kapillare r mit der Feder t , welche auf die Tafel g die Verschiebung von b gegen a vergrößert aufzeichnet. g kann leicht ausgewechselt werden, wenn man den Keil f entfernt, wie aus der Figur wohl ohne Weiteres zu ersehen ist. Knott schlug im Oktober 1887 vor, die Aufhängung

1) Nat. 32, 1885, p. 259; Trans. XII, 1887, p. 22 ff.; Hörnes, 1893, p. 159.

2) Wie 1) aber Hörnes, 1893, p. 160.

bei b in Fig. 12*b* durch eine der in Fig. 13 skizzirten Arten¹⁾ zu ersetzen, von denen wohl nur die rechts stehende als besser anzuerkennen ist. Die Maasse der Hdzpyramide L und der übrigen Theile sind in Fig. 12*b* (wie immer in cm) angegeben, doch hat Milne auch noch einen kleinen in einem Glaskasten von den Seitenlängen 15, 15 und 18 cm eingeschlossenen Apparat

derselben Art konstruirt, welcher gut transportabel ist, aber natürlich kleinere und verzerrtere Bilder liefert. Sehr nahe mit der Form Fig. 12*b* ist auch Milne's „Mantle Piece“-Seismometer²⁾ verwandt (Fig. 14), welches aber nur zur Markirung von Maximalamplituden dienen soll, daher ist hier die Verlängerung i in Fig. 12*b* nach unten fortgelassen.

Wir erhalten in m_1 eine astatische Masse, sobald die Gleichung $\frac{m_1}{m_2} = \frac{ab^2}{s_1 s_2}$ erfüllt

ist. Die beiden zu einander senkrecht angebrachten Fortsätze p und p' ragen zwischen die Arme der mit dem Gerüste L verbundenen Scheeren AA' , deren Spitzen oben an der Skalen BB' die grösste Bewegung des Gerüsts gegen die Masse m_1 angeben. Solche Messungen haben indessen nur dann wirklichen Werth, wenn das Erdbeben in einem einzigen Sasse besteht.

Treten, was stets der Fall ist, komplizirtere Bewegungen ein, so geräth m dennoch in Schwingungen und die Angaben an der Skala werden durch Interferenz und Superposition verzerrt. Auch ist es in Folge des Fehlens einer Zeitangabe unmöglich, zu sagen, welchem der hauptsächlichsten Erdstösse die abgelesene Intensität zukommt.

Die Einführung des labilen Systems war eine unbewusste Neuerfindung des alten Forbes'schen umgekehrten Pendels in Comrie vom Jahre 1841³⁾, einem senkrechten, oben mit einem Gewicht belasteten, starken, elastischen Stabe, dessen oben befindliche Indexspitze in einer nach unten gerichteten halbkugeligen Höhlung die

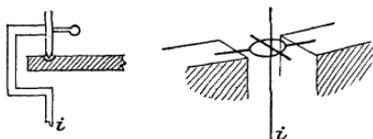


Fig. 13.

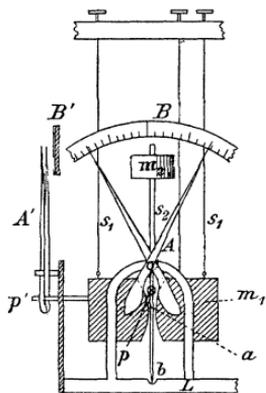


Fig. 14.

1) Trans. XII, 1887, p. 27.

2) Trans. XVI, 1891, p. 47 ff.

3) Trans. III, 1881, p. 13. (Milne); Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 45, § 43; Milne, Monogr. 1886, p. 26.

absolute Richtung und die relative Maximalamplitude aufschrieb. Gray¹⁾ benützte auf starken Klaviersaiten montirte, umgekehrte Pendel von verschiedener Länge, um die Periode T der Erdbewegung zu ermitteln; denn nach dem in der Einleitung Bemerkten koincidirt die bekannte Periode t desjenigen Pendels (abgesehen von einem geraden Vielfachen) mit T am meisten, welches durch seismische Erschütterungen in die grössten Schwingungen versetzt wird. Diese Methode ist auch mit gewöhnlichen leichten Pendeln angewendet worden²⁾, doch ist dieselbe unbrauchbar, weil T in kurzer Zeit sehr verschiedene Werthe anzunehmen pflegt.

An dieser Stelle wird es gut sein, sogleich einige Apparate mehr oder weniger einfacher Art, welche zur Ermittlung der Direktion dienen, zusammenzufassen.

Am nächsten liegt es, die Schwingungsrichtung einfacher Pendel mit derjenigen der verursachenden Bewegung als identisch anzusehen, und man hat schwingende Lampen etc. stets daraufhin beobachtet. Diese gerathen natürlich weit leichter in die sonst so eifrig vermiedenen Eigenschwingungen als besonders konstruirte Pendel, weil sehr grosse Reibungskräfte an der Aufhängung eintreten. Handelte es sich um einen vereinzelt Stoss allein, so ist eine solche Beobachtung völlig zuverlässig. Praktisch aber besteht jedes Erdbeben aus einer Folge von variablen Bewegungen, welche ihre Richtung durchaus verändern, und Gray's Versuche darüber mit an Spiralen hängenden Gewichten bestätigen dasselbe. Seine Pendel nahmen alsbald andere Richtungen ein, und je nach der Grösse der vorhandenen Reibung geschah dies früher oder später, so dass man in kurzer Zeit über eine grosse Auswahl von Richtungen zu verfügen hatte. Lampen etc. werden schwer in eine neue Richtung übergehen und ihre Schwingungsrichtung wird daher meist mit der des ersten, wirksamen Stosses koincidiren; mehr aber aussagen zu wollen, würde ohne alle Berechtigung sein. Deswegen ist auch die Behauptung von John Perry und W. E. Ayrton³⁾, dass eine an einer Spirale hängende Lampe etc. bei einem Erdbeben mit den blossen Augen beobachtet, eine gute Uebersicht über dessen wesentlichste Bewegungen eröffne, wohl etwas zu weit gehend. Jedenfalls bedürfte es hierzu einer derartigen Uebung, wie sie nur wenige Experimentalphysiker

1) Trans. III, 1881, p. 29 ff.

2) Phil. Mag. Bd. 19, 1860, 1, p. 102; Trans. III, 1881, p. 39 ff.

3) Phil. Mag. 5. Ser. Vol. 8, 1879, 2, p. 30.

besitzen werden. Wegen der Veränderlichkeit von Periode und Richtung, und wegen des Umstandes, dass niemals ein Stoss ohne alle Vor- und Nachbewegung auftritt, ist auch das Pendel von O. Lang¹⁾ vom Jahre 1879 nur in den seltensten Fällen von Nutzen (Fig. 15). An einem 33 cm langen Faden hängt die kleine Masse m senkrecht über dem Mittelpunkte dreier konzentrischer Ringe abc . Dieselben sind von innen nach ausser mit 8, 12 und 24 Holzwürfeln von solchen Dimensionen besetzt, dass die Spitze von m bei einer Schwingung sämtliche Klötzchen erreichen kann (Fig. 15 *b* bezeichnet die Mittelpunkte der Klötzchen mit Punkten). Das schwingende Pendel wirft die mit der Himmelsgegend bezeichneten Würfel je nach Amplitude und Richtung in den zur getrennten Aufnahme in zwei Abthei-

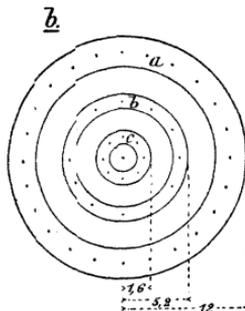
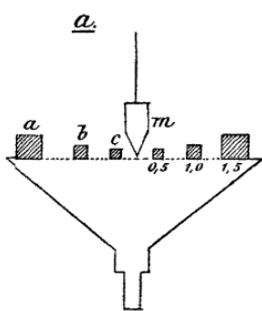


Fig. 15.

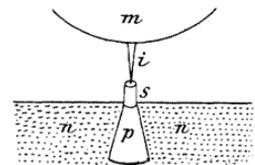


Fig. 16.

lungen getheilten Trichter unter den Ringen. Dass letztere in kardanischen Suspensionen liegen, bezeichnet Mack mit Recht als eine kaum nothwendige Vorsicht.

Wir wenden uns nunmehr zu den italienischen Instrumenten, welche in ihrer Entwicklung einen durchaus anderen, ebenfalls bedeutenden Weg genommen haben; dabei wird es zulässig sein, an geeigneten Punkten auch ähnliche, nicht in Italien entstandene Systeme zu erwähnen. Das älteste vertikale Pendel ist das 1858 im Institut zu Monza von P. G. M. Cavalleri²⁾ aufgestellte, welches aus einer 3 kg schweren an einem 1,25 m langen, 1 mm starken Draht aufgehängten Kugel m (Fig. 16) bestand. Dieselbe hatte am unteren Ende eine 9 cm lange Spitze i , welche gerade in den auf dem Postament p ruhenden Cylinder s hineinreichte. Bei einer Bewegung von p nach rechts musste s durch i in das aus Asche und Ziegel-

1) Deutsche geol. Ges. 1879, 3d. 31, p. 775; Ber. 26. Vers. d. oberrhein. geol. Ver. 1893 (Mack), p. 40 ff.

2) Phil. Mag. 19, 1860, 1, p. 102; Trans. III, 1881, Milne, p. 14.

mehl bereitete Lager n um so weiter geschleudert werden, je stärker der Stoss war, auch musste die Richtung von p nach s nach dem Orte des Ursprungs hinweisen. Das Pendel wurde später durch Verbindung mit einer anzuhaltenden Uhr als Seismoskop verwendet. Neben diesem auf richtiger Basis fundirten Instrumente hatte Cavalleri nach Mallets Bericht auch schon Pendel von verschiedener Länge zur Ermittlung der Erschütterungsperiode angewendet, wie wir bereits oben p. 368 angaben. Auch die Instrumente zur Bestimmung der Schwingungsrichtung können wir hier um wesentlich andere Systeme bereichern. Die primitivste Art ist wohl der schwingende Stab in M. J. Galli's Universalseismographen¹⁾, ein senkrechter, unten gestützter, starker Metalldraht, dessen Spitze oben auf einer Tafel die elastischen Schwingungen aufschreibt. Hier gilt natürlich das früher

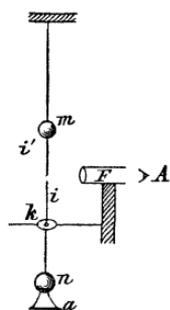


Fig. 17.

über den zweifelhaften Werth solcher auf unbewegter Fläche erfolgender Aufzeichnungen in vollstem Maasse. Daher braucht auch über Salsano's²⁾ 18 kg schweres Pendel vom Jahre 1858 in Neapel, welches mit Farbe auf einer Windrose aufschrieb, und endlich über Forel's³⁾ noch einfacheres, mit frei auf dem Papier aufruhendem Bleistift versehenes Pendel weiter nichts zur Kritik gesagt zu werden. Alle diese Vorrichtungen gelten für thatsächlich nie vorhandene einfache, kurze Zeit andauernde Stösse von konstanter Richtung.

Wofern man keine bewegten Registrirflächen anwendet, sind daher die einfachen Beobachtungen mit dem bewaffneten Auge entschieden besser, welche natürlich wieder den Mangel grosser Unvollständigkeit besitzen. A. de Andreis wendet in seinem Tromo-Declinometer⁴⁾ ein eigenartiges Verfahren an (Fig. 17), indem er das bei k kardanisch aufgehängte Pendel n mit einem Magneten a versieht, und n dadurch zwingt, bei Schwingungen in dem magnetischen Meridian zu verharren, das durch das Mikroskop F blickende Auge A kann daher den wechselnden Richtungsunterschied der schwingenden Spitzen i und i' , welche letztere dem gewöhnlichen Pendel m angehört, leicht verfolgen.

Hiermit sind wir bereits zu dem normalen Tromometer von

1) Progr. Oss. Geod. 1883, de Rossi, p. 106 ff.

2) Hörnes, 1893, p. 156.

3) A. Forster, Das Berner Beben, 1881, p. 11.

4) Progr. Oss. Geod. 1883, de Rossi, p. 98 ff.

Bertelli¹⁾ gelangt, einem seit 1870 viel gebrauchten Instrumente zur Wahrnehmung kleinster Erschütterungen und deren Richtung (Fig. 18). m ist ein Gewicht von 100 g, welches an dem 1,50 m langen Kupferdraht in einem Tubus bei a aufgehängt ist. Die Platinspitze i geräth nun bei seismischen Stürmen in Unruhe und man ist im Stande, durch das Fernrohr F die Amplitude gegen die feste Spitze i' zu beobachten. Oft ist i' auch fortgelassen und statt der bei A sonst vorhandenen mm-Theilung ein Faden-Mikrometer angebracht. Der das Fernrohr F und die Lampe L tragende Theil ist drehbar, und an dem Zeiger Z kann man daher auch die Richtung der Maximalschwingung vor Zeit zu Zeit gegen den Meridian feststellen. — Das Tromometer hat auch kleine Modifikationen erfahren. Statt der Spitze

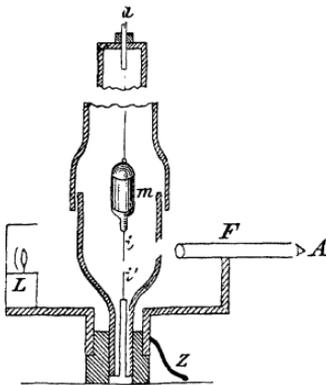


Fig. 18.

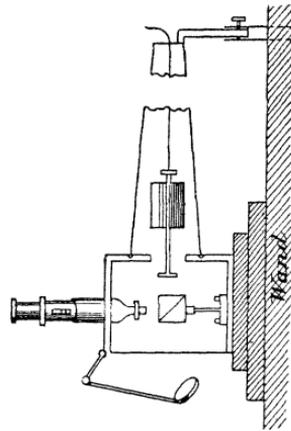


Fig. 19.

i befestigte man eine horizontale, mit einem rechtwinklichen Kreuz versehene Glasplatte unten an m und liess das Bild des Kreuzes durch ein Prisma in das mit einem Mikrometer versehene Fernrohr reflektiren²⁾ (Fig. 19). Auch hat man m 3 kg schwer gemacht und an einem 1 mm starken, 3 m langen Kupferdraht aufgehängt. Hier, wie bei allen mikroseismischen Instrumenten kommt sehr viel auf die Art der Aufstellung an. Ist der Apparat, wie in Florenz oder in Manila (Faura), an der Wand eines Gebäudes hoch über dem Erdboden aufgehängt, so ist es klar, dass der Verkehr das Pendel nie zur Ruhe kommen lassen wird; andererseits werden in diesem Falle aber vorkommende „Tremor-Stürme“ durch die Schwankungen der Wand stark vergrössert, aber auch einseitig verzerrt, weil eine Wand den

1) Progr. Oss. Geod. 1883, de Rossi, p. 92 ff.

2) Nat. 29, 1884, p. 437; Rep. 1893, p. 288 (Davison).

Schwingungen, die zu ihrer eigenen Richtung senkrecht sind, natürlich viel besser, als den ihr parallelen Bewegungen folgen und sie mitmachen kann. Dieser Mangel, von einer isolirten Fundirung absehen zu müssen, haftet allen italienischen, vor allem den langen Pendeln in hohem Maasse an.

Um kleine Bewegungen zu vergrössern, finden wir die verschiedensten Methoden angewendet. Am engsten an das Tromometer schliesst sich wohl das de Rossi'sche Tremitoskop¹⁾ an, welches wir später als Universalinstrument in allen seinen Theilen kennen zu lernen haben. Hier ist (Fig. 20) das in einem gläsernen Schutzkasten eingeschlossene, 25 cm lange, mit 100 g beschwerte Pendel m zu er-

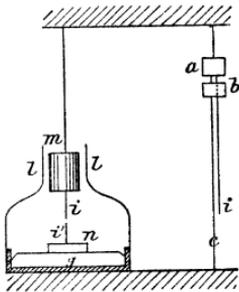


Fig. 20.

wähnen, dessen Spitze i über dem auf dem Quecksilber g schwimmenden Knochenschiffchen n und dessen Maste i' hängt. Hier haben wir nun zwei empfindliche Körper, deren Bewegungen sich unter Umständen häufen können, es kann aber auch der Fall eintreten, dass i und i' die gleichen Oscillationen ausführen, und die Tremors nicht zur Erscheinung kommen; beide Spitzen werden durch ein Mikroskop beobachtet. Um nun den Beobachter zu avertiren, sind vier Drähte $ll..$ an der Peripherie von m vertheilt und ebenso wie m mit einer Batterie und Glocke verbunden. Bei einer Berührung entsteht sodann Alarm. Die Schwingungen eines zum Apparat gehörigen, wie bei Galli funktionirenden elastischen Stabes c vergrössert Rossi in der Weise, dass er die Spitze an der Masse b , welche mit c verbunden ist, in eine kleine Grube unten an der Masse a des 6 cm langen oberen Pendels eintreten lässt. Durch Bewegungen von b wird daher a mitbetroffen und der frei durch b hindurchgeführte, mit a verbundene Index i wird im Verhältniss zu c sehr grosse Schwingungen ausführen, welche nun leicht zu beobachten sind. Dass diese Einrichtungen mehr seismoskopischer als seismographischer Natur sind, leuchtet ein; da aber sowohl Amplituden wie Richtungen wenigstens andeutungsweise gemessen werden, müssen wir den Apparat unserer Definition gemäss hier mit den Seismometern betrachten.

Sehr scharfsinnig ist de Rossi's Protoseismograph²⁾ (Fig. 21), welcher die Aufgabe hat, die Richtung eines ersten Stosses innerhalb

1) Progr. Oss. Geod. 1883, de Rossi, p. 142 ff.

2) Progr. Oss. Geod. 1883, de Rossi, p. 101 ff.; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 73, § 71.

90° genau anzugeben. Das an s hängende, schwere Sekundenpendel m ist nach vier Seiten mit den Säulen B durch die Seidenfäden a verbunden, an welchen in der Mitte kleine Stahlnadeln i über Quecksilbernapfen n hängen. Die Fäden a sind so lang, dass sie den stumpfen Winkel $\Theta = 155^\circ$ bilden. Bei einer Bewegung von m gegen B senkt sich i in den Napf n und schliesst dadurch einen durch B , die Spirale r und i gehenden Strom, welcher eine Glocke weckt und einen besonderen Elektromagneten zur Markirung der betreffenden Direktion erregt. Die fraglos bedeutende Vergrößerung der Horizontalbewegung der Masse m oder der Säulen B geschieht nach dem Gesetze, dass die Senkung von $i = \frac{1}{2} \tan \frac{\Theta}{2}$ ist.

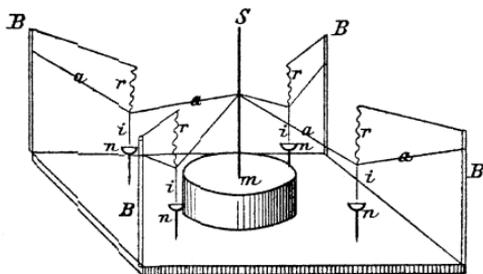


Fig. 21.

Noch empfindlicher ist der seit 1876 aufgestellte Mikro-seismograph von de Rossi¹⁾, bei welchem statt der vier Säulen B ungleich lange Pendel von etwa 1 m Länge angebracht sind. Wenn nämlich bei dem Protoseismographen die Bewegung noch nicht hinreichend gewesen war, einen Stromschluss zu bewerkstelligen, so können sich hier durch Interferenz der Schwingungen die Pendelwirkungen summieren und stärkere Senkungen der Nadeln i erzeugen. Allerdings leidet die Zeitbestimmung dabei völlig, denn die eintretende Verspätung hängt ganz von der Grösse des Stosses ab, welche nie bekannt ist.

Nachdem wir die hauptsächlichsten Arten der Vergrößerung von kleinsten Bewegungen besprochen haben, wenden wir uns nun weiter zu anderen italienischen Konstruktionen, auch hier im Allgemeinen den Gruppen und dem historischen Gange folgend.

Der bereits erwähnte Universalseismograph von Galli besitzt noch zwei eigenartige Pendel (Fig. 22). Auf der Spitze a der messingenen Säule n ruht mit einer Achatschale die durchbrochene, unten beschwerte Glocke m , welche ein frei bewegliches, kurzes Pendel repräsentirt. Dasselbe ist nach oben durch einen langen Stab verlängert, dessen Spitze i in der Glasglocke S durch ein mikrometrisches Mikroskop A beobachtet wird. Bei einem zweiten Pendel derselben

1) Progr. Oss. Geod. 1883, de Rossi, p. 103 ff.; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 73, § 71.

Form liegt i leicht an einer berussten Glasplatte und schreibt seine Bewegung auf. Alle Mängel der unkompensirten Pendel zumal mit „static records“ finden wir hier natürlich wieder vor.

Auf demselben Prinzip beruht der „registrirende Seismograph“ von A. Scateni¹⁾, welcher ein Gleiches leisten soll wie Rossi's Protoseismograph, wohl aber nicht denselben Grad von Empfindlichkeit besitzt (Fig. 23). Die auf der Säule a ruhende, 10—12 cm hohe und 3 cm weite Glasglocke b besitzt bei c einen Platinrand, welcher bei Unruhe gegen einen der vier senkrecht zu a stehenden Platindrähte d anstösst. Hierdurch wird in einer der vier getrennten Leitungen ein Strom erregt, welcher einen der Zeiger z (Fig. 23a) an dem Uhrzifferblatt niederdrückt, um in ganz eigenartiger Weise die-

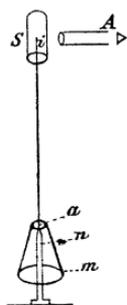


Fig. 22.

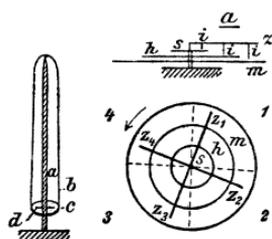


Fig. 23.

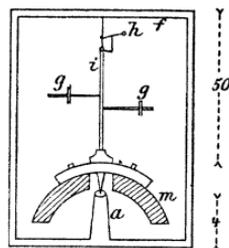


Fig. 24.

jenige Zeit, zu welcher ein bestimmt gerichteter Stoss eintrat, festzulegen. Auf einer und derselben Achse ruhen drei durch eine Uhr getriebene Scheiben für die Stunden h , die Minuten m und Sekunden s . Jede Scheibe ist in vier „Kardinalzonen“ (durch das punktirte Kreuz bezeichnet), entsprechend den vier Zeigern eingetheilt und die Zählungen beginnen mit jeder Zone von neuem. Da jeder der Zeiger drei Indizes iii besitzt, müssen sie bei jenem Niedergehen auf jeder Scheibe innerhalb ihrer Zone eine Marke hinterlassen, und es ist leicht, damit die Zeit, und innerhalb 90° auch die Stossrichtung abzulesen.

Bei dieser Gelegenheit ist es praktisch, das Pfaff'sche Seismometer²⁾ zu besprechen, da es sich prinzipiell durchaus an die betrachteten Apparate anschliesst (Fig. 24). Das Instrument ist fast identisch mit dem in Fig. 22 dargestellten, nur dass m etwas schwerer ist (2 kg) und die Spitze von i durch das Hebelwerk h stets an

1) Progr. Oss. Geod. 1883, de Rossi, p. 137 ff.

2) Ber. 26. Vers. d. oberrhein. geol. Ver. 1893 (Mack), p. 40 ff.

die berusste Ebene f gedrückt wird. Die Korundpfanne am oberen Ende der Säule a , ist mit Oel gefüllt, um eine allseitige Reibungslosigkeit zu erzielen, gg endlich sind Balancirgewichte. Das Instrument ist in Hohenheim bei Stuttgart montirt und ist für nicht zu schwache Stösse gut brauchbar.

Wir kommen jetzt an die Reihe der grossen schweren Pendel, welche für Italiens Instrumente ausserordentlich charakteristisch sind. Dieselben besitzen sämmtlich eine gegen die Erdvibrationen lange Periode und verhalten sich für den ersten Anfang als stationäre Masse, sind aber selten kompensirt, wie die japanischen Apparate, was natürlich den baldigen Eintritt von Eigenschwingungen erzeugt. Ein zweiter Uebelstand ist die nothwendiger Weise ungenügende Fundirung. Die schweren Massen in absolut starrer Verbindung mit dem Erdboden aufzuhängen, ist technisch und pekuniär meist kaum ausführbar, vielmehr sind die Pendel oft an den Wänden solider Gebäude montirt, deren Fundamente bekanntlich selten tief hinabreichen. Dadurch wird der Strassenverkehr ein derart störender Faktor, dass die Apparate eigentlich nie in völliger Ruhe sind, andererseits werden natürlich auch Erdbebenstörungen besonders dann, wenn (z. B. in Padua) die Instrumente im zweiten oder dritten Stock aufgehängt sind, bedeutend vergrössert und je nach der Stossrichtung verschiedengradig verzerrt. Die beste Fundirung ist immer eine solche, bei welcher Lokalstörungen eliminirt, seismische Bewegungen aber ungeschwächt und unverzerrt dem Apparate mitgetheilt werden, also ein tief in den Boden versenkter, kurzer, starrer Sockel. Eine solche Einrichtung verbietet sich aber bei den Riesenpendeln von selbst. Wir kommen auf diesen Gegenstand noch bei den Horizontalpendeln zu sprechen.

Auf Anregung der geodynamischen Kommission konstruirte der Mechaniker am Ufficio centrale meteorologico e geodinamico italiano, E. Brassart, nach eifrigem Studium der japanischen Instrumente seinen „Seismometrograph“¹⁾ im Jahre 1886 (Fig. 25). (Vergl. auch p. 434 ff.) Auf dem 1,20 m hohen Holzgestell L ruht mittels der drei Korkcylinder k die Holzscheibe n mit der durch b regulirbaren Hauptschraube A , an welcher mit dem ungedrehten Seidenfaden s der 10 kg schwere Ring m angehängt ist. Derselbe trägt in seinem Schwerpunkte eine Spitze f , welche in die Kreuzung der beiden mit den Indices ii' verbundenen rechtwinklichen Gabeln $d d'$ reibungsfrei hineinreicht. Die parallelen Schreibstifte ii' sind um die vertikalen, fest mit der Erde

1) Annali VIII, 1886, Nr. 4, p. 33 ff.

verbundenen Achsen gg' drehbar. Bewegt sich nun bei einer Erschütterung g und g' in der Richtung parallel zu ii' , so durchläuft die Spitze von f die Gabel d , ohne i zu bewegen, nimmt dagegen die Gabel d' derart mit sich, dass i' , um g' sich drehend, auf der mit berusstem Papier bezogenen Registrirwalze W die eine Komponente der Horizontalbewegung oder Neigungsänderung aufzeichnet. Ebenso bei der anderen Komponente, welche die Gabel d bewegt, und d' in Ruhe lässt.

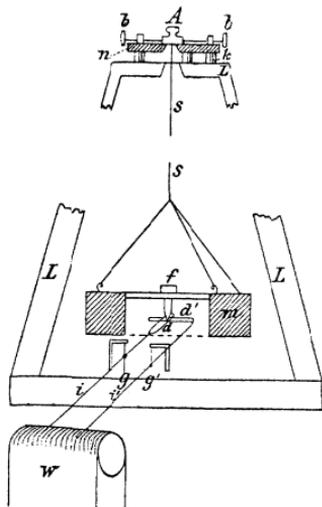


Fig. 25.

Statt der 24 Stunden lang laufenden Walze W wird auch ein durch ein Gewicht getriebener, durch einen Windregulator gedämpfter und durch ein Seismoskop mit Uhr in Bewegung gesetzter Wagen von 8×40 cm Dimension angewendet, welcher die 40 cm lange Registrirfläche in 5 m ablaufen lässt. Mit dem Apparat ist auch ein Federseismograph für Vertikalbewegungen verbunden, den wir später besprechen werden. — Brassart hat im Anschluss an dieses Instrument sodann ein solches mit einer einzigen stationären Masse konstruirt, welches alle drei Komponenten zu registriren im Stande ist, welches wir daher aber bei den Universalinstrumenten betrachten werden.

Von Astasirungsversuchen können wir hier nur die Verbindung

eines normalen mit einem umgekehrten Pendel von G. Grablovitz 1887¹⁾ (Fig. 26 a) anführen, wo die Ruhe der Masse m sowohl durch das labile Pendel p wie auch durch die als Fusspunkt dienende, stationäre Platte a des stabilen Pendels q resultirt. m wird hier durch die Reibung an

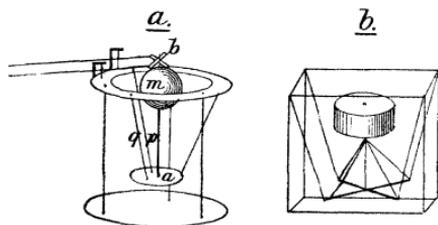


Fig. 26.

den Brassart'schen Gabeln b aufrechterhalten, was offenbar zu Störungen führen muss, und es ist daher die stabilere Form von Ames (Rose Polytechn. Inst.)²⁾ (Fig. 26 b) vorzuziehen. Diese Systeme sind jedoch noch unerprobt.

¹⁾ Annali VIII, 4, 1886, p. 261 ff.

²⁾ Am. Journ., 3. Ser., Bd. 35, 1888, p. 97.

Ein ziemlich kompliziertes Pendelseismometer mit relativ reibungsarmen Indikator erfand im Jahre 1889 G. Agamennone¹⁾ (Fig. 27). Der aus Blei und Antimon gegossene, 3,5 kg schwere Cylinder m hängt an dem 1,50 m langen Faden b , welcher oben an einem regulirbaren Eisenarm befestigt ist. Auf der Masse hängt, den Faden b bei r mit einem Scharnirdreieck umfassend, die aus leichten Röhren zusammengesetzte und durch die Gewichte g äquilibrirte Pyramide a von 40 g, deren Schwerpunkt dicht unter s liegt. (Die Spitze s ragt von der die Querstäbe der Pyramide verbindenden Scheibe y nach unten.) An dieser Stelle ruht die Pyramide auf der Achatpfanne des durch die Schraube W vor- und rückwärts beweglichen und um die vertikale Achse x drehbaren Schiebers t . Es ist klar, dass r bei einem Erdbeben nahezu stationär, s dagegen bewegt ist; dadurch wird der in der untersten dreieckigen Scheibe frei spielende Index i in vergrößerte Bewegungen gesetzt, welche sich auf der Scheibe c aufzeichnen. Die Nadel i , welche frei auf c ruht, besteht entweder aus Stahl mit 0,175 g, oder aus Aluminium mit 0,040 g oder aus Glas mit 0,020 g Gewicht. Um nun die Erdbebenaufzeichnungen wenigstens stellenweise mehr auseinanderzuziehen, wird die Scheibe c von Zeit zu Zeit in rasche Rotation versetzt. Unter der Scheibe d , auf welcher c ruht, ragen acht spiralig angeordnete, senkrechte Zäpfchen e hervor (in Fig. 27 ist c und d als durchsichtig vorausgesetzt), und eine zusammengerollte Spiralfeder strebt d und c in der Pfeilrichtung zu drehen. Diese Drehung wird jedoch dadurch verhindert, dass das aufgebogene Ende des durch das Werk u in der Pfeilrichtung bewegten, und durch h regulirten

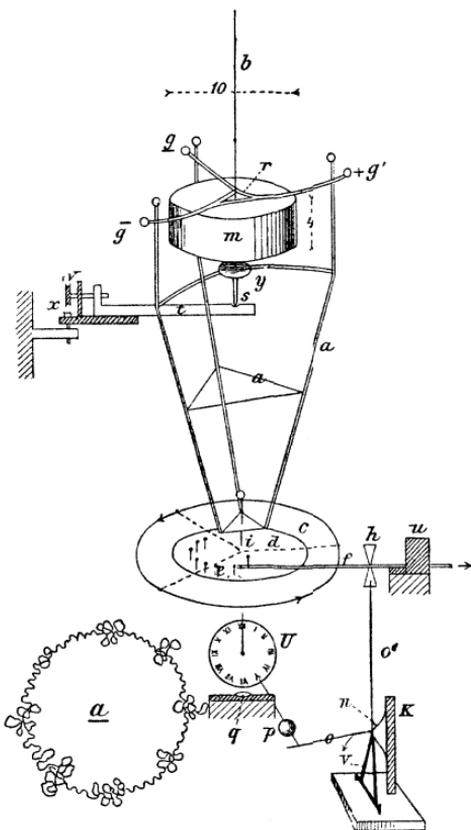


Fig. 27.

¹⁾ Annali XI, 3, 1889, p. 351 ff.

Schiebers f an den innersten Zapfen anstösst. Sobald in Folge der Bewegung von f der innerste Zapfen frei wird, dreht die Spirale unter d die Scheibe rasch so weit herum, bis der nächste, weiter aussen stehende Zapfen an das Ende von f anstösst. Nach einiger Zeit wird wegen der Translation von f auch dieser Zapfen frei und das Spiel beginnt von neuem. Wir erhalten dadurch also eine Reihe von „static records“, unterbrochen von aufgelösten Registrirungen wie Fig. 27 *a* zeigt. Der ganze Mechanismus aber wird erst bei einem Stosse in Bewegung versetzt, wozu das modifizierte Brassart'sche Stabseismoskop dient, welches wir später genauer besprechen werden. Das um eine horizontale Achse drehbare und mittels der Feder n sanft an dem Ständer K angelehnte Dreieck v fällt bei einem Stosse in der Pfeilrichtung um, und die mit v verbundenen Zeiger $o'o$ machen den Flügel h und das arretirte Pendel p der auf 12^h gestellten Uhr U frei. Für den Fall, dass v nicht funktioniren sollte, ist in geistreicher Weise ein Zeiger von v (in der Fig. nicht gezeichnet) nahe an den Index i geführt, dessen Bewegung sodann v sicher zu Falle bringen muss. Der verlängerte Sekundenzeiger der Uhr taucht nach 30^s in einen bei q befindlichen Quecksilbernapf ein und erregt dadurch und alle folgenden Minuten eine Alarmglocke. Zu bemerken ist endlich noch, dass eine schädliche Drehung der Pyramide a dadurch vermieden ist, dass die Ecken gg negativ, g' positiv magnetisirt sind und der Eisenarm t zwischen den negativen Polen liegt.

Ueber das Pendel allein gilt alles, was über die unkompensirten Apparate überhaupt gilt, und bezüglich der unterbrochenen Rekorde darf wohl gesagt werden, dass hierin viel Willkürlichkeit steckt und gerade die interessantesten Phasen sehr wohl in die Periode der Ruhe von c fallen können, ein Mangel, der bei der Komplizirtheit der Konstruktion besonders schwer wiegt. Dies sah Agamennone wohl ein und in der verbesserten Form des Apparates (Fig. 28) ist der gewöhnliche static record wieder angewendet. Eine Drehung der Masse m ist durch die Einschaltung von drei Fäden s erschwert, vor allem aber ist die Pyramide a (Fig. 27), welche die Grösse des Ringes beschränkte, hier vermieden, und ein einfacher bei b (Fig. 28) kardanisch befestigter, und bei a im Schwerpunkt von m anliegender Index von 20 g eingeführt, der aus abwärts sich verjüngenden Messingröhren besteht. Die Masse m ist auf 10 kg erhöht und die Verbindung des Index i mit m ist von besonderer Art (Fig. 28 *b*). In dem den Ring durchquerenden Balken befindet sich ein dreieckiges Loch a , dessen eine Seite der durch die Feder c angedrückte Hebel d

bildet; hierdurch ist eine Verschiebung der oberen Spitze von i in dem Loche a , wie es in Fig. 27 bei r möglich war, ausgeschlossen. i ist durch die Gewichte W derart ausgeglichen, dass der Indexschwerpunkt nahe unter b liegt. Die Aehnlichkeit dieses Instrumentes mit dem Gray'schen Pendel Fig. 7 oder der Milne'schen Modifikation des Doppelpendels Fig. 12 a ist auffallend, und auch die Leistungen ähneln jenen im Allgemeinen, nur dass hier die Eigenschwingungen wieder stärker auftreten. Die Vergrößerung ist sechsfach, und die durch den Index erzeugte Reibung ist sehr gering, wie man aus der Thatsache ersieht, dass das Pendel nach einer ertheilten Ablenkung von 2—3 mm noch 20 Oscillationen ausführt ¹⁾.

In der Mitte des Jahres 1895 endlich konstruirte der unermüdliche Forscher einen bedeutend vergrößerten, höchst empfindlichen Seismometrographen ²⁾, welcher seit der Zeit in dem Thurm des Collegio Romano aufgehängt ist, und den später zu beschreibenden Pendeln von Cancani und sogar Vicentini ebenbürtig genannt werden kann. Die aus sechs Bleischeiben zusammengesetzte Masse von 200 kg hängt an einem 16 m langen, 7—8 mm starken Eisendraht, welcher in den obersten 50—60 cm, um die Beweglichkeit des Systems zu vergrößern, durch einen 2—3 mm dicken Stahldraht ersetzt wird. Auch der direkt über der cylinderförmigen Masse befindliche Theil des Drahtes ist, um durch die senkrechte Gabelkreuzung (wie bei Brassart) der Registrirhebel hindurchgeführt zu werden, nur 3 mm stark und gut polirt. Die 35 cm langen, aus sehr leichten Messingröhren pyramidenförmig gestalteten Schreibhebel (die obere, dreieckige Pyramidenseite liegt horizontal, die beiden anderen konvergiren abwärts nach der Drehachse der Hebel hin) sind mit ihren senkrechten Achsen auf einem in die Mauer getriebenen, festen Träger leicht drehbar und vergrößern die Horizontalverschiebungen gegen den stationären untersten Theil des Aufhängedrahtes 12 mal. Beide Hebel zeichnen mit verschieden gefärbten Tinten auf dem Registrir-

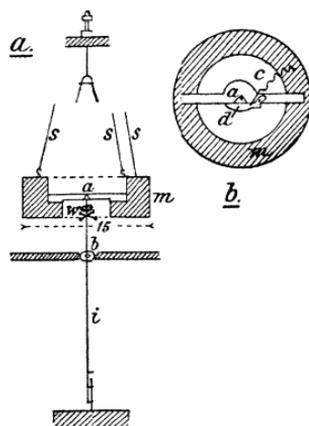


Fig. 28.

¹⁾ Rend. Linc. V. Ser. I, 2. Sem. 1892.

²⁾ Boll. Soc. Sism. 1895, 10. p. 160—168; Davison, Hauptinstrumente Italiens 1896; Nat. Bd. 50, 1894, p. 362.

papier auf, welches auf eine Walze von 8—9 cm Durchmesser gespannt ist, aber unter den Schreibstiften mittels leicht drehbarer Wellen über einen horizontalen Rahmen geführt wird. Die Hebel können sich übereinander kreuzen, ohne sich dabei zu berühren. Unterhalb der Masse ist ein fester Behälter aufgestellt, welcher für den Fall, dass der Aufhängedraht reissen sollte, den Stoss abzuschwächen bestimmt ist. Uebermässige Schwingungen werden durch Korrektionschrauben, welche den Hauptdraht umgeben, geeignet begrenzt. Agamennone hat mit diesem Apparat nun seinen verbesserten Registrator für zwei Geschwindigkeiten¹⁾ (den wir auf p. 464 f beschreiben) verbunden. Gewöhnlich rotirt die erwähnte Walze in einer Stunde einmal; bei einem Stosse aber rotirt sie dreimal mit einer Geschwindigkeit von 5 mm pro Sekunde; diese 3^m währende, 60fache Beschleunigung entsteht in folgender Weise durch elektrischen Kontakt: die Schreibhebel sind nach rückwärts (15 mal vergrössernd) in gleicher Weise gestaltet und enden in feinen Platinspitzen. Dicht bei ihrer normalen Ruhelage ragen zwei andere, um eine horizontale Achse drehbare Platinstäbchen empor. Bei einer gegenseitigen Berührung nun entsteht ein Strom, welcher einerseits in später zu erörternder Weise die Geschwindigkeit der Walze erhöht, andererseits auch die Stäbchen für jene 3^m dem Schwingungsbereich der Hebel entrückt. Zugleich wird eine auf 12^h stehende Uhr bewegt und der Beobachter alarmirt. Diese Methode ist äusserst empfindlich, und sie stellt zugleich das denkbar feinste Seismoskop dar. Zu erwähnen ist auch, dass ein Marinechronometer alle halbe Stunden ein Zeichen auf den Streifen macht und dass ein Windmesser ebenfalls seine Registrirungsdasselbst hinterlässt. Agamennone will auch noch einen Apparat für Vertikalbewegungen hinzufügen.

Da aber für den Fall, dass der Seismometrograph als Tromometer gebraucht werden sollte, die mechanische Registrirung immerhin noch zu viel Reibung mit sich führt, so konstruirte Agamennone in weiterer Umbildung des Bertelli'schen und Tacchini'schen Tromometers ein solches mit photographischer Registrirung. Zuerst benützte er das Modell der Fig. 27, jedoch in der Abänderung, dass die Pyramide *a* bei *s* abschnitt und mit zwei senkrecht zu einander stehenden Spiegeln versehen war²⁾. Das Gestell wog mit den Spiegeln 50 g, und die Entfernung *r*—*s* betrug 6,5 cm; durch Gewichte an den Ecken *g* war der Schwerpunkt des Gestelles in den

1) Rend. Linc. 5. Ser. I, 2; Heft 7, 1892.

2) Rend. Linc. 4. Ser. VI, 1. Sem., 1890, p. 432.

Punkt *s* versetzt. Die weitere Registrirung geschah durch eine Lampe mit Spalt, eine Linse von 30 cm Brennweite, Cylinderlinse und Walze.

Im Jahre 1893 montirte Agamennone auch die verbesserte Form Fig. 28 mit 10 kg Masse photographisch¹⁾ und erreichte dadurch eine sehr grosse Empfindlichkeit. Die Masse, ein Bleicylinder von 15 cm Durchmesser, hängt an drei Messingdrähten, welche sich erst 15 cm unter dem Aufhängepunkt vereinigen, während die Gesamtlänge 1,50 m beträgt. Zum Schutz gegen das Herunterfallen und zur Regulirung der Schwingungen befinden sich dicht unter und neben der Masse starke Eisen mit Schrauben. Der Indikator, ein 5 cm langes, 2 mm dickes Messingröhrchen von 0,25 mm Wandstärke ist an einem regulirbaren Träger an der Wand in feinsten Weise kardanisch aufgehängt. Die obere Spitze greift in ein, mit einer federnden Seite versehenes, dreieckiges Loch an der Unterfläche der Masse ein, während das untere Ende ein Aequilibriergewicht trägt. Ober- und unterhalb des kardanischen Ringes sind zwei Planspiegel (der obere 2 cm hoch, 5 cm breit, der untere 2,5 cm hoch und 4 cm breit) regulirbar angebracht und durch Gegengewichte balancirt. Ihre Ebenen bilden miteinander einen rechten Winkel, und die Registrirung geschieht mit Hilfe eines daneben angebrachten rechtwinkligen Prisma folgendermassen: Das aus dem horizontalen Spalt von einer Lampe entsendete Lichtbündel fällt auf eine horizontal liegende Cylinderlinse dicht vor den Spiegeln, wird von denselben, bezw. noch zweimal von dem Prisma reflektirt, tritt wiederum durch die Linse und wird in deren Brennpunkt in 1 m Entfernung zu zwei schmalen, hellen, bei der Bewegung des Indikators auf- und abschwingenden Lichtstreifen umgeformt. An dieser Stelle ist der mit photographischem Papier bezogene Registrircylinder (Höhe 12 cm, Durchmesser 24 cm) aufgestellt, welcher mit einer lichtdichten Hülle bedeckt ist. Letztere besitzt einen schmalen vertikalen Spalt, welcher von den horizontalen Spaltbildern nur je einen registrirenden Punkt hindurchfallen lässt. Ein dritter, fester Spiegel dient zur Kontrolle der unveränderten Aufstellung und zur Zeitmarkirung. Die Walze rotirt in 24 Stunden einmal und legt pro Stunde 31,4 mm zurück, alle halbe Stunden wird der feste Punkt auf kurze Zeit abgeblendet. Da der Abstand des kardanischen Ringes von der Unterseite der Masse 3 cm beträgt, werden die Bewegungen desselben vom Indikator (also abgesehen von der optischen Vergrösserung) 50mal vergrössert. Das Gewicht des letzteren mit

¹⁾ Rënd. Linc. 5. Ser. II, 1. Sem., 1893, p. 28; Geogr. Jahrb. 1895, p. 381 ff. (E. Rudolph). Boll. Soc. Sism. II, 10, p. 279—293.

den Spiegeln und den beweglichen Theilen des kardanischen Ringes beträgt nur 10 g, also $\frac{1}{10000}$ von dem der Masse; da die sonst durch Schreibstifte erzeugte Reibung hier fortfällt, ist dies Seismometer (wegen seiner stationären Masse verliert es den Charakter eines Tromometers) zu den besten zu rechnen, nur wird man bei der Anwendung so erheblicher Massen den kleinen Mehraufwand von Reibung, den eine gute mechanische Registrirung (etwa die Vicentini'sche) verlangt, kaum zu scheuen brauchen und daher die Kosten erheblich vermindern können. Der Registrator (von E. Brassart konstruirt) ist dazu bestimmt, auch den Reflex eines Quecksilberspiegels zur Kontrolle der seismischen Ruhe aufzunehmen. Der ganze sonstige Apparat (konstruirt von Lapi) ist, (vor allem die Aufhängung) durch ein Rohr und durch Kästen sorglichst geschützt. Der Gesamtpreis beträgt 280 Mark¹⁾.

G. Vicentini²⁾, welcher immer gegen die photographische Registrirung wegen der höheren Kosten und anderer Misslichkeiten Einspruch erhob, hängte im dritten Stocke des Observatoriums in Siena an einer 65 cm starken Mauer die Masse von 50 kg an einem 1,50 m langen Drahte auf, und beobachtete die Bewegungen eines mit der Masse verbundenen Glasstiftes in einem Prisma mit mikrometrischem Mikroskop direkt. Die hohe Mauer vergrößerte die Bodenbewegungen stark und das Pendel besass eine halbe Schwingungsdauer $t=1^s,215$. Ferner führte er einen vergrößernden Indikator von 2,2 g und 14,4 cm Länge ein, dessen Spitze in gleicher Weise beobachtet wurde.

Hiermit sind wir bereits zu dem wegen der vorzüglichen Registrirmethode ausgezeichnet funktionirenden Vicentini'schen Mikro-seismographen, wo m durchaus als stationäre Masse fungirt, angelangt³⁾, und es sei dem Verfasser an dieser Stelle gestattet, Herrn Prof. Guiseppa Vicentini und Herrn Dr. Giulio Pacher für das liebenswürdige Entgegenkommen, welches sie bei seiner Besich-

¹⁾ Im Boll. Soc. Sism. III. 1. 1897, p. 15—28 beschreibt Agamennone wiederum einen neuen, photographischen Seismometrographen (leider nicht mehr im Texte hier aufgenommen), mit 250 kg Masse aus 14 Bleischeiben an einem 6—7 mm starken, 1,50 m langen Eisenstab, ähnlich dem p. 379 f beschriebenen Modelle nur statt der Indizes mit Planspiegeln versehen. Die Vergrößerung ist achtfach und die Geschwindigkeit der Registrirwalze 3,14 oder 6,28 cm/h. Das Pendel, (welches in Konstantinopel montirt werden soll), ist von G. Ceccarelli, der Registrator von L. Bianchi konstruirt und kostet im Ganzen 480 Mk.

²⁾ Atti del R. Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti. Tome VII, Serie VII, 1895/96: Vicentini, Considerazioni sugli apparecchi sismici registratori. Venezia, p. 387, (3).

³⁾ Vicentini, Brochüren, s. Litteraturverzeichniss am Schlusse, p. 473, Nr. 21.

tigung der Instrumente zu Padua am 15. September 1896 zeigten, seinen herzlichsten Dank nochmals auszusprechen. Der Apparat hat verschiedene Entwicklungsstadien durchgemacht; er besteht im Wesentlichen aus einer Masse von 50, 100 oder 400 kg, welche an einem Drahte von 1,50, 3,36, 4,50, 6,00 oder 10,50 m Länge aufgehängt ist, während zur Registrirung ein vergrößernder Index angebracht ist. Wir haben hier wieder im Allgemeinen Fig. 7 vor

uns, nur mit dem Unterschiede, dass die die Reibung überwindende Masse bedeutend vergrößert, die Reibung ihrerseits aber sehr verkleinert ist, so dass, wenn irgend, so hier die an den Anfang des Abschnittes angestellten, rein theoretischen Betrachtungen über variable Pendellängen bei nahen und fernen Beben ohne jeden Zusatz gelten. Die Masse des Mikroseismographen ist thatsächlich für den Anfang bei den langen Pendeln völlig stationär, später allerdings geräth sie, da eine weitere Astasirung nicht angebracht ist, in Schwin-

gungen. Fig. 29 a¹⁾ stellt das neueste in Padua im zweiten Stock des physikalischen Instituts am 5. August 1896 aufgehängte grosse Instrument dar²⁾. Die Masse m , deren Gesamtgewicht 408,65 kg beträgt, ist aus 13 Bleischeiben von je 40 cm Durchmesser und 2,2 cm Höhe zusammengesetzt und hängt an einer aus 10, je 1 m langen Theilen zusammengeschrabten Eisenstange, welche oben

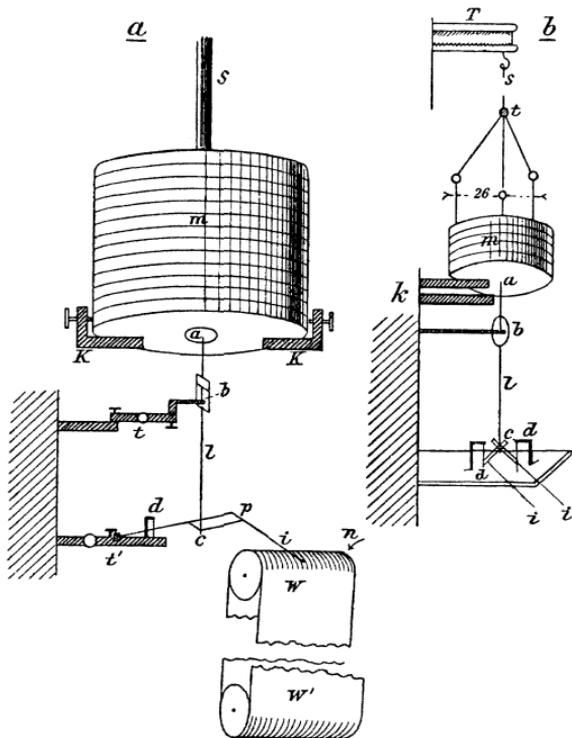


Fig. 29.

1) Nach einer von Prof. Vicentini übersandten Photographie.

2) Giulio Pacher; I microsismografi dell' istituto di fisica della R. università di Padova. (Atti del R. istituto Veneto di scienze, lettere ed arti; tomo VIII, Ser. VII, 1896/97.) [Diese Arbeit giebt eine genaue Anweisung für die Montirung des Apparates, die Herrichtung der Glasspitzen, die Berussung und Fixirung des Glanzpapieres etc.]

durch einen 3,8 mm starken, 30 cm langen Draht ersetzt ist. Als Träger dient ein im Hauptgebälk befestigtes T-Eisen, und die Totallänge des Pendels beträgt 10,68 m. Zum Schutze, und um der Masse eine bekannte Elongation ertheilen zu können, sind die mit feinen Schrauben versehenen eisernen Kreisstücke *K* angebracht. Der Indikator *l* besteht aus einem Aluminiumstabe, an dessen oberen Ende ein Quadrat mit einem Querstabe befestigt ist. Letzterer besitzt ein nach abwärts gekehrtes Glashütchen und ruht mit demselben auf der Spitze *b* des allseitig regulirbaren Trägers *t* auf. Für die Verbindung des oberen Endes *a* mit der Unterfläche von *m* kommen drei Arten in Betracht. Um nämlich die Vertikalbewegungen von *b* gegen *m* unschädlich zu machen, wird entweder die oberste, horizontale Quadratseite mit einem aufwärts gekehrten Glashütchen versehen, und in dasselbe die, nach unten gerichtete Stahlspitze an der Masse *m* eingeführt, welche in einem Tubus an der Unterfläche von *m* mittels einer Spiralfeder auf- und abwärts beweglich ist. Oder aber es ist durch die oberste Quadratseite ein feines Loch gebohrt und die feste Stahlspitze von *m* hindurchgesteckt. Die dritte, hier angewendete Methode besteht endlich darin, dass auf der oberen Quadratseite eine federnde Klemme aufsitzt, in welche die feste Stahlspitze eingefügt ist. Tritt in allen diesen Fällen eine Vertikalbeschleunigung ein, so vermag der Stahlstift einzudringen, und die sonstige Lage von *l* bleibt ungeändert. Die untere Stahlspitze *c* des Indikators bewegt einen sehr feinen Pantographen (nach Dr. Pacher), der um die vertikale Achse *d* drehbar ist und durch ein 0,9 g schweres Gewicht balancirt wird; sein Gesamtgewicht beträgt nur 1,7 g. Zugleich aber dringt die Spitze *c* in die rechtwinkelige Kreuzung zweier Gabeln (in Fig. 29 a nicht angegeben) ein, die wie bei Brassart die Komponenten aufschreiben. Die Achse *d* und die Gabelachsen sind auf dem justirbaren Träger *t'* befestigt. Die Vergrößerung von *l* in dem Falle, dass *a* ruhig bleibt, ist offenbar $\frac{ac}{ab}$, hier = 16, wenn aber *b* ruhig

und *a* bewegt ist = $\frac{bc}{ab}$; gewöhnlich tritt eine mittlere Vergrößerung

ein. Der Pantograph und die Gabeln vergrössern 5 mal, so dass nach Cinelli die Gesamtvergrößerung in dem ersten Falle 84,5, gewöhnlich aber nur 80,4 erreicht. Die Glasspitzen *i* tragen am Ende eine sehr kleine Kugel und sind in ihrem Querschnitte (0,5 mm mal 0,1 mm) derart konstruirt, dass sie senkrecht zur Registrirfläche gut biegsam sind, nicht aber parallel zu derselben. Das braun be-

russte Glanzpapier läuft um zwei sich durch ein Triebwerk mit einem Gewicht von 8 kg drehende Walzen WW' (Länge 16 cm, Durchmesser 13 cm), und ein Chronograph markirt bei n alle Minuten und Stunden.

Um eine bessere Schrift zu erzeugen, ist wie bei Agamennone unter den Stiften eine Plattform (6×16 cm) durch zwei 1 cm starke Wellen hergestellt, so dass das Papier an dieser Stelle eine Ebene bilden muss. Die Geschwindigkeit des Papiers hat sehr gewechselt und Werthe von 1,5 mm pro Minute bis zu dem jetzt angewendeten von 20 mm (also 120 cm/h) durchlaufen. Um das Papier mehrere Male zu benutzen, wird in der Weise eine seitliche Verschiebung erzeugt, dass die untere Walze W' um eine Vertikalachse über den Winkel α (immer $< 5^\circ$) gedreht wird; dann beschreibt das Papier eine Schraubelinie von der Ganghöhe $2r \sin \alpha$ (r der Walzenradius). Bei einer pantographischen Registrirung wird die Horizontalbewegung unzerlegt, aber wegen der Fortbewegung des Papierstreifens nur in der Richtung senkrecht zu seiner Bewegung unverzerrt wiedergegeben; jedoch trotz dieses natürlichen Uebelstandes ist eine solche, wenn auch unvollkommene Synopsis oft anschaulicher als die in zwei Komponenten zerlegten Darstellungen, welche rechnerisch und graphisch zu kombiniren unendlich viel Zeit kostet. Hier sind nun beide Arten vereinigt und somit ist für alle Fälle genügt.

Während also dies lange Pendel ($t = 3^s$) vorwiegend für die Registrirung naher Beben geeignet ist, aber in Folge seiner grossen Länge auch die Oscillationen ferner Beben stark vergrössert, so wendet Vicentini für die Beobachtung der langsamen Bewegungen ferner Beben in Padua jetzt eine Masse von 100 kg (5 oder 8 Bleischeiben) an einem 1,50 m langen, 3 mm starken Eisendrahte s mit $t = 1^s,5$ Schwingungsdauer an (Fig. 29 b). Die drei sich in der Bronzekapsel t vereinigenden Drähte können derart verlängert und verkürzt werden, dass m völlig horizontal hängt; s ist oben wieder durch einen 1,5 mm starken Stahldraht ersetzt. Die 16 mal vergrössernde Spitze c des Indikators l wird hier nur in die Kreuzung zweier Gabeln wie in dem Brassart'schen Pendel Fig. 24 zur Dekomponirung der Bewegung eingeführt. Bei a ist die Spitze des Index durch ein Federscharnier in der Unterfläche von m festgehalten.

Hierbei zeigte es sich nun früher, dass bei einer Papierbewegung von 3, ja 5 mm pro Minute die den Erdwellen superponirten Pendelschwingungen zu sehr ineinanderliefen, und Vicentini war daher bei Vermeidung einer weiteren Beschleunigung gezwungen, die Pendellänge auf 3,36 m mit $2t = 3^s,6$ zu erhöhen (23. April 1895); in Pavia

beträgt die Länge sogar 4,5 m, in Rom 6 m, der grosse Apparat zu Padua endlich besitzt 10,5 m. Die ersten Versuche überhaupt begannen mit einer Masse von 50 kg bei 1,5 m Länge und $2t = 2^s,4$ in Siena, wo jetzt aber auch 3,36 m und eine Papiergeschwindigkeit von 15 gegen 3 mm pro Minute angewendet sind. Die Instrumente sind von den Mechanikern des Paduenser Instituts, A. Cagnato und V. Strappazon angefertigt; das Pendel mit 100 kg kostet mit Zubehör 550 Lire. Demnächst sollen neben den Stationen Padua, Verona und Siena noch zwei andere italienische Städte und Laibach mit dem grossen Mikroseismographen versehen werden.

Die in das berusste Glanzpapier eingeritzten Zeichnungen sind vorzüglich klar und erlauben die genauesten Messungen; durch einen Ueberzug von Firniss bleiben die Originale unzerstörbar. Zudem ist das Papier sehr billig, selbst bei einer Geschwindigkeit von 15 mm pro Minute, da ein Streifen durch die Einschaltung jener spiraligen Verschiebung an einem Tage dreimal benutzt werden kann. (Eine Rolle Glanzpapier von 14 cm Breite, welche 18 Streifen enthält und für zwei Monate ausreicht, kostet nur 1,50 Lire.) Dass trotz alledem die photographische Methode stets die erste Stelle zu beanspruchen hat, wird nicht zu leugnen sein, wenn die pekuniäre Frage nicht etwa eine Rolle spielt, was allerdings in den meisten Fällen einzutreten pflegt. Von den graphisch-mechanischen Methoden aber ist diese von Vicentini so vervollkommnete sicher die vorzüglichste, denn die entstehende Reibung ist so gering, dass die Masse von 50 kg an einem Drahte von 1,50 m Länge nach einer ertheilten Ablenkung von 0,1 mm noch 20—25^s lang auszuschwingen vermag, welche Zahl sich bei den grösseren Massen natürlich noch erhöht. Vicentini hat seine sich auch auf langsame Perioden erstreckenden Beobachtungen und instrumentellen Versuche in zahlreichen Broschüren niedergelegt, deren Titel sich in dem am Schlusse beigefügten Verzeichnisse der Abkürzungen der Litteraturangaben unter seinem Namen zusammengestellt finden¹⁾. Der einzige Mangel der Vicentini'schen Einrichtungen dürfte die Aufhängung an einem in die Hausmauer eingelassenen T-Träger (T Fig. 29 b) sein, da es klar ist, dass die Schwingungen parallel der Wand (WNW—ESE) dieselbe in viel kleinerem Maasse affiziren werden, als solche senkrecht zu ihr; es wäre daher, was auch Dr. Pacher empfiehlt, entschieden besser, sich eines symme-

¹⁾ Mittheilungen ferner noch in: Wied. Beibl. 1895, p. 27; Nat. Bd. 51, p. 540; Davison, Hauptinstrumente Italiens, 1896; und die oben erwähnte Arbeit von G. Pacher.

trischen, starren, 3—4 m hohen Gerüsts, etwa wie in Fig. 2a, zu bedienen¹⁾.

Die früheren langen Pendel in Italien, z. B. der Cancani'sche Seismometrograph in Rocca di Papa von 100 kg Masse, 7 m Länge und 44, später mit Vortheil 60 cm Papiergeschwindigkeit pro Stunde²⁾, und sein Pendel von 16 m in Catania litten an zu grosser Reibung; dagegen sind die neueren (1895) Pendel³⁾ von 200 kg, (an einem 15 m langen, 4,5 mm starken Stahldraht) mit Messingindikator und feinen, äquilibrirten Hebeln, in Rocca di Papa, und das Rieseninstrument in Catania von 300 kg und 26 m von gleicher Vollendung wie der Vicentini'sche Mikroseismograph. Die 300 kg schwere Masse des grossen Seismometrographen zu Catania ist nach der Beschreibung von A. Riccò⁴⁾ an einem Doppel-T-Träger kardanisich mittels eines 6 mm starken Stahldrahtes suspendirt; sie besteht aus Lava und ist durch Schutzhüllen sorgfältig gegen Luftzüge gesichert. Auch der ganze, 26 m lange Aufhängedraht ist zum Schutze von einem sich unten erweiternden Zinkrohre umgeben. Die Registrirvorrichtung ist nach A. Cancani's Angaben vom Mechaniker Gino Ceccarelli hergestellt: Zwei in den Richtungen NW—SE und NE—SW stehende, leichte Aluminiumhebel schreiben die Bewegung des Erdbodens in 12,5facher Vergrösserung auf einer 19,1 cm starken, 14 cm langen Walze auf. Das von anderen Rollen hergeführte Papier (ein einziger Streifen ist 101 m lang und läuft 7 Tage) bewegt sich pro Stunde um 60 cm, zugleich macht ein Chronograph Minutenzeichen, und werden alle Stunden die Hebel auf 6^s automatisch von dem Papiere abgehoben. Diese letztere Methode hat sich ausgezeichnet bewährt und dürfte sehr zu empfehlen sein.

Das 15 m lange, mit 200 kg beschwerte Pendel zu Rocca di Papa ist an einem 4,5 mm starken Stahldraht aufgehängt; die 10 mal (jetzt 20 mal) vergrössernden Hebel haben die Brassart'sche Kreuzung, bestehen aus Messing und sind je 25 g schwer. Sonst ist die Einrichtung die gleiche wie in Catania.

1) Rep. 1896, (Milne).

2) Rend. Linc. Ser. 5, III, 1. Sem., p. 551—555 (Cancani, Ueber Instrumente für ferne Beben) 1894, Juni 2; Geogr. Jahrb. 1895, p. 381 ff.

3) Boll. Soc. Sism. 1896, II, p. 62—65; Davison, Hauptinstrumente Italiens, 1896.

4) Atti dell' Accademia Gioenia di scienze naturali in Catania, Vol. X, Ser. IVa, 1897.

Als letztes unter den Vertikalpendeln ist der Vollständigkeit halber noch G. Mugna's Elektroseismograph¹⁾ zu besprechen (Fig. 30), welcher, ein verfeinertes Seismoskop, dazu dient, die Richtung eines horizontalen Stosses innerhalb 45° , dessen ungefähre Amplitude und die Zeit des ersten Stosses (auch eines vertikalen) anzugeben. An der aus 1 mm starken Messingdraht bestehenden Spirale von 3 cm Durchmesser, *a*, hängt der mit Blei gefüllte Messingcylinder *m* von 20 cm Höhe und 8 cm Durchmesser. Daran ist die 20 cm lange Eisenröhre *b* mit der durch einen Siegellackknopf gehaltenen Glasnadel *i* befestigt, welche die Schwingungen von *m* auf der durch die Schrauben *d* und *e* justirbaren Tafel *c* aufzeichnet. Dass diese Rekorde bezüglich der Amplitude sehr problematisch sind, leuchtet ein. Die Masse *m* umgibt ein Holzring *f* (innerer Durchmesser gleich 30 cm) mit acht, durch die Schrauben *h* regulirbaren Messingdrähten *g*, deren Spitzen nahe an *m* herantreten. Sobald eine Berührung zwischen *g* und *m* entsteht, läuft ein Strom von der Batterie *B* durch *a*, *m*, *g*, einen der Verbindungsdrähte, durch die die acht Richtungen enthaltende Tafel *k*,

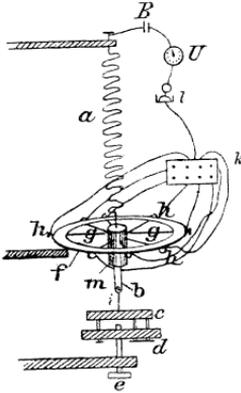


Fig. 30.

den Quecksilbernapf *l*, das Uhrpendel und die Uhr *U* nach *B* zurück. Die Uhr wird losgelassen und beginnt zu gehen, (wobei der Strom bei *l* unterbrochen ist), und bei *k* kann man in einem der acht Felder die beregte Stossrichtung ablesen. Ein einfacher, später zu erwähnender Vertikalapparat ist damit verbunden. Das Instrument steht im technischen Institut Carlo Matteucci zu Forlì, und man kann nicht leugnen, dass es bezüglich der Richtungsangabe recht zuverlässig und empfindlich ist, wenn anders die Richtung eines ersten, vielleicht nur einleitenden Stosses von grossem Interesse ist. Warum *m* nicht einfach an einem Drahte, sondern an der Spirale *a* aufgehängt ist, hat keinen einleuchtenden Grund.

2. Horizontale Pendel.

Richtet man die horizontale Achse, um welche die Vertikalpendel schwingen, allmählich auf, und befestigt die Pendelstange in der Art an der Achse, dass sie immer senkrecht zu derselben steht, so wächst

1) Boll. Soc. Sism. 1895, I, Heft 2, p. 33 f.

die Schwingungsdauer t des Pendels proportional $\text{cosec } i$, (wenn wir den Winkel zwischen Achse und Lothrichtung i nennen). Man macht i sehr klein und nennt das so veränderte Instrument ein Horizontalpendel. Während bei einer Neigungsänderung α das Vertikalpendel einen Ausschlag α erhielt, ist die Ablenkung des Horizontalpendels $\alpha \text{ cosec } i$. Daher ist letzteres Instrument weit geeigneter für die Beobachtung langer Perioden der Lothschwankung, denn $\text{cosec } i$ ist sehr gross. Dagegen funktioniert das Horizontalpendel bei Horizontalbeschleunigungen, zu deren Beobachtung eine stationäre Masse erfordert wird, in keiner Weise besser als ein Vertikalpendel¹⁾, welches etwa nach Art des Ewing'schen Doppelpendels Fig. 9 astasirt, also seiner Stabilität beraubt worden ist; dies gilt aber nur für relativ grosse Beschleunigungen von 10 bis 300 mm/sec², da bei kleineren Werthen die kleine Masse der Horizontalpendel die vorhandene Reibung nicht überwinden kann. Dazu kommt, dass wegen ihrer geringen Stabilität diesen Apparaten die mechanische Arbeit einer Vergrösserung mittels Indikatoren nicht ohne Schaden auferlegt werden kann, weswegen man sich meistens, und gerade in den vollkommensten Modellen, darauf beschränken muss, die durch Horizontalverschiebung erzeugte Drehung des Pendelarmes optisch direkt zu registriren. Bemisst man die Pendellänge nicht zu gross und benützt man zur Registrirung Hohlspiegel von grosser Brennweite (2 bis 2,5 m), so erzielt man damit auch für diese Bewegungen eine dennoch bedeutend stärkere Vergrösserung gegenüber den Vertikalpendeln. Tritt, wie es bei nahen Erdbeben meist der Fall ist, Neigungsänderung mit Horizontalbeschleunigung zusammen auf, welche wie Schmidt¹⁾ bemerkt, ihre Wirkung bei kurzen Pendeln gegenseitig aufheben können, so ist bei dem mit grosser Schwingungsdauer t begabten Horizontalpendel zu sagen, dass die Masse bei raschen Oscillationen sowohl, wie auch bei Beschleunigungen eben wegen des grossen t zurückbleibt. Wir werden in solchen Fällen starke Ausschläge erhalten, welche sich aus diesem Zurückbleiben der Masse in den beiden Bewegungsarten summiren.

Daraus folgt, dass der Vortheil der Horizontalpendel in der starken Vergrösserung der Erdbewegungen in Folge ferner Beben beruht, welche im Wesentlichen in Oscillationen von langer Periode bestehen. Für die Beobachtung naher Erdbeben ist es bei der kleinen Periode der Horizontalverschiebungen nöthig, ein möglichst starres

1) Schmidt, Die Aberration der Lothlinie. Beitr. z. Geoph III, 1, 1896; Davison, Das Horizontalpendel, Nat. Sc. VIII, 1896 (April).

Fundament für das Pendel auszuwählen, welches demselben die Bewegungen des Bodens ungeschwächt übermittelt. Astronomische Pfeiler sind, wie der Verfasser mehrfach zu erkennen Gelegenheit hatte, daher nicht als Fundament zu empfehlen, da die Erzitterungen des Bodens innerhalb der schweren, elastischen Pfeilermasse vernichtet werden. Kurze, feste Steinpostamente, etwa wie diejenigen des Sternneck'schen Pendels, etwas in den Boden versenkt, sind wohl am meisten zu empfehlen.

Beobachten wir bei einem Horizontalpendel also langsame, periodische Ablenkungen, so beruhen dieselben nach dem Gesagten auf Neigungsänderungen; dasselbe gilt für die Beobachtung der Schwingungen bei entfernten Erdbeben. Bei nahen Störungen haben wir dieselbe Zweideutigkeit, welche bereits am Anfange des Abschnittes über Pendel im Allgemeinen diskutirt worden ist.

Diese Erkenntniss war den zahlreichen Erfindern des Horizontalpendels natürlich noch nicht in voller Klarheit gegenwärtig, sie erkannten das Instrument vorerst nur als vorzüglichstes Mittel zur Beobachtung von Lothschwankungen und brauchten es zu astronomischen Zwecken. Erst später, und oft zufällig, wurde seine enorme Brauchbarkeit als Seismometer für ferne Beben entdeckt und weiter ausgebildet. Die technische Hauptschwierigkeit lag darin, die Pendelstange horizontal, also senkrecht zur Drehachse zu erhalten, ohne dabei grosse Reibung einzuführen. Es sei gleich hier vorweggenommen, dass dies Problem am vollkommensten von E. von Rebeur gelöst worden ist.

Ueber die Entwicklung des Horizontalpendels ist gerade in der letzten Zeit so viel geschrieben worden, dass es für die Einzelheiten auf die bezüglichen Arbeiten hinzuweisen genügt¹⁾, während es nicht unerwünscht sein wird, hier die Prinzipien noch einmal übersichtlich zusammenzufassen, wie es bereits Davison¹⁾ mit knappen Worten gethan hat.

Gruithuizen's Schüler, Lorenz Hengler, mit seiner „astronomischen Pendelwage“ vom Jahre 1832, Perrot's²⁾ Konstruktion 1862, Zöllner's³⁾ Horizontalpendel mit den wegen der Torsion mangel-

1) Davison, Das Horizontalpendel. Nat. Sc. VIII, 1896 (April); Wiss. Abh. v. Zöllner, IV, p. 325, 1869; Pogg. Ann. Bd. 150, p. 150 ff., 1872; Hecker, Das Hor-Pendel, Zeitschr. f. Instr.-Kde. XVI, 1896 (Jan.); Dingler's polytechn. Journ. 43, 1832.

2) Compt. rend. Bd. 54, 1862, p. 728.

3) Ber. d. K. Sächs. Ges. d. Wiss. 1869 und 1871.

haften Drähten oder Uhrfedern liessen (Fig. 31 a) die bei a und b befestigten Fäden f auf einer Seite des Schwerpunktes g des Pendels c angreifen und mussten daher a und b auf verschiedenen Seiten des Armes c anbringen. Close, Delaunay und G. H. und H. Darwin liessen g zwischen die Angriffspunkte d und e der Fäden f wandern (Fig. 31 b) und konnten a und b auf einer Seite des Armes c belassen. Gerard, Grablovitz, Gray und Milne wendeten (Fig. 31 c) wieder die Zöllner'sche Form an, benutzten aber statt des unteren Fadens den starren Pendelarm selbst und setzten ihn frei beweglich als Spitze in ein Lager d . v. Rebeur, Schmidt, Ewing endlich ersetzten beide Fäden durch starre Arme, indem sie das Pendel mit Lagern versehen (Fig. 31 d), welche auf zwei Spitzen spielen. Hier fallen also die Punkte a und b bzw. mit d völlig zusammen, und mit der Ausschaltung des fremden Faktors der Elasticität irgendwelcher Fäden war natürlich ein grosser Fortschritt erreicht. Die Drehachse

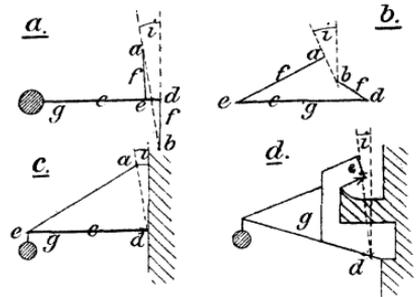


Fig. 31.

ist in Fig. 31 a und b die Linie ab ; ad in Fig. 31 c und ed in Fig. 30 d; der Winkel, den sie mit der Vertikalen bildet, ist i . Es ist evident, dass derselbe proportional dem horizontalen Abstand der Aufhängepunkte ab der Fäden f in Fig. 31 a und b ist. Auf die Vergrösserung der Bewegung in dem Falle, dass die Masse m stationär bleibt, ist niemals Gewicht gelegt, ein grosser Unterschied gegen die Vertikalpendel, und ein Zeichen dafür, dass man nur auf die eine Fähigkeit des Apparates ein Augenmerk gerichtet hatte, Neigungsänderungen der Drehachse durch eine bedeutende Rotation um dieselbe stark vergrössert anzugeben. Andererseits durfte man das nahezu labile Instrument auch für den Fall, dass es nur auf Horizontalbeschleunigungen senkrecht zu dem Pendelarme zu reagiren habe, mit keiner, auch noch so kleinen mechanischen Arbeit belasten. Es wird also die Drehung des Armes c direkt beobachtet, wobei derselbe anfangs selbst als vergrössernder Schreibindex benutzt, später aber mit einem Spiegel behufs optischer Registrirung versehen wurde.

Nunmehr ist es leicht, die zu besprechenden wichtigen Apparate von einem übersichtlicheren Standpunkte aus zu betrachten, welcher zugleich die Kritik bedeutend erleichtert.

Zuerst besprechen wir das Darwin'sche Bifilarpendel¹⁾ (Fig. 32), welches aus dem Instrumente W. Thomson's (Lord Kelvin) in Glasgow vom Jahre 1878 entwickelt ist. Dasselbe bestand aus einem 0,5—1 kg schweren Bleicylinder an einem ca. 160 cm langen Drahte, der an einem Steingalgen befestigt war. Die Ablenkung dieses Pendels wurde aber dadurch vergrössert, dass dasselbe einen bifilar an dem Cylinder und dem Gestell suspendirten Spiegel zu starker Drehung brachte. In Cambridge wurden sodann seit dem 15. März 1880 mit einem kupfernen (unmagnetischen) Apparate Beobachtungen und weitere Verbesserungen bezüglich der bifilaren Aufhängung (welche bereits 1871 von M. Delaunay in Paris erfunden worden war) und bezüglich des Schutzes vor Temperaturschwankungen sowohl hier als vor allem in Edinburgh von G. H., Horace Darwin und Charles Davison unternommen. Letzterer montirte im April 1893 ein Bifilarpendel in Birmingham, während G. H. und Horace Darwin am 23. März 1894 im Royal Observatory on Calton Hill zu Edinburgh ein sogleich näher zu beschreibendes Bifilarpendel, allerdings wesentlich zur Beobachtung langer Perioden aufstellten.

Zwischen den beiden parallelepipedischen Kupferbacken KK (Fig. 32) sind die kleinen Rollen a und b eingeklemmt, um welche der feine Silberdraht f läuft; derselbe ist in seinem Verlauf in Fig. 32 b gut sichtbar, welche einen zu Fig. 32 a senkrechten Schnitt darstellt. In der Bucht des Drahtes hängt unten der kreisförmige Hohlspiegel S von 2 cm Durchmesser. Wird bei einer Neigung (in Fig. 32 a) a nach rechts bewegt, so dreht sich, da der Draht f stets in der durch a gehenden Vertikalebene zu bleiben strebt, auch S nach rechts; dies geschieht um so mehr, je näher die Richtung ab in Fig. 32 b der Senkrechten war. Durch eine Bewegung von a (in Fig. 32 b) nach rechts wird dann also die Empfindlichkeit geändert. Diese beiden Arten von Korrekturen sind für alle Horizontalpendel typisch und von grösster Bedeutung. Der unten auf der Verengung der Kupferröhre N ruhende Theil K wird durch die Feder h gegen die Spitze der Mikrometerschraube E gedrückt, welche die erste, von jetzt ab mit „ N “ bezeichnete Korrektur besorgt; in größerem Massstabe geschieht dies schon durch die mit der endlosen Spirale p bewegte Fusschraube o , während die Korrektur der Schwingungsdauer „ E “ durch die Schrauben nn und den Schlüssel p' bewirkt wird. Soll der Spiegel gehoben oder geneigt werden, so braucht

¹⁾ Rep. 1893, p. 291—303 (Davison); 1882 (G. H. u. H. Darwin), p. 95 bis 119; 1881, p. 93—126, Nat. Bd. 50, 1894, p. 246 (Davison); Trans. Seism. Soc. XIX, 1894 (H. Darwin) (Seism. Journ. II), p. 61 ff.

nur die Rolle *a* oder *b* bewegt zu werden. Um zu erfahren, welcher Neigung der Linie *ab* eine Abweichung des von *S* reflektirten Lichtbildes von 1 mm auf einer Skala entspricht (Reduktionskonstante, „*R*“), ist an *E* der Arm *F* angebracht, dessen Ende zwischen den 14,4 mm entfernten Spitzen der Schrauben *rr* spielt. Durchmisst das Ende von *F* diese Entfernung (was auch durch kleine Blasebälge bewirkt wird), so neigt man dadurch *K* um 1“,

während eine ganze Revolution von *E* 146“,4 bewirkt. Im Allgemeinen ist es möglich, mit diesem Apparat noch $\frac{1}{300}$ “ zu messen, also einen Winkel, welcher demjenigen gleich ist, unter dem die Grösse eines englischen Zolles (2,54 cm) in 1572 km Entfernung erscheint. Die Registrierung ist photographisch: der von dem Spiegel *S* in seinem Brennpunkte abgebildete Spalt einer Lampe wird durch einen vor der 21,6 cm langen, mit photographischem Papier bespannten, rotirenden Walze liegenden, horizontalen Schlitz zu einem Punkte reduziert, dessen Bewegung alsdann als schwarze Linie abgezeichnet wird. Ein fester Spiegel dient als Referenzpunkt und zur Zeitbestimmung. Früher wurde der Spiegel auch mittels Fernrohr und Skala mikrometrisch von einem Nebenraume aus beobachtet. Der Raum, in welchem sich der Spiegel befindet, ist mit einer Mischung von Alkohol und Wasser, oder mit Paraffinöl gefüllt, um schnelle Bewegungen, Zittern, also die Einwirkung der tremors und des Verkehrs abzuhalten. Hierdurch scheidet jedoch das Bifilarpendel eigentlich aus der Reihe der Seismometer aus, denn es ist nunmehr viel zu schwer beweglich, und bei einer Störung wird der Spiegel durch die bewegte Flüssigkeit mitgerissen, Strömungen ausgesetzt und seiner leichten Beweglichkeit beraubt, so dass, auch wenn sich ein Erdbeben kundgibt, eine irgend wie zuverlässige Messung nicht

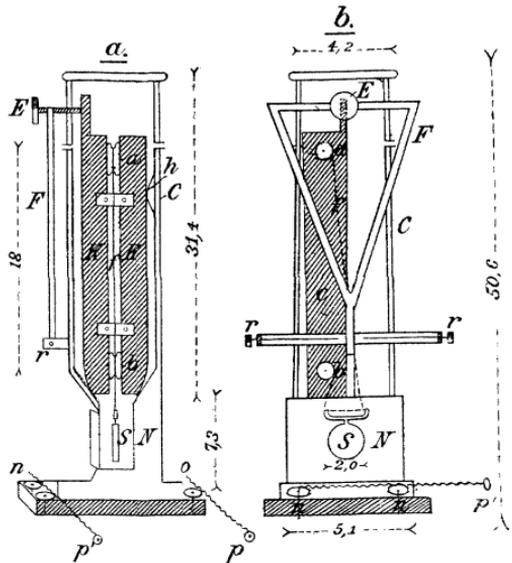


Fig. 32 1).

bespannten, rotirenden Walze liegenden, horizontalen Schlitz zu einem Punkte reduziert, dessen Bewegung alsdann als schwarze Linie abgezeichnet wird. Ein fester Spiegel dient als Referenzpunkt und zur Zeitbestimmung. Früher wurde der Spiegel auch mittels Fernrohr und Skala mikrometrisch von einem Nebenraume aus beobachtet. Der Raum, in welchem sich der Spiegel befindet, ist mit einer Mischung von Alkohol und Wasser, oder mit Paraffinöl gefüllt, um schnelle Bewegungen, Zittern, also die Einwirkung der tremors und des Verkehrs abzuhalten. Hierdurch scheidet jedoch das Bifilarpendel eigentlich aus der Reihe der Seismometer aus, denn es ist nunmehr viel zu schwer beweglich, und bei einer Störung wird der Spiegel durch die bewegte Flüssigkeit mitgerissen, Strömungen ausgesetzt und seiner leichten Beweglichkeit beraubt, so dass, auch wenn sich ein Erdbeben kundgibt, eine irgend wie zuverlässige Messung nicht

1) In Fig. 32 a und b muss der Spiegel *S* in Folge eines Fehlers in der Zeichnung um 90° um die Vertikale gedreht werden! 32 b in den Schraffen liess *K* für *C*.

mehr zugänglich ist. Immerhin musste das Instrument auch hier erwähnt werden, weil es ohne jenes Flüssigkeitsbad sehr wohl tauglich sein kann. Vorzüglich ist die Fundirung, welche als Muster für andere, in Zukunft aufzustellende transportable Seismographen dienen kann (Fig. 33)¹⁾. Das Postament bildet eine 1,4 cm starke, 210 cm lange umgestülpte Eisenflasche *A*, welche von einer Thonröhre *B* umhüllt ist; die Punkte stellen festgestampfte Erde, die Kreuze Kies dar; oben liegen Bretter, auf denen man isolirt an den Apparat herantreten kann. — Dass natürlich zwei zu einander senkrecht aufgestellte Instrumente benöthigt werden, da ein einzelnes immer nur eine Komponente der Horizontalbewegung angiebt, ist selbstverständlich.

Die erste Aufhängung eines starren Pendelgerüsts (bracket) mit Spitzen in Lagern führte W. C. Chaplin²⁾ mit seinem 1878 kon-

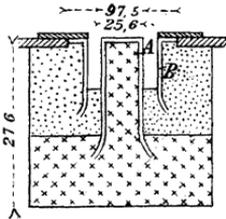


Fig. 33.

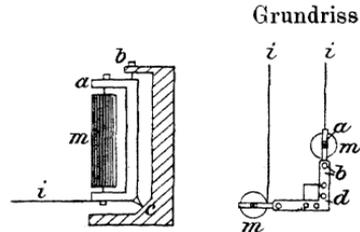


Fig. 34.

struirten Horizontalpendel (Fig. 34) aus. Der 13 cm hohe, 3 cm dicke, mit Blei gefüllte Messingcylinder *m* ist mit seinen spitzen Achsenenden frei in den Lagern des (ebenfalls in *b* und *c* beweglichen) Armes *a* drehbar. Tritt eine Verschiebung oder Neigung senkrecht zur Ebene der Figur ein, so dreht sich *a* mit *m* um *b* *c*, und der mit *a* verbundene Index *i* zeichnet eine Komponente der Bewegung auf, wie der Grundriss zeigt, ist rechtwinklig zum ersten ein zweiter, identischer Apparat aufgestellt. Die Schrauben *d* bewirken die Korrektion *E*. Theoretisch ist das Instrument einwurfsfrei, nur leidet es an zu grosser Reibung in den Lagern; es funktionirte seiner Zeit auch nicht befriedigend.

Etwas verfeinert, aber sonst von genau gleicher Konstruktion, nur mit rückwärts verlängertem Index, ist J. A. Ewing's Bracket-Seismograph, welcher seit 1880 in Tokio und auch sonst vielfach

1) Rep. 1893 (Davison), p. 288 ff.

2) Annali VIII, 4, 1886, p. 24 f.; Milne, Monogr. 1886, p. 27 f.; Tokio Daig. 1883, Nr. 9, p. 20 ff., § 23; Phil. Mag. 1881, 2 (5. Ser. Bd. 12), p. 356 ff. (Gray u. Milne).

in Gebrauch ist, da er Dank der sorgfältig erzielten geringen Reibung gut funktioniert, sobald er stärkeren Beben ausgesetzt wird¹⁾ (Fig. 35 a). Nach der Beschreibung des Chaplin'schen Pendels ist die Figur ohne weiteres klar, da die Buchstaben dieselben Theile bezeichnen. Um die Reibung auf der berussten Glasplatte *g* zu verringern, ist der in einer Stahlspitze endende Strohhalbm *i* durch die Feder *s* und den Seidenfaden *f* etwas angehoben. Die kaum gerechtfertigte Furcht, *m* könne in Folge von Reibung mit dem Arm *a* um seine Achse gedreht werden, führte zu der Form Fig. 35 b, in welcher allerdings der grosse Ring wohl kaum mitgedreht werden kann. Es ist aber gut, nicht mehr als 1—2 kg Masse anzuwenden, da eine schädliche Reibung sonst selbst unter den besten Verhältnissen nicht

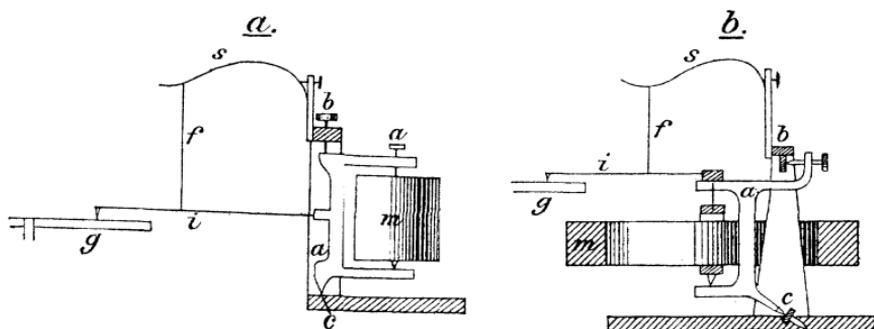


Fig. 35.

vermieden werden kann. Die Vergrößerung durch den Index unter der Annahme, dass die Achse von *m* eine stationäre Linie ist, beträgt in dem Modell a: 6, in b: 7. Natürlich sind auch hier je zwei zu einander senkrecht montirte Apparate angewendet, welche auf der durch eine Friktionsrolle getriebenen Scheibe *g* in ungleichen Abständen von deren Centrum die Bewegungskomponenten aufschreiben.

Jede Verschiebung der Drehungsachse aber, welche nicht rechtwinklig zu dem Pendelarme eintritt, führt naturgemäss den ganzen Apparat mit der Masse und dem Index mit sich, ein Umstand, welcher bezüglich der Zeitbestimmung der Phasen schädlich wirkt, da der Index in der Richtung der Bewegung der Registrirfläche bewegt wird. Um dieses zu vermeiden, und um die Anlage auf einen ein-

1) Trans. Seism. Soc. II, 30, p. 45 ff.; Milne, Monogr. 1886, p. 27 f.; Nat. Bd. 34, p. 343 f.; Annali VIII, 4, 1886, p. 125; Tokio Daig. 1883, Nr. 9, p. 21 ff.; Proc. R. S. 31, 1880 Nov. bis 1881 März, p. 440.

zigen Apparat zu beschränken, hat Ewing¹⁾ an den Arm a der Fig. 35 einen zweiten rechtwinklig zu ihm mit der Masse m angebracht (Fig. 36 a und b [Grundriss]), und ebenso ist Th. Gray²⁾ (Fig. 36 c) verfahren. m ist in a und b mit dem Arm α , dieser in c und d mit dem Arm β , dieser endlich in e und f mit dem mit der Erde fest verbundenen Gestelle γ leicht drehbar verbunden. Für Bewegungen senkrecht zu β bleibt cd stationär, ebenso ab für Bewegungen senkrecht zu α ; ab bleibt folglich absolut stationär. Der auf dem Gerüst oder den Stahlfedern p kardanisch ruhende Index i vergrößert die Bewegung von p gegen a , dabei wirkt in Fig. 36 a die Kugel n astatisch wie die Masse des umgekehrten Theiles in dem Doppelpendel

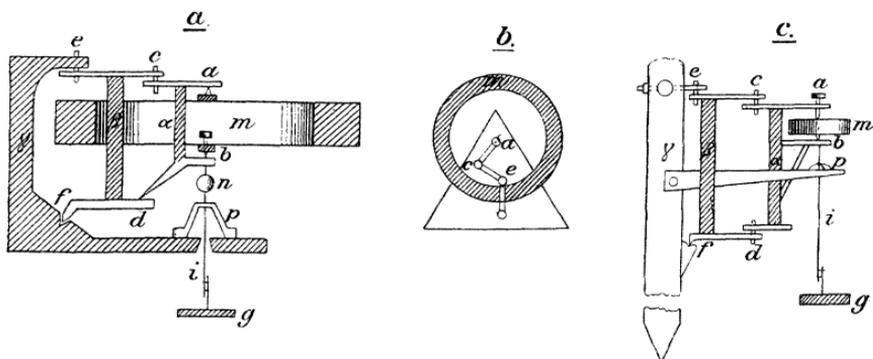


Fig. 36.

Fig. 12a. Alles dies gilt aber nur, solange α senkrecht zu β ist, ein Verhältniss, welches schon in kurzer Zeit gestört sein dürfte, und wobei jene zu vermeidende Translation der Masse wiederum auftritt. Ferner ist in Folge der sechs Drehpunkte eine Reibung ausgeführt, welche die Anwendbarkeit des Instrumentes nahezu illusorisch macht.

Eine Verbesserung des Modelles Fig. 35 konstruirte Ewing ebenfalls 1880³⁾ (Fig. 37 a), indem er die Spitzen c und d nunmehr in der Richtung ihrer eignen Achse, und nicht mehr als Rotationskörper, beanspruchte; hierdurch wird der Druck auf die feine Spitze allein konzentriert und ein Minimum von Reibung erreicht. β ist ein Holz-, α ein Stahlgerüst, m ein Messingkörper. Der Index i ist bei h nur auf- und abwärts, nicht aber seitlich zu bewegen und wird durch die

1) Annali VIII, 4, 1886, p. 25; Tokio Daig. 1883, Nr. 9, p. 28, § 29.

2) Milne, Monogr. 1886, p. 28; Trans. III, 1881 (Gray), p. 1 ff.; Phil. Mag. 5. Ser., Bd. 12, 1881, 2, p. 199 ff. (Gray) und p. 356 ff. (Milne und Gray).

3) Nat. Bd. 30, 1884, p. 149; Tokio Daig. 1883, Nr. 9, p. 22 ff., § 24.

Feder s und Spirale f in ganz besonders geistreicher Weise derart getragen, dass der Druck der Spitze auf die Registrirfläche immer konstant bleibt. Der Angriffspunkt von f ist nämlich unterhalb i an dem Ende o eines kleinen senkrecht zu i stehenden Armes angebracht. Tritt eine Vertikalbewegung von β nach oben ein, wodurch sich i von g zu heben strebt, so verkleinert sich der Hebelarm ho für die Kraft von f , und die Feder lässt i etwas sinken. Senkt sich β , so vergrößert sich ho und f hebt die allzusehr an g angedrückte Spitze von i etwas ab. Diese Kompensation finden wir später bei Ewing's Vertikalapparat

weiter ausgebildet (s. Fig. 58). G wird durch ein Uhrwerk getrieben, dessen Regulator in Fig. 37 b abgebildet ist. Die Werkwalze W dreht die Achse des Centrifugalregulators r , welcher bei grosser Geschwindigkeit den Arm a mit den Platten b tiefer in

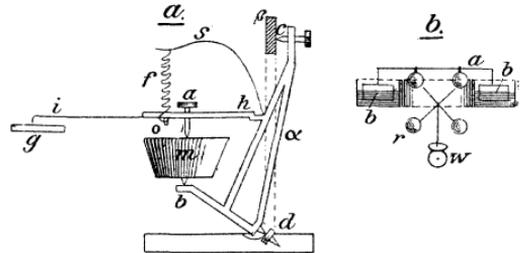


Fig. 37.

den mit Oel gefüllten Ring hinabsenkt, wodurch grösserer Widerstand und Hemmung eingeführt wird. Hierbei schlägt jedoch Gray¹⁾ vor, besser den Trog mit dem Oel rotiren, die Platten aber unbewegt zu lassen, denn es ist klar, dass die rotirende Flüssigkeit von der Erdbebenbewegung weit weniger irritirt wird, als die in Ruhe befindliche. Durch das Ansteigen des Oeles am Rande wird dann gleichfalls die gewünschte Dämpfung in Folge vermehrten Widerstandes erreicht.

Ebenso gut wie das zuletzt erwähnte Horizontalpendel wirken die sogenannten konischen Pendel mit einer Spitze und einem Faden (Fig. 31 c), bei welchen dieser Faden einen Kegelmantel beschreift. Das wichtigste dieser in ihrem praktischen Verhalten ziemlich gleichwerthigen Instrumente ist das in dem so viel gebrauchten Gray-Milne-Seismographen²⁾ angewendete Gray'sche konische Pendel³⁾ (Fig. 38 a, b, c) vom Jahre 1880. Auf der Eisensäule β ruht die durch b regulirbare Schraube c , von welcher der Platindraht f

1) Phil. Mag. 5. Ser. Bd. 12 1881, 2, p. 356 ff.

2) Trans. XII, 1887 (Milne, p. 33 ff.; Phil. Mag. Bd. 23, 1887, 1 (Gray); Quart. Journ. (Gray), Bd. 39, 1883, p. 218.

3) Milne, Monogr. 1886, p. 38 f.; Annali XI, 3, 1889 (Grablovitz), p. 177 f.

herabgeht. Dieser hält das Gewicht m etwas unterhalb seines Schwerpunktes bei a , damit die Schneide d des stützenden Armes l von ihrem Lager nicht herabgleiten kann. Die Entfernung $m-d$ kann von 3 bis über 30 cm vergrößert werden, und es ist gut, dieselbe gross zu machen, weil dann die Kraft, mit welcher die Reibung bei d überwunden werden kann, ebenfalls gross ist. b besorgt die Korrektion E , c die Korrektion N . Nach W. Thomsons Muster ist an l ein um 45° abweichender Arm mit einem, verdünnte Anilin-

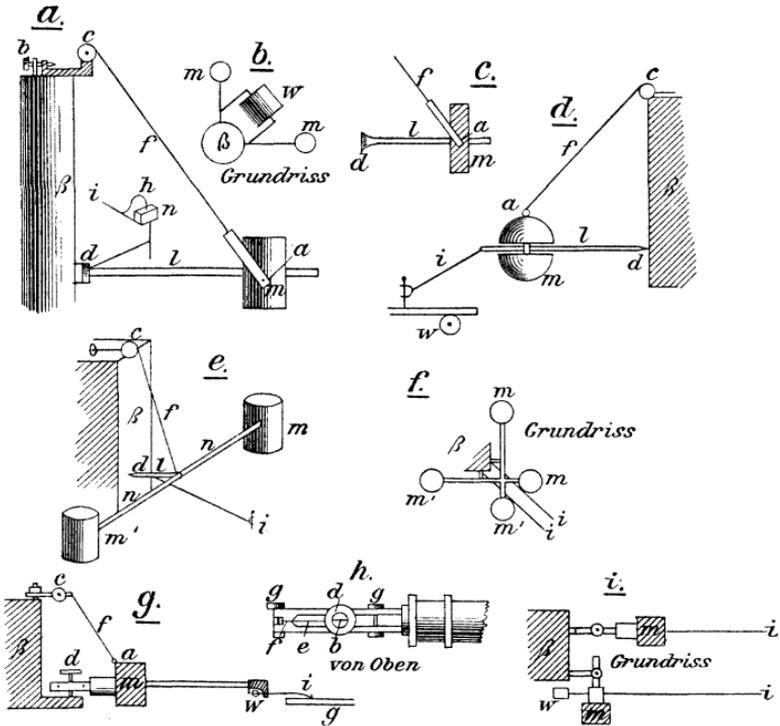


Fig. 38.

farbe enthaltenden Gefässe n angebracht, aus welchem mittels der Heberkapillare h Farbe in die vorn angeschmolzene und mit Smirgel behandelte Indexröhre i fliesst, welche ihrerseits auf einer 12,7 cm breiten Walze W (Grundriss Fig. 38 b) registriert; letztere ist mit verschiedenen Geschwindigkeiten drehbar und mit einem auf Löschpapier ruhendem Registrirstreifen bespannt. Es wird aber auch die absolut reibungslose Methode mittels elektrischer Funken wie bei Milne's Tremor Recorder (Fig. 8) angewendet. Die Masse m hat zuweilen die Form 38c, während das alte Gray'sche Pendel die

kaum bessere Anordnung von 38 d besitzt¹⁾, bei welcher i auf einen rollenden Wagen W schreibt. 38 e und f (Grundriss)²⁾ zeigt insofern eine Abweichung, als m durch den rechtwinklig zu l stehenden Arm n in zwei Hälften m und m' getheilt ist. Hierdurch wird erreicht, dass sich die Massen mm' bei Neigungsänderungen von β nicht so leicht in die neue Lage begeben, als wenn ein einziger Massenschwerpunkt vorhanden ist, dagegen bleibt n bei Horizontalverschiebungen sich selbst parallel und stationär. Bezüglich der Trennung dieser beiden Elemente, welche das Pendel bewegen, ist also hier ein Schritt vorwärts gethan. Die Registrirung geschieht auf berusstem, transparenten Papier, welches nach Fixirung direkt als Negativ für eine photographische Kopirung zu dienen geeignet ist, ein Verfahren, welches auch bei dem Pendel Fig. 37 a zur Anwendung kommt. Die Pendel sind, um eine Kollision zu vermeiden, natürlich untereinander (Fig. 38 f) angeordnet. — Ewing wollte endlich auch die Reibung an der Schneide oder Spitze d vermeiden und konstruirte³⁾ das Modell Fig.

38 g, h, i, bei welchem der Arm des Pendels durch den Zug einer bei b und f (durch die Schraube g) geklemmten Feder e gestützt wird. Durch die Schraube d ist e mit dem Postament β in fester Verbindung. Der Index i ist durch das kleine Gewicht W (Fig. 38 g) äquilibrirt, ebenso der grosse Zeiger in Fig. 38 i durch W .

G. Grablovitz stellte 1891 in dem Institut zu Casamicciola auf Ischia nach Gray's Muster konische Pendel von 5 kg Masse von der Form der Fig. 39 a auf⁴⁾. Der Index i hängt in einer Oese an dem Aluminiumarm l und liegt etwas auf der Walze W , welche sich in 24^h einmal dreht. Wegen dieser geringen Geschwindigkeit

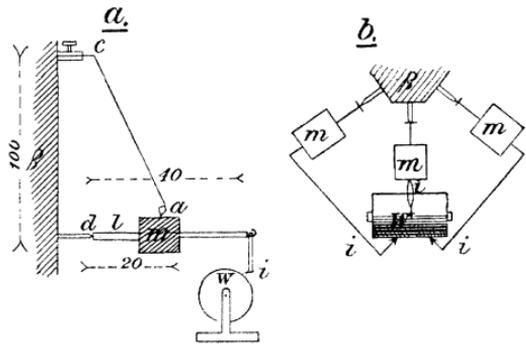


Fig. 39.

1) Annali 1886, VIII, 4, p. 23 f.

2) Phil. Mag. 5. Ser. Bd. 12, 1881, 2, p. 199 ff. (Gray); Tokio Daig. 1883, Nr. 9, p. 27 f., § 28.

3) Tokio Daig. 1883, Nr. 9, p. 27 f., § 28.

4) Boll. Soc. Sism. II, 2, 1896, p. 41—61; Rend. Linc. 4 Ser., VII, 1891, 1, p. 264; Nat. Bd. 52, p. 309; Wied. Beibl. 1891, p. 625.

sind aus denselben Gründen, welche oben p. 358¹⁾ auseinandergesetzt wurden, drei Pendel in 60° Azimutalabstand (Fig. 39b Grundriss) aufgehängt. Der Apparat ist, wie die vorbenannten, für seine Zwecke bei nicht zu schwachen Stößen mit Erfolg in Thätigkeit.

Das Vollkommenste aller mechanisch registrirenden Horizontalpendel ist entschieden das neue, grosse Instrument, welches Grablovitz²⁾ im Observatorium Porto d'Ischia Anfang 1896 aufgestellt hat. Die 12 kg schwere Masse (Bleicylinder von 5 cm Höhe und 16 cm Durchmesser) stützt sich mit einem in einer Achatschale endenden, 10 cm langen Stabe auf die am Postament befindliche horizontale Spitze. Ihre Suspension besteht aus zwei Messingdrähten, welche 2 m über der Spitze von dem Postamente auslaufen und an zwei Hacken auf der Oberfläche des Cylinders befestigt sind. In Folge der grossen Länge der Drähte ist die Reibung zwischen Spitze und Lager in der geistreichsten Weise verringert, eine Rotation der Masse aber durch die bifilare Aufhängung vermieden. Dadurch endlich, dass sich die Masse mit einer Pfanne auf die Spitze stützt, und nicht umgekehrt, ist die Unveränderlichkeit der Richtung der Drehachse gesichert, welche übrigens besonders regulirt werden kann. An der Masse ist ein 80 cm langer, gefirnisster Holzstab angebracht, an dessen Ende ein 6 cm langer Messingdraht mit einer Schreibspitze senkrecht herabhängt und 8mal vergrössernd aufschreibt. Holz ist wegen seiner Starrheit und Leichtigkeit einem Metallstab entschieden vorzuziehen. Der Druck des Schreibstiftes auf das Registrirpapier beträgt in Ruhe 0,02 g, in Bewegung 0,00033 g, und die Reibung wäre noch geringer, wenn statt des berussten Glanzpapiers als Registrirfläche Glas angewendet werden könnte. Das Papier ist auf eine Walze gespannt, welche sich bei einer Rotation zugleich seitlich verschiebt. Die Registrirung auf Russ ist nach den neuesten Erfahrungen schärfer als eine solche mit Tintenstiften, und 6mal reibungsloser. Die photographische Methode erlaubt (einmal wegen der Kosten und sodann, weil der Lichtpunkt, um einen Eindruck zu hinterlassen, stets einer gewissen Zeit bedarf) nicht so grosse Geschwindigkeiten des Registrirpapiers, auch dürften die Figuren zuweilen nicht ebenso zierlich werden wie die Zeichnungen in Russ, aber sie hat den eminenten Vortheil absoluter Reibungslosigkeit für sich, so dass die Apparate mit optischer Registrirung, so sehr das Pendel Grablo-

1) Ehlert, Horizontalpendel-Beob., Anhang. Beitr. z. Geoph. III, 1, 1896.

2) Boll. Soc. Sism. II, 5, 1896, p. 171—179.

vitz' für sich ein Ideal darstellt, immer ein richtiges Bild der Bodenbewegungen wiederzugeben den Vorzug haben. Als Nebeninstrument dürfte dieser Seismograph an allen Stationen recht sehr zu empfehlen sein, zumal die Kosten für zwei Pendel mit Nebenapparaten (ohne Uhr) kaum mehr als 80 Mark betragen. In Porto d'Ischia ist das Instrument an der Mauer eines 5 m hohen, 3 m tief versenkten, besonderen Gebäudes, welches abseits vom Verkehr und im Schatten liegt, aufgehängt; eine isolierte Säule dürfte wohl besser sein.

Wir kommen nun zu den feinen, leichten Horizontalpendeln für mikroseismische Beobachtung, deren Vortheil in der ausserordentlich geringen Reibung in den Lagern und der optischen Registrierung liegt. Es sind dies die Instrumente von Milne und v. Rebeur, welche anfänglich von einander unabhängig, später unter gegenseitigem Erfahrungsaustausch immer vollkommener konstruiert worden sind. Milnes Tromometer¹⁾ war im Jahre 1892 ein 6,3 cm langer, mit einer Stahlspitze in Achat ruhender Aluminiumstab, welcher von einem Quarzfaden horizontal gehalten wurde, t war 5—6, R 0'',61. Das Instrument zeichnete bei Abwesenheit einer stationären Masse nur Oscillationen und zwar solche von langer Periode auf, über welche Milne, wie überhaupt über alle seismischen Phänomene experimentell und theoretisch Studien von einer Bedeutung gemacht hat, welche ihm die erste Stelle unter den lebenden Seismologen sichern. Die Ablesung des Instrumentes geschah anfangs wie bei Bettelli und de Rossi mittels Spiegel, Fernrohr und Skala. 1894 führte Milne an dem verbesserten Instrumente²⁾ (Fig. 40 a) die optische Registrierung ein. An der gusseisernen Stange a lehnt sich der 12 cm lange Aluminiumarm l mittels einer Achatschale an, indem er von dem, theils aus ungedrehter Seide, theils aus Messing bestehenden Faden f horizontal erhalten wird. g ist ein verschiebbares Gerüst. Die Zinkplatte p (6×10 cm) enthält zwei Schlitze, deren grösserer 2 cm lang und 5 mm breit ist; sie spielt über einem in dem Deckel des Kastens K angebrachten Spalte h von 5 cm Länge, welcher senkrecht zu den Schlitzen der Platte p gerichtet ist; dadurch fällt das von der Lampe L erzeugte und in S gespiegelte Licht durch die Kreuzung der Spalte stets nur als Punkt auf die mit photographischem Papier bespannte Walze W . Diese ist 5 cm breit, besitzt 105 cm

1) Rep. 1892, p. 107; Seism. Journ. II, 1893, p. 93 ff.; Rep. 1895, p. 4 ff.

2) Seism. Journ. III, 1894, p. 55 ff.; Nat. 1895, Bd. 51, p. 180.

Umfang und vollendet eine Revolution in 7 Tagen, durchläuft in 24^h also 15 cm. Die Spalte in p erlauben es Dank ihrer verschiedenen Breite, (welche verschieden grosse Punkte erzeugen), auch heftige Bewegungen neben den feinsten Vibrationen gut zu erkennen. Milne empfiehlt auch, den Arm l aus Messing oder Ebenholz zu fertigen; ein Arm aus gefirnissetem Bambus von mehr als 160 cm Länge mit $t = 55^s$ und $R = 0'',08$ erwies sich als zu unstabil und allzusehr den stets vorhandenen Luftströmungen unterworfen. In Tokio wurden erst 6, dann 19 Apparate nach Fig. 40 a montirt, welche alle gut funktioniren; allerdings ist es bei dem leichten, nicht sehr kompendiösen Bau schwer, Luftzüge fernzuhalten. a ist auf einem, aus Backsteinen gemauerten Pfeiler von etwa 1 m Höhe, der in die Erde versenkt ist, errichtet. Mittels der einen der drei Fusschrauben, d ,

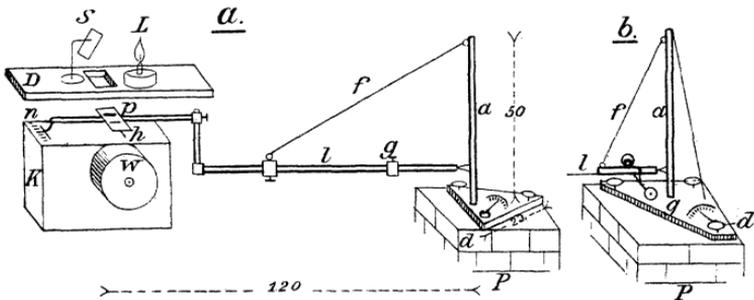


Fig. 40.

ist es möglich, der Säule a eine bekannte Neigung zu ertheilen; die Schraubenhöhe beträgt 1 mm und die Stellung ist an einer Skala abzulesen. Täglich wird der Stand des Armes l an seinem Ende n über einer Theilung durch ein Fenster des das ganze Instrument umschliessenden Kastens D (in der Fig. nur zum Theil angegeben) abgelesen. Zugleich wurde von Milne in Shide auf der Insel Wight ein Instrument aufgestellt, bei welchem l über 81 cm lang war und p aus Glimmer bestand. t war 16–18^s und R 0'',7; die Walze bewegte sich um 2 mm/h fort und der verlängerte Stundenzeiger einer geeignet angebrachten Uhr blendete das Licht stündlich für kurze Zeit ab, wodurch in einfachster Weise eine Zeitmarkirung geschaffen war. Neuerdings sind dann die ein wenig veränderten Pendel „ T “ und „ U “ (Fig. 40 b)¹⁾ in Shide aufgestellt worden, welche das Balancirgewicht g tragen und bei denen die Platte p nur einen einzigen

1) Rep. 1896, p. 4 ff.

Spalt trägt. Bei „*T*“, welches am 24. April 1895 montirt wurde, besteht *l* aus Aluminium und ist 97,5 cm lang, *t* ist 31^s, *R* ist 0“,2. Am 22. Juni 1895 wurde „*U*“ $\frac{3}{4}$ Stunden von „*T*“ entfernt im „Carisbrooke castle“ aufgestellt, dessen *t* 8^s und *R* 0“,5 erreicht. Pro Tag wird ca. 1 m Papier verbraucht. Endlich stand in der Universität Tokio vom 19. September 1894 bis 1. März 1896 das Pendel „*L*“, dessen Arm 162,5 cm, *t* 28^s, *R* 0“,5 betrug.

Für stärkere Stöße wiederum ist das Horizontalpendel von A. Schmidt¹⁾ in Stuttgart geeignet, in welchem wir (Fig. 41) eine vereinfachte Form der Fig. 37 a vor uns haben. *a* und *b* sind Röhren, *m* Parallelepipeda aus Gusseisen von 1,5 kg Gesamtgewicht. Die

Spitze *c*, welche zum Schutze vor Rost in Oel gebettet wird, ist hier als Rotationskörper benutzt und erfährt einen Druck schief zu ihrer Achse, wodurch die Reibung erhöht wird. Die Korrekturen *T* und *N*, welche in der Figur nicht angegeben sind, bestehen in einer einfachen Schraubvorrichtung. Das Instrument zeichnet nicht permanent auf, sondern nur das Maximum der Bewegung,

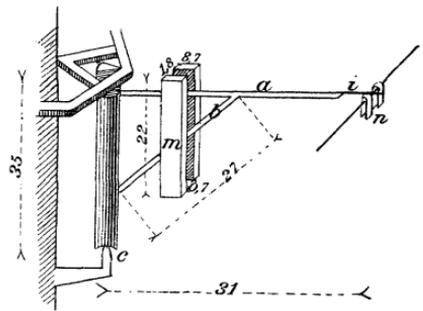


Fig. 41.

indem die Spitze *i* die Kupfer- (oder Papier-)reiterchen *n* auf einem horizontalen Drahte verschiebt. Dass hierdurch wegen der Eigenschwingungen nur relative Vergleiche zwischen Intensitäten möglich sind, liegt auf der Hand. Auch hier sind aus den bekannten Gründen drei Pendel in 45° Azimutalabstand kombinirt, welcher besser auf 60° zu erhöhen wäre. Diese Apparate sind in Hohenheim bei Stuttgart, in Stuttgart (Naturalienkabinet), Tübingen, Biberach, Ravensburg und in der Orangerie zu Strassburg (hier an der Wand eines kleinen Steinhauses) montirt, aber das häufige Versagen beweist, dass die mit Rücksicht auf Billigkeit wohl nicht allzu sorgfältig gefertigten Schneiden und Spitzen eine Reibung verursachen, welche von der Masse zumal bei ihrer geringen Entfernung von der Achse kaum überwunden wird. Gerade in erdbebenarmen Ländern aber ist es nöthig, empfindliche Apparate aufzustellen, weil man auf die Beobachtung der schwachen Oscillationen in Folge ferner Beben beschränkt bleibt. Dass der Apparat an sich genügend ist, beweist das Funktioniren

1) Ber. üb. d. 26. Vers. d. oberrh. geol. Ver. (Hohenheim) 1893 (Mack).

Punkte. (Hierdurch werden hellere Lichtpunkte erzeugt, als wenn man, wie Milne, durch zwei gekreuzte Schlitze von dem Spaltbild nur einen Punkt hindurchlässt.) Die Walze legt in 1^h 11 mm, jetzt, in Strassburg, 22 mm zurück, t beträgt 12—17^s und R 0“,04 bis 0“,07. Hier ist also ein enorm hoher Grad der Empfindlichkeit für Oscillationen erreicht, mit dem sich nur die Feinheit des Darwin'schen Bifilarpendels vergleichen kann, und welcher vor allem durch die praktische Richtung der Stahlspitzen erreicht ist, die den ganzen Druck in ihren Achsen erleiden. Zudem sind die Spitzen Repsold'sches Fabrikat und von eminenten Feinheit.

v. Rebeur benutzte das Instrument früher nur zur Messung langsamer Lothschwankungen und erkannte seinen Apparat erst fast zufällig als Seismographen. Für ihn gilt das in der Einleitung dieses Abschnittes Gesagte in vollstem Maasse. Da das Horizontalpendel gerade Neigungsänderungen vor allen anderen Instrumenten angiebt, und dort, wo Vertikalpendel versagen, also bei grosser Entfernung vom Epicentrum, Erdbebenstörungen aufzeichnet, so folgt, dass die Bewegungen der Erde an diesen Orten nicht etwa Horizontalbeschleunigungen¹⁾ wie Schmidt meint, als vielmehr Oscillationen sind. Auch ist es in der That nicht so bedenklich, hieraus die Folgerung zu ziehen, dass Erdbebenwellen bis 20 cm Höhe entstehen, denn bei ihrer sehr grossen Länge und bei einer Periode von 20^s—60^s müssen diese Bewegungen absolut unfühlerbar und für Gebäude ohne jede Wirkung bleiben. Dass die Instrumente in der Nähe des Epicentrums nichts anderes als kleine Horizontalverschiebungen angezeigt hätten, sind wir ja nach dem in der Einleitung über die Pendelbewegung Gesagten durchaus nicht berechtigt anzunehmen. Also auch dort haben wir vielleicht schon eine nicht unbedeutende Wellenbewegung²⁾. Ja es ist umgekehrt viel unwahrscheinlicher, dass vibrirende Horizontalbeschleunigungen von wenigen mm Ausmaass, wie sie so oft aus den Seismometeraufzeichnungen einseitig herausgelesen werden, im Stande sein könnten, eine Stadt zu zerstören. So kleine Erzitterungen werden leicht innerhalb des Bauwerkes vernichtet, (und darauf ist es theilweise zurückzuführen, dass das v. Rebeur'sche Pendel, welches auf einem astronomischen Pfeiler 5 m hoch über der Erde aufgestellt war, bei nahen Beben versagte). Nehmen wir aber an, dass auch in der Nähe des Epicentrums Undulationen auftreten, so ist es, wenn

¹⁾ Schmidt, Aberration d. Lothlinie. Beitr. z. Geoph. III, 1, 1896.

²⁾ Durch viele direkte Beobachtungen bestätigt.

man mit dem Horizontalpendel auch nahe Erdbeben beobachten will, nothwendig, t nicht zu gross gegen die Periode T der Erdbebewegung zu machen, weil es nun ja erforderlich ist, dass das Pendel möglichst sofort in die neuen Lagen folgt. Machen wir t aber zu klein, so kann eintreten, was Schmidt von dem kurzen Pendel auf dem schaukelnden Schiffe sagt, dass sich die Wirkung der Hin- und Herbewegung und der Neigung einander aufheben. Es handelt sich daher darum, eine mittlere Grösse zu finden, bei welcher das Pendel einerseits nicht zu träge ist, andererseits nicht momentan reagirt, um sowohl bei nahen, wie auch bei fernen Beben Aufzeichnungen zu erhalten, ohne dabei R sehr vergrössern zu müssen.

Dies hat der Verfasser mit einem bereits kurz beschriebenen Apparate¹⁾ versucht, welcher seit dem 19. Februar 1897 auf einem kurzen, starren Steinpfeiler im Keller der Strassburger Sternwarte montirt ist. Bei fernen Erdbeben hat das neue Instrument seine alte Eigenschaft behalten, aber auch bei in der Nähe entstandenen, makroseismisch fühlbaren Erdstössen, z. B. am 17. September 1897 Richtung, Intensität und Zeitpunkt angegeben. Dies wurde durch Verkürzung der Pendellänge von 10 auf 6,2 cm und Vergrösserung des Gewichtes von 42 auf nahezu 200 g erreicht. Denn nunmehr bleibt der Schwerpunkt des Pendels bei nahen Beben stationär und werden die Reibungswiderstände, obwohl durch die grössere Masse verstärkt, von derselben doch leichter überwunden. Die Vergrösserung der Horizontalverschiebungen beträgt das 1,62fache des v. Rebeur'schen Instrumentes. Die stabilen, schweren Vertikalpendel der Italiener vergrössern diese Bewegungen etwa 80 mal, das v. Rebeur'sche 100 und das des Verfassers etwa 160mal (wenn der Abstand: Walze—Spiegel = 5 m ist). Die Genauigkeit der Richtungsangabe von Stössen leidet unter der geringen Geschwindigkeit, mit welcher bis jetzt der Registrirstreifen bewegt wurde. So lange man nämlich bei einer plötzlichen Schwingung nicht erkennen kann, nach welcher Seite hin der erste Ausschlag stattgefunden hat, entsprechen bei zwei zu einander senkrechten Horizontalpendeln vier Richtungen der Beobachtung. Vergrössert man die Registrirgeschwindigkeit, so erfolgt Eindeutigkeit. Verfasser hat nun drei Pendel in einem Azimutalabstand von 120° in einem Gehäuse aufgehängt, bei welchen im ersten Falle nur noch eine Unsicherheit um 180° bleibt, bei grösserer Walzengeschwindigkeit aber die Zuverlässigkeit der Richtungsbestimmung das

1) Ehlert, Horizontalpendel-Beob., Anhang. Beiträge III, 1, 1896.

1,43—2 fache von einer solchen aus nur zwei Pendeln beträgt; zudem ist der Apparat in dieser Form völlig symmetrisch, was bezüglich der Stabilität der Montirung nicht zu unterschätzen ist. Die Geschwindigkeit des Registrirstreifens betrug bis jetzt 22 mm/h, wird aber im November 1897 noch auf 120 mm erhöht. Sodann wird Verfasser über die Resultate Weiteres berichten. In diesem Heft der „Beiträge zur Geophysik“ erscheint zugleich eine ausführlichere Beschreibung des Apparates, welche vor allem sein Verhältniss zu den Vertikalpendeln darzulegen bemüht sein wird. Bevor wir die Einzelheiten des Instrumentes näher beschreiben, sei das nach v. Rebeur's Angaben von Stückrath konstruirte Horizontalpendel noch erwähnt¹⁾ (Fig. 43). Dasselbe gleicht dem alten Instrumnet, ist nur noch reibungsloser, empfindlicher (für Neigungsänderungen) und verfeinert konstruirt, zudem sind zwei zu einander senkrechte Pendelkombinirt. Aus diesem Grunde muss jedes derselben für sich auf E und N korrigirbar sein. Ersteres wird durch Drehung der unteren horizontalen Spitze i' mittels

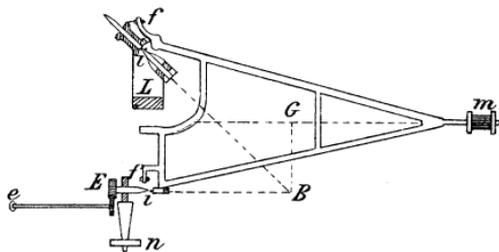


Fig. 43.

Schraube E und Schlüssel e sehr fein bewirkt; die Korrektion N geschieht in nicht gerade wirksamer Weise durch Drehung derselben Spitze i' um die senkrechte Achse n . Interessant ist die Stellung der Spitzen, deren jede dadurch in der Achsenrichtung allein beansprucht wird, dass sie nach demjenigen Punkte B gerichtet sind, wo die Verlängerung von i' die im Schwerpunkt G angreifende Schwerkraftsrichtung schneidet. Die Spitze i ist auf dem regulirbaren Bock L um eine horizontale Achse drehbar befestigt, ferner sind i und die beiden ebenen Achatlager vor- und rückwärts verstellbar. Die Spitzen sind durch Arretirungshülsen vor der Zerstörung bei dem Auf- und Abnehmen der Pendel gesichert. Das Pendel selbst besteht aus Aluminiumröhren und trägt das kleine Gewicht m . Die sekundären Spitzen f dienen, wie die Durchbohrung f in Fig. 42, zur Messung von T_0 .

Schwerer, kürzer und daher nach obigen Betrachtungen als Seismograph verwendbarer ist, wie erwähnt, das Pendel des Verfassers²⁾

1) Hecker, Das Horizontalpendel. Z. f. Instr.-Kde. XVI, Jan. 1896.

2) Ehlert, Hor.-P.-Beob., Anhang. Beiträge III, 1, 96.

(Fig. 44), welcher die Art der Regulirung gegen Fig. 43 verändert und N wohl verbessert hat. Hier wird der schraffierte Theil b unten durch die Schraube N senkrecht gegen die Papierebene gedreht, während E durch Bewegung der Schraube E geschieht, welche unten gegen den durch eine Feder angedrückten Theil t wirkt. Richtung der Spitzen und Arretirungshülsen sind dem Stückrath'schen Muster entnommen, dagegen sind wegen der grösseren Stabilität wieder sphärische Achatlager von 2 mm Radius eingeführt. Die Registrirung ist natürlich optisch. S ist der Pendelspiegel, während der Spiegel S' mit dem sehr schweren, hufeisenförmigen Gusseisengehäuse fest verbunden ist. Alle drei Pendel registriren auf einer einzigen Walze,

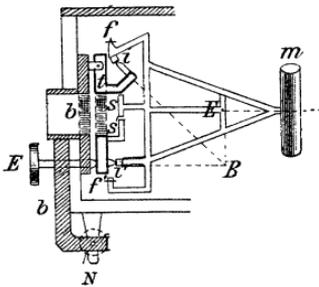


Fig. 44.

bei welcher die Zeitlinie stündlich automatisch unterbrochen wird. Das Instrument, über dessen Leistungen bei grösserer Registrirgeschwindigkeit, wie gesagt, so bald als möglich referirt werden soll ist von den Mechanikern J. und A. Bosch in Strassburg technisch sehr gut und weit billiger angefertigt worden als das Modell Fig. 43. — Die Haupteigenschaft dieser

Apparate, Neigungsänderungen in enormer Vergrösserung anzuzeigen, hat neben dem Nachweis der grossen Verbreitung der Erdbebenwellen auf die Kenntniss der noch nicht völlig befriedigend erklärten¹⁾ sogenannten Pulsationen geführt, und auch die Theorie der wesentlich unter dem Einflusse des Windes entstehenden mikroseismischen Bewegungen erhält durch die Beobachtungen des dreifachen Pendels, wie der Verfasser bereits Gelegenheit zu sehen hatte, die wesentlichste Unterstützung. Verringert man nämlich den Abstand der Masse von der Achse noch mehr als in Fig. 44, so sind die Pendel beständig in grösster Bewegung und die äusserst scharfen Kurven erlauben (bei der wegen der Verdreifachung nur mehr 180° betragenden Zweideutigkeit bezüglich der Richtung) eine genaue Diskussion der Bodenbewegung. Es braucht nicht besonders erwähnt zu werden, dass die Einflüsse des Verkehrs völlig abgehalten werden.

Ein nicht zu gering zu veranschlagender Vortheil aller Horizontalpendel gegenüber den Vertikalpendeln, vor allen den längeren, ist aber ihre leichte Transportabilität, die besonders in der kompendiösen

¹⁾ Ehlert, Hor.-P.-Beob., Beiträge III, 1, p. 199.

Form des v. Rebeurschen Apparates und bei einer Montirung auf kleinen zusammensetzbaren Steinpostamenten geradezu den Charakter von Reiseinstrumenten erhalten und leicht in Bergwerken und anderen engen Räumen montirt werden können. Das grosse Gewicht des cylinderförmigen Gestdles (das des Pendels in Fig. 44 wiegt etwa 68 kg) macht die Aufsellung in kurzer Zeit stabil und bei der symmetrischen Anordnung frei von der Tendenz zu einseitiger Neigung.

B. Rollende Körper.

Alle Erdbebeninstrumente sind auf Gleichgewichtsbedingungen aufgebaut und es handelt sich immer darum, bei einer eintretenden Aenderung der Neigung oder der horizontalen Lagerung die sofort den Ausgleich erstrebende Wirkung der Schwerkraft um so mehr zu eliminiren, je mehr man quantitative Messungen von irgendwelcher Genauigkeit vorzunehmen beabsichtigt. Daher die Astasirungen an den Vertikalpendeln, die Einrichtung der Horizontalpendel. Ein Körper, welcher stets in seinem Schwerpunkt senkrecht über seinem Fusspunkt liegt und daher in jedweder Lage auf einer Niveaufläche stationär verharrt, ist aber die homogene Kugel. Nur eine von aussen wirkende Kraft vermag dieselbe zu bewegen, sie selbst besitzt keine Eigentendenz und allein die Reibung lässt den erhaltenen Anstoss ermatten. Denken wir uns eine harte Kugel auf einer völlig ebenen, horizontalen und mit der Erde fest verbundenen Fläche liegend, so bleibt bei einer Horizontalbewegung der letzteren die in Folge der Reibung an dem Berührungspunkt angestossene Kugel zurückrollend in ihrem Mittelpunkt stationär. Um als Seismograph zu funktionieren, müsste die Kugel, sobald die Beschleunigung gleich Null geworden ist, relativ zu ihrer Unterlage ebenfalls zur Ruhe kommen. Dies geschieht aber bei der geringen Reibung wegen des Beharrungsgesetzes nie, sondern die Kugel rollt weiter und wird erst bei einer Umkehr des Bewegungssinnes der Platte verspätet durch die Reibung auf der Unterlage zur Umkehr gezwungen. Die Reibung grösser zu machen verbietet sich aus Gründen der Empfindlichkeit, und hierin liegt einer der Nachtheile der als Seismometer verwendeten rollenden Massen. Dasselbe tritt verstärkt bei Neigungsänderungen ein, und die Unmöglichkeit, die gemessenen Ausschläge in Folge von Oscillationen und von Horizontalbeschleunigungen auf ein gemeinsames Maass reduciren und überhaupt von einander trennen zu können, bricht über

diese Seismometer eigentlich schon den Stab. Immerhin haben dieselben in der Seismometrie eine grosse Rolle gespielt, und man muss eingestehen, dass sie bei stärkeren Stössen immerhin einen Anhalt über die Amplitude, und eine ziemlich genaue Angabe der ersten Richtung gewähren. Die Theorie der Fälle, in welchen die Kugel statt auf einer Ebene wieder in einer Kugelschale oder auf einer grösseren Kugeloberfläche rollt (letzteres ohne praktische Bedeutung), haben Ewing¹⁾ und Gray²⁾ behandelt. Es kommt darauf an, dass der Schwerpunkt der Kugel stets senkrecht über ihrer Unterstützung zu liegen kommt. Rollt eine homogene Kugel auf einer Ebene, so ist diese Bedingung sofort erfüllt, da Centrum und Schwerpunkt hier zusammenfallen; auf einer konkaven sphärischen Fläche muss man den Schwerpunkt einer theilweise kugelförmigen Masse aufwärts rücken, wie man durch eine leichte geometrische Ueberlegung erkennt, auf einer konvexen Fläche dagegen abwärts. Man erhält die Lage des Schwerpunktes durch den Schnitt des senkrechten Kugeldurchmessers mit dem einen Schenkel eines Winkels α , dessen Scheitel in einem neuen Berührungspunkte der beiden Flächen liegt, und dessen anderer, fester Schenkel die Verbindungslinie dieses Punktes mit dem Kugelcentrum ist. α ist der während der Abrollung durchlaufene sphärische Winkel der als Unterlage dienenden Fläche, welcher bei der Ebene stets gleich Null ist. Wegen der durch die Registrirvorrichtung eingeführten Reibung bleibt nicht genau das Centrum, sondern ein höherer Punkt (meist in $\frac{7}{5}$ des Radius gelegen) stationär und dieser wird sodann als Referenzpunkt für den Indikator gewählt.

Schon in den Jahren 1876 und 1877 hatte Verbeck³⁾ ein praktisches Seismometer auf dieser Grundlage konstruirt. Er legte auf eine horizontale Platte vier Krystallkugeln von 2,5 cm Durchmesser und beschwerte dieselben mit einer zweiten, ebenen Tafel. Ein an die Unterfläche der oberen Platte angelegter Indikator ragt durch ein Loch der Grundfläche, woselbst er durch ein kardanisches Gelenk gehalten wird, weiter bis zur Registrirfläche herab. — Ohne auf den Prioritätsstreit⁴⁾ zwischen Johnston-Lavis und Stevenson weiter einzugehen, führen wir hier zuerst den Apparat von Charles A.

1) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 29 f., § 30.

2) Phil. Mag. 5. Ser., Vol. 12, 1881, 2, p. 199 ff.

3) Milne, Monogr. 1886, p. 31; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 30 f., § 31.

4) Nat. Bd. 31, 1884, p. 29.

Stevenson an, welcher der Anregung seines Vaters David Stevenson¹⁾ folgend ein ganz ähnliches Instrument (Fig. 45) konstruierte²⁾. D. Stevenson hatte Anfang der 80er Jahre vorgeschlagen, die von Erdbeben bedrohten Gebäude auf eine auf Kugeln ruhenden Platte zu setzen. In dem Apparat ruhen auf der horizontalen, quadratischen Glasplatte P' von 12,7 cm Seitenlänge nur drei, (wohl vorteilhafter als vier), 3,8 cm starke Elfenbeinkugeln K mit der der unteren gleichen Glasscheibe P . An dieser

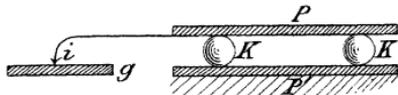


Fig. 45.

ist der biegsame Index i mit einer auf der berussten Glastafel g schreibenden Stahlspitze befestigt. P rollt gegen P' rückwärts und i zeichnet daher die doppelte Verschiebung von P' auf; ausserdem ist noch eine achtfache Vergrösserung dazugefügt. Ewing³⁾ hält es für richtiger, P in einer Höhe von $\frac{7}{5}$ des Kugelradius an den Kugeln anzubringen, was bezüglich der Genauigkeit aus den erörterten Gründen zu empfehlen ist, wenn schon die technische Ausführung recht schwierig wäre.

Johnston-Lavis hat, eigenartig wie immer, auch hier einige Aenderungen geschaffen, welche als Fortschritt zu begrüßen sind. Bei seinem Apparate⁴⁾ ist die Masse m (Fig. 46) zwischen die Kugeln KK' (je drei) aus Elfenbein oder Glas und die Glasplatten p und p' durch die Feder f fein regulierbar angespannt. Während p und p' sich z. B. nach rechts bewegen, rollt m nach links und registriert die doppelte Amplitude in folgender Weise: an der

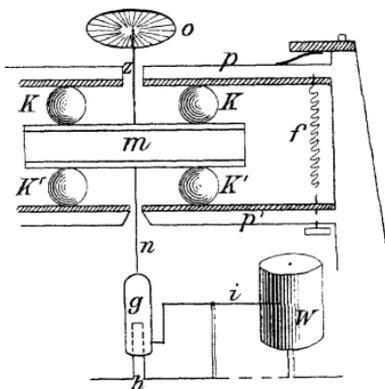


Fig. 46.

Unterseite von m ist der Faden n durch die Platte p' hindurchgeführt, welcher in einer zum Schutze gegen zu grosse Schwankungen über dem Stumpfe h spielenden Glocke g endet. Mit dieser ist der hebelartige Index, welcher auf der vertikalen Walze W schreibt, verbunden. Bei einer seitlichen Verschiebung des Loches in p' gegen m wird n mit-

1) Nat. Bd. 28, 1883, p. 117, Amali VII, 4, 1886, p. 27.

2) Nat. Bd. 28, 1883, p. 117.

3) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 31, § 31.

4) Nat. Bd. 30, 1884, p. 616.

genommen und g , an h streifend mit i aufwärts bewegt. Um aber auch die Bewegungsrichtung und zwar auf 90° genau zu erhalten, streift der von m aus aufwärts errichtete Stift z auf der in 40 isolirte Sektoren getheilten (in Fig. 46 von unten gesehen) Scheibe o , deren jeder Theil mittels einer besonderen elektrischen Verbindung einen Stift auf eine Walze niederdrückt, sobald ein Kontakt entsteht. Diese Methode ist recht gut, wenn auch etwas weitläufig. Über die Leistungen des bei Anlass des Bebens auf Ischia konstruirten Apparates ist dem Verfasser nichts bekannt geworden. Für starke horizontale Stöße dürfte die Einrichtung mit Einschränkung auf das in der Einleitung dieses Abschnittes Gesagte aber nicht ungeeignet sein. Statt des Rollapparates hatte Johnston-Lavis auch ein einfaches Pendel angewendet, wie hier nebenbei bemerkt sein soll.

Th. Gray sah von einer reibenden Belastung der Kugeln ab und musste daher das Weiterrollen seiner Kugel in anderer Weise zu verhindern suchen (Fig. 47). Sein, wie man es

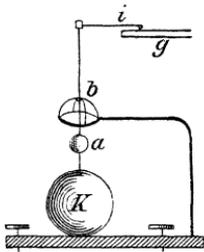


Fig. 47.

gut bezeichnen kann, Kugelroll-Seismometer¹⁾ vom Jahre 1881 besteht aus der Kugel K mit einem Lager für die Spitze des mit der kleinen Masse a beschwerten Bambusstabes, welcher bei der Scheibe b in kardanischer Federsuspension mit der Erde fest verbunden ist. Geht bei einer Störung die Grundplatte und b z. B. nach rechts, so bewegt sich der obere Theil von K nach links,

wird aber bald durch das Zurückschwingen des kurzen Pendels a in seinem Rollen gehemmt. Der obere Theil der Kugel bewegt sich geringer wie die untere Hälfte, indem das Rotationscentrum um etwa $\frac{2}{5}$ des Radius in die Höhe wandert. Dadurch wird aber die Vergrößerung des auf g schreibenden Index i etwas verringert, denn der Drehpunkt desselben wandert um so tiefer, je höher der stationäre Punkt von K zu liegen kommt. Je nach der Periode der Erdbewegung nun geräth das Pendel a in grössere oder kleinere Schwingungen, und hierin liegt der Hauptmangel des Instrumentes, dass es mit beständig variabler Vergrößerung arbeitet; auch ist es schwer, mehrere identische Apparate anzufertigen.

Von dieser Schwierigkeit freier ist Gray's Cylinderroll-Seismograph²⁾, bei dem zwei zu einander senkrecht liegende,

1) Phil. Mag. 5. Ser., Bd. 12, 1881, 2, p. 199; Annali VIII, 4, 1886, p. 26, Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 30 f., § 31.

2) Phil. Mag. 5. Ser., Bd. 12, 1881, 2, p. 199 ff. u. 356 ff.; Trans. III, 1881, p. 143; Tokio Daig. Nr. 9, 83, p. 34 f., § 34.

horizontale Cylinder die Stelle uer Kugel *K* in Fig. 47 ersetzen. Zu dem Zwecke, den astatischen Körpern ebenfalls etwas Stabilität zu ertheilen, ist in die hohlen Cylinder ein runder Stab hineingelegt. Auch hierdurch wird ein Weiterrollen verhindert und die in mehr als $\frac{3}{2}$ des Cylinderradius über der Basis gelegene stationäre Linie parallel zu sich selbst wieder etwas gesenkt, in welchem Grade dies jedoch geschieht, hängt in hohem Maasse von dem Verhältniss der beiden Cylinder zu einander ab. Wie einfach die Registrirvorrichtung nunmehr ist, deutet Fig. 48 an. Endlich ist von Gray auch vorgeschlagen worden, die stationären Linien zweier paralleler Cylinder zur Unterlage einer in der Richtung senkrecht zu den Cylindermassen stationären Ebene zu machen, auf dieser einen dritten Cylinder senkrecht zu den unteren zu legen und dessen stationäre Linie als Grundlage für die Registrirung zu wählen. Hier aber, wie schon in Fig. 48,

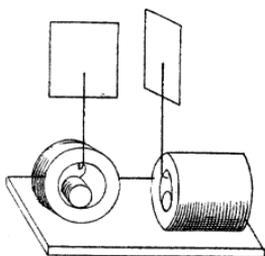


Fig. 48.

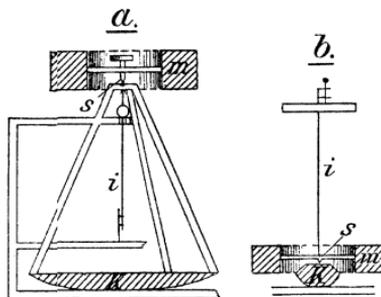


Fig. 49.

erzeugt die Reibung auf einer, bzw. auf drei Linien so viel Hemmung, dass in der Praxis kleinere Bewegungen unangezeigt bleiben.

Viel besser sind daher diejenigen Rollseismometer, bei welchen schwache Stabilität nicht durch reibende Hemmung, sondern dadurch erreicht ist, dass statt des ganzen Rotationskörpers nur ein Segment genommen wird. Schneidet man von einer Kugel ein Segment ab, so rückt der Schwerpunkt auf dem durch die Mitte des Schnittes gehenden Durchmesser von der Schnittfläche fort und wir erhalten einen um so stabileren Körper, je mehr wir von ihm abschneiden. Nun ist es aber praktisch besser, die entfernte Kugelmasse zu ersetzen und als Ring etwas unter dem Centrum des übrig bleibenden Segmentes anzubringen. Ob dann die Form Fig. 49a oder b resultirt, ist unwesentlich, doch ist bei *a* die Vergrößerung erst mittelst eines besonderen Mechanismus zu bewerkstelligen¹⁾. Die

¹⁾ Trans. III, 1883, p. 7 ff. (Gray); Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 33 f. Annali VIII, 4, 1886, p. 26; Milne, Monogr. 1886, p. 29 f.

Wirkungsweise dieser von Gray 1883 erdachten Apparate ist ja klar. Bewegt sich die Grundplatte z. B. nach rechts, so rollt das Segment K nach links, während die auf der Spitze s ruhende Masse m sich parallel zu sich selbst verschiebt und stets senkrecht über dem Unterstützungspunkte bleibt. Ein Umkippen erfolgt natürlich erst dann, wenn die Kalotte bei grosser Bewegung abgerollt sein sollte und s jenseits des Fusspunktes zu liegen kommt. Ist s nahe unter dem Centrum von K und die Kalotte K selbst leicht, so hat der Apparat sehr schwache Stabilität und keine störenden Eigenschwingungen. Es ist dies überhaupt der vollkommenste aller Rollseismographen. Natürlich hat Gray auch Apparate mit Cylindersegmenten konstruirt, welche aber wieder den Nachtheil grosser Reibung an sich haben.

Sehr geistvoll ist die Anwendung dieses Prinzips von T. Alexander¹⁾, in seinem Seismometer „mit Kugel und Schale“ (Fig. 50).

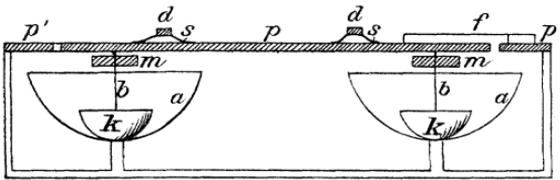


Fig 50.

In den grossen Halbkugeln a liegen kleinere Kugelsegmente k mit den die Masse m tragenden Stiften b . Wegen der krummen Grundfläche a muss nach dem früher über Astasie Gesagten der

Schwerpunkt in der Höhe liegen. Das Verhältniss der Radien von a und k ist derart, dass die Spitzen von b (es sind drei Schalen a in gleichen Abständen von einander aufgestellt, von denen in Fig. 50 nur zwei gezeichnet sind) bei einem Rollen von k in a stets in einer horizontalen, nunmehr stationären Ebene bleiben. Auf die Spitzen von b ist daher die Platte p gelegt, auf welcher ein an dem mit der Erde verbundenen Ringe p' befestigter Pantograph f die Horizontalbewegung der Erde aufzeichnet. Zur Verstärkung der Stabilität, allerdings verbunden mit einer Abnahme der Empfindlichkeit, ist die Scheibe p mittelst der Schutzfedern s durch die Gewichte d belastet. Es ist zu bedauern, dass der Apparat nicht längere Zeit montirt worden ist, denn man kann von ihm Resultate erwarten, welche denen der Modelle Fig. 49 in nichts nachstehen. Allerdings ist die ganze Einrichtung komplizirter und erfordert grosse Genauigkeit in der Ausführung. Die Veränderung, statt der Kugelsegmente Walzenteile

¹⁾ Trans. VI, 1883, p. 30.

anzuwenden, ist offenbar eine Verschlechterung, wenn auch eine mechanische Vereinfachung.

E. A. Cowper¹⁾ setzte einen Wagen m (Fig. 51) auf eine Cylinderfläche W und liess den durch einen Schlitz in W gehenden Index i weiter unten aufzeichnen. Hier wird die Reaktion des Apparates um so schwächer, je grösser die an W ertheilte Horizontalamplitude ist, weil die Neigung der Bahn immer mehr wächst. Ausserdem hängt es völlig von der Krümmung dieser Bahn W ab, ob die Periode, mit welcher der Wagen hin und her rollt, mit der der Erde koincidirt, oder nicht.

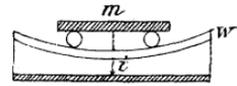


Fig. 51.

Diese ist aber variabel, also wird in allen Fällen eine unberechenbare Verzerrung in der Abbildung der Erdbewegung nicht ausbleiben können; von der Verwirrung, welche Oscillationen hervorrufen, ganz zu schweigen. Natürlich gehören zwei zu einander senkrecht aufgestellte Apparate zusammen.

C. Seismometer auf hydrostatischer Grundlage.

Setzt man an Stelle der im vorigen Abschnitt wesentlichen Kugel das System der trägen Theilchen einer Flüssigkeit, so erhält man eine neue Art von Erdbebenmessern, bei denen durch die innere, geringe Reibung etwa dieselben Verhältnisse geschaffen sind wie bei der auf Kugeln rollenden Platte. Daher gelten aber auch bei den hydrostatischen Seismographen die Bemerkungen des vorigen Abschnittes, wozu noch kommt, dass die eigene Schwingungsperiode der in ein irgendwie beschaffenes Gefäss eingeschlossenen Flüssigkeit von der Länge des Gefässes und der Elasticität der Flüssigkeit abhängt, welche für jedes Instrument nahezu eine Konstante ist. Da aber die Schwingungsperiode der Erdtheilchen bei Erdbeben variabel ist, erhalten wir je nach dem Verstärkungen oder Abschwächungen in der Amplitude der in Schwingungen versetzten Flüssigkeit, über die wir jedoch niemals auch nur das geringste Urtheil zu fällen im Stande sind. Dies gilt sowohl für Horizontalbeschleunigungen, bei welchen die zurückrollenden Partikel eine Aufstauung nach der Richtung verursacht, von der die Bewegung herkommt, als auch für Neigungsänderungen, nur dass auch hier diese beiden in der Natur nebeneinander vorkommenden Bewegungsarten in völlig verschiedenem Grade

1) Rep. 1888, p. 818.

gleichartige Wirkungen erzielen. Man ist also abermals nicht im Stande, zu entscheiden, was die Instrumente eigentlich aussagen, und in Folge der stets vorhandenen, meist kleinen Eigenperiode sind wir auch über die Intensität im Unklaren. Es ergeht uns hier, wie mit den Pendeln mittlerer Grösse, bei deren Aufzeichnungen die Superposition von der Grundlage kaum zu unterscheiden ist. Andererseits sind diese hier zu besprechenden Instrumente so einfach und billig, dass man die Mängel leichter verschmerzen wird, wie bei den rollenden Körpern, ferner ist es ja auch, wie Grablovitz beweist, durch die Wahl eines sehr grossen Instrumentes möglich, genauere Intensitätsangaben zu bewirken. Immerhin haben die hydrostatischen Apparate viel genützt, und nicht zum mindesten in Folge ihrer Einfachheit; aber man darf sich darüber nicht täuschen, dass ihre Angaben mehr oder weniger nur seismoskopischen Werth haben.

Die Instrumente können wir eintheilen in einfache Ueberlaufgefässe, ferner in solche, deren bewegte Flüssigkeit selbst durch Abfärben oder durch ein aufgesetztes Schiffchen mit Mast die Bewegung ihrer Oberfläche vergrössert, dann die feineren Methoden, den Reflex der spiegelnden Niveaufläche gegen eine feste Marke zu beobachten, und endlich die in einer Flüssigkeit schwimmenden, untergetauchten Körper. Wie man sieht, ist es eigentlich nur die Registrirmethode, welche diese Unterscheidungen ermöglicht.

Schon im Jahre 1742 hatte Chandler in Lissabon ein Ueberlaufgefäss angewendet; weit bekannter ist aber der nach dem Namen des Erfinders benannte „Cacciatore“¹⁾ vom Jahre 1848 geworden. Dieser war ein mit mehreren Ausflussöffnungen versehenes, Quecksilber enthaltendes Gefäss, welches durch die abzuwägende Menge des an einer bestimmten Stelle ausgeflossenen Quecksilbers Intensität und Richtung des als einfach vorausgesetzten Erdstosses anzeigen sollte. Ein ähnliches Instrument erfand 1834 Coulier²⁾, der ebenfalls Quecksilber anwendete, welches als sehr träge Flüssigkeit bei grossem spezifischem Gewicht die innere Reibung leicht überwindet und schwer den Bewegungen der Gefässwände nachfolgt, daher leicht zurückbleibt und empfindlich ist; ausserdem verdunstet es nicht leicht, wenn auch die Oxydation und die Ausdehnung bei der Erwärmung als Nachtheil anzusehen ist. Babbage³⁾ nahm dagegen Syrupmasse,

1) Milne, Monogr. 1886, p. 18 ff.; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 66 ff., § 63.

2) Hörnes, 1893, p. 155.

3) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 66, § 63.

die aber zu grossen Veränderungen in ihrer Zähigkeit ausgesetzt ist. Lepsius¹⁾ konstruirte ein Instrument, welches im Wesentlichen die Form des Coulier'schen Apparates besitzt (Fig. 52), und welches sich vor dem Cacciatore an Billigkeit, Empfindlichkeit und weitergehender Specialisirung der Direktionsangabe auszeichnet. Das Thongefäss *a* enthält 16 peripherische 3 cm tiefe Löcher *b*; in dem Centrum liegt die 8 cm weite sphärische, 5 mm tiefe Fläche *d* mit dem aufgekitteten 8,8 cm weiten, 5 mm tiefen Uhrglas *c*. Die Glasplatte *g* von 15 bis 20 mm Stärke bedeckt das Ganze. Der Apparat wird gut horizontal aufgestellt und sodann Quecksilber in das Uhrglas gerade bis zum Ueberlaufen eingefüllt, eine höchst missliche Operation. Hier

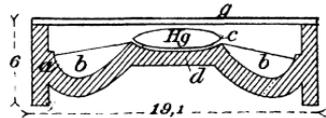


Fig. 52.

zeigte sich nun, was bei so vielen Apparaten, besonders den Seismoskopen wieder auftritt, dass die Oekonomie, einen billigen Aufstellungs-ort ohne Isolation zu wählen, höchst übel angebracht ist. Man stellte das Instrument, dessen Preis (4,50 Mk.) allerdings gering ist, in Kellern einfach auf dem Fussboden oder ähnlich auf und bemerkte nun, dass die durch den Verkehr erzeugten Bewegungen, auch nur das Herzu- oder Abtreten des Beobachters, das Quecksilber bereits zum Ueberlaufen brachten. Man verringerte daher die Empfindlichkeit thunlichst durch Fortnahme von Flüssigkeit, und zerstörte dadurch wiederum die Eignung als Seismometer, indem leichte Erdstösse nun auch nicht ausreichten, ein Ueberfliessen hervorzurufen. Es ist kein Zweifel, dass das Instrument bei von Verkehr isolirter Montirung (versenkter Pfeiler) in empfindliche Form gebracht, seinen Bedingungen Entsprechendes leisten wird. Man hat aber nach jenen Misserfolgen von einer weiteren Verwendung abgesehen, was auch weiter nicht zu bedauern ist, da die fast völlige Unmöglichkeit, das Quecksilber bis zu genügendem Grade der Empfindlichkeit aufzufüllen, die Ausdehnung bei Erwärmung, die Oxydation und die grosse Trägheit des Quecksilbers niemals diejenigen Bedingungen erhalten lässt, die eine weitere Empfehlung des Instrumentes begründen.

Der Ausfluss nach einer bestimmten Richtung hin kann auch durch Zufälligkeiten in der Glätte des Uhrglasrandes beeinflusst

¹⁾ Lepsius, Ueber ein neues Quecks.-Seismometer. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1884, Bd. 36, p. 29.

werden, und es ist daher besser, der von Palmieri¹⁾ eingeführten und von Mallet erweiterten Methode zu folgen, das Quecksilber in schwach an den Enden aufgebogene Röhren zu füllen. Sind dieselben eng, so steigt die Flüssigkeit bei der Stauung sehr stark an, und wir erhalten bei einer radialen Anordnung vieler Röhren, wie bei Palmieri, neben grösserer Empfindlichkeit auch eine zuverlässigere Bestimmung der Richtung. Natürlich ist es, wie Mallet richtig bemerkte, praktisch, die Enden nur schwach aufzubiegen, um wenig von der Stosskraft der Flüssigkeit aufgeben zu müssen. Die Eigenperiode einer Flüssigkeit in einer Röhre von der Länge l , welche um den Winkel Θ an den Enden aufgebogen ist, beträgt $2\pi\sqrt{\frac{l}{2g\sin\Theta}}$

wie bei einem Horizontalpendel von der Länge $\frac{l}{2}$, dessen Achse mit der Vertikalen den Winkel Θ einschliesst. Forster²⁾ hat hiermit eine geschickte Zeitbestimmung verbunden (Fig. 53). Wenn das bei b

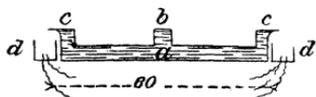


Fig. 53.

in die 12 mm weite Röhre a einzufüllende Quecksilber an den Tüllen c bei einem Stosse überfließt, so bedeckt es den Boden des Bechers d und verbindet durch sich selbst die Drahtenden, welche nahe aneinander aus dem Boden hervorragen. Da-

durch wird eine kontrollirte Uhr arretirt und eine Glocke geläutet. Zwei Röhren in der Richtung NS und EW bilden ein vollständiges Instrument. Bei einer isolirten Aufstellung ist es gut möglich, durch Abwägen der herausgeflossenen Quecksilbermengen die Richtung eines Stosses, wenn ein solcher allein entsteht, eindeutig zu bestimmen. Da aber stets mehrere Stösse zusammen auftreten, ist eine solche Bestimmung illusorisch und das Instrument ist nichts anderes, als ein erweitertes Seismoskop. Dies gilt natürlich in verstärktem Masse auch für das Lepsius'sche Gefäss.

Die Einrichtungen, bei welchen die Flüssigkeit nicht ausfließt, sondern, in Schwingungen gerathend, an der Innenseite der Gefässwand ihre Bewegung durch Abfärben oder Abspülen einer aufgetragenen Schicht markirt, sind aus allen den angeführten Gründen wegen der Komplizirtheit der Erdbebenbewegung als Seismometer nicht zu brauchen, ja die grobe, primitive Registrirmethode stellt sie sogar

1) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 66 f., § 63; Trans. III, 1881, p. 42–44.

2) Forster, Das Berner Beben vom 27. Januar 1881, p. 9–11.

noch unter die Seismoskope. Mallet¹⁾, Gray²⁾, Ewing¹⁾ und Milne²⁾ haben sich, besonders der letztere³⁾, mit der Aufgabe befasst, wie jene Markirung am besten auszuführen sei. Versuche, eine Kalkschicht abwaschen zu lassen, Tinte, Russ oder Lycopodiumsamen durch die Flüssigkeit (Wasser, Quecksilber oder Alkohol) an die Wand transportiren zu lassen, hatten alle ihre Nachtheile. Am besten schien es noch, an der Innenseite der gläsernen Gefäßwand eine Mischung von Pottasche und Gummi arabicum trocknen zu lassen und die Flüssigkeit mit demselben Gemenge zu versetzen; jede neue Berührung bildet sich als blauer Rand ab, nur muss die Mischung oft erneuert werden.

Viel besser und einfacher ist es daher, auf den Flüssigkeitsspiegel einen Schwimmer mit einem langen senkrechten Index aufzusetzen und diesen irgendwie registriren zu lassen.

Dies Prinzip wird direkt in dem „Erdbebengefäß“⁴⁾ von Grablovitz dargestellt, einem 1 m hoch mit Wasser gefüllten, 157 cm weiten, 110 cm tiefen, eingemauerten Cylinder, welcher mit einer Zinkscheibe (Durchmesser = 150 cm) als Schwimmer versehen ist. Zwei zu einander senkrechte Indices vergrößern die Oberflächenwellen 100 mal auf rasch rotirenden Walzen. Bei diesem Apparate kommen nun aber alle diejenigen Bedenken voll zur Geltung, welche p. 415 und 416 ausgesprochen sind, und von einer genauen Messung irgendwelcher Charakteristika einer Erdbebenbewegung kann hier nicht die Rede sein; zudem ist eine derartige Einrichtung auch sehr unempfindlich. — Feiner und in seinen Resultaten vollständiger ist dagegen der Röhrenseismograph von Palmieri⁵⁾, welcher 1856 auf dem Vesuv und später in Japan jahrelang beobachtet wurde. Hierbei schrieben farbige Indices auf einem mit der Geschwindigkeit von 1 mm/sec 48 Stunden lang laufenden Streifen die Komponenten der Horizontalbewegung auf. Später wurde eine elektrische Uhrarretirung damit verbunden. Mallet⁶⁾ hatte diese Methode ebenfalls mit Vortheil angewendet. Milne⁷⁾ schlug 1881 vor (Fig. 54b), den Mast f des Schwimmers s mit einigen über den Ring r gehängten, angefetteten Fäden n zu verbinden,

1) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 66.

2) Phil. Mag. Ser. 5, Bd. 12, 1881, 2, p. 356 ff.

3) Trans. III, 1881, p. 42 f.

4) Boll. Soc. Sism. II, 2, 1896, p. 41—61.

5) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 71 f., § 69; Milne, Monogr. 1886, p. 18 f.

6) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 66, § 63.

7) Traqs. III, 1881, p. 45.

welche bei einer relativen Verschiebung von f gegen r mehr oder weniger herabgezogen werden. Bei dem überhaupt geringen Grade der Genauigkeit aller dieser Beobachtungen ist es gewiss angebracht, von einer permanenten Registrirung abzusehen und sich mit dieser primitiveren Art zu begnügen. Franklin H. King¹⁾ beobachtete an einem 3 mal vergrößernden Index, der auf einem Schwimmer in einem 13 m tiefen Brunnen in Wisconsin aufgesetzt war, die sich auch hier noch fühlbar machenden Verkehrsstörungen.

In allen diesen Fällen hat aber die Flüssigkeit in Folge der engen Gefäße eine so kleine Eigenperiode, dass sie mit der eines Erdbebens oft koicidirt und dadurch verzerrte Angaben liefert. Vor allem aber, und damit bemerken wir einen anderen geradezu vernichtenden Nachtheil überhaupt aller hydrostatischer Apparate, wirken Vertikalbewegungen auf die Oberfläche der Flüssigkeit, auf welcher sie

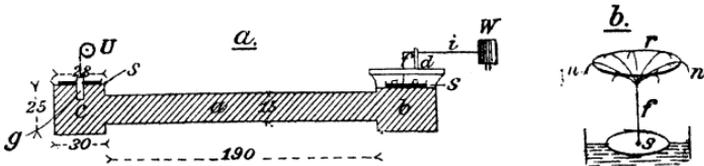
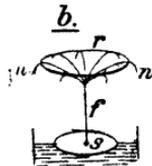


Fig. 54.



Transversalwellen erzeugen, genau in derselben Weise wie Horizontalverschiebungen, welche ein einseitiges Aufstauen bewirken. Wir sind also völlig im Unklaren darüber, ob wir Neigungsänderungen, Horizontal- oder Vertikalbeschleunigungen beobachten. Dazu kommt, dass alle diese Instrumente vor Frost und der störenden Verdunstung des Wassers etc. schwer zu schützen sind. Als einziges wegen seiner langen Eigenperiode einigermaßen brauchbares Instrument sind die geodynamischen Libellen von G. Grablovitz (Fig. 54a) zu nennen, welche vor allem auch lange Perioden der Lothschwankung zuverlässig und in starker Vergrößerung aufzeichnen²⁾. Die in den Kellerboden des Observatoriums zu Casamicciola eingemauerte, 15 cm weite, mit Wasser gefüllte Röhre a von 190 cm Länge endet in den 30 cm weiten, 25 cm hohen Cylindern b und c . Auf den gegen die Verdunstung durch eine Oelschicht bedeckten Wasserspiegeln schwimmen die 28 cm weiten, mit einem 3 cm hohen Rand versehenen Zinkscheiben s , deren

1) Rep. 1883, p. 288 ff.

2) Boll. Soc. Sism. II, 2, p. 41—46, 1896; Davison, Italien. Instrumente, 1896; Boll. Soc. Sism. I, 1, 1895; Nat. Bd. 52, p. 309.

eine, welche zum Registriren verwendet ist, mit 100 g belastet wird. Der Index f , welcher frei durch die Deckplatte des Gefässes geht, endet in den auf d ruhenden zweiarmigen Hebel i von 0,3 und 15 cm Armlänge. i schreibt daher die Hebung des Flüssigkeitsspiegels bei Oscillationen, raschen Vertikal- und Horizontalverschiebungen in 50facher Vergrößerung auf der mit berusstem Papier belegten 5,5 mm pro Minute zurücklegenden Trommel W auf; hierbei ist die bekannte Grösse $R = 3'',75$. Um ein gegenseitiges Ueberdecken der Registrirungen zu vermeiden, wird in dem Gefäss c durch ein Uhrwerk U langsam der 4 cm dicke Cylinder g in die Flüssigkeit herabgesenkt, deren Spiegel daher auch bei b allmählich steigt, so dass i auf W eine Spirale zu beschreiben gezwungen ist. Die beiden in der Richtung NS und EW aufgestellten Libellen registriren auf einer einzigen Walze und funktionieren seit 1894 bei nahen Beben gut, so z. B. bei demjenigen von Cariola am 14. April 1895. Bei fernen Erdbeben sind die Bewegungen bekanntlich langsamer, und es zeigt sich, dass dieselben keine relativen Verschiebungen der Flüssigkeit gegen die Gefässwände mehr zu erzeugen im Stande sind. Geräth die Wassermasse aber bei nahen, raschen Erschütterungen in Oscillationen, so sind letztere so langsam, dass man sie gut von den superponirten Erdbewegungen unterscheiden kann. — Dass gewöhnliche astronomische Libellen auch auf Horizontalbeschleunigungen, mehr aber noch auf Neigungsänderungen reagieren, ist bekannt; die kleine Eigenperiode muss auch hier zu erheblichen Verzerrungen bezüglich der Angabe der Amplitude führen.

Die Nadirane d'Abbadie's, M. C. Wolf's¹⁾, die Versuche von M. Levy und Fouqué, von Abbe, Martin und anderen, welche den Reflex eines Quecksilberniveaus gegen denjenigen beobachteten, der von einer mit der Erde fest verbundenen und mit dem Quecksilberspiegel in einer Ebene liegenden Glasplatte entsteht, vor allem die äusserst feinen Messungen von Wolf und Abbe, speziell in der Form, welche R. Straubel²⁾ vorschlägt, — alle diese taugen nur für eine allerdings enorm genaue Messung von langsamen Lothschwankungen. Bei seismischen Erschütterungen wird der Quecksilberhorizont derartig unruhig, dass das Reflexbild verschwindet und auch die Perturbationen, welche die zu beobachtenden Newton'schen

1) Compt. rend. Bd. 97, 2. Sem., 1883, p. 228; Seism. Journ. I, 1893 (Burton, p. 21 ff.)

2) R. Straubel, Ueber die Bestimmung der Veränderung der Lothlinie. Beitr. z. Geoph. III, 2, 1897.

Interferenzstreifen in solchen Fällen erleiden, machen es vor allem wegen der schwierigen Registrirmethode unmöglich, seismographische Messungen von irgend welchem Werte vorzunehmen.

Von dem hydrostatischen Instrument *Lasaulx*'¹⁾ lässt sich, da es unerprobt ist, nichts thatsächliches aussagen. Es besteht aus einer unter Wasser getauchten Kugel mit radial hervorragenden Stäbchen, welche jede Berührung mit der Innenwand des cylindrischen Behälters daselbst markiren. Jedenfalls leuchtet ein, dass die in der Flüssigkeit entstehenden Strömungen sehr nachtheilig wirken müssen, und man wird nur der ersten Berührung, sobald man unter den gewiss zahlreichen Markirungen diese wird herausfinden können, einiges Vertrauen bezüglich der Richtungsangabe schenken können.

Im Ganzen ergibt sich, dass die mit einer Flüssigkeit wirkenden Seismometer eine untergeordnete Rolle spielen. Nur die grossen Libellen *Grablovitz*' konnten wenigstens die Periode der Erdbewegung und die Richtung gut angeben, aber diese Instrumente sind sehr unhandlich und nicht transportirbar. Ueber Charakter und Amplitude der Erscheinungen lassen uns auch diese Apparate, wie alle hydrostatischen völlig im Dunkeln.



Theil II.

Instrumente zur Messung der Vertikalkomponente der Erdbewegung.

Es war leicht, bei den Instrumenten für Horizontalbewegung (mit Ausnahme der hydrostatischen) die Vertikalbewegungen des Erdbodens für die Instrumente selbst, oder wenigstens für die Registrirung ihres Einflusses zu berauben — denn es war dazu nur nöthig, die in der Richtung dieser Vertikalbewegungen d. h. parallel zur Schwerkraft liegenden Theile der Apparate starr und unbeweglich zu

¹⁾ *Kenngott's Handwörterbuch der Mineralogie I* („Erdbeben“), p. 358; *Hörnes*, 1893, p. 157.

machen. Ebenso leicht ist nun das umgekehrte Problem, diejenigen Kräfte, welche die, kurz gesagt, Horizontalinstrumente bewegten, für die Vertikalinstrumente zu eliminiren, da man hierzu nur die Theile senkrecht zur Schwerkraft starr, parallel zu derselben beweglich zu machen braucht. Um letzteres zu erreichen, muss der Schwerkraft entgegengearbeitet werden, was durch die Anwendung einer Spiralfeder oder durch sonstige elastische Medien, wie Wasser, Gummilager etc. geschieht, und die entgegenwirkende Kraft muss der Schwerkraft genau gleich sein. Da die Vertikalbeschleunigungen aber sehr klein, die elastischen Gegenkräfte jedoch von einer nicht unbedeutenden Trägheit und Unempfindlichkeit sind, so haben wir es im Allgemeinen mit nicht entfernt so feinen Messinstrumenten zu thun, wie es z. B. das Horizontalpendel war. An diesem Umstande ist nun prinzipiell nichts zu ändern, und es wird sich in der Zukunft nur noch darum handeln können, graduelle Vervollkommnungen zu erfinden. Die auf die Horizontalinstrumente wirkenden Kräfte, welche uns nunmehr unschädlich und uninteressant sind, waren zweierlei Art, Oscillationen und Horizontalbeschleunigungen, und darin erkannten wir wegen der einstweiligen Unmöglichkeit, beide Phänomene instrumentell für die Beobachtung von einander scheiden zu können, einen fundamentalen Mangel aller jener Instrumente, wenn auch in verschiedenem Grade. Die Vertikalbewegungen sind aber eindeutig, und mit dieser Thatsache erhebt sich die Erforschung der seismischen Vertikalbewegung auf ein weit günstigeres Niveau. Wir unterscheiden die hier zu betrachtenden Apparate natürlich nach den angewendeten Gegenkräften.

A. Federinstrumente.

Wie bei allen Seismometern, so handelt es sich auch hier darum, innerhalb der mit der Erde starr verbundenen Theile des Instrumentes einen stationären an der vertikalen Bewegung der Umgebung nicht theilnehmenden Punkt zu erhalten. Bis das untere belastete Ende einer vertikal aufgehängten Spiralfeder an einer oben ertheilten Vertikalbewegung theilnimmt, vergeht mehr oder minder lange Zeit, und wir haben daher für diesen Zeitraum einen vollauf genügenden Vertikalseismographen. Das in die Ruhelage zurückstrebende Gewicht erzeugt nun aber elastische Pendelschwingungen der Spirale, welche alsbald, bei weiter dauernder Störung und in Folge der stets kurzen Eigenperiode solcher Spiralen, verstärkt, geschwächt, kurz verzerrt

werden. Man suchte daher schon 1841 in Comrie¹⁾ die einfachen Spiralen dahin zu verändern, dass man ihre Tendenz, in die Ruhelage zurückzukehren, möglichst zu annulliren strebte, das belastete Ende also derart zu astasiren suchte, dass es als stationäre Masse wie früher bei den Pendel- etc. Instrumenten in jeder beliebigen durch die Störung angewiesenen Lage verharrte. In Comrie geschah dies mit der in Fig. 55 angedeuteten Form²⁾.

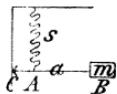


Fig. 55.

An die Spirale s ist die Masse m nicht direkt, sondern vermittels des durch s zu tragenden, bei C mit einer Spitze sich anlehenden horizontalen Stabes a angehängt. Die Tendenz von m , in die Ruhelage aus einer ertheilten Elongation zurückzukehren, ist

hier nur noch proportional $\sqrt{\frac{CA}{CB}}$. — Ein horizontal in einer Mauer

befestigter elastischer Stab, welcher sich in Comrie ebenfalls fand, wirkt natürlich genau wie eine unkompensirte Spirale und hat meist bei grosser Unempfindlichkeit eine noch kleinere Eigenperiode. P.

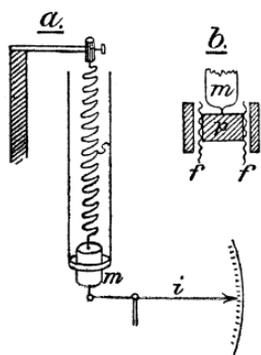


Fig. 56.

G. M. Cavalleri, welcher bereits 1860 mit genialem Blicke in die Seismometrie einge-
drungen ist, sah seinerseits von einem Kompen-
sationsverfahren noch ab, stellte aber grund-
legende Versuche über die Schwingungen einer
direkt belasteten Spirale an. Er stellte³⁾ fest,
dass die Schwingungsdauer einer solchen pro-
portional ist der Wurzel aus dem Gewichte,
und aus der Zahl der Umläufe, ferner der Weite
der Spirale und dem Durchmesser des Drahtes.

Sein Seismometer Fig. 56 a ist direkt zur Be-
obachtung eingerichtet; der Zeiger i wird
durch die Spitze von m auf der Skala auf- und abwärts geführt. Um
ferner nur den Maximalausschlag zu erhalten, liess er (Fig. 56 b) durch
 m ein Gewicht oder Korkstück p , welches zwischen elastischen
Führungen ff eingeklemmt ist, herabstossen. Es ist klar, dass bei
der variablen Periode der Erderschütterungen selbst bei gleicher Stoss-
intensität hier die verschiedensten Effekte resultiren können.

1) Milne Mon. 1886, p. 31 f.; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 47 f., § 45; Trans. III, 1881, p. 13; Rep. 1841, p. 26.

2) So auch an dem Universalapparat von Cecchi nach der Beschreibung von Federico Faura u. Dr. F. du Bois, Trans. VIII, 1885, p. 90 ff.

3) Phil. Mag. Bd. 19, 1860, 1, p. 102 ff.

Th. Gray und J. A. Ewing sind auch hier im Jahr 1881 wieder die Ersten, welche ein praktisches und genügendes Astasierungsverfahren erfunden und mit Erfolg eingeführt haben. Gray¹⁾ (Fig. 57) fügte an den schon in Comrie angewendeten horizontalen Arm *a* (Fig. 55 u. 57a), (welcher, mit dem Ringe *m* von 600 g Gewicht beschwert, an der aus einem 50 cm langen Drahte auf die Länge von 25 cm reduzierten Spirale *s* hängt) das gläserne Gefäß *g* an und verband das in *g* eingefüllte Quecksilber durch die Röhre *h* mit dem gleichfalls Quecksilber enthaltenden feststehenden Glase *g'*. In *g* und *g'* steht die Flüssigkeit stets gleich hoch. Hebt sich bei einer Erschütterung nun z. B. der Erdboden und mit ihm das doppelte Spitzen- und Schneidenlager *d*, die Befestigung des Hebelindex *c* bei *b* und *k* und das Glas *g'*, so bleibt Anfangs *m* stationär zurück, wird aber durch den Zug der angespannten Spirale *s* gezwungen, mit in die Höhe zu gehen. Wegen der anfangs eintretenden Erhebung von *g'* fließt aber Quecksilber durch *h* von *g'* nach *g*, und beschwert (bei geeigneten Dimensionen von *h* und *g*) dadurch den Arm *a* genau um so viel, dass der Zug der Feder *s* kompensirt wird und *m* in der That völlig stationär verharrt. Senkt sich das Fundament mit *n*, *d*, *k* und *g'*, so

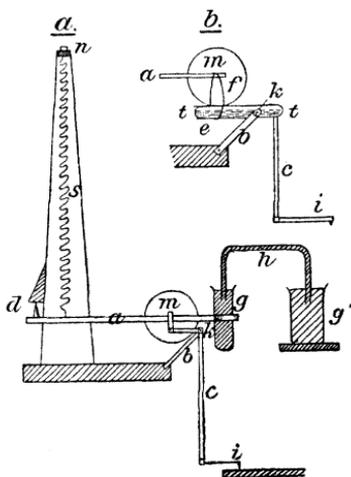


Fig. 57.

würde die zurückbleibende Masse *m* von der erschlaffenden Feder *s* alsbald herabgelassen werden, wenn sich der Arm *a* nicht durch Überfließen von Quecksilber von *g* (durch *h*) nach *g'* erleichtern würde. — Ein anderes Verfahren ist folgendes (Fig. 57b). An den Arm *a* ist mittels der Schlinge *f* der etwas Quecksilber enthaltende Trog *t* (der um *k* drehbar und dort durch *b* mit der Erde fest verbunden ist,) angehängt und mit ihm der Index *c* und *i* vereinigt. *i* ist, wie in dem vorigen Apparat, aus steifem, geleimten, japanischen Papier gefertigt. Hebt sich nun *b* und *k*, während *m* zurückbleibt, so wird *t* nach links unten geneigt, wodurch das Quecksilber nach *e* hin-

1) Trans. III, 1881, p. 137 ff.; Phil. Mag. Bd. 12, Ser. 5, 1881, 2, p. 209, Milne Mon. 1886, p. 32 f.

fließt und den Arm a belastet; er kann sich daher nicht mehr aufwärts bewegen. Senkt sich k , so wird a durch das Fortströmen der Flüssigkeit nach rechts entlastet und vor dem Niedersinken bewahrt. Bezeichnet man den langen und kurzen Hebelarm von a bzw. mit l und l' , die Masse mit m , ferner die durch die Belastung erfolgte Verlängerung von s mit ε , die Länge $e k = y$, die Troglänge x , den Querschnitt w und endlich die Dichte von $Hg = \delta$, so ist Astasie erreicht, sobald die Gleichung $\frac{l'}{l} \cdot \frac{m}{\varepsilon} = \frac{1}{6} w \delta \frac{x}{y}$ erfüllt ist. Da das Quecksilber in t aber durch Horizontalbeschleunigungen

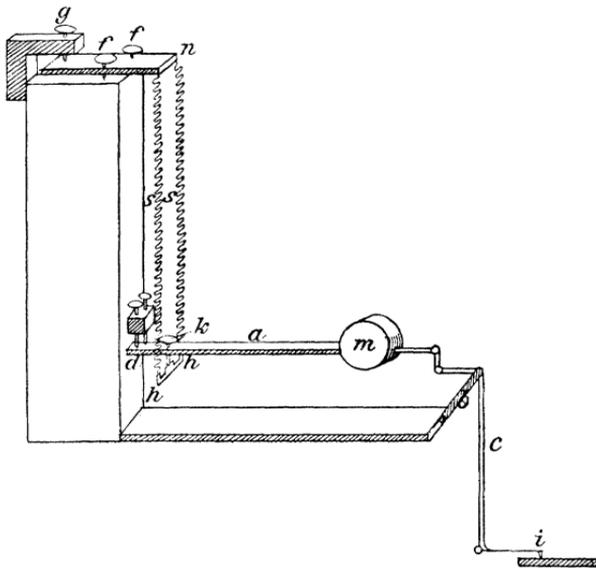


Fig. 58.

beeinflusst wird, ist die in Fig 57a skizzierte Form gegen 57 b sicher vorzuziehen, nur wird man hier bezweifeln, dass die Ausgleichung über die Röhre h mit Vertikalbewegungen von kurzer Periode gleichen Schritt halten wird. Es werden sich Verzögerungen einstellen, Interferenzen, welche das Umgekehrte hervorrufen können, als beabsichtigt war.

Besser, ja völlig einwandfrei ist dagegen die Ewing'sche Federkompensation¹⁾ (Fig. 58), welche in einer Schwächung oder Ver-

¹⁾ Trans. III. 1881, p. 140 ff.; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 50 f., § 48; Nat. Bd. 30, 1884, p. 151; Bd. 33, 1885, p. 69; Nat. Bd. 34, 1886, p. 343; Rend. Linc. Ser. 4, VI, 1890, 1, p. 337 ff.

stärkung der Federwirkung durch Variation der Hebelarmlänge besteht (s. p. 397, Fig. 37 a). Die bei n aufgehängten und durch ff und g regulirbaren Federn ss greifen nicht wie sonst direkt, sondern unterhalb vermittelst h an den Arm a an, welcher bei d durch ein Spitzen- und Schneidenlager gestützt ist. Die Verbindung des Wagebalkens h mit a geschieht durch die bei k in a gebohrte Schraube, an deren Spitze sich ein Lager von h anlehnt. Sonst haben wir dieselbe Einrichtung wie bei Gray; durch die Scharniere und den festen rechten Winkel am Ende des Stempels b wird die Vertikalbewegung von b relativ zu m in eine Horizontalbewegung bei i umgesetzt. Der Index wird durch eine schwache Feder sanft an die Registrirscheibe angedrückt. Die Wirkung dieser Einrichtung ist folgende: Hebt sich z. B. n , d und b , so senkt sich m relativ und a dreht sich bei d um den Winkel Θ ; nennt man die Längen $dk = p$, $hk = q$, so ist die Annäherung von h an d nahe der Grösse $q\Theta$, und der normale Hebelarm p der Federn ss wird jetzt $p - q\Theta$. Ein Miterheben von m erfolgt bei geeigneter Wahl der Längen p und q nun deshalb nicht, weil der Zug der angespannten Federn ss auf einen kleineren Hebelarm wirken muss und daher eine grössere Arbeit zu leisten hat. Senken sich n , d und b , so wächst der Hebelarm bis auf $p + q\Theta$. und die erschlafften Federn ss lassen m nicht herunter, weil sie an einem grösseren Hebelarm arbeitend eine kleinere Arbeit zu leisten haben. Bedeutet e die normale Federverlängerung, so muss $q = \frac{p^2}{e}$ gemacht werden.

Aus theoretischen Gründen bietet der Vorschlag G. Grablovitz' ¹⁾, Astasie durch Schrägstellung des Hebelarmes zu erreichen, manche Vortheile, doch ist ein praktischer Versuch mit einem solchen Vertikalapparat noch nicht gemacht worden, so dass es einstweilen besser ist, sich an die Ewing'sche Form zu halten.

Der in „Nature“ Bd. 34 (1886), p. 343 ff. beschriebene Ewing'sche Universalapparat besitzt im Gegensatz zu dem zuletzt beschriebenen einfache, unkompenrirte Federn mit direkt angehängtem, stabförmigen Gewichte.

Von grosser Bedeutung ist das Astasirungsverfahren, welches Gray und Milne in dem nach ihnen benannten Seismographen angewendet haben, dessen Horizontalpendel bereits in Fig. 38 a besprochen wurde. Hier ist die Ewing'sche Kompensation neben den

1) Rend. Linc. 4. Ser., Bd. VII, 1, 1891, p. 337 ff.

Tragfedern in geringer Modifikation gleichfalls eingefügt¹⁾. (Fig. 59b). Der horizontale, durch m beschwerte Arm hat an einem Ende ein senkrechtes Querstück mit den nach oben gerichteten Schneiden d und e . Mit e lehnt er sich mittels s' an das Stativ L an, während er durch die flachen, gebogenen Federn s bei n in Schneiden getragen wird.

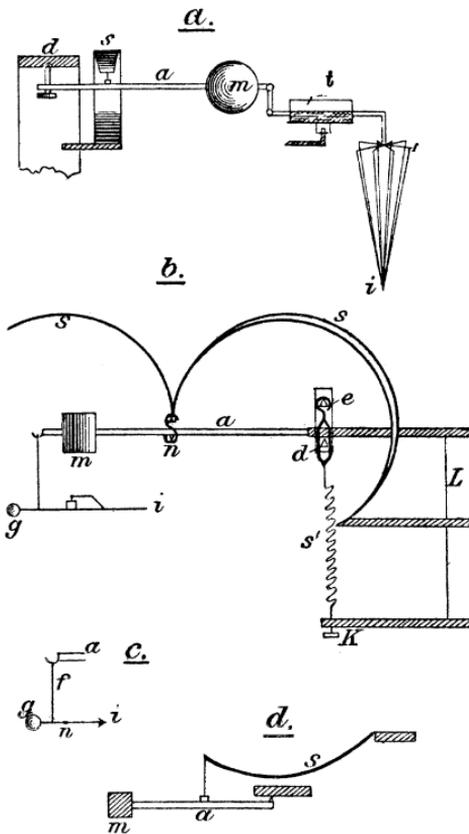


Fig. 59.

Diese Vorrichtung ist wie die vorige durchaus vorzüglich und dürfte kaum mehr verbesserungsfähig sein. Die Feder s kann auch durch eine solche von der Form Fig. 59d ersetzt werden, welche durch den Zug von m nicht gebogen, sondern gestreckt wird. Die Registrirvorrichtung ist wie in Fig. 38 a (i): das mit Farbe schreibende Glasröhrchen i (Fig. 59c) wird durch g balancirt oder ist um n drehbar, wobei es durch die Feder f auf der linken Seite aufwärts, durch g dort abwärts bewegt wird. In diesem Falle wird auch eine Vergrößerung erzielt.

An e hängt die Spirale s' , welche bei K regulirbar mit dem Stativ L verbunden ist. s' ist nichts anderes als die besprochene Ewing'sche Suspension. Bewegt sich nämlich L und damit d , e und K aufwärts, so bleibt m vorerst zurück und e neigt sich nach links. In demselben Augenblick wirkt aber die Feder s' , welche nun einen Hebelarm erhält, und verhindert durch das Herabziehen von a ein Weiterheben von m . Bei einer Senkung von L neigt sich e nach rechts, der Hebelarm von s' wird, wenn wir ihn vorher positiv nennen, negativ und ein Herabdrücken von a durch ss wird durch die Aufwärtsbewegung von a in Folge der Wirkung von s' kompensirt. Es ist leicht, die Gleichgewichtsbedingungen abzuleiten, und danach die Grössen ed , nd und die Federstärke einzurichten. Diese Vor-

1) Trans. XII, 1887, p. 33 ff.; Phil. Mag. Bd. 23, 1887, 1, p. 353 ff. (Gray).

Die alte Form des Vertikalapparates im Gray-Milne-Seismographen¹⁾ besass eine Quecksilberkompensation (Fig. 59a) wie in Fig. 57b. Die Buchstaben bezeichnen die analogen Stücke; die Ebene der Feder *s* ist senkrecht zu derjenigen in 59b. Ein Aufwärtsgehen von *m* wird durch Ueberfließen des Quecksilbers in dem mit *a* verbundenen, um *n* drehbaren Troge *t* nach links und die hierdurch entstehende Mehrbelastung verhindert; die Tendenz von *m*, bei einer vertikalen Abwärtsbewegung nachzusinken, durch die Neigung des Troges nach rechts und Entlastung von *a* kompensirt. Es ist klar, dass bei der Trägheit der Flüssigkeitsbewegung die neue Form die weitaus bessere, rascher wirkende ist.

Bevor wir ein anderes Ausgleichungsverfahren kennen lernen, muss der Vollständigkeit wegen erwähnt werden, dass der bereits p. 370 und 373f behandelte Universalseismograph von M. J. Galli²⁾ auch eine unkompensirte Spirale besitzt, welche einen vergrößernden Index auf- und abbewegt. Ferner ist die von A. Schmidt mittels vier Spiralen suspendirte, beschwerte Platte zu erwähnen (Fig. 60), welche in der Orangerie bei Strassburg und in Stuttgart angebracht ist. An dem Stativ *L* hängt mittelst der vier 81 cm langen Spiralen *s* die mit 500 g schweren Bleischeiben beschwerte Holztafel *p*. Der um die horizontale feste Achse *b* drehbare Index *i* wird durch die relative Verschiebung von *b* gegen den gebrochenen Theil *a* oben an dem Drahte *d* horizontal hin- und herbewegt und verschiebt dort Kupfer- oder Papierreiterchen. Dass der Apparat selten funktioniert, liegt an zwei Gründen, einem instrumentellen und einem geophysikalischen. In erster Hinsicht ist zu bemerken, dass die Drähte *a* und *i* derart biegsam und unelastisch sind, dass eine seismische Bewegung von *p* oder *b* innerhalb *a* und *i* bzw. *i* allein, wie der Verfasser experimentell nachweisen konnte, leicht vernichtet wird. Hier wäre es also erforderlich, eine solidere, starrere Uebertragung einzusetzen. Es ist eben stets bedenklich, so sehr es auch erwünscht scheint, aus ökonomischen Gründen in der Qualität des Materials herabzugehen. Dann aber, und das betrifft alle in erdbebenarmen Ländern aufzu-

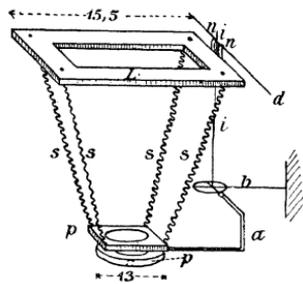


Fig. 60.

1) Quart. Journ. Bd. 39, 1883, p. 218.

2) Progr. Oss. Geod. 1883. de Rossi p. 106 ff.

stellende und aufgestellte Vertikalapparate, muss die in der Einleitung dieses Theils gemachte Bemerkung betont werden, dass die bis jetzt angewendeten elastischen Gegenkräfte für langsame, kleine Vertikalbeschleunigungen unempfindlich sind. Die Vertikalbewegung beträgt am Ort des Epicentrums selten mehr wie einige cm. Da wir die Reaktion der Horizontalpendel bei fernen Beben nur auf Neigungsänderungen zu gründen haben, so ergibt sich bei einer Abweichung des Lichtpunktes (bei dem alten Strassburger Rebeurpendel) selbst um die enorme Grösse von 6 cm und bei einer angenommenen ganzen Wellenlänge von nur 17 km, eine Neigung von 3" und eine Wellenhöhe von 6 cm. (Mehr ist man bei Horizontalpendelbeobachtungen in guter Uebereinstimmung mit epicentralen Messungen anzunehmen nicht gezwungen; und man muss dies bei der Lektüre der Schmidt'schen Abhandlung über die Aberration der Lotlinie stets im Auge behalten; denn da dieselbe auf der thatsächlich unrichtigen Auffassung der Niveaubeobachtungen zu Casamicciola fusst, so spricht sie nicht und kann sie nicht gegen die Deutung der Horizontalpendelausschläge bei fernen Beben sprechen, denn dieselben bedingen ja gar nicht so grosse Wellenhöhen von 20—40 cm, über deren Realität Schmidt berechtigten Zweifel hegt.) Denkt man sich nun bei einer Periode von etwa 20^s eine Verschiebung von 6 cm auf- und abwärts ausgeführt, so wird man sofort einsehen, dass Instrumente mit Spiralen diese Bewegung ohne jede relative Verschiebung des Aufhängepunktes gegen das belastete Ende, einfach als Ganzes, ohne also irgend etwas zu registriren mitmachen werden. Wir sind bezüglich der Beobachtung der Vertikalbewegung bei fernen Beben eben sehr übel daran, da der Natur der Sache nach ein Prinzip analog dem Horizontalpendel an sich undenkbar ist.

Die in Fig. 55 dargestellte, einfache Vorrichtung versuchte G. Grablovitz¹⁾ in origineller Weise mit einer Astasirung zu versehen, welche der Ewing- oder Gray-Milne'schen durchaus gleichwerthig ist (Fig. 61). Es neigt die Spirale um 45° und stützt das bei *b* angreifende Gewicht *m* nebst der Spirale durch den um *c* drehbaren Arm *bc*. Es ist Gleichgewicht vorhanden, sobald die bei einer Vertikalbewegung durch die Spirale auf den Punkt *b* ausgeübte Zugkraft gleich dem von *m* auf *b* wirkenden Gewichte ist. Hat man *ab* und *bc* als gegebene Längen, so handelt es sich offenbar nur darum,

1) Boll. Soc. Sism. II, 2, p. 41—61, 1896; Annali 1889, XI, 3, p. 179.

wo c anzubringen sei, oder, was dasselbe sagt, den Winkel γ zu bestimmen. Dieser ergibt sich aber aus $\tan \gamma = \frac{ab + bc}{ab - bc}$.

B. Hydrostatische und andere Instrumente.

Eine Flüssigkeit wirkt auf einen in ihr schwimmenden Körper wie ein elastisches Kissen, also wie eine Federkraft, und es können sich daher die hydrostatischen Vertikalinstrumente bezüglich ihrer Empfindlichkeit von den Federinstrumenten nur graduell, nicht sachlich unterscheiden. Gottfried Wagener¹⁾ (Fig. 62a) legte eine

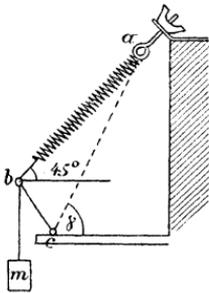


Fig. 61.

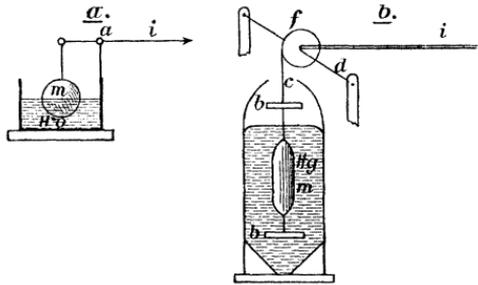


Fig. 62.

Hohlkugel m in ein fest mit der Erde verbundenes Wassergefäß und befestigte an sie den um a drehbaren Index i . Hebt sich das Gefäß mit a , so folgt m nicht sofort nach, sondern taucht tiefer ein, wird aber dadurch leichter und hebt sich nun doch; umgekehrt beim Sinken. Es war daher eine Verbesserung, wenn Gray²⁾ (Fig. 62b) m völlig versenkte und das leicht gefrierende und verdunstende Wasser durch Quecksilber ersetzte. m ist ein Bleikörper, welcher durch die Flügel bb vor schädlichen Drehungen geschützt ist. Der Faden (oder Draht) c läuft um die an dem Draht d aufgespannte Rolle und ist mit ihr fest verbunden; durch das Gewicht des Zeigers i wird c stets angespannt, was jedoch auch durch Torsion von d bewirkt werden kann. Hier bleibt m nahezu stationär, wenn auch bei der Abwesenheit jeglicher Kompensation mit der Zeit durch die

1) Trans. I, 1880, S. 54; Milne Monogr. 1886, p. 33.

2) Trans. I, 1880, p. 44; Milne Monogr. 1886, p. 33; Phil. Mag. 5. Ser., Bd. 12, 1881, 2, p. 199 ff. u. p. 356 ff.; Tokio Daig., No. 9, 1883, p. 51, § 49; Annali VIII, 4, 1886, p. 27 f.

Reibung an der Flüssigkeit Schwingungen entstehen müssen. Horizontale Stöße bewirken ebenfalls Störungen, welche bei mangelnder Temperatúrausgleichung eine vertikale natürlich sehr schädliche Komponente erhalten. Aus diesem Grunde stehen die Apparate weit unter den Federinstrumenten, zumal den astasirten.

Aehnlich, wenn auch etwas günstiger steht es mit den von Gray eingeführten, auf Federn ruhenden, Wasser enthaltenden Gefässen mit Böden aus Gummi elasticum¹⁾, welche in Folge der Feder und der Elasticität des Gummi einem bei einer Vertikalbewegung des Bodens wechselnden Drucke des Wassers nachgeben und stationär bleiben. Mit dem Boden ist ein Index verbunden. Auch hier entwickeln sich wegen der Eigenperiode und der Temperaturdifferenzen Schwingungen bzw. Konvektionsströme, welche die zu beobachtenden Erscheinungen verschleiern.

Wieder etwas ganz Besonderes erdachte Johnston-Lavis²⁾, welcher vorschlägt (Fig. 63), das Gewicht m durch ein auslösendes Seismoskop bei einem Stosse in einen tiefen Schacht B fallen zu lassen. m hängt an einem während des Falles an der Haspel R hängenden Faden, welcher zugleich das Rad r und damit das elastische System p in Rotation versetzt. p plattet sich ab und führt den Index i auf der Walze W auf und ab. Bewegt sich R aber während des Falles auf- und abwärts, so wird dadurch auch der Fall von m beeinflusst, was man in den Auf-

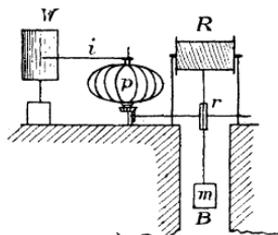


Fig. 63.

zeichnungen an der Walze erkennt, sobald man diese Registrierung mit einer im Ruhezustand von R erhaltenen vergleicht. — Dass die Interpretation einer solchen Vergleichung schwierig ist, leuchtet ein, ausserdem kann der Apparat bei den verfügbaren Schachttiefen nur eine kleine Phase des Bebens beobachten.

1) Trans. III, 1881, p. 55; Phil. Mag. 5. Ser., Bd. 12, 1881, 2, p. 356 ff. Milne Mon. 1886, p. 33.

2) Nat. Bd. 30, 1884, p. 611 ff.

Theil III.

Universalapparate und besondere Einrichtungen.

Wir haben es bei den Seismometern, welche alle drei Komponenten der Erdbebenbewegung anzeigen, meist nur mit der Zusammensetzung der in den vorigen Theilen besprochenen Einrichtungen zu thun, so dass diese Apparate theoretisch zwar nichts Neues bieten, aber immerhin erwähnenswerth erscheinen.

Bei dem sogenannten Torsionspendel¹⁾ von Gray ist die stationäre Masse zugleich als bewegte Registrirfläche angewendet und kommt auch das Prinzip der rollenden Körper zur Geltung (Fig. 64). Auf dem Stativ *a* ruht mittels drei harter Kugeln *k* die Platte *b* mit den Schneiden *n*; auf diesen liegen wiederum zwei bei *A* zusammenstossende Federn oder Stahlstäbe *t*, welche durch die auf *p* ruhenden Federn *d* fest an die Schneiden *n* gepresst werden. Bei *A* ist nun ein 6,5 m langer

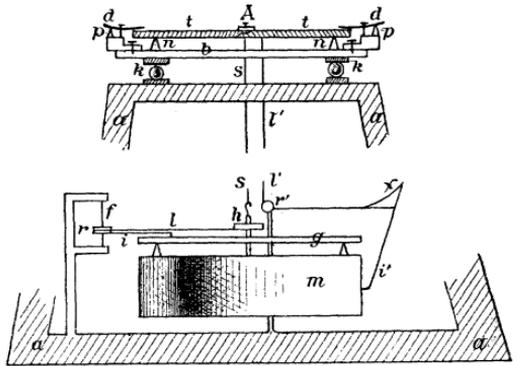


Fig. 64.

Draht (Klaviersaite) mit der Masse *m* angehängt. Erhält *a* einen seitlichen Stoss, so gleitet *b*, *A* und *m* auf den Kugeln *k* zurück, und *m* bleibt viel stationärer, als wenn *A* direkt mit *a* verbunden wäre. Bei einer Vertikalbewegung von *a* bleibt *A* und *m* elastisch zurück, und es wird also auch in diesem Sinne ein steady point erzeugt. Auf *m* liegt mittels Schneiden die berusste Glasplatte *g*, und auf ihr spielt der an der Rolle *r* befestigte Index *i*. Die Rolle ist durch den Faden *l* mit dem frei um *s* spielenden Rade *h* verbunden, und *l* ist derart verkürzt, dass die Rolle *r* ihren fest mit dem Stativ verbundenen Achsendraht *f* etwas drillt. Bewegt sich *r* gegen *h*, so dreht sich *f* wie die Unruhe einer Uhr auf, und der

¹⁾ Trans. I, 1880, p. 44 ff.; Milne Monogr. 1886, p. 25; Phil. Mag. 1881, p. 356 ff.

Index i bewegt sich; andernfalls dreht sich f noch weiter zu. Ein zweiter Index ist (in der Fig. 64 durch m verdeckt) senkrecht zu dem ersteren angebracht. Ebenso registriert die durch l' angezogene Rolle r' an dem Cylindermantel von m die vertikale Bewegung; denn wenn sich r' abwärts bewegt, so bleibt A und der Aufhängepunkt von l' zurück, die Achse von r' dreht sich zu und der Index i' geht herab; i' aber wird durch die Feder x an m beständig angepresst. Um zugleich eine bewegte Registrirscheibe zu erhalten, ist m um 180° um die Saite s gedreht worden und durch eine Feder in der neuen Stellung festgehalten. Bei einem Erdstoss löst sich nun diese Feder,

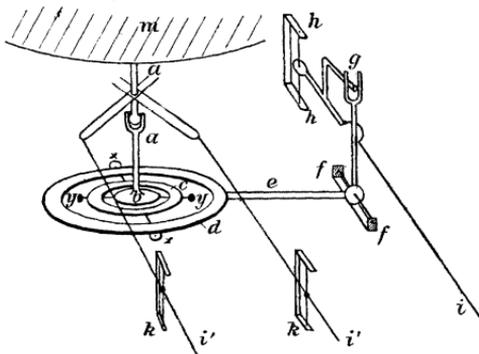


Fig. 65.

jene Feder wieder festgehalten, aber bei einem neuen Stoss nochmals losgelassen zu werden. Wie diese Auslösevorrichtung beschaffen ist, kann aus der recht unklaren Originalbeschreibung nicht ersehen werden. Der Einfluss der Torsion ist hier natürlich durch den Umstand, dass das Rad h frei um s herumläuft, unschädlich gemacht, aber der Nachtheil des Instrumentes liegt an der Spannung

der Fäden l und l' , durch welche der erwähnte Vorthheil grösserer Stationarität illusorisch wird. Im Uebrigen gilt das über die nicht astasirten Pendel Bemerkte auch hier.

Ein Gleiches gilt von dem „Seismometrograph mit einer einzigen stationären Masse“ von E. Brassart¹⁾, welcher seine 10,25 kg schwere Masse direkt an eine Spirale aufhing, denn hier tritt weder in vertikalem, noch in horizontalem Sinne irgendwelche Kompensation ein. Interessant ist hingegen die Registrirung, welche einer eingehenderen Besprechung würdig ist (Fig. 65). Der an der Masse m angebrachte Stift a bewegt erst die beiden Indices i' in Gabeln wie in Fig. 25, setzt sich dann aber bis in die Scheibe b der kardanischen Ringaufhängung fort. Der Ring d wird durch eine Horizontalbewegung von a z. B. von hinten nach vorn wegen der Drehung von a mit b um yy , durch eine solche von rechts nach links wegen der Drehung von

¹⁾ Annali VIII, 4. 1886, p. 39 ff.

c um xx in keiner Weise beeinflusst. Senkt sich dagegen a mit b , c und d , so dreht sich d um xx und um die feste Achse ff und bewegt die durch e mit d verbundene Gabel g und mit ihr den um hh drehbaren Index i nach links. In Wahrheit geht natürlich die Bewegung von ff aus. Die Masse m (Ring von 20 cm äusserem Durchmesser) hängt an einem 1 m langen Seidenfaden, in den eine 16,1 cm (l) lange Spirale (g) eingeschaltet ist. Dieselbe ist aus einem 194,9 cm langen, 1,85 mm starken Drahte hergestellt, sie besitzt 55,4 Windungen von 11,2 mm Weite und ist unbelastet 10,2 cm lang. Nennen wir den Umfang der Spirale e , den Elastizitätskoeffizienten des Drahtes f ($= 0,1754$), so ist die Schwingungszahl $n = \frac{g^2 f}{\sqrt{m l e}}$ ¹⁾. Das Holzgerüst ist auf einem Steinquader errichtet, und die Registrirung geschieht meist auf einem dreiräderigen auf Schienen laufenden 9 cm breiten, 48 cm langen Wagen mit berusstem Papier, der in 5^m durch ein Gewicht an den Indices vorbeigezogen und durch einen Windregulator gedämpft wird, nachdem er durch ein Seismoskop in Bewegung gesetzt ist. Von den Wagenrädern ist das eine glatt, und nur die auf der anderen Seite befindlichen beiden anderen Räder zur Erzielung einer recht geringen Reibung mit Kehlen versehen. Ferner findet auch die Walzenregistrirung statt; der Papierstreifen von $8,5 \times 240$ cm Dimension läuft in 24^h ab, legt also pro Stunde 10 cm zurück. Auch ein Chronometer wird bei einem Stosse in Gang gesetzt. In der Kritik dieses geschickt kombinirten Apparates wird man sich durchaus an Agamennone²⁾ halten, welcher denselben erprobt hat und vor allem die Reibung als bei weitem zu gross erkannte. Schwang das Pendel, ohne die Indices bewegen zu müssen, 100 mal, so kam es mit denselben bereits nach drei bis vier Oscillationen zur Ruhe; ferner wäre es besser, die Länge auf 1,50 m zu vergrössern, vor allem aber die Vertikalperiode, welche nur $T = 0^s,26$ betrug, auf $T = 1^s$ zu verlängern. Sodann müsste die auf 10 zu bringende Vergrösserung in allen Komponenten gleich gross gemacht, und die Indices, um das Gewicht zu verringern, statt aus Messing aus Aluminium gefertigt werden. Zu tadeln ist ferner noch die Aufhängung mittels eines Seidenfadens an Stelle eines Drahtes; endlich die Inkonstanz des Windregulators. Im Ganzen ist der Einrichtung also, ganz abgesehen von der direkten Aufhängung an der Spirale, nicht beizustimmen und man thut besser,

1) Rend. Linc. Ser. 4, Bd. VII, 1, 1891, p. 337 ff. (Grablovitz).

2) Annali X, 4, 1888, p. 58.

Vertikal- und Horizontalapparat, wie üblich zu trennen, und wie es Brassart in dem Fig. 25 theilweise beschriebenen Instrumente bereits durchgeführt hatte. Zu Fig. 25 gehört noch eine an L angebrachte Spirale, welche einen an einer Spitze angelehnten durch 7 kg beschwerten horizontalen Arm trägt. Die Auf- und Abbewegung der Masse wird durch eine einfache Uebertragung in eine Horizontalbewegung eines neben i und i' auf W schreibenden Index verwandelt.

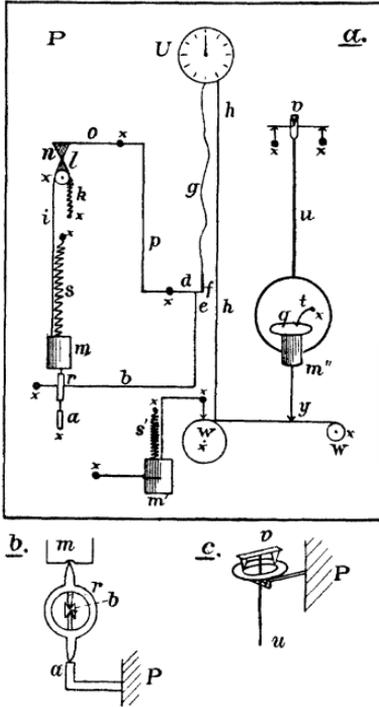


Fig. 66.

Der Seismograph von P. Filippo Cecchi ist nach der Beschreibung von Du Bois und F. Faura¹⁾ in Fig. 66 abgebildet. Auf der Marmorplatte P ist ein auf horizontale und vertikale Bewegungen reagirendes Seismoskop angebracht, welches die Uhr U und den über die Walzen WW laufenden Papierstreifen in Gang setzt, ferner ein an der Spirale s' hängendes Gewicht m' und ein vertikales Pendel m'' . Der Gang der Funktionen dieses komplizirten Apparates bei einem Stosse ist folgender. Geräth m in seitliche Schwingungen um den festen Punkt x (alle mit P fest verbundenen Achsen sind durch stärkere Punkte und mit x gekennzeichnet), so (Fig. 66b, Zeichenebene senkrecht zu a) wird der leicht auf der gekerbten Stange b , aber mit grösserem Gewicht auf der Unterstüzung a ruhende Ring r durch die Bewegung von m um seinen auf b befindlichen Stützpunkt gedreht und der Unterlage a entzogen. r ruht daher nun ganz auf b ; b und e (um x drehbar) gehen abwärts und die um x drehbare Platte d , welche bei e unterstützt war, geht jetzt auf der rechten Seite von x auch herab und lässt die auf ihr ruhende Scheibe f fallen, wodurch der Faden g gespannt wird. Die Uhr U beginnt nun zu laufen und der Draht h setzt die Walze W in Bewegung. Tritt ein vertikaler Stoss ein, geht m z. B. aufwärts, so vermag die kleine Spirale k den um die Rolle l laufenden und mit m verbundenen Faden i , welcher

1) Trans. VIII, 1885, p. 90—94.

nun schlaff geworden ist, anzuziehen und hierdurch den Kontakt der Schneiden bei n durch die Drehung von l aufheben. o senkt sich daher auf der linken Seite von x , hebt p und senkt d , wodurch ebenfalls f herabfällt und den gleichen Vorgang wie oben erzeugt. Während des nun fortdauernden Erdbebens zeichnet das vertikale Pendel m'' , das bei v (Fig. 66 c) um zwei senkrechte Achsen drehbar suspendirt ist, bei y die horizontale Bewegung auf, während der an P feste Stift t auf der mit m'' verbundenen berussten Scheibe q einen „static record“ aufzeichnet. Die Vertikalbewegung zeichnet die durch eine Gabel geführte, an s' hängende Masse m' auf. — Das Seismoskop m scheint bezüglich seines guten Funktionirens wohl an zu viele Bedingungen geknüpft: an die gute Gegenüberstellung der Schneiden bei n , die Suspension des Ringes r , die Reibungslosigkeit der vielen Achsen und endlich an die Vorzüglichkeit des Auslösungsmechanismus in der Uhr U . Die Richtungsangabe von t auf q dürfte bei einiger Dauer der Störung in Folge der vielen Zeichnungen illusorisch werden, wie das bei static records überhaupt zu sein pflegt. Ueber den Nachtheil, welchen fehlende Kompensationen bei m' und m'' mit sich führen, können wir, da er bereits des öfteren erwähnt wurde, hinweg gehen. Das Bestreben, möglichst viele Apparate zu kombiniren, zeigt sich eben immer als verfehlt und man thut gut, die verschiedenen Funktionen auf ebensoviel Instrumente zu vertheilen. Auf diese Weise entsteht dann keine grosse Komplikation, welche einerseits eine ständige, kundige Ueberwachung erfordert, und andererseits doch keine Sicherheit gewährt.

Daher ist es ein Vorzug des Gray-Milne-Seismographen¹⁾, wenn er einen permanent laufenden Streifen hat (0,6 bis 2,5 cm pro Minute), dessen Geschwindigkeit bei einem Stosse sich auf 63 bis 121 cm pro Minute erhöht. Der Apparat besitzt zwei Horizontalpendel (Fig. 38 a) und einen kompensirten Federseismographen (Fig. 59 b), welche alle mit Thomson'schen Farbröhrchen (p. 398) auf ein 12,7 cm breites, über viele Rollen geführtes und auf Löschpapier gelegtes Registrirpapier aufschreiben. Der Apparat ist auf einer einzigen Grundplatte geschickt zusammengestellt, und er ist das „Standard“-Instrument Japans. Die Veränderung der Geschwindigkeit des Papiers geschieht auf folgende Weise (Fig. 67). Die beiden um die horizontalen Achsen c und d drehbaren Hebel a und b sind, wie die Figur zeigt, jeder für sich im Gleichgewicht. a ist mit der festen Kugel M' und

¹⁾ Quart. Journ. 39, 1883, p. 218 (Gray); Phil. Mag. Bd. 23, 1887, 1, (Gray); Trans. XII, 1887, (Milne), p. 33 ff.

der auf der Schaukel g' (um r drehbar) durch leichte Federn gehaltenen Kugel M ausgeglichen. Bei einem Stosse rollt M auf der etwas geneigten Unterlage herüber nach b bis zu dem Anschlag g , wo sie leicht durch die Druckfedern h fest gehalten wird. Nun hebt sich der linke Theil von b und schliesst den Kontakt bei i , wodurch eine Minutenmarkirung mittels elektrischer Funken auf dem Registrirstreifen eingeschaltet wird. Zugleich wird das mit dem Triebwerk verbundene Rädchen f von der langsamen Bewegung e befreit und hiermit die Geschwindigkeit der Walzen erhöht. Um nach einiger Zeit, nach welcher das Erdbeben als beendet angenommen wird, den alten Zustand steter Bereitschaft wiederherzustellen, ohne dabei viel Papier zu verlieren, muss die grosse Geschwindigkeit bald wieder reduziert werden. Dies geschieht durch folgende Einrichtung: durch das Herüberrollen von M nach g senkt sich M' und belastet die Feder s . Das mit dem Triebwerk in Verbindung stehende, nun rasch

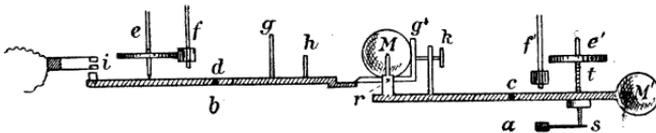


Fig. 67.

rotirende Rädchen f' kommt in Kontakt mit der Schraube e' , welche an ihrer Spindel t nun den Arm a allmählich (nach einer Revolution) wieder so hoch schraubt, dass die Schaukel g' mit ihrem Ende an dasjenige des durch M niedergehaltenen Armes b gelangt, diesen noch etwas herabdrückt und dadurch M wieder zu dem Zurückrollen nach g' veranlasst. Der Kontakt zwischen e' und f' wird dadurch wieder gelöst, dass e' in die Höhe geht; e kommt mit f von selbst wieder in Berührung und bewirkt dadurch die alte Geschwindigkeit. Bei einem neuen Stosse, oder bei Fortdauer des alten Erdbeben beginnt dann das Spiel von Neuem. — Das Funktioniren dieser ingeniosen Einrichtung hängt allein von der Empfindlichkeit der durch die Federn eingeklemmten Kugel M ab, da die anderen Vorgänge sehr einfach und zuverlässig sind.

Ewing stellte in seinem Universalapparate¹⁾ zwei Bracket-Seismographen (Fig. 35 a) und ein p. 427 erwähntes, an zwei Spiralen aufgehängtes Gewicht von Stabform zusammen, und liess alle drei

¹⁾ Nat. Bd, 34 (1886) p. 343 ff.

Indices auf einer horizontalen, durch ein Werk mittels Friktionsrad getriebenen Scheibe registriren. Ein Palmieri'sches elektrisches Quecksilberseismoskop setzte die Scheibe bei einem Stosse in Rotation. — Das Universalseismometer von M. J. Galli¹⁾ besteht aus zwei glockenförmigen Pendeln (Fig. 22), deren eines registriert, während das andere durch ein Mikroskop als Tromometer beobachtet wird, ferner aus einem an einer Spirale aufgehängten Gewicht (p. 429) mit vergrößerndem Index, einem schwingenden Stabe (p. 370) zur Richtungsangabe und einem mit Uhrarretirung verbundenen Richtungsseismoskop, alles dies auf einer Platte neben einander gestellt. Ueber die einzelnen Apparate ist gehörigen Ortes bereits geurtheilt, und es ist daher unnöthig, über diese sehr anfechtbare Einrichtung weiteres zu bemerken. — In de Rossi's Tremitoskop²⁾ endlich finden wir in drei Glaskästen eingeschlossen ein vertikales über einem auf Quecksilber schwimmenden Index aufgehängtes Pendel mit Vorrichtungen zur Richtungsangabe (Fig. 20), ferner eine schwingende, stark vergrößernde Messingruthe zu dem gleichen Zwecke (p. 372), und endlich ein mit einer Alarmglocke verbundenes Palmieri'sches Vertikalseismoskop.

Ein richtiges Universalinstrument ist endlich auch die Einrichtung von John Perry und W. E. Ayrton³⁾, eine Masse durch allseitige elastische Suspension von allen Stößen zu befreien. Der Vorschlag geht dahin, eine 200 kg schwere Kugel (Fig. 68) in einem Eisenkasten mit fünf starken Federn zu befestigen, um sie dadurch stationär zu machen. Die Registrirung sollte durch die in die Gabeln der Indices iii' hineinreichenden Stifte a geschehen, welche in Schlitzten der (in der Figur als transparent angenommenen) Kastenwände freien Spielraum haben. Die Indices drehen sich um horizontale, in die Kastenwände gebohrte Achsen. ii zeichnen die beiden Horizontal-, i' die Vertikalkomponente auf. Bei dem grossen Gewichte von m und der hierdurch benötigten Stärke der Spiralen ist es, wie Ewing richtig bemerkt, unwahrscheinlich, dass m bei nicht sehr grossen Beschleunigungen eine irgendwie merkliche Verschiebung gegen die Kastenwände erfährt, und ein leichteres Gewicht verbietet sich wegen

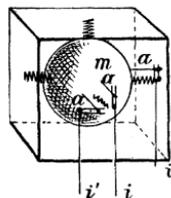


Fig. 68.

1) Progr. Geod. Oss. de Rossi 1883, p. 106 f.

2) Progr. Geod. Oss. de Rossi 1883, p. 142 ff.

3) Phil. Mag. 5. Ser. Bd. 8, 1879, 2, p. 30; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 69 f; Milne Mon. 1886, p. 31; Rep. 1896, p. 41.

der dann auftretenden kurzen Schwingungen. Ausserdem ist es schwer, die Ausschläge der Vertikalkomponente auf solche der horizontalen zu reduzieren. Das Einfüllen von Syrup in den Kasten dürfte jene Unempfindlichkeit nur noch erhöhen. Endlich ist klar, dass Drehungen um die Vertikale und Neigungsänderungen ebenfalls Verschiebungen hervorrufen könnten, welche nachher in keiner Weise unterscheidbar zu deuten wären.

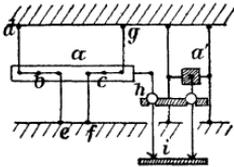


Fig. 69.

Eigentlich als Vertikalpendel zu betrachten ist die „Maschine“ von C. D. West in Tokio¹⁾ (Fig. 69), welche durchaus nur Horizontalbewegungen zu beobachten bestimmt ist. Der Eisenstab *a* trägt an beiden Seiten zwei um die horizontalen Achsen *b* und *c* drehbare Hebel, an deren Enden die bei *d*, *e*, *f*, *g* befestigten, beweglichen Stäbe angreifen, welche untereinander gleiche Länge haben, so dass die Hebel horizontal gehalten bleiben. Bewegen sich die Aufhängelienke seitwärts, so bleibt *a* wie eine Pendelmass zurück, und verharrt im Unterschiede zu einer solchen stets zu sich selbst parallel, wie man aus der Figur unschwer erkennt. Der mit der Kugel *h* aufliegende, mit *a* verbundene Index schreibt vergrössernd bei *i*. Ein

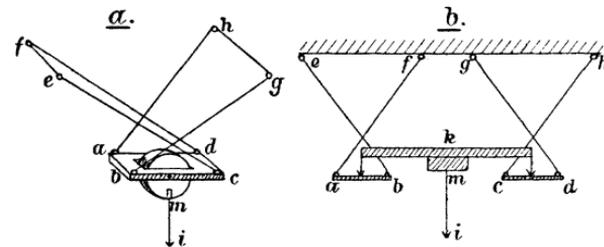


Fig. 70.

zweites Pendel *a'* ist rechtwinkelig zu *a* aufgehängt. Vertikalbewegungen lassen *a* ebenfalls unbeeinflusst, was wegen der in Betracht kommenden Form des Index *i* ein Nachtheil ist. Der grosse Mangel des Instrumentes, welches nicht weniger als 20, oder bei nur zwei Hebeln 10 Gelenke besitzt, ist die enorme Reibung, welche *a* eben nicht stationär lassen, sondern alsbald in die bedeutendsten Schwingungen versetzen wird, womit auch die Angaben von *i* und *i'* allen Werth verlieren. — Daher ist die Anwendung von Tchebicheff's Prinzip von Ewing²⁾ (Fig. 70) eine grosse Verbesserung, wo das Ganze als Hängewerk

1) Trans. VI, 83, p. 22 ff.; Milne Mon. 1886, p. 28 f.; Annali VIII, 4, 1886, p. 26, Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 89 ff.

2) Trans. VI, 83, p. 25 ff.; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 89 ff.

eingerrichtet ist und die bei (Fig. 70a) $efgh$ aufgehängten Fäden bei $abcd$ nur wenig Reibung erzeugen. Bei einer Verschiebung dreht sich die Platte $abcd$ um die Achse des eingelassenen Cylinders m , indem bei einer Bewegung nach rechts die Fäden ha und gb straff, ec und fd dagegen schlaff werden. Die Platte erhält aber doch eine von dem Winkel ebg abhängige Komponente nach rechts, wodurch schädliche Schwingungen von m entstehen. Nicht besser ist es bei der verdoppelten Suspension Fig. 70b, welche weiter zu erklären nunmehr unnöthig ist.

Sehr originell, aber wegen zu grosser Reibung auch ungeeignet, den Richtungsvariationen zu folgen, ist der Apparat von Johnston-Lavis¹⁾ zur Bestimmung der Richtung und der Amplitude der Erdbebenstösse (Fig. 71). Hier wird ein nur in einer Richtung beweglicher Körper W durch die Pendelschwingungen von der Masse m erst in die erste Stossrichtung gebracht. Unter der Annahme nämlich, dass die Bewegungsrichtung konstant bleibt, geräth m in Schwingungen, die in einer Ebene liegen. Der zwischen zwei Leisten l spielende Fortsatz i'

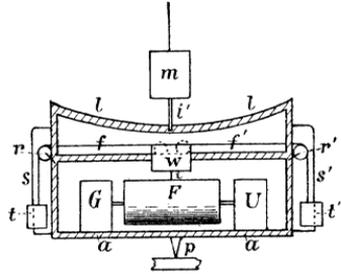


Fig. 71.

bringt das in p drehbare Gestell $a l$ in seine Schwingungsrichtung. Tritt nun eine Horizontalbeschleunigung von a z. B. nach rechts ein, so bleibt der leicht rollende Wagen W zurück und kann sogar mittels des Fadens f' das in der Führung s' laufende kleine Gewichtchen t' über der Rolle r' in die Höhe ziehen und dabei mit i auf der durch die Uhr U gedrehten Walze F die durch Reibung verkleinerte Verschiebung aufzeichnen. Sobald die ertheilte Beschleunigung dem Gewicht t' gleich wird, steht W still und wird alsbald wieder in die Mitte zurückgezogen. Die Uhr ist durch das Gewicht G balancirt. Die Nachteile dieser an sich sehr kunstvollen Einrichtung liegen, wie erwähnt, an der enormen Reibung, der Einführung der Gewichte und der geringen Fähigkeit, einer Veränderung der Erdbebenrichtung nachzufolgen. Demgemäss ist auch dem Verfasser über eine günstige Leistung des Apparates nichts bekannt.

Der in Fig. 72 dargestellte Versuch²⁾, die Masse m völlig stationär

1) Nat. 1884, Bd. 30, p. 611.

2) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 93.

zu machen, ist nichts anderes wie der oben besprochene Versuch von John Perry und W. E. Ayrton, einen Körper allseitig an Spiralfedern zu suspendiren und dadurch alle Stösse von ihm abzuhalten; denn hier soll der pyramidale Aufbau der Stahlstützen gegen seitliche, ihre Verkreuzung gegen successorische, die Kreisinterpositionen gegen allseitige Stösse schützen, aber es dürfte klar sein, dass von einer Astasie hierbei keine Rede sein kann, vielmehr wird *m* sehr bald in die unerwünschten Schwingungen gerathen, die man allerdings auf eine geeignete Periode bringen kann. Auch dürfte es schwierig sein, das Instrument auf konstanten Bedingungen zu erhalten, da dieselben ganz von der Lage und dem Zustand der Unterstüzungen abhängen.

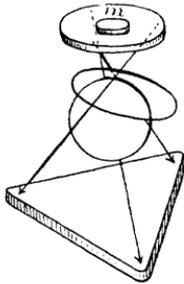


Fig. 72.

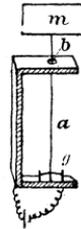


Fig. 73.

Seit der Erfindung des Mikrophons, durch welches man die kleinsten Widerstandsänderungen in einem Stromkreise telephonisch belauschen kann, hat man versucht, diese Widerstandsänderungen, welche in der Aenderung des Abstandes einer Metallspitze von einer in eine Kohlenspitze eingesenkten kleinen Pfanne bestehen, zur Beobachtung der Ruhe des Erdbodens zu verwenden. Milne¹⁾, de Rossi²⁾, Giovanni Mugna²⁾, M. Baratta³⁾ versuchten dies in verschiedener Weise zu erreichen. Milne liess eine angespitzte Kohle auf der Aushöhlung einer zweiten ruhen und schaltete beide in einen ein Telephon enthaltenden Stromkreis ein, natürlich unter dem Schutze einer Glasglocke und bei guter Fundirung. Hier mussten vor allem Vertikalbeschleunigungen den Druck beider Kohlenenden aufeinander variiren und dadurch im Telephon hörbar werden, doch hat die baldige

1) Trans. III, 1881, p. 38 ff.

2) Progr. Oss. Geod. 1883, (de Rossi), p. 139 f., p. 105 f., p. 141 f.

3) Nat. 43, 1891, p. 209.

Abstumpfung der Spitze, die Inkonstanz des Elementes und das häufige Versagen der Einrichtung dieselbe in kurzer Zeit als unbrauchbar erwiesen. Auf horizontale tremors allein reagirt dagegen folgende Einrichtung von Milne¹⁾ (Fig. 73), wo der durch m belastete Aluminiumstab a den Ring b leicht berührt. Bei jeder Bewegung des Stativs gegen den Stab a erleidet der Widerstand, den der Strom bei seinem Wege von der Batterie durch den Quecksilbernapf g , den Stab und das Stativ erfährt, bei b eine mikrophonisch wahrzunehmende Veränderung. de Rossi beobachtete die Verstärkungen des Schlagens einer dicht mit der Erde verbundenen Uhr durch das Telephon bei mikroseismischer Bewegung, hatte damit aber etwas weniger Erfolg wie Mugna²⁾, welcher zu Forlì das Verfahren mit seinem „Seisomikrotelephon“ weiter ausbildete. Er hängte einen mit Blei gefüllten Messingkonus von 600 g an einem Silberdraht auf und regulirte die Höhe derartig, dass die Kohlenspitze des Konus die Vertiefung eines darunter angebrachten Kohlenstiftes berührte, ohne jedoch darauf zu ruhen. Von einem Element (von Giov. Mocenigo in Vicenza) geht ein permanenter Strom durch den Draht, die Kohlenstücke, den Erdboden, eine Bussole und ein Telephon hindurch. Tritt an der Berührungsstelle der Kohlen in Folge einer seismischen Unruhe eine Diskontinuität ein, so wird durch die entstehende Berührung der Telephonlamelle mit einer Feder ein zweiter Strom (1 Leclanché-Element), geschlossen, welcher einen Elektromagneten erregt und dadurch Zeichen auf einer rotirenden Walze hervorruft. Baratta versuchte sogar die Schwingungen einer Membran durch eine leichte Hebeleinrichtung mittels eines Spiegels photographisch zu registriren. Adolfo Cancani³⁾ betont mit Recht die Unzuverlässigkeit der mikrophonischen Beobachtungen, da, wie er experimentell feststellte, innerhalb des Instrumentes ohne äussere Einwirkung (die er durch ein starkes Wattlepolster abschloss), Ströme entstehen, welche die Deutung der Wahrnehmungen am Telephon völlig zweideutig machen. Ueberhaupt würde selbst eine brauchbare Beobachtung nur über die Intensität der Bodenruhe etwas anzugeben geeignet sein, niemals etwa die Richtung bestimmen, weder in der horizontalen, noch in einer vertikalen Ebene.

Zu erwähnen ist endlich noch, dass die magnetischen Wagen, welche zu den astasirten vertikalen Pendeln zu rechnen sind, und

1) Trans. III, 1881, p. 41.

2) Boll. Soc. Sism. II, 10, 1896, p. 294—298.

3) Rend. Linc. Ser. V a, III, 1, 1894.

überhaupt die feinen magnetischen Apparate häufig bei Erdbeben reagirt haben, was ja auch nicht wunderbar ist. Nur muss man die Zweideutigkeit solcher Störungen betonen, welche sowohl auf magnetischen Abnormitäten beruhen, als auch durch die mechanischen Effekte einer seismischen Bewegung erzeugt sein können. Hiermit geht aber zugleich der Werth der magnetischen Apparate als Seismometer verloren, wie man auch andererseits, wenn man nicht über bedeutende Erfahrung verfügt, aus der Störungsfigur eines Magnetographen bei Beben auf einen magnetischen Sturm oder ähnliches nie ohne Weiteres schliessen darf.

Bei dieser Gelegenheit darf wohl auch davor gewarnt werden, die Schwankungen der elastischen Schreibfeder eines Barographen bei Sturm sofort mit Variationen des Luftdruckes in Zusammenhang zu bringen. Durch Horizontalpendel-Untersuchungen ist die mechanische Wirksamkeit der Winde als mikroseismische Bewegung zur Genüge bekannt, und es ist sehr wahrscheinlich, dass dieselbe Unruhe des Bodens auch die Schreibfeder der Barographen rein mechanisch beeinflusst.

Theil IV.

Seismoskope.

Methoden der Zeitbestimmung; Registrirapparate.

Nach der in der Einleitung gegebenen Definition sind Seismoskope Instrumente, welche nur angeben, dass überhaupt irgend ein vertikaler oder horizontaler Stoss stattgefunden hat. Die Empfindlichkeit dieser Apparate ist zahlenmässig nicht fixirt, und es ist aus einer Beobachtung daher nur das zu entnehmen, dass ein Stoss die Empfindlichkeitsgrenze in unbekanntem Masse überschritten hat. Meist wird zur Zeit des Funktionirens einfach eine gehende Uhr arretirt oder eine stehende angestossen und man erhält dadurch, die Uhrkorrektion als bekannt vorausgesetzt, den Zeitpunkt jenes Stosses mit mehr oder minder grosser Genauigkeit. Da Erdbeben nun in den weitaus meisten Fällen mehrere Intensitätsmaxime besitzen, so

kann man, wenn mehrere derselben nahe an der instrumentellen Empfindlichkeitsgrenze liegen, absolut nicht wissen, auf welches Maximum das Seismoskop reagirt hat, und hiermit ist über alle sich auf eine einfache Uhrangabe beschränkende Avisatoren ein vernichtendes Urtheil ausgesprochen, da ja die Zeitfixirung der eigentliche Zweck derselben ist. Nur dann erfüllen sie diesen, wenn das Seismoskop auf den bewegten Registrirstreifen eines Seismographen in dem Augenblick, wo es funktionirt, zugleich eine Marke anbringt. Denn nun ist es aus dem Verlauf der Störungsfigur leicht zu ersehen, welche Phase zuerst die Empfindlichkeitsgrenze überschritt, und damit ist die Zeitbestimmung auch der anderen Phasen bei der bekannten Geschwindigkeit des Registrirpapiers sicher gestellt. Dasselbe ist auch dann noch der Fall, wenn durch das Seismoskop der Registrirapparat erst in Bewegung gesetzt wird.

Zu vergessen ist aber auch nicht, dass periodische, kleine Bewegungen die pendelähnlichen Einrichtungen durch Summirung bei gleicher oder 2n-facher Periode selbst dann zum Reagiren bringen können, wenn diese Bewegungen sämmtlich unter der Empfindlichkeitsgrenze bleiben. Es ist daher immer ungenügend, Seismoskope allein, ohne einen registrirenden Seismographen zu beobachten, und nur die Thatsache, dass man früher die Erdbeben als wesentlich in einem einzigen Stosse bestehend ansah, erklärt er, dass hierin noch jetzt so viel Unvollkommenes weitergepflegt wird.

Man unterscheidet vertikale von horizontalen Stößen; da die ersteren aber mit verschwindenden Ausnahmen durch Spiralen mit angehängtem Gewichte beobachtet werden, welche in irgendwelcher Weise durch die Schwingungen einen die Zeit markirenden elektrischen Strom schliessen, ist es angebracht, die Apparate als Ganzes zu betrachten und nicht, wie es bei den Seismometern nothwendig war, durch gesonderte Betrachtung der Horizontal- und Vertikalinstrumente, die Universalapparate in zwei Theile zu trennen. Die horizontale Komponente wird durch fallende Körper, wie Kugeln oder Säulen, durch kurze Vertikalpendel, welche mit ihrer Spitze einen Kontakt erzeugen, durch ebenso wirkende Horizontalpendel und endlich durch die einen Stromschluss hervorrufende Erhöhung eines Flüssigkeitsspiegels in Folge von Oberflächenwellen beobachtet. Da alle diese Apparate die Zeit des betreffenden Stosses bestimmen, wird es am Platze sein, zuerst die Methoden der Zeitbestimmung und dann der soeben gegebenen Disposition folgend

im Allgemeinen chronologisch und sachlich zusammenfassend die Seismoskope kritisch zu besprechen. — Vorher sei aber noch eine allgemeine Bemerkung über die Fundirung gestattet.

Bei den Seismometern handelte es sich darum, die aufzuzeichnenden Bewegungen möglichst unverzerrt auf den Apparat übertragen zu lassen, gleichgültig in welcher Vergrößerung, welche er selbst besorgte. Hier handelt es sich aber darum, möglichst hohe Empfindlichkeit zu erreichen, und es ist daher empfehlenswerth, die Seismoskope auf hohen, symmetrisch gebauten Gerüsten aufzustellen, welche aber so elastisch sind, dass sie die ihrem Fusse ertheilten Bewegungen nicht in sich selbst vernichten, sondern dieselben durch Oscillationen vergrössern. Dagegen ist es ungünstig, hierfür die oberen Stockwerke von Gebäuden zu nehmen, welche in Folge des Verkehrs stets in so grossen Bewegungen sind, dass man die Apparate weniger empfindlich zu machen gezwungen ist (wie wir das im Folgenden z. B. bei v. Lasaulx sehen werden); denn sie sind dann nur noch für starke, nicht aber für mässige Erdbeben geeignet. Es ist vielmehr auch hier durchaus erforderlich, eine isolirte Fundirung herzustellen, auf welcher man einen elastischen nicht zu kurzen Pfeiler oder ein Gerüst errichtet.

Ob es besser sei, durch ein Seismoskop eine gehende Uhr anzuhalten oder eine stehende antreiben zu lassen, ist wohl noch nicht ganz entschieden. Brassart¹⁾ vertritt die letztere Ansicht, weil es leicht geschehen könne, dass eine Uhr auch ohne Erdbeben (oder wenigstens ohne ein für das Seismoskop genügend starkes) stehen bleibt. T. C. Mendenhall²⁾, Milne³⁾ und Johnston-Lavis⁴⁾ dagegen halten es für richtiger, eine Uhr zu arretiren, die allerdings beständig überwacht werden muss, dagegen, da sie ja alsbald verglichen wird, nicht sehr genau zu sein braucht. Vor allem hat man bei diesem Verfahren die Gewähr, dass die Uhr in Ordnung ist, während eine stehende leicht durch Verdickung des Oels etc. unbrauchbar wird, so dass sie, selbst angetrieben, alsbald zum Stillstand kommt, ohne dass man vorher im Stande ist, ihren Zustand zu erkennen. Deswegen werden auch wir uns dafür entscheiden, lieber eine Uhr anzuhalten. — Frei von diesen beiderseitigen Bedenken, wenn auch etwas kom-

1) Annali VIII, 4, 1886, p. 29 ff.

2) Amer. Journ. 3. Ser., Bd. 35, 1888, p. 97 ff.

3) Milne Monogr. 1886, p. 35 ff.

4) Nat. Bd. 39, 1889, p. 329 ff.

plizierter, ist es, die Uhr stets im Gange zu lassen und die Stellung ihrer Zeiger durch das Seismoskop irgendwie abzubilden. Milne¹⁾ (Fig. 74) wendete ein vorzügliches Verfahren an, nämlich die mit Tinte getränkten Kork- oder Lederballen der Zeigerenden an einem zweiten, anzudrückenden, gefirnisssten Zifferblatte ihre Marken machen zu lassen. Durch ein Seismoskop wird der Elektromagnet *a* angeregt, welcher den durch die Feder *c* alsbald wieder zurückgezogenen Anker *b* für einen Moment anzieht. Dadurch wird der durch den Zug des Gewichtes *g* an *b* angelehnte Stift *e* des Rades *d* frei gelassen und *d* rotirt, bis *e* wieder an den vorgeschobenen Anker *b* anstösst. *d* nimmt die Bläuelstange *f* und den Wagen *h* mit, und schiebt diesen vor- und rückwärts, wobei das Zifferblatt *i* an die Zeigerenden *s, m, h* der Uhr *U* angedrückt wird. Dies Verfahren hat sich gut bewährt

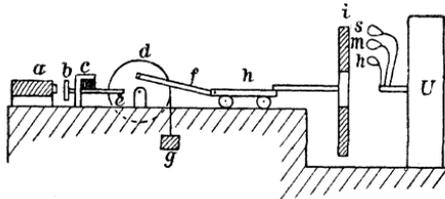


Fig. 74.

und ist durchaus einwurfsfrei. Noch besser freilich ist die etwas kostspieligere Art, das Zifferblatt im Moment des Stosses durch eine Magnesiumpatrone zu beleuchten, und automatisch photographiren zu lassen, wie W. K. Burton²⁾ vorschlägt, vor allem wenn er die Zeigerenden durch Silberkügelchen besonders glänzend gemacht hat. Ad. Cancani³⁾ hat dies Verfahren in seinem „Seismophotographen“ praktisch durchgeführt. Er schloss einen Marinechronometer in einen lichtdichten Kasten ein, dessen Deckel innen mit lichtempfindlichem Papier belegt war. In der Camera war eine durch ein verbessertes Leclanché-Element gespeiste Glühlampe eingeführt, welche durch ein Seismoskop für einen Augenblick zum Leuchten gebracht wurde. Die erhaltenen Photographien des Zifferblattes erlauben es, 0^s,1 zu schätzen.

1) Phil. Mag. 5. Ser., Bd. 12, 1881, 2, p. 356 ff.; Monogr. 1886, p. 37 f.; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 72 f.

2) Seism.-Journ. I, 1893, p. 21.

3) Boll. Soc. Sism. I, 3, 1895, p. 73 f.; Nat. Bd. 49, 1893, p. 64 f.; Bd. 52, 1895, p. 335.

Bei der Besprechung der Seismoskope beginnen wir mit den fallenden Körpern, welche in die früheste Zeit zurückreichen. Der Chinese Chôko¹⁾ hängte 136 v. Chr. in einem kugelförmigen Kupferkessel ein Pendel mit cylindrischer Masse auf und umgab dieselbe mit acht Kugeln. Das in Folge eines Bebens schwingende Pendel stiess nun an eine der Kugeln an, welche sodann durch eine Oeffnung in dem Kessel auf einer geneigten Bahn hinaus in eine ausserhalb angebrachte Oeffnung fiel. Es war, wie man an der peripherischen Aufstellung ersieht, bezweckt, die Stossrichtung zugleich zu erhalten, was auch sicher zu erreichen wäre, wenn das Erdbeben mit einem einzigen Stosse beendet wäre. Bei weiterer Fortdauer aber werden andere Kugeln an den (als Drachenmäuler geschmückten) Oeffnungen herausgeschleudert und man findet schliesslich unten in den auffangenden Froschmäulern eine Anzahl Kugeln, ohne zu wissen, welche derselben zuerst angestossen worden ist. Der Apparat, welcher ein Seismometer sein sollte, ist daher in der That nur ein Seismoskop. Eine Zeitmarkirung war mit demselben nicht verbunden. — Ein besserer Gedanke ist von Mallet und Oldham²⁾ in ihrem „Projektionsseismographen“ 1869 ausgeführt worden, nämlich aus der Fallweite der aus ihren L-förmigen Lagern herausgeworfenen Kugeln die Intensität der Stösse zu ermessen. Diese Fallweite wurde aber dadurch ermittelt, dass die Kugeln, welche nur in Berührung mit dem Apparat einen elektrischen Strom geschlossen halten, während des Falles denselben nothwendig öffnen. Die auf einem bewegten Streifen gemessene Länge dieser Stromunterbrechung ist dann proportional der Stossstärke. Auch wurden die Kugeln in schwach V-förmige Kanäle gelegt, und schlossen hier nur in deren tiefsten Punkte einen Strom. Verliessen sie nun in Folge einer Erschütterung jene tiefste Stelle, so trat eine Unterbrechung des Stromes so lange ein, bis sie wieder völlig zurückgerollt waren. Die erste Art ist sicher besser, aber man muss im Allgemeinen nicht vergessen, dass durch fallende Körper nur die horizontalen Komponenten der Stösse angegeben werden, und dass daher stets ein Vertikalseismoskop zur Vervollständigung nothwendig ist. Ausserdem ist klar, dass sowohl eine geringe Beschleunigung bei langer Dauer, wie eine weit grössere bei kurzer Dauer je nach der Beschaffenheit von Kugel und Lager den gleichen Effekt hervorbringen könnten, dass eine eigentliche

1) Milne Monogr. 1886, p. 14.

2) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 68 f.; Milne Mon. 1886, p. 17 f.

Intensitätsmessung daher auf diese Weise niemals geleistet ist. — A. v. Lasaulx¹⁾ versuchte als Verbesserung der Idee v. Seebachs, (eine stehende Uhr anzutreiben) in Uebereinstimmung mit Gumbels Vorschlag²⁾ eine Uhr durch eine fallende Kugel anzuhalten (Fig. 75). Hinter der Uhr ist an der Wand der Teller *b* befestigt, durch welchen die in einer flachen Schale *a* endende, durch die Feder *c* emporgedrückte Stange *e* geführt ist. Ruht die Kugel *k* auf *a*, so ist die durch ein Hebelwerk mit *e* verbundene Hemmung *d* aufwärts gerichtet, fällt in Folge eines Stosses aber *k* in den Teller *b*, so drückt die Feder *c* den Stab *e* aufwärts und *d* arretirt das schwingende Uhrpendel *p*. Vorausgesetzt, dass *k* in *b* nach dem Herabfallen unverändert liegen bleibt, was sehr unwahrscheinlich ist, würde bei einem einzigen Intensitätsmaximum auch dessen Richtung durch die

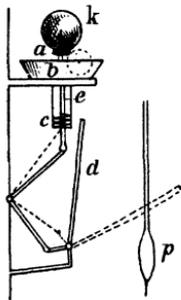


Fig. 75.

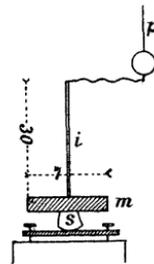


Fig. 76.

Lage von *k* in *b* angegeben werden. Bei komplizirteren Beben aber weiss man, wie bereits besprochen, nie, welcher der Stösse die Empfindlichkeitsgrenze des Apparates zuerst überschritten hat, und damit wird auch jene Angabe unbestimmt. Zu alledem kommt, dass eine Hauswand die Schwingungen senkrecht zu ihrer Ebene viel stärker mitmacht, als solche parallel zu ihr. Bei diesem Apparate zeigte sich auch, dass es durchaus nöthig ist, eine isolirte Fundirung anzuwenden. Die Vorrichtung wurde in Telegraphenämtern angebracht, aber vorüberfahrende Eisenbahnzüge brachten die Kugel nun stets zum Fallen, wodurch natürlich ärgerliche Betriebsstörungen entstanden. Man machte daher durch Vergrösserung von *a* das Instrument unempfindlicher und büsste aber dadurch seine Fähigkeit ein, sogar

1) Monographie, ein neues Seismometer, 1873.

2) Ausland, Nr. 48, 1873.

einigermaßen starke Stöße anzuzeigen. Daher wurde von weiterer Verwendung abgesehen, was ja bei den besprochenen Mängeln bezüglich der Vieldeutigkeit solcher Zeitbestimmungen (ohne Marke an einem permanent registrierenden Seismographen) nicht eben zu bedauern ist. Genau den gleichen Zweck hat der Zeitapparat von Palmieri¹⁾, und seine Anordnung lässt eine grosse Empfindlichkeit zu, welche aber auch hier nur bei guter Fundirung von Vortheil sein kann (Fig. 76). Oberhalb des Centrums der Kalotte *s* von 4,5 cm Radius ist die Bleischeibe *m* befestigt, auf welcher sich der 30 cm lange Stab *i* erhebt. Dieser ist mittels eines Fadens mit dem Uhrpendel *p* verbunden, welches sofort arretirt wird, sobald das labile System in Folge einer

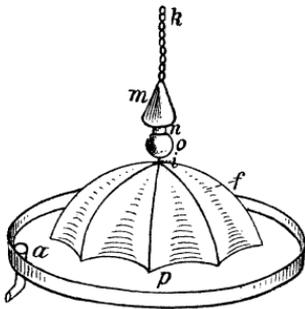


Fig. 77.

leisen Erschütterung umgefallen ist. — Mensini's²⁾ „Spion“ ist ebenfalls eine auf einer kleinen Schale ruhende Kugel, welche durch ihr Herabfallen irgendwie eine Zeitangabe hervorruft. Etwas empfindlicher ist die Form des Cecchi'schen Seismoskops³⁾, welches aus einem vertikalen Stab besteht, der auf dem oberen Ende einer vertikalen, unten beschwerten Spirale balancirt. Hier reichen schon sehr kleine Erschütterungen aus, um den Stab umzuwerfen. Frei von den Einflüssen einer

Wand, welche Lasaulx Instrument benachtheiligten, ist auch der frei aufgestellte Apparat des Grafen A. Malvasia⁴⁾ (Fig. 77), welcher recht empfindlich ist. Auf der 3 mm langen Spitze *i* einer mit 8 radialen Mulden *f* versehenen Glocke von 6 cm Höhe und 10 cm Durchmesser, balancirt die 22 g schwere Kugel *o*, welche durch den Rand *n* der am unteren Ende des 150 g schweren Gewichtes *m* befindlichen halbkugeligen Höhlung mit leisem Drucke festgehalten wird; *m* hängt an einer 1 m langen Kette *k*. Bei einem kleinen Stosse wird *o* herabfallen und die Platte *p* erreichen; diese ist derart geneigt, dass *o* durch das Loch *a* herunterfällt. Dabei trifft die Kugel den Hahn einer Pistole, welche einen Alarmschuss abgibt. Beim Verlassen des alten Platzes auf der Nadel *i* wird durch die Kugel ein Stift aus dem Körper *m* mit heruntergezogen, welcher bis

1) Milne Monogr. 1886, p. 36 f.

2) Annali VIII, 4, 1886, (Grablovitz, über Seismoskope) p. 102.

3) Annali VIII, 4, 1886, p. 102.

4) Progr. Oss. Geod. 1883, de Rossi p. 118 ff.

dahin auf *o* geruht hatte. Dieser gleitet auf einer der Mulden *f* herab und indiziert dadurch die Richtung, von welcher der Stoss gekommen ist. Welcher von etwa zwei nahezu gleich starken Stössen innerhalb eines Erdbebens dadurch aber bezeichnet ist, bleibt auch hier unbestimmt. Einfacher als diese Justirung der Kugel ist die Einrichtung von Brassart¹⁾, welcher eine schwere Scheibe auf einer Nadelspitze balancirte; hier aber ist vor allem eine gute Isolirung nöthig.

Kugeln bedürfen jedoch immer einer besonderen Lagerung, und man kam daher frühzeitig auf den Gedanken, einen leicht fallenden, labilen Körper etwa in Form einer dünnen, langen Säule von grossem Gewichte als Seismoskop zu benutzen. Da ein Körper stets zu Boden fällt, sobald sein Schwerpunkt jenseits des Unterstützungspunktes zu liegen kommt, so ist es klar, dass Cylinder von möglichst grosser Höhe und kleinem Radius bei grossem Gewicht am wenigsten Stabilität besitzen. Hiermit sind aber mehrere Uebelstände verbunden, die sogleich betrachtet werden sollen. Mallet²⁾ wollte durch Säulen von verschiedener Höhe und Stärke, die in zwei senkrecht zu einander gerichteten Reihen aufgestellt waren, neben der Intensität auch die Richtung erkennen; aber schon er bemerkte, dass die Cylinder in demselben Augenblick, in welchem sie umfallen und auf der Peripherie des Grundkreises ruhen, durch die weiter fortdauernden Horizontalbeschleunigungen ihres Fusspunktes auf der Peripherie etwas rollen und schliesslich in anderer Richtung zu Boden fallen, als sie ursprünglich die Tendenz hatten. Endlich rollen sie auch noch am Boden auf der Seitenfläche weiter. Milne³⁾ betonte ferner den oben p. 448 f bei Mallet's Kugelseismoskop erwähnten Umstand, dass eine kleine Beschleunigung bei kleiner Periode eine Säule sehr wohl umwerfen kann, dass man also aus deren Fall nicht direkt die Stossintensität erkennen könne. Seismoskope sagen uns eben nur, dass ein Stoss überhaupt stattgefunden hat, und ausser seinem Zeitpunkte weiter nichts. Milne machte Versuche mit eisernen Säulen von 15 cm Höhe und einem Durchmesser von 4,5, 5,5, 9, 15 und 18 mm, von denen nur die drei ersten tauglich waren. Da ein Stab, dessen Eigenperiode grösser ist, als die der Erdbebenbewegung, schwerer fällt,

1) *Annali* VIII, 4, 1886, (Grablovitz, über Seismoskope), p. 103.

2) Lasaulx, ein neues Seismometer 1873; *Tokio Daig.* Nr. 9, 1883, p. 67 f.

3) *Monographie* 1886, p. 16 f.; *Phil. Mag.* 5. Ser., Bd. 12, 1881, 2, p. 356; *Trans.* III, 1881, p. 46 f.

als ein kürzerer, so empfiehlt es sich, die Länge nicht zu gross zu machen; aber bei kleinerer Periode kann eine Erschütterung durch allmähliche Summation ihrer Wirkungen ebenfalls ein Umfallen erzeugen, so dass auch ein Beben von kleiner Intensität und Amplitude eine grosse Wirkung auf diese Instrumente haben kann. In der Stärke der Säulen zu sehr herabzugehen, verbietet einmal die wachsende Schwierigkeit, die Körper überhaupt erst zum Stehen zu bringen (weshalb Milne auch mit Erfolg vorschlägt, leicht angelehnte Stäbe zu verwenden, welche dann sehr lang und dünn, also sehr empfindlich sein können), dann aber auch die mechanische Schwierigkeit, sehr kleine Flächen senkrecht zur Achse anzuschleifen, worauf ja hierbei alles ankommt. Deswegen spricht sich Ewing¹⁾ völlig gegen die Anwendung der Säulen aus. Die gleichen Erfahrungen machte auch Brassart²⁾ mit schweren 1,5 mm starken Stäben. Um das Rollen der Säulen nach dem Hinfallen zu verhindern, brachte Hagenbach³⁾ in Basel oben an seinen drei 15 cm hohen, und 8, 10 und 12 mm starken Messingröhrchen eine achtseitige Platte senkrecht zur Achse der Säulen an, welche übrigens vortheilhaft oben mit einer 2 cm starken Kugel beschwert waren, wodurch ihre Stabilität verkleinert wird. — Im Allgemeinen darf nach allen Erfahrungen vor der Anwendung der Säulen wohl gewarnt werden, welche ja bei dem Fehlen einer Zeitbestimmung überhaupt nichts anderes anzeigen, als dass irgend ein Stoss stattgefunden hat.

Die Gebrüder Brassart haben in Rom in Tacchini's Auftrag die auf dem eben besprochenen Prinzip beruhenden Seismoskope ganz besonders ausgebildet, und hiermit, da eine Zeitbestimmung nebst einer Angabe auf dem permanenten Seismographen damit verbunden war, brauchbare, empfindliche Instrumente geschaffen. Anfangs⁴⁾ liessen sie noch ein Gewicht aus einer labilen Auflagerung in einen acht Vertiefungen enthaltenden Schirm fallen, und durch einen elektrischen Strom die auf 0^h stehende Uhr antreiben. Für die vertikale Komponente wählten sie nach Palmieri's Muster eine nah über Quecksilber endende Spirale, welche alsbald einen Strom zu schliessen geeignet war. Johnston-Lavis berichtet sodann über die Verbesserung⁵⁾,

1) Tokio Daig. 9, 1883, p. 68.

2) Annali VIII, 4, 1886, p. 7 ff.

3) Forster, Das Berner Beben am 27. Jan. 1881, p. 11 f.

4) Nat. Bd. 26, 1882, p. 208.

5) Nat. Bd. 39, 1889, p. 329 ff.

dass ein vertikaler Stab in einem ihn nahe umgebenden Ring von Messing aufgestellt wird, beim Fallen durch Berührung einen Strom schliesst und dadurch die stehende Uhr antreibt. Später¹⁾ (Fig. 78) wurde ein bei d und b in Spitzen gestützter, horizontaler Stab a angewendet, der beim Fall in den Ring c fällt und dadurch mechanisch oder elektrisch eine Uhr bewegt. — Eine weitere Ausbildung des Stabseismoskops ist sodann Fig. 79²⁾. Der bei b drehbare Arm a ist durch das Gewicht g und den Schirm h im Gleichgewicht. Auf der Säule e ist mit Hilfe der verschiebbaren Hülse k der oben beschwerte Stab f errichtet, welcher, angestossen, in den Schirm h fällt und dadurch a links zum Sinken bringt. Die Spitze i oder der hierbei entstehende Kontakt zwischen c und d treibt alsdann eine Uhr an. Die beste Form des Stabseismoskopes aber

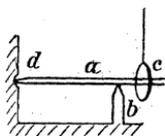


Fig. 78.

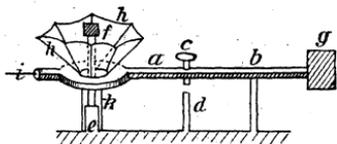


Fig. 79.

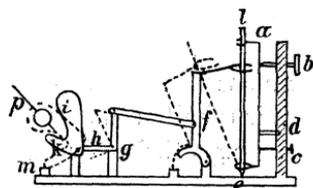


Fig. 80.

konstruirte E. Brassart³⁾ 1886, wie Fig. 80 zeigt. Der 3 mm starke, 17 cm lange Eisenstab l steht bei e in einem konischen Lager und lehnt sich oben in der Gabel der durch die Schrauben b und c regulirbaren und bei d drehbaren Feder a an. Bei seinem Fall wird das Uhrpendel p in der Weise arretirt (punktirt), dass der Arm f in einer Gabel den Stab l auffängt und dabei den um g drehbaren Winkel h nach links stösst. Dieser hatte das Uebergewicht des Kolbens i getragen, welcher, nunmehr seiner Gleichgewichtslage zustrebend, mit dem Theil k auf m fällt und mit dem Fortsatz i das Pendel p arretirt. Bei m wird ein permanenter Strom für eine Alarmglocke geschlossen. Neben dieser Art wird auch der Stab l , wie oben angegeben, durch einen Ring umschlossen, bei dessen Berührung ein Strom entsteht. — Der Apparat ist recht empfindlich und hat oft die besten Dienste geleistet. Es ist fraglich, ob es eine Verbesserung ist; wenn Aga-

1) Nat. Bd. 41, 1889, p. 137.

2) Progr. Oss. Geod. 1883, de Rossi p. 111 ff.

3) Annali VIII, 4, 1886, p. 7—13.

mennone¹⁾ den Stab l durch zwei je um eine horizontale Achse drehbare Dreiecke ersetzt (Fig. 27), denn hierdurch ist entschieden wieder Reibung eingeführt; dagegen ist es zweifellos, dass die Verbindung des Seismoskopes mit der Spitze seines Pendelseismometers (p. 378 ff.) eine vorzügliche Zeitangabe sichert.

Galli²⁾ hat an seinem Universalseismographen (p. 439) ebenfalls einen Stab mit keulenförmiger Verdickung oben innerhalb eines in 16 Fächer getheilten Ringes aufgestellt, und damit eine mechanische Uhrarretirung verbunden. Ueber den Werth der Direktionsangabe

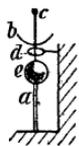


Fig. 81.

ist es nun wohl erlaubt, hinweg zu gehen. — Vorzüglich ist das für den Cecchi-Seismographen (p. 436 f.) von Grablovitz³⁾ konstruirte, auf Horizontalbewegungen reagirende Seismoskop Fig. 81. Auf der durch die Kugel e beschwerten Stange a ruht die Messingschüssel b und auf ihr der Stab c . Erhält a einen Stoss, so schwingt der obere Theil und stösst an den engen Ring d , oder dieser an die andernfalls stationäre Spitze von a ; hierdurch wird c zu Falle gebracht.

Wir erhalten hier eine sehr grosse Empfindlichkeit, weil die Unterlage b des eigentlichen Seismoskopes c in verstärkte Bewegungen versetzt wird.

Das Seismoskop genügt selbstverständlich völlig, um die Walzen W der Fig. 66 a anzutreiben und es ist eine unnöthige Komplikation, die Masse m daselbst als besonderes Seismoskop für Vertikal- und Horizontalbewegung einzurichten.

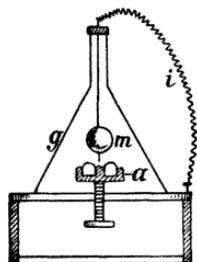


Fig. 82.

Der beinahe ein umgekehrtes Pendel darstellende Apparat (Fig. 81) leitet uns über zu dem für horizontale Stöße angewendeten Pendelseismoskop, welche wohl zuerst von Palmieri eingeführt worden sind. Um bei einer seitlichen Verschiebung leicht einen Kontakt zwischen dem

Platinspitze (unten an der Kugel m , die an einem 30 cm langen Messingdrahte aufgehängt ist) (Fig. 82)⁴⁾ und dem an sich konvexen Meniskus eines Quecksilberspiegels zu erhalten, bringt Palmieri in der Mitte des Gefässes a einen Stempel an, welcher eine neue Begrenzung des Quecksilbers darstellt. Hierdurch kann nun bei Schwingungen leicht ein Kontakt entstehen. a ist regulirbar,

1) Rend. Linc. 5. Ser., I, 2, 1892.

2) Progr. Oss. Geod. 1883, de Rossi p. 110.

3) Boll. Soc. Sism. II, 2, p. 57, 1896; Annali XI, 3, 1889, p. 177.

4) Annali VIII, 4, 1886, p. 103; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 70 f., § 68.

und das Ganze durch die Glasglocke g geschützt. — Cecchi¹⁾ kam auf die gleiche Einrichtung, verfeinerte sie aber dadurch, dass er eine schwere Kugel an dem unteren Theile eines aufragenden, vertikalen elastischen Drahtes befestigte und diesen weit aufwärts mit Einschaltung einer Spiralfeder verlängerte. Das obere Stück war umgebogen und endete in der Quecksilbervertiefung. Bei einer Berührung schliesst sich ein elektrischer Strom, welcher auf einer Walze Zeichen hervorruft. — Ewing²⁾ hält es wegen der Ungewissheit, ob die Stromleitung in Ordnung ist, mit Recht für besser, einen beständig geschlossenen Strom durch jenen Kontakt für einen Moment zu öffnen, was leicht durch die Anbringung einer Spiralfeder an den Anker des Elektromagneten zu bewerkstelligen ist. — Den gleichen Erfolg wie Agamennone erzielt Milne³⁾ dadurch, dass er statt des einfachen

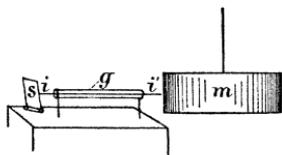


Fig. 83.

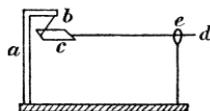


Fig. 84.

Pendels m in Fig. 82 ein stark vergrößerndes Indikatorpendel an einem mit grosser Masse versehenen Vertikalpendel verwendet (Fig. 7). Hierbei können schon sehr kleine Erzitterungen ausreichen, um durch Alarm den Beobachter herbeizurufen, was bei den komplizirteren Mechanismen gewiss oft erwünscht sein wird. Das in Fig. 83 dargestellte Verfahren Milne's⁴⁾ ist gegen die soeben beschriebenen Methoden weitaus unempfindlicher und unzuverlässiger. Hier ist in die Glasröhre g der Stab i' gelegt, welcher mit dem Ende i an dem eine horizontale Achse drehbaren Spiegel s verbunden ist. Stösst das andere Ende i' nun bei tremors an die stationäre Masse m , so wird s um einen abzulesenden Winkel gedreht. Ein zweiter zu jenem senkrechter Stab mit Spiegel vervollständigt diesen „tremor-indicator“.

Als Vertikalseismoskop ist von Palmieri schon mit Erfolg die

1) Annali VIII, 4, 1886, (Grablovitz p. XXIV und p. 103); Boll. Soc. Sism. I, 8, p. 149—151 (Giovannozzi).

2) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 71, § 68.

3) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 71, § 68.

4) Trans. III, 1881, p. 30 ff.

direkt belastete Spirale¹⁾ eingeführt, deren Spitze nahe über einer Quecksilberkuppe endet. Auf Astasie kommt hier ja nicht so sehr viel an, da durch die Schwingungen der Masse sehr bald ein Kontakt erzeugt wird; allerdings tritt stets eine kleine, unberechenbare Verspätung ein. Weit geringer gilt dies von einer ebenfalls von Palmieri¹⁾ zuerst versuchten, horizontal in einer Wand befestigten, am Ende stark belasteten, flachen Feder, da hier in Folge des Zurückbleibens der Masse wohl gleich zu Anfang ein Kontakt entstehen wird. Empfindlicher noch ist die Einrichtung von Milne²⁾ (Fig. 84), welcher eine Bleiplatte *c* an der mit *a* verbundenen, flachen Feder *b* anlöthete und den Index *d* der Platte durch einen engen Ring *e* führte, woselbst bei geringer Vertikalbewegung ein sofortiger

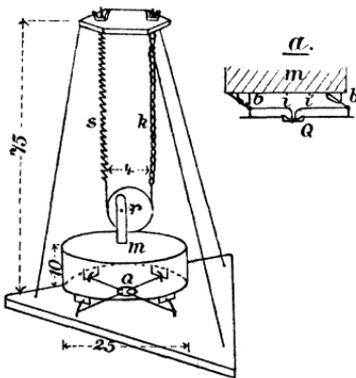


Fig. 85.

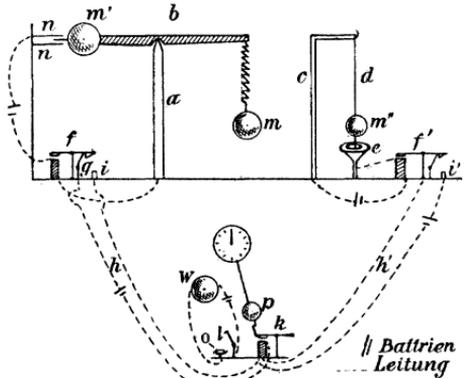


Fig. 86.

Kontakt erzeugt wird. — Immerhin ist auch in diesem Gebiete mit Rücksicht auf die Genauigkeit der Zeitbestimmung ein Astasirungsversuch von Grablovitz zu begrüßen, welcher wegen seiner Eigenart erwähnt zu werden verdient. In seinem „elektrischen Seismoskop mit stationärer Masse“³⁾ (Fig. 85) ist die 10 kg schwere, mit Schwefel ausgegossene Zinkmasse *m* excentrisch (im Verhältniss 2:3) an der Rolle *r* suspendirt, welche einerseits an einer aus 54 Windungen bestehenden Spiralfeder *s*, andererseits an der Kette *k* hängt. Bewegt sich z. B. das Gestell aufwärts, so wird *s* durch *m* in Folge des grösseren Hebelarms, an welchem die Kette *k* angreift stark verlängert und die Rolle *r* rollt an der Kette etwas abwärts.

1) Annali VIII, 4, 1886, p. 102; Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 71, § 68.

2) Trans. III, 1881, p. 36 f.

3) Annali XII, 1, 1890, p. 209 ff.

Wegen der Exzentricität aber wird m dadurch nicht gehoben, sondern bleibt stationär. Bei einer Senkung des Gestelles zieht sich s zusammen und das Rad r rollt an der Kette aufwärts, wodurch m relativ erhoben wird. Unten an der Masse sind vier U-förmige Ansätze b befestigt, an welche sich die umgebogenen, kurzen Hebelarme der Indices i von verschiedenen Seiten anlehnen (Fig. 85a). Bewegt sich z. B. die Achse der Indices aufwärts, so wird i durch b von der Quecksilberkuppe entfernt, i' dagegen hineingetaucht, wodurch Kontakt und Alarm entsteht. Für Horizontalbeschleunigungen ist m nicht stationär und funktionirt als normales Vertikalpendel; hier wird jede Richtung innerhalb 40° durch einen der vier Hebel unterschieden, was für den Anfang, solange m nicht in Schwingungen gerathen ist, als zuverlässig angesehen werden kann, sobald man sicher weiss, dass der betreffende Stoss keine Vertikalkomponente gehabt hat. Es ist diese Astasirung entschieden eine glückliche, aber jedenfalls wäre die viel einfachere Ewing'sche (Fig. 58) in allen Fällen vorzuziehen.

Musterhaft bezüglich der Aufstellung und der Zeitbestimmung ist die Einrichtung in dem Bernoullianum zu Basel, welche 1888 von einem Comité von Schweizer Gelehrten, insbesondere von Forster in Bern zusammengestellt (Mechaniker Büchi in Bern) worden ist (Fig. 86). Die Apparate sind hoch oben an einem gut fundirten Pfeiler angebracht und können daher in dem Zustand grösster Empfindlichkeit belassen werden. Auf der Spitze a ruht der durch m und m' balancirte Arm b , dessen eines Ende zwischen den Kontakten nn spielt. Bei einer Vertikalbewegung bleibt m zurück und belastet dadurch den rechten Arm von b mehr oder weniger, dadurch entsteht ein Kontakt bei n , oben bei einer Hebung, unten bei einer Senkung von a . Allerdings wirkt auch eine Horizontalbeschleunigung durch Erleichterung des rechten Hebelarmes in der Weise, dass ein Kontakt bei n unten erzeugt wird, aber die Beschleunigung müsste dann ziemlich gross sein. Für letztere allein ist das an c mittels des Messingdrahtes d aufgehängte Gewicht m'' bestimmt, dessen Spitze bei einer Berührung mit dem engen Ringe e einen Strom schliesst. m'' kann bei dem kleinen Durchmesser des Ringes wohl als stationär, die Zeitangabe also auch als exakt angesehen werden. Dass hier von Kontakten mit dem so leicht oxydirenden Quecksilber abgesehen wurde, ist ein Fortschritt, während die Form des Wagebalkens b nichts mehr als eine direkt belastete Spirale leistet, sobald der Kontaktarm nicht erheblich länger als der andere ist. Durch den Kontakt nun bei n

oder e wird der den Arm g haltende Anker f oder f' angezogen und g fällt auf den Stift i (i'), wodurch ein permanenter Strom durch h (h') geht. Dieser zieht den das Uhrpendel p haltenden Anker k an und die auf 0^h stehende Uhr beginnt zu gehen, wobei p den Stift l in die Quecksilberschale o wirft und die Alarmglocke W im Zimmer des Direktors erregt. Dieser eilt herauf, vergleicht die Uhr mit dem astronomischen Chronometer, arretirt sie und richtet die Arme l und g auf, womit auch der Apparat für die Registrirung eines neuen Stosses wieder bereit ist. Die Uhr ist so gut, dass die Unsicherheit über ihren guten Zustand verschwindet, und man wird sich hier mit der allerdings stets kostspieligen Art des Uhantriebes einverstanden erklären, aber man muss bedenken, dass eine gute Uhr auf diese Weise keinem anderen Zwecke dienen kann, als dem hier beschriebenen, während eine zu arretirende doch auch im Allgemeinen nützlich ist. Es sei mir hier gestattet, Herrn Prof. Dr. Riggensbach in Basel für die Bereitwilligkeit, mit welcher er mir am 31. August 1896 diese Instrumente zeigte, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Sehr kompensiös ist das Seismoskop von Mack¹⁾, welches in einer 35 cm langen mit einem Konus von 20 g beschwerten Kupferspirale besteht, welche an einem in die Wand gebohrten Eisenträger in 8 cm Abstand von der Wand aufgehängt ist. Die Spitze reicht in eine messingene, kegelförmige Vertiefung hinein, welche sowohl bei einem Vertikalen als auch horizontalen Stosse berührt wird. Die Genauigkeit der Zeitbestimmung hängt ganz von dem Abstand der beiden Pole und stets von der Güte der Fundirung ab. Durch den Strom wird eine gute Furtwängener Uhr angetrieben und dadurch, dass der Anker des erregten Elektromagneten, wenn er angezogen wird, durch sich selbst eine Unterbrechung in der Leitung schliesst, ein Läutewerk zum Ertönen gebracht.

Aehnlich den im Bernoullianum montirten Seismoskopen sind die von M. Kilian (durch die Mechaniker Bordier und Paulin) zu Grenoble²⁾ (als Ersatz und Vervollständigung des nach Angot von Lory erfundenen mangelhaften Seismometers) konstruirten Apparate. Für die Vertikalbewegung ist ein an fünf Spiralen aufgehängtes, mit vergrößerndem Hebel verbundenes Gewicht angewendet, während für

¹⁾ Ber. üb. d. 27. Vers. d. oberrh. geol. Ver. zu Hohenheim 93, Apr. 6, p. 40–50.

²⁾ Travaux du laboratoire de géologie de la faculté des sciences de Grenoble II, 2, 1893/1894; Compt. rend. 116, 1893, 1, p. 997 f.

die Horizontalkomponente genau derselbe Apparat wie in Fig. 86 hergestellt wurde. d ist in Grenoble ein Stahldraht von 1 mm Stärke und der Abstand des inneren Randes des Platinringes e von der Spitze beträgt 1,5 mm. Auch zu Lyon soll in einem Kellerraume der gleiche Apparat, welcher gute Dienste leisten kann, aufgestellt werden.

Der in Fig. 30 beschriebene „Elektroseismograph“ von G. Mugna¹⁾ besitzt neben dem für Horizontalstöße bestimmten Vertikalpendel noch eine belastete Spirale über Quecksilber, wobei das Gewicht noch mit einem horizontalen Stifte an einer vertikalen Schreibtafel die Amplitude aufzeichnet. Ueber den geringen Werth dieser letzteren Einrichtung braucht wohl weiter nichts gesagt zu werden. — Wegen seiner weiten Verbreitung sei hier noch das Mikroseismoskop von G. Guzzanti²⁾ beschrieben, obgleich Neues daraus nicht zu entnehmen ist (Fig. 87). Auf der 36 kg schweren gusseisernen Basis B erheben sich drei Eisenstäbe a von 90 cm Länge, welche oben das die Aufhängepunkte der Pendel enthaltende Dreieck A tragen. Die 6 kg schwere Kugel m hängt an dem 5 mm starken, 68 cm langen Stahldraht b und reicht mit ihrer Platinspitze je nach der gewünschten Empfindlichkeit in eines der bezw. 1, 1,25, 1,50 und 2 mm weiten Löcher in der Platte c . Bei einer Berührung entsteht Stromschluss.

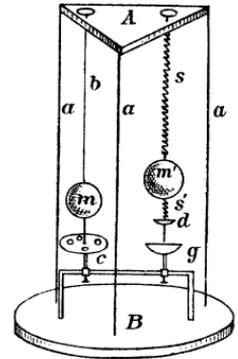


Fig. 87.

Die mit 6 kg (m') belastete 2,5 mm starke Spirale s von 38 cm Länge ist in unbelastetem Zustande 16 cm lang. An m' hängt eine zweite, aus 0,5 mm starkem Stahldraht bestehende Spirale s' mit dem Messingkörbchen d , welche je nach der verlangten Empfindlichkeit mit Schrotkörnern belegt wird, so dass die Platinspitze eine beliebige Entfernung von der Quecksilberkuppe g erhält. — Neben dem Pendel b wurde auch ein kleineres benützt, bei welchem $m = 100$ g und $b = 35$ cm ist. Tacchini trennte beide Teile des Apparates und veränderte die Dimensionen derart, dass m und $m' = 290$ g, $a = 37$ cm, die Stärke von $b = 2,3$ mm, von $s = 1,8$ mm und von $s' = 0,5$ mm wird. Er nannte diese Form dann „reduziertes Mikroseismoskop“.

Die Aufhängung an doppelter Spirale ist auch dem neuen Seismo-

1) Boll. Soc. Sism. 1895, I, 2, p. 23 ff.

2) Boll. Soc. Sism. 1895, I, 6, p. 131 ff.

skop Cecchi's¹⁾ (s. p. 455) eigen. Dort hängt an einem Stativ mittels einer starken Spirale eine Kugel, an welcher wiederum eine Glasröhre befestigt ist. Letztere enthält unten etwas Quecksilber. An der Kugel ist ferner eine kleinere Spirale mit einem Gewichtchen angebracht, welches mit seiner Stahlspitze dicht über dem Quecksilber endet. Tritt nun eine Vertikalbeschleunigung ein, so bleibt die grosse Kugel mit dem Quecksilber erst stationär und geräth sodann in Schwingungen. Jetzt erst kann eine Berührung des Quecksilbers entstehen, welche allerdings schon bei sehr geringen Bewegungen, aber mit unberechenbarer Verspätung eintritt. In diesem Falle entsteht ein Strom und ein Zeichen auf der Registrirwalze.

Eine ziemlich bedeutende Vergrößerung besitzen die von C. F. Marvin 1885 und später von T. C. Mendenhall vervollkommeneten Instrumente²⁾ in Amerika. Das erste Horizontalseismoskop Fig. 88 a besteht in dem an dem Haken *a* mittels der Oese *h* angehängten Index *i*, auf welchem mit einer Spitze die cylinderförmige Masse *m* ruht. Diese Spitze, welche im Schwerpunkte von *m* liegt, wird getragen von der in der Mitte der Durchbohrung des Cylinders eingeschraubten Kreuzung *k* und ist senkrecht abwärts gerichtet; sie bleibt im Allgemeinen stationär, während *a*

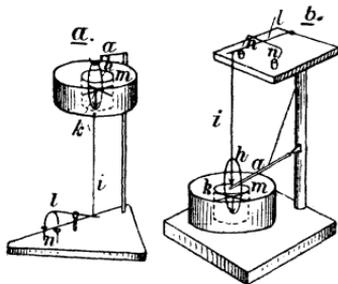


Fig. 88.

(und noch mehr *i*) sich bewegt. Hierbei fällt der an *i* angelehnte Hebelarm *l* mit der Gabel in die Quecksilbernäpfchen *n*, wodurch diese verbunden und eine Zeitbestimmung erreicht wird. Mendenhalls Form (Fig. 88 b) unterscheidet sich von der eben beschriebenen nur dadurch, dass, zur weiteren Astasirung, *i* (und damit *m*) nicht direkt mit der Erde verbunden sind, sondern dass die Oese *h* mit einer Spitze sich erst auf das Ende des Horizontalpendels *a* aufstützt. *i* ist ferner anstatt nach unten hier aufwärts gerichtet. Bei einer Bewegung wird dann der Arm *l* seiner Unterstüzung beraubt und fällt mit der Gabel in die Pfannen *n n* wie in dem soeben beschriebenen Apparate. In beiden Fällen ist natürlich auch eine Alarmglocke in den Stromkreis geschaltet.

1) Boll. Soc. Sism. I. 8, 1895, p. 149—151, (Giovannozzi).

2) Amer. Journal 3. Ser., Bd. 35, 1888, p. 97 ff.

Auch das Horizontalpendel allein ist als Seismoskop verwendet worden, und es empfiehlt sich, wie es Grablovitz¹⁾ (Fig. 89) that, zwei Pendel zu kombinieren, um die Stöße parallel zu der Richtung eines einzelnen Pendels nicht zu verlieren. Bei der Werthlosigkeit seismoskopischer Direktionsangaben wird man von einer Verdreifachung hier durchaus absehen. Die 2,6 kg schweren, 56 cm langen Pendel HH' sind mit den parallelen Indices ii' versehen, welche mit ihren Spitzen je zwischen 0,5 mm weiten Schenkeln der U-förmigen Quecksilbernäpfe qq' enden. Bei einer Berührung entsteht Stromschluss.

Einfacher noch ist die mechanische Vorrichtung von C. Davison, welcher sich allerdings auf ein einziges Pendel beschränkte²⁾ (Fig. 90). Die um b drehbare Zahnstange a ruht auf dem Arm des Horizontalpendels H , und fällt bei dessen Bewegung herab, wobei sie mit einem

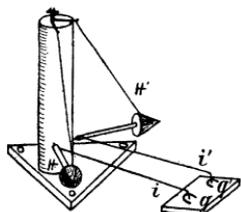


Fig. 89.

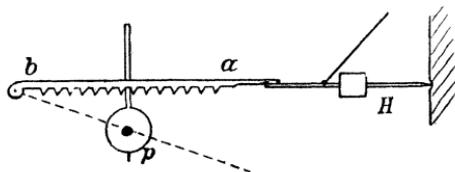


Fig. 90.

ihrer Zähne den in der Mitte der Pendellinse p errichteten Stab erfasst und die Uhr dadurch arretirt.

Von den Seismoskopen, bei welchen die Flüssigkeit selbst durch ihre Bewegung einen Kontakt erzeugt, ist nur die von Palmieri, Hayden & Hallock und Milne³⁾ benutzte Methode zu erwähnen, einen Metallschwimmer auf Quecksilber zu legen und eine Kontaktschraube bis dicht an das Metallstück heranzubringen. Durch die auf der Flüssigkeit entstehenden Wellen wird dann der Schwimmer gehoben und mit der Schraubenspitze in leitende Berührung gebracht. Ein solches Instrument ist natürlich nicht sehr empfindlich, aber es reagirt auf Stöße aus allen Richtungen.

Mehr als Kuriosum mag noch erwähnt sein, dass 1855 ein Optiker⁴⁾ zu Asakusa in Japan bemerkte, wie Eisennägel, welche durch einen

1) Boll. Soc. Sism. II, 1896, p. 41 f.; Rend. Linc. Ser. 4, VII, 1891, 1, p. 264.

2) Nat. Bd. 42, 1890, p. 346 ff.; Trans. III, 1881, p. 61 f.

3) Am. Journ. 3. Ser., Bd. 35, 1888, p. 97 ff.

4) Milne Monogr. 1886, p. 15 f.

Hufeisenmagneten gehalten waren, bei einem Erdstoss herabfielen, woraufhin er ein „magnetisches Seismoskop“ konstruirte. Selbstverständlich wiederholte sich dieser Zufall nur in den seltensten Fällen, wenn etwa der angezogene Körper nicht mit seiner vollen Fläche an dem Magneten anlag.

Dagegen hat folgende Einrichtung von J. Milne zuweilen gute Dienste geleistet¹⁾. Er legte eine Kompassnadel reibungslos auf eine horizontale Ebene und näherte ihr einen Hufeisenmagneten so weit, dass sie gerade noch nicht angezogen wurde. Bei jeder Horizontalverschiebung nun, welche einen der Körper dem anderen näherte, musste die Nadel auf den Magneten hineilen.

Immerhin sind die einfachen Pendel- oder Spiralseismoskope in ihren Leistungen entschieden umfassender und empfindlicher. Zum Schlusse muss nochmals auf den grossen Mangel hingewiesen werden, dass die wenigsten der besprochenen Instrumente zugleich eine Marke auf den bewegten Registrirstreifen eines Seismographen geben, sondern nur die Zeit ihrer Reaktion bestimmen. Da nie ein Stoss allein auftritt, muss daher vor der Verwerthung solcher Bestimmungen aus den wiederholt besprochenen Gründen nachdrücklichst gewarnt werden.

Es wird zur Klarheit des Ganzen beitragen, wenn die gebräuchlichsten Registrirmethoden einmal gesondert kritisch zusammengestellt werden, obwohl wir sie im vorigen, sobald sie ein Charakteristikum eines Apparates darstellten, bereits beschrieben haben. Es kann daher von eingehenden Darstellungen stets abgesehen werden, sobald auf die betreffenden Stellen hingewiesen wird. — Folgende Punkte müssen hier unterschieden werden: erstens der Charakter der Aufzeichnung, (ob in Komponenten zerlegt — bei der Horizontalbewegung — oder nicht, ob auf ruhiger, ob auf einer bei einem Stoss in Bewegung gesetzter Fläche, ob auf stets gleichförmig fortschreitender oder mit verschiedenen Geschwindigkeiten bewegter Fläche), ferner muss die Form der Registrirfläche, (ob Kreisscheibe, Wagen oder Walze), ihre Beschaffenheit (als Sandboden, berusstes Glas, Papier etc.) und endlich das

¹⁾ Trans. III, 1881, p. 37 f.; Tokio Daig. Nr. 9, 1888, p. 74.

Schreibmittel (in der Form eines Stiftes, der Tintenröhre, des elektrischen Funkens oder des photographirenden Lichtes) für sich betrachtet werden. Ueber diesen Gegenstand im Ganzen haben auch Milne¹⁾ und Ewing²⁾ ihre Ansichten geäußert, denen im Allgemeinen zugestimmt werden kann. Eine direkte unzerlegte Aufzeichnung auf unbewegter Fläche ist natürlich (eine stationäre Masse vorausgesetzt) ein konformes Abbild der Erdbewegung, aber die Zeichnung wird durch die vielen Linien gar zu bald unleserlich und dadurch werthlos. Auf bewegter Fläche erleichtert sie immer noch die Uebersicht, aber alle Bewegungen des Schreibstiftes parallel zur Bewegungsrichtung der Unterlage bleiben unsichtbar, die anderen Richtungen werden proportional dem Sinus dieser Richtung gegen die der Papierbewegung verkürzt (p. 385). Daher ist es zwar unbequemer aber durchaus richtiger, die Zerlegung in zwei Komponenten vorzunehmen und zwar liefern auch hier nur bewegte Registrirflächen etwas Taugliches. Die Methode, nur die Maximalbewegung durch die Verschiebung von Marken (p. 403) zu messen, ist nur bei ziemlich gut astasirten Seismometern wegen der vergrößernden Eigenschwingungen von Werth. — Ueber die unbewegten Unterlagen ist bereits geurtheilt; die fortschreitenden haben nun andererseits die Gefahr, die schreibenden Indices mit sich zu führen und dadurch die Seismometermasse zu irritiren. Hier muss daher in noch höherem Grade als bei den sogenannten static records möglichste Reibungslosigkeit erstrebt werden. Am besten ist es natürlich, die Fläche mit grosser Geschwindigkeit konstant fortzubewegen, da hierdurch die Störungsfiguren in den feinsten Details leserlich werden und die Zeitbestimmung sehr genau ist. Dies ist aber einmal recht theuer und dann bei mechanischer Aufzeichnung selbst in den vollkommensten Apparaten mit zu grosser Reibung behaftet. Die photographischen Methoden sind von 2 bis 12 cm pro Stunde, die rein graphischen bis etwa 60 cm gelangt. War daher die permanente Bewegung nicht auf die gewünschte Geschwindigkeit zu bringen, so beliess man die Fläche in Ruhe und liess sie erst bei einem Erdstosse durch ein Seismoskop, dann aber in eine sehr beschleunigte Bewegung versetzen (bis 120 cm in der Minute). Dass in diesem Falle aber alles allein von der Tauglichkeit des Avisators abhängt, ist allerdings etwas bedenklich. Hiergegen sicherte man sich dadurch, dass man eine permanente,

1) Milne, Monogr. 1886, p. 33 ff.

2) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, §§ 78—81, p. 77 ff.

mässige Geschwindigkeit einführte, welche stets einiges zu erkennen ermöglicht, und durch ein Seismoskop die Schnelligkeit für eine bestimmte Zeit erhöhte. Hierzu sind besondere Umschalter nothwendig, deren einen wir bereits bei dem Gray-Milne-Seismographen (Fig. 74) kennen lernten. Ein anderer, der mit keinem Erdbeben-Apparat eigens verbunden ist und von Agamennone stammt, soll nun hier besprochen werden (Fig. 91). Die erste Form desselben (Fig. 91 a)¹⁾ besitzt zwei Uhren $U U'$, deren Geschwindigkeit eine verschiedene ist, U bewegt die Walze in der Minute um 2 mm voran, U' um denselben Betrag in 1^s. Die Umwech-

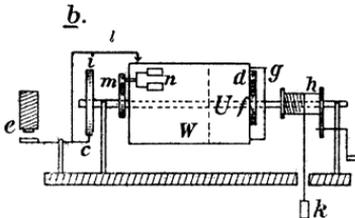
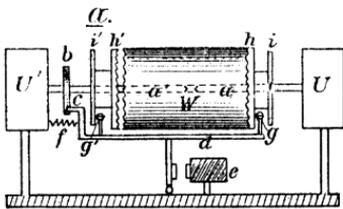


Fig. 91.

lung geschieht folgendermassen: In normalem Zustande zieht die Spirale f den Bügel d nach links und rückt mittels der Friktionsrädchen $g g'$ das Kronrad h' von dem gezähnten Rande der Walze W ab, presst aber h an W heran; h ist mit U verbunden und U treibt W mit der kleinen Geschwindigkeit. Durch ein Seismoskop wird nun der Elektromagnet e für einen Augenblick erregt; dieser zieht d nach rechts, wodurch der in eine Nute des Rades b eingreifende Stift c aus demselben herausgeht und die rasch laufende Uhr U' frei macht. Zugleich wird durch g und g' das Kronrad h' mit W in Berührung gebracht und h von W entfernt;

U tritt daher ausser Thätigkeit und U' wirkt. Nach einer einmaligen Revolution aber schnappt in Folge des Zuges von f der Stift c wieder in den Ausschnitt von b ein, wodurch der alte Zustand hergestellt wird. Die verbesserte Form (Fig. 91 b) hat den Vortheil, nur ein Uhrwerk und eine Achse zu besitzen, ferner billiger und leichter zu sein²⁾. Das an h angreifende Gewicht k dreht die Walze W mittels des Bügels g , aber die Geschwindigkeit wird durch ein im Innern angebrachtes Uhrwerk U gedämpft und auf 12 cm/h gebracht. Dasselbe treibt nämlich das Zahnrad d in umgekehrter Richtung, als es bei der Rotation von W in Folge seiner Verbindung mit dem

1) Bibliogr. geod. ital. I, 1892, (Mario Baratta); Rend. Linc. V, 1, Heft 11, 1889.

2) Rend. Linc. 5. Ser., I, 2, Heft 7, 1892.

festen Rad f gedreht wird. Entfernt sich durch die Erregung des Magneten e der Stift c aus dem Rade i , so dreht sich das Rad d nicht mehr, und W rotirt, gemässigt durch den Windregulator n , mit der Geschwindigkeit von 10 mm/sec einmal herum, bis c wieder in das Rad i eingreift. Zugleich wird durch den Stift l ein Zeichen auf der Walze angebracht. — Diese Einrichtung ist bezüglich ihrer praktischen Bedeutung mit der in Fig. 74 dargestellten wohl auf gleiche Stufe zu stellen. In beiden Fällen sieht man aber, dass mit dieser Variation der Rotationsgeschwindigkeit nicht unerhebliche Komplikationen verbunden sind. Ueber die periodische Beschleunigung ist bereits p. 378 Genügendes gesagt. — Als passende Form der Registrieffläche wird häufig eine rotirende Kreisscheibe gewählt, doch ist bekannt, dass die kleinen, täglichen Perioden der Lothschwankung den Index derart hin- und herführen, dass allmählich eine breite Trace entsteht, welche es unmöglich macht, den Anfang einer Störung zu erkennen. Man muss dann eine automatische Verschiebung entweder der Scheibe oder des Index einrichten. Dasselbe gilt für Walzen mit einem Papierstreifen. Hier kann man aber dadurch Abhilfe schaffen, dass man stets neues, fortlaufendes Papier benutzt, wie das bei allen grösseren Apparaten auch eingerichtet ist. Freilich ist dies bei der photographischen Methode etwas theuer. Die Wagen (p. 435) oder ein sich abwärts bewegendes Parallelepipedon treten gegen diese Hauptformen mit Recht gänzlich zurück. Ein mit drei Schreibflächen bedecktes, senkrecht abwärts rückendes Parallelepipedon ist nämlich von Cecchi¹⁾ angewendet worden, welcher auf drei vertikalen Flächen desselben die drei Komponenten der Erdbewegung aufzeichnen liess. — Das primitivste Schreibmittel, und auch nur für static records verwendbar, ist ein Stift auf feinem Sand etc.; man ist hiervon nun völlig abgekommen und wendet feine Stahl- oder Glasspitzen (p. 384) auf bürstetem Papiere oder einer Glasscheibe an. Das Papier wird oft transparent²⁾ gewählt, um dann nach seiner Fixirung direkt als photographisches Negativ zu dienen. Sehr gut sind auch die Thomson'schen Tintenröhrchen (p. 398), welche auf (mit Löschpapier unterlegtem) Schreibpapier sehr feine scharfe Linien erzeugen. Die beste, weil absolut reibungslose Art ist, trotz der Einwände Vicentini's

1) Annali VIII, 4, 1886 (Grablovitz, p. XX); Rend. Linc. V, 1. Sem., Heft 11, 1889.

2) Phil. Mag. 5. Ser., Bd. 12, 1881, 2, p. 356 ff., Nat. Bd. 30, 1884, p. 149 ff.

und anderer, doch die photographische Methode. Die Nothwendigkeit der Verdunkelung des Registrirraumes, die Kostspieligkeit, die Umständlichkeit, entwickeln und fixiren zu müssen, sind freilich keine kleinen Uebel, aber es dürfte wesentlich wohl nur ein persönliches Moment sein, welches hier zu Gunsten der einen oder anderen Art entscheiden lässt. Die Photographie wird meist durch Reflexion eines Lampenspaltes an einem an dem Apparat angebrachten Spiegel und durch Konzentrirung mittels einer Cylinderlinse bewirkt, einfacher auch durch die Kreuzung zweier Spalte wie bei Milne (p. 401). Chesneau¹⁾ wählte als Pendelkörper direkt eine optische Linse.

Sollte die beste Registrirart für Horizontalpendel bezeichnet werden, so würde der Verfasser vorschlagen, bei starker Lichtquelle die photographische Methode bei einer Walzengeschwindigkeit von 120 mm/h ($0,1 \text{ mm} = 3^s$) anzuwenden. Sind Geldmittel vorhanden, so ist die Einschaltung eines Apparates nach Fig. 91 b oder 74 zu empfehlen und dadurch die Geschwindigkeit zeitweise auf 36 cm/h zu erhöhen.

Uebersicht.

Bei der übergrossen Zahl der Apparate, welche wir im Vorigen mit jener Unvollkommenheit, die theoretischen Beschreibungen praktischer Dinge anzuhaften pflegt, durchgesprochen haben, ist es ein äusserst dringendes Erforderniss, die Gesammtheit noch einmal in grossen Gruppen überschauen zu können. Daher ist die beiliegende Tabelle konstruirt worden, welche einen nach theoretischen Prinzipien geordneten Auszug der Abhandlung darstellt, deren Disposition wesentlich auch den Rücksichten auf leichteres Verständniss folgen musste. Hier ist es nun leicht möglich, den Grad der Vollkommenheit der Apparate zu erkennen, da die Uebersicht gegenüberstellt, welcher Zweck in jedem Falle beabsichtigt, welcher aber erreicht worden ist; zugleich sind nach Möglichkeit auch die Ursachen angegeben, welche dem irgendwie gestalteten Verhältniss zwischen Absicht und Erfolg bei den Apparaten zu Grunde liegen; diese Gründe können in der Natur der Apparate oder auch nur der Registrirmethode oder endlich

¹⁾ Rep. 1893, p. 288 ff.

n beiden liegen. Diejenigen Instrumente, welche auf dem gleichen Prinzipie aufgebaut sind, und sich nur in geringem unterscheiden, sind zusammengefasst, dabei ist aber eine grundsätzliche Trennung zwischen Seismometern und Seismoskopen innerhalb derselben Grundprinzipien durchgeführt. Ferner sind die dem Verfasser erhältlichen, sicherlich lückenhaften, oft wohl auch unsicheren Angaben über die räumliche Verbreitung, die Kosten und die in Betracht kommenden Mechaniker beigefügt. Man wird sich, nachdem man sich etwas mit der Tabelle vertraut gemacht hat, alsbald leicht sagen können, wo einerseits die in der Natur der Sache begründeten Mängel, ferner die Nachtheile der Apparate und andererseits die Vortheile liegen, und man wird die empfehlenswerthen Instrumente sowohl, wie auch die schlechten oder überflüssigen ohne Mühe herauszufinden vermögen. Um die Uebersicht nicht noch mehr anschwellen zu lassen, war es geboten, gewisse, sich stets wiederholende Bezeichnungen abzukürzen. Bevor aber diese aufgeführt werden, wird es gut sein, kurz zu wiederholen, welche Eigenheiten in der ganzen Seismometrie besonders zu beachten sind.

1. Die Trennung reeller Horizontalbeschleunigungen, von solchen, welche durch und bei Neigungsänderungen mit entstehen, besonders wenn die Apparate hoch über dem Erdboden suspendirt sind, ist instrumentell nicht zu leisten.

2. Die bei fernen Beben entstehenden, reellen Horizontalbeschleunigungen sind unmessbar klein; wir bemerken nur Neigungsänderungen, die sehr klein, und nur für Horizontalpendel gut messbar sind.

3. Instrumente, welche sehr kleine Vertikalbeschleunigungen anzeigen, giebt es noch nicht; daher werden solche bei fernen Beben nie beobachtet. Das Ausmass der Bodenerhebung kann bei genügend grosser Periode immer noch bedeutend sein, wie man aus den Berechnungen der Horizontalpendel-Beobachtungen erkennen kann.

4. Seismoskope haben für die genaue Zeitbestimmung nur dann wissenschaftlichen Werth, wenn sie (etwa zur Beschleunigung der Registrirgeschwindigkeit) an ein Seismometer angeschlossen sind. Findet nämlich, was stets der Fall ist, nicht ein Erdbebenstoss allein statt, so ist die Phase, welche das Instrument zur Reaction brachte, unbestimmt. Vollends bei schwingenden Seismoskopen, deren Thätigkeit nicht mit einem Male er stirbt, machen die nachfolgenden Erdbewegungen die Beobachtungen gänzlich unsicher.

Die rein mechanische Eintheilung aller Seismometer ist folgende: Wir haben **I. Pendelinstrumente**, **II. Massen, welche auf einem Punkte, oder einer horizontalen Geraden** (dann stets paarweise, senkrecht zu einander aufgestellt) **ruhen**, und **III. Instrumente mit Flüssigkeiten**.

Gruppe I theilt sich in A. Vertikal-, und B. Horizontalpendel, A endlich wieder in stabile und neutrale (astasirte). Innerhalb der Gruppen werden zuweilen Horizontal-, Vertikal- und Universalinstrumente (alle drei Komponenten) unterschieden, bei getrennter Behandlung der Seismometer und Seismoskope.

Gruppe II theilt sich in stabile Massen (Seismometer) und labile, welche zugleich die Seismoskope dieser Art sind.

Gruppe III besteht erstens in den Instrumenten, welche durch Bewegung der Flüssigkeitsoberfläche wirken, und ferner in solchen, die auf hydrostatischer Grundlage aufgebaut sind. Bei den ersteren soll von Seismometern nur die Horizontalkomponente der Erdbebenbewegung beobachtet werden, während die Seismoskope auf alle drei Komponenten reagieren; bei den hydrostatischen Apparaten registriren die Seismographen die Vertikalkomponente, während die Avisatoren nur auf Horizontalbewegung eingerichtet sind. Dies Verhältniss hat natürlich keinen theoretischen Grund, sondern ist nur dadurch entstanden, dass man gewisse Arten nicht berücksichtigt hat, was bei dieser dritten, minderwerthigsten Gruppe wohlbegründet ist.

Die Abkürzungen, welche die Tabelle anwendet, sind folgende:

I_n = reelle Horizontalverschiebung in Folge naher Beben.

(I_f = das gleiche für ferne Beben; fehlt.)

O_n = Winkel, um den der Apparat geneigt wird, bei nahen Beben.

O_f = das gleiche bei fernen Beben; sehr klein.

R_i = Richtung aller dieser Bewegungen (natürlich nur bei Horizontalinstrumenten vorkommend), i deutlich (i ganze Zahl).

T_n = Periode der Horizontalbewegung naher Beben.

T_f = Periode der Horizontalbewegung ferner Beben.

MI_n, MO_n, MO_f = wie oben, auch mikroseismisch.

Für die Vertikalinstrumente:

V_n = Vertikalverschiebung bei nahen Beben.

V_f = Vertikalverschiebung bei fernen Beben (nie gemessen).

Daher fehlen auch MV_n und MV_f .

T_{vn} = Periode der Vertikalbewegung bei nahen Beben.

T_{vf} = Periode der Vertikalbewegung bei fernen Beben (nie gemessen).

Für alle Seismometer:

Z = Zeitpunkte aller Phasen der horizontalen oder vertikalen Erdbebenbewegung.

Für Seismoskope;

H = reagirt nur auf I_n und O_n (die zu trennen keine Aufgabe der Seismoskope ist).

V = reagirt nur auf V_n .

O = reagirt auch auf O_f .

MH = reagirt auch auf MI_n und MO_n .

(MV = reagirt auch auf V_f , fehlt.)

I_n^1 u. O_n^1 = I_n u. O_n einer bestimmten Phase (oft beabsichtigt); da Messung nie geleistet, bleiben die Apparate Seismoskope.

R^1 = Richtung in einer bestimmten Phase.

Z^1 = Zeitpunkt einer bestimmten Phase.

In welcher Weise die Seismoskope durch ihre Reaktion die Zeit bestimmen, ist ausser Acht gelassen. Das beste ist, das Zifferblatt zu photographiren. Das Ideal eines Horizontalapparates wäre in diesen Zeichen also, wenn er

$MI_n . MO_n . MO_f . R . T_n . T_f . Z$ messen würde; das Ideal eines Vertikalapparates, wenn er

$MV_n . MV_f . T_{nv} . T_{vf} . Z$ messen würde, und zwar jede Bewegungsart von einander getrennt, für sich allein unterscheidbar.

I_n und O_n sind aber instrumentell (einstweilen noch) nicht verschieden, und für diese schädliche Vermischung ist das Zeichen ∞ , (welches auch zwischen anderen Termen stehen kann) angewendet.

Ein ideales Horizontal- (Vertikal-) Seismoskop würde mit $MH . O . R^1 . (MV) . Z^1$ bezeichnet sein.

Bei der Registrirmethode sind folgende Abkürzungen gebraucht:

st = Registrirfläche unbewegt (static record).

pc = Registrirfläche in permanenter, konstanter Bewegung.

a = Registrirfläche durch Seismoskop in Bewegung gesetzt.

acc = Registrirfläche durch Seismoskop in schnellere Bewegung gesetzt.

d = direkt schreibender (Registrirstift).

v = vergrößernder (Registrirstift).

Vergr. = Vergrößerung.

Es ist klar, dass die Messung von T und Z nur bei pc (auch a und acc) erfolgen kann.

Fernere Bezeichnungen sind:

max = nur Maximalgrenzen der Bewegung.

U.A. = Universal-Apparat.

Hg = Quecksilber.

H²O = Wasser.

≅ vor einem der seismischen Zeichen bedeutet, dass die Bestimmung verzerrt, ungenau oder unbestimmt ist.

m = Masse.

Die Tabelle besitzt 11 Vertikalspalten; diese enthalten:

- I. Laufende Nummer.
- II. Kurze Charakteristik der Gruppen ähnlicher Apparate.
- III. Namen der Erfinder.
- IV. Zweck, welcher durch die Beobachtung der Apparate einer Gruppe beabsichtigt wird.
- V. a) Vorzüge, b) Nachtheile der betreffenden Apparate und der in denselben angewendeten Prinzipien überhaupt.
- VI. Beschreibung der Registrirmethoden. In der ersten Unterspalte: ob und in wieviel Komponenten (bei Horizontalapparaten) zerlegt wird; in der zweiten: Art der Registrirbewegung.
- VII. Zahl der zur vollständigen Analyse theoretisch nothwendigen Apparate gleicher Art.
- VIII. a) Vorzüge, b) Nachtheile der Registrirmethoden.
- IX. Durch die Beobachtung der Apparate erreichter Zweck. Diese Resultate folgen aus dem Inhalt der Spalten V und VIII; Spalte IV mit IX vergleichend erhält man stets eine allseitige, völlige Kritik.
- X. Orte, wo Apparate installiert sind.
- XI. Preis der kompletten Apparate in Mark. Namen der betreffenden Mechaniker (lückenhaft).

Oeffters sind in einer Reihe mehrere Apparate mit kleinen Verschiedenheiten vereinigt; sodann ist eine weitere horizontale Trennung konsequent durchgeführt, soweit es nöthig war.

Unten ist eine Zusammenstellung der zusammengesetzten Universalapparate und eine kurze Legende beigelegt.

Die besten Vertikalpendel sind offenbar die von Vicentini, Agamennone und Cancani (Reihe 7) und die Doppelpendel von Ewing und Milne (20). Von den Horizontalpendeln würde Verfasser wegen der grösseren Vollständigkeit den Apparat (38) empfehlen, während für den Fall, dass keine grosse Empfindlichkeit verlangt wird, das schwere Horizontalpendel Grablovitz' (32) gute Dienste leistet. Das beste Vertikalseismometer ist das von Ewing (26) oder (theurer) von Gray (27). Die Horizontalseismoskope von Forster (11), oder (etwas umständlicher aber empfindlicher) von Milne (12), und das Vertikalseismoskop von Forster (16) mit Metallkontakt dürften die besten ihrer Art sein. Natürlich sind die Seismoskope nur zum Beschleunigen der Registrirgeschwindigkeit permanenter Seismographen, nicht allein aufzustellen, daher denn auch der eben erwähnte Apparat von Milne (12) noch mehr zu empfehlen ist. Die Horizontalpendelseismoskope (39 u. 40) würden unnöthig sein, wenn das registrirende Horizontalpendel die Bezeichnung pc trägt.

Ewing¹⁾ hat ein Verzeichniss von den Apparaten gegeben, welche zu einer kompletten Erdbebenstation gehören; dieselben sind:

1. Ein zweifacher Bracket-Seismograph (Reihe 34 oder 36), pc.
2. Ein zweifacher Bracket-Seismograph aber a, rasch bewegt.
3. Ein Vertikalpendel (Reihe 6), unzerlegt; oder zerlegt, pc.
4. Ein Doppelpendel (20) unzerlegt, st.
5. Ein Vertikalseismograph (Reihe unbestimmbar) a.
6. Mehrere Hg-Seismoskope für die durch ein Uhrwerk zu bewirkende Beschleunigung der Platten (berusste Glasscheiben) und für den
7. Zeitapparat (Milne, Fig. 74, p. 447).
8. Chronograph für Minutenzeichen.

Dazu kommt ein Uhrwerk für Nr. 1 und 3. Zwei Stative für 3 und 4, drei Fundamente für 1, 2 und 5.

Dieser sehr umfangreichen Einrichtung setzt Verfasser nun folgende, viel beschränktere, aber sicher leistungsfähigere Zusammenstellung entgegen.

1. Vicentini-Pendel mit Zerlegung, pc rasch, Länge 1,50 m oder 3,30 m, Masse 100 kg, auf Gerüst nach Fig 2a. Chronograph.

2. Federseismograph (Ewing oder Gray Fig. 58, 59) schnell pc, (oder langsamer, photographisch, und acc durch ein Milne-Seismo-

1) Tokio Daig. Nr. 9, 1883, p. 81 f., § 82.

skop, Beschleunigungsvorrichtung nach Gray (Fig. 67) oder Agamennone (Fig. 91 b).

3. Dreifaches Horizontalpendel (Fig. 44), pc, photographisch. Bewegung 44 oder 120 mm/h. Registrirung durchweg auf Walzen.

4. Grablovitz' zweifaches Horizontalpendel pc wie 1.

Dazu für 2 und 3 zwei Fundamente.

Bei mechanischer Registrirung von 2 würden also zwei Triebwerke für die vier Apparate, eine Uhr mit Chronograph allein genügen, so dass hier, abgesehen von den Triebwerken, fünf einzelne Apparate (vier Seismographen, eine Uhr), den 11 bei Ewing (fünf Seismographen, drei Uhren, zwei Seismoskope, ein Zeitapparat) gegenüberstehen.

Nr. 1, 2 und 4 registriren nahe, 3 vorwiegend ferne Beben. Seismoskopen-Stationen allein einzurichten, ist entschieden aus den bereits besprochenen Gründen zwecklos und, sobald aus den Beobachtungen weitere seismologische Schlüsse gezogen werden sollten, sogar bedenklich.

Verzeichniss der in Betracht kommenden Litteratur nebst den angewendeten Abkürzungen.

Mit Stern versehene Werke wurden durchgesehen aber für die Abhandlung belanglos gefunden.

1. Trans. = Transactions of the seismological Society of Japan. [Durchgesehen von Bd. I (1880) — Bd. XVI (91)].
2. Seism. Journ. = Seismological Journal of Japan. (Fortsetzung von 1.) (I, 1893—IV, 1895.)
3. Tokio Daig. = Memoirs of the Science Department, Tōkiō Daigaku [Nr. 6 (1881)—9 (1883)].
4. Rep. = Report of the British Association for the advancement of Science (1871, 1872, 1882, 1886—1896).
5. Phil. Mag. = The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science [Bd. 19 und 20 (1860); Serie V, Bd. 8 (1879, 2), 9 (1880, 1), 11, 12 (1881), 23, 24 (1887) und 37, 38 (1894)].
6. Milne Monogr. = John Milne, Earthquakes and other earth movements, London 1886.
7. Nat. = Nature [Bd. 26 (1882) — 52 (1894)].

8. Am. Journ. = The American Journal of Science [Bd. 35 (1888, 1) — 50 (1895, 2)].
9. Quart. Journ. = The Quarterly Journal of the Geological Society of London [Bd. 36 (1880) — 51 (1895)].
- *10. The American Geologist, a monthly journal of geologie and allied sciences Bd. 1 (1888) — 17 (96).
- *11. Proceedings of the Royal Society of London Bd. 31 (1880, 1881).
12. Nat. Sc. = Natural Science, a monthly Review of scientific progress [Bd. 5 (1894), 6 (1895), 8 (1896)].
- *13. The Edinburgh New Philosophical Journal (Jameson) (1853 Juli—Okt.)
14. Ges. Ostasien. = Mittheilungen der deutschen Gesellschaft für Natur- und Völkerkunde Ostasiens in Tokio (Hrsgeg. vom Vorstande) [Bd. 5 (1889) — 6 (1896), Bd. 2. Heft 13].
- *15. The Geographical Journal (1886—1896).
16. Rend. Linc. = Atti della Reale accademia dei Lincei, Rendiconti. [Ser. IV, Bd. 5 (1889) — 7 (1891), Ser. V, Bd. 1 (1892) — 3 (1894)].
- *17. Atti dell' accademia dei nuovi Lincei Ser. I. 1 (1847) — 24 (1871); dann: Atti della Reale accademia dei nuovi Lincei, memorie della classe di scienze fisiche, matematiche e naturali. [Ser. II—Ser. IV, Vol. 7 (1872—1890)].
18. Boll. Soc. Sism. = Bollettino della Società sismologica Italiana (Tacchini) (I, Heft 1—10, 1895, II, Heft 1—10, 1896, III, Heft 1—4, 1897).
19. Annali = Annali dell' ufficio centrale meteorologico e geodinamico Italiano, Ser. II [Bd. 4 (1882) — 7 (1885) je 3 Hefte, 8 (1886) — 10 (1888) je 4 Hefte, 11 (1889) 3 Hefte, 12 (1890) 2 Hefte, 13—15 (1891—1893) je 1 Heft].
20. Progr. Oss. Geod. = Programma dell' Osservatorio ed Archivio geodinamico presso il R. comitato geologico d'Italia, M. St. de Rossi 1883.
21. Giuseppe Vicentini, Broschüren über den Mikroseismographen.
- a) Microsismografo a registrazione continua 1895 (Padova).
 - b) Osservazioni sismiche 1894 (Siena).
 - c) Movimenti sismici 1894 (Siena).
 - d) Wie b.
 - e) Sulle registrazioni del microsismografo Vicentini (Modesto Cinelli) 1895 (Siena).
 - f) Intorno ad alcuni fatti risultanti da osservazioni microsismiche 1896 (Modena).
 - g) Fenomeni sismici osservati a Padova dal febbraio al settembre 1895 col microsismografo a due componenti, Studio. 1896 (Padova).
 - h) Considerazioni sugli apparecchi sismici registratori e modificazione del microsismografo a due componenti, Nota. 1896 (Venezia).
- (b—e in den Atti della R. accademia dei Fisiocritici, Ser. IV, Bd. 5).
22. Compt. rend. = Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences [Bd. 98 (1884, 1), 100 (1885, 1), 102 (1886, 1), 110 (1890, 1)—121 (1895, 2)].
23. Kilian, observations séismiques faites à Grenoble 1895. Travaux du laboratoire de géologie de la faculté des sciences 1894.
24. v. Lasaulx, ein neues Seismometer 1878. Monographie über das Beben von Herzogenrath.
25. Lepsius, über ein neues Quecksilber-Seismometer etc. (Zeitschr. der d. geol. Ges. 1884 Bd. 36.)

26. Geographisches Jahrbuch (Wagner) (1885—1895).
27. Wied. Beibl. = Wiedemanns Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie (1880—1896).
28. Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien. 2. Abtheilung [Bd. 82 (1880) — 103 (1894)].
29. Hörnes. = Hörnes, Erdbebenkunde, Leipzig 1893.
30. Petermanns Mittheilungen (1880—1896).
31. Forster, das Berner Beben vom 27. Jan. 1881.
32. Mack, Bericht über die 26. Versammlung des oberrheinischen geologischen Vereins zu Hohenheim am 6. April 1893.
33. Giulio Pacher, Microsismografi dell' istituto di fisica della R. università di Padova. Venezia 1897.
34. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1884.
35. Zeitschrift für vaterländische Naturkunde in Württemberg 1887.
36. Repetitorium für Experimentalphysik (Exner) Bd. 24.
37. Prometheus 1889—1896.
38. Himmel und Erde II.
39. Lumière électrique Bd. 27.

Nicht zugänglich waren:

1. Bulletin météorologique et séismique de l'observatoire impérial de Constantinople.
 2. United States monthly weather review.
 3. Barret und Brown, practical physics 1892.
 4. Bollettino della Società Veneto-Trentina.
 5. Revista scientifico industrial.
 6. L'elettricista.
-

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	350—353
Theil I. Instrumente zur Messung der Horizontalkomponente der Erdbebenbewegung	353—422
A. Pendelinstrumente	353—409
Allgemeines	353—354
1. Vertikalpendel	354—388
in Japan etc.	354—369
in Italien vorwiegend	369—388
2. Horizontalpendel	388—409
B. Rollende Körper	409—415
C. Seismometer auf hydrostatischer Grundlage	415—422
Theil II. Instrumente zur Messung der Vertikalkomponente der Erdbebenbewegung	422—432
Allgemeines	422—423
A. Federinstrumente	423—431
B. Hydrostatische und andere Instrumente	431—432
Theil III. Universalapparate und besondere Einrichtungen	433—444
Theil IV. Seismoskope Methoden der Zeitbestimmung und Registrirapparate	444—466
Allgemeines	444—446
A. Zeitbestimmung	446—447
B. Seismoskope	448—462
1. Fallende Körper	448—451
2. Pendelseismoskope	451—461
a) Vertikale Pendel	451—460
b) Horizontale Pendel	461
3. Hydrostatische und andere	461—462
C. Registrirapparate	462—466
Allgemeines	462—463
1. Charakter (Zerlegung in Komp.)	463
2. Bewegung der Unterlage	463—465
3. Schreibmittel	465—466
Uebersicht	466—474
A. Erklärung der Tabelle	466—470
B. Beste Auswahl der Instrumente	471—472
Litteraturverzeichnis	472—474
Beilagen :	
1. Grosse Uebersichtstabelle über alle Erdbebenapparate, insbesondere für die Kritik ihrer Brauchbarkeit (2 Tafeln).	
2. Im Texte: 91 Figuren.	

Ueber die Karteneintheilung des Marinus von Tyros.

Von Privatdozent **Dr. Ehrenburg** in Würzburg.

Marinos von Tyros hat, wie wir durch Klaudios Ptolemäos erfahren, seine Karte der bewohnten Erde der geographischen Länge nach in Stundenabschnitte (*ὥριαῖα διαστήματα*), der geographischen Breite nach in Klimata (*κλίματα*) getheilt. Während über Anzahl und Grösse der ersteren (15 Stundenabschnitte zu je 15 Längengraden: Ptol. geogr. I. 11, 1; 23, 1.) direkte Angaben vorliegen, spricht Ptolemäos über die Breitereintheilung seines Vorgängers nur andeutungsweise, ohne klaren Aufschluss über sie zu geben. Nun ist aber die Frage doch nicht so hoffnungslos, wie sie Berger (Gesch. d. wiss. Erdk. d. Griech. IV, p. 123) hinstellt, nachdem ihn seine eigenen, sehr geistreich ersonnenen Lösungsversuche nicht befriedigten.

In der Hauptstelle, die hier in Frage kommt (Geogr. I, 15, 7; ed. C. Müller: 8) wird dem Marinus vorgeworfen, er habe den Berg Athos auf den durch den Hellespont gehenden Parallel verlegt und die über, d. h. nördlich von dem Athos liegende Stadt Amphipolis und die Mündung des Strymon noch dazu in das unter dem Hellespont liegende vierte Klima versetzt.

Wie müssen die Klimata eingetheilt gewesen sein, damit das vierte gerade unter den (südlich vom) Parallel des Hellesponts zu liegen kam? Wir würden es schwerlich errathen können, wenn nicht glücklicherweise eine ganz entsprechende Eintheilung vollständig

überliefert wäre. Der anonyme Verfasser der *Διάγνωσις ἐν ἐπιτομῇ τῆς ἐν τῇ σφαίρᾳ γεωγραφίας* (Geogr. graeci minores ed. C. Müller II, p. 488—493) giebt im dritten Abschnitte seines Werkchens ein ausführliches Verzeichniss der Parallelkreise, der Klimata und noch einer dritten Breitereintheilung in Stunden, auf die wir noch zu sprechen kommen. Die Parallelkreise interessiren uns nicht weiter, es sind dieselben wie bei Ptolemäos (Geogr. I. 23); die auf die Klimata und Stundeneintheilung bezüglichen Stellen lassen wir hier folgen.

„§ 11 (p. 491). Ich will aber, dass du auch dieses weisst, dass die gesammte Oikumene durch 23 Parallele getheilt wird, wie wir von dem Künstler (*τεχνικός*) Ptolemäos erfahren, welche uns die Lage der Klimata angeben, durch welche die Verlängerungen und Verkürzungen der Tage und Nächte stattfinden.

§ 13 (p. 492). Und weiter der vierte (Parallel), auf welchen der Anfang der Klimata gesetzt ist — denn dieses durch Meroe gehende ist das erste Klima —; er ist vom Aequator nach Norden $16^{\circ} 25'$ entfernt und unterscheidet sich durch eine Stunde d. h. er hat den längsten Tag von 13 Stunden.

§ 14. . . . der sechste nach ihm (dem Aequator), der auch durch Syene gezogen wird und unter dem sommerlichen Wendekreis ist, ist entfernt $23^{\circ} 45'$ und unterscheidet sich um $1\frac{1}{2}$ Stunde, auf ihm ist das zweite Klima.

. . . der achte, der durch Alexandria, ist entfernt $30^{\circ} 20'$, 2 Stunden; auf ihm ist das dritte Klima. Beachte mir hier den Unterschied der Stunde, welcher $13^{\circ} 55'$ beträgt.

. . . der zehnte, der durch Rhodos, ist entfernt 36° , $2\frac{1}{2}$ Stunden, auf ihm ist das vierte Klima.

§ 15. . . . der zwölfte, der durch den Hellespont, ist entfernt $40^{\circ} 55'$, 3 Stunden, auf ihm ist das fünfte Klima. Siehe den Unterschied auch dieser dritten Stunde nach Norden zu: $10^{\circ} 35'$.

. . . (p. 493) der vierzehnte, durch die Mitte des Pontos, ist entfernt 45° , $3\frac{1}{2}$ Stunden, auf ihm ist das sechste Klima.

Der fünfzehnte, durch den Borysthenes, ist entfernt $48^{\circ} 30'$, 4 Stunden, auf ihm ist das siebente Klima; und dieser Stunde Abstand (beträgt) $7^{\circ} 35' 1''$.“

1) Mit Willen habe ich die Härten des Textes in der Uebersetzung nicht zu mildern gesucht. — Der merkwürdige Umstand, dass C. Müller, der Herausgeber dieser anonymen Geographie, später bei der Ausgabe des Ptolemäos zur Erklärung der Stelle über die Klimen erstere nicht heranzog, kommt wohl daher, dass der genannte Gelehrte, wie seine Uebersetzung zeigt, unter Klima dasselbe

Hier hört die Klimeneintheilung auf, während die Stundeneintheilung bis zum Parallel von Thule (63°), auf welchen die achte Stunde trifft, durchgeführt ist, mit jedesmaliger Hinzufügung der Grade, die auf jede Stunde treffen.

Die Klimata sind also vom Parallel von Meroe anfangend so angeordnet, dass jedes folgende auf dem Parallel beginnt, auf dem die Dauer des längsten Tages um eine halbe Stunde länger ist. Das vierte Klima beginnt bei dem Parallel von Rhodos und reicht, wie wir uns hinzu denken müssen, bis zu dem vom Hellespont, wo das fünfte anfängt. Es entspricht das genau der obigen Stelle. Wir können also den Schluss wagen, dass der Verfasser der anonymen Geographie uns dieselbe Klimeneintheilung überliefert hat, die auch Marinus in seinem Werke benutzte. Aber noch weiter können wir gehen und behaupten, dass die Klimeneintheilung von Marinus nicht erfunden sein kann, sondern, dass er sie schon vergefunden haben muss. Denn er ist es ja gerade gewesen, der die Grenzen der Oikumene bis an den südlichen Wendekreis und bis nach Thule ausgedehnt hat. Die Eintheilung aber weist in ihrer Beschränkung auf die sieben Klimata zwischen dem Parallel von Meroe und dem von Borysthenes in eine frühere Zeit zurück, wo die bekannte Erde noch zwischen diesen Grenzen lag. Das Wahrscheinlichste ist wohl, das Hipparch selbst von seiner Breitentabelle diejenigen Parallele auswählte, welche zwischen sich je eine halbe Stunde Zunahme der Dauer des längsten Tages einschlossen.

Aehnlich wie die Eintheilung in Klimata nach dem Fortschreiten der grössten Tagesdauer, nur auf die ganze Erde ausgedehnt, bietet sich die entsprechende Eintheilung nach ganzstündigen Stufen wie sie in der citirten anonymen Geographie deutlich hervortritt. Diese Eintheilung nach Breitenstunden, wie wir sie im Deutschen der besseren Unterscheidung wegen nennen wollen, kann mit grösserer Wahrscheinlichkeit dem Marinus zugeschrieben werden, zumal da sie auch in einem gewissen Parallelismus des Ausdrucks zu seiner Eintheilung der Länge in Stundenabschnitte steht¹⁾.

wie unter Parallelkreis verstand, während man schon nach Analogie mit den späteren z. B. arabischen Geographen darauf hätte kommen müssen, dass unter Klima ein Breitenstreifen, keine Linie zu verstehen ist.

1) Vergleiche ausser der oben mitgetheilten Aufzählung auch § 6 der an. Geogr. *Ἔστιν ὁὖν τὸ μὲν μῆκος, ὡς ἔφαμεν, μοιρῶν μὲν ρπ' (180°). τὸ δὲ πλάτος μοιρῶν μὲν οθ' γ'ιβ'' (79° 55') ἢ δλων π' (80°), σταδίων δὲ μυριάδων δ' (4), ὥρῶν δὲ θ' (9).* Der folgende Satz zeigt, dass der Gedanke der Analogie der

Von der Anwendung dieser Breitenstundeneintheilung (neben den Klimata) bei Marinos glaube ich in der Geographie des Ptolemäos eine deutliche Spur gefunden zu haben. Es würde wenigstens durch sie eine bisher dunkle Stelle, nämlich die über die Lage von Pisa und Ravenna (I, 15, 5 oder 6 ed. Müller) ungezwungen erklärt werden können.

„Ebenso sagt er (Marinos), dass Pisa von Ravenna nach S.-W. 700 Stadien entfernt sei; aber in der Eintheilung nach Klimata und Stundenabschnitten setzt er Pisa in den dritten Stundenabschnitt, Ravenna aber in den vierten.“

Sind hier Stundenabschnitte der Längeneintheilung gemeint, wozu wird dann die Eintheilung in Klimata überhaupt erwähnt? Abgesehen hiervon ist eine Erklärung ohne Textveränderung gar nicht möglich, wie die Bemerkungen Müller's zu der Stelle zeigen. Die Sache ist aber sehr einfach, wenn wir das Wort Stundenabschnitt von der Breite verstehen. Die Grenze der dritten und vierten Breitenstunde fällt mit der des vierten und fünften Klimas, also wieder mit dem Parallel des Hellespontos (40° 55') zusammen. Ptolemäos setzt nun Ravenna (wohl übereinstimmend mit Marinos) auf 44° an. Dagegen wird Pisa von dem ersteren auf 42' 45', also noch in die vierte Breitenstunde gesetzt. Marinos jedoch verlegte Pisa ohne den kleinen, noch dazu nach S.-W. gerichteten Abstand von 700 Stadien zu berücksichtigen, in die dritte Breitenstunde, also südlich des Parallels des Hellespontes, oder in das vierte Klima. Hierzu würde auch die Karte des Edrisi¹⁾ stimmen, auf welcher die Klimata, abgesehen von Abweichungen im Einzelnen, in ganz entsprechender Art dargestellt sind, und Pisa zwar noch im fünften Klima, aber in einer sehr bedenklichen Annäherung an das vierte auf einem gegen S.-W.

Breitenstundeneintheilung mit der Längenstundeneintheilung dem Alterthum wohl bewusst war. Die Zahlen der Abschnitte sind natürlich Ptolemäisch, nicht Marinisch. *Μὴ καταπλαγῆς δὲ, καθότι ἐπὶ μὲν τοῦ μήκους ῥπ' (180) μοιρῶν ὄντος, ιβ' (12) ὥρῶν ἀκούεις εἶναι διάστημα, ἐπὶ δὲ τοῦ πλάτους, π' (80) μόνον ὄντος μοιρῶν, θ' (9) ὥρῶν ἔχειν ἀνάβασιν, ὁκτώ μὲν ἀπὸ τοῦ ἰσημερινοῦ πρὸς Βορρᾶν, μιᾶς δὲ ἀπὸ τοῦ ἰσημερινοῦ πρὸς νότον· ὁ γὰρ ὁ αὐτὸς λόγος ἐπ' ἀμφοτέροις.* Der Unterschied zwischen den beiden Eintheilungsprinzipien war dem Anonymus freilich selbst nicht recht klar, seine Erläuterung fällt verworren genug aus.

1) Vergl. M. Amari e C. Schiaparelli, *L' Italia descritta nel libro del re Ruggiero*, compilato da Edrisi. Roma 1883. Die vollständige Klimeneintheilung auf der die Augen sehr ermüdenden Karte im I. Bande der *Géogr. du moyen âge* von J. Lelewel, planche III, (nicht im Atlas).

gerichteten Vorsprung der Küste gezeichnet ist. Man könnte sich das Ueberlieferungsverhältniss etwa so denken, dass Edrisi ausser dem Text des Ptolemäos, den er ausdrücklich erwähnt, die Karten des Marinos benützte, die nach einer von Peschel-Ruge (Gesch. d. Erdkunde p. 51, Anm. 4) angeführten Stelle des Masudi wenigstens im 10. Jahrhundert noch (und zwar mit besonderer Hervorhebung der Klimata durch Kolorit) vorhanden waren. Vielleicht würde ein genaues Studium der übrigen Ptolemäos-Ueberlieferung noch andere Züge der Darstellung seines Vorgängers zu Tage fördern.

Kurz zusammengefasst stellt sich die Karteneintheilung nach meiner Ansicht so dar:

Längeneintheilung in 15 Stundenabschnitte.

Breiteneintheilung in 10 Stunden, zwei südlich und acht nördlich des Aequators. Daneben Beibehaltung der alten sieben Klimata vom Parallel von Meroe bis zu dem von Borysthenes.

XV.

Das dreifache Horizontalpendel.

Von

Dr. R. Ehlert.

Mit 2 Figuren im Text.

A. Allgemeines.

Für die Aufzeichnung von Lothschwankungen hat sich schon seit Jahren das System des Horizontalpendels, sei es in der Form des Darwin'schen Bifilarpendels oder des v. Rebeur'schen Instrumentes, als der weitaus empfindlichste Apparat erwiesen. Um eine vollständige Analyse jener Niveauschwankungen zu ermöglichen, sind offenbar zwei senkrecht zu einander gerichtete gleichartige Instrumente erforderlich, deren jedes nur eine einzige Komponente der Oscillationen zu registriren im Stande ist. Da es aber schwierig ist, zwei Apparate bezüglich der Fundirung, der Temperatur etc. dauernd unter den völlig gleichen Bedingungen zu erhalten, so hat v. Rebeur (Mechaniker Stückrath) beide Horizontalpendel in einem einzigen Gehäuse anzubringen empfohlen, wodurch neben der Gleichartigkeit der Bedingungen auch Kompensiosität erreicht wurde.

Das Horizontalpendel hatte sich aber auch als feinfühligler Seismograph bei entfernten Erdbeben erwiesen, indem es den hierbei auftretenden, mit einer Periode von 10^s bis 30^s schwingenden, äusserst schwachen Bodenosscillationen völlig nachfolgend in den photographischen Registrirungen deutliche Störungsformen hinterliess. Mit Hilfe derselben ist man im Stande, Amplitude, Periode und Zeitpunkt aller bemerkten Erschütterungen zu bestimmen. Bei dem v. Rebeur'schen Modell bewegte sich das Registrirpapier um nur 11 mm pro Stunde; die Zeitbestimmung war daher um etwa 40^s unsicher. Die Richtung der seismischen Bewegungen zu erkennen, war mit Eindeutig-

keit nicht möglich, da man in Folge jener langsamen Bewegung auf dem Papierstreifen niemals erkennen kann, ob sich das Pendel beim Beginn einer Störung zuerst nach links oder nach rechts bewegt hat. Es bleibt bezüglich der Richtungsangabe auch bei zwei Pendeln hier eine Vierdeutigkeit bestehen, welche sich selbst bei dem Vorhandensein mehrerer Stationen im Allgemeinen nicht hebt, sondern eher noch vergrössert¹⁾. — Ein zweiter Missstand des v. Rebeur'schen Pendels ist, dass es bei nahen Erdbeben in Ruhe verharret, was natürlich seine Anwendung als Seismometer sehr beschränkt. Die Bodenbewegung bei solchen Beben besteht, abgesehen von der vertikalen Komponente, einmal aus variabel gerichteten Horizontalbeschleunigungen von einer nur wenige mm grossen Amplitude und einer Periode von 0^s,2 bis 2^s, ferner aus Oscillationen von variabler Stärke und gleicher Periode. Das v. Rebeur'sche Pendel ist sehr leicht und hat keine stationäre Masse; seine halbe Schwingungsdauer ist 15^s bis 18^s. Treten nun Horizontalschwingungen senkrecht zu der Pendelrichtung auf, so wird das ganze Apparatgehäuse davon betroffen: die im Inneren eingeschlossene Luft, welche jene Bewegungen mitmacht, wird das leichte Pendelgerüst mit sich führen, und ein Zurückbleiben des Schwerpunkts gegenüber der bewegten Achse nicht ermöglichen. Die Oscillationen würden, wenn sie langsam vor sich gingen, das Pendel zu starken Ausschlägen bringen, und dadurch proportional $2d \frac{T^2}{T_0^2}$ vergrössert werden (wo d die Entfernung des Pendelspiegels von der Registrirwalze, T_0 die natürliche Schwingungsdauer, und T diejenige bei nahezu vertikaler Drehungsachse ist), und diese Eigenschaft qualifizierte das Horizontalpendel ja auch zur Wiedergabe jener äusserst geringen Lothschwankungen bei fernen Beben. Den mit sehr kleiner Periode vor sich gehenden Schwingungen aber vermag das träge Pendel nun durchaus nicht nachzufolgen. Sein Schwerpunkt bleibt unbeweglich, und es können nur die bei den Neigungsänderungen eintretenden seitlichen Translationen der stets in einiger Entfernung über dem Erdboden liegenden Achse bemerkt werden; diese sind aber bei der meist niedrigen Aufstellung der Apparate und der Kleinheit der Neigungswinkel völlig verschwindend.

Der Verfasser hat nun in einem neuen Apparate die beiden Mängel der Unsicherheit in der Richtungsbestimmung und der Un-

¹⁾ Näheres hierüber im Anhang zu Ehlert, Horizontalpendel-Beobachtungen im Meridian, Strassburg E. „Beiträge zur Geophysik“ III, 1, 1896.

brauchbarkeit bei nahen Beben zu heben, oder doch zu verkleinern gesucht und es kann schon jetzt auf Grund von Beobachtungen gesagt werden, dass dieses im Wesentlichen gelungen ist. — Dem ersten Mangel wird durch eine Kombination von drei Pendeln, welche in Abständen von 120° in einem Gehäuse angebracht sind, wirksam begegnet, indem nunmehr bei zwei Stationen völlige Eindeutigkeit der Richtungsangabe erreicht ist¹⁾, und bei langsamerer Bewegung der Pendel oder bei rascherer Drehung der Registrirwalze die Sicherheit der eindeutigen Bestimmung um 30 bis 50% grösser wird, als wenn man nur zwei Pendel zur Verfügung hat. An sich ist der Gedanke nicht neu, sondern bereits von Gray, Grablovitz und A. Schmidt mit Erfolg angewendet. Diese Verdreifachung wird sich auch dann beizubehalten empfehlen, wenn die Geschwindigkeit des Registrirstreifens, wie dies bei den neuesten Konstruktionen geschieht, von 2 auf 12 cm pro Stunde erhöht wird, da es eine grosse Sicherheit gewährt, über die Aufzeichnungen der Pendel eine immerwährende, gegenseitige Kontrolle zu besitzen. Dieselbe ist hier eine dreifache, da aus der Kombination der Registrirungen von Pendel 1 mit 2, von 2 mit 3, und 3 mit 1 stets, wenn auch mit grösserer Unsicherheit, das gleiche eindeutige Resultat erfolgen muss. Zudem ist der Apparat in dieser Form völlig symmetrisch, was in Bezug auf die Konstanz seiner Aufstellung von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist. Bei nur zwei Pendeln ist jene Symmetrie nur unvollkommen zu erreichen. Es braucht nicht weiter betont zu werden, dass bei der raschen Bewegung des Registrirpapiers bezüglich der Feststellung der Richtung einer seismischen Bewegung schon von einer einzigen Station völlige Eindeutigkeit erreicht wird.

Der zweite Nachtheil lässt sich deswegen schwerer beseitigen, weil man die Eignung des Apparates zum Studium langsamer Lothschwankungen unter dem Einflusse der Sonnenwärme und der Mondattraktion nicht aufgeben, oder kurz die Grösse $\frac{T^2}{T_0^2}$ nicht zu sehr verkleinern darf; auch würde damit die Fähigkeit, ferne Beben zu registriren, sehr geschwächt. Wenn man nämlich, was das Naheliegendste wäre, das Pendel stark verkürzt, so kann es in der That den raschen Oscillationen mit grösserer Leichtigkeit folgen, und vergrössert die Horizontalverschiebungen weit bedeutender. (Uebrigens haben Versuche bewiesen, dass man hierin nicht zu weit gehen darf, weil die

1) Siehe auch hierfür die oben angeführte Arbeit.

stets vorhandene mikroseismische Unruhe (lokal, vor Allem an Küsten besonders stark¹⁾) das Pendel in steten Schwingungen um seine Ruhelage erhält, in welche zurückzukehren immerhin noch eine merkliche Tendenz vorhanden ist. Die Registrirkurve wird in diesem Falle so unruhig, dass die deutliche Ausbildung einer seismischen Störungsfigur unmöglich wird.) Verringert man auf diese Weise also T_0 , so ist es aus technischen Gründen (wegen der Undurchführbarkeit, die Reibung entsprechend zu verringern) nicht möglich, T genügend gross und damit eine brauchbare Reduktionskonstante für Oscillationen zu erhalten. Ferner können, nach Schmidt²⁾, bei allzugrosser Kürze die bei Wellenbewegungen zugleich mit Neigungen auftretenden Horizontalbeschleunigungen für das Pendel gleiche aber entgegengesetzte Effekte hervorbringen.

Aus diesen Gründen wurde die mathematische Pendellänge nur um 38 mm verkleinert. Um die Schädlichkeit des Luftwiderstandes zu mindern, hat Verfasser die Masse bedeutend vergrössert, durch welche zugleich auch die Reibungswiderstände leichter überwunden werden, welche die (besonders gehärteten) Spitzen an ihren Lagern erzeugen. Bei Horizontalbeschleunigungen bleibt jetzt die Pendelmasse stationär, und es dreht sich das Pendel bei einer gegebenen Verschiebung der Achse nunmehr um einen bedeutend grösseren Winkel, weil ja der Abstand des Schwerpunktes statt 100 mm nur noch 62 mm beträgt. Gegen früher werden in Folge dessen derartige kleine Bewegungen, wenn sie senkrecht zur Pendelrichtung vor sich gehen, 1,62 mal stärker vergrössert, und damit der Schmidt'sche Fall ausgeschlossen, dass sich die Reaktionen des Pendels auf Oscillationen und Translationen bei nahen Beben gegenseitig aufheben.

Bei einer kompletten Schwingungsdauer von 12^s entspricht das Horizontalpendel einem vertikalen, kompensirten, d. h. auf äusserst kleine Stabilität reduzirten Pendel von fast 36 m Länge. Bleibt seine Masse bei nahen Beben für die ersten Augenblicke stationär, so erreicht die Vergrösserung der Horizontalverschiebungen, wenn diese 1 bis 30 mm betragen, 130 bis 170 (bei einem Abstand: Walze — Spiegel = 4 m). Dieselbe ist also grösser als bei allen italienischen Seismographen (bei dem Vicentini'schen Mikroseismographen beträgt sie 80), und in Folge der optischen Methode der Registrirung völlig

1) Daher am Pendel ein Draht zum Eintauchen (5 mm tief) in ein dämpfendes Glycerinbad.

2) Die Aberration der Lothlinie. Beiträge zur Geophysik, III, 1, 1896.

reibungslos. Bei der ungeheuren Länge des entsprechenden Vertikalpendels ist es allerdings nicht ausgeschlossen, dass die Superposition der selbständigen Pendelschwingungen auf den langsamen Bewegungen des Erdbodens bei fernen Beben (deren Periode 30^s — 50^s beträgt) in den Diagrammen zuweilen nicht deutlich zu unterscheiden sein wird, doch ist die Trennung wohl in allen Fällen durchzuführen. Diese Bedenken haben G. Vicentini und G. Pacher bereits für die langen Vertikalpendel ausgesprochen¹⁾. Wenn also das Horizontalpendel diesen einen Mangel mit dem sehr langen Vertikalpendel gemein hat, so besitzt es vor demselben die unschätzbaren Vortheile einmal einer soliden Aufstellung (die grossen Pendelgerüste und sonstigen umfangreichen Einrichtungen bedingen wegen ihrer Inkonstanz bekanntlich viele unberechenbare Nachtheile), und sodann denjenigen einer weit bedeutenderen (dabei reibungslosen) Vergrösserung, und zwar nicht nur für die Registrirung langsamer Oscillationen, sondern auch für Horizontalbeschleunigungen. Daraus erklären sich auch die oft erstaunlich frühen Zeitangaben für die Reaktion von Horizontalpendelstationen bei Erdbeben, weil von diesen Instrumenten eben schon die allerersten, kleinsten Longitudinalschwingungen des Erdbodens, welche der Hauptbewegung voraneilen, bemerkt und sichtbar gemacht werden.

Die Nachtheile des Horizontalpendels, nämlich seine grosse Schwingungsdauer und die Misslichkeiten der photographischen Registrirung, fallen gegen seine Vorzüge kaum ins Gewicht. Die Pendelschwingungen lassen sich, wie gesagt, von den eigentlichen, seismischen Bewegungen stets trennen, wenn damit auch einige Arbeit verbunden ist; das geringe Trägheitsmoment des Systems verbietet es ferner, demselben auch nur die geringste mechanische Arbeit aufzubürden, und man ist daher durchaus gezwungen, das Ideal der photographischen Registrirmethode beizubehalten. Durch praktische Handgriffe und geschickte Anordnung lassen sich übrigens die Unbequemlichkeiten bei einiger Uebung gut überwinden. Es darf daher wohl gesagt werden, dass das Horizontalpendel auch als Seismograph vor dem Vertikalpendel den Vorzug verdient; es repräsentirt hier ein etwa 36 m langes, ungemein sicher suspendirtes Vertikalpendel von verschwindender Stabilität, welches Horizontalverschiebungen 130 bis 170 mal und Oscillationen in dem Verhältnis $1 \text{ mm} \approx 0'',073$ vergrössert. Die Trennung der Superpositionen ist bei Aufzeichnungen naher Beben

1) Sugli apparecchi impiegati nello studio delle ondulazioni del suolo. (Atti del R. Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti, tomo VIII, Ser. VII, 1896—1897.)

natürlich noch leichter, da der Unterschied der Perioden bei dem Horizontalpendel am grössten ist. — Die beiden Bewegungsformen, Oscillationen und Horizontalbeschleunigungen, in den Registrirungen von einander zu trennen, ist bei Pendeln überhaupt unmöglich, und es kann diese missliche Zweideutigkeit nur durch Hinzunahme von Apparaten völlig neuen Prinzips gehoben werden. Diese Unklarheit ist übrigens nur bei nahen Beben vorhanden, denn die in Folge ferner Erdbeben entstehenden Bodenbewegungen bestehen lediglich aus Oscillationen.

B. Beschreibung des Apparates.

Jedes Pendel bedarf zweier Regulirungen: einmal einer Neigungsänderung der Drehachse senkrecht zur Ebene der normalen Ruhelage des dreieckig geformten Pendelkörpers, durch welche eine Drehung desselben um die Achse erfolgt, und sodann einer Bewegung der Achse parallel jener Ebene, wodurch T und somit die Empfindlichkeit geändert wird. Während bei dem einfachen, v. Rebeur'schen Pendel diese Korrekturen mittels Drehung zweier, bzw. der dritten Fusseschraube des Pendelgehäuses erfolgten, ist diese einfache Methode bei einer mehrfachen Kombination nicht mehr zugänglich; es ist vielmehr nothwendig, jedes Pendel für sich allein reguliren zu können. Hierbei ist Verfasser absichtlich von der bei dem zweifachen Pendel angewendeten Stückrath'schen Methode abgegangen.

1. Das Pendel (Fig. 1).

Das Pendelgerüst ist ein aus solidem, 3 mm starken Messing durchbrochen gearbeitetes, gleichschenkliges Dreieck K , dessen Spitze ein 75 g schweres, linsenförmiges Gewicht p trägt (Gesammtgewicht des vorderen Pendels 185 g, gegen 42 g bei v. Rebeur, der beiden hinteren je 211 g). An den beiden Enden der Basis befinden sich zwei sphärische Achatlager $n n'$, deren Krümmungsradius von 2,5 mm auf 2 mm reduziert ist, um die Lage des auf den Spitzen ruhenden Pendels möglichst stabil zu erhalten¹⁾. Nach dem Vorgange von Rebeur-Stückrath ist die Richtung der beiden Spitzen und Lagerachsen derartig, dass die Abnutzung der ersteren eine völlig symmetrische ist. Dies wird dadurch erreicht, dass man den ausgeübten Druck genau in der Richtung der Spitzen wirken lässt; man giebt letzteren daher eine solche Stellung, dass die Verlängerungen ihrer Achsen in

¹⁾ Neuerdings wird die Stabilität der Aufhängung dadurch erhöht, dass das obere Lager ein Paraboloid von 4 mm Oeffnung und 1,5 mm Tiefe (unten besonders vertieft), das untere eine vertikale Schneide (5 mm lang, Winkel 103°) wird.

einem Punkte auf der im Schwerpunkt G des Pendels angreifenden Richtung der Schwerkraft zusammentreffen. Ob man dabei, wie früher, die Spitzen (die untere mit dem Ende, die obere mit der Basis) nach dem Schwerpunkte selbst richtet, oder die untere Spitze horizontal und die obere in einen nach jenem Prinzipie zu berechnenden Winkel α stellt, ist gleichgültig. In dem hier beschriebenen Apparate ist die letztere Anordnung angewendet. Die Verbindungslinie der Lagermitten $n n'$, d. h. die Drehungsachse, hat eine Länge von 80 mm (gegen 68 mm bei v. Rebeur), und der Abstand des Schwerpunktes

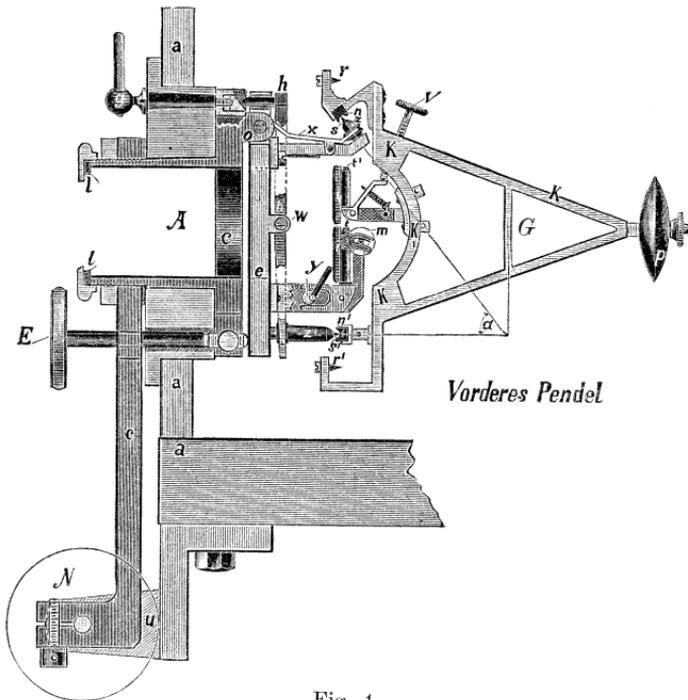


Fig. 1.

von derselben beträgt nahezu 62 mm (100 mm bei v. Rebeur). Zur Ermittlung von T_0 wird das Pendel von den Trägerspitzen $s s'$ abgenommen und mittels zweier, je 13 mm seitlich der Lager angebrachter Hilfsspitzen $r r'$ an einem besonderen Stativ aufgehängt. (Hierzu sind die Anschlagstifte des vorderen Pendels besonders eingerichtet.) Die Enden dieser Spitzen liegen ebenfalls genau in der Drehungsachse. Zum Zweck der optischen Registrierung ist an jedem Pendel ein Hohlspiegel i_1 und sodann in dem Apparatgehäuse noch ein fester Spiegel i angebracht, letzterer zur Zeitmarkirung. Er steht direkt unter dem halbkreisförmigen Spiegel des vorderen Pendels, und, wie dieser, in

der Drehungsachse. Beide sind Hälften desselben kreisrunden (Durchmesser 4 cm) Spiegels und durch einen Zwischenraum von kaum 2 mm Breite getrennt. Die Spiegel der hinteren Pendel sind ganze Kreise und liefern daher hellere Bilder. Sie sind sämtlich mit einer federnden Hülse auf den Stiften $t^1 t$ aufgesetzt, und man bewirkt eine seitliche Drehung der Spiegel durch einfache Bewegung um diese Stifte aus freier Hand. Nur bei dem festen Spiegel, welcher etwas verdeckt liegt, geschieht dies durch eine horizontal gerichtete Schraube m . Die für die Schärfe (durch randliches Abblenden der kreisförmigen Spiegel wesentlich erhöht) der Bilder auf dem Registrirpapier äusserst wichtige Korrektion in Höhe, d. h. die Drehung um eine, parallel zum Spiegel liegende, horizontale Achse, wird durchweg von oben durch leicht zugängliche Schrauben V ausgeführt. Die Höhenkorrektion des festen Spiegels i wird durch Drehung des Excenters y bewirkt. Alle vier Spiegel müssen natürlich parallel zu einander gerichtet werden, und während die Ebene des vorderen Spiegels senkrecht zu der des vordersten Pendels steht, bilden daher die beiden hinteren mit ihren Pendeln einen Winkel von 60° ; hier sind die Spiegel durch einen rückwärts umgreifenden Arm in die Drehungsachse gebracht und diese Asymmetrie zugleich durch zwei je 12,1 g schwere Gegengewichte aufgehoben. Durch eine runde Ausschweifung der Basis des Pendelgerüsts, (welche sich zum Zweck der Höhenkorrektion auch an dem vorderen Pendel befindet), ist es unmöglich gemacht, dass etwa der Pendelkörper selbst den Spiegel verdeckt.

2. Die Aufhängung.

Die Aufgabe, die Drehungsachse der Pendel in zwei zu einander senkrechten Richtungen reguliren zu können, macht es nothwendig, den Aufhängerapparat in zwei Theile zu zerlegen. Die beiden Spitzen ss^1 selbst sind mittels solider Träger an einem rechteckigen (am vorderen Pendel für den Durchtritt der Lichtstrahlen kreisförmig durchbrochenen) Messingstücke e angebracht. Dieses ist oben um eine horizontale, senkrecht zum Pendel verlaufende Achse o drehbar, und ruht in Folge seines eigenen und des Pendelgewichtes mit dem unteren Ende fest an dem stumpfen Ende einer feinen Regulirschraube E , während zwei oben angebrachte Spiralfedern den Druck auf diese Schraube erhöhen (in Fig. 1 nicht angegeben). Sobald man letztere um eine ganze Revolution dreht und damit um 0,25 mm vorwärts bewegt, ändert sich die Richtung der Drehungsachse um $10,7$ in der durch die normale Ruhelage des Pendels bestimmten Ebene.

Jene horizontale Achse nun, wie auch die Regulirschraube sind wiederum mit einem zweiten, um eine dem Pendel parallele, horizontale Achse drehbaren Theile c verbunden. Derselbe wird unten durch eine ausserhalb des Pendelgehäuses zwischen festen Lagern u spielende Schraube N (ebenfalls von 0,25 mm Ganghöhe) bewegt. Bei einer Revolution dreht sich die Achse des Pendels um 5',8. (Bei dem vorderen Pendel liegt diese zweite Drehungsachse in der Mitte und besitzt eine 4 cm weite cylindrische Bohrung A , um den von den zwei Spiegeln zu reflektirenden Lichtstrahlen den Durchtritt zu ermöglichen.) Mit der Bewegung dieses letzteren, an dem Apparatgehäuse a angebrachten Theiles wird also die seitliche Korrektur der Ruhelage der Pendel bewerkstelligt.

Die Spitzen, auf welchen die ziemlich schweren Pendel auflagern, sind möglichst fein geschliffen, und daher besonders bei dem Anhängen und Abnehmen der Pendel der Gefahr schädlicher Deformationen leicht ausgesetzt. Dieselbe wird aber durch folgende einfache, dem Rebeur-Stückrath'schen Muster nachgebildete Arretirungsvorrichtung leicht beseitigt. An dem vordersten, die Spitzen tragenden Messingstücke befindet sich eine horizontale, senkrecht zur Pendelebene verlaufende Achse w , um welche ein leichter Rahmen h mittels eines oben angebrachten Excenters g bewegt werden kann. Dieser Rahmen trägt zwei Messinghülsen zz^1 , welche die Spitzen völlig umhüllen. Wird der Arretirungshebel nun nach links (auf den Buchstaben A am Apparatgehäuse) gedreht, so schieben sich die beiden Hülsen zz^1 (die obere wegen der schrägen Stellung der Trägerspitze mittels eines Hebelwerks x) über die Spitzen hin und heben dabei die Achatlager des Pendels langsam und gleichmässig von den Spitzen ab. Nunmehr ist es unbedenklich, das Pendel von den Hülsen abzunehmen, oder auf dieselben aufzusetzen, da die Spitzen selbst völlig unberührt bleiben. Die Auflagerung des Pendels auf dieselben geschieht dann wiederum einfach durch Rechtsdrehen des Arretirungshebels (auf den Buchstaben F).

3. Das Gehäuse.

Die drei Pendel sind, wie soeben beschrieben, an der Innenwand des von oben gesehen hufeisenförmigen Gehäuses a in 120° Azimutaldistanz aufgehängt. Der Radius des halbkreisförmigen Theiles beträgt 21 cm, die lichte Höhe 16 cm und die Wandstärke 1,2 cm. Für den Durchtritt der Lichtstrahlen sind in die gerade 42 cm lange Vorderseite drei planparallele Glasscheiben eingesetzt. Die mittlere ist, entsprechend der cylindrischen Durchbohrung des vorderen Pendel-

trägers, eine Kreisscheibe von 4,0 cm Durchmesser, die beiden seitlichen Fenster sind dagegen je 15,0 cm lang und 6,2 cm hoch. Der Abstand der Verbindungslinie der beiden hinteren Pendelachsen von dem vorderen Spiegel ist gleich 23,3 cm, und die Pendel selbst, deren Schwingungen durch besondere Anschlagstifte begrenzt werden, können unmöglich mit einander kollidieren, da ihre Enden bei der grössten gegenseitigen Annäherung noch um 1,4 cm von einander entfernt bleiben. Sind alle Pendel in ihrer normalen Ruhelage, so bestimmen ihre Enden einen Kreis von 2,7 cm Radius. Die gusseiserne Gehäusewand ruht mit einer (gleichschenkelig) dreieckigen 3,2 cm starken, ebenfalls gusseisernen Grundplatte (auf der Unterseite jedoch etwas konkav ausgearbeitet) auf drei starken Fusschrauben, deren Abstand an der vorn gelegenen Basis 57 cm, an den Schenkeln je 50,5 cm beträgt. Zum Schutze gegen äussere Einflüsse ist der ganze Apparat mit einer gutschliessenden, starken Glastafel zugedeckt. Das Gewicht des Apparates beträgt 68,3 kg.

4. Die Registrierung¹⁾.

Eine Lichtquelle (Benzinlampe, Gas- oder elektrisches Glühlicht) sendet aus einem lichtdichten Gehäuse durch drei²⁾, 4 cm lange, etwa 0,8 mm breite, regulirbare Spalte drei Lichtstrahlen auf den Apparat. Die äusseren Strahlen treffen die beiden Spiegel der hinteren Pendel, der mittlere den festen und den beweglichen Spiegel des vorderen Pendels. Die Krümmungsradien der Spiegel sind nach den jeweiligen Verhältnissen bemessen. Lampe und Registrierapparat befinden sich im Krümmungsmittelpunkte der vier Spiegel, und es müssen daher die Radien der hinteren Spiegel die vorderen um 23,3 cm übertreffen. Auf diese Weise werden im Krümmungsmittelpunkte vier scharfe, helle und kongruente Abbilder der Lampenspalte erzeugt; sie fallen auf eine 5 cm vor der Registrierwalze horizontal angebrachte abblendende Cylinderlinse von 5 cm Brennweite, welche jene Spaltbilder zu scharfen Lichtpunkten auf der mit lichtempfindlichem Papier (Dr. Stolze, Marke *F*) bezogenen Registrierwalze vereinigt. Der von dem festen Spiegel herrührende Punkt wird an ein Ende der Walze gebracht, woselbst er durch einen Schirm des die Walze drehenden Uhrwerkes alle Stunden auf 3^m abgeblendet wird. Die anderen Punkte zeichnen nunmehr die Bewegung der drei Pendel auf dem photographischen Papier auf, welches alsbald in der Dunkelkammer entwickelt und fixirt werden muss; erst dann werden die Registrierungen sichtbar.

1) Siehe als Figur: „Beiträge zur Geophysik“ Bd. III, Heft 1, p. 214, Fig. 26.

2) Bei breiter Lichtquelle (> 1,5 cm) genügt ein einziger Spalt.

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Papier bei v. Rebeur fortbewegte, betrug 11 mm pro Stunde; der Verfasser verdoppelte seit Frühjahr 1895 zu Strassburg die Geschwindigkeit, so dass einem Fehler von 0,1 mm bei der Ablesung der Photogramme ein solcher von 18^s entsprach. Es hat sich jedoch das dringende Bedürfniss herausgestellt, diesen Fehler noch bedeutend zu verringern, sobald die Horizontalpendel als Seismographen mit den mechanisch registrierenden, italienischen Vertikalpendeln konkurrieren sollen. Dort werden (z. B. bei Vicentini's Mikroseismograph in Padua) 120 cm pro Stunde erreicht, was allerdings einen ganz immensen Papierverbrauch bedeutet. Bei der für Horizontalpendel, wie bemerkt, einzig und allein anwendbaren photographischen Methode verbietet eine derartige Geschwindigkeit schon der hohe Preis und die praktische Unmöglichkeit, solche Quantitäten von Photogrammen (die ja wochenlang nichts Bemerkenswerthes enthalten können) zu entwickeln. Verfasser hat sich daher für 12 cm pro Stunde entschieden, wobei man, wie Omori's Versuche in Potsdam (30 cm pro Stunde) beweisen, selbst bei einer mässigen Lichtquelle (Benzin) gute Aufzeichnungen erhält. Hier bedeutet 0,1 mm Fehler nur noch 3^s, und es wird diese Genauigkeit in den allermeisten Fällen genügen. Auch 4,4 cm/h sind für diejenigen Fälle vorgesehen, in denen die Papierkosten zu hoch sein würden. Es betragen nämlich die jährlichen Ausgaben bei 12 cm, wenn man das Papier, was durchaus angängig ist, zweimal benutzt, fast 600 Mk., anderenfalls nur 200 Mk. In diesem Falle ist es nicht mehr möglich, das pro Tag ablaufende Papier auf eine einzige Walze zu spannen (wie das bei 4 cm noch geschieht), sondern es ist folgende Einrichtung getroffen (Fig. 2).

Die mit kräftiger Feder versehene Uhr *U* (von A. Weisser, Vöhrenbach, Schwarzwald), welche einen ziemlich konstanten Gang besitzt, treibt die in der Figur vor ihr liegende Registrirwalze *A*, deren Durchmesser 76,43 mm beträgt. Auf der Rolle *R* sind etwa 12 m photographisches Papier (also für zweimal vier Tage ausreichend) aufgewickelt, und das Ende desselben von unten her vorn über *A* und die mittels der Feder *f* (oft fortgelassen) an *A* gepresste Friktionswelle *B* (Durchmesser etwa 4,5 cm) gelegt. Letztere presst das Papier *C* bei der Rotation der Walze (die sich in 2^h vollzieht) fest und gleichmässig an dieselbe. Der abgelaufene Streifen, dessen Breite nach wie vor 21 cm ist, wird über den Bock *K* in einen Behälter geführt und dort gesammelt. Nach vier Tagen wird er noch einmal auf die Papierrolle *R* gewickelt, nun aber so, dass rechts und links ver-

tauscht sind. Diese doppelte Benützung ist vom Verfasser in Strassburg seit Jahren angewendet und hat noch nie zu Zweideutigkeiten geführt; sie ist daher aus ökonomischen Gründen auch in Zukunft zu empfehlen. Damit die Uhr bei dem Abläufen des Papiers von der Rolle *R* stets den gleichen Widerstand erfahre, ist bei *E* ein Federbremswerk eingeführt, welches eine Reibung proportional dem Zuge des Papieres *C* erzeugt. Die Cylinderlinse *F* steht 5 cm vor der Walze *A* und ist auf einem regulirbaren Stativ *S* in einen drehbaren Rahmen gefasst. Die photographische Behandlung richtet man

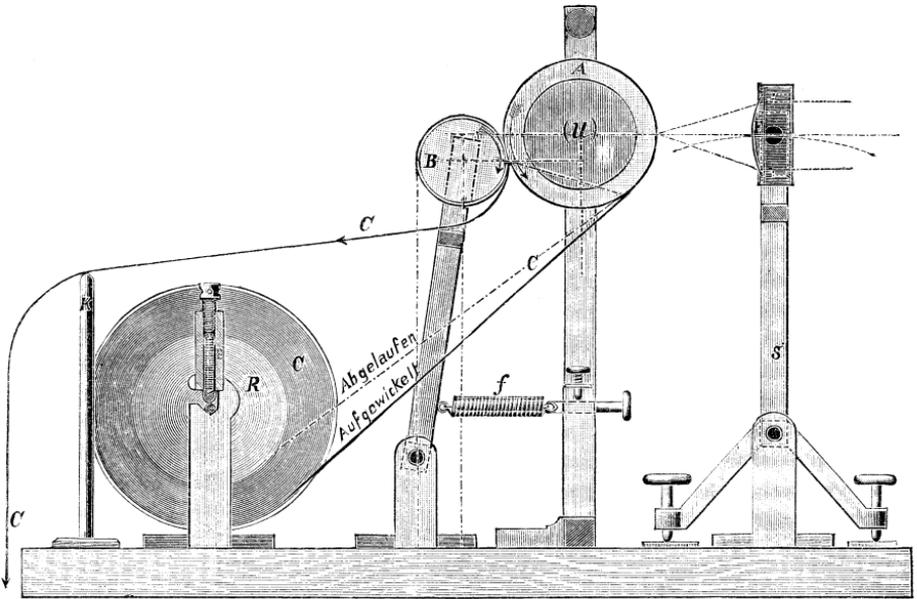


Fig. 2.

am praktischsten so ein, dass man den ganzen, fast 12 m langen Streifen allmählich durch die nebeneinander anzuordnenden chemischen und Spülbäder hindurchzieht. Das Trocknen geschieht auf einem leichten Holzrahmen.

5. Konstanten des Apparates.

Die halbe Schwingungsdauer T_0 bei horizontaler Drehungsachse beträgt bei dem vorderen Pendel $0^s,318$, für die hinteren $0^s,317$. Ist die Entfernung Walze — Spiegel $d = 5$ m (4 m), und bringt man die halbe Schwingungsdauer T auf ihr Maximum von etwa 6^s , so bedeutet die Abweichung eines Lichtpunktes auf der Walze von 1 mm

eine Neigung der betreffenden Pendelachse senkrecht zur momentanen Pendelrichtung um $0'',058$ ($0'',073$). In diesem Verhältnisse werden daher die Oscillationen der Lothlinie vergrössert, also trotz der gegen früher ziemlich verkürzten Pendellänge nur wenig geringer als bei dem alten v. Rebeur'schen Pendel. Bei Horizontalverschiebungen der Pendelachse, bei denen der Schwerpunkt des Pendels als stationär angenommen wird, vergrössert sich diese Bewegung etwa 162 mal gegen 100 bei dem früheren Apparate.

6. Fundirung.

Die Aufstellung des Apparates auf einem in eine Mauer oder einen Pfeiler eingelassenen Konsole ist einmal wegen des lästigen Umstandes, dass die schädlichen Nachsenkungen erst in sehr langer Zeit verschwinden und einer guten Stabilität Platz machen, nicht zu empfehlen, und ferner vor allem deswegen geradezu unzulässig, weil auf diese Weise alle unsymmetrischen und völlig unberechenbaren Eigenbewegungen einer Mauer oder eines Pfeilers in die Pendelbeobachtungen mit eingehen. Es ist daher das weitaus beste, sowohl für das Pendel, wie auch für den Registrirapparat, kurze, etwa 1 m tief fundirte und gut isolirte Steinpostamente anzuwenden, welche sehr bald stabil werden und keine merklichen Eigenbewegungen haben. Die Versenkung auf 1 m Tiefe genügt in den meisten Fällen, um die Störungen des Verkehrs und vor allem diejenigen Bewegungen des Erdboden völlig abzdämpfen, welche eine am Apparate beschäftigte, oder auch nur in der Umgebung befindliche Person erzeugt. — Ferner ist es wesentlich, dass der ganze Raum eine möglichst konstante Temperatur besitzt; man wird daher Kellerräumlichkeiten bevorzugen. Sollte die relative Feuchtigkeit im Mittel 75% übersteigen, so ist durch Beigabe von Cl^2Ca in das Pendelgehäuse diesem Uebelstande abzuhelfen.

Aus praktischen Gründen empfiehlt es sich, den Apparat so aufzustellen, dass eines der Pendel genau in die Richtung E—W oder N—S kommt; dies geschieht dadurch, dass man die Verbindungslinie der Mittelpunkte des Pendel- und Registrirpostaments in eine der 12 Hauptrichtungen der Windrose verlegt.

7. Bedienung etc.

Der Apparat verlangt eine ständige Ueberwachung, und man wird gut thun, mit den sich regelmässig wiederholenden Verrichtungen eine anstellende Person zu beauftragen. Täglich muss die Uhr U mit der astronomischen Zeit auf 1^s genau verglichen, die Temperatur abgelesen

und bei Benzinbeleuchtung die Lampe gefüllt und gewechselt worden. Stets sind die Lichtpunkte nachzusehen, und in dem Falle, dass einer derselben das Papier zu verlassen droht, das betreffende Pendel mittels der seitlichen Korrektur zu reguliren. Vor allem ist auch der Höhenkorrektur der Spiegel dauernde Aufmerksamkeit zuzuwenden, weil von ihr die Schärfe der Bilder in erster Linie abhängt. Alle Monate muss die Grösse T aus etwa fünf Doppelschwingungen für alle drei Pendel beobachtet werden, eine Arbeit, die ebenfalls der Diener bei einiger Schulung verrichten kann. Ueber alle diese Dinge ist ein laufendes Journal zu führen, in dem auch jedes Betreten des Pendelraumes, sowie sonstige Bemerkungen (Sprengungen etc.) eingetragen werden.

Der Apparat ist von der mechanischen Werkstätte von J. u. A. Bosch in Strassburg in ausgezeichnete Präzision konstruirt, und es sei dem Verfasser an dieser Stelle gestattet, Herrn A. Bosch für die praktische, förderliche Mitarbeit bei der Konstruktion vieler Details seinen herzlichsten Dank zu sagen.

Der Preis setzt sich aus folgenden Theilen zusammen:

Dreifaches Horizontalpendel ohne Spiegel	} [J. u. A. Bosch]	730 Mk.
Registrierapparat für 4 cm/h ohne Uhr		100 „
„ „ 12 cm/h		
Uhr [A. Weisser in Vöhrenbach]		160 „
Vier Hohlspiegel (mit eigens zu bestellendem Krümmungsradius) [E. Suter in Basel]		20—160 „
Cylinderlinse (21 cm lang), [Reinfelder u. Härtel in München]		20 „
Lampengehäuse (und Lampe)		20—30 „
		<u>Summe: 1050—1200 Mk.</u>

Jährliche Kosten:

Photographisches Papier [Dr. Stolze, Charlottenburg]	
bei 4 cm pro Stunde	(200) Mk.
„ 12 cm „ „	(600) „
Diener	ca. 150 „
Chemikalien (und Beleuchtung) etc.	120 „
	<u>ca. 470 od. ca. 870 Mk.</u>

NB. Jedem Apparat liegt eine nähere Anleitung für die erste Installation und die weitere Bedienung bei.

1)

Zu Ehlert, Zusammenstellung etc. der Seismometere

		1.	2.	
		Unterscheidende Merkmale		
t e. l - P e n d e l	s t a b i l e	H o r i z o n t a l - K o m p o n e n t e	S e i s m o m e t e r	1. Einfaches, schwingendes Pendel mit direkt schreibender Spitze
				2. Wie 1, dazu 4 bzw. 8 elektrische Kontakte zur Bezeichnung von R
				3. Lange schwere Pendel, durch Fäden, welche beschwert und schlaff sind, unten mit dem Stativ oder anderen Pendeln von verschiedener Länge zur Vergrößerung verbunden
				4. Wie 1, aber meist (Vicentini) mit grösserer m
				5. Glockenförmige Pendelmasse, Index aufwärts gerichtet; bei Scateni nur 4 Kontakte, wie 2
				6. Lange, schwere Pendel, m nahezu stationär mit leichten v und d Indizes
				7. Wie 6, aber Zerlegung in 2-3 Komponenten
				8. An 4 oder 8 Punkten aufgehängte, lang gestreckte, meist parallel-epipedische m
				9. Auf konkaver Cylinderfläche rollender Wagen
				10. Einfache, leichte, schwingende Pendel, verschieden lang, (mehrere zugleich)
				11. Seismoskope Einfache, leichte, kurze, schwingende Pendel, deren Spitze innerhalb eines Metallringes oder Hg-Mulde spielt
				12. Indikatorpendel an Pendel wie Fig. 7 angebracht und wie 11 eingerichtet

2)

nr.

3. Namen der Erfinder. Die ersten Zahlen neben den Namen bezeichnen die Seitenzahl der Besprechungen, die fetten die Nr. der Figur der betreffen- den Apparate	4. Beabsichtigter Zweck: Messung von	a Vorzüge der Apparate und überhaupt	5. b Nachteile
? in Comrie 354; Cavalleri 369 f, 16 ; Salsano 370; Lang 369, 15 ; Cecchi (im U.A.)	In . On . Of R ₁	Einfachheit	m klein. Aufhängung mit viel Reibung verbunden, daher Eigenschwingungen, und Unfähigkeit, der in Richtung und Intensität wechselnden Erdbebenbewegung sofort zu folgen.
de Rossi 372, 20 (im U.A.); Mugna 388, 30 (im U.A.)	In . On . Of R ₁ . Z ¹	Anfangsrichtung genauer	wie 1
de Rossi (Proto- u. Mikroseismogr.) 372 f, 21	MH . MO R ₁ . Z ¹	m grösser	wie 1, aber in geringerem Masse
Bertelli 370 ff, 18 , 19 ; de Andreis 370; Galli 370 (im U.A.); Vicentini 382	In . On . Of R ₁ . T _n . T _f	Suspension reibungsloser	wie 1, Pendel folgt aber besser
Galli 373 f, 22 (im U.A.); Scateni 374, 23 ; Pfaff 374 f, 24	In . On . Of R ₁ Scateni : Z ¹	m stationärer wie 2	wie 3
Kreil 355; Cecchi (im U.A.) 437, 66 ; Agamennone 377 bis 379, 27 , 28 ; Ewing 358, 3a ; Vicentini (Mikroseismogr.) 384, 29 a (s. Nr. 7)	In . On . Of (Ag. und Vic. : M _n . M _{On} . M _{Of}) R ₁ . T _n . T _f . Z	Ag. und Vic. : m gross, Reibung klein, Periode gross	Kr. und C. : wie 1 Ag. und Vic. : wie 1, nur in sehr geringem Masse
Ewing 356 bis 358, 2 , 3 b ; Gray 358 f, 4 ; Brassart 375 f, 25 ; Agamennone 379 bis 382 (auch photographisch); Cancani 387; Vicentini (Mikros.) 382 bis 387, 29 ; Pendel von verschiedenen Dimensionen; Milne (Mantle Piece) 367, 14	In . On . Of (Vic. : M _n . M _{On} . M _{Of}). R ₁ . T _n . T _f . Z. Milne : nur max.	m gross, Periode gross. Ag., Can., Vic. : wenig Reibung	wie 1, nur in sehr geringem Masse
West 410, 69 ; Ewing (Tchebicheff) 410 f, 70 ; Schmidt 355 f, 1	In . On . Of R ₁ (T _n T _f Z)	m ziemlich neutral	West : grosse Reibung, wie 1, in etwas geringerem Masse ausser bei Schmidt
Cowper 415, 51 ; (s. Nr. 43)	In On Of R (T _n T _f Z)		grosse Reibung, ungleichförmige Vergrösserung verschiedener I _n
? in Comrie 367 f; Cavalleri 370; Gray 368	R . T _n	Einfachheit	wie 1 in hohem Masse
Palmieri 454 f, 82 ; Cecchi 455; Kilian 458 f (im U.A.); Guzzanti (Tacchini) 459, 87 (im U.A.); Forster (Bernoullianum) 457 f, 86 (im U.A.)	H . O Z ¹	Einfachheit	Mangel der Bestimmung, auf welche Phase des Erdbebens der Apparat reagiert hat
Marwin 460, 88 a ; Mendenhall 460, 88 b ; Milne 455	MH . MO Z ¹	viel empfindlicher	wie 11

3)

6. Registriermethode		7. Zahl der zur vollständigen Analyse nötigen Apparate	8.		
In Komponenten zerlegt? In wie viel?	Bewegung der Registrierfläche		a Vorzüge der Registriermethode	b Nachteile	
nein	st	d Stift auf Sand- oder Papierebne. Salsano: auf Windrose farbig Lang: Klötze von verschiedener Grösse nach allen Richtungen herabgeworfen Cavalleri: ähulich, einfacher	1	Einfachheit	Zu viel Reibung. Zeichnungen überdecken sich leicht und werden unleserlich. Sind bei wechselnder Richtung (Lang) mehrere Klötze gefallen, so ist nichts zu erkennen
wie 1	wie 1	wie 1 oben. Berührung von Messingspitzen mit m	1	wie 1 wenig Reibung	wie 1
		Stahlspitzen tauchen in Hg ein	1	wie 2 enorme Vergrößerung	
wie 1		nur direkt mikrometrisch beobachtet	1	völlig reibungslos	leicht unvollständig
wie 1	wie 1	wie 2	1	wie 2	wie 1
wie 1	pe Ag.: a und periodisch acc	Kr.: d Stift auf berusster Innenseite eines Cylinders C.: d Stift auf berusster Papierwalze Ag.: v Stift auf berusster Glasscheibe Vic.: v Pantograph, Glasspitze auf berusster Papierwalze	1	Bewegung, Ag. und Vic.: wenig Reibung, Vergrößerung	
2 Gray: 3	pe oder a	Ev., Gr., Ag.: v Stifte auf berusster Glasscheibe, Kugelgelenke, Rollen etc. Br., Ca., Ag., Vic.: gekreuzte Gabeln, reibungsarme Achsen; v Stifte auf berusster Papierwalze Vic.: Glasstifte [oder -wagen. Milne: Index abgelesen	1	Bewegung, Zerlegung; besonders Ag., Can., Vic.: wenig Reibung	Ev., Gr., (Ag.): zu viel Reibung, ausser bei der photograph. Methode (Tromometer)
2 Schmidt: 3	st (pe)	d oder v Stifte auf Ebne Schm.: nur Maximalausschlag durch Verschiebung von Reiterchen	2 3		Schm.: Indizes zu schwankend
2	st (pe)	d oder v Stifte auf Ebne	2		
		direkt beobachtet	mehrere	reibungslos	
nein		elektrischer Kontakt	1	reibungslos	Hg-Kontakt durch Oxydation leicht erschwert und verzögert
nein		wie 11	1	wie 11	wie 11

4)

Tabelle I.

9. Erreichter Zweck infolgedessen: Messung von	10. O r t e, an welchen Apparate beobachtet werden	11. Preis (Mk.) Mechaniker .
$\approx I_n \approx O_n$ O_f nicht, wegen zu geringer Vergrößerung $\approx R$. Wenn nicht unleserlich	Cavalleri: Comrie, Institut zu Monza (Mailand) Lang: Hohenheim	—
wie 1 R_1 anfangs auf 90° bzw. 45° sicher. Z^1 MH . MO R_1^1 und Z^1 nur anfangs brauchbar	Mugna: s. u. (Universalapparate) seit 1876 im Osservatorio e Archivoged dinamico d'Italia; San Luca (Bologna)	—
$\approx I_n \approx O_n$ (und T_f O_f nicht, wegen zu geringer Vergrößerung) $\approx R$ nur anfangs gut	Bertelli-Tromometer seit 1870: Florenz, Catania (Riccò), Benevento, Fucecchio, San Luca (Bol.), Manila (F. Faura)	—
wie 2, etwas besser	Pfaff: Hohenheim	—
Kr., C.: $\approx I_n \approx O_n$. O_f und T_f wie 1. $\approx T_n \approx Z$ Alle: $\approx R$ wegen fehlender Zerlegung Ag., Vic.: $I_n \approx O_n$, O_f u. T_f wie 1. $T_n . Z$	Ag.: In Stationen 1. Ord. Italiens: Ferrara, Forlì (Carlo Matteucci), Rom (Collegio Romano, Tromometer), Pera (Konstantinopel) Vic.: Padua (Universität)	Ag. 128
Ev., Gr., Ag.: wegen Reibung: $\approx I_n \approx O_n$. $\approx R$, $\approx T_n$. $\approx Z$; (nur anfangs gut) Br.: $I_n \approx O_n$. R_1 . T_n . Z (auch nur anfangs) Can., Ag.: (photogr.) Vic.: $MI_n \approx MO_n$. R_1 ; T_n . Z Milne: $\approx I_n$ max. $\approx O_n$ max. $\approx R$ max. Alle: MO_f und T_f wie 1	Lange Pendel: Rom, Rocca, Catania, Florenz, Portici (Neapel), Pavia, Siena, Bargone, Varlungo Ca.: Rom, Rocca di Papa (s. 1896), Catania Vic.: (s. 1894) Siena, Padua, Pavia, Verona, Laibach Ag.: Rom	Ag. (phot.) 280 u. 480 (Ceccarelli, Bianchi). Vic.: (100 kg) 440 (Cagnato u. Strapazzon)
$\approx I_n \approx O_n \approx V_n$ ($\approx T_n \approx Z$) nur anfangs gut R_1 . O_f und T_f wie 1 Schm.: $\approx I_n \approx O_n$ max. $\approx R$ max.	Schm.: Hohenheim, Strassburg	
wie 8 $\approx R$. $\approx T_n$ nur zu allererst R besser		
$H \approx O$. $\approx Z^1$ da die Phase nicht bestimmt ist	Kilian, Guzzanti und Forster s. u. (Universalapparat)	
MH \approx MO. $\approx Z^1$ wie 11	Marwin und Mendenhall in amerikanischen Stationen	—

5)

Gruppe I.

Pendel-Instrumenten

Vertikale

neutrale		Horizontalkomponente		Vertikal-Komponente				
		Seismometer		Seismometer				
Alle 3 K. Seismoskop	Vertikal-Komponente Seismometer	13.	Einfache, direkt belastete Spiralen oder elastischer Horizontal-Stab	Alle 3 Kompon. Seismometer	13.	Einfache, direkt belastete Spiralen oder elastischer Horizontal-Stab		
		14.	Wie 13, mit Index, der Maximalmarken verschiebt		14.	Wie 13, mit Index, der Maximalmarken verschiebt		
		15.	Wie 13, mit permanenter Registrierung		15.	Wie 13, mit permanenter Registrierung		
		16.	Wie 13, mit Stahlspitze dicht über Hg	Alle 3 Kompon. Seismoskop	16.	Wie 13, mit Stahlspitze dicht über Hg		
		17.	Pendel wie 7, aber in die Aufhängung eine Spirale oder horizontale Feder eingeschaltet		17.	Pendel wie 7, aber in die Aufhängung eine Spirale oder horizontale Feder eingeschaltet		
		18.	m an 5 Spiralen oder auf pyramidalem Federgerüst		18.	m an 5 Spiralen oder auf pyramidalem Federgerüst		
		19.	Wie 13, mit konischer Spitze in Konus spielend	19.	Wie 13, mit konischer Spitze in Konus spielend			
		Alle 3 K. Seismoskop	Vertikal-Komponente Seismometer	20.	Pendel wie 6, astasiert durch Verbindung mit einem labilen Pendel: Doppelpendel ⁴	Alle 3 Kompon. Seismometer	20.	Pendel wie 6, astasiert durch Verbindung mit einem labilen Pendel: Doppelpendel ⁴
				21.	Wie 20, mit einer einzigen m		21.	Wie 20, mit einer einzigen m
				22.	Wie 20, labiles Pendel auf die m des stabilen aufgesetzt		22.	Wie 20, labiles Pendel auf die m des stabilen aufgesetzt
23.	Wie 6, astasiert durch reibende Stäbe			23.	Wie 6, astasiert durch reibende Stäbe			
24.	Astasiert durch Kugel in Schale unter m			24.	Astasiert durch Kugel in Schale unter m			
25.	Horizontaler, um einen Punkt drehbarer, beschwerter Arm, der von einer Spirale gehalten wird			25.	Horizontaler, um einen Punkt drehbarer, beschwerter Arm, der von einer Spirale gehalten wird			
26.	Wie 25, aber Feder greift unter dem Arm an	26.	Wie 25, aber Feder greift unter dem Arm an					
27.	Wie 25, ausserdem Feder wie in 26 (umgekehrt)	27.	Wie 25, ausserdem Feder wie in 26 (umgekehrt)					
28.	Einfache Spirale, um 45° geneigt, und wie Doppelpendel astasiert	28.	Einfache Spirale, um 45° geneigt, und wie Doppelpendel astasiert					
29.	Wie 25, astasiert durch Überfließen von Hg	29.	Wie 25, astasiert durch Überfließen von Hg					
30.	Schweres Pendel, vertikal astasiert durch excentrische Suspension an Spirale und Kette	30.	Schweres Pendel, vertikal astasiert durch excentrische Suspension an Spirale und Kette					

6)

? in Comrie 424; Galli 429 (im U.A.); Milne 456, 84	$V_n \cdot V_f$	Einfachheit	wegen geringer m und geringer Länge wie 1
Cavalleri 424, 56; Schmidt 429, 60	V_n u. V_f max.	Einfachheit	wie 13
Ewing 427 (im U.A.)	$V_n \cdot V_f \cdot T_{Vn}$ $T_{Vf} \cdot Z$	Einfachheit	wie 13
Palmieri 455 f; Kilian 458 (im U.A.); Brassart 452; Forster (Bernoullianum) 457 f, 86 (im U.A.); Mugna 459 (im U.A.); Guzzanit (Tacchini) 459, 87 (im U.A.)	$V \cdot Z^1$ Forster: MV	Einfachheit Empfindlichkeit	wie 11
Gray (Torsionspendel) (U.A.) 433 f, 64; Brassart 434 ff, 65 (U.A.)	$I_n \cdot O_n \cdot O_f \cdot R_1$ $T_n \cdot T_f \cdot -V_n$ $V_f \cdot T_{Vn} \cdot T_{Vf} \cdot Z$	sehr kompensiös	im vertikalem und horizontalem Sinne: wie 1
Perry und Ayrton 439 f, 68 (U.A.); Ewing 441 f, 72 (U.A.)	$I_n \cdot O_n \cdot R_1 \cdot V_n$ $(T_n \cdot T_{Vn} \cdot Z)$	wie 17	wie 17, sehr unempfindlich
Mack 458	$H \cdot V \cdot Z^1$	wie 17	wie 11
Ewing 364f, 9, 10; a) Milne 366f, 12; Wagener 359 f, 5; b) Milne 362 f, 8; (tremor-recorder)	$I_n \cdot O_n \cdot O_f \cdot R_1$ Milne b): $(T_n \cdot T_f \cdot Z)$ mikroseismisch	m nahezu stationär	viel Reibung Wag.: Index greift nicht im Schwerpunkt von m an; daher nicht so stationär
Ewing 365 f, 11	$I_n \cdot O_n \cdot R_1$ $(T_n \cdot Z)$	kompensiös	die Spiralfeder ist träge und variabel
Grablovitz 376, 26a; Ames 376, 26 b	$I_n \cdot O_n \cdot R_1$ $(T_n \cdot Z)$	m wahrscheinlich stationär	unerprobt; Gr.: Reibung grösser
Gray 361 f, 7	$I_n \cdot O_n \cdot R_1$	Einfachheit	m bei langsamen Bewegungen mitgenommen
Gray 360 f, 6	$I_n \cdot O_n \cdot R_1$	m unter Umständen stationär	Stationarität hängt von der Periode der Kugel in der Schale ab. — unerprobt
? in Comrie 424, 55; Brassart 436, 376 (im U.A.)	$V_n \cdot V_f$ Br.: $T_{Vn} \cdot T_{Vf} \cdot Z$	m stationärer als 13	wie 13, in sehr geringem Masse
Ewing 426 f, 58	$V_n \cdot V_f \cdot T_{Vn} \cdot T_{Vf} \cdot Z$	m sehr stationär	
Gray (im Gray-Milne-Seismogr.) 427 f, 59 b—d	wie 26	m völlig stationär	
Grablovitz 430 f, 61	wie 26	wie 26	unerprobt
Gray 425 f, 57; 429, 59 a	wie 26	m bei langsamer Bewegung stat.	Hg folgt nicht rasch, daher ähnlich wie 1
Grablovitz 456 f, 85	$H \cdot V \cdot R_1 \cdot Z^1$	sehr kompensiös	wie 11

7)

	st	d Stift auf Ebne		Einfachheit	wie 1
		v Stift, der Marken verschiebt		Einfachheit	Schm.: Indizes zu biegsam
	pc	v Stift auf berusster Glasscheibe		Bewegung	einige Reibung
		elektrischer Kontakt		wie 11	wie 11
3	a	v Stifte auf berusstem Papier, Glas, Walze, Wagen oder Kreisscheibe	1	Bewegung	sehr viel Reibung
3	st (pc)	v Stifte in Scharnieren, auf Ebenen	1		wie 17
nein		elektrischer Kontakt	1	wie 11	wie 11
nein Milne b): 2	st pc	d oder v Stift auf berusster Ebne. b) elektrische Funken auf sich kreuzenden Morse-Papierstreifen	1	wie 1 Bewegung b) reibungslos	wie 1 b) nicht kontinuierlich
nein	st (pc)	d oder v Stift auf Ebne	1		
2	st (pc)	v Stifte auf Ebne	1		
nein	st	v Stift auf berusster Glasscheibe	1		wie 1
—	—	—	1		
	st pc	d Stift auf Ebne; v Stahlstift auf berusstem Papier, Walze oder Wagen		Bewegung	wie 1
	pc	v Stift auf berusster Glasscheibe		wie 25	
	acc	v Tintenröhre auf Papierwalze		sehr wenig Reibung, deutlich	
	—	—			
	pc	v Stift auf berusster Glasscheibe		wie 25	
2		4 elektrische Hebelkontakte	1		H von V ununterscheidbar, Reibung

8)

$\approx V_n$; V_f nicht, wegen Unempfindlichkeit	Galli s. u. (Universalapparate)	
$\approx V_n$ max.; V_f max. nicht; wie 13	Schmidt : Strassburg, Stuttgart	—
$\approx V_n \approx T_{Vn} \cdot Z$ anfangs gut; V_f u. T_{Vf} nicht, wie 13		
$V \approx Z^1$ wie 11; Forster : MV	Kilian, Forster, Mugna und Guzzanti s. u. (Universalapparate)	
$\approx I_n \approx O_n \approx R \cdot T_n$, anfangs besser $\approx V_n \approx T_{Vn} \cdot Z$ anfangs gut; O_f u. V_f mit T_f u. T_{Vf} fehlen, wie 1 und 13	Brassart : In Stationen 1. Ordnung, Italiens seit 1888: Rom, Rocca di Papa, Pavia, Portici	—
$\approx I_n \approx O_n \approx R (T_n \cdot T_{Vn})$, anfangs besser. $\approx V_n \approx Z$, anfangs besser. Wenn überhaupt etwas angezeigt		
H . V . $\approx Z^1$ wie 11	Hohenheim	—
$I_n \approx O_n \approx R$ wenn leserlich. Reibung stört b) Milne : $M_{In} \approx M_{On} \cdot R_1 \cdot T_n$ Alle : $O_f (M_{Of})$ mit T_f nicht, wie 1	Ew. : seit 1888 in Californien, Lick Obs., S. Francisco, Oakland, S. José, Blue Hill Obs. etc. b) Milne : Japan Wagener : seit 1870 Japan	300 Mechanical Works, S. Francisco (Market Str. 35); b) Milne : 25
$\approx I_n \approx O_n \approx R$ wegen Feder ($\approx T_n \cdot Z$ anfangs gut)		
? $I_n \approx O_n \cdot ? R_1 \cdot (T_n \cdot Z)$. Ames besser		
$I_n \approx O_n$ aber nur bei raschen Bewegungen. R , wenn leserlich	Japan	
$I_n \approx O_n$ zuweilen. R_1 meist besser, je nach Periode der Erdbebenbewegung		
V_n nahezu V_n und T_{Vn} nahezu; Z V_f und T_{Vf} nicht, wie 13		
$V_n \cdot T_{Vn} \cdot Z$. V_f und T_{Vf} nicht, wie 13		
$V_n \cdot T_{Vn} \cdot Z$ noch besser. V_f und T_{Vf} nicht, wie 13	Gray s. u. (Universalapparate)	
wohl wie 26		
$\approx V_n \approx T_{Vn}$, oft besser; $Z \cdot V_f$ und T_{Vf} nicht, wie 13		
H $\approx V$, daher $\approx R^1 \approx Z^1$, wie 11	Ischia, Casamicciola, R. Oss. della grande Sentinella	

9)

Horizontalpendel	Seismometer	31.	Horizontalpendel, Spiegel (ohne Öldämpfung) bifilar aufgehängt	
		32.	Horizontaler, um einen Punkt drehbarer, mit grossen m beschwerter Arm, durch Faden, Draht etc. gehalten	
		33.	Wie 32, m klein, Arm leicht und lang	
		34.	m in 2 Lagern drehbar	
		35.	m in 4 Lagern drehbar, für 2 Komp.	
		36.	Pendelgerüst mit m in 2 Spitzenlagern drehbar	
		37.	Wie 36, alles leichter, Lager besser	
		38.	Wie 37, Arm kürzer, m grösser und näher an Achse	
		Seismoskope	39.	Wie 32
			40.	Wie 32

G. H. u. H. Darwin 392 ff, 32, 33	$I_n \cdot O_n$ $MO_f \cdot T_n$ $T_f \cdot R_2$ Z	fast reibungslos	sehr unruhig; die Anfangsphasen der Erdbeben daher schwer zu erkennen
Gray 397 ff, 38 a—f (im Gr.-M.-Sgr.); Ewing 399, 38 g—i ; Grablovitz 399ff, 39 „Könische Pendel“	$I_n \cdot O_n \cdot Of$ $T_n \cdot T_f \cdot Z$ R_2	grosse m und kleine Reibung	
Milne 401 ff, 40 „Tromometer“	wie 31	kleine Reibung	m klein; Wind stört leicht; keine gefestigte Gleichgewichtslage
Chaplin 394, 34 ; Ewing 394 f, 35 („Bracket-Sgr.“)	wie 32	Einfachheit	viel Reibung
Ewing 395 f, 36 ab ; Gray 396, 36 c	wie 32 R_1	kompensiös	sehr viel Reibung
Ewing 396 f, 37 a ; Schmidt 403 f, 41	Ew. wie 32 Schm. nur max.	wie 32	
v. Rebeur 404 ff, 42 ; v. Rebeur-Stückrath 407, 43	wie 31	wie 31	
Ehlert 406, 407 ff, 44	$I_n \cdot O_n \cdot T_n$ $MO_f \cdot T_f \cdot R_1$	wie 31	
Davison 461, 90	$MH \cdot O \cdot R_2^1$ Z	wie 32	
Grablovitz 461, 89	wie 39	wie 32	

(10)

2	pe	photographisch, Cylinderlinse, Walze langsam bewegt	3	reibungslos	das Licht bei rascherer Walzendrehung ohne Eindruck, teuer
2	pe Gray: acc	d Stifte auf berusster Papierwalze, Tintenröhre auf Papierwalze	2 Grbl. 3 (2)	es geht nichts verloren, da mechanisch	etwas Reibung; je kleiner m, um so schädlicher
2	pe	photographisch, gekreuzte Spalte, sehr langsam gedrehte Walze	3	wie 31	wie 31
2	pe	d Stifte auf berusster Glasscheibe	2	Scheibe rasch gedreht	
nein	st	v Stift auf Ebne	1	wie 1	wie 1
E.: 2 S.: 3	pe	d Stifte auf berusster Glasscheibe, d Stift verschiebt Maximalmarken	2 3	rasch gedreht, wenig Reibung	geringe Vergrößerung
2	pe	wie 31	3	wie 31	wie 31
3	pe	wie 31, Walze viel rascher	3	wie 31 stärkere Lichtquelle	
1		Zahnstange fällt und arretiert ein Uhrpendel	2	Einfachheit	viel Reibung
2		Quecksilberkontakt	2	wie 11	wie 11

11)

$I_n \infty O_n$ sowie T_n wegen geringer Vergrößerung nicht, MO_f sehr gut, Z, T_f ebenso, R_4 wegen langsamer Papierbewegung bei 2 Apparaten	Edinburgh (Calton Hill R. Obs.) Birmingham	mit Fundierung u. Uhr, 2 Instrumente ca. 2050
$I_n \infty O_n \cdot T_n \cdot Of \cdot Tf \cdot Z \cdot R_2$ bes. Gr. p. 400 f gut.	Grabl: Ischia, Casamicciola, R. Oss. della grande Sentinella	Gr.: ca. 80
$I_n \infty O_n$ und T_n wie 31 nicht MO_f und T_f durch Luftzug etc. leicht gestört. $R_4 \cdot Z$	600 Stationen in Japan, 1894—96 in Tokio Pendel „L.“ 2 Instr.; 1890 in Shide (Wight) „T. U.“ 1889 in Shide 1 Instr. alter Art	mit Uhr 2 Instrumente ca. 1700
$I_n \infty O_n \cdot Of \cdot T_n \cdot Tf \cdot Z_1$; wegen Reibung R_2 weniger gut	Ew.: seit 1880 in Tokio	—
$\cong I_n \infty O_n \cdot \cong Of \cdot \cong T_n$ und $Tf \cdot Z \cdot R_1$, wenn nicht unleserlich		
Ew.: $I_n \infty O_n \cdot Of \cdot T_n \cdot Tf$ besser wie 34. $R_2 \cdot Z$ Schm.: $\cong I_n$ max. ∞O_n max. $\cong R_2$; Of nicht wegen Reibung	Ew.: 1884. Japan und Manila Schm.: Hohenheim, Strassburg, Stuttgart, Tübingen, Biberach, Ravensburg	—
I_n und ∞O_n mit T_n nicht wegen kleiner Vergrößerung, MO_f sehr gut, T_f ebenso, $R_4 \cdot Z$	v. R.: Nicolajew, Charkow, bis 1896 April: Strassburg i. E. (Sternwarte) R.-St.: Karlsruhe, (Potsdam)	v. R.: mit Uhr 2 Instrumente, ca. 1100 (Repsold). St. 2400 ca.
$I_n \infty O_n \cdot T_n$ (Vergrößerung stärker) $MO_f \cdot Tf \cdot R_1 \cdot Z$	seit 1897 Frühjahr: Strassburg i. E. (Sternwarte)	3 Instr. mit Uhr, 1150 J. u. A. Bosch
$H \cdot O \cdot \cong R^1 \cong Z^1$ wie 11		
$MH \cdot O \cdot R_4^1 \cong Z^1$ wie 11	Ischia, Casamicciola	—

12)

1)

Zu Ehlert, Zusammenstellung etc. der Seismomete

Gruppe II.

		1.	2.
		Unterscheidende Merkmale	
Auf einem Punkte (oder einer horizontalen Geraden) ruhende Massen	Stabile	Seismometer	41. Auf 3 Kugeln oder zwischen Kugellager rollende, parallelepipedische m
			42. Kleiner Wagen rollt auf Schienen, welche durch schwingendes Pendel stets in die Bewegungsrichtung gebracht werden soll
			43. Kugel rollt auf horizontaler Ebene 2 senkrecht zu einander gerichtete Cylinderpaare ebenso
			44. Kugel-(2 \perp Cylinder-)segment mit dicht unter dem Krümmungsmittelpunkt angebrachter m rollt auf horizontaler Ebene
			45. 3 Kugel-(4 \perp Cylinder-)segmente rollen in Hohlkugel-(Cylinder-)schalen; obenPlatte
	Labile	Seismoskope	46. Nach verschiedenen Richtungen hin labil aufgestellte (8—16) Kugeln, die bei Stoss herabfallen
			47. Wie 46, aber Falldauer durch elektrische Stromunterbrechung gemessen
			48. Senkrecht aufgestellte, meist oben beschwerte Cylinder von verschiedener Höhe und Querschnitt; fallen um; auch wie in 44 (Palmieri)
			49. Schwerer, vertikaler (Brassart: angelehnter) Stab fällt um
			50. Dreieckiges, um horizontale Achse drehbares Gerüst fällt, angeregt durch Indikator wie 12
51. Wie 49, aber auf der m eines umgekehrten Pendels			
52. Schwerer, auf Spitze ruhender, horizontaler Stab fällt herab			

2)

r.

3. Namen der Erfinder. Die ersten Zahlen neben den Namen bezeichnen die Seitenzahl der Besprechungen, die fetten die Nr. der Figur der betreffende Apparate	4. Beabsichtigter Zweck: Messung von	5.	
		a Vorzüge der Apparate und überhaupt	b Nachteile
Stevenson 410 f., 45 ; Johnston-Lavis 411 f. 46	$I_n \cdot O_n$ $R \cdot (T_n \cdot Z)$	Eigenschwingungen gering	Oszillationen wirken sehr stark und beeinträchtigen die Genauigkeit; viel Reibung
Johnston-Lavis 441, 71	$I_n \cdot O_n$ $T_n \cdot Z$ in der jeweiligen Richtung		Enorme Reibung; wie 1, unerprobt; wie 41; Richtung nicht gemessen
Gray 412, 47 ; 412 f., 48 (Cowper s. Nr. 9)	$I_n \cdot O_n \cdot R$ $I_n \cdot O_n \cdot R \cdot T_n \cdot Z$	wie 41 weniger Reibung	wie 41
Gray 413 f., 49	$I_n \cdot O_n \cdot R$ ($I_n \cdot O_n \cdot T_n \cdot Z \cdot R$)	m stationärer	wie 41, in geringerem Masse
Alexander 414 f., 50	$I_n \cdot O_n \cdot R$	wie 44	wie 44, viel Reibung
Choko 448; Mensini 450; v. La-saulx 449 f., 75 ; Malvasia 450 f., 77 ; Brassart (Scheibe fällt) 451	$H \cdot R^1 \cdot Z^1$ Chó.: $H \cdot R^1$	Einfachheit	unempfindlich, ausser Br. , wie 11
Mallet und Oldham 448 f.	$H \cdot I_n^1 \cdot O_n^1$ $R^1 \cdot Z^1$	wie 46	wie 41, einige Reibung
Mallet, Milne, Ewing, Brassart, Hagenbach 451 f., 453, 79 ; (Palmieri) 450, 76	$H \cdot I_n^{(1)} \cdot O_n^{(1)}$ $R^{(1)}$ Pal: $M \cdot H \cdot Z^1$	Einfachheit	Drehung beim Fall, Reagieren auch auf geringe I_n von kurzer Periode
Brassart 453, 80 ; Galli (im U. A.) 454	$MH \cdot R^1 \cdot Z^1$	Empfindlichkeit (bes. Br.)	wie 11
Agamennone 453 f. (zu Nr. 6 378, 27)	$MH \cdot R^1 \cdot Z^1$	wie 49	
Grablovitz 454, 81	$MH \cdot R^1 \cdot Z^1$	wie 49	
Brassart 453, 78	$MH \cdot R^1 \cdot Z^1$	wie 49	

3)

6. Registriermethode			7. Zahl der zur vollständigen Analyse nötigen Apparate	8.	
In Komponenten zerlegt? In wie viel?	Bewegung der Registrierfläche			a Vorzüge der Registriermethode	b Nachteile
nein	st (pe)	v Stift auf berusster Glasplatte	1	wie 1 Bewegung	wie 1
	pe	d Stift auf berusster Papier-Walze	1	Bewegung	etwas Reibung
nein 2	st pe	v Stifte auf berusster Glasplatte	1 2	wie 41	wie 41
nein (2)	st (pe)	wie 43	1 (2)	wie 41	wie 41
nein	st	v Pantograph auf berusster Glas-scheibe m	1	wie 41	wie 41
nein Chô.: 8		Fundstelle der Kugel(n) (Scheibe) (Mal.: Nadel) bemerkt	1 Chô.: ∞	Einfachheit	Chô.: bei Fortdauer des Bebens R' unbestimmt
8		wie 46, und Unterbrechung der 8 Ströme in den Stromleitungen gemessen	∞	Phase gesichert wegen pe	
nein		Grösse und Lage des umgefallenen Cylinders beobachtet Pal.: Uhr arretiert	wegen Intensität: ∞	Einfachheit	bei Fortdauer des Bebens I'n . O'n . R' unbestimmt. Drehung nach dem Fall (ausser Hagenbach)
8—16		Lage des gefallenen Stabes in dem Schirm beobachtet	∞	Einfachheit	
2		Marke auf die Registrierfläche des Seismographen gemacht	∞	wie 47	nur 2 Komponenten bevorzugt
nein		Lage des gefallenen Stabes beobachtet	1	Einfachheit	
1		elektrischer Kontakt (Metall)	∞	Einfachheit	nur 1 Komponente berücksichtigt

4)

Tabelle II.

9. Erreichter Zweck infolgedessen: Messung von	10. O r t e, an welchen Apparate beobachtet werden	11. Preis (Mk.) Mechaniker
$\approx I_n \approx O_n, \approx R_n, T_n$ wegen mangelnder Zerlegung bei pc; bei st R anfangs besser, wenn leserlich $\approx Z$ bei pc.		
$\approx I_n \approx O_n, \approx T_n, \approx Z$, die Richtung nicht gesichert und unbekannt		
$\approx I_n \approx O_n$, R anfangs gut $\approx I_n \approx O_n$ schlechter, $\approx T_n, \approx R$ nur anfangs gut, Z anfangs gut		
$I_n \approx O_n, R$, wenigstens anfangs, wenn nicht unleserlich. ($\approx I_n \approx O_n, \approx T_n$ wegen Reibung, zuerst besser, R, Z anfangs)		
$I_n \approx O_n, R$, wenigstens anfangs, wenn nicht unleserlich		
H. $\approx R^1$ und $\approx Z^1$ wegen 11 Chô.: $\approx R^1$ überhaupt		
H. $\approx I_n^1 \approx O_n^1$ wegen der Wirkung der Oszillationen. R^1, Z^1		
H. $\approx I_n^{(1)} \approx O_n^{(1)}, \approx R^{(1)}$ Pal.: MH. $\approx Z^1$		
H. $\approx R^1$ und $\approx Z^1$ wegen 11	Br.: Stabseismoskop: In Stat. 3. Ordnung Italiens: Coreggio, Udine. Athen (Eginiti)	—
MH $Z^1, (\approx R^1$ weil Komponenten zu ungleichmässig berücksichtigt		
MH. $\approx R^1$ und $\approx Z^1$ wegen 11	Ischia Casamicciola, R. Oss. della grande Sentinella	—
MH. $\approx R^1$ und $\approx Z$, wegen 11 und weil nur in 1 Komponente berücksichtigt		

Gruppe III.

Instrumente mit Flüssigkeiten

beruhend auf

Bewegung der Oberfläche		Seismometer	Beschreibung
Horizontal-Komponente			
Alle 3 Komp.	Seismoskop	53.	Nach verschiedenen Richtungen hin überlaufende, schwere Flüssigkeit (Hg)
		54.	An den Enden aufgebogene Röhren, nach verschiedenen Richtungen zum Überlaufen aufgestellt
		55.	Gefässe mit Flüssigkeit, welche ihre Bewegung am Rande selbst abzeichnet
		56.	Wie 55, mit Schwimmer und Index (Milne: Fäden)
		57.	Grosse Libellen, wie 56
		58.	Hg stösst bei Erschütterung an eine Schraubenspitze an
Hydrostat-Grundlage		Seismometer	Beschreibung
Vertikal-Komponente			
	Seismoskop		
		59.	In Hg (H ² O) ganz (halb) versenkte Boje
		60.	Gefässe mit Gummiböden
		61.	Boje mit markierenden Stäbchen, ganz in H ² O versenkt

62. **Gray-Milne**-Seismograph 437 f., **67**; 427 ff., **38a-c**. 1883 im Labor. f. Ingen.-Wesen u. Cent. zu Tokio, „Standard“-Instr. für Japan. 1885 in C. Obs.). 900 M. [James White in Glasgow].
63. **Cecchi**-Seismograph 436 f., **66**. Florenz, Beneve Casamicciola, Catania; Manila.
64. **Ewing**, Univ.-Seismogr. 438 f.; 427; 394 f., **35a**
65. **Forster**, seit 1888 im Bernoullianum in Bas [Büchi in Bern].
66. **Kilian** (zu Angots Instrument) 458 f. 1893 Lyon [Bordier und Paulin in Grenoble].

Cacciatore, Chandler, Coulin, Babbage 416 f.; Lepsius 417, 52	$I_n \cdot O_n \cdot R$	Einfachheit	I_n, O_n und V_n wirken ununterscheidbar, dadurch schon I_n und O_n , sowie R unbestimmt. Bei Fortdauer des Bebens bei fehlender Zeitbestimmung und wegen 1 noch mehr
Palmieri, Mallet 418; Forster 418, 53	$I_n \cdot O_n \cdot R$ Forst.: $I'_n \cdot O'_n$ $R' \cdot Z'$	Richtung schärfer zu bestimmen	wie 53
Mallet, Gray, Ewing, Milne 418 f.	$I_n \cdot O_n \cdot R$		wie 53 und weit ungenauer. Verdunstung, Frost schädlich
Palmieri, Mallet 419; Milne 420, 54; King 420; Grablovitz 419	$I_n \cdot O_n \cdot R$ Gr.: $T_n \cdot Z$; Mil.: max.	genauer, Verdunstung verringert	wie 53
Grablovitz 420 f., 54a	$I_n \cdot O_n \cdot R$ $T_n \cdot Z$	Eigenschwingungen nur sehr langsam	unhandlich; wie 53
Palmieri, Hayden u. Hallock, Milne 461	$H \infty V \cdot Z'$	kompensiös	wie 11
Gray 431 f., 62b; Wagener 431, 62a	$V_n \cdot T_n \cdot Z$	Gr.: m ziemlich stationär	Strömungen, insbesondere infolge Temperaturdifferenzen, stören
Gray 432	$V_n \cdot (T_n \cdot Z)$	Boden ziemlich stationär	wie 59
v. Lasaulx 422	$H \cdot R'$		wie 59, noch stärker

Universal-Apparate.

- | | |
|--|--|
| <p>59b; 397 ff.,
r. Meteor. Obs.
alifornien (Lick
ento, Fucecchio,
i.
sel 457 f., 86.
in Grenoble;</p> | <p>67. Mugna, Elektroseismograph, 1895 im Techn. Inst. Carlo Matteucci zu Forlì 459; 388, 20.
68. Guzzanti, Mikroseismoskop für Stat. 3. Ordnung 459, 87. Catania, Reggio, Calabria, Palermo, Caltagirone, Mineo, Fucecchio; Bukarest.
69. Gray, Torsionspendel, s. Nr. 17, 433 f., 64.
70. Brassart, Seismometrograph, s. Nr. 17, 434 ff., 65; 436, 376.
71. Perry und Ayrton, an Federn allseitig suspendierte Kugel, s. Nr. 18, 439 f., 68.
72. Galli, Universalseismograph s. -skop 439, 22; 454.</p> |
|--|--|

6)

8 16		Richtung der übergeflossenen Flüssigkeit beobachtet: Mengen abgewogen	1	Einfachheit	beim Überfließen infolge Kohäsion leicht zu viel mitgezogen
Pal.: 12 Forst.: 4		wie 53; Forst.: elektrischer Kontakt	∞	wie 53	
nein		Abzeichnen durch färbende Lösung	1	Einfachheit	unzuverlässig
Gr.: 2 Mil.: 8 sonst: nein	pc	v Stifte auf Papier-Walze; beölte Fäden herabgezogen; direkt beobachtet	1	Bewegung. reibungslos	
2	pc	v Stifte auf berusster Papier-Walze	2	Bewegung	
nein		elektrischer Kontakt	1	wie 11	wie 11
	pc	v Stift auf Ebene		Bewegung	
	st (pc)	wie 59			
viele		Stäbchen machen am Gefäßrand Zeichen	1		wegen Fehlens einer Zeitbestimmung R' unsicher

Erklärung

I_n	=	reelle Horizontalverschiebungen bei nahem Beben.	T_{Vn}	=	Periode derselben (n)
MI_n	=	reelle Horizontalverschiebungen mikroseismisch.	T_{Vf}	=	" " " (fe)
O_n	=	Neigungsänderung des Apparats bei nahem Beben.	Z	=	Zeitpunkte aller Pha
MO_n	=	" " mikroseismisch.	H	=	reagiert nur auf I_n .
O_f	=	" " für ferne Beben.	V	=	" " " " V_n .
MO_f	=	" " mikroseismisch.	O	=	" " auch auf O_f
R_i	=	Richtung aller Horizontalbewegungen irgend einer Art, i-deutig.	MH	=	" " " " MI
T_n	=	Periode der Horizontalbewegung (nah).	$I'_n \cdot O'_n$	=	$I_n \cdot O_n$ einer bestim
T_f	=	" " " " (fern).	$R^1 \cdot Z^1$	=	Richtung, Zeitpunkt
V_n	=	Vertikalverschiebung (nah).	S	=	ununterscheidbar.
V_f	=	" " " " (fern).	Δ	=	verzerrt, unbestimmt
			pc	=	gleichförmig bewegt.

7)

$\approx I_n \approx O_n \approx V_n \approx R$		
wie 53. R etwas besser Forster: wegen 11 auch schlecht, $\approx Z'$	Palmieri: 1875—85 in Tokio	—
wie 53, noch ungenauer		
Gr.: $\approx I_n \approx O_n \approx V_n \approx R \approx T_n$ anfangs besser Mil.: $(I_n \approx O_n \approx V_n)$ max. bei Fortdauer des Bebens unsicher sonst: wie 53, ungenauer	Grablovitz: Ischia, Casamicciola, Osserv.	--
$I_n \approx O_n \approx V_n$ wenigstens anfangs, ebenso $Z \cdot T_n$	Grablovitz: wie 56	—
$H \approx V \approx Z'$, wie 11		
V_n nahezu. T_n und Z anfangs gut	Gray: Japan 1880	—
$\approx V_n$ wegen Eigenschwingungen (sonst wie 59)		
$H \approx R'$		

ngen.

ah).
ern).
isen der Bewegung.
On.

n . MO_n.
nten Phase.
einer bestimmten Phase.

st = ruhig.
a = durch Seismoskop in Bewegung gesetzt.
acc. = " " beschleunigt.
d = direkt schreibender (Stift).
v = vergrößernder (Stift).
m = Masse.
max. = Maximal-Grenze.
U.A. = Universal-Apparat.
Hg = Quecksilber.
H²O = Wasser.

8)

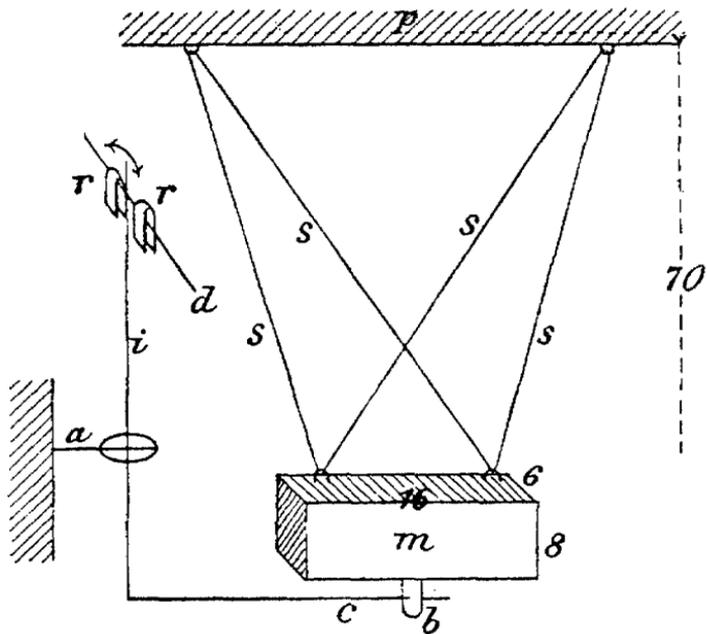


Fig. 1.

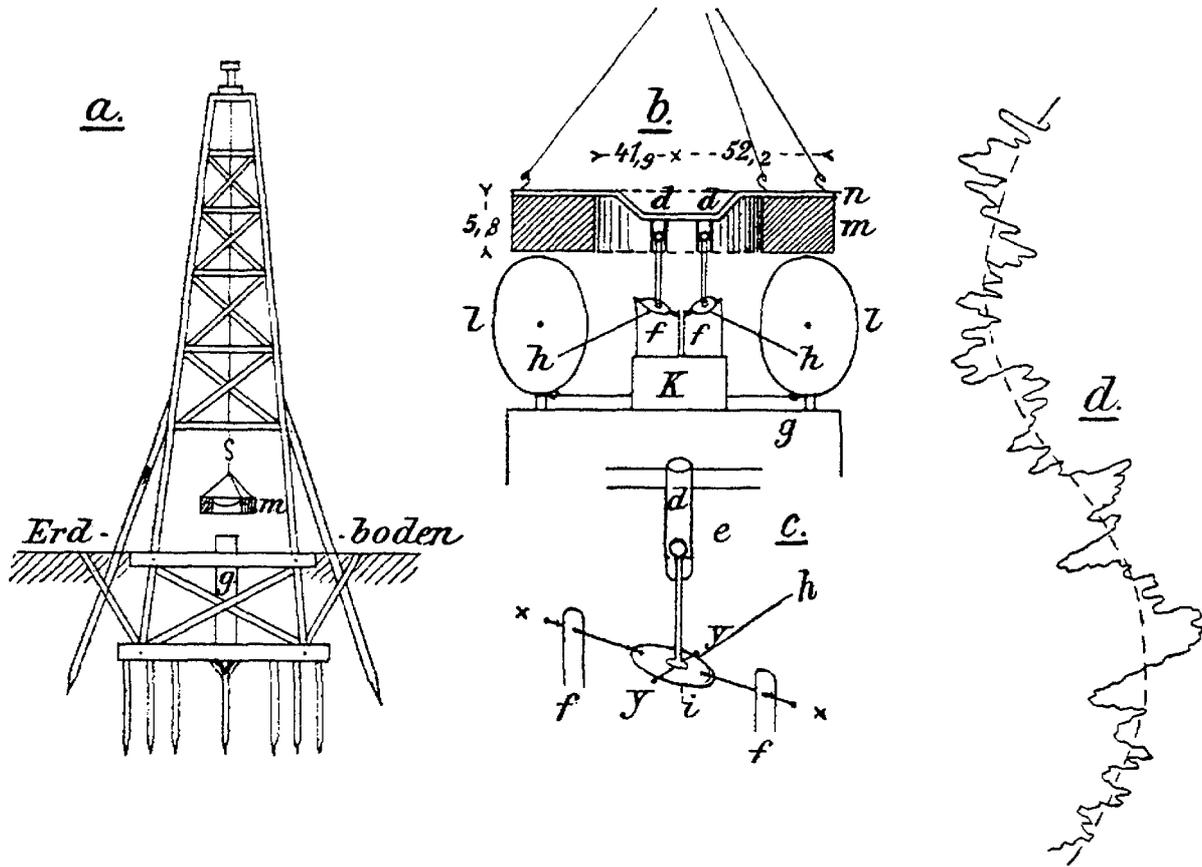


Fig. 2.

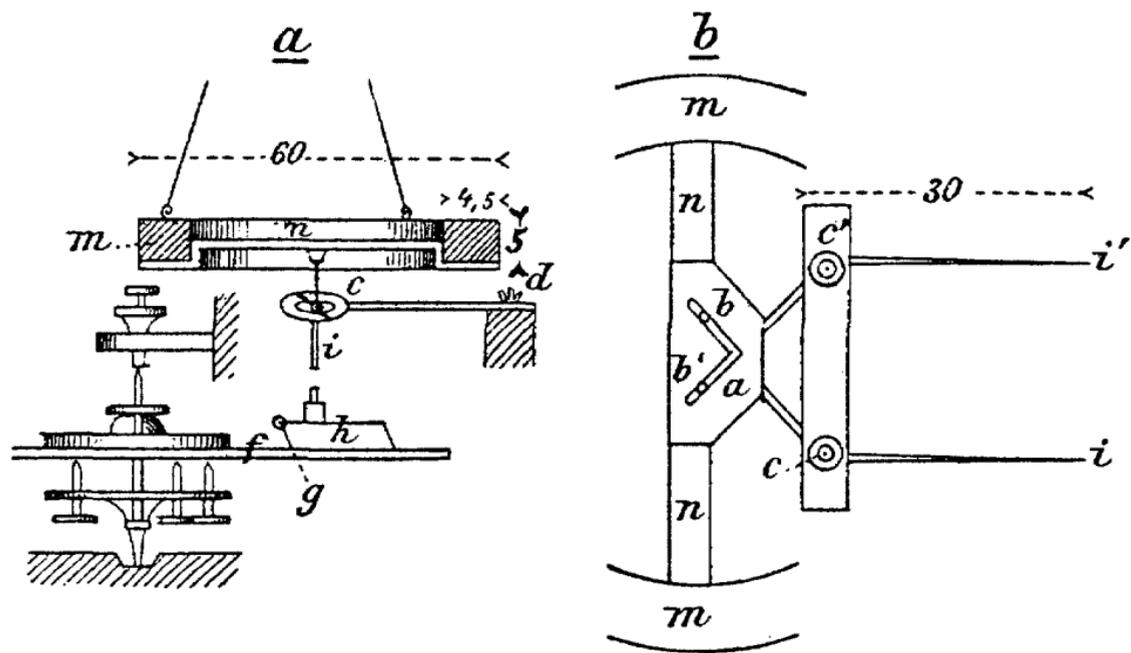


Fig. 3.

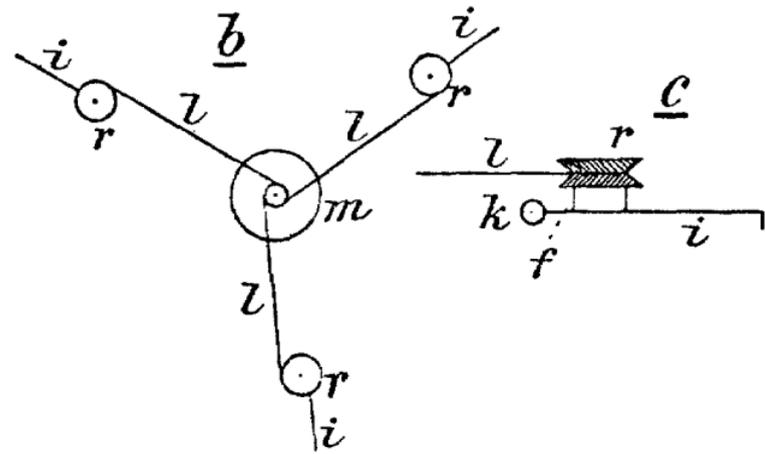
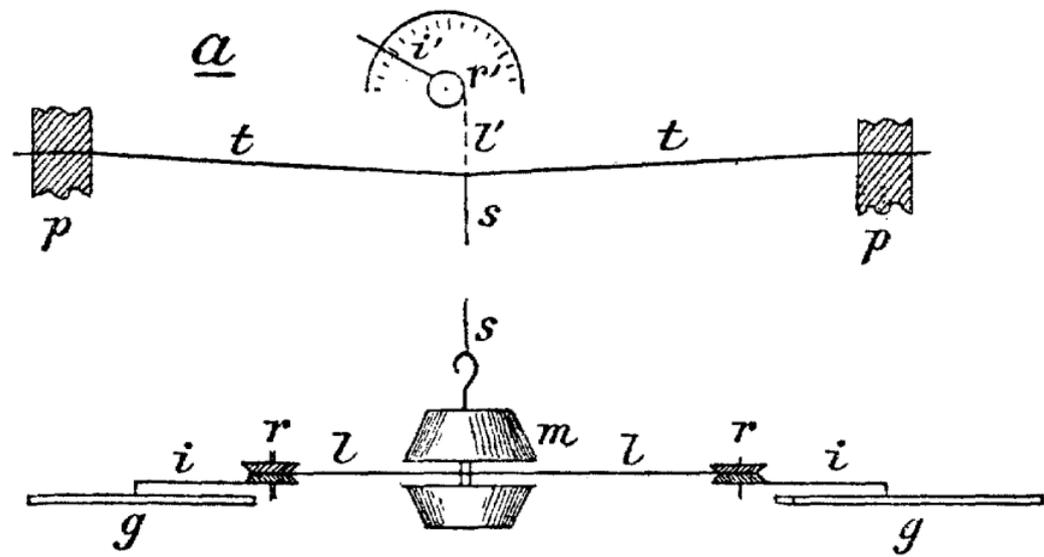


Fig. 4.

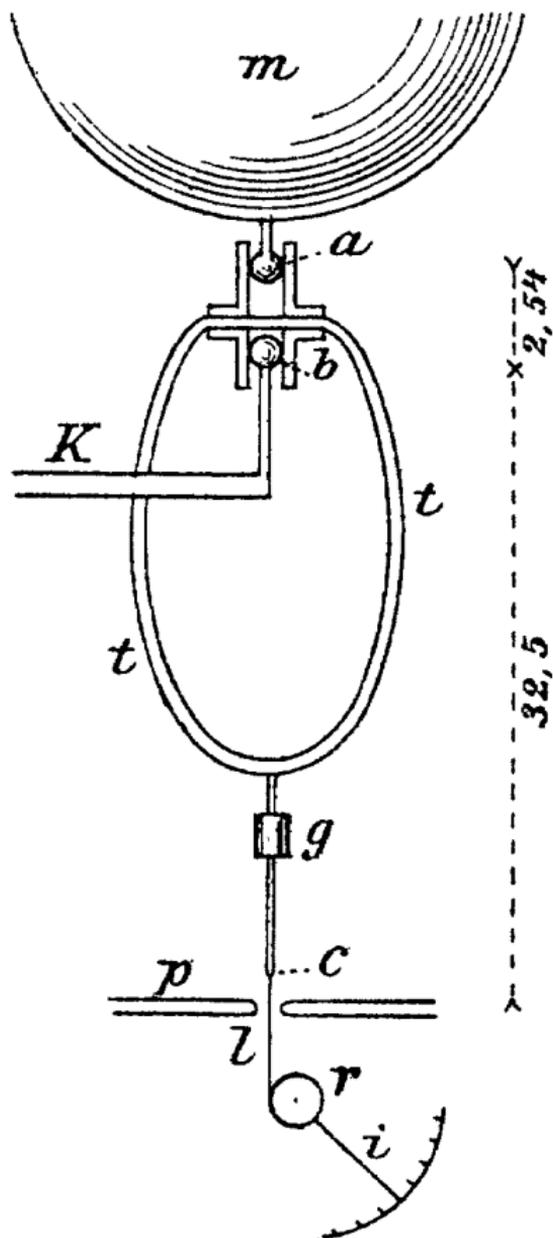


Fig. 5.

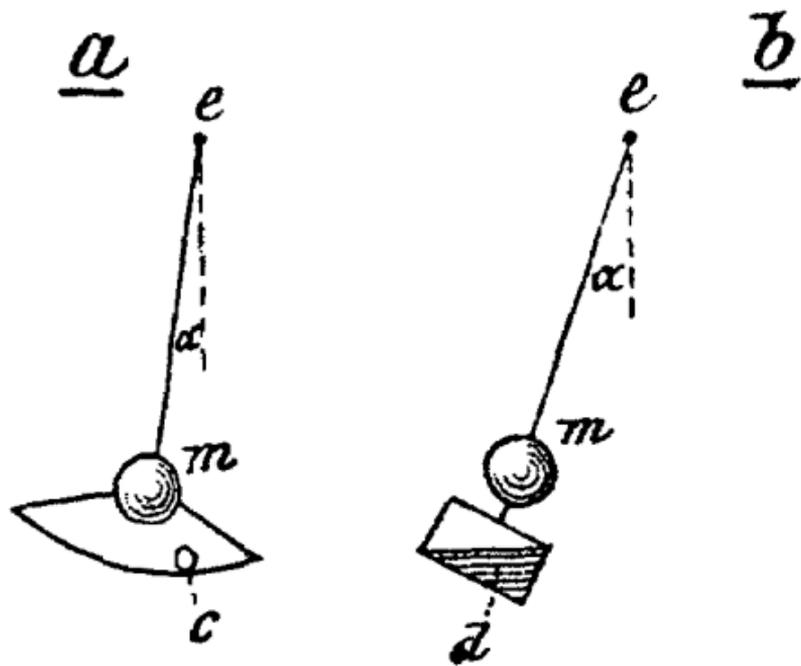


Fig. 6.

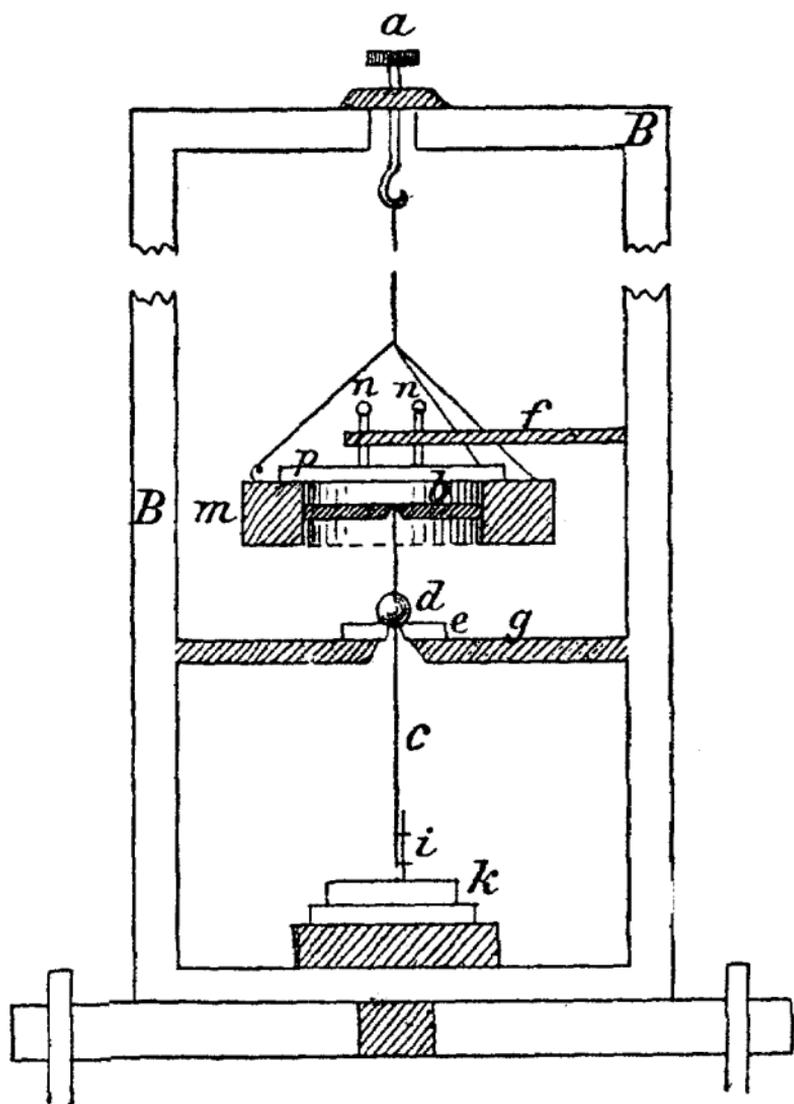


Fig. 7.

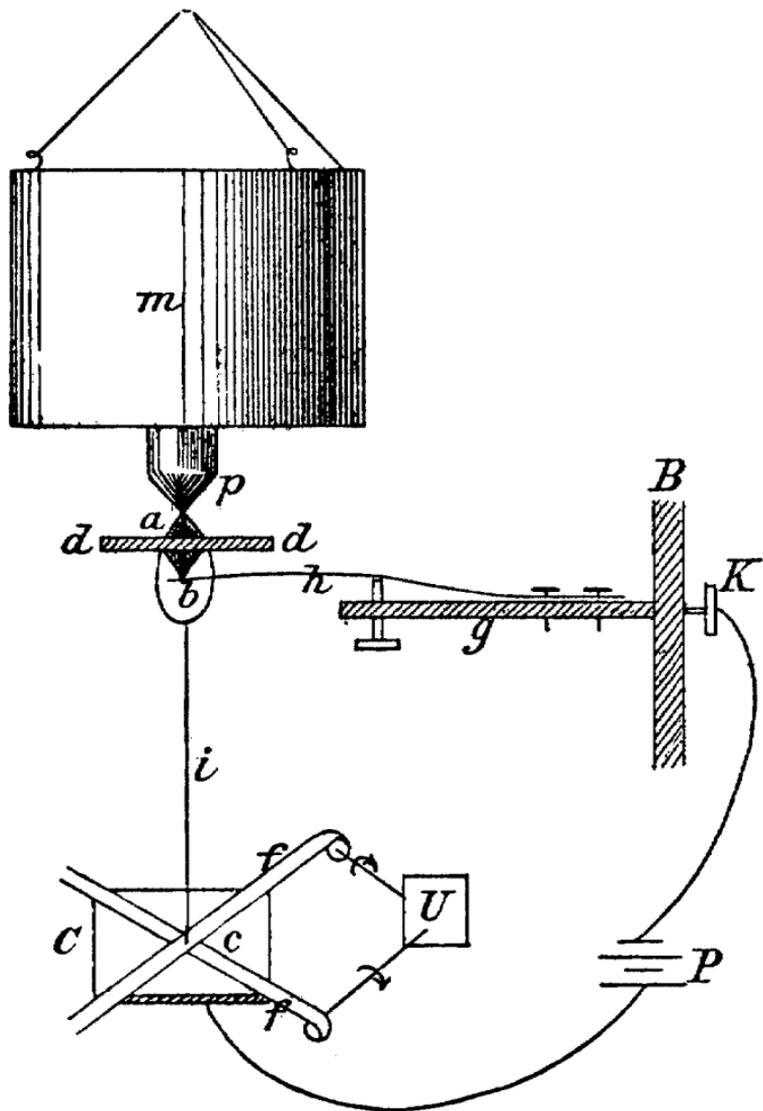


Fig. 8.

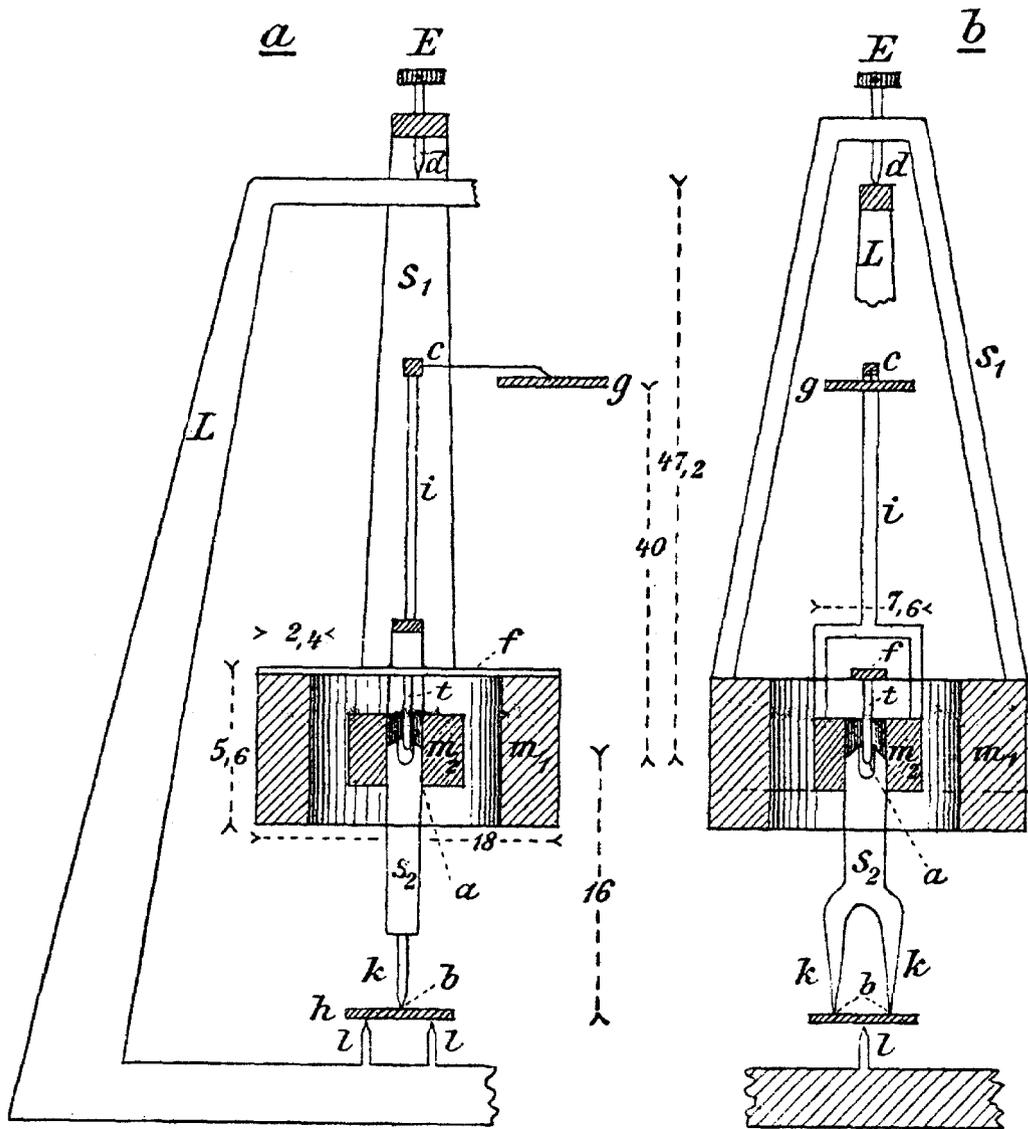


Fig. 9.

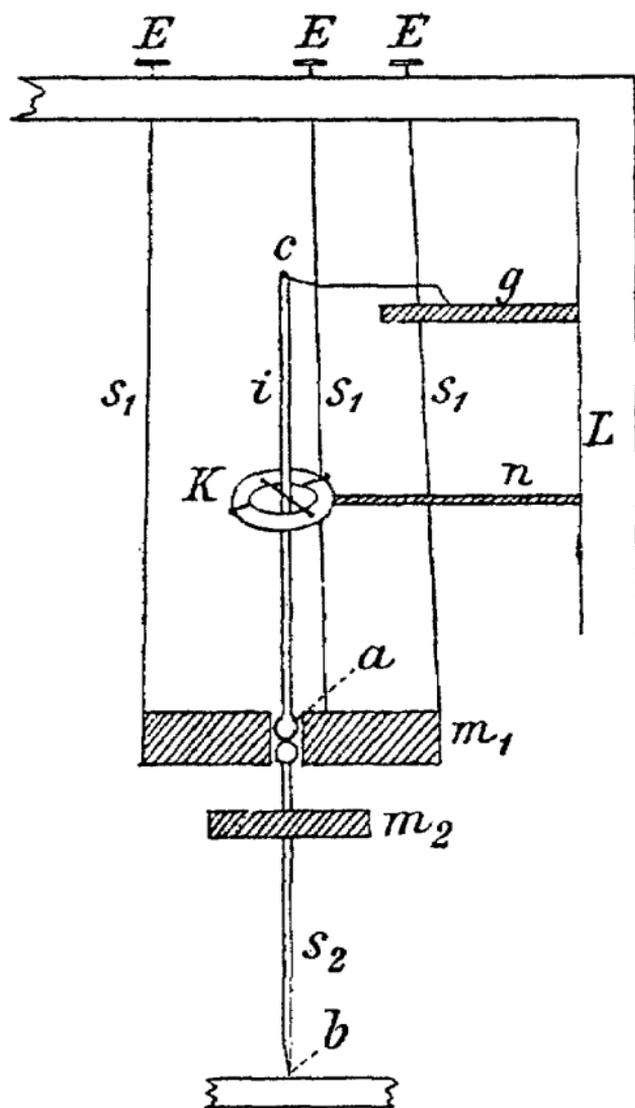


Fig. 10.

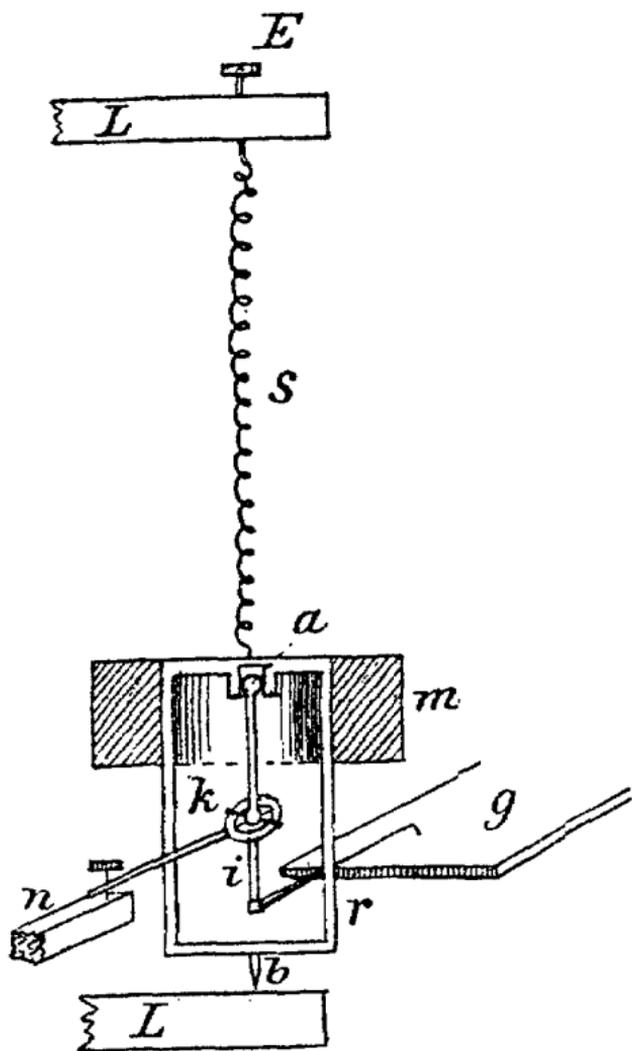


Fig. 11.

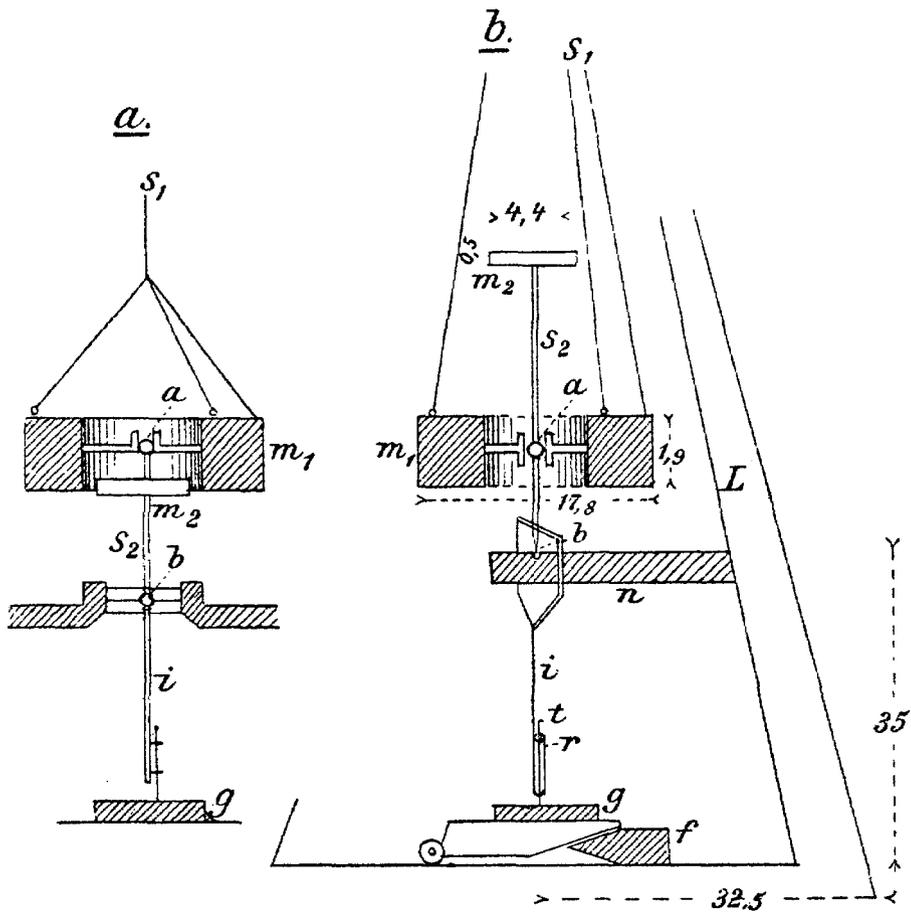


Fig. 12.

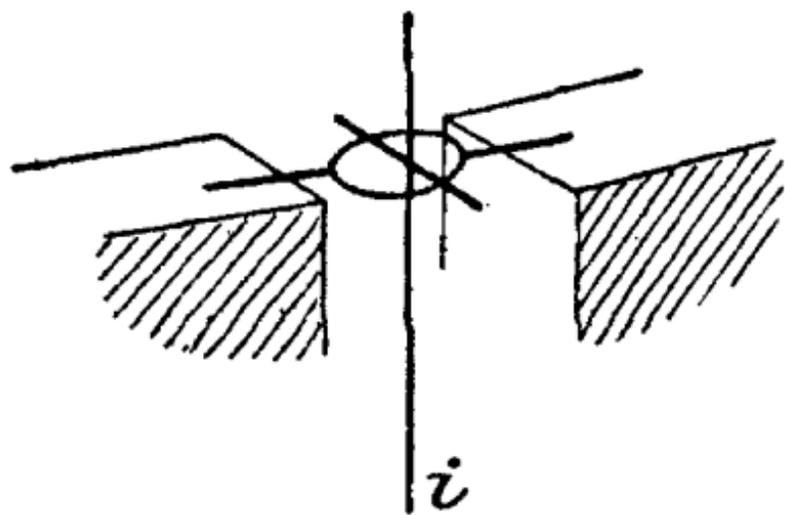
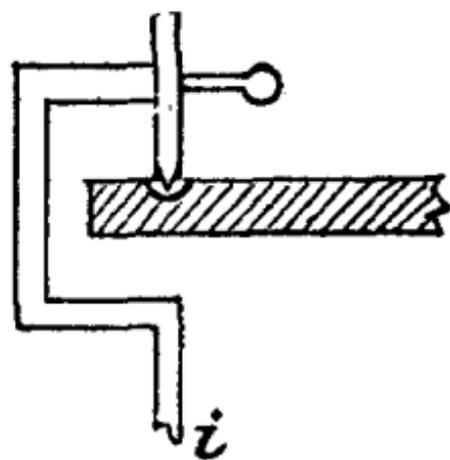


Fig. 13.

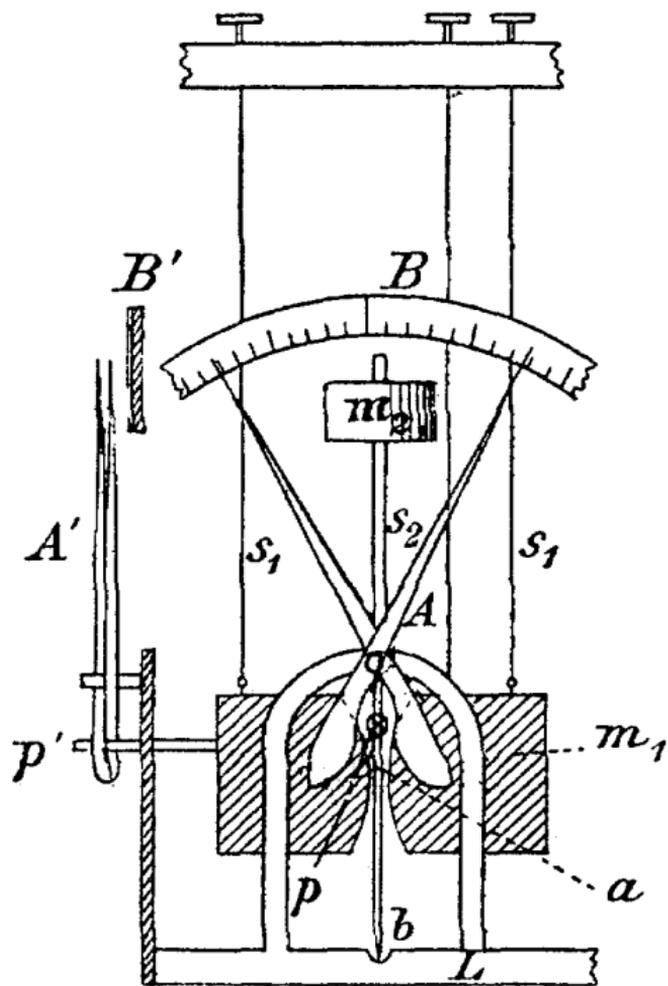


Fig. 14.

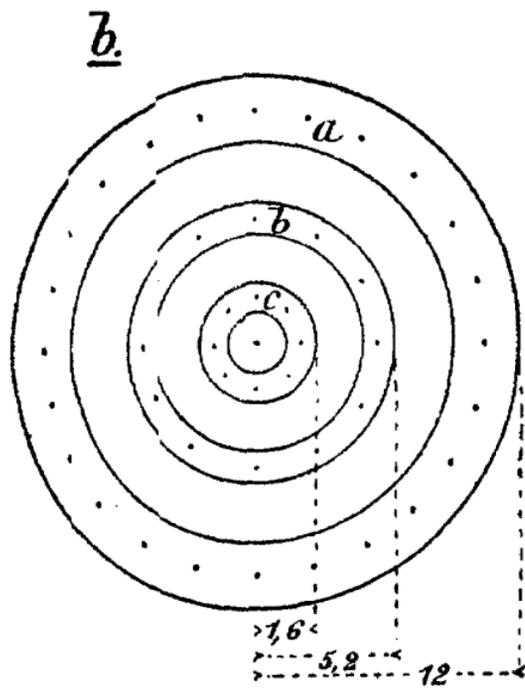
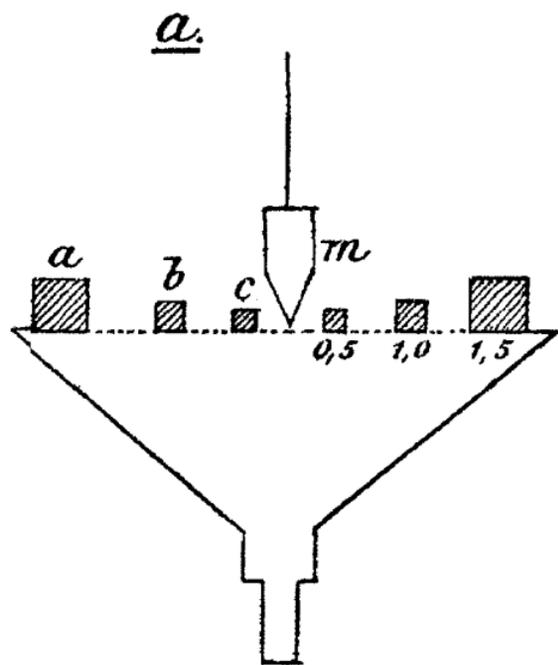


Fig. 15.

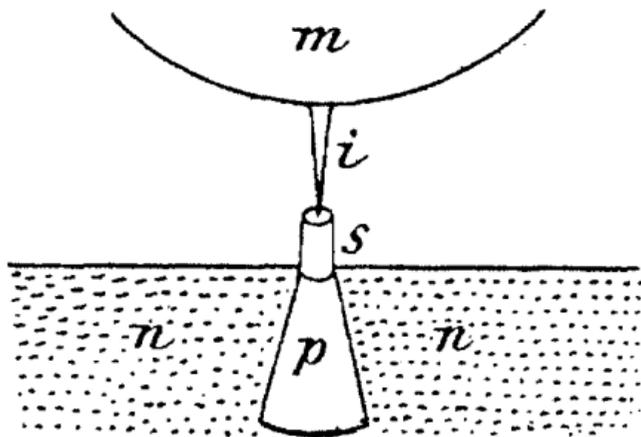


Fig. 16.

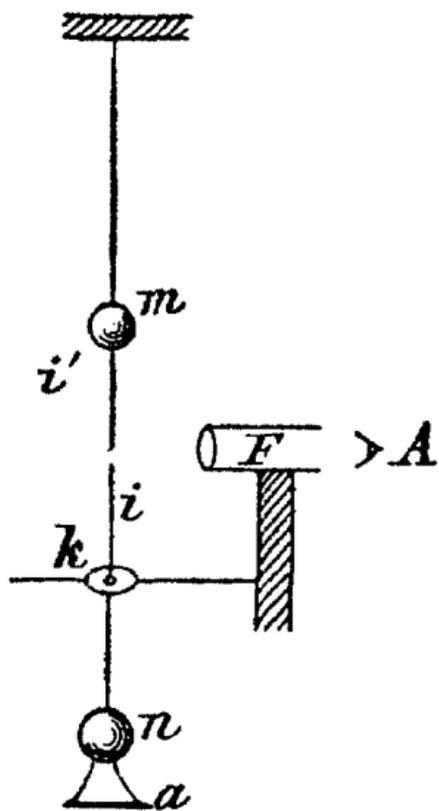


Fig. 17.

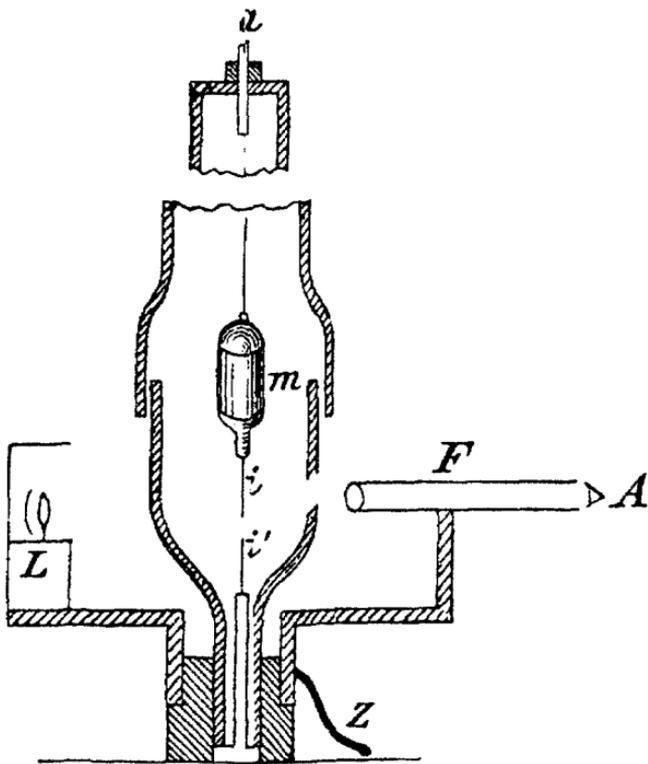


Fig. 18.

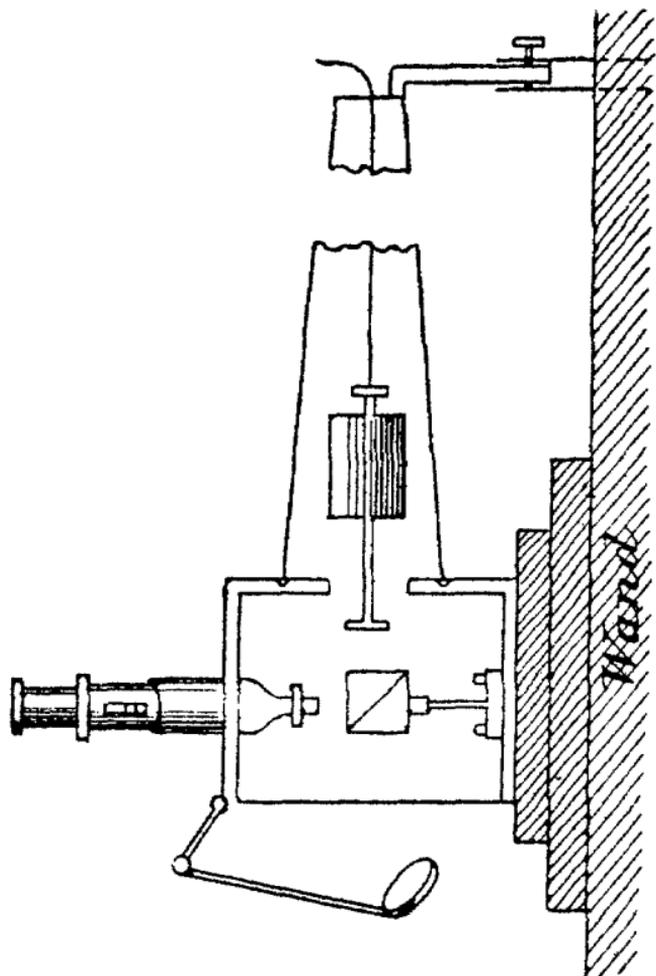


Fig. 19.

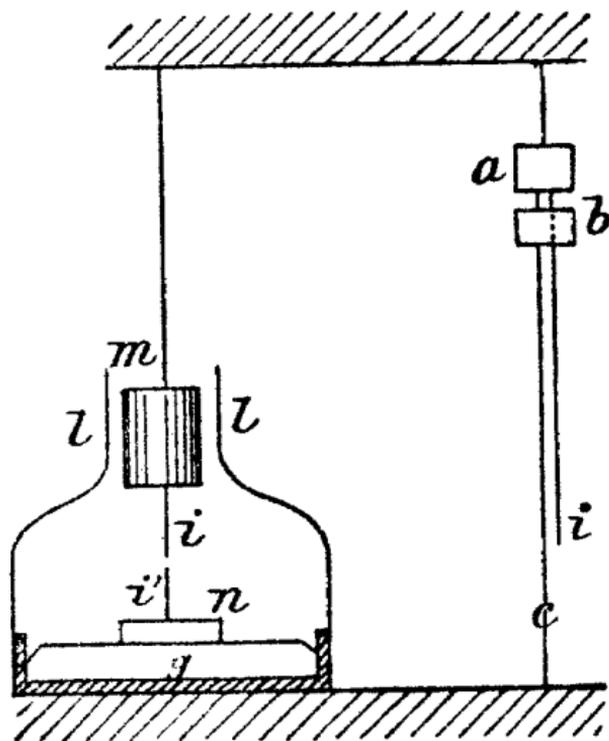


Fig. 20.

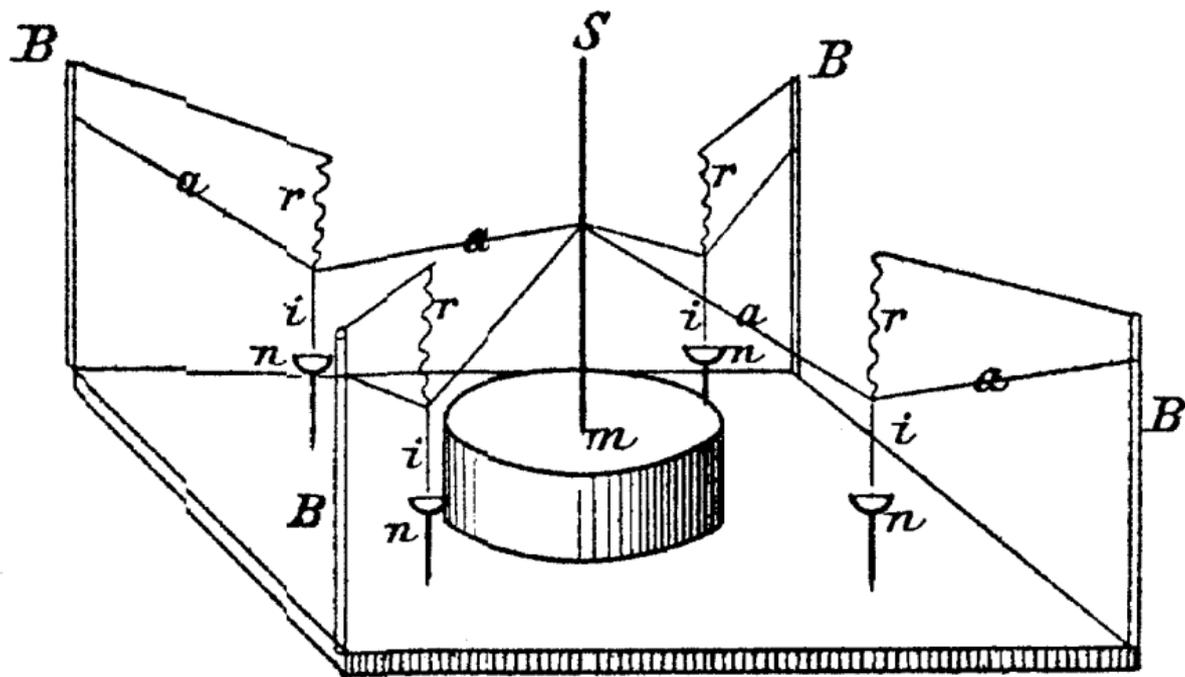


Fig. 21.

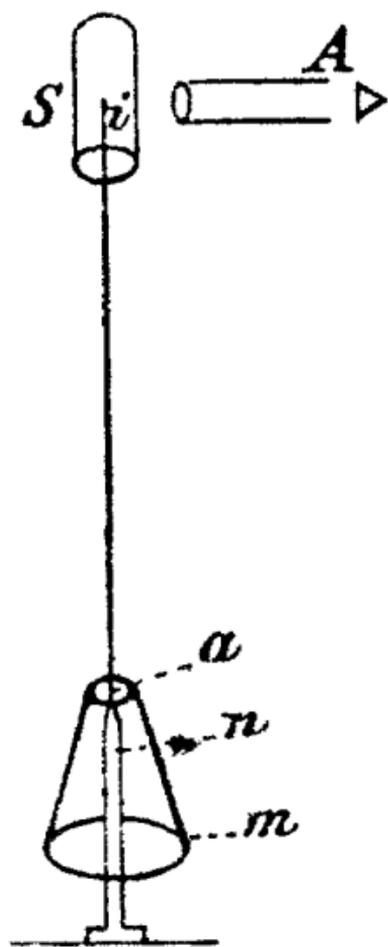


Fig. 22.

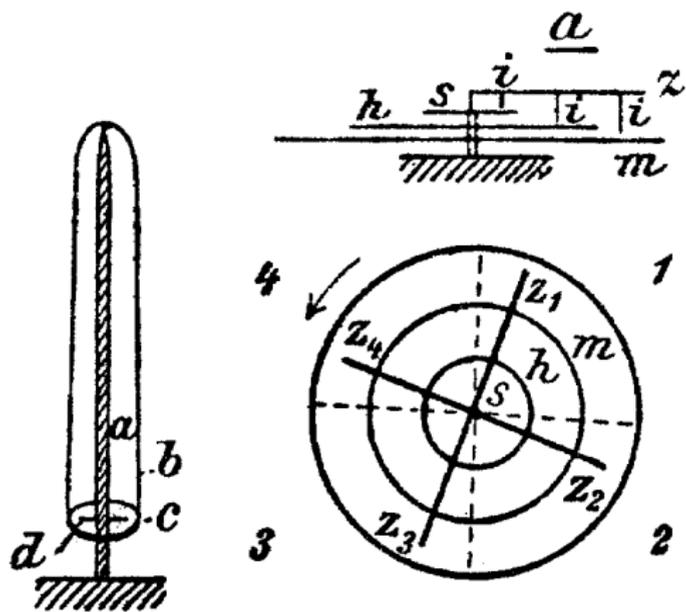


Fig. 23.

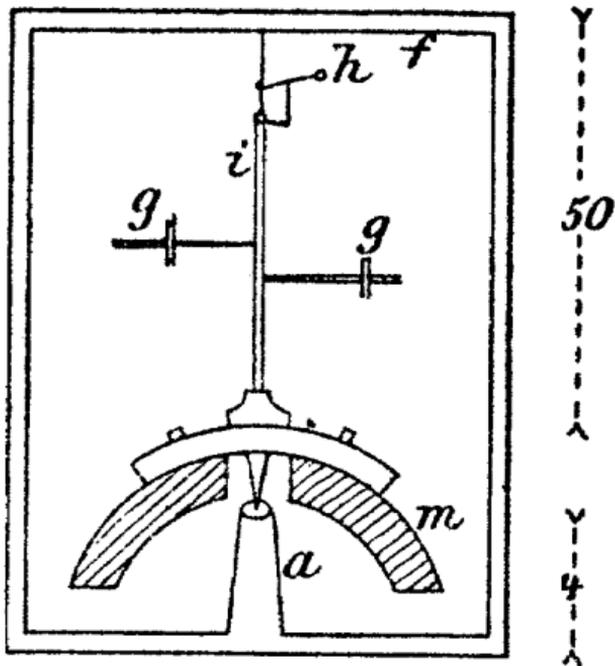


Fig. 24.

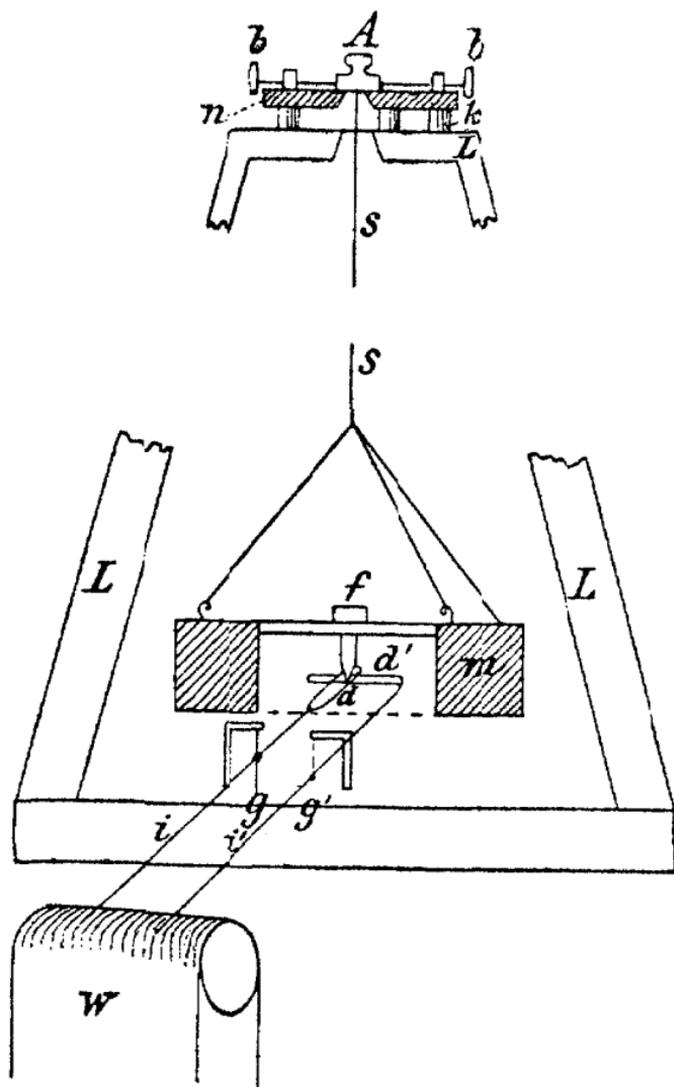


Fig. 25.

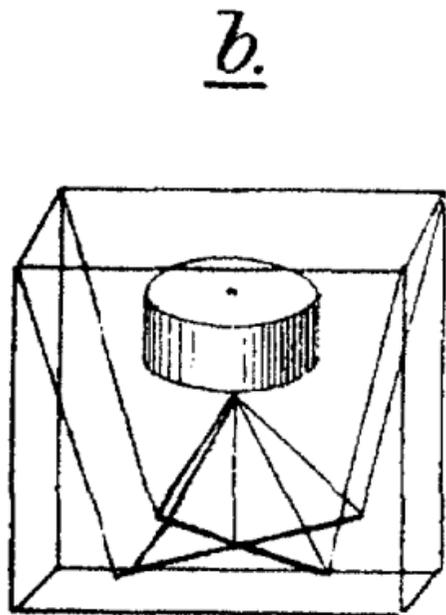
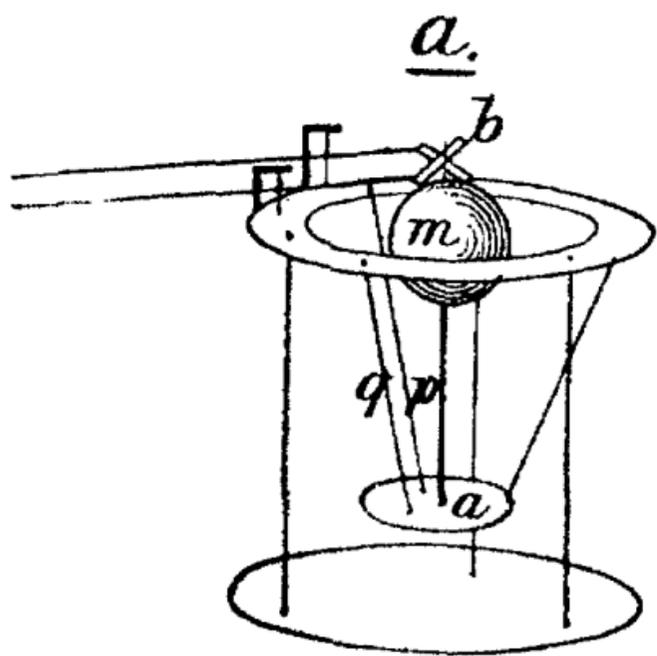


Fig. 26.

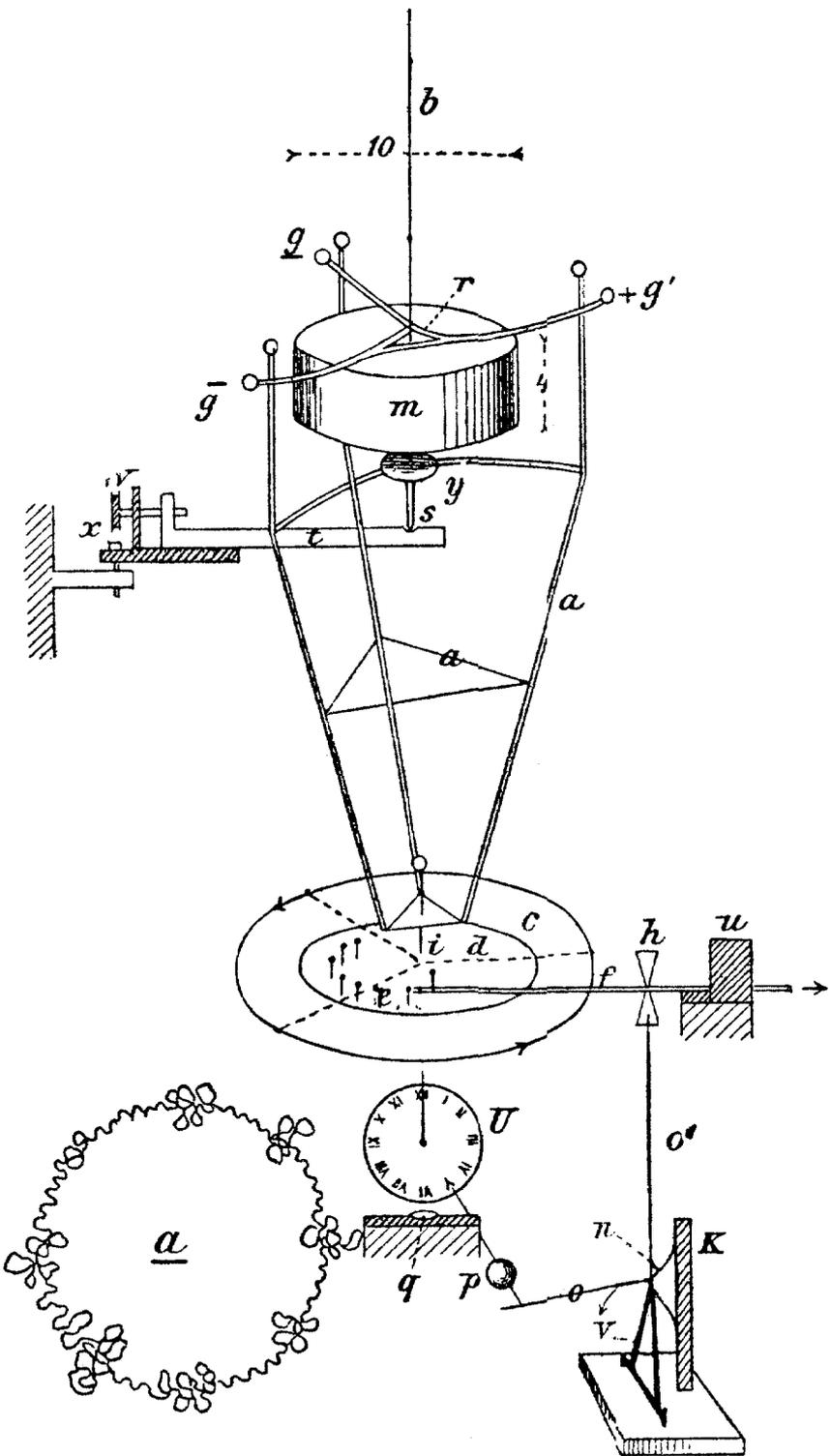


Fig. 27.

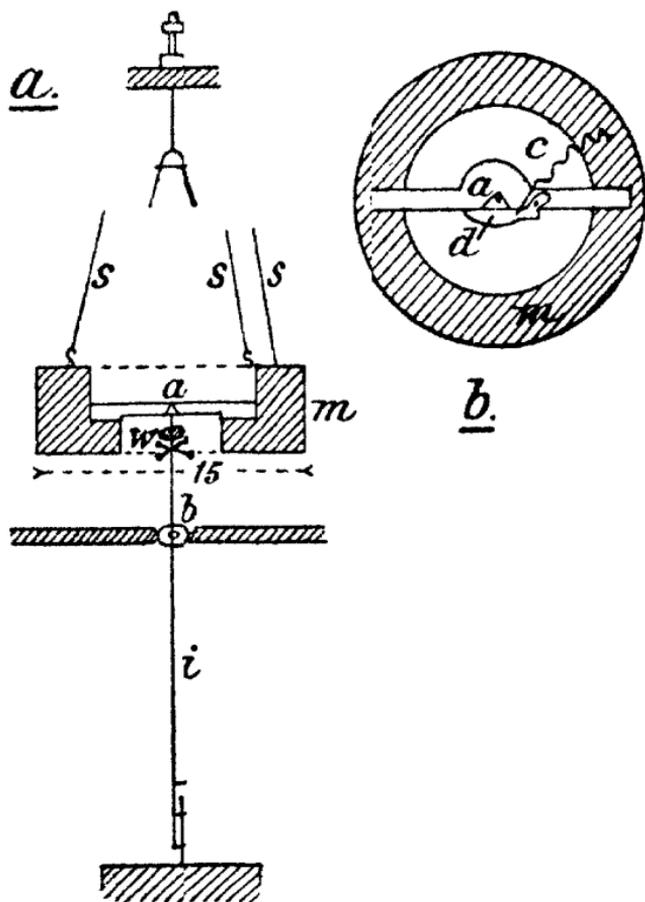


Fig. 28.

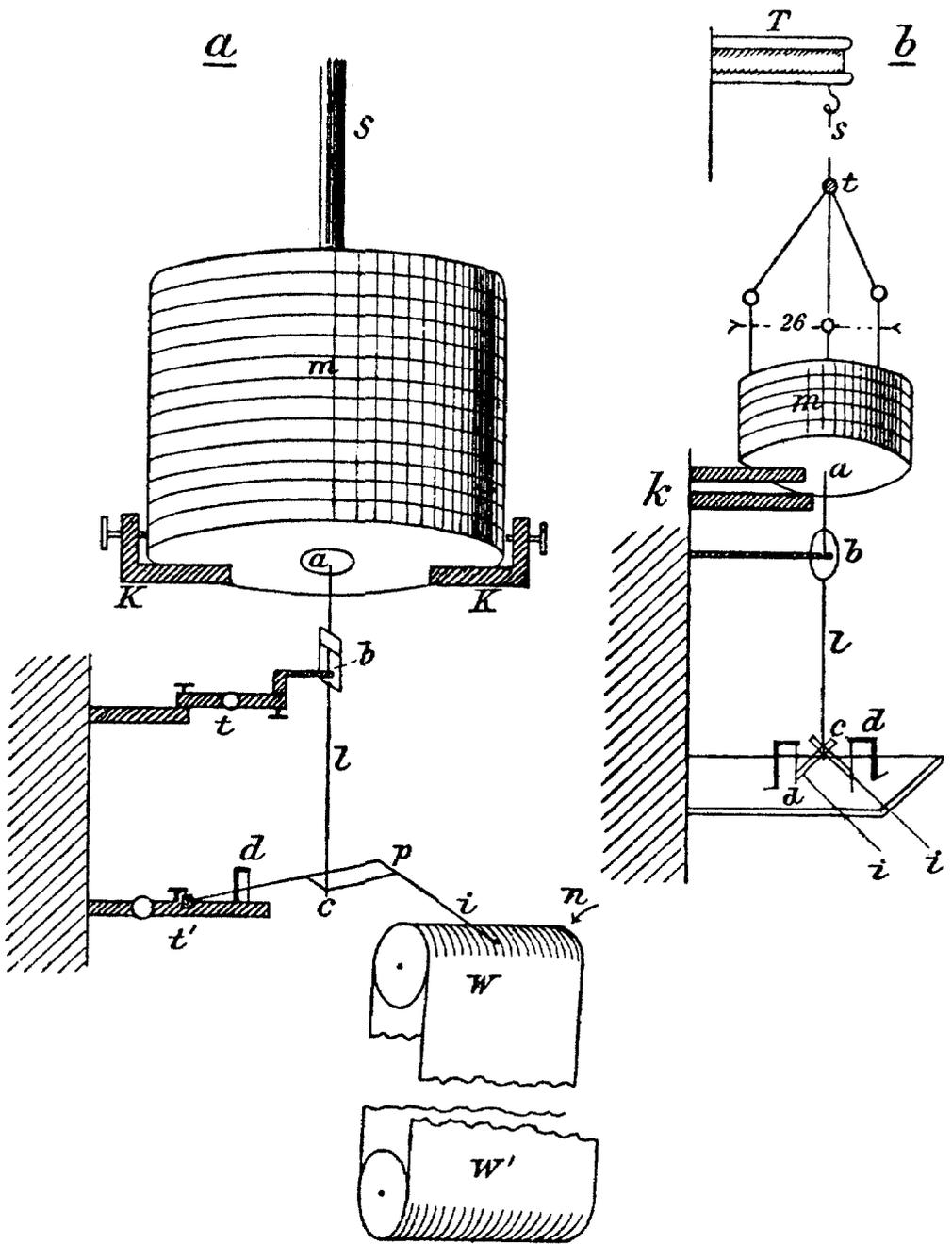


Fig. 29.

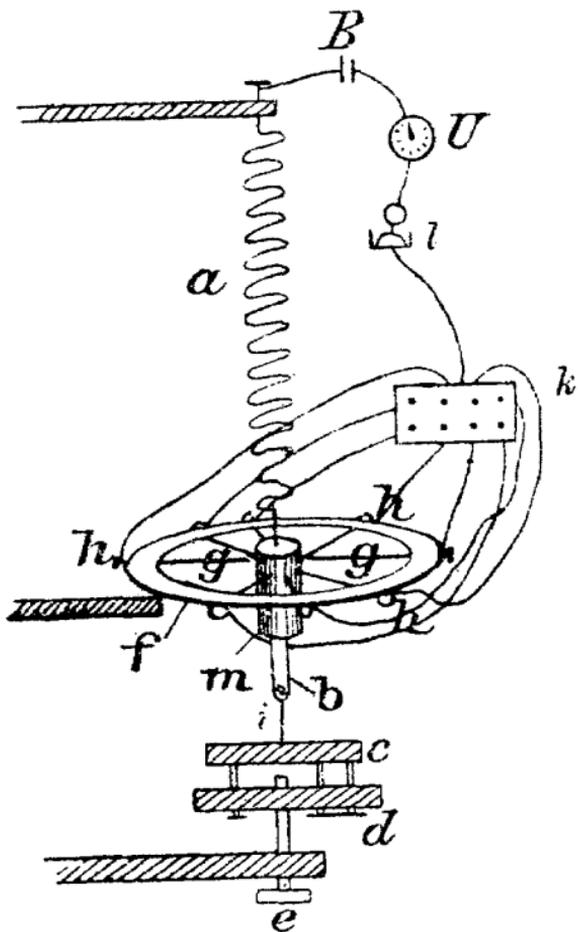


Fig. 30.

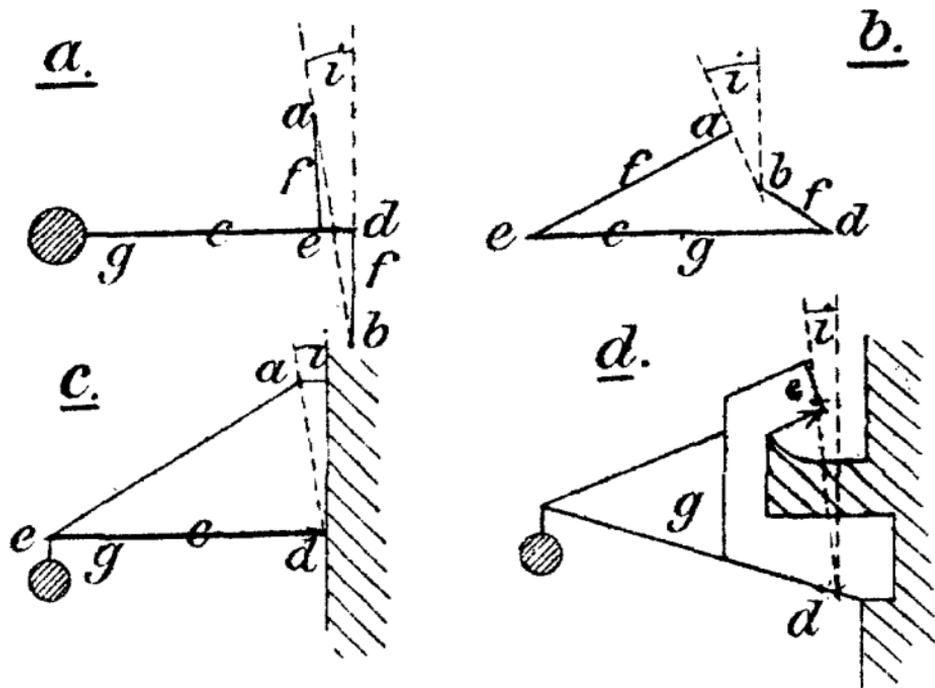


Fig. 31.

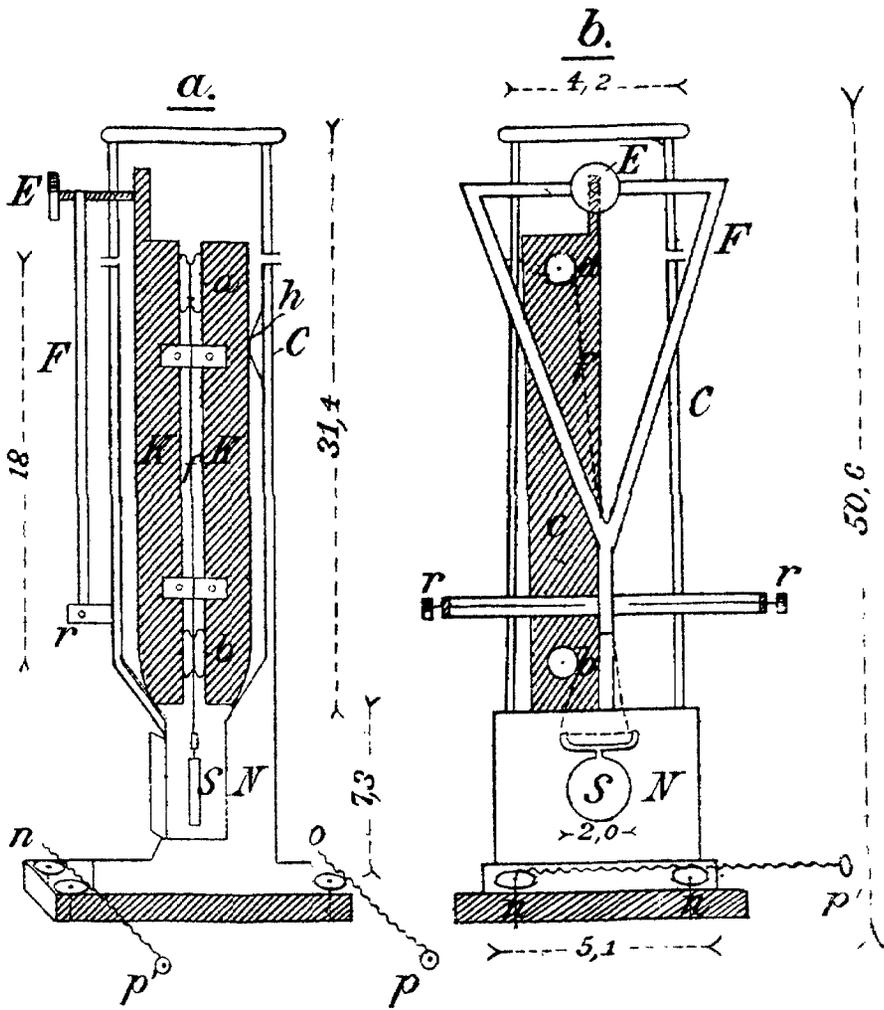


Fig. 32 1).

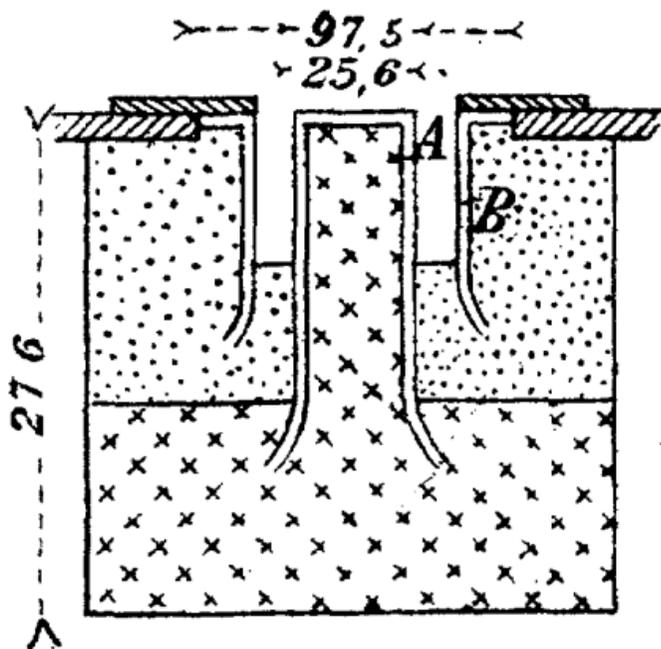
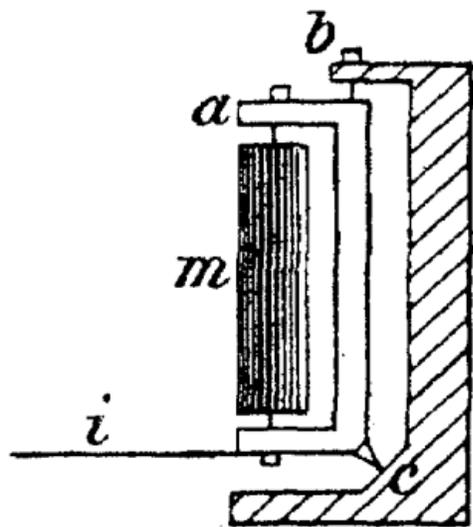


Fig. 33.



Grundriss

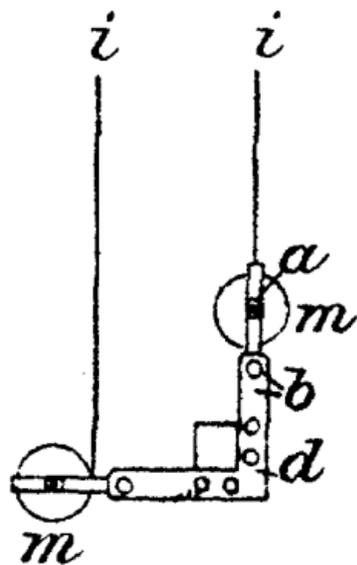


Fig. 34.

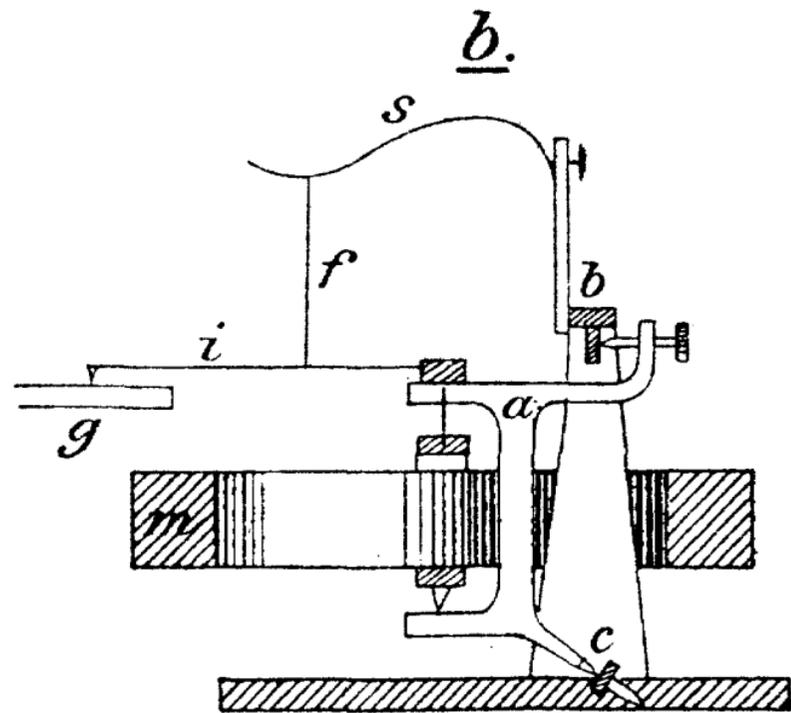
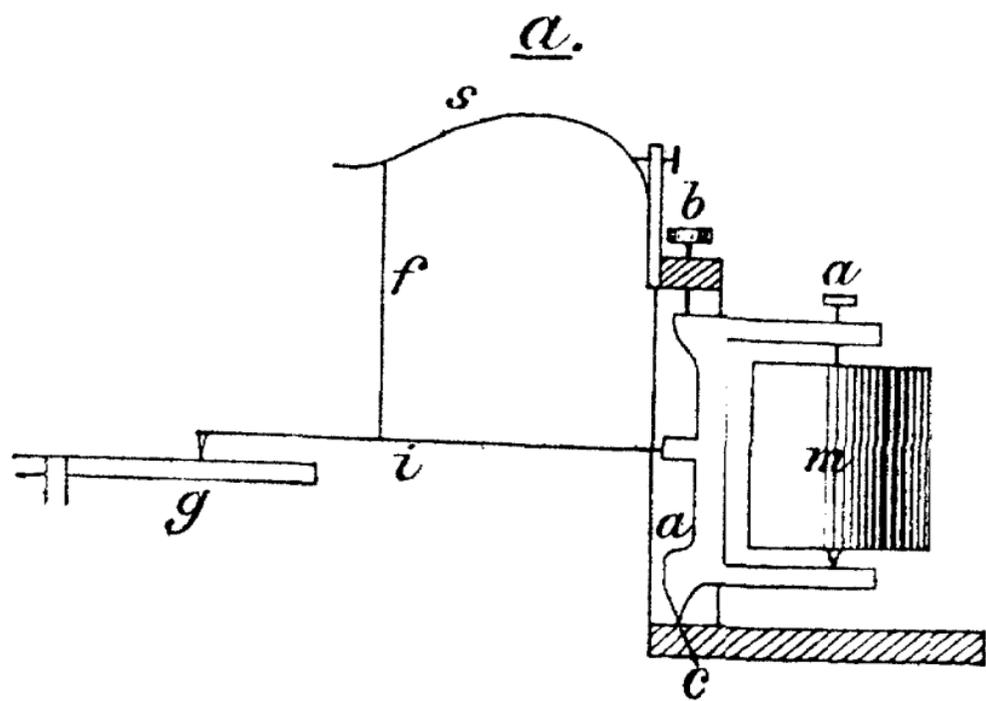


Fig. 35.

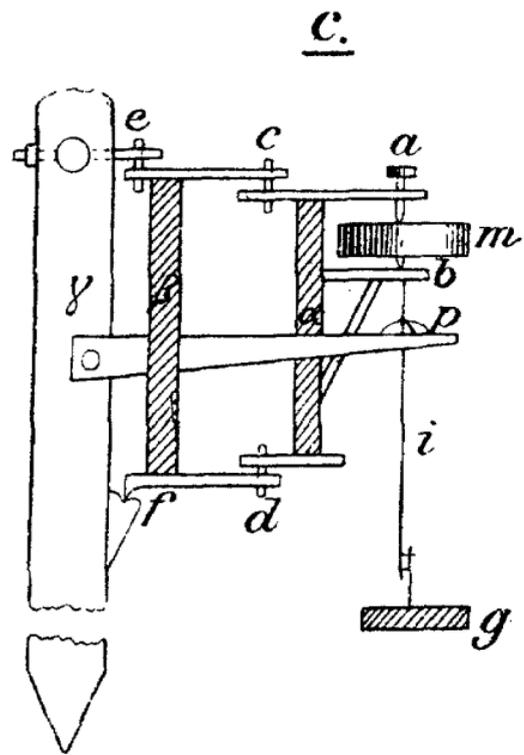
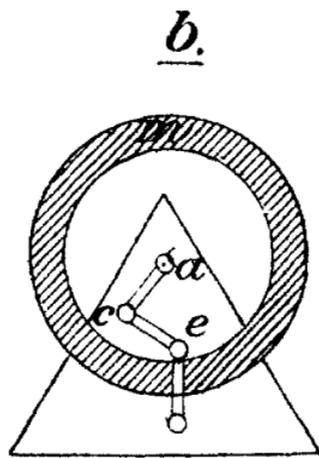
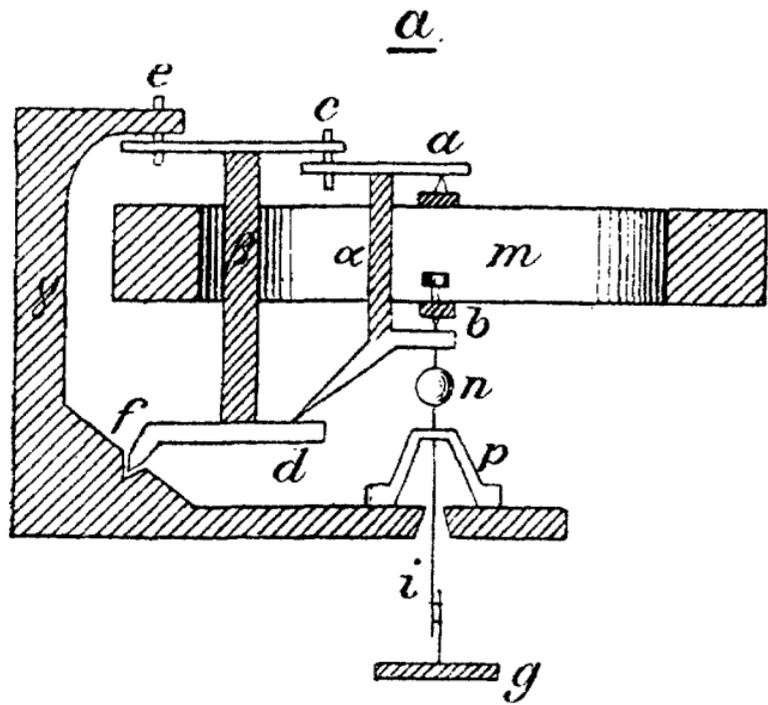


Fig. 36.

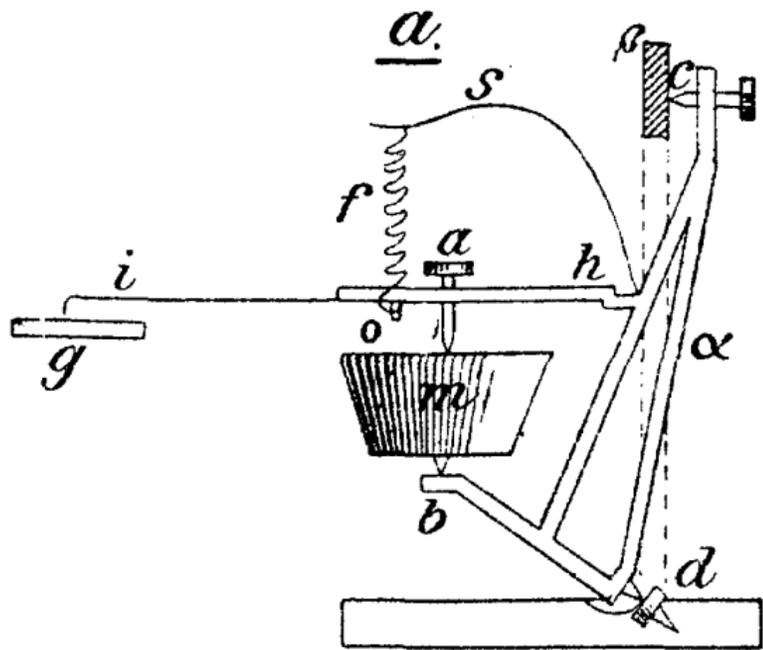
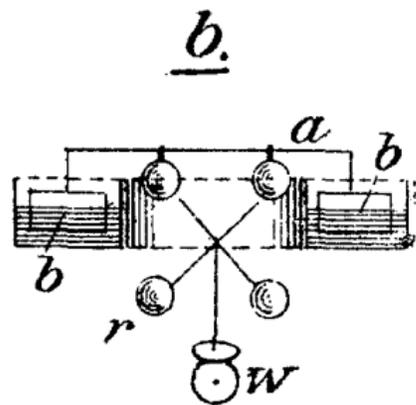


Fig. 37.



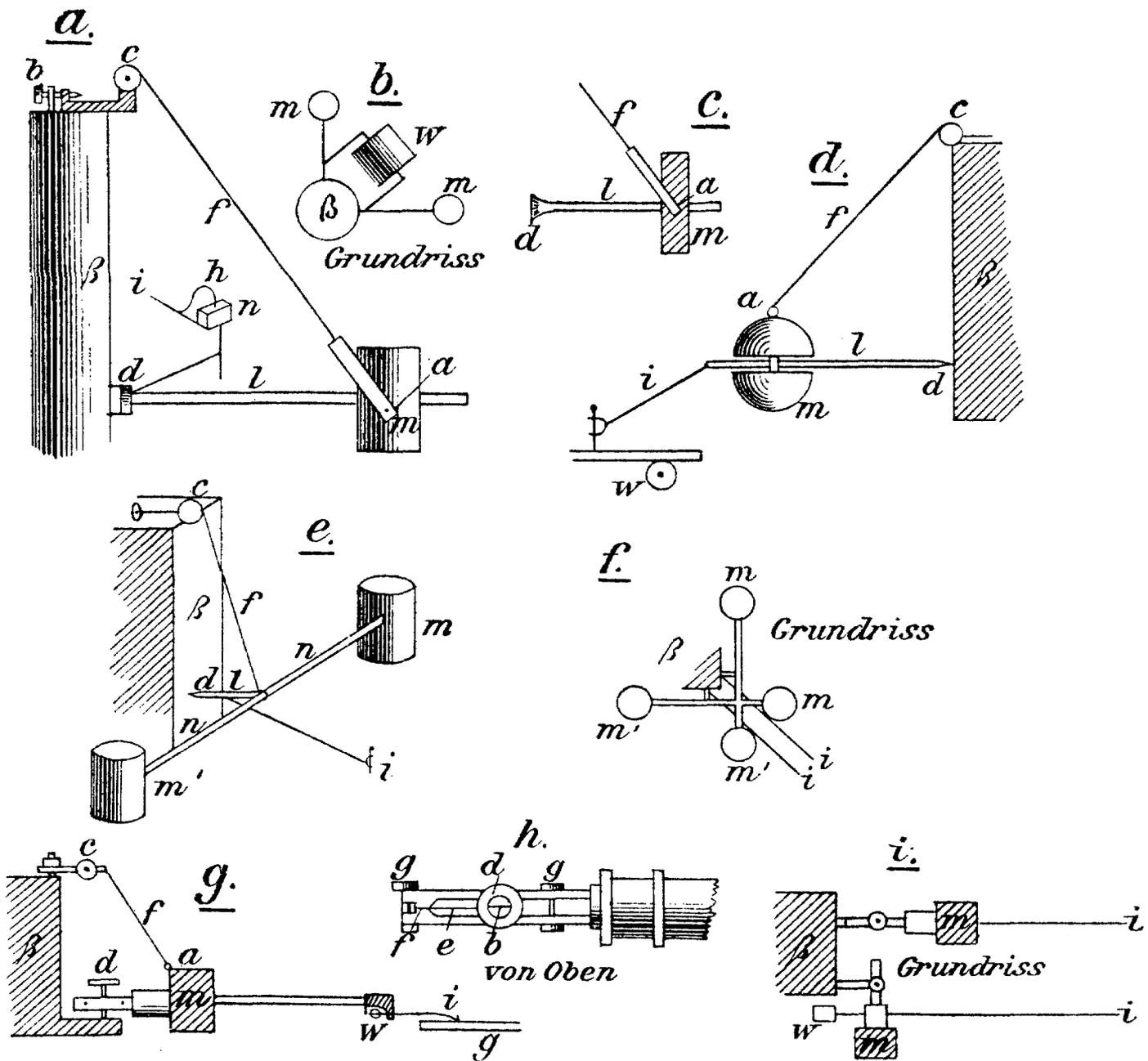


Fig. 38.

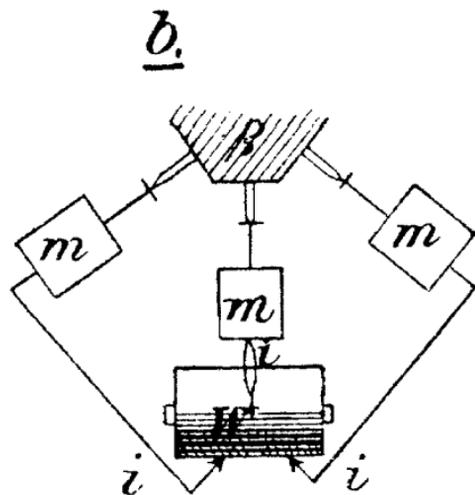
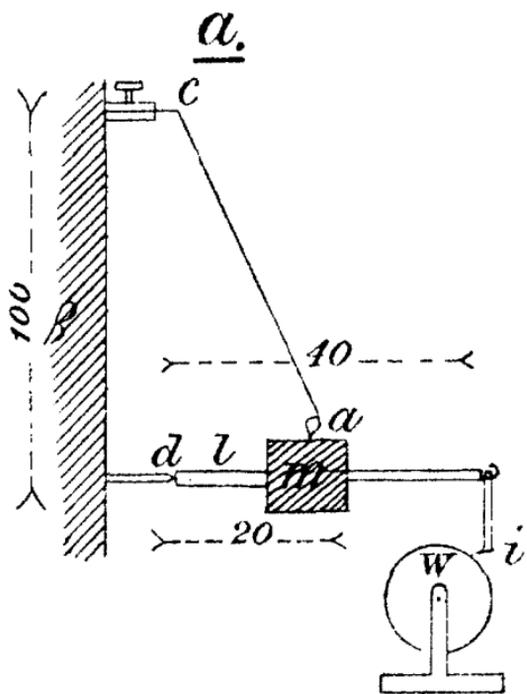


Fig. 39.

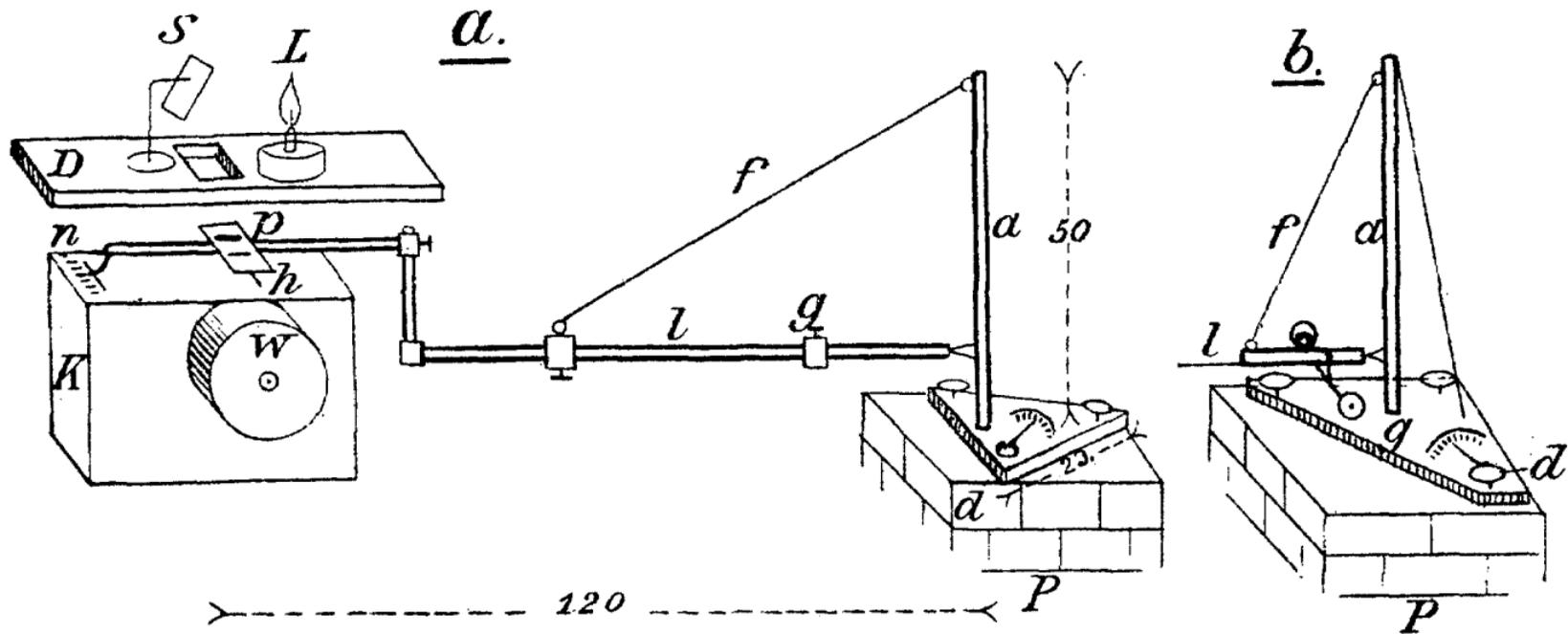


Fig. 40.

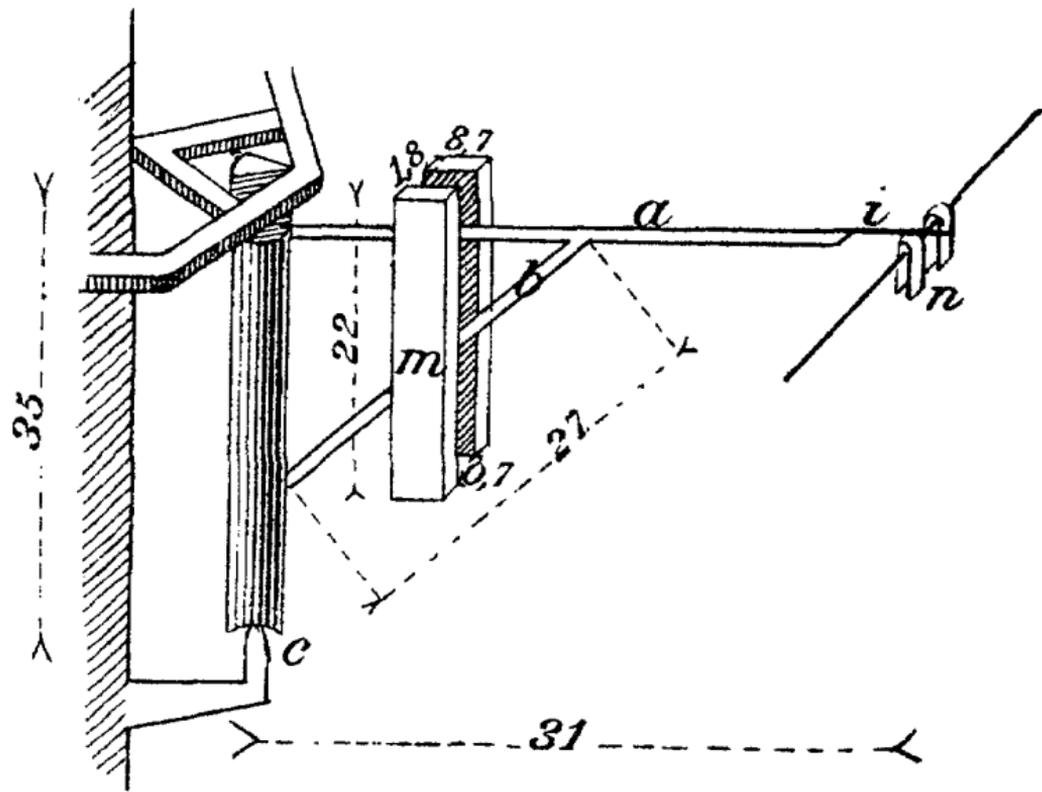


Fig. 41.

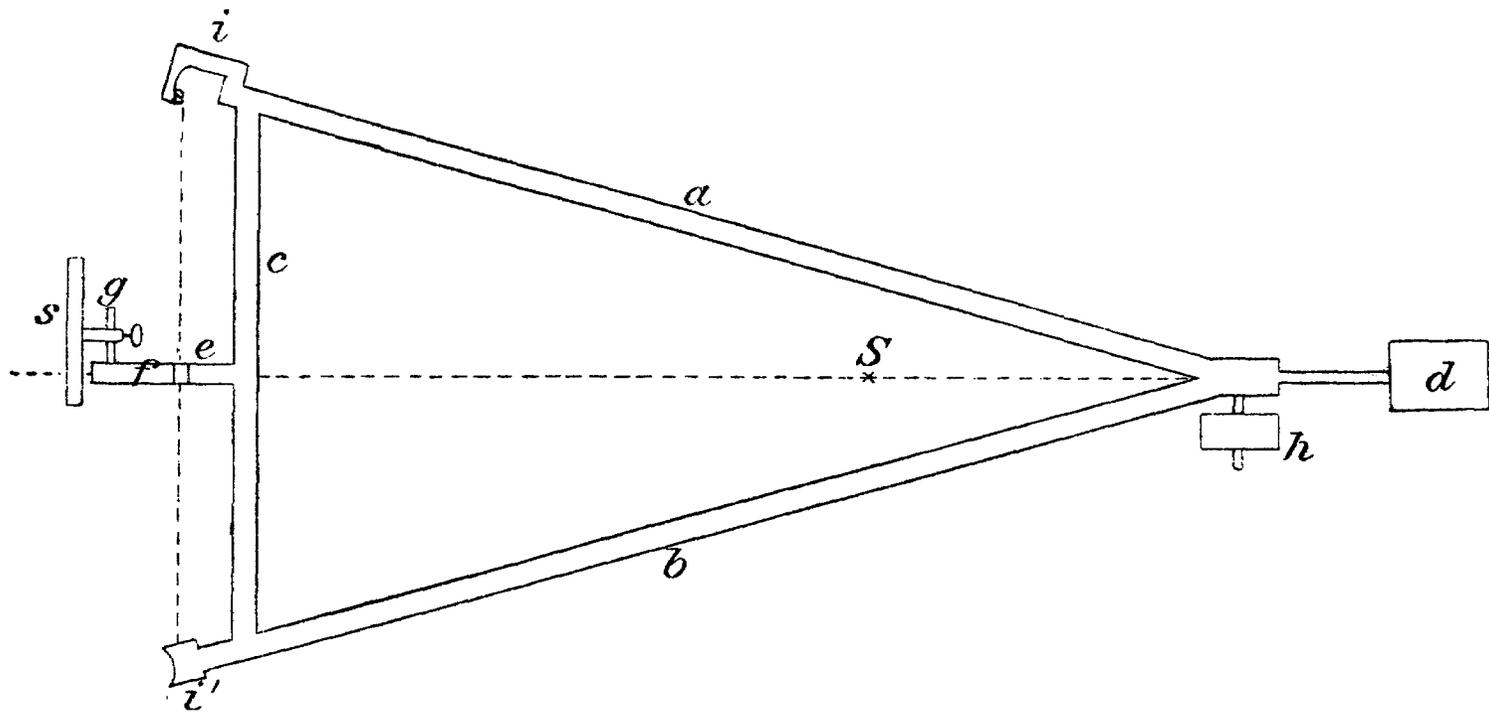


Fig. 42.

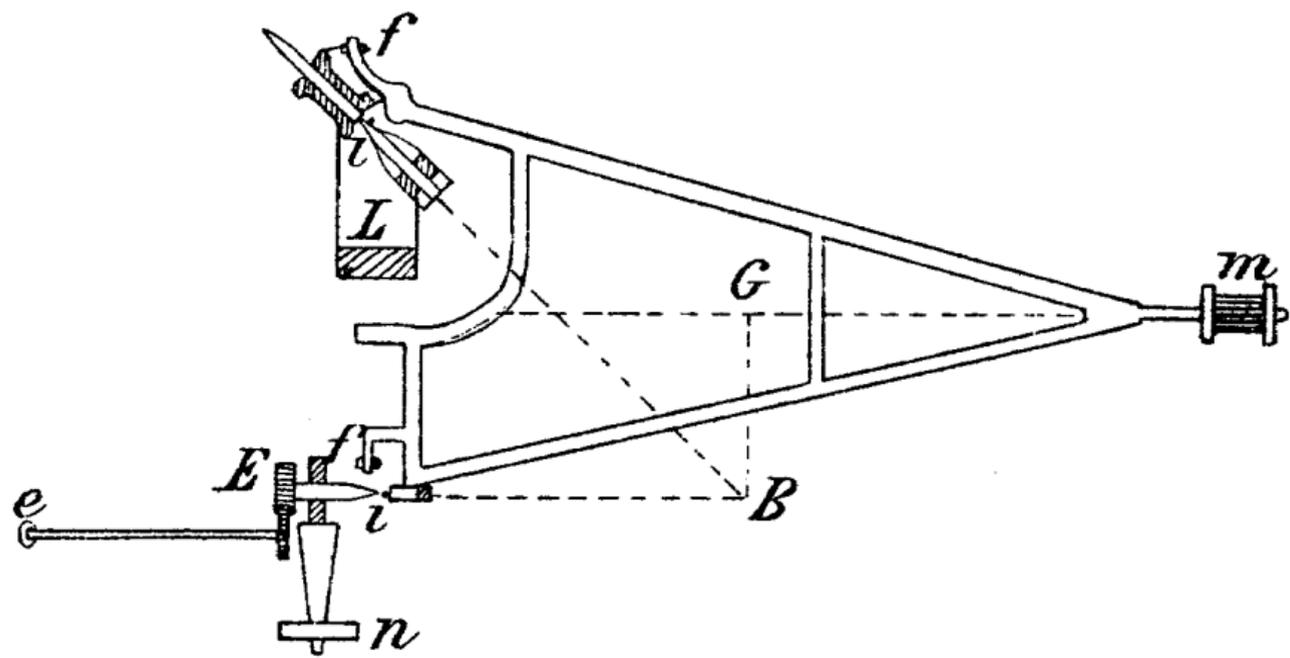


Fig. 43.

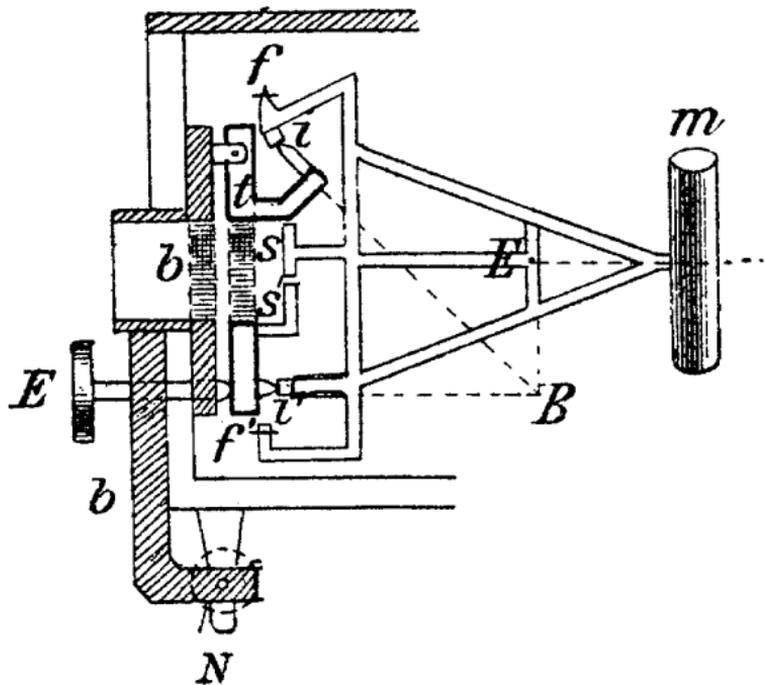


Fig. 44.

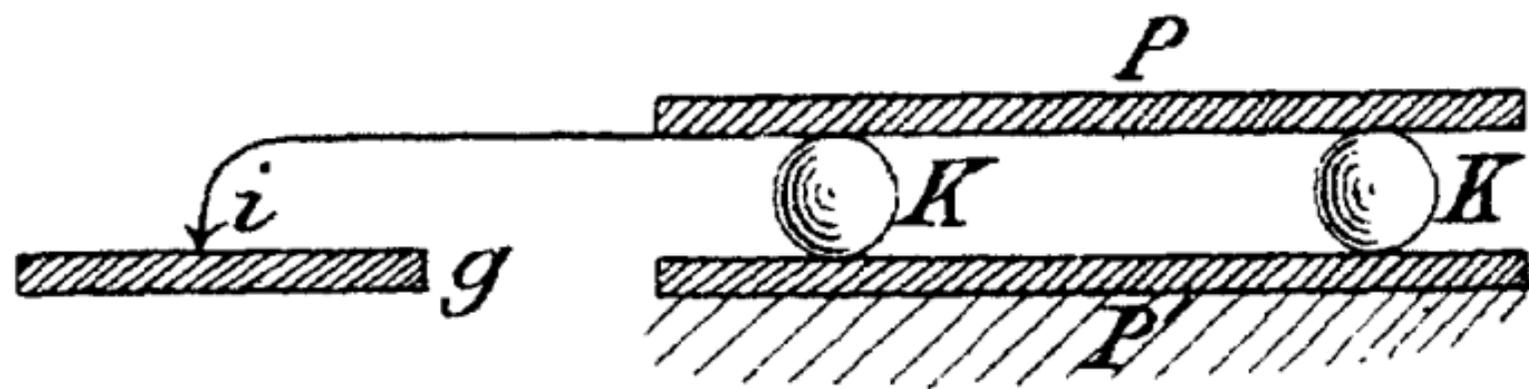


Fig. 45.

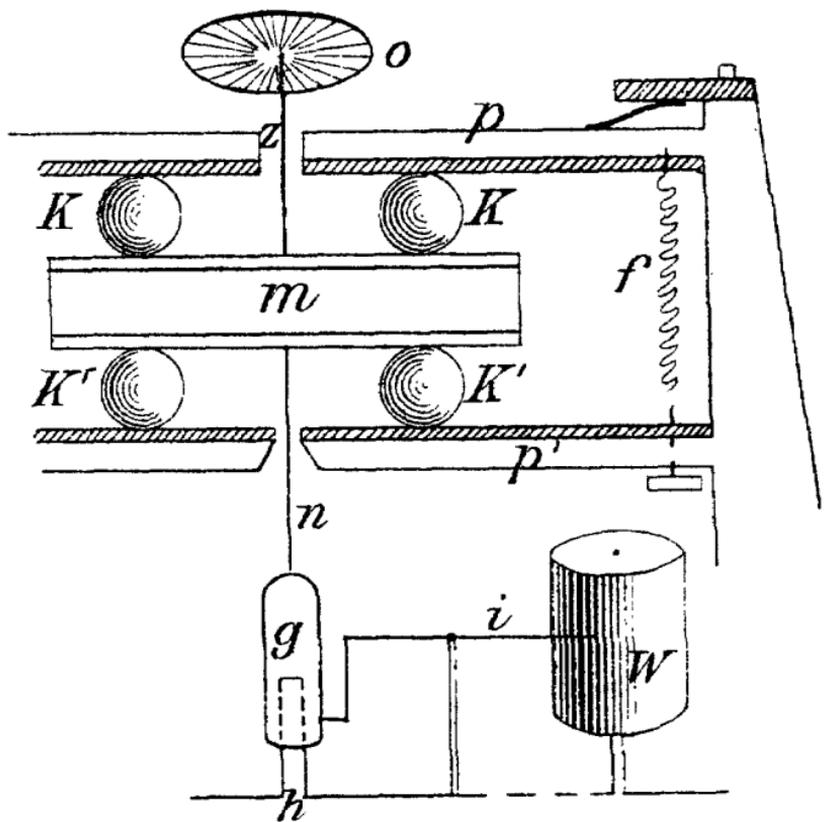


Fig. 46.

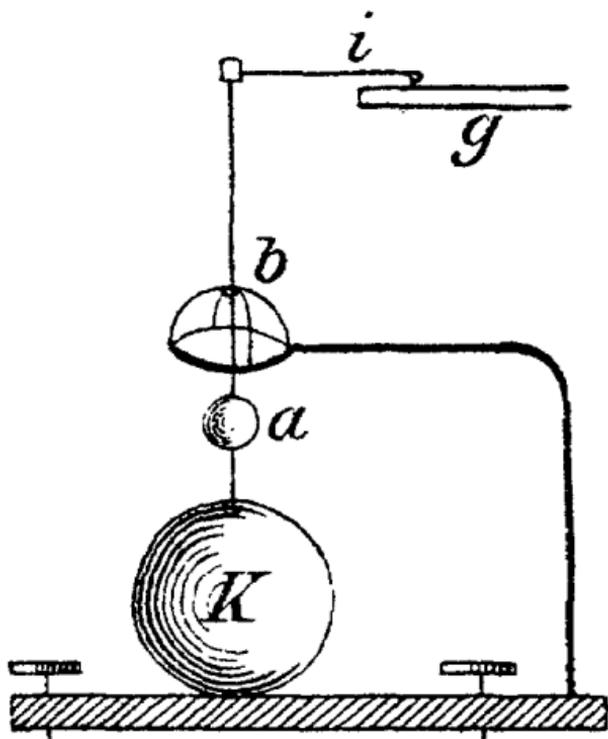


Fig. 47.

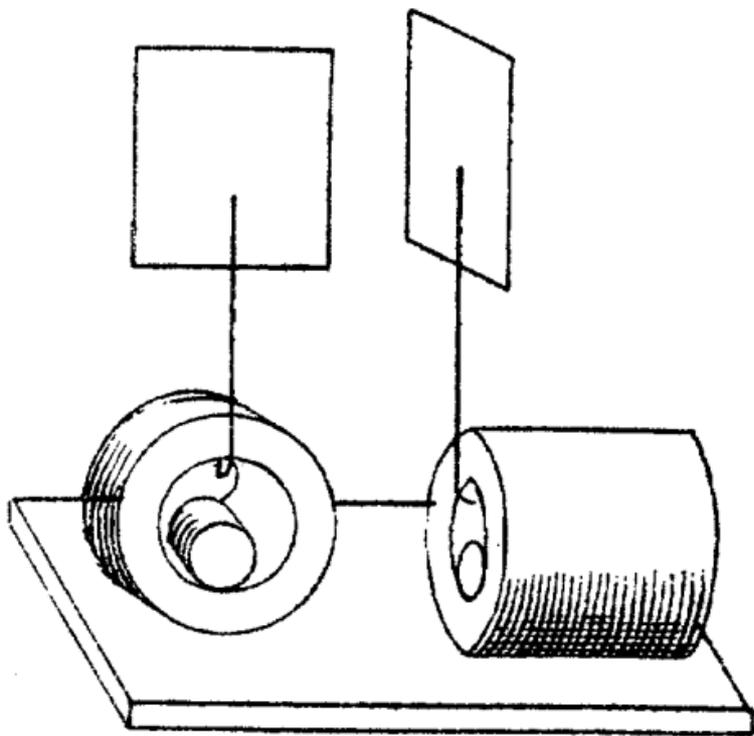


Fig. 48.

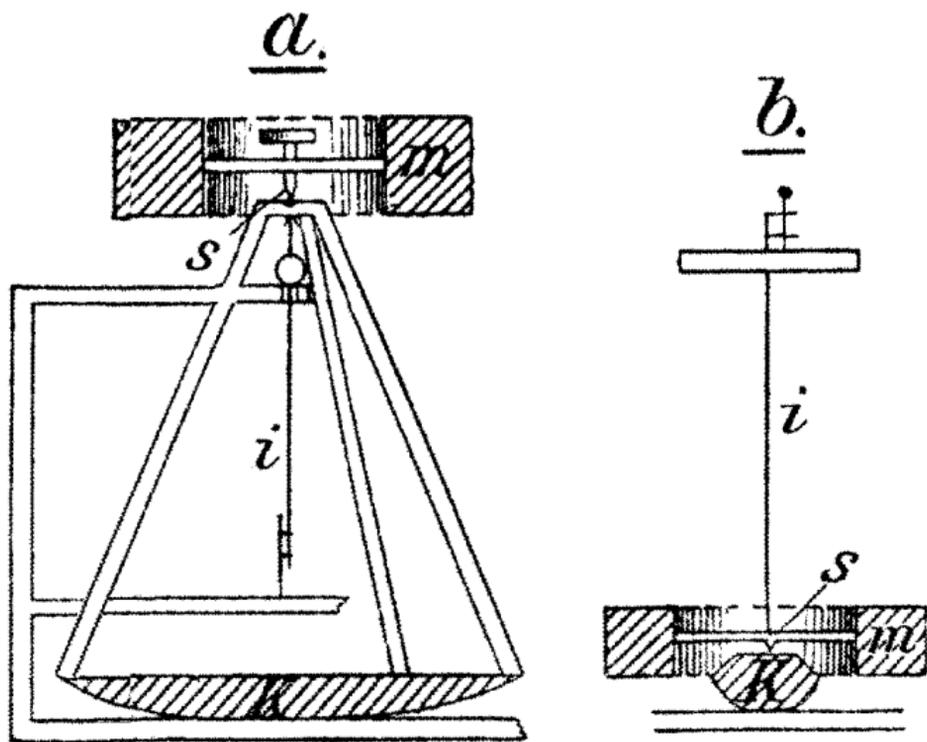


Fig. 49.

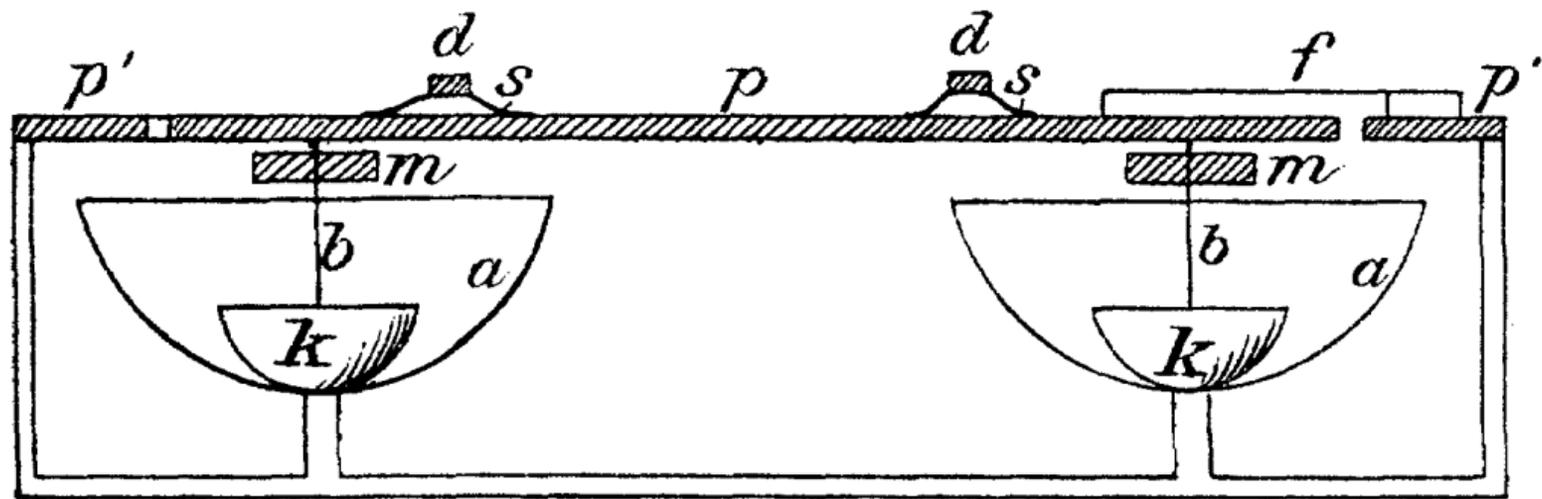


Fig 50.

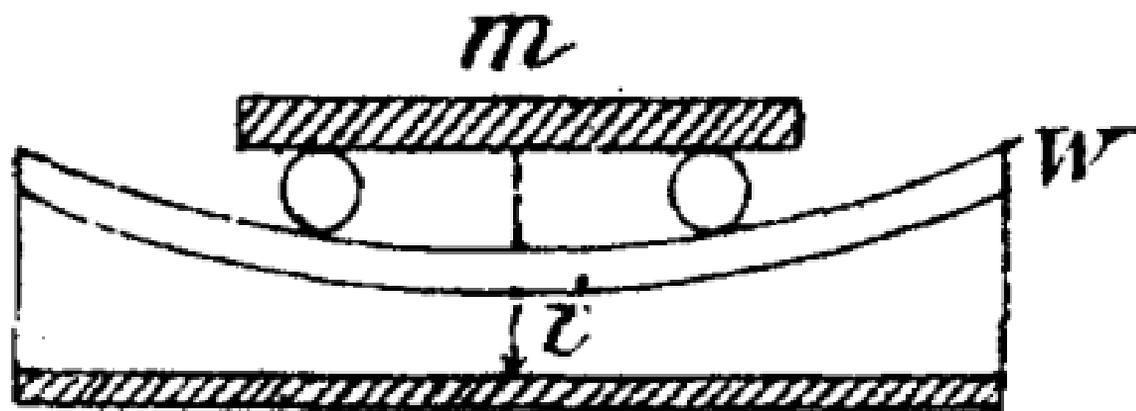


Fig. 51.

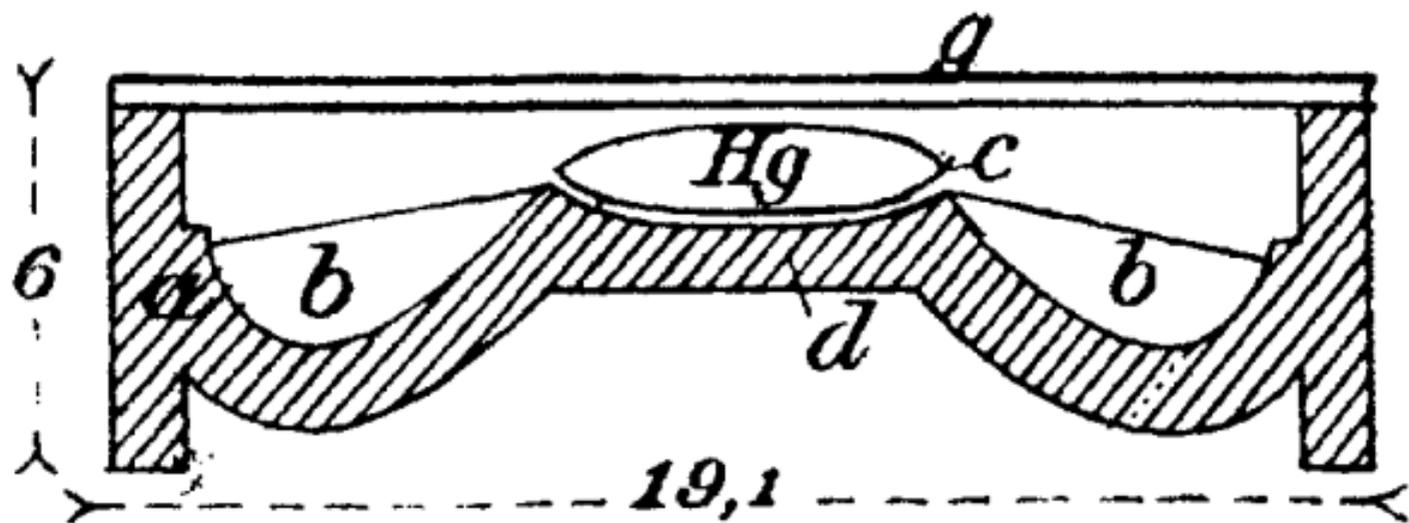


Fig. 52.

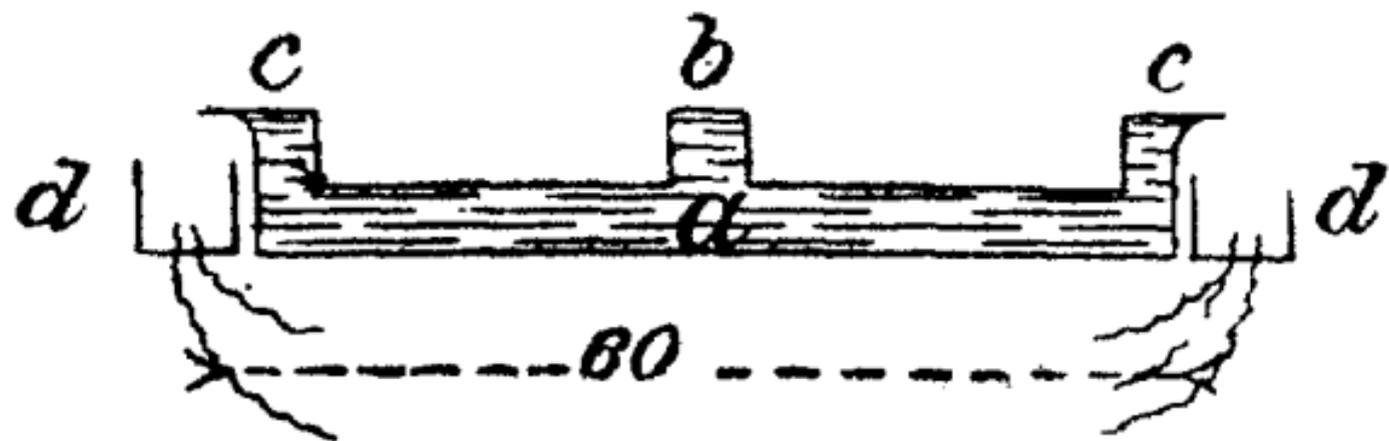


Fig. 53.

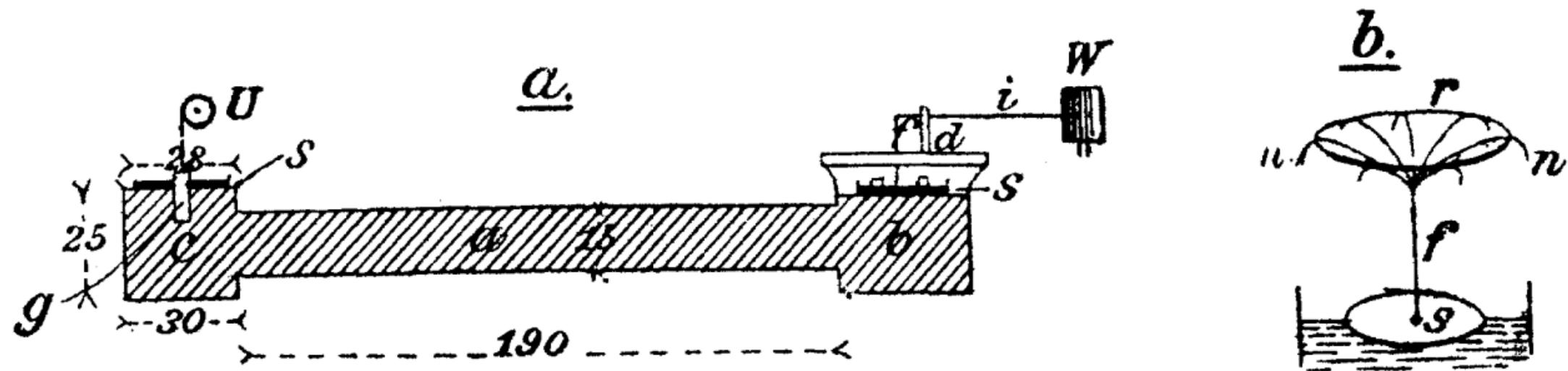


Fig. 54.

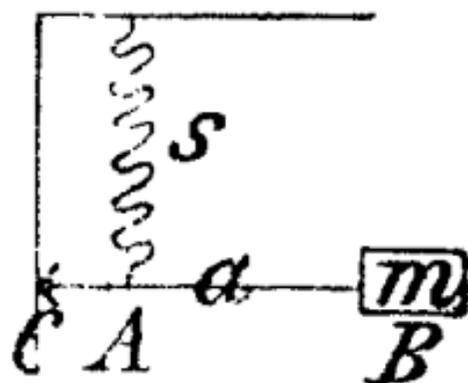


Fig. 55.

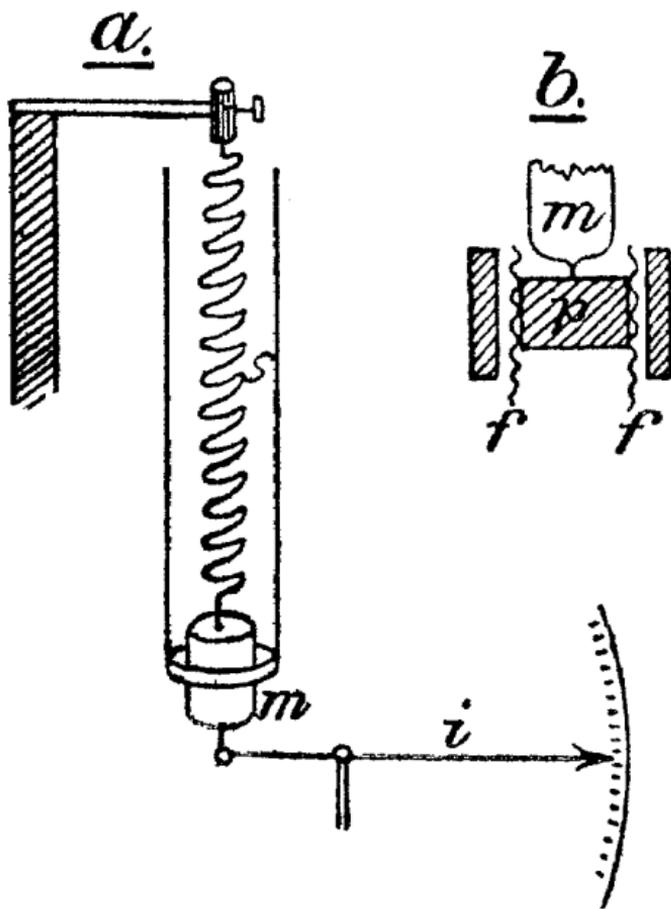


Fig. 56.

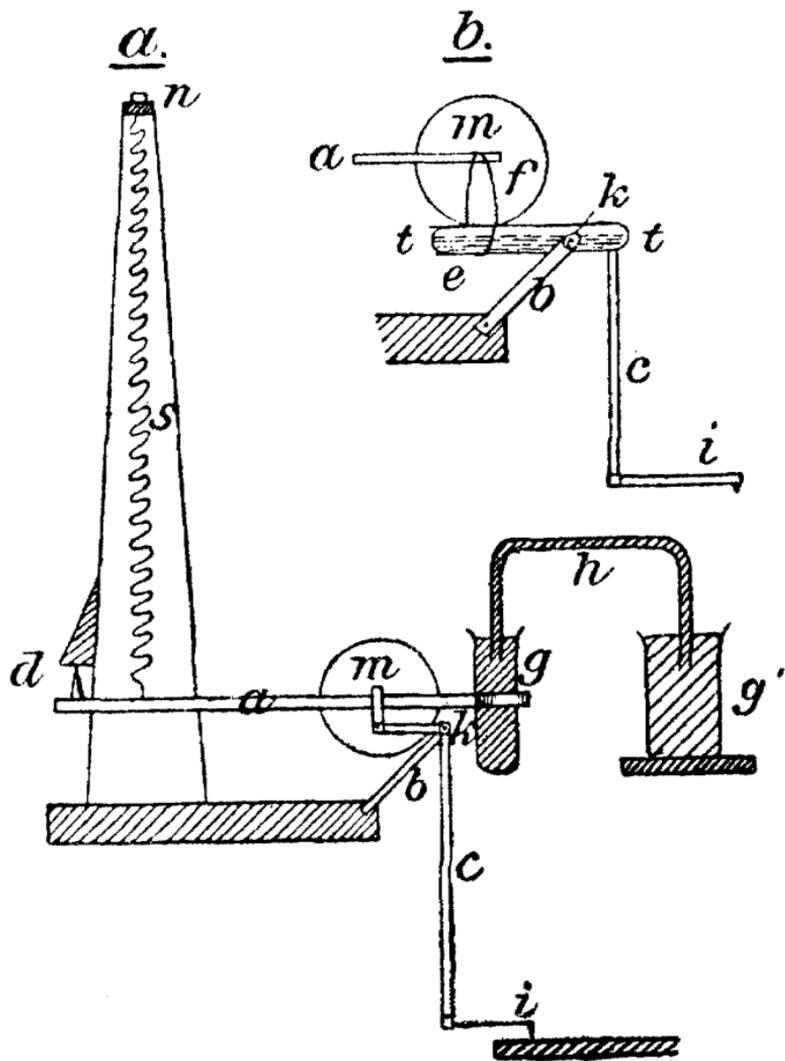


Fig. 57.

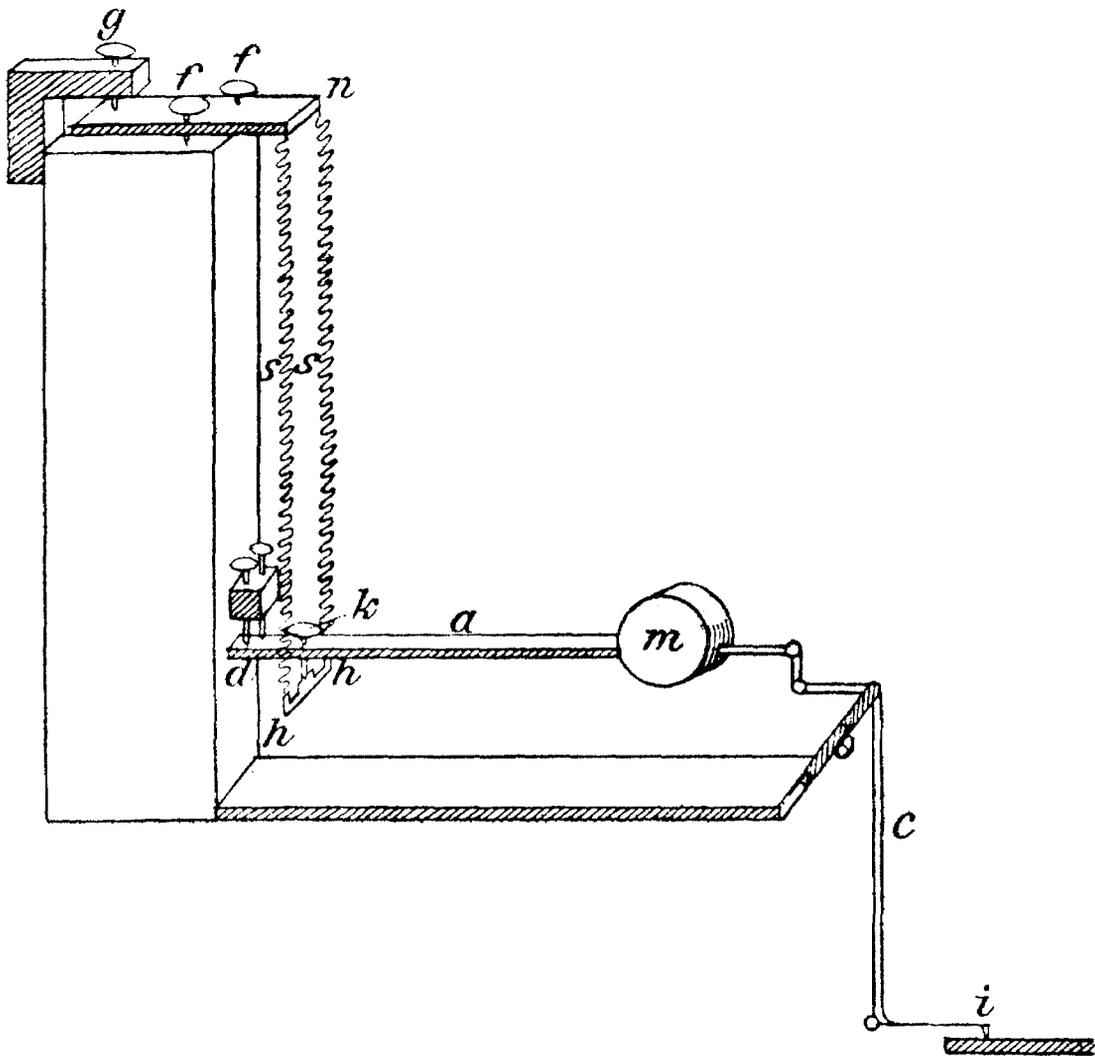


Fig. 58.

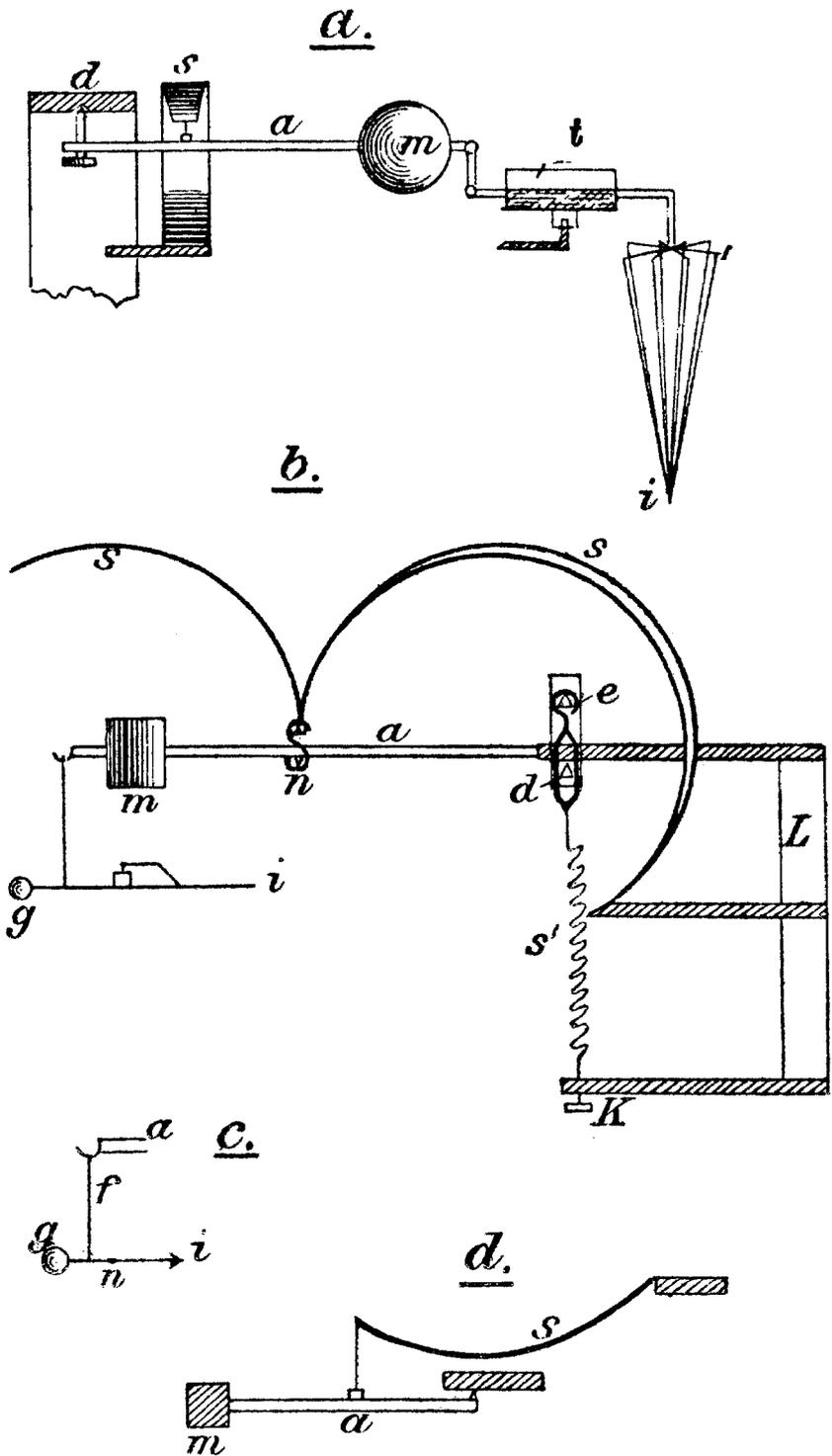


Fig. 59.

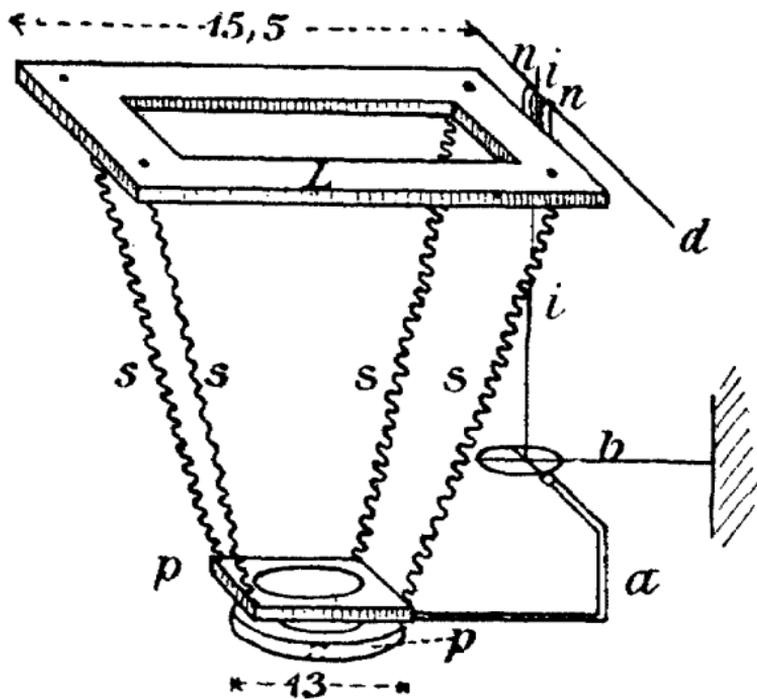


Fig. 60.

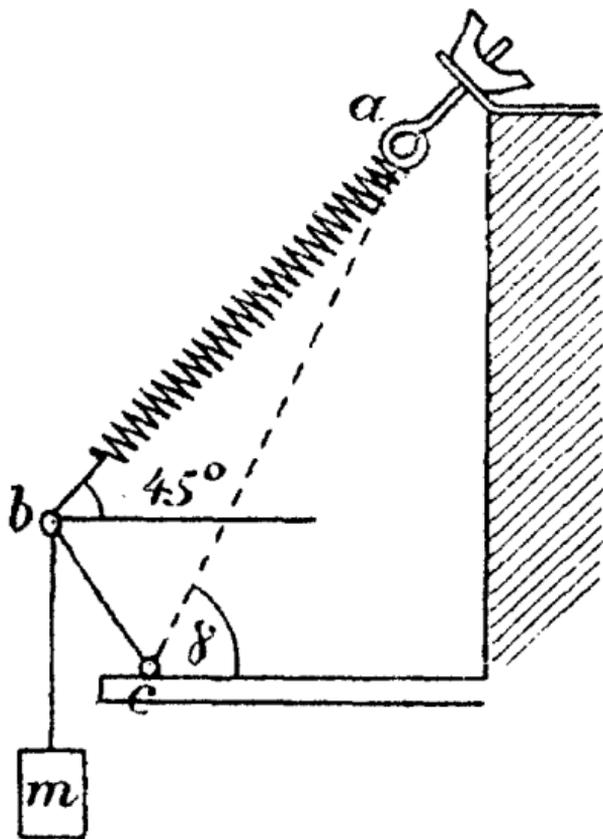


Fig. 61.

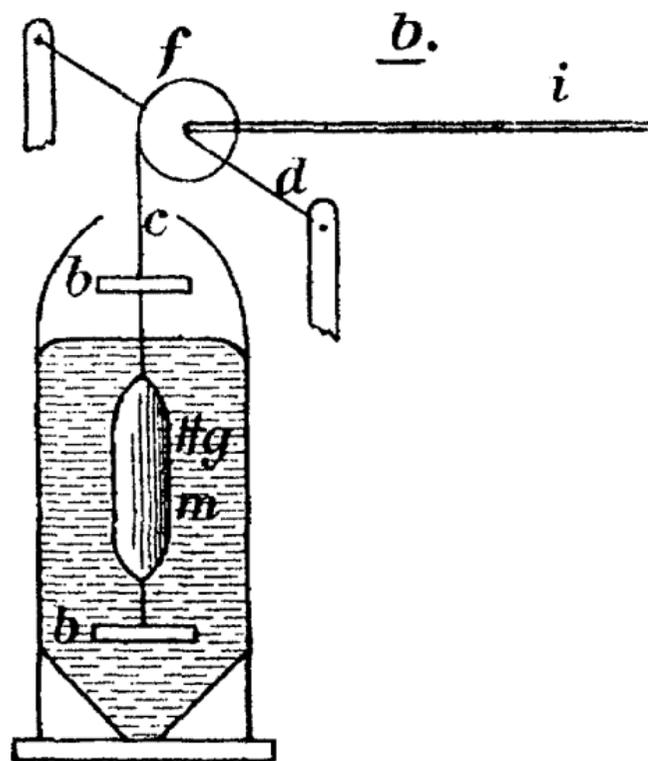
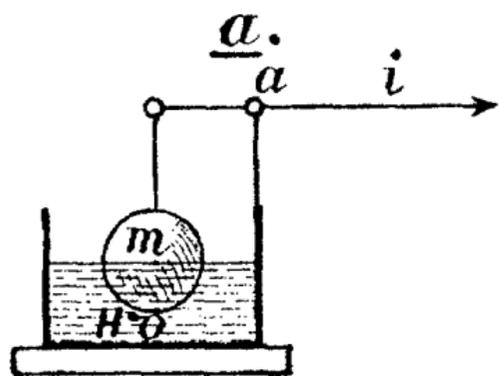


Fig. 62.

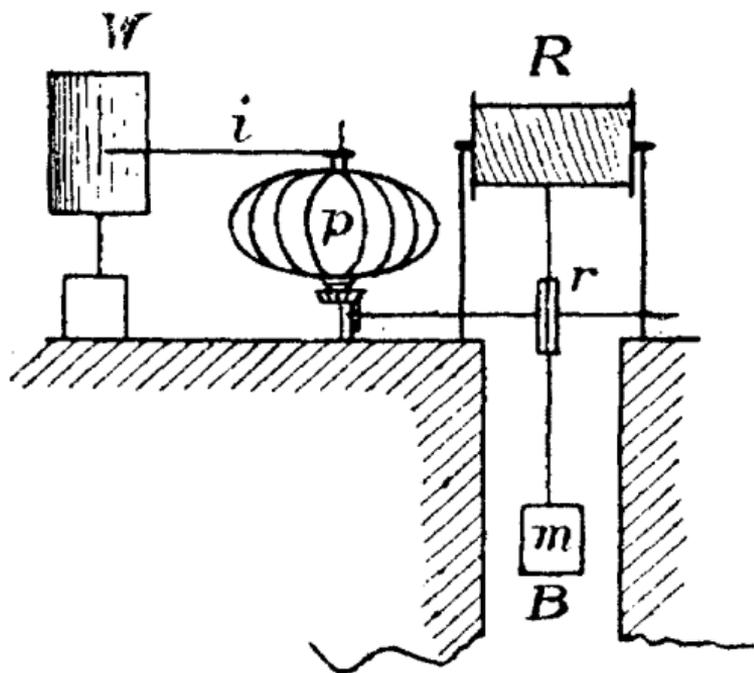


Fig. 63.

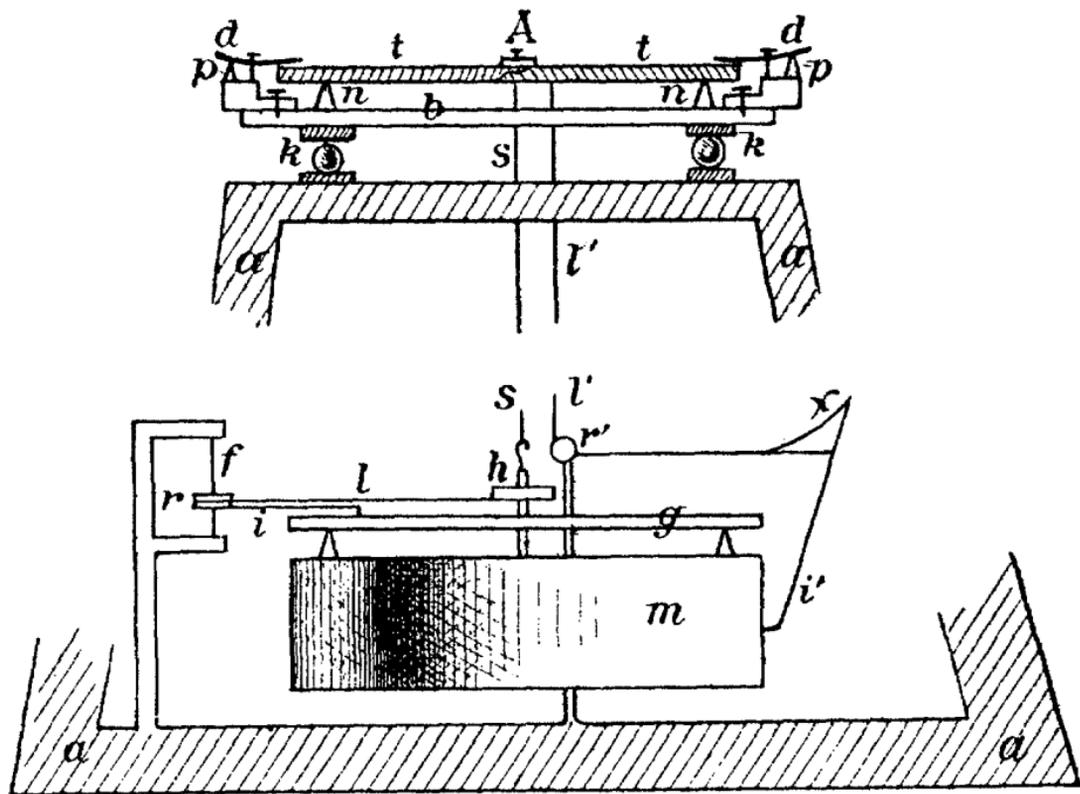


Fig. 64.

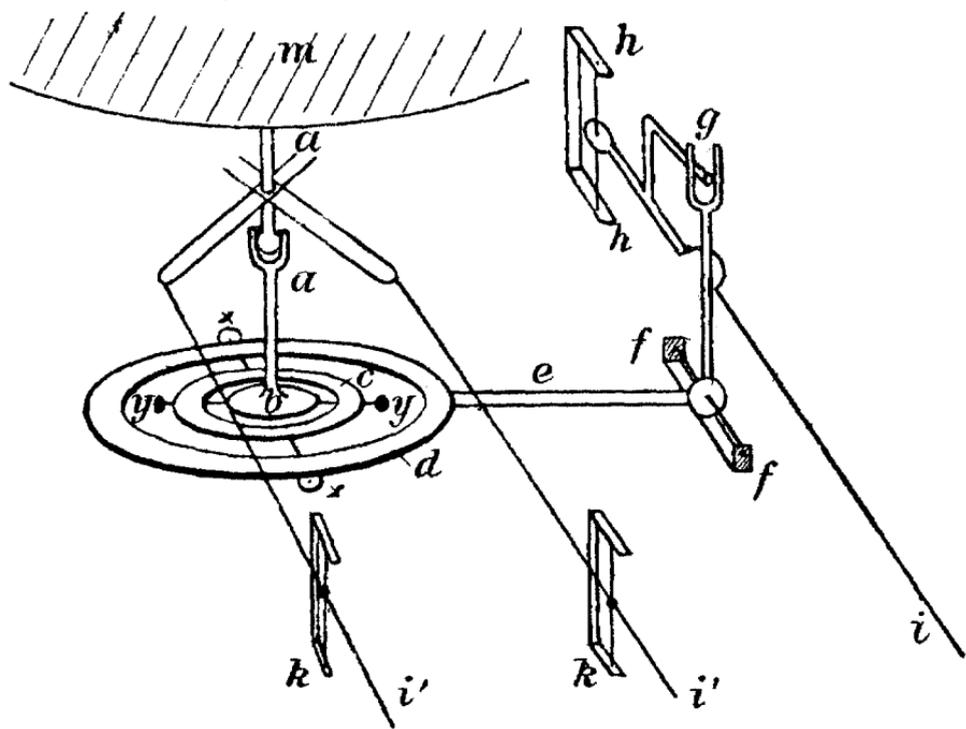


Fig. 65.

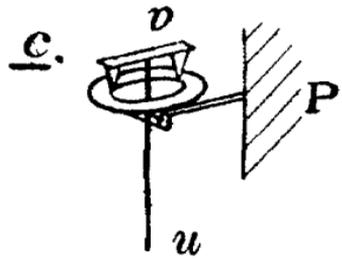
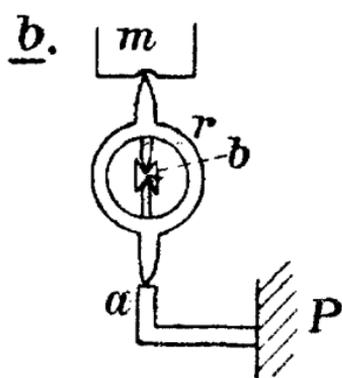
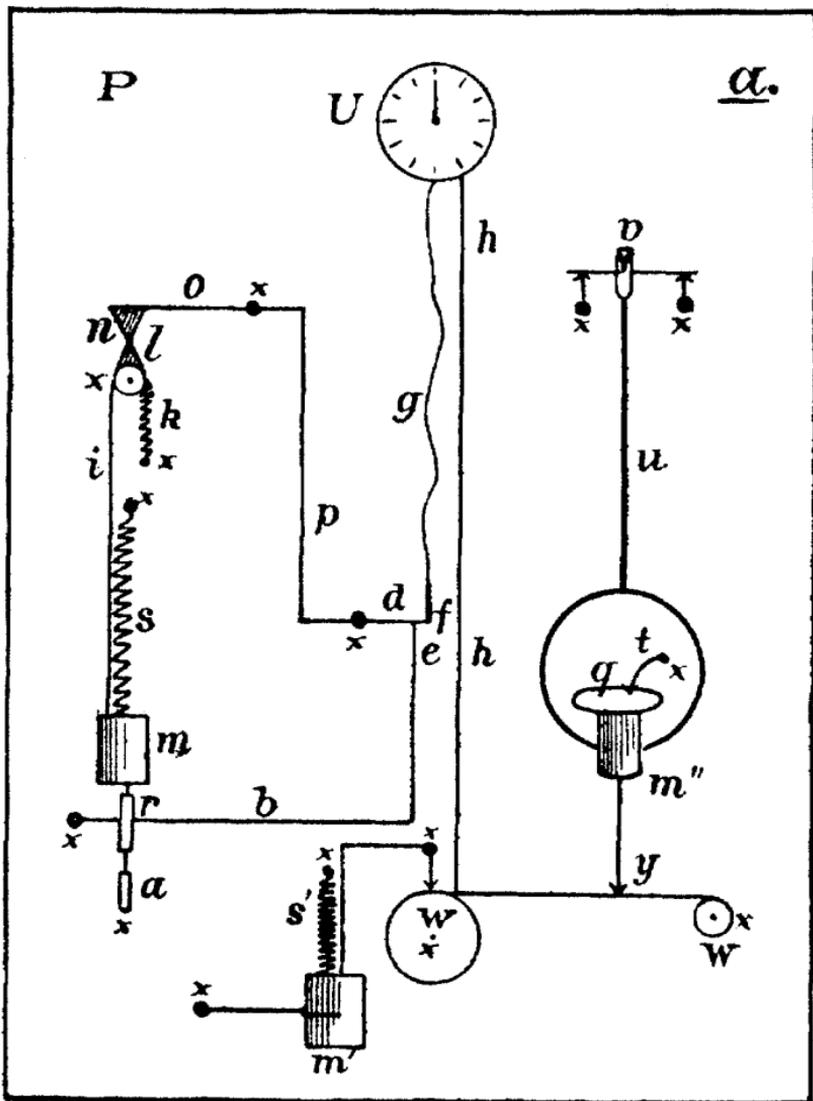


Fig. 66.

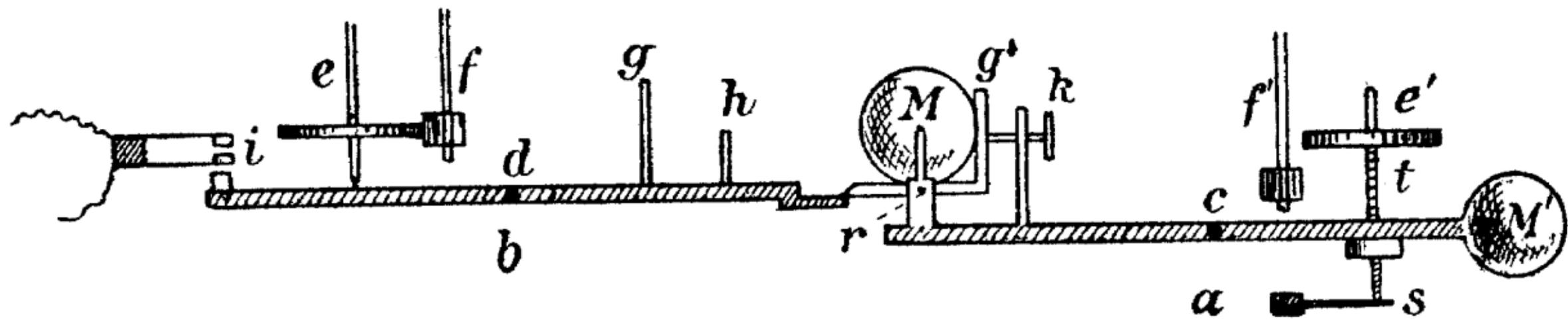


Fig. 67.

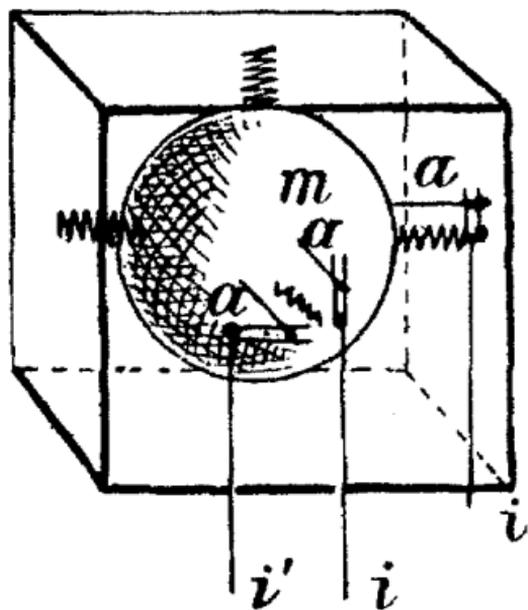


Fig. 68.

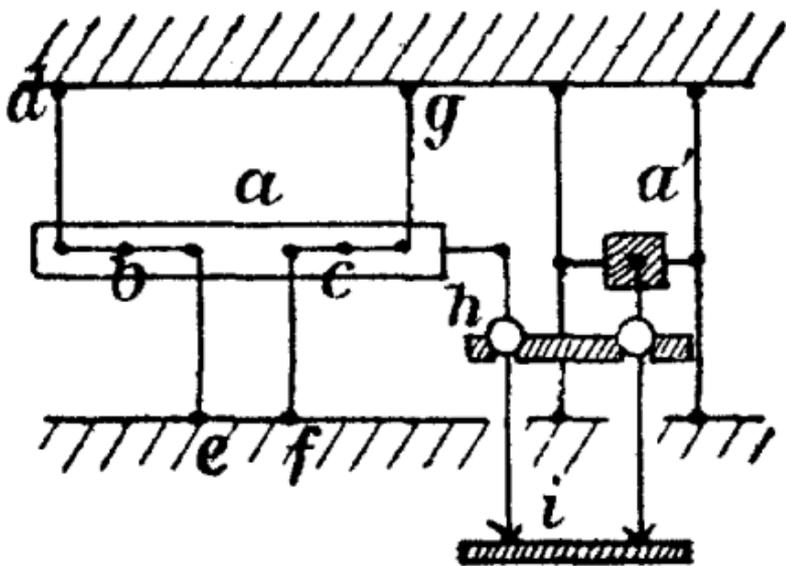


Fig. 69.

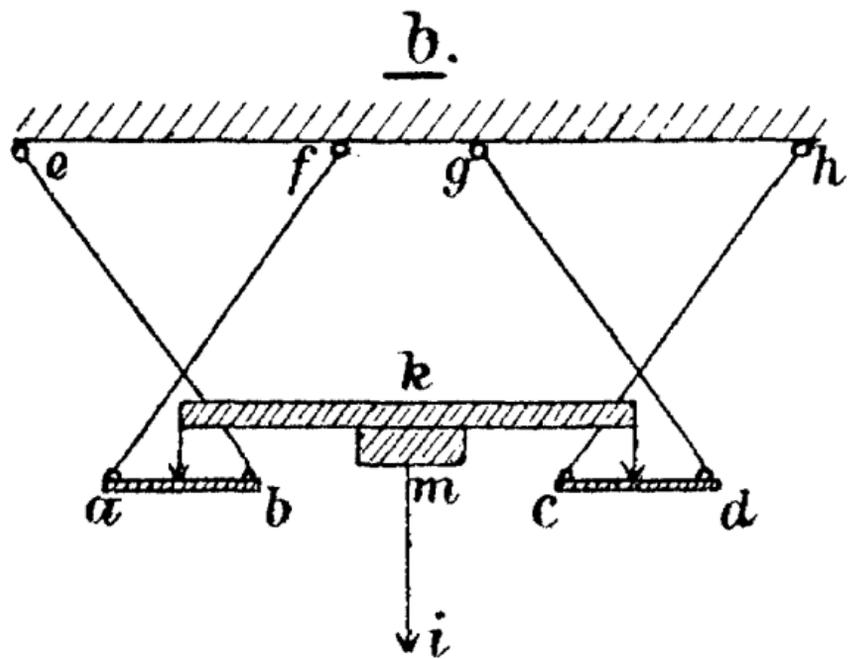
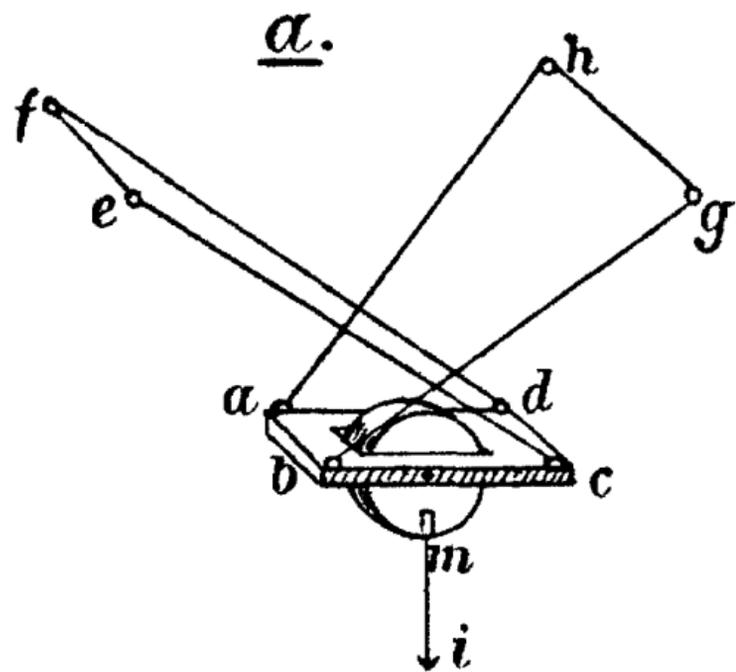


Fig. 70.

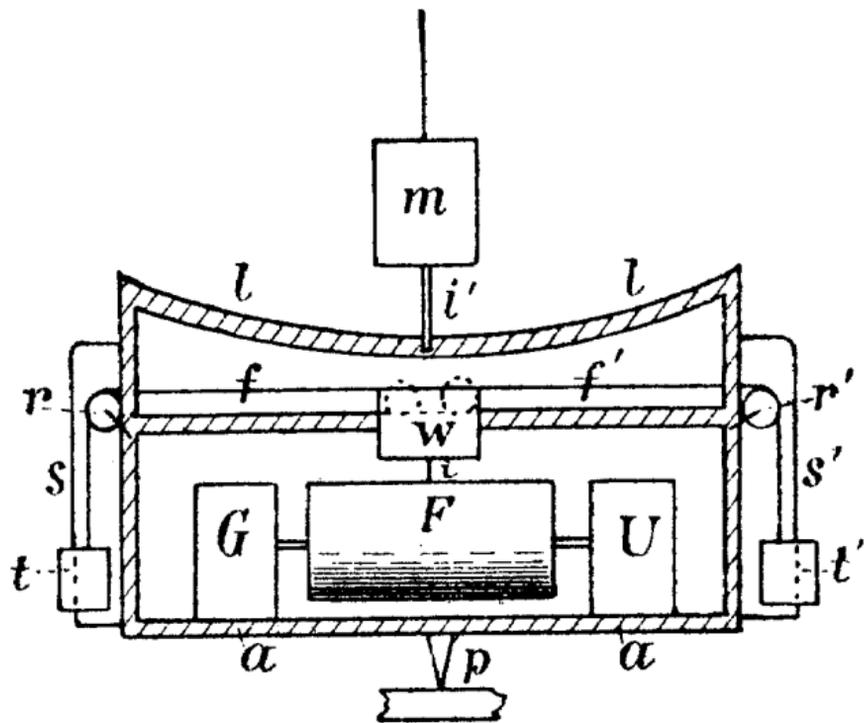


Fig. 71.

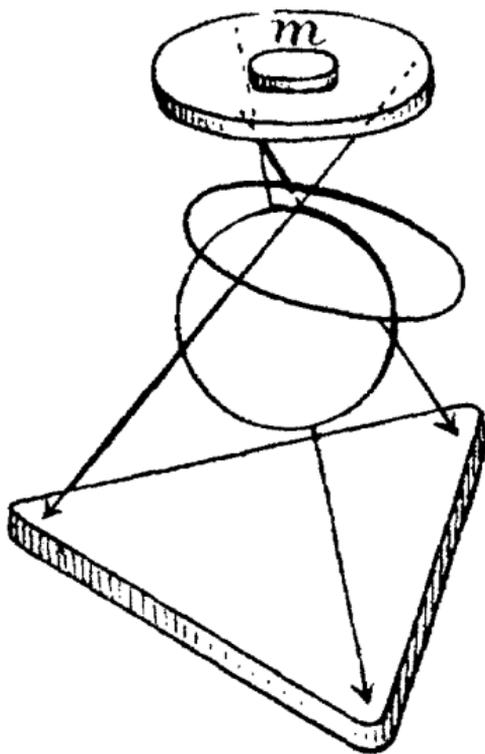


Fig. 72.

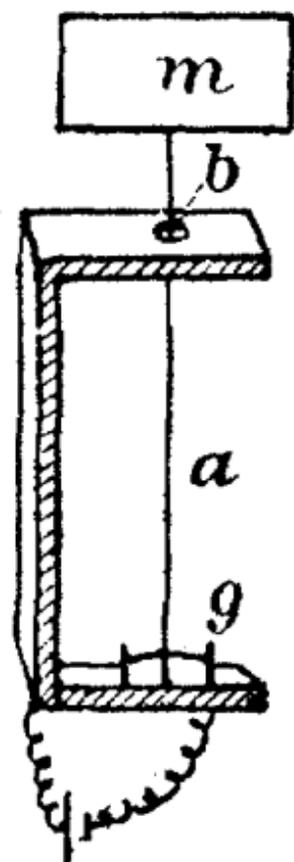


Fig. 73.

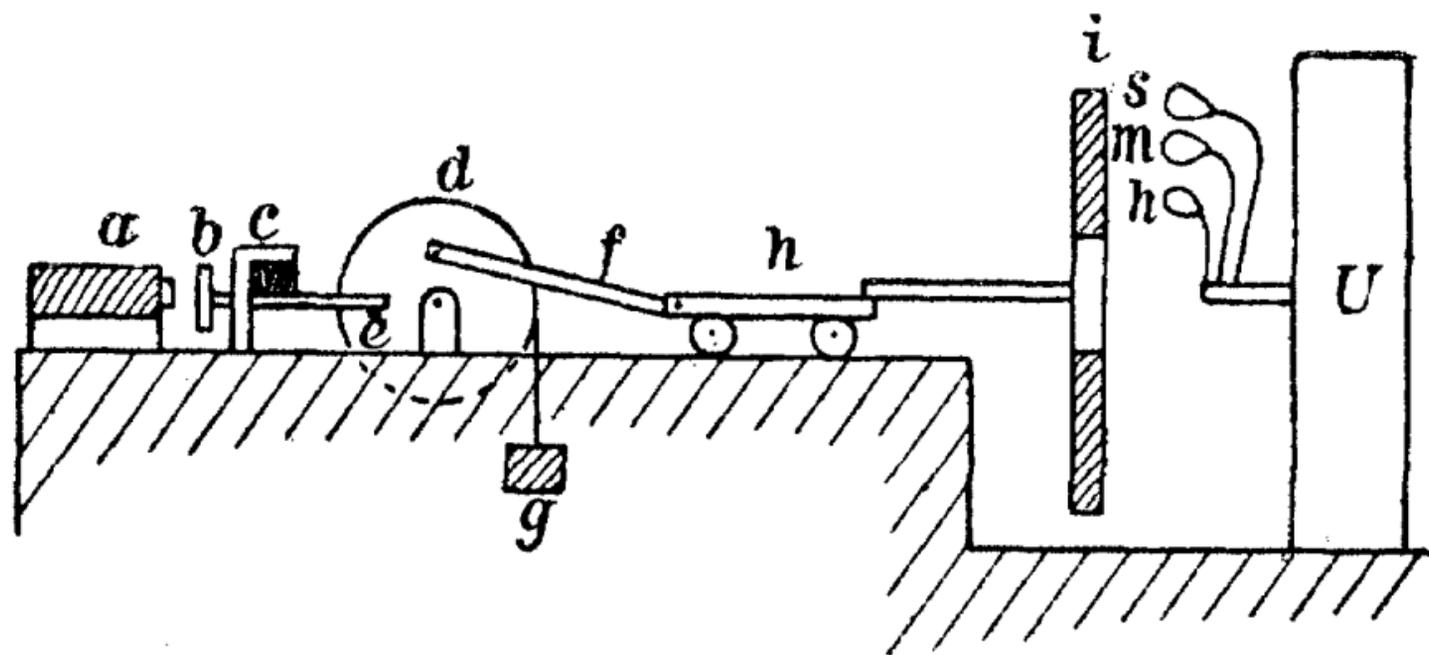


Fig. 74.

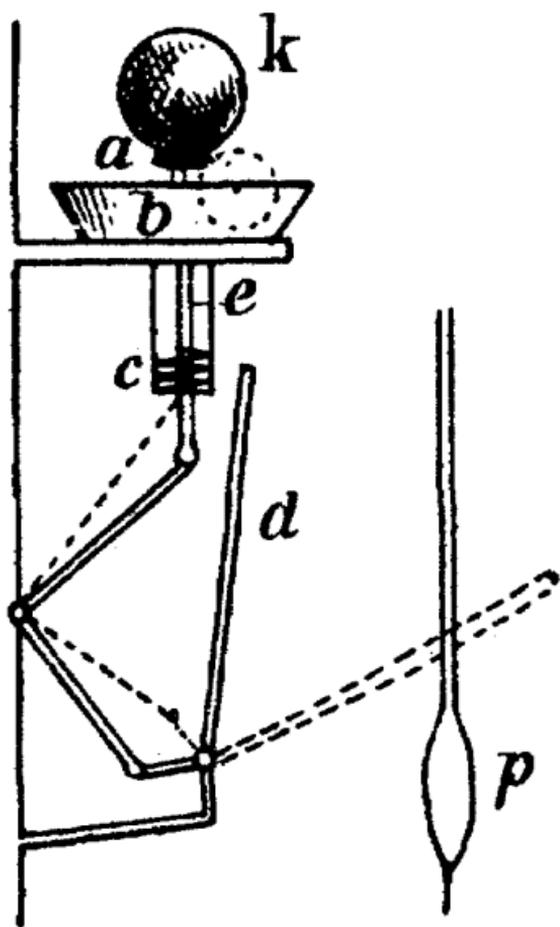


Fig. 75.

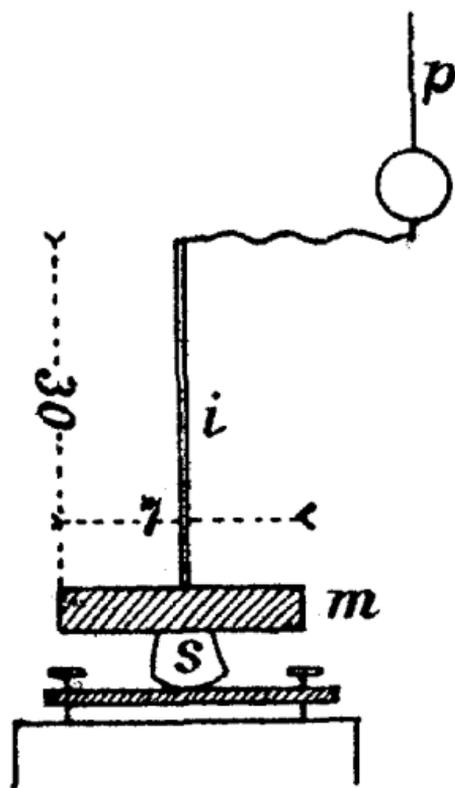


Fig. 76.

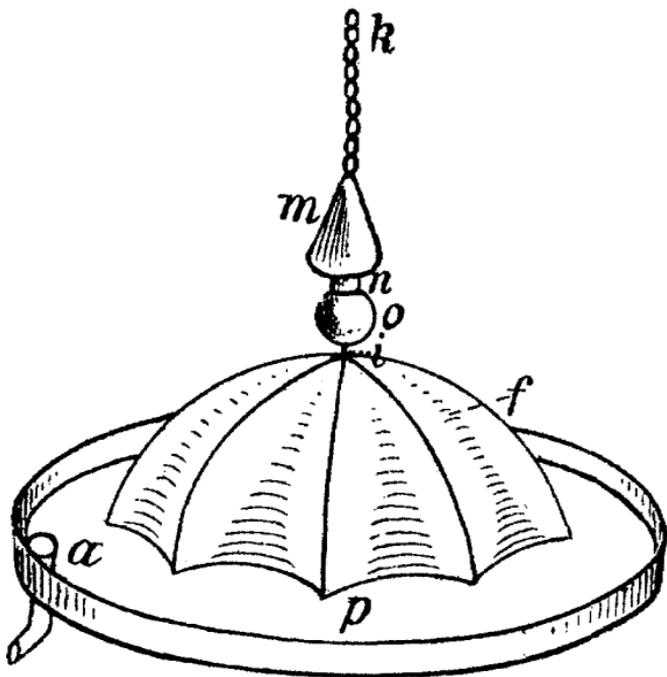


Fig. 77.

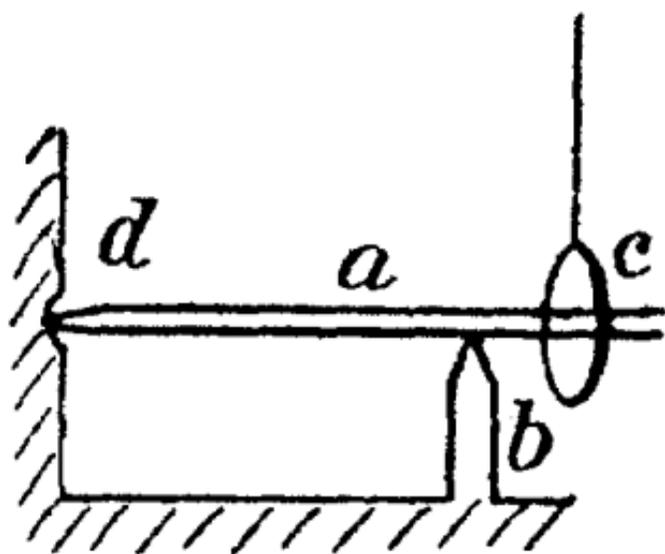


Fig. 78.

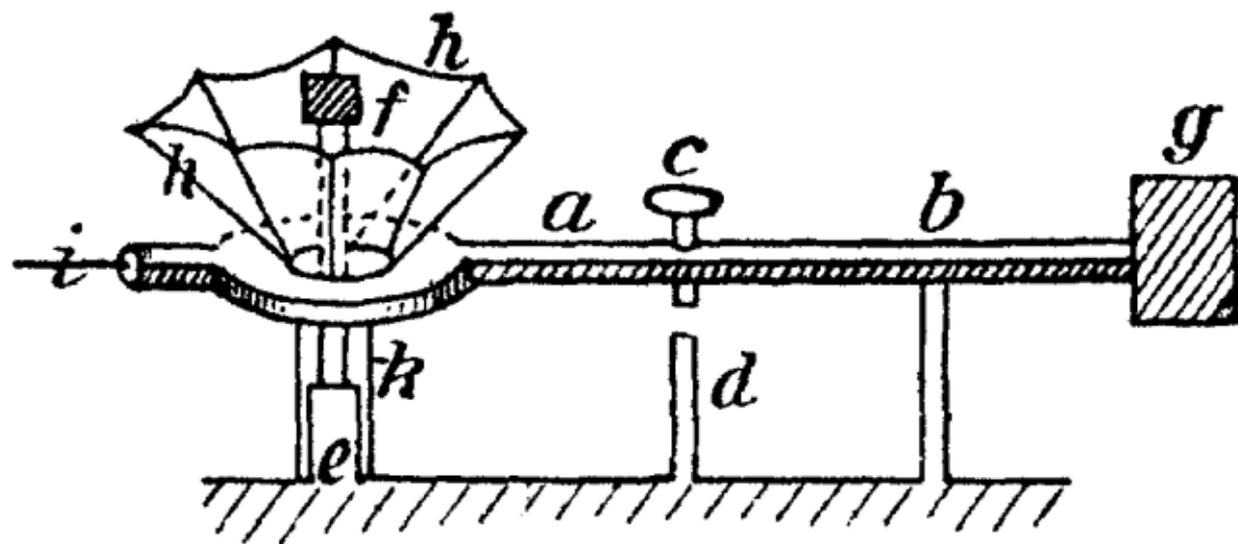


Fig. 79.

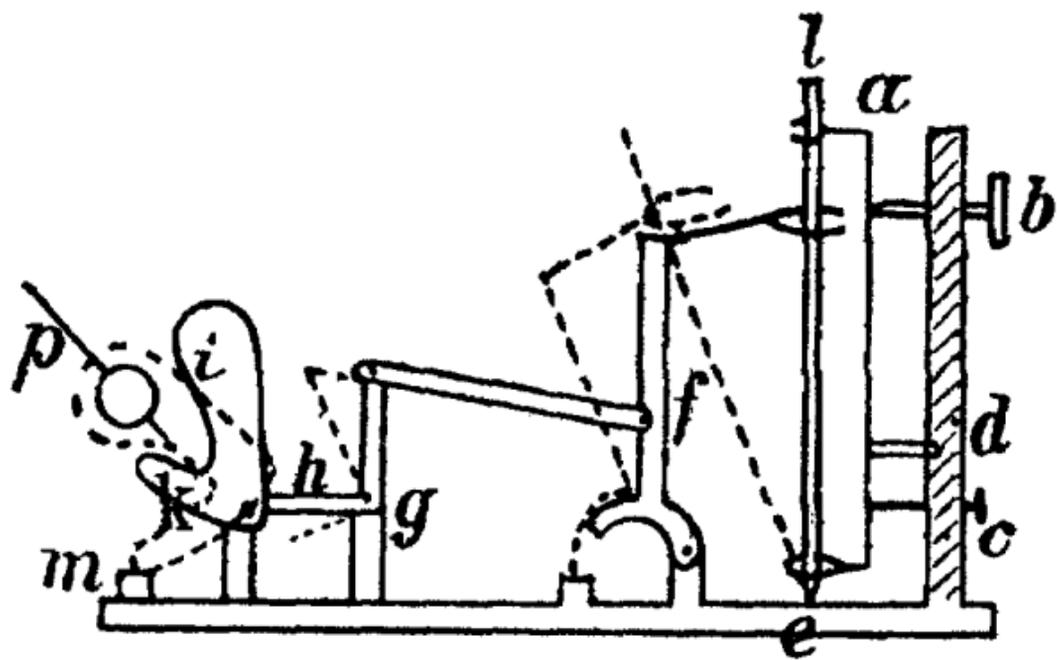


Fig. 80.

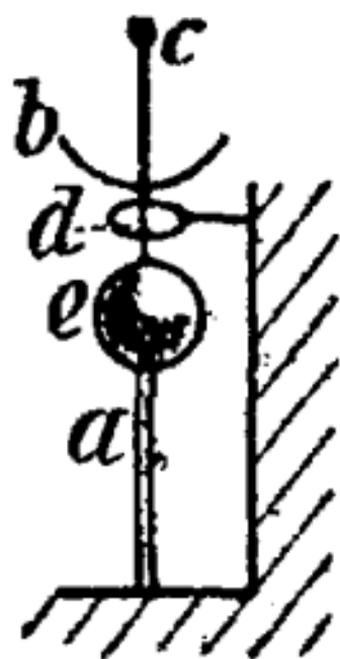


Fig. 81.

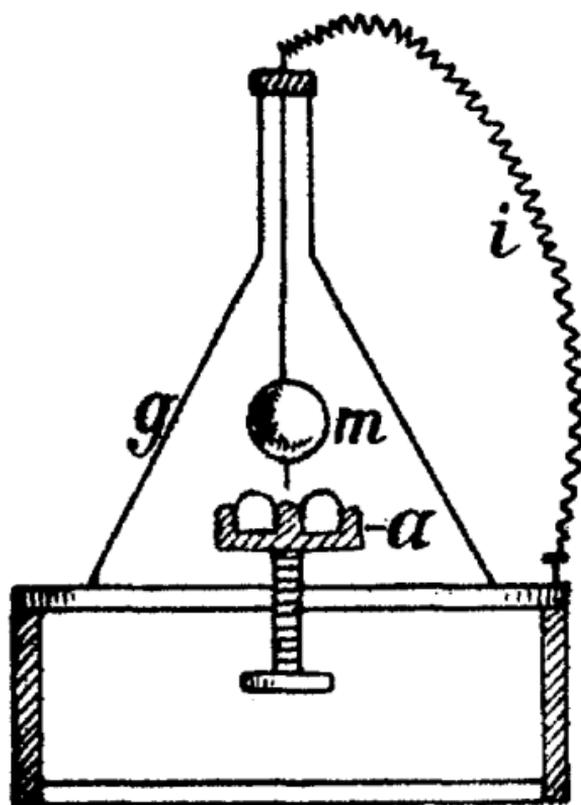


Fig. 82.

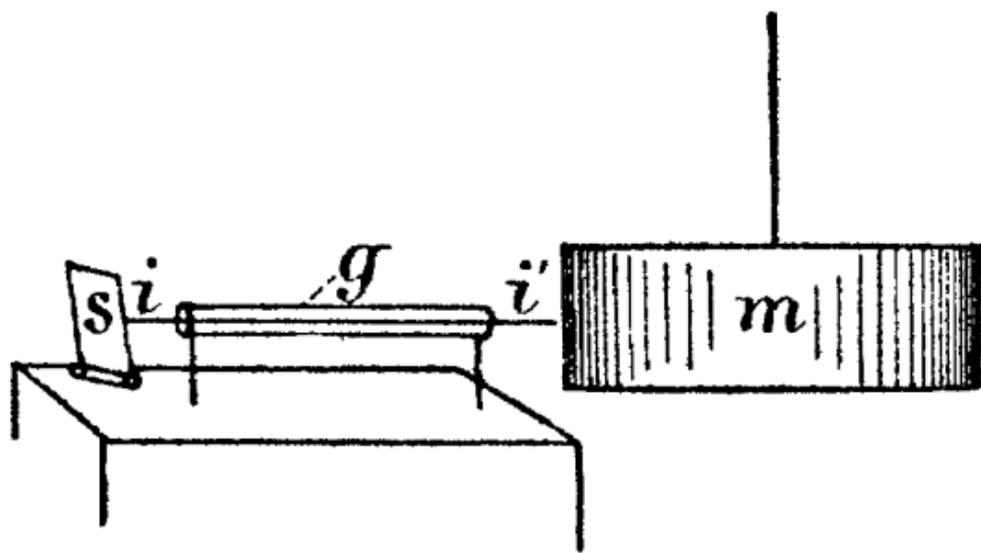


Fig. 83.

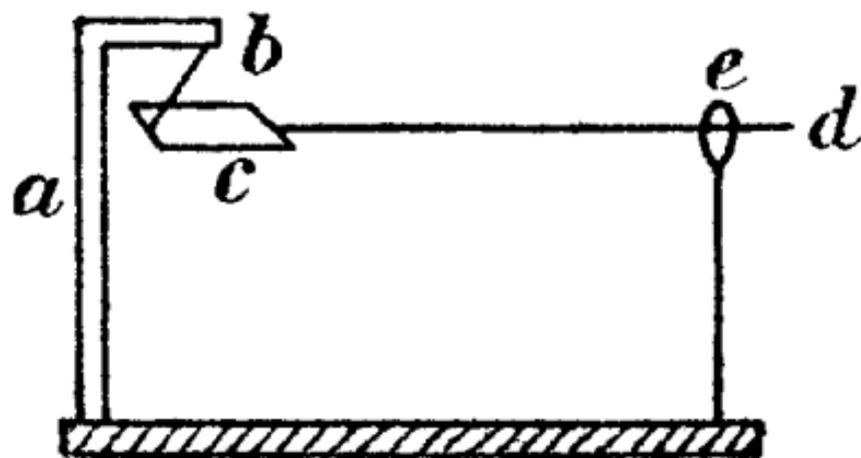


Fig. 84.

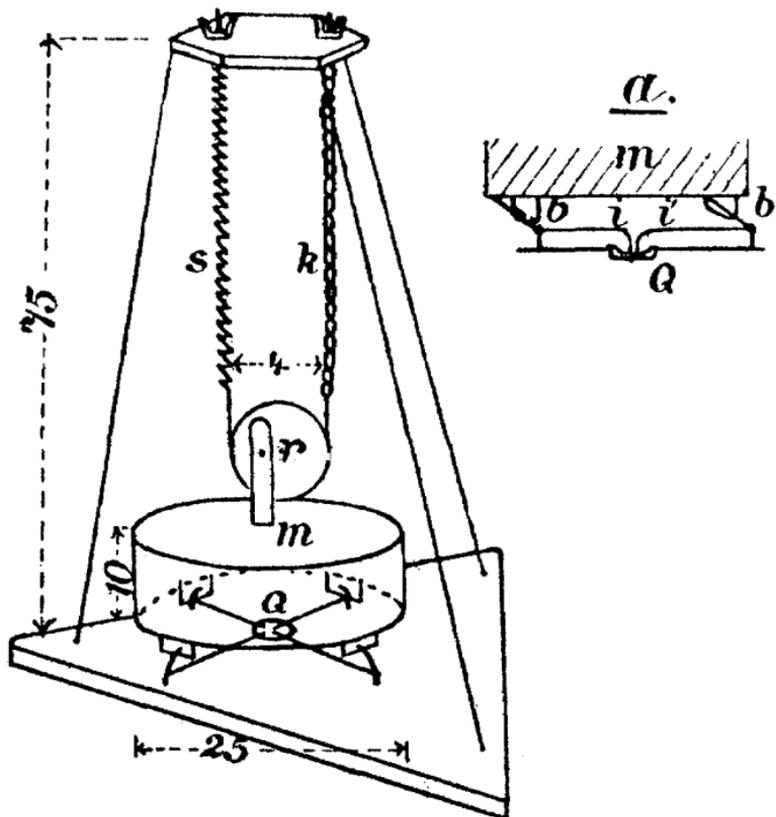


Fig. 85.

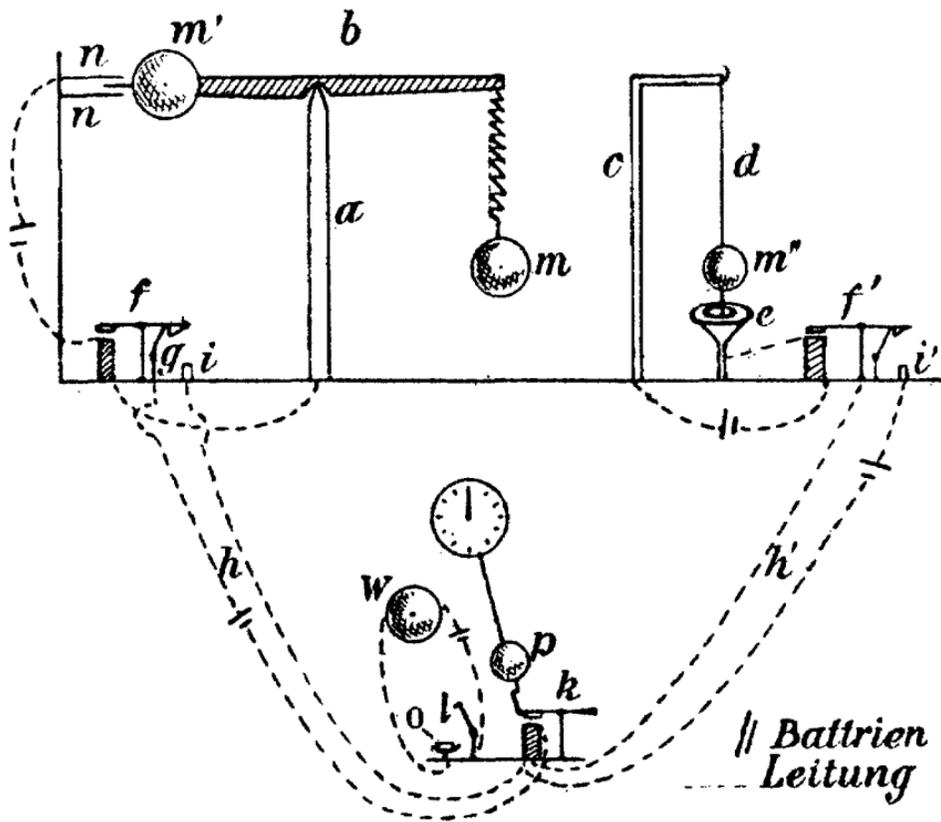


Fig. 86.

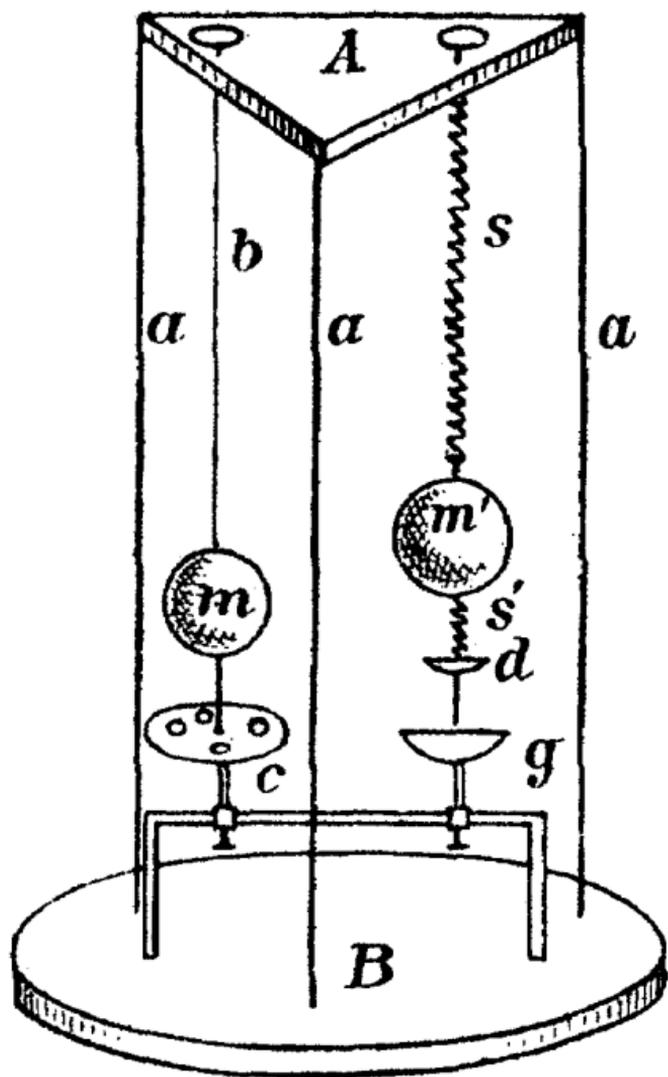


Fig. 87.

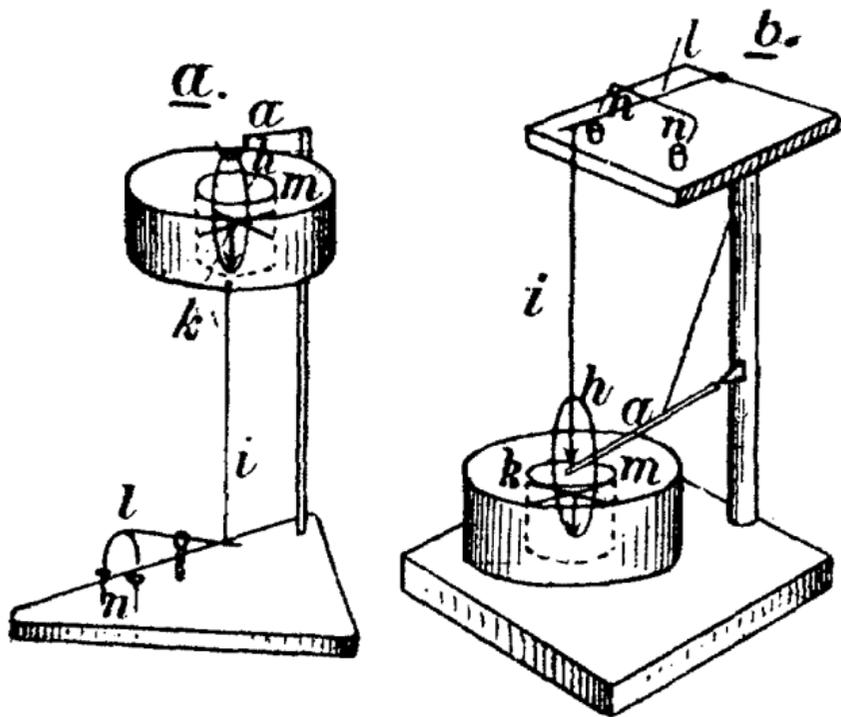


Fig. 88.

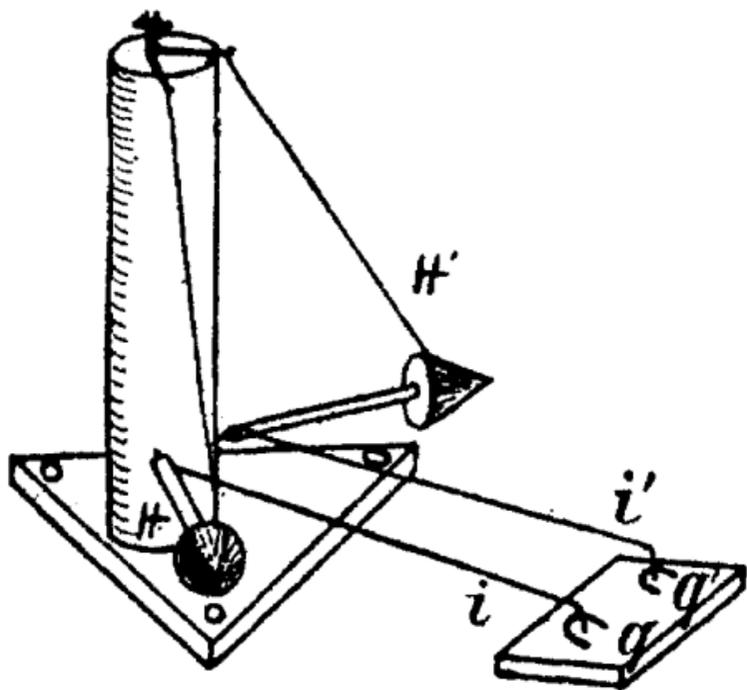


Fig. 89.

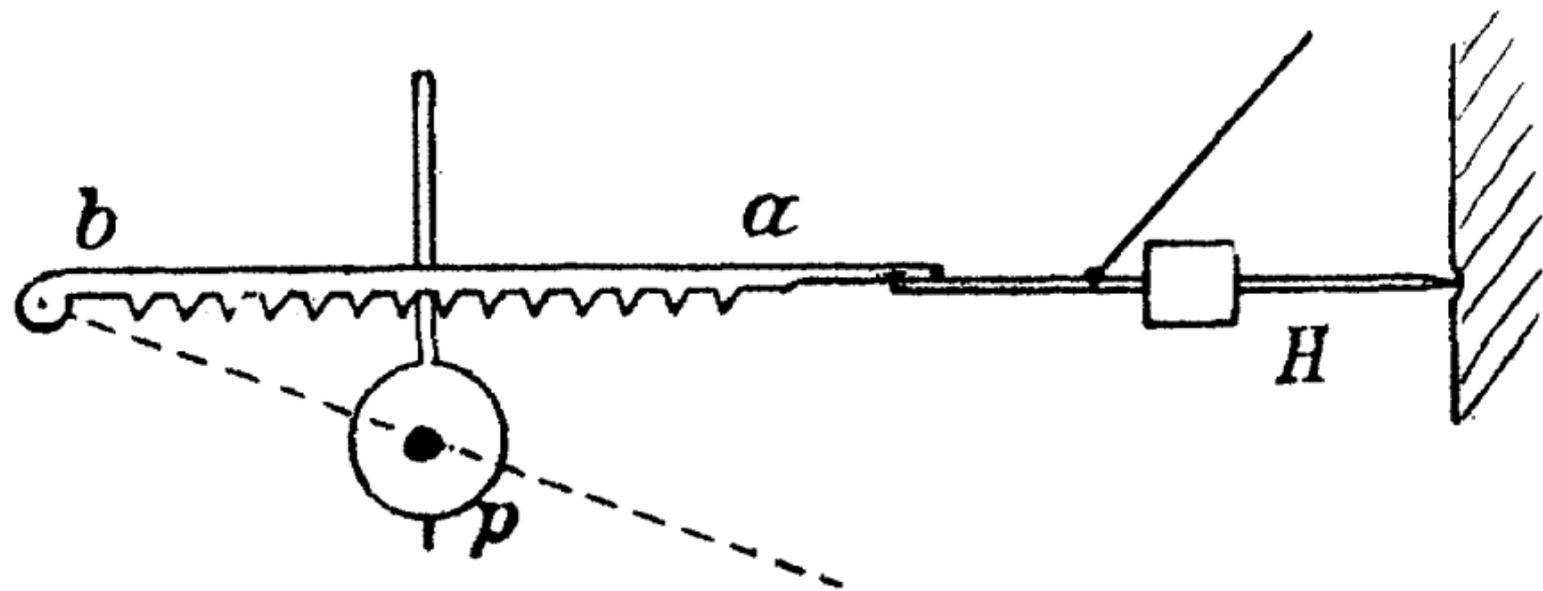


Fig. 90.

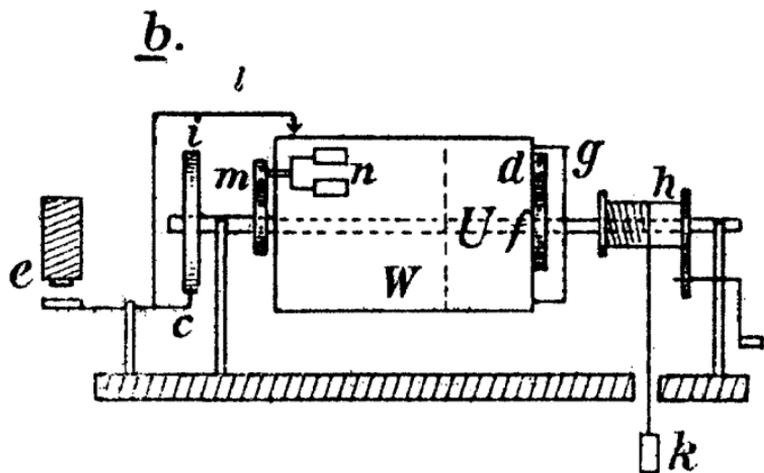
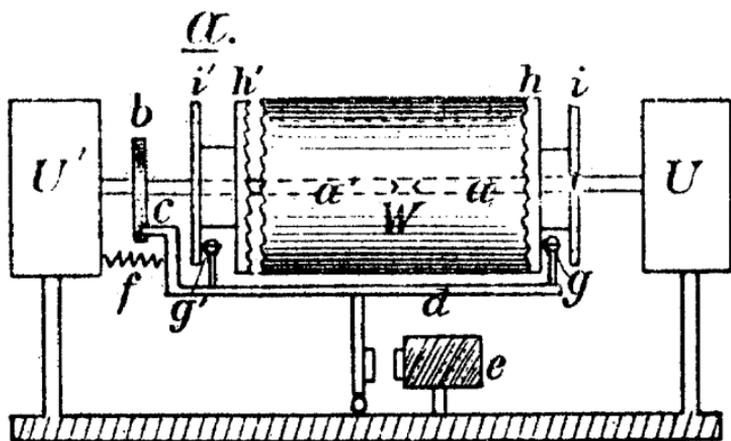
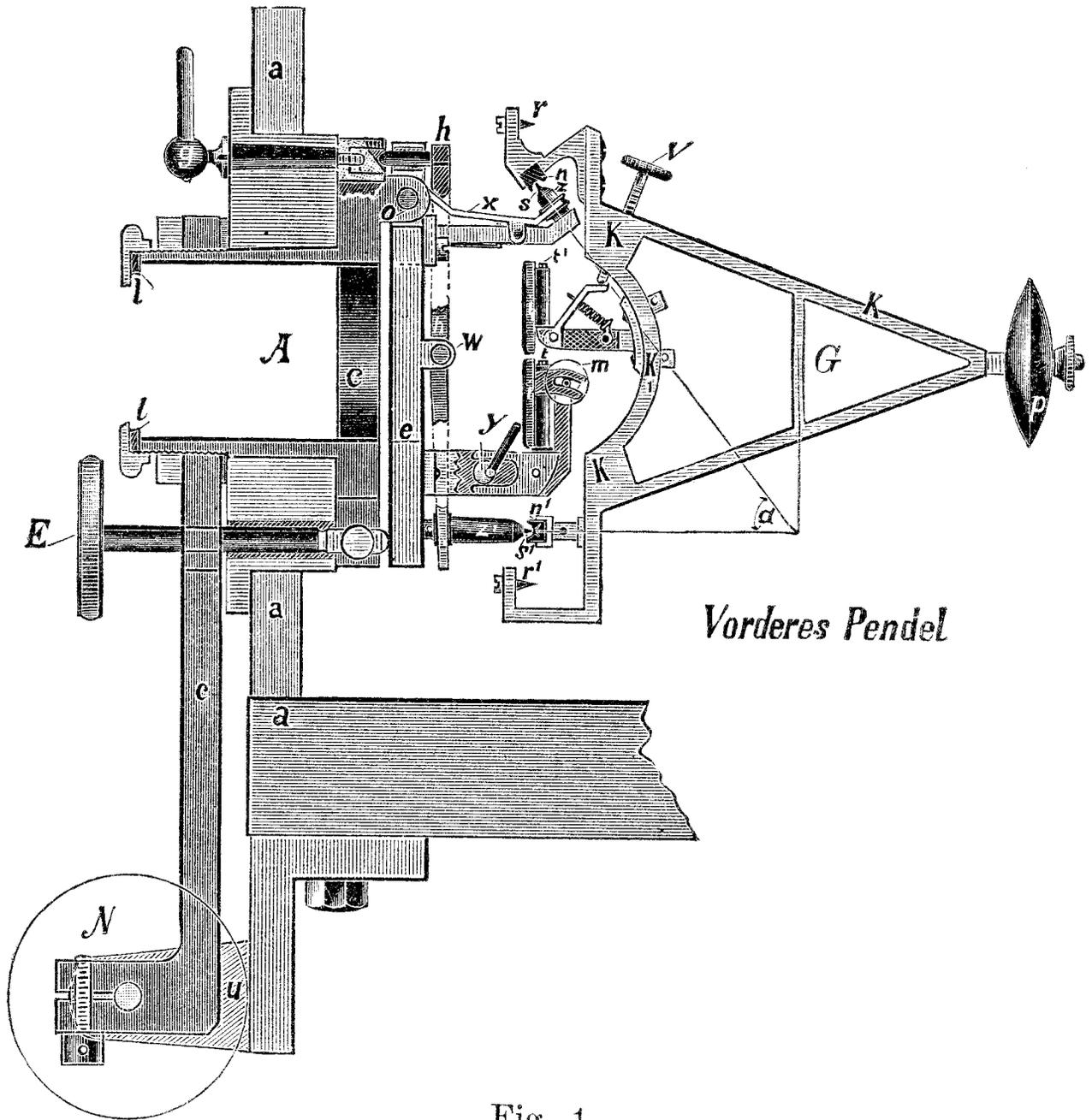


Fig. 91.



Vorderes Pendel

Fig. 1.

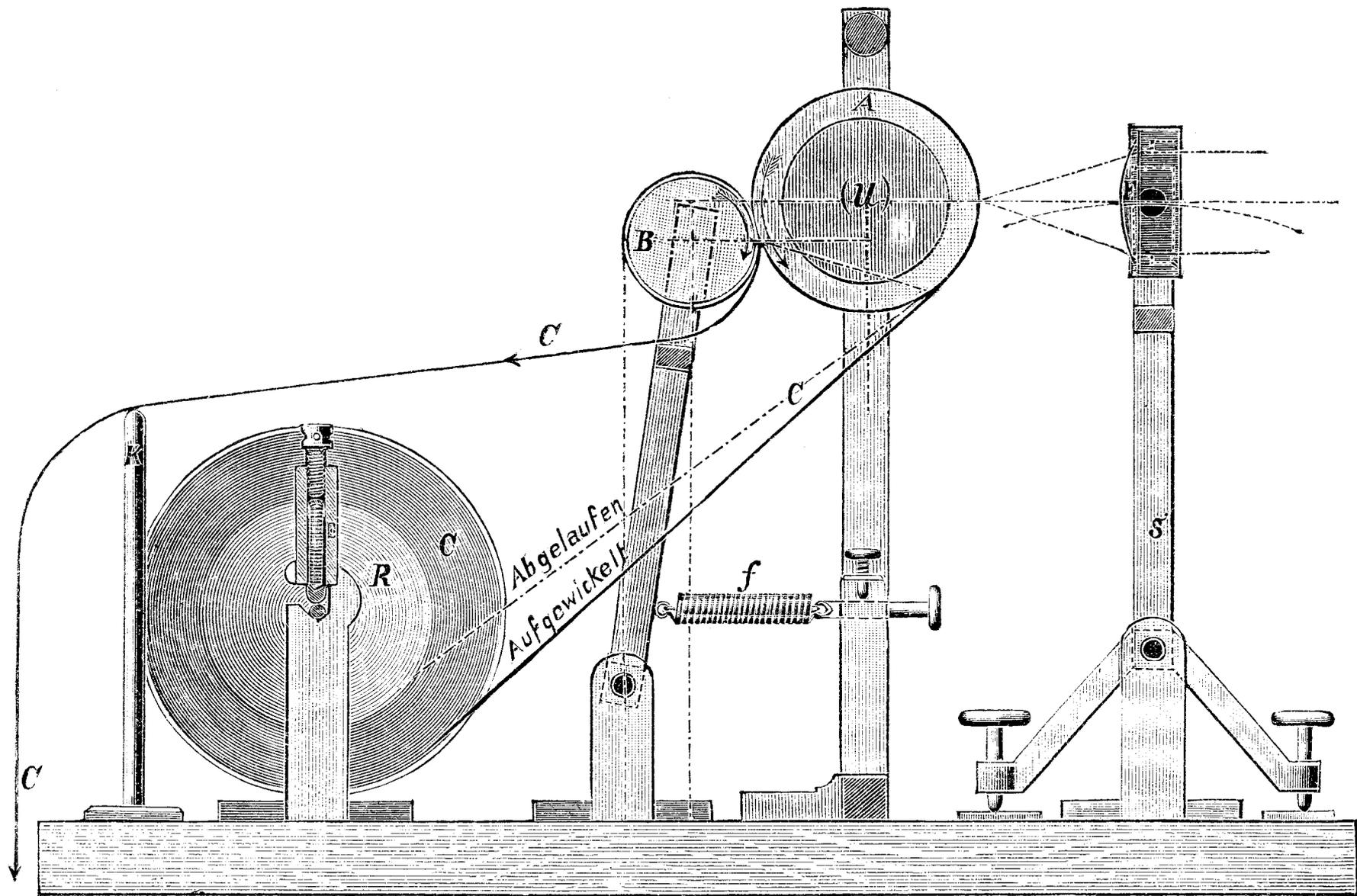


Fig. 2.