



Ueber automatisch-photographische Registrierung sehr langsamer
Veränderungen.

Von

Ludimar Hermann in Königsberg.

(Hierzu Tafel 11.)

Die Photographie erweist sich mehr und mehr als ein ungemein förderndes Hilfsmittel für die Physiologie. Die schnellsten Bewegungen des Menschen und der Tiere sind durch rasch aufeinander folgende Momentaufnahmen in beliebig viele Phasen zerlegbar, welche sich in den Einzelbildern treu darstellen. Die vortrefflichen auf diesem Wege gewonnenen Darstellungen von Muybridge, Marey, Anschütz und Edison sind in Aller Händen. Der letztere hat ganze Handlungen in vielen Hunderten von Einzelaufnahmen, von welchen 46 auf jede Sekunde kommen, dargestellt. Durch das sog. Lebensrad, den Anschütz'schen Schnellseher, das Edison'sche Kinetoscop, werden diese Aufnahmen mit derselben Geschwindigkeit mit der sie gemacht sind, dem Auge vorbeigeführt und vereinigen sich zu dem Eindrücke der lebendigen Bewegung.

Noch viel wertvollere Aufschlüsse gewährt die Photographie durch die Aufnahme von Bewegungen, welche zu schnell und klein sind, um überhaupt noch mit dem Auge verfolgt zu werden, z. B. die Oscillationen der Sprachlaute. Die älteren graphischen Hilfsmittel, besonders die Phonautographen, suchten die Bewegung von Membranen, auf welche die Sprachlaute wirkten, mittels feiner Hebel oder Federchen auf rotierende Cylinder zu übertragen. Aber die

Trägheit, oft auch die Biagsamkeit der übertragenden Teile brachten unvermeidliche Ungenauigkeiten mit sich. Die Photographie gestattet, diese Teile durch den gewichtslosen und unbiegsamen Lichtstrahl zu ersetzen. Ich befestigte an der steifen Membran ein winziges Spiegelchen und liess durch eine vor demselben angebrachte schwache Konvexlinse das Bild eines beleuchteten Spaltes, von dem Spiegelchen reflektiert, auf einen zum Bilde senkrecht stehenden zweiten Spalt werfen. Das Spaltbild schwingt durch die Sprache parallel mit sich selbst, und die Bewegung des beleuchteten Kreuzungspunktes liefert auf einem hinter dem zweiten Spalt um eine zu ihm parallele Axe rotierenden Cylinder, welcher mit Bromsilberpapier bekleidet ist, die gewünschte Kurve der Sprachlaute.¹⁾ Noch besser ist es, die von der Sprache bewirkten Eindrücke des Edison'schen Phonographen, welche treuer sind, als die Bewegungen einer frei schwingenden Platte, mittels eines geeigneten Läufers in Winkelbewegungen des erwähnten Spiegelchens umzusetzen, wobei man, um jede Eigenschwingung zu vermeiden, den Phonographen-Cylinder mehrere hundert mal langsamer dreht als bei der phonographischen Aufnahme des Gesprochenen.²⁾

Ein anderes Gebiet, auf welchem es sich um graphische Aufnahme sehr schneller Veränderungen handelt, ist die tierische Elektrizität. Ein an zwei Oberflächenpunkten mit einem Galvanometer verbundener, unversehrter Muskel zeigt in der Ruhe keinen Strom. Wird er jedoch von seinem Nerven aus zu einer Zuckung veranlasst, so entsteht ein äusserst flüchtiger Strom, dessen Richtung sich in seinem zeitlichen Ablaufe umkehrt. Auf den trägen Magneten eines Galvanometers hat dieser flüchtige Strom, schon wegen seiner beiden entgegengesetzten Phasen, keine Wirkung. Dagegen bringt er an einem Kapillarelektrometer unter günstigen Umständen eine hin- und hergehende Bewegung des Quecksilberfadens hervor, welche sich photographisch verzeichnen lässt. Man braucht hierzu nur mittels eines Objektivs ein vergrössertes Bild der Kapillare auf einen ihr parallelen Spalt zu werfen; das Licht geht dann wegen der Undurchsichtigkeit des Quecksilbers nur durch den Teil des

¹⁾ Näheres s. in Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie. Bd. 45. 582; Bd. 47. 44, 347; Bd. 48, 574. Mit Tafeln. 1889—91.

²⁾ Näheres ebendasselbst Bd. 53. 1; Bd. 58. 255, 264; Bd. 61. 169. Mit Tafeln. 1892—95.

Spaltes hindurch, welcher der durchsichtigen Säure entspricht. Ein hinter dem Spalt rotierender, mit Bromsilberpapier bekleideter Cylinder verzeichnet also die Kurve der elektrischen Bewegung in Gestalt der Grenze der vom Lichte getroffenen Fläche.¹⁾

Für die schnellsten Vorgänge dieser Art reicht auch das Kapillar-Elektrometer nicht aus. Hier wird die Aufgabe durch stroboskopische Repetition der Reizung mittels des Bernstein'schen Differentialrheotoms gelöst. Durch diesen Apparat wird die Reizung der Nerven sehr rasch repetiert und jedesmal in einem kurzen Intervall i nach dem Reizmoment der Galvanometerkreis auf einige Augenblicke geschlossen. Ich habe nun eine Vorrichtung hinzugefügt, welche das Intervall i kontinuierlich vergrößert oder verkleinert, so dass, wie man leicht einsieht, der Vorgang sehr verlangsamt, aber sonst unverändert, auf das Galvanometer einwirkt. Wird i verkleinert, so spielt sich der Vorgang in umgekehrtem zeitlichem Verlauf am Galvanometer ab. Ist der Magnet aperiodisch, so folgt er mit absoluter Treue dem verlangsamten Vorgange, und verbindet man ihn mit einem Spiegel und einer Linse, wie bei den oben erwähnten Sprachuntersuchungen, so kann man wie dort nach der Methode der gekreuzten Spalte die Kurve des elektrischen Vorganges gewinnen.²⁾

Die bisher erwähnten Beispiele zeigen, wie die Photographie zum Studium sehr schneller Veränderungen mit Erfolg benutzt worden ist. Gegenwärtig bin ich mit einer entgegengesetzten Aufgabe beschäftigt. Es handelt sich darum, den Ablauf der Totenstarre eines Tieres, namentlich die dabei auftretenden Gestaltveränderungen, genau festzustellen. Die Totenstarre ist eine kurz nach dem Tode auftretende Verkürzung sämtlicher Muskeln des Körpers, welche längere Zeit anhält und dann von selbst wieder verschwindet, nicht, wie man bis vor kurzem allgemein annahm, durch den Eintritt der Fäulnis, sondern wie ich in Gemeinschaft mit Bierfreund nachgewiesen habe³⁾, weil die Totenstarre eine Kontraktion von beschränkter Dauer ist, gerade wie

¹⁾ Vgl. u. A. Marey, Trav. du labor. Bd. 3. 33; 1877; Sanderson & Page, Journ. of physiology. Bd. 4. 327. 1883.

²⁾ Näheres in Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie. Bd. 49. 539; Bd. 53. 70. Mit Tafel. 1891—92.

³⁾ Pflüger's Archiv etc. Bd. 43. 195. 1888.

die lebendige Muskelkontraktion, welcher sie in jeder Beziehung analog ist. Die verschiedenen Muskeln des Körpers treten aber, wie ebenfalls Bierfreund gezeigt hat, und seitdem von anderen bestätigt worden ist, weder gleichzeitig in die Erstarrung ein, noch erschlaffen sie gleichzeitig, auch ist ihre Verkürzungsgrösse und -Kraft sehr verschieden. So entstehen durch die Totenstarre gewisse Lageveränderungen der Gliedmassen, welche man nach dem Vorgange von Grützner ¹⁾ am besten beobachtet, wenn die Leiche zur Verminderung der Schwerewirkungen in Wasser versenkt aufgehängt wird.

Es handelt sich also jetzt darum, die Gestaltveränderungen der Tierleiche etwa 24 Stunden lang möglichst kontinuierlich zu beobachten. Hierzu benutzte ich photographische Aufnahmen, welche automatisch in Intervallen von $\frac{1}{4}$ Stunde sich vollziehen.

Der von mir zu diesem Zwecke konstruierte Apparat dürfte auch für andere ähnliche Aufgaben, z. B. für die Beobachtung von Wachstumsvorgängen an Pflanzen oder Pflanzenteilen von Wert sein.

Die Hauptteile des Apparates sind: 1) eine Uhr, welche die erforderlichen Kontakte für die Expositionen und für die Verschiebungen der Aufnahmefläche zu rechter Zeit herstellt, und welche mit dem Objekt zusammen jedesmal photographiert wird, so dass jede Aufnahme zugleich ihre Zeit verzeichnet; 2) ein Cylinder, welcher mit Film bekleidet ist und jedesmal einen Teil des Films zur Exposition bringt; 3) die Camera und ihre Verschlussvorrichtung.

Die Uhr, Fig. 1 in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse dargestellt, mit kräftiger Feder, 8 Tage gehend, hat einen gewöhnlichen Stunden- und einen verlängerten Minutenzeiger. Das Zifferblatt ist von zwei konzentrischen Ringen aus rundem Messingdraht umgeben. Der innere Ring *A A* trägt 4 Kontakte *C*¹ für die viertelstündigen Expositionen; dieselben sind auf den 4 Blechlappen *C*, in Schlitten verschiebbar, angebracht; jeder besteht aus einer trapezförmigen Messingplatte und einem Hartgummistück, welches eine geneigte Fläche * darbietet, so dass der heranrückende federnde Zeiger sanft auf die Höhe der Metallfläche gehoben wird, und sich nicht fangen kann. Je weiter die Kontaktstücke *C*¹ in ihren Schlitten nach aussen geschoben werden, um so länger werden die Expositionen; ihre Dauer ist zwischen etwa 24 und 60 Sekunden

¹⁾ Ebendasselbst Bd. 41. 278. 1887.

variierbar. — Der äussere Ring $B B$ trägt die Kontakte zur Verschiebung des Aufnahmecylinders. Jeder solche Kontakt verstellt die Aufnahmeffläche um etwa 4,4 mm; zwischen je 2 in die Zeiten 0, 15, 30, 45 Min. fallenden Expositionen muss der Cylinder um so viel weitergeschoben werden, wie die Bildbreite erfordert. Die Verschiebungskontakte können natürlich beliebig auf das viertelstündige Intervall verteilt sein. Es stehen im ganzen 28 derselben zur Verfügung, d. h. die Bildbreite kann bis 3 cm gehen. In der Zeichnung sind nur je 5 angebracht, wie für die gewöhnlichen Versuche. Jeder dieser Kontakte D besteht aus einer kleinen auf dem Ringe B reitenden, also leicht abnehmbaren und aufsetzbaren Zwinde mit Klemmschraube, und einem schmalen radialen, in die Bahn der Zeigerspitze hineinragenden Messingstreifen D^1 , welchem wiederum eine geneigte Gleitfläche * aus Hartgummi voraufgeht. Damit die Zeigerspitze sich nicht in der schmalen Fuge zwischen Hartgummi und Messing fängt, steht letzteres ein klein wenig tiefer als die Endkante des Hartgummistückes. — Der Minutenzeiger ist an seinem Ende auf die Fläche gebogen, so dass er gegen die Kontakte des inneren und des äusseren Ringes federt und sein aufliegendes Ende ist zugespitzt, jedoch mit sanfter Abrundung der Spitze. — Der innere Ring $A A$ ist mit der Klemme k_1 , der äussere $B B$ mit der Klemme k_3 , endlich das Metall des Werks mit der Klemme k_2 leitend verbunden. Die Ströme sind so mässig (s. unten), dass sie weder das Werk noch die Kontakte angreifen.

Der Aufnahmecylinder ist in Fig. 2 von der Seite, in Fig. 3 von oben gesehen dargestellt, beides in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Grösse. Er besteht aus einer Holztrommel $T T$ von 50 cm Durchmesser und 8,6 cm Mantelhöhe. Der Mantel hat unten einen leichten Vorsprung t (Fig. 2) zum Aufrufen der Filmstreifen. Die Trommel ist zur Verhütung des Werfens aus vielen Stücken zusammengesetzt und aussen furniert. Zur Verminderung der Masse ist sie ferner ausgehöhlt, so dass sie nur aus der Bodenplatte $b b$, dem Mantel $m m$ und dem konischen Mittelstück $k k$ besteht. Sie ist überall geschwärzt. Das Mittelstück ist durchbohrt und gewährt der eisernen Axe $A A$ Durchtritt, auf welcher der Holzcylinder durch die Auflageplatten $p p$ und die Schraubenmutter q befestigt ist. Die Axe endet unten und oben mit konischen Lagern.

Getragen wird der Cylinder von dem Brett $H H$, welches auf

zwei parallelen vertikalen Leisten $H^1 H^1$ ruht. Die letzteren passen auf das Laufbrett einer grösseren Stegemann'schen Camera dergestalt, dass sie die beiden messingenen Zahnleisten desselben gerade zwischen sich fassen, und längs derselben verschiebbar sind, wie ein Eisenbahnwagen längs der Schienen. Auf dem Brett ist der starke eiserne Bügel $G G G$ befestigt, quer zur Richtung der Fussleisten. Derselbe hat oben in der Mitte die in das Axenlager A eingreifende konisch endende Axenschraube X , und das Brett $H H$ trägt die untere Axenspitze X^1 .

Die Axe $A A$ trägt unter der Trommel ein aus einer starken Zinkscheibe geschnittenen Speichenrad $Z Z$ von $35\frac{1}{2}$ cm Durchmesser, in dessen Rand 360 Sperrzähne eingeschnitten sind (in Fig. 3 nur zum Teil dargestellt). In diesen Zahnkranz greifen einander diametral gegenüber zwei gegen ihn federnde Sperrhaken S und S^1 ein; der eine (S) feststehend, der andere (S^1) am Ende des Ankerhebels $U W$ befestigt. Letzterer ist um die vertikale Axe V drehbar und trägt am Ende V den schweren eisernen Anker N des Hufeisen-Elektromagneten E . Die Spiralfeder F , welche an den Hebel $U W$ angreift, drückt denselben gegen die Anschlagschraube M und zieht den Anker vom Elektromagneten ab.

Die beiden Sperrhaken S und S^1 halten für gewöhnlich das Sperrrad $Z Z$ und somit die Trommel $T T$ fest. Wird der Elektromagnet durchströmt, so zieht er den Anker N an und der Haken S^1 wird über einen Zahn weggehoben und schnappt in den nächsten Einschnitt ein. Die Trommel wird noch immer durch den Haken S in ihrer Stellung festgehalten. Wenn aber der Strom geöffnet wird, geht der Ankerhebel zum Anschlag M zurück und der Haken S^1 dreht jetzt die Trommel um einen Zahn nach rechts, wobei der Haken S über einen Zahn weggehoben wird und einschnappt. Jede Schliessung und Oeffnung des Stromes in E dreht also die Trommel um 1 Bogengrad nach rechts, verschiebt somit die Aufnahmeffläche um etwa 4,36 mm weiter. Soll jedes Bild eine Breite von 2 cm haben, so sind je zwischen zwei Aufnahmen 5 Zahnverschiebungen einzuschalten, d. h. 5 Kontakte D auf jede Viertelstunde an der Uhr anzubringen. l und l^1 sind die Klemmen der Spulen des Elektromagneten.

Die Verschlussvorrichtung der Camera ist in Fig. 4 in $\frac{1}{4}$ der nat. Grösse dargestellt. $O O$ ist die Innenseite des Ob-

ektivbretts. Das Objektiv, ein Steinheil'sches Gruppen-Antiplanet Nr. 5, hat eine Oeffnung von 40 mm Durchmesser. In die Oeffnung des Bretts ist von hinten ein geschwärzter Holzring von 50 mm Lichtung eingesetzt, mit breitem, plattem Wulst $R R$. Unmittelbar hinter demselben spielt die Verschlusscheibe Q aus geschwärztem Aluminiumblech (80 mm Durchmesser). Sie wird von dem auf die Fläche gebogenen Drahtstiel q getragen, welcher in den Anker PP des Elektromagneten LL eingeschraubt ist (die Vorrichtung ist dieselbe wie an den Signalapparaten der Feuermeldestationen). In der Ruhe liegt die Scheibe Q auf dem etwas biegsamen und daher nicht zurückwerfenden Anschlag R^1 auf, und hält jede Spur von Licht ab. Während Durchströmung des Elektromagneten steht der Anker PP bis zum Anschlag p gedreht und die Scheibe giebt die Oeffnung des Holzringes vollständig frei. Die Endklemmen der Spulen LL befinden sich bei h, h^1 an der Aussenseite des Objektivbrettes, die Durchbohrung ist natürlich lichtdicht gedeckt.

Zur genauen Einstellung der Aufnahmeffäche dient folgende einfache Vorrichtung. Die Camera hat eine in horizontalen Falzen verschiebbare Einschubkassette. Statt dieser wird in die Falze ein Brett eingeschoben, welches ein kleines von einer Mattscheibe bedecktes Fenster hat. Diese Scheibe wendet ihre matte Fläche nach hinten. Nach scharfer Einstellung des Bildes auf derselben wird das Brett HH auf das Laufbrett der Camera aufgesetzt und in seinem Geleise soweit vorgeschoben, bis die mit Film bekleidete Mantelfläche der Mattscheibe genau anliegt, und nun das Einstellbrett aus seinen Falzen herausgezogen. Für den Vorsprung t der Trommel hat das Einstellbrett eine Nuth.

Die Abgrenzung der Bildfläche geschieht durch die bei grösseren Camera's übliche Vorrichtung: ein vor der Aufnahmeffäche angebrachtes hölzernes Brett mit Fenster und Blech- oder Kartoneinsätzen. Für unsere Versuche wurde ein schwarzes Kartonblatt eingesetzt, mit einem der Bildgrösse und der Höhenlage auf dem Filmstreifen entsprechenden kleinen Ausschnitt.

Die Aufnahmen erfolgen in einem Dunkelzimmer. Das Objekt, eine in ein planwandiges Glasgefäss versenkte Tierleiche, mit schwarzem Hintergrund, befindet sich senkrecht unter der Kontaktuhr, möglichst in gleicher Ebene mit dem Zifferblatt. Beleuchtet

werden Uhr und Objekt mittels einer Dubosq'schen Laterne, in welcher sich eine Lampe mit Auer'schem Glühlicht befindet. Die Laterne steht etwas seitlich von der Achse der Camera und beleuchtet mittels ihres Linsensystems ein rundes Feld, in welchem sich Objekt und Uhr befinden. Nach Einstellung des Aufnahmecylinders wird die Lampe ausgelöscht, bei Rubinlicht ein Streifen Eastman-Film um den Cylinder gelegt und mit einigen Reissstiften befestigt, dann die Trommel mit einem passenden achtseitigen Pappgehäuse bedeckt, welches nach vorn, an der Camera, offen ist, und endlich durch Ueberlegen eines grossen Sammettuches alle noch offenen Stellen zugedeckt. Jetzt wird die Laterne wieder erleuchtet und der Versuch beginnt.

Den Strom liefern 3 Accumulator-Elemente. Der eine Pol ist mit der Uhrklemme k_2 verbunden, der andere verzweigt sich in zwei Leitungen; die eine geht zu den Klemmen h und h^1 (Fig. 4) und zur Uhrklemme k_1 , die andere zu den Klemmen l_1 und l_2 (Fig. 2) und zur Uhrklemme k_3 . Der Minutenzeiger schliesst also bei jeder Berührung eines Kontaktes C^1 den Strom des Expositionsmagneten und bei jedem Kontakt D^1 denjenigen des Verschiebungsmagneten. Ein Schlüssel als Nebenschliessung zwischen k_1 und k_2 gestattet jederzeit den Strom permanent durch den Expositionsmagneten zu leiten, so dass die Klappe Q dauernd offen steht, wie es z. B. zur Einstellung nötig ist.

Der Apparat arbeitet äusserst sicher und befriedigend.

Die Hervorrufung der Filmstreifen, welche über $1\frac{1}{2}$ m lang sind, geschieht mit der von mir schon beschriebenen und abgebildeten Holzwalze¹⁾, um welche der Streifen in schraubenartigen Touren herumgelegt wird, durch einige Reissstifte befestigt. Die Walze wird durch die Cuvette, welche nur 50—100 ccm Entwicklungsflüssigkeit zu enthalten braucht, langsam hindurchgedreht. Zum Fixieren dienen lange Blechcuvetten, wie ich sie für meine Papierphotogramme habe anfertigen lassen.

Kopiert werden die Filmstreifen auf Kurz'schem Celloidinpapier, welches man in langen Rollen erhält. Mit einfachen Vorrichtungen wird ein Papierstreifen, bedeckt vom Filmstreifen, straff um einen drehbaren Cylinder von hinreichendem Durchmesser

¹⁾ Pflüger's Arch. Bd. 53. 15. Taf. I. Fig. 8. 1892.

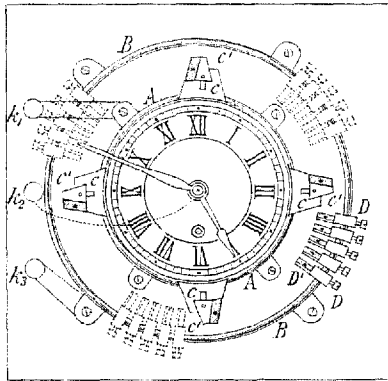
herumgelegt; wir benutzten dazu den mit Verzahnung und Kurbel versehenen Cylinder des Anschütz'schen Schnellsehers. Der Cylinder wird am Fenster aufgestellt und langsam um seine (vertikale) Achse gedreht. Bei bewölktem Himmel kann er auch einfach im Freien ohne Drehung aufgestellt werden.

Die erhaltenen Bilderserien, welche auf einem Streifen über 70 viertelstündige Aufnahmen, jede mit ihrer Uhrangabe, enthalten, sind äusserst zierlich und scharf; nur der Minutenzeiger, der sich während der Aufnahme merklich verschiebt, zeigt notwendig eine leichte Unschärfe. Durch Kombination mit Kartonsstreifen, welche Schlitze im Abstand der Bilder enthalten, lassen sich die photographierten Veränderungen nach dem Prinzip des Schnellsehers als rasche Bewegung beobachten.

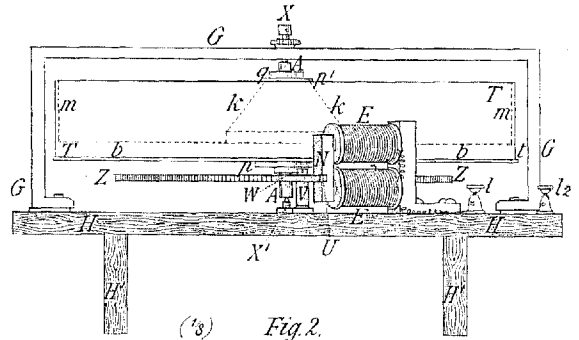
Natürlich kann man durch Wegnehmen von zwei oder drei der Kontakte C^1 und einer entsprechenden Zahl der Kontakte D^1 sich auf halbstündliche oder stündliche Aufnahmefolgen beschränken.

Ueber die erhaltenen Ergebnisse wird an anderer Stelle berichtet werden. Als Beispiel gebe ich in Fig. 5 einen kurzen Abschnitt aus einer Erstarrungsserie von *Rana esculenta* in Wasser. Der betreffende Versuch gehört zu einer mit dem Apparate von Herrn cand. med. Hugo Herbst ausgeführten Untersuchung; die Bilder folgen sich von rechts nach links. Die Aufnahmen sind halbstündliche.

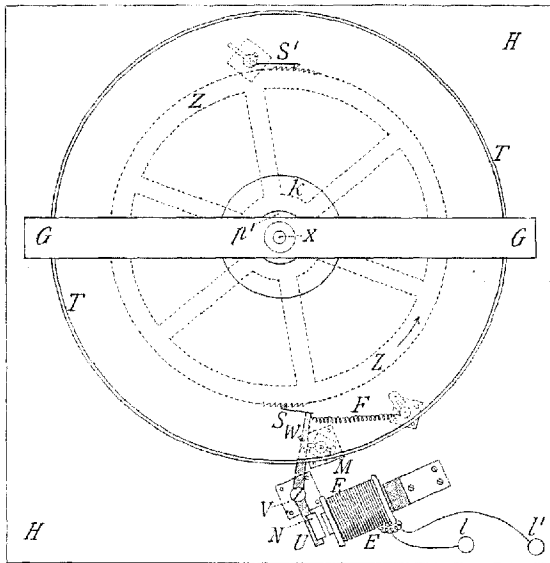
Königsberg i./Pr., im Februar 1896.



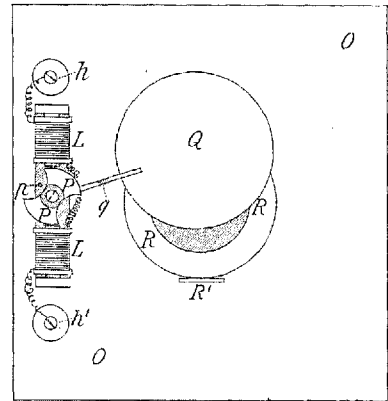
(1/4) Fig. 1.



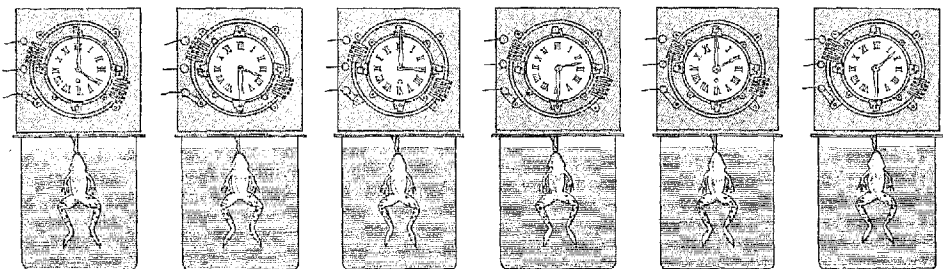
(1/8) Fig. 2.



(1/8) Fig. 3.



(1/4) Fig. 4.



(1/4) Fig. 5.