

(Aus dem psychologischen Laboratorium der Universität Breslau.)

## Ein neuer Fallapparat zur Kontrolle des Chronoskops.

Von

HERM. EBBINGHAUS.

(Mit 6 Fig.)

Zur Kontrolle des HIPP'schen Chronoskops wird gegenwärtig wohl meist der von WUNDT erdachte und von KÜLPE und KIRSCHMANN eingehend beschriebene und geprüfte Kontrollhammer<sup>1</sup> benutzt. Bei der ersten Beschaffung von Apparaten für das Breslauer Laboratorium konnte gleichwohl dieser Apparat nicht in Betracht kommen. Erstens war er für die zur Verfügung stehenden bescheidenen Mittel zu kostspielig; zweitens bedarf er selbst wieder zu seiner oft zu erneuernden Kontrolle<sup>2</sup> eines genauen zeit-schreibenden Apparates, an dessen Beschaffung einstweilen nicht gedacht werden konnte. Um dem Bedürfnis einigermaßen zu genügen, kehrte ich daher zu dem einfacheren Princip des ursprünglich zur Kontrolle des Chronoskops benutzten HIPP'schen Fallapparats zurück, nämlich zu dem Princip der Angabe der Kontrollzeit durch eine frei fallende Kugel. Nur suchte ich die dem sehr primitiven HIPP'schen Apparat anhaftenden Mängel möglichst zu vermeiden.

---

<sup>1</sup> KÜLPE u. KIRSCHMANN. Ein neuer Apparat zur Controle zeitmessender Instrumente. *Philos. Studien* 8, S. 145.

<sup>2</sup> Auf die mannigfachen Einrichtungen des Apparats, die eine solche Kontrolle nothwendig machen, gehe ich nicht näher ein, sondern verweise nur auf eine in dieser Hinsicht wichtige Mittheilung von KÜLPE und KIRSCHMANN (S. 170). Nach einer kleinen Reparatur einiger elektrischen Kontakte an dem Apparat ging eine vorher von ihm mit 616  $\sigma$  angegebene Fallzeit auf 598  $\sigma$  zurück, wurde also um den bedeutenden Betrag von 18 Tausendstel Sekunden kleiner.

Da der auf solche Weise zu Stande gekommene Fallapparat bei einer chronographischen Prüfung in dem hiesigen physiologischen Institut sich von groben Fehlern frei zeigte, und im Vertrauen ferner darauf, daß er vermöge seiner Konstruktion überhaupt keine sehr wesentlichen Fehler besitzen könne, habe ich ihn einige Jahre — übrigens nur zu Demonstrationszwecken — benutzt, hatte aber leider nicht die Möglichkeit, ihn ausgedehnteren Prüfungen von der erforderlichen schärfsten Genauigkeit zu unterwerfen. Seit einiger Zeit bin ich dazu in den Stand gesetzt, durch die Erwerbung eines ausgezeichneten ZIMMERMANN'schen Kymographions, das bei den größten Umlaufgeschwindigkeiten die Ablesung von Tausendstel Sekunden mit genügender Genauigkeit gestattet. Mit seiner Hülfe habe ich nunmehr den Fallapparat im Laufe des vergangenen Sommers wiederholten Prüfungen unterzogen, sowohl in seinem ursprünglichen Zustande, wie auch nach Ausführung kleiner Veränderungen. Dabei haben sich seine Angaben stets so gleichmäÙsig zuverlässig, ja geradezu überraschend genau erwiesen, daß es mir nützlich scheint, den Apparat etwas allgemeiner bekannt zu machen.

### Beschreibung des Apparates.

Sein allgemeines Princip besteht, wie schon gesagt, darin, daß die von ihm gelieferten kleinen Zeitintervalle durch den freien Fall einer Kugel bestimmt werden. Um diese Fallzeiten nutzbar zu machen, waren namentlich drei Bedingungen zu erfüllen, denen von dem HIPP'schen Fallapparat nur sehr unvollkommen genügt wird.

1. Die Fallhöhen der Kugel, d. h. die Entfernungen zwischen ihrem Fufspunkt und der Aufschlagsfläche müssen bis auf Bruchtheile des Millimeters genau eingestellt und abgelesen werden können.

2. Beginn und Ende des Falles der Kugel müssen so genau als möglich zeitlich zusammenfallen mit der Oeffnung oder der Schließung eines elektrischen Stromes.

3. Die fallende Kugel muß zur Ueberwindung des Luftwiderstandes möglichst schwer sein, und der Apparat doch kräftig genug, um ihren Fall aus gröÙeren Höhen auszuhalten.

Daraus ergab sich folgende Einrichtung:

Auf einer kräftigen Holzunterlage, *A* in Fig. 1, die durch Stellschrauben wagerecht eingestellt werden kann, sind zwei ver-



nickelte Messingsäulen  $S$  und  $S'$  lothrecht befestigt. Bei einem Durchmesser von etwa 3 cm haben sie eine Höhe von 86 cm und sind auch an ihrem (in der Figur nicht sichtbaren) oberen Ende durch ein solides Metallstück fest mit einander verbunden. Auf ihnen gleitet mit leichter Reibung eine horizontale Metallbrücke  $Br$ , die durch zwei seitliche Schrauben  $s$  und  $s'$  in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. Jede der beiden Säulen ist in genau gleicher Höhe über der Unterlage mit einer Milli-

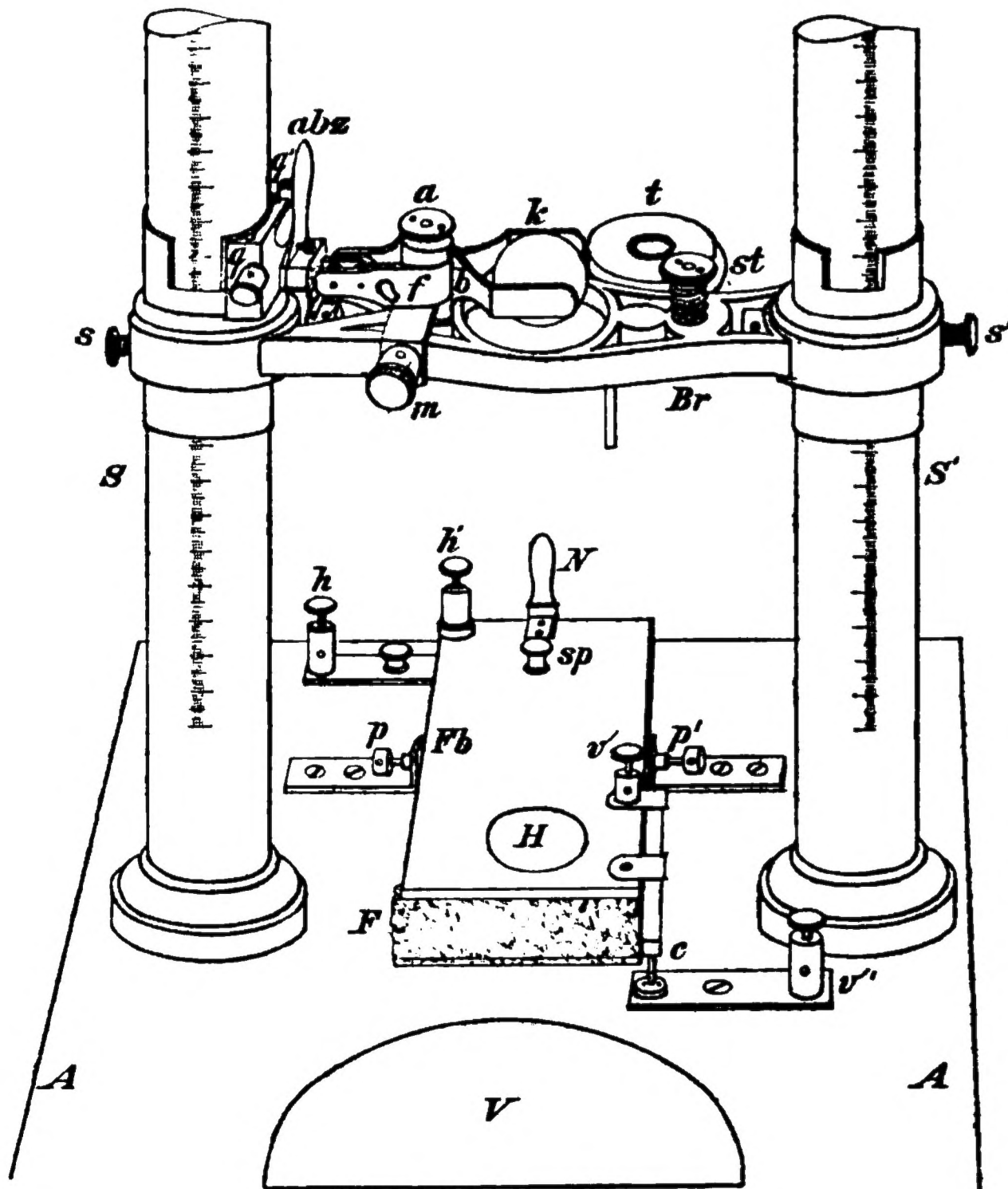


Fig. 1.

metertheilung versehen, und bei der Bewegung der Brücke wird jederseits an diesen Theilungen eine auf den Brückenhaltern eingeritzte Marke entlang geschoben, so daß die Höhe der jeweiligen Einstellung stets an beiden Enden in Uebereinstimmung gebracht und genau abgelesen werden kann. In ihrer Mitte ist die Brücke ausgeschnitten, um die fallende Kugel durchzulassen; außerdem trägt sie zwei Einrichtungen.

Die eine, links, dient dem Festhalten und Loslassen der Kugel. Sie besteht aus einer Art Zange, deren Arme um eine verticale Axe  $a$  drehbar sind. Die vorderen Hälften dieser Arme werden von zwei Messingbacken  $b$  gebildet, die sich gerade über dem Brückenausschnitt befinden. Werden sie zusammengedrückt, so stehen sie einander parallel und halten dann die Messingkugel  $k$  mit mäßiger Kraft zwischen sich festgeklemmt und schwebend über dem Ausschnitt. Das Festhalten in der Parallelstellung geschieht an den hinteren Hälften der Zangenarme, den Fortsätzen  $f$ , und zwar vermittelt der Abzugsvorrichtung  $abz$ . Wird aber dieser Abzug etwas nach hinten, d. h. nach der Säule  $S$  hin, gezogen, so werden die beiden Fortsätze durch eine zwischen ihnen befindliche Spiralfeder schnell und kräftig aus einander getrieben. Die die Kugel haltenden Backen schnellen damit gleichfalls aus einander und die Kugel beginnt zu fallen.

Um diesen Moment auf das Chronoskop oder andere Apparate übertragen zu können, sind die beiden Zangenarme von einander und von allen übrigen Theilen des Apparats durch Hartgummizwischenlagen isolirt. Jeder steht nur mit einer seitlich angebrachten Klemmschraube in Verbindung, von denen eine,  $m$ , in der Figur sichtbar ist. Werden diese Klemmschrauben mit den Leitungsdrähten einer Elektrizitätsquelle verbunden, so ist mithin der von dieser gelieferte Strom unterbrochen, solange die Zange geöffnet ist, dagegen geschlossen, sobald und solange die beiden Messingbacken die Messingkugel zwischen sich eingeklemmt halten. Sowie sie aus einander springen, wird er wieder unterbrochen. Genau in demselben Moment beginnt aber auch der freie Fall der Kugel. Ein Fehler könnte nur dadurch entstehen, daß die eine Backe sich etwas früher von der Kugel loslöste als die andere, und die Kugel also, an dieser schleifend, eine wenn auch minimale Verlangsamung der beginnenden Fallbewegung erlitte. Um das zu vermeiden, ist darauf zu sehen, daß die beiden Backen stets symmetrisch aus einander springen.

Die zweite auf der Brücke, und zwar rechts, befindliche Einrichtung dient dem richtigen Einbringen der Kugel zwischen die sie haltenden Backen. Sie wird von einem kleinen Teller  $t$  gebildet, der gerade in den Ausschnitt in der Mitte der Brücke hineinpaßt. Er ist an dem seitlich angebrachten Stift  $st$  befestigt und wird von diesem in Höhe der Brücke selbst gehalten. Er kann aber auch durch Druck auf den Stift sammt diesem



heruntergedrückt und dabei zugleich um ihn als Axe bewegt werden. Läßt der Druck nach, so hebt sich der Teller durch Federkraft wieder in die Höhe der Brückenebene.

Die Handhabung dieser Einrichtungen ist nun diese. Man bringt den Teller von unten her in den Brückenausschnitt und legt die 27 mm im Durchmesser haltende und rund 90 g schwere Messingkugel in seine Mitte. Sie wird hier durch einen kleinen auf dem Teller befestigten Ring an dem Fortrollen gehindert. Dann schließt man die Zange, deren Backen, wenn sie richtig parallel stehen, sich lediglich von den Seiten an die Kugel anlegen, ohne sie irgendwie zu heben oder sonst zu bewegen. Schließlich drückt man den Teller wieder nach unten und dreht ihn zur Seite, so daß die Kugel frei über dem Ausschnitt gehalten wird.

Fällt die Kugel nun herunter, so trifft sie unten auf ein rechteckiges Brettchen  $Fb$ , das zwischen Spitzen  $p$  und  $p'$  gelagert und daher etwas beweglich ist. Der vordere Theil des Brettchens wird durch sie heruntergedrückt und schlägt dabei gegen einen Filzstreifen  $F$ , durch den die Wucht des Stosses aufgefangen und unschädlich gemacht wird. Um Deformationen der Oberfläche des Brettchens durch die verhältnißmäßig schwere Kugel selbst bei größeren Fallhöhen zu vermeiden, ist außerdem an der Aufschlagstelle der Kugel eine genügend starke Hartgummiplatte  $H$  eingelegt. Von dieser springt die Kugel zurück und fällt in die an der Vorderkante des Untersatzes angebrachte Vertiefung  $V$ .

Mit der Abwärtsbewegung der vorderen Hälfte des Brettchens geht seine hintere Hälfte in die Höhe. In demselben Moment, wo diese Bewegung beginnt, wird nun ein Platinkontakt unterbrochen, der hinten an der Unterseite des Brettchens zwischen ihm und dem Untersatz des ganzen Apparates angebracht ist, und dessen beide Glieder mit den Klemmschrauben  $h$  und  $h'$  in Verbindung stehen. Ebenso wie der Beginn des freien Falls der Kugel kann also auch sein Ende mit einer so gut wie gleichzeitigen Unterbrechung eines elektrischen Stromes in Verbindung gebracht werden. Damit dieser Kontakt durch Funkenbildung nicht allmählich verschlechtert werde, ist er so eingerichtet, daß er beim Gebrauch des Apparates durch einen Tropfen Glycerin benetzt werden kann. Außerdem ist zu seiner Sicherung noch eine mit der Schraube  $sp$  in Verbindung stehende Spiralfeder an-

gebracht, durch die die hintere Hälfte des Brettchens mehr oder weniger stark nach unten gezogen wird. Damit aber nun der durch Aufschlagen der Kugel geöffnete Kontakt sich durch den Zug dieser Feder nicht sogleich wieder schliesse, befindet sich an der hinteren Seite des Brettchens noch eine Nase  $N$ , die es in der durch den Fall der Kugel herbeigeführten Stellung solange festhält, bis sie wieder zurückgedrückt wird.

Die Klemmschraube  $h'$  und die mit ihr in Verbindung stehende obere Spitze des erwähnten Platinkontaktes sind in ihrer Höhenstellung etwas veränderlich: sie können mehr oder weniger tief durch das Holz des Fallbrettchens hindurchgeschraubt werden. Dabei ändert sich natürlich die Höhenlage der hinteren Hälfte des Brettchens etwas, und jedesmal in entgegengesetztem Sinne die Höhenlage der vorderen Hälfte. Diese Einrichtung ermöglicht in einfachster Weise eine genaue Einstellung des Apparats, d. h. die Herstellung einer genauen Uebereinstimmung der von der Kugel wirklich zurückgelegten Fallhöhen mit den seitlich an den Säulen  $S$  und  $S'$  abgelesenen. Man stellt dazu die Brücke so ein, daß ihre seitlichen Marken beiderseits auf einen bestimmten Theilstrich zeigen, z. B. auf 200 mm, und bringt den beweglichen Teller an seinen Platz in der Mitte der Brücke. Dann nimmt man einen an beiden Enden zugespitzten und fragezeichenförmig gebogenen Metallstab (Fig. 2), bei dem die Entfernung zwischen den freien Enden genau die eingestellte Gröfse von 200 mm hat, setzt das eine Ende auf die Mitte des Tellers und regulirt nun die Höhe des Fallbrettes so, daß das andere Ende die Mitte der Hartgummiplatte  $H$  gerade berührt. Stimmt die Einstellung für irgend eine Höhe, so stimmt sie natürlich auch für alle anderen.

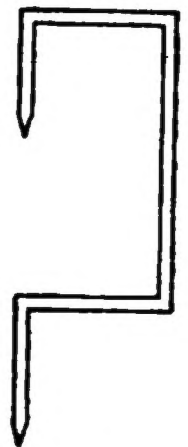


Fig. 2.

Um die Verwendbarkeit des Apparates zu erhöhen, ist auch am vorderen Ende des Fallbrettes noch ein Platinkontakt  $c$  angebracht, dessen beide Theile mit den Klemmschrauben  $v$  und  $v'$  leitend verbunden sind. Er wird durch das Aufschlagen der Kugel geschlossen. Der Moment aber, in dem das eintritt, kann natürlich mit dem Ende ihres freien Falls nicht so genau zusammenfallen wie die Unterbrechung des hinteren Kontakts, da das Fallbrett immer erst eine gewisse Strecke heruntergedrückt werden muß, ehe der Schluß eintritt.



### Prüfung des Apparates.

Es handelt sich nun darum, ob die von dem Apparat für verschiedene Fallhöhen angegebenen und durch 2 Stromunterbrechungen abgegrenzten Zeiten auch mit den theoretisch für jene Höhen zu fordernden Fallzeiten übereinstimmen. Ich habe diese Prüfung für 4 Höhen angestellt, für diejenigen nämlich, denen theoretisch die Fallzeiten  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{2}{10}$ ,  $\frac{3}{10}$  und  $\frac{4}{10}$  Sek. zukommen. Die Fallbeschleunigung für Breslau beträgt 9811 mm in der Sekunde; die jenen Zeiten entsprechenden Fallhöhen ( $\frac{1}{2}gt^2$ ) sind mithin 49, 196, 441, und 784, mm.<sup>1</sup> Die Prüfung wurde in bekannter Weise so vorgenommen, daß die beiden Stromunterbrechungen durch ein elektromagnetisches Signal auf eine rotirende Trommel übertragen und die zwischen ihnen verflössenen Zeiten durch die gleichzeitig aufgeschriebenen Schwingungen einer Stimmgabel ausgemessen wurden.

Die zur Verfügung stehende Stimmgabel machte hundert Schwingungen in der Sekunde. Bei der hier erforderlichen Genauigkeit indes konnte sie nicht gebraucht werden, wie sie geliefert war, sondern wurde erst genau eingestimmt. Dies geschah auf graphischem Wege mit Hülfe eines JAQUET'schen Fünftelsekunden-Chronographen, unter Berücksichtigung wiederum von dessen nicht ganz unerheblichen Fehlern.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Da die Säulen des Apparats, wie oben angegeben, 86 cm hoch sind, diese aber wegen der auf der Brücke befindlichen Einrichtungen nicht ganz ausgenutzt werden können, ist mit  $\frac{4}{10}$  Sek. Fallzeit die obere Grenze seiner Leistungsfähigkeit erreicht. Natürlich kann man ihn, um noch 1 oder 2 Zehntel mehr zu gewinnen, auch höher bauen; er verliert dann aber an Handlichkeit.

<sup>2</sup> Ich konnte zwei JAQUET-Chronographen, die mir von hiesigen Universitätsinstituten zur Verfügung gestellt waren, mit einander vergleichen. Sie zeigten übereinstimmend folgende Fehler. 1. Je zwei unmittelbar auf einander folgende Fünftelsekunden oder ganze Sekunden, die von den Apparaten angegeben wurden, waren unter einander nicht genau gleich, sondern das eine Intervall war immer etwa um eine halbe Stimmgabelschwingung zu lang und das folgende um den gleichen Betrag zu kurz. Nur zwei auf einander folgende Fünftelsekunden oder ganze Sekunden zusammen ergaben eine objectiv richtige Zeit. 2. Wenn man die Apparate Fünftelsekunden markiren ließ, gingen sie nicht genau ebenso schnell, wie wenn sie ganze Sekunden markirten, sondern in jenem Fall etwas zu langsam. Sie blieben in etwa 12 Min. 1 Sek. zurück, in der Sekunde also etwa  $\frac{1}{10}$  Tausendstel. (Auch bei der Markirung ganzer Sekunden gingen sie, verglichen mit einer zuverlässigen Taschenuhr, noch etwas zu langsam, aber für meinen Zweck nicht mehr in Betracht kommend.) Die Stimmgabel

Die Uebertragung der Stromunterbrechungen auf die Kymographiontrommel geschah durch ein DEPRESZ-Signal. Bekanntlich antworten diese Signale erheblich prompter und gleichmäßiger auf Stromöffnung als auf Stromschluss. Es trifft sich insofern also günstig, daß die von dem Fallapparat angegebenen Zeiten eben durch zwei Stromunterbrechungen begrenzt werden. Zugleich ist damit noch ein anderer Vortheil verbunden. Auch auf Stromöffnung reagirt das Signal nicht absolut momentan, sondern erst nach Verlauf einer, wenn auch äußerst kleinen, so doch hier nicht zu vernachlässigenden Zeit von unbekannter Größe. Wird nun das Signal sowohl zu Anfang wie zu Ende der zu messenden Zeit in genau gleicher Weise in Anspruch genommen, so erübrigt sich die Nothwendigkeit, diese Latenzzeit erst zu bestimmen und in Rechnung zu bringen: die von ihm gelieferten Zeitmarken werden beide um den gleichen Betrag verschoben, und ihre zeitliche Differenz bleibt dieselbe, wie wenn keine Latenzzeit vorhanden wäre. Allerdings muß dazu der das Signal durchfließende elektrische Strom in beiden Fällen von gleicher Stärke sein, am einfachsten also von derselben Stromquelle (bei gleichen Widerständen) geliefert werden, und es entstand mithin noch die Nothwendigkeit, den bei Beginn des Falles der Kugel unterbrochenen Strom vor Beendigung ihres Falls wieder zu schließen, damit er durch das Aufschlagen der Kugel aufs Neue unterbrochen werden könnte.

Dazu wurde an dem Fallapparat noch eine kleine Vorrichtung angebracht, die ich bisher nicht erwähnt habe. Zwischen dem Abzug *abz* und der ihm zunächst befindlichen Säule *S* wurden an der die Brücke tragenden Hülse 2 kleine Platinbleche in parallelen Ebenen und in geringer Entfernung von einander befestigt, aber so, daß sie sich nicht berühren. Auch von den übrigen Theilen des Apparates sind sie durch Hartgummi isolirt; jedes steht nur mit einer seitlich angebrachten Klemmschraube (*q* und *q'* in Fig. 1) in leitender Verbindung. Wird nun nach richtiger Einbringung der Kugel zwischen die Metallbacken der Abzug nach hinten gezogen und dabei etwas weiter bewegt als zum Loslassen der Kugel erforderlich ist, so trifft er auf das vorderste Platinblech und preßt dieses bei Fortsetzung der Be-

---

wurde nun so eingestimmt, daß sie für eine Zeit von 10 Sek. keine erkennbaren Abweichungen von dem entsprechend korrigirten Gang des JAQUET-Chronographen zeigte.



wegung gegen das zweite, so daß bei Verbindung der Klemmen  $q$  und  $q'$  mit stromzuführenden Drähten durch dieselbe Abzugsbewegung, die erst eine Stromunterbrechung bewirkt, unmittelbar nachher hier ein Stromschluß hergestellt wird.

Die Anordnung der Prüfungsversuche im Einzelnen wird durch Fig. 3 schematisch veranschaulicht. Die Elektrizitätsquelle

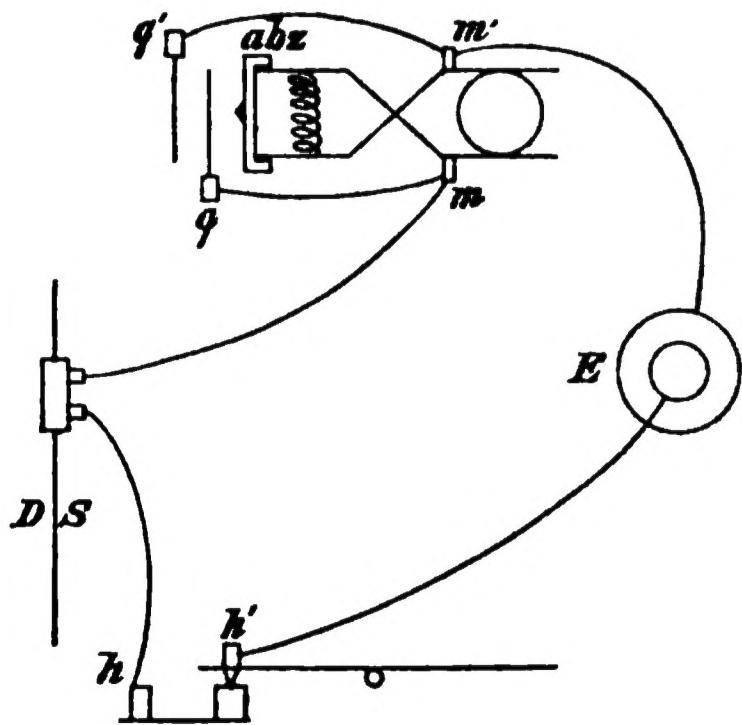


Fig. 3.

$E$  wird mit einer der die Kugel haltenden Backen leitend verbunden, die andere Backe mit dem Elektromagneten des DEPRES-Signals ( $DS$ ); von diesem führt die Leitung weiter zu der einen Klemmschraube ( $h$ ) des hinteren Kontaktes des Fallbrettchens und endlich von dessen anderer Klemmschraube ( $h'$ ) zurück zu der Stromquelle. Außerdem ist je eins der eben erwähnten Platinbleche mit je einer der kugelhaltenden Messingbacken in Ver-

bindung gebracht. Zu Beginn eines Versuchs wird nun jener Fallbrettkontakt geschlossen und die Kugel zwischen die Messingbacken eingeklemmt. Der Strom kann jetzt cirkuliren und der Anker des Signals wird angezogen. Wird nun der Abzugshebel  $abz$  soweit nach hinten gedrückt, daß er die die Kugel haltende Zange freigiebt, so springen die Backen aus einander, der Strom wird unterbrochen, der Schreibhebel des Signals schnellt in die Höhe und markirt den Moment auf der rotirenden Trommel durch einen kleinen Vertikalstrich. Unmittelbar darauf aber werden durch die natürliche Fortsetzung der Abzugsbewegung des Fingers die beiden Platinbleche gegen einander gedrückt. Der soeben unterbrochene Strom kann jetzt durch sie seinen Weg nehmen, er wird also wieder geschlossen, der Schreibhebel des Signals kehrt in die vorige, tiefere Lage zurück, um dann beim Aufschlagen der Kugel und der Lösung des hinteren Kontaktes abermals nach oben zu schnellen und jetzt in dieser Lage zu verharren.

Zum Glück ist es nicht erforderlich, dem Leser die auf solche Weise gefundenen Resultate in größerer Anzahl vorzuführen. Er vermag sich ein ausreichendes Urtheil zu bilden durch ge-

nauere Betrachtung einer einzigen Versuchsreihe, die im Rahmen von Tabelle I (S. 302) in autotypischer Reproduktion wiedergegeben ist und mit allen übrigen Ergebnissen vollkommen übereinstimmt. Sie umfaßt 12 Einzelversuche, je 3 für jede der oben angegebenen Fallhöhen, und zwar sind diese Versuche, was die Hauptsache ist, unmittelbar nach einander angestellt und ohne jede Auswahl auf 12 unmittelbar auf einander folgenden Trommelumläufen niedergeschrieben.<sup>1</sup>

Die Stimmgabelschwingungen bedeuten, wie oben erwähnt, Hundertstel Sekunden. Die die Fallzeiten begrenzenden Stromunterbrechungen sind durch die beiden vertikalen Erhebungen in den über den Schwingungen verlaufenden Geraden markirt. Der unmittelbar nach der ersten Unterbrechung erfolgende Stromschluß wird durch einen kleinen Bogen wiedergegeben, dessen wechselnde Länge von der verschiedenen Schnelligkeit der Abzugsbewegung des Fingers bedingt wird und also keine Bedeutung hat. Man erkennt nun bei näherer Prüfung der Kurven, daß die beiden zusammengehörigen Vertikalmarken jedes Versuchs nicht etwa nur im groben die theoretisch geforderten Anzahlen von Stimmgabelschwingungen zwischen sich schliessen, sondern daß sie ausnahmslos stets genau in dieselbe Phase der Schwingungen fallen, daß also die zu den verschiedenen Fallhöhen gehörigen Fallzeiten von 10, 20, 30 und 40 Gabelschwingungen von dem Apparat mit größter Präcision — und sicher bis auf 1 Tausendstel Sekunde genau — wiedergegeben werden. Bemerkenswerth ist, daß selbst bei der größten Fallhöhe der Kugel von etwa 80 cm der Luftwiderstand noch keine erkennbare Verlängerung der theoretischen Fallzeit herbeigeführt hat, und ebensowenig bei der geringsten Fallhöhe von etwa 5 cm die Nothwendigkeit, das Fallbrett behufs Lösung des hinteren Kontaktes erst um eine minimale Distanz herunterzudrücken. Beides offenbar in Folge der verhältnißmäßig großen Schwere der Kugel.

<sup>1</sup> Ich habe auch nicht einmal die hier und in Tabelle II reproducirten Kurven aus einer größeren Anzahl anderer als die bestgelungenen ausgewählt. Sie wurden von vornherein zur Reproduktion bestimmt und dann genommen, wie sie ausfielen. Daraus erklärt sich die verhältnißmäßig große und in Tabelle II schon fast störende Dicke der aufgezeichneten Linien. Um eine gute Wiedergabe zu ermöglichen, mußten die Trommelüberzüge etwas stärker bewußt werden und die Schreibapparate etwas dickere Linien ziehen, als ohne diese Rücksicht nöthig gewesen wäre.



Tab elle I.

Fallzeiten beobachtet

Fallhöhen	Fallzeiten berechnet	mm	Sek.		
				49	0,1
				196,2	0,2
				441,4	0,3
				784,9	0,4

Die in diesen Versuchen von dem Fallapparat angegebenen Zeiten zwischen zwei Stromunterbrechungen sind auf das Chronoskop nicht direct übertragbar; hierzu bedarf es vielmehr entweder der Kombination Oeffnung-Schluss oder der anderen Schluss-Oeffnung. Indes diese zweite kann ohne Weiteres auch mit den beiden Stromunterbrechungen des Fallapparats hergestellt werden. Man leitêt den Strom durch den hinteren Kontakt des Fallbrettes und dann weiter in zwei neben einander geschalteten Zweigen sowohl durch den Kugelhalter des Fallapparats wie den Elektromagneten des Chronoskops zurück zu der Stromquelle. Solange dem Strom der Weg durch die Messingkugel zur Verfügung steht, geht kein nennenswerther Antheil durch die einen viel grösseren Widerstand bietende Zweigleitung des Chronoskops. In dem Moment des Auseinanderspringens der Kugelzange aber muss der ganze Strom diesen Weg nehmen, um dann beim Aufschlagen der Kugel unterbrochen zu werden.

Die Kombination Oeffnung-Schluss lässt sich nicht auf so einfache Weise verwirklichen. Die Benutzung von zwei ganz getrennten Stromkreisen, durch die die Sache möglich wäre, würde der Verwendung des Chronoskops in den mit ihm anzustellenden Untersuchungen, für die es doch kontrollirt werden soll, nicht entsprechen, und also unzweckmässig sein. Sehr nahe liegt natürlich die Benutzung des vorderen Kontaktes des Fallbretts (s. S. 297). Indes er funktionirt nicht ganz so befriedigend wie der hintere; wie ja wegen der Nothwendigkeit, dass die aufschlagende Kugel das Widerstand leistende Fallbrett erst eine gewisse, endliche Strecke herunterdrücken muss, von vornherein erwartet werden kann. Ich habe ihn in entsprechender Weise geprüft (indem ich den Stromschluss des Kontaktes durch Nebenschliessung für das DEPREZ-Signal wieder in Stromöffnung verwandelte) und theile 8 unmittelbar nach einander gewonnene Resultate, je 2 für jede der 4 Fallhöhen, in Tabelle II mit. Die erhaltenen Fallzeiten sind, wie man sieht, durchweg (abgesehen von der allerersten) um  $1-1\frac{1}{2}$  Tausendstel Sekunde länger als sie in Folge der blossen Fallbeschleunigung sein sollten, ausserdem sind sie unter einander etwas weniger übereinstimmend als in Tabelle I, und endlich an ihrem Ende zum Theil etwas weniger scharf abgegrenzt als dort.

Da es somit wünschenswerth erscheint, den, so präzise arbeitenden hinteren Kontakt des Fallbrettes auch zur Kontrolle



Tab elle II.

Fallzeiten beobachtet

Fall- höhen	Fall- zeiten be- rechnet	
49	0,1	
196,2	0,2	
441,4	0,3	
784,9	0,4	

der Kombination Oeffnung-Schluss bei dem Chronoskop verwenden zu können, habe ich an dem Apparat noch eine weitere kleine Einrichtung angebracht, die dies gestattet. Der mehrerwähnte Abzugshebel der Kugelzange wurde, gleich den hinter ihm befindlichen Platinblechen, von den übrigen Theilen des Apparats isolirt, so daß er ebenso wie jene noch zur Herstellung eines Stromschlusses Verwendung finden kann. Werden die Leitungen dann so hergestellt, wie Figur 4 schematisch angiebt, so geht der Strom zunächst nach Einbringen der Kugel zwischen

die sie haltenden Arme durch diese und den Elektromagneten ( $Em$ ) des Chronoskops. Dieser Weg wird durch das Fortziehen des Abzugs von der Kugelzange und deren Auseinanderspringen unterbrochen. Unmittelbar darauf aber wird der weiter bewegte Abzug gegen das vordere Platinblech gedrückt und damit eine durch den hinteren Kontakt des Fallbrettes führende und das Chronoskop umgehende Strombahn geschlossen. Wieder einen

Moment später wird durch Berührung auch des hinteren Platinblechs eine Zweigleitung zu diesem Stromwege hergestellt, die den Elektromagneten des Chronoskops umkreist. Sie bleibt aber wegen des in ihr bestehenden größeren Widerstandes solange unwirksam, bis durch das Aufschlagen der Kugel der hintere Kontakt des Fallbretts geöffnet und damit dem Strom kein anderer Weg mehr als durch das Chronoskop hindurch gelassen wird. Auf diese Weise wird also genau in den Momenten der beiden Stromunterbrechungen des Fallapparats ein den Elektromagneten des Chronoskops umkreisender Strom erst geöffnet und dann wieder geschlossen.<sup>1</sup>

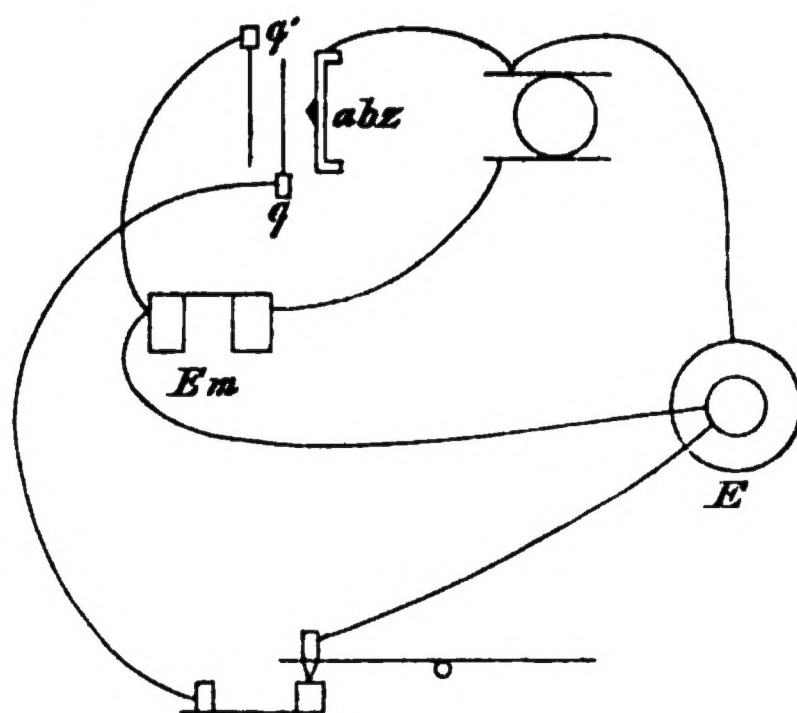


Fig. 4.

<sup>1</sup> Der Fallapparat ist von dem hiesigen Mechaniker F. TIESSEN, Schmiedebrücke 32, angefertigt worden.