

Ueber eine neue

# Fallmaschine.

Von

Dr. Paul Mönnich,

Rostock.

Separatabzug aus Exner's Repertorium der Physik. Bd. XXI.

München.

Druck von R. Oldenbourg.

1885.

## Ueber eine neue Fallmaschine<sup>1)</sup>.

Von

**Dr. Paul Mönnich.**

Die nachstehend beschriebene Fallmaschine ist hauptsächlich für den Vorlesungsversuch bestimmt und eignet sich besonders zu diesem Zwecke, weil dieselbe, leicht zu handhaben und mit nur geringen Fehlern behaftet, das Gesetz des freien Falles in äusserst einfacher und instructiver Weise demonstirt. Für Experimente im Auditorium wird es in der Regel genügend sein, die Richtigkeit des Fallgesetzes ohne weitere Berücksichtigung des absoluten Werthes von  $g$  allgemein nachzuweisen, d. h. einfach zu zeigen, dass die Fallräume den Quadraten der Fallzeiten proportional sind. Mitunter aber erscheint es wünschenswerth, auch die Fallconstante zu bestimmen. Unser Apparat kann nun beiden Zwecken dienen, einmal in seiner ursprünglichen Form zur allgemeinen Demonstration des Fallgesetzes, dann in etwas modificirter Anordnung unter gleichzeitiger Benutzung eines gut justirten Chronographen zur Messung der Grösse  $g$ , welche bei aufmerksamer Beachtung aller störenden Einflüsse von Seiten des Experimentators recht zufriedenstellend bestimmt werden kann. In dieser Weise angewandt dürfte sich das Instrument vornehmlich zu Uebungen für Praktikanten eignen.

Wir wollen zunächst die Maschine als einfachen Demonstrationsapparat behandeln und dann in Kürze zeigen, wie man Messungen der Fallconstante mit derselben anstellen kann.

Das Princip des Apparates. Ein fallendes, an einem senkrecht ausgespannten Führungsdrahte leicht und mit unmerklich geringer Reibung niedergleitendes Gewicht markirt die in gleichen, auf einander folgenden Zeitabschnitten zurückgelegten Fallräume direct

---

1) Der Apparat ist für das Deutsche Reich patentirt.

auf einen zur Bewegungsrichtung parallelen weissen Papierstreife elektrolytisch durch kleine dunkle Flecke, welche dem ganzen Auditorium sichtbar sind. Jeder Zuhörer erhält auf diese Weise ein übersichtliches Bild der Fallscale.

Construction und Wirkungsweise des Apparates im Einzelnen. Das Stativ der Maschine (Fig. 1) besteht aus dem Grundbrett *G*, der hohlen Holzsäule *H*, dem Kopfbrett *K* und kann

mittels dreier Stellschrauben so gerichtet werden, dass der zwischen dem Grundbrett und dem Kopfbrett ausgespannte Führungsdraht *M* eine lothrechte Lage einnimmt. Die straffe

Spannung dieses am Grundbrett *G* befestigten Drahtes geschieht mit Hilfe der über dem Kopfbrett *K* auf das Drahtende

aufgeschraubten Mutter *n*. An diesem Drahte kann der der Länge nach durchbohrte, birnförmige Fallkörper *B*, welcher den in eine Schneide auslaufenden Rand *r* trägt, leicht nach unten gleiten. In die Holzsäule *H* ist parallel zu der Richtung des

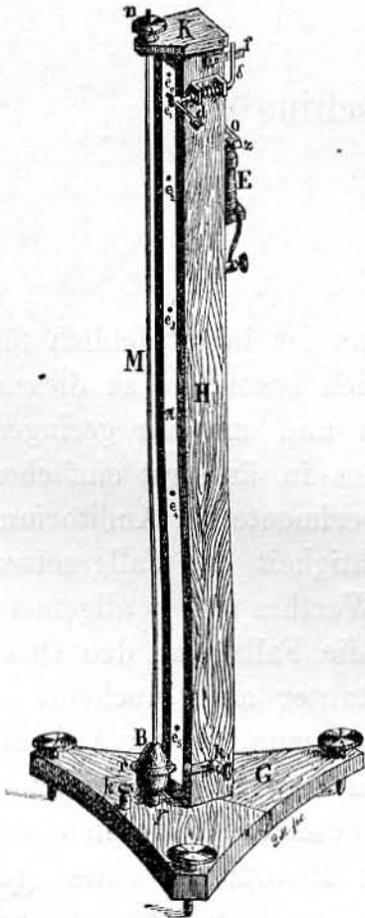


Fig. 1.

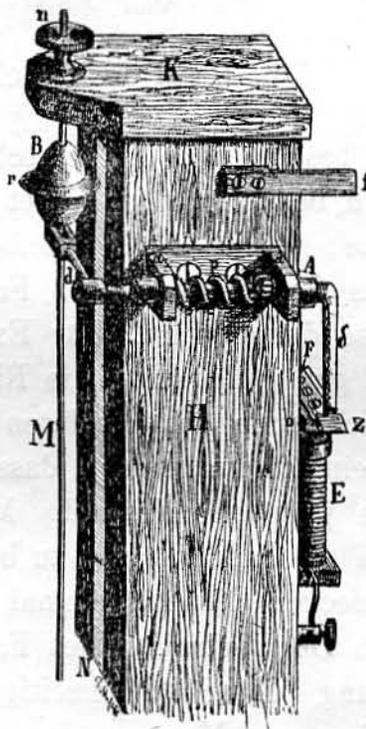


Fig. 2.

Drahtes *M* ein schmaler Metallstreifen *N* (Fig. 2) eingelassen. Die Distanz zwischen dem Drahte und dem Metallstreifen ist eine derartige, dass der gleitende Fallkörper mit der Peripherie seines zugeschärften Randes durchweg etwa 2<sup>mm</sup> von dem Streifen entfernt bleibt. Zwecks der Markirung der von dem Gewichte durchfallenen Strecken wird über den Metallstreifen ein etwas breiterer, mit Wasser angefeuchteter, weisser Papierstreifen  $\pi$  (Fig. 1) geklebt. Nachdem dies geschehen, bestreicht man das Papier mittelst eines Borstenpinsels mit gekochtem Jodkaliumstärkekleister. Während nun das Gewicht niederfällt, springen von dem Rande *r* desselben in gleichen kleinen Zeitabschnitten (etwa  $\frac{1}{8}$  bis  $\frac{1}{10}$  Sec.) elektrische Funken auf den Papierstreifen über und markiren so die Fallräume durch kleine dunkle

Flecke  $e_0, e_1, e_2, e_3, e_4, e_5$ , indem das durch elektrolytische Zerlegung des Jodkaliums frei werdende Jod die Stärke dunkelblau färbt. Die Funken werden dem Fallkörper von einem Funkeninductor mitgetheilt.

Die Vorrichtung zum Auslösen des Gewichtes (Fig. 2) besteht aus einem um die Axe  $A$  in den Axenlagern  $\alpha$  drehbaren Doppelhebel, dessen beide Arme  $d$  und  $\delta$  Winkel von etwa  $90^\circ$  mit der Axe bilden. Um die Axe ist eine Spiralfeder  $p$  gewunden, welche das Bestreben hat, die Hebelarme so zu drehen, dass dieselben in die Lagen  $d$  resp.  $\delta$  (Fig. 1) gelangen. Hier wird die weitere Bewegung durch eine an der Holzsäule befestigte Messingfeder  $f$  gehemmt, gegen welche der Hebelarm  $\delta$  anschlägt. Das Gewicht  $B$  erhält in der Anfangsstellung seine Stütze durch  $d$ , während  $\delta$  durch den Sperrhaken  $z$  festgehalten wird. Dieser ist an der Messingfeder  $F$  angebracht, welche auch den eisernen Anker  $o$  trägt. Wirkt nun die Anziehungskraft des Elektromagneten  $E$  auf diesen Anker, so wird der Sperrhaken zurückgezogen, der Hebelarm  $d$  schnellt nach unten fort, das Gewicht findet keine Stütze mehr und beginnt zu fallen. Um den Stoss des Fallkörpers gegen das Grundbrett zu mildern, sind unten auf den Führungsdraht einige kleine in der Mitte durchbohrte Filzscheiben  $\gamma$  geschoben.

Es kommt nun bei den Versuchen sehr darauf an, dass die elektrischen Funken, welche die Fallräume markiren, in möglichst genau gleichen Zeitabschnitten auf den Papierstreifen überspringen, weil sonst bei der schnellen Bewegung des fallenden Gewichtes beträchtliche Fehler entstehen würden. Für die ersten Versuche, welche wir mit unserer Fallmaschine anstellten, benutzten wir zur Unterbrechung des constanten Stromes den Wagner'schen Hammer eines Ruhmkorff'schen Funkeninductors. Allein es stellte sich diese Vorrichtung bald als sehr unzuverlässig heraus. Einzelne Experimente gelangen vollkommen, während andere höchst unbrauchbar ausfielen. Wir schieben die ungleichmässigen Resultate dieser Versuche auf das bei dem Wagner'schen Hammer stets mehr oder minder starke Auftreten von Combinationsschwingungen. Es handelte sich also vor allen Dingen darum, einen durchaus zuverlässigen Stromunterbrecher zusammen zu stellen. Wir haben uns bei der Construction eines solchen hauptsächlich bemüht, Einfachheit mit leichter Handhabung zu verbinden. Als unterbrechende Vorrichtung (Fig. 3) wird jetzt eine rotirende Messingscheibe von ungefähr 10<sup>cm</sup> Durchmesser und 2<sup>cm</sup> Dicke benutzt. Die Scheibe  $M$  ist an einer stählernen Axe  $a$  befestigt. Diese läuft in Stahlspitzen,

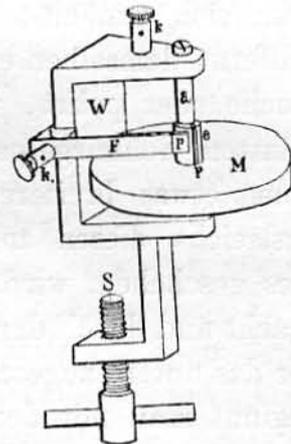


Fig. 3.

welche von dem metallenen Winkel  $W$  gehalten werden. Um die Axe  $a$  ist ein isolirender Elfenbeinring  $e$  gelegt. Derselbe trägt an einer Stelle seiner Peripherie einen mit der Axe in leitender Verbindung stehenden Platinstift  $P$ . Auf den Ring drückt mit einem Platinansatz  $p$  die an dem Winkel  $W$  befestigte und von diesem durch eine isolirende Zwischenlage  $i$  getrennte Messingfeder  $F$ . Das Ganze kann durch die Schraube  $S$  an einer Tischkante befestigt werden. Versetzt man nun die Messingscheibe durch mehrmaliges Anschlagen mit der flachen Hand gegen die Peripherie in schnelle Umdrehung, so wird dieselbe infolge ihrer Trägheit mehrere Minuten lang in Bewegung bleiben und ihre Rotationsgeschwindigkeit regelmässig, aber nur langsam verlieren. Bei jedesmaliger Umdrehung kommt der Platinstift der Axe mit dem Platinansatz der Messingfeder  $F$  auf kurze Zeit in leitende Berührung. Verbindet man nun die Poldrähte eines constanten Stromes, welcher zugleich die primäre Spirale eines Funkeninductors durchfliesst, mit den beiden Klemmschrauben  $k$  und  $k_1$ , so übernimmt die rotirende Vorrichtung die Rolle eines Stromunterbrechers und gibt bei jeder Umdrehung Anlass zur Bildung eines Inductionsfunken. Für kurze Zeiträume, etwa eine halbe Secunde — und länger gebraucht man den Unterbrecher zur Anstellung eines Versuches mit der Fallmaschine nicht —, kann die drehende Bewegung der Scheibe ohne grossen Fehler als gleichförmig und somit das Ueberschlagen der elektrischen Funken als in gleichen Zeitabschnitten stattfindend angesehen werden.

Um einen Versuch mit der Fallmaschine anzustellen, überzeugt man sich zunächst von der senkrechten Lage des Führungsdrahtes, entfernt demselben etwa anhaftende Unreinigkeiten mit einem trockenen Tuche oder polirt, wenn dies nicht ausreichen sollte, den Draht mit feinstem Schmirgelpapier. Dann klebt man über den Metallstreifen einen etwas breiteren mit Wasser angefeuchteten Papierstreifen und bestreicht diesen mit gekochtem Jodkaliumstärkekleister. Nachdem dies geschehen, wird der Fallkörper in die Anfangsstellung (Fig. 2) gebracht und durch den Hebelarm  $d$  unterstützt, während der Sperrhaken  $z$  vor das untere zugeschärfte Ende des Armes  $\delta$  geschoben wird. Hierauf beginnt man mit der Stromschaltung und befestigt die Drähte derart, dass der constante Strom einer Kette von etwa vier kräftigen Bunsenelementen die Windungen des Elektromagneten  $E$  und zugleich die primäre Spirale eines mit dem rotirenden Unterbrecher verbundenen Funkeninductors<sup>1)</sup> durchfliessen kann. Vorläufig lässt man die Leitung

1) Als Funkengeber benutzt man am zweckmässigsten einen Apparat von 1 bis 2<sup>cm</sup> Schlagweite.

noch unterbrochen und bringt an irgend einer Stelle des Stromkreises eine gute Contactvorrichtung an, welche die Kette schnell und sicher zu schliessen gestattet. Am besten wird hierzu ein mit Quecksilber gefülltes Nöpfchen verwandt, in welches der eine Poldraht dauernd eintaucht, während man den anderen erst beim Anstellen des Versuchs durch schnelles Einsenken mit dem Metall in leitende Berührung bringt. Von den beiden Polen der secundären Spirale des Funkeninductors wird das eine durch die Klemmschraube  $k$  mit dem Führungsdraht  $M$ , das andere durch die Klemmschraube  $k_1$  mit dem Metallstreifen  $N$  verbunden. Ist nun soweit alles in Ordnung, so versetzt man die Messingscheibe des Unterbrechers durch mehrmaliges Gegenschlagen mit der flachen Hand gegen die Peripherie in eine Rotation von etwa 8 bis 10 Umdrehungen pro Secunde und taucht dann das freie Polende der Bunsen'schen Kette schnell in das Quecksilber ein. Bei der jetzt eintretenden ersten Berührung der Messingfeder mit dem Platinstifte an der Axe des Unterbrechers wird der Stromkreis geschlossen, der Elektromagnet  $E$  wird magnetisch, zieht den Sperrhaken  $z$  schnell nach unten und löst dadurch den Fallkörper aus. In demselben Augenblick tritt aber auch wieder eine Unterbrechung des Stromkreises ein, die secundäre Spirale des Inductors liefert einen elektrischen Funken, welcher von dem Rande des Gewichtes auf den Papierstreifen überspringt und den Nullpunkt der Fallscala markirt. Während nun das Gewicht niederfällt, bezeichnen weitere Funkenspuren die durchfallenen Räume. Der Papierstreifen kann zu mehreren Versuchen hintereinander benutzt werden, ohne dass ein erneuertes Bestreichen mit Jodkaliumstärkekleister nöthig wird. Die dunklen Flecke lassen sich leicht durch Abwischen mit dem Finger entfernen.

Einen Beweis für die Richtigkeit des allgemeinen Fallgesetzes:

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

leitet man aus einer so erhaltenen Fallscala am zweckmässigsten dadurch ab, dass man mittelst Division der einzelnen Fallräume durch die Quadrate der resp. Zeiten die Constanz der Grösse  $g$  darlegt. Dabei sieht man den Zeitabschnitt, welchen das Gewicht zum Durchmessen des ersten Raumes gebrauchte, als Zeiteinheit an. Aus Versuchen, welche wir mit der Fallmaschine im physikalischen Institute der Universität zu Rostock mit gütiger Erlaubnis des Hrn. Prof. Matthiessen in Gegenwart der Herren Assistenten Karnatz und Schwartz anstellten, erhielten wir ohne weitere Berücksichtigung irgend welcher Correctionen Resultate, unter welchen die auf obige Weise gewonnenen relativen Werthe der Fallconstante im Maximum und Minimum nur

um vier pro mille von einander abwichen, also Erfolge, welche für den Demonstrationsversuch als vollständig befriedigend bezeichnet werden können.

Um die Fallräume bequem zu messen, befestigt man zweckmässig an dem Holzstativ parallel zu dem Metallstreifen *N* einen in Millimeter getheilten Maassstab (auf der Figur nicht vorhanden) und liest die Strecken mit Hilfe einer kleinen hölzernen Gleitschiene ab.

Messung der Grösse *g*. Will man die Fallconstante ihrem absoluten Werthe nach bestimmen, so bedarf es der Anwendung eines Chronographen, welcher kleine Zeitmomente mit grosser Genauigkeit zu messen gestattet. Ein für die Zwecke der Fallmaschine vorzüglich geeignetes Instrument ist das v. Beetz'sche Vibrationschronoskop<sup>1)</sup>. Das Princip des Apparates ist kurz folgendes: Eine in Schwingung versetzte Stimmgabel, deren Schwingungszahl pro Secunde genau bekannt, schreibt mit einer an der einen Zinke befestigten spitzigen Messingfeder auf eine glatte, lackirte und dann berusste Metallfläche, über welche sie schnell hinweggeführt wird, eine regelmässige Sinuscurve. Will man nun einen Zeitraum messen, so braucht man nur den Anfang und das Ende desselben auf der Sinuscurve durch je ein Zeichen zu markiren und dann die zwischen beiden Marken liegenden Schwingungen zu zählen. Die beiden Zeichen erzeugt man am fehlerfreiesten durch elektrische Funken, welche man von der Schreibspitze der Stimmgabel auf die berusste Metallfläche überspringen lässt. Das Instrument gestattet Zeitbestimmungen bis zur Maximaldauer von zwei Secunden mit einer Genauigkeit von 0,0005 Sec.

Um nun bei unserer Maschine die Zeiten zu messen, in welchen das Gewicht die einzelnen durch kleine dunkle Flecke markirten Strecken durchfällt, könnte man einfach so verfahren, dass man das Chronoskop zugleich mit in den Stromkreis der secundären Spirale des Funkeninductors einschaltet. Dieselben momentanen Inductionsströme, welche auf dem Papierstreifen die Punkte erzeugen, markiren dann auch auf dem Chronoskop zugehörige kleine Zeichen, durch welche die Fallzeiten abgelesen werden können. Allein diese Methode ist aus verschiedenen Gründen für genauere Messungen nicht recht zu empfehlen. Wir haben deshalb für diese Zwecke die Jodkaliumregistrirung aufgegeben und eine andere Einrichtung getroffen, welche im Princip allerdings nicht durchweg neu, in anderer Form bereits von Edelmann<sup>2)</sup>

1) Vgl. v. Beetz, Pogg. Ann. Bd. 135 S. 126. — Ferner M. Th. Edelmann, Neuere Apparate für naturwissenschaftliche Schule und Forschung Bd. 1 S. 31. Stuttgart 1882. — Dieser Apparat ist aus dem phys.-mech. Institute des Herrn Dr. M. Th. Edelmann in München zum Preise von 110 Mk. zu beziehen.

2) Edelmann, Neuere Apparate Bd. 1 S. 37.

bei seinem Fallapparat angewandt worden ist. Dieser Methode liegt folgende Idee zu Grunde: Ein Gewicht durchfällt eine gemessene Strecke. Beim Beginn sowohl als auch am Ende der Bewegung wird je ein constanter Strom, welcher zugleich die primären Windungen eines Funkeninductors durchfließt, unterbrochen. Dadurch entstehen zwei Inductionsfunken, welche auf der Sinuscurve des Chronoskops direct die Fallzeit registriren. Es handelt sich nun darum, beide Markierungen durchaus fehlerfrei geschehen zu lassen. Dies wird dadurch erreicht, dass einerseits die Auslösungsvorrichtung selbst, andererseits am unteren Ende des Fallraumes ein federnder, in losem Contact mit einem Metallstückchen stehender Draht die Stromunterbrechungen besorgen.

Um den Auslöser als Unterbrecher zu benutzen, braucht man nur den Hebelarm  $\delta$  mit dem einen, den Sperrhaken  $z$  mit dem anderen Polende der Leitung zu verbinden (Fig. 5). In der Ruhelage des Gewichtes geht dann der Strom von  $\delta$  nach  $z$  u. s. w. In genau demselben Augenblicke nun, in welchem der Sperrhaken durch den Elektromagneten zurückgezogen wird, vollziehen sich sowohl die Stromunterbrechung als auch die Auslösung des Fallkörpers.

Die untere Unterbrechungsvorrichtung ist in Fig. 4 dargestellt. Ein mit einer Spiralfeder  $p$  verbundener Messingdraht  $d$ , welcher rechtwinkelig zu dem Führungsdraht  $M$  steht und von diesem etwa  $1^{\text{mm}}$  entfernt ist, wird an dem einen Ende mittelst der Schraube  $s$  in dem Metallstück  $b$  festgehalten, während das andere in loser Berührung mit  $b_1$  steht. Sowohl  $b$  als auch  $b_1$  sind durch die Kupferdrähte  $k$  resp.  $k_1$  mit der Leitung eines constanten Stromes verbunden, welcher ungehindert circuliren kann, so lange  $d$  gegen  $b_1$  drückt. Das Ganze wird durch den an der Säule  $H$  verschiebbaren, hölzernen Schlitten  $R$  getragen. Sobald nun der Fallkörper  $B$ , welcher für Messungsversuche zur Verringerung der schädlichen Wirkung des Luftwiderstandes eine längliche, nach unten zugespitzte Form erhalten hat, während seiner Bewegung am Ende des Fallraumes den Draht  $d$  berührt, tritt die sofortige Unterbrechung des Stromkreises ein. Um nach dem Fall des Gewichtes durch das Zurückschnellen des Unterbrechungsdrahtes nach oben einen weiteren Stromschluss zu verhindern, ist an  $b$  das isolirende Sperrstück  $i$  angebracht.

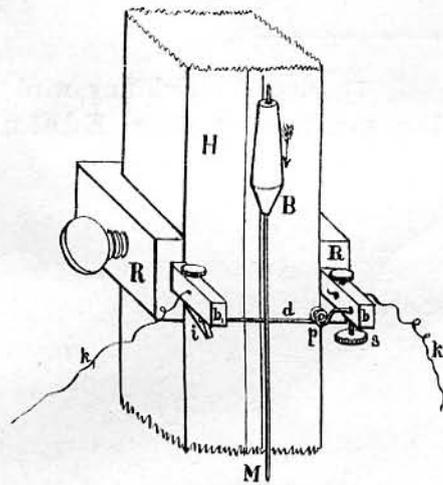


Fig. 4.

Die Stromschaltung wird ohne weitere Beschreibung übersichtlich durch Fig. 5 erläutert. Die Contactvorrichtung A<sup>1)</sup> am Chronoskop besorgt automatisch die Einleitung der nöthigen Stromschlüsse und die

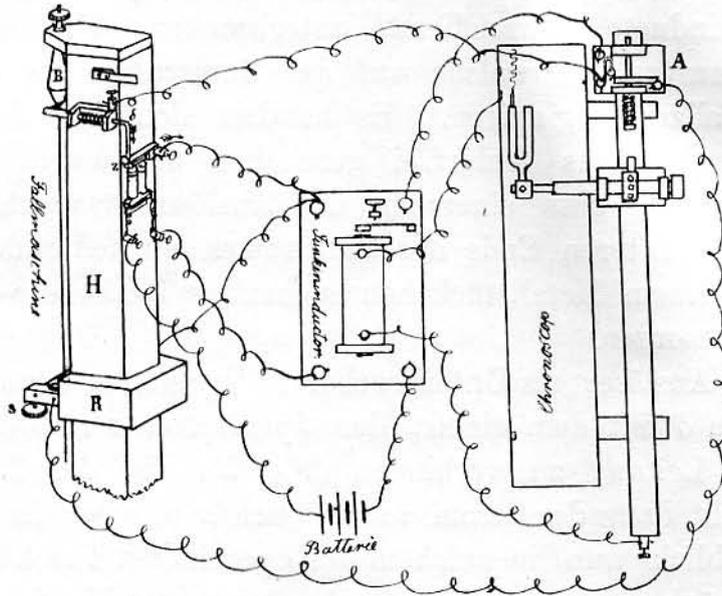


Fig. 5.

sofortige Ingangsetzung der Fallmaschine, sobald die schwingende Stimmgabel mit der Hand in gleitende Bewegung gesetzt wird.

1) Diese Vorrichtung wird von Edelmann zu jedem Chronoskop geliefert. Ihre Construction siehe: Edelmann, Neuere Apparate Bd. 1 S. 35.