

- IX. *Ueber ein Mittel zur Messung äußerst kurzer Zeiträume, wie die Dauer des Stosses elastischer Körper, der Auslösung von Springfedern, der Entzündung von Schießpulver u. s. w., und über ein neues Mittel, die Intensität elektrischer Ströme, permanenter wie instantaner, zu messen; von Hrn. Pouillet.*

(*Compt. rend. X. XIX p. 1384.*)

Man hat über die Schnelligkeit, mit welcher elektrische und magnetische Wirkungen vor sich gehen, interessante Untersuchungen angestellt; allein man hat im Allgemeinen nicht unterschieden, was den Imponderabilien selbst angehört, und was der wägbaren Substanz, der sie Bewegung einprägen. Diese Unterscheidung ist jedoch um so nöthiger, als die eigene Wirkung der Imponderabilien auf einander primitiv und direct ist, und mit einer erstaunlichen Geschwindigkeit geschieht, während die Wirkung, welche sie auf die wägbaren Körper ausüben, secundär und indirect ist, und, vermöge der Natur der Sache, sich nur durch Bewegungen von unvergleichlich geringerer Geschwindigkeit äußern kann.

Wenn so z. B. eine Magnethadel unter dem Einfluß des Erdmagnetismus in Ruhe ist, und man sieht sie abweichen durch eine fremde Ursache, z. B. eine elektrische Entladung, einen Blitzschlag oder ein Nordlicht, so muß man wohl unterscheiden den raschen Moment, wo die magnetischen Fluida afficirt werden, von dem trägen Moment, da wir mit den Augen eine merkliche Bewegung an der wägbaren Stahlnasse der Nadel wahrnehmen können. Es könnte wohl seyn, daß zwischen diesen beiden Momenten eine Zeit verflösse, die tausend oder zehntausend Mal so groß wäre wie die kurze, wäh-

rend welcher die eigene Wirkung der Fluida stattfindet. Die Erscheinungen, die unter diesen Umständen auf einander folgen, können einigermassen verglichen werden mit denen beim ballistischen Pendel, wo das Geschofs, als von relativ kleiner Masse, eine sehr große Geschwindigkeit besitzt. Alsdann kann das Pendel so eingerichtet seyn, daß seine Bewegung, in Bezug auf die kurze Dauer des Stosses, erst nach einer beträchtlichen Zeit recht wahrnehmbar wird. Auch hat man nicht versucht, durch das Pendel die Zeit, während das Geschofs wirkt, zu ermitteln, obwohl hier die Wirkung zwischen zwei wägbaren Körpern vor sich geht, die, als Massen von endlicher und unter sich vergleichbarer Größe, ohne Zweifel eine sehr große Dauer hat in Bezug auf die Dauer der Wirkung, welche die elektrischen Flüssigkeiten direct auf einander oder indirect auf die wägbare Substanz ausüben.

Was man mittelst des ballistischen Pendels bestimmen kann, ist die Geschwindigkeit des Geschosses, sobald man dessen Masse kennt, so wie die Beschaffenheit des Pendels und die Amplitude der Ablenkung, die es durch den Stofs erfahren hat. Man hat dann vier Größen, die durch einfache, aus den Gesetzen der Mechanik hervorgehende Relationen verknüpft sind, und wenn man drei dieser Größen kennt, kann die vierte mit mehr oder weniger Genauigkeit bestimmt werden.

Sicher ist die Analogie zwischen dem ballistischen Pendel und der Magnetnadel sehr unvollkommen, da die auf jenes und diese wirkende Kräfte ganz verschiedener Natur sind; allein sie ist nicht ohne Nutzen, um einzusehen, welchen Vortheil man aus der Magnetnadel für eine Menge von Untersuchungen ziehen kann, auf welche sie bis jetzt noch nicht angewandt ist.

In der That begreift man, daß, wenn eine Magnetnadel in Ruhe ist, und ein elektrischer Strom beginnt während einer sehr kurzen Zeit, z. B. während 0,1, oder 0,01 oder 0,001 Secunde lebhaft auf sie zu wirken, aus

diesem einzigen und fast plötzlichen Impuls eine langsame und regelmäßige Bewegung von bestimmter und vollkommen wahrnehmbarer Amplitude erfolgen könne. Diese Ablenkungsbewegung wird zwar in ihrer Ursache von der des ballistischen Pendels verschieden, aber in ihren Wirkungen sehr analog seyn, denn sie wird, wie diese, in mehr oder weniger rasche Schwingungen übergehen. Im letzteren Fall hängt die anfängliche Ablenkung von der Beschaffenheit des Pendels ab, d. h. von seiner Masse, seiner Länge, seinem Trägheitsmoment etc., dann von der Geschwindigkeit und Masse des Geschosses; und die Schwingungen, die eine Folge derselben sind und durch die Wirkung der Schwerkraft erzeugt werden, hängen ihrerseits von diesem ersten Impulse ab. Bei der Magnetonadel hängt der erste Ausschlag auch von der Beschaffenheit der Nadel ab, d. h. von ihrer wägbaren Masse, ihrer Länge, ihrem Trägheitsmoment, von der Menge und Vertheilung ihres freien Magnetismus, ferner auch von der Intensität des elektrischen Stroms und der Zeit, während welcher er seine Wirkung ausübt; die Oscillationen endlich, die daraus erfolgen und von der erdmagnetischen Kraft erzeugt werden, hängen wieder von diesem ersten Impulse ab. Mithin sind Masse und Geschwindigkeit des Geschosses hier ersetzt durch die Intensität des Stroms und die Zeit seiner Wirkung, so wie die Dauer seiner Wirkung aus seiner Intensität abgeleitet werden kann, sobald die relativen Zustände der Nadel vollständig bekannt sind.

Wenn demnach ein elektrischer Strom während einer sehr kurzen Zeit, z. B. während 0,001 oder 0,0001 Secunde, auf eine regelmäßige und mit sich identische Weise wirken, und zugleich, durch diese so rasche Wirkung, einem passlichen Magnetstrom einen ersten Impuls, einen etwas langsamen Ausschlag von einer etwas ausgedehnten Amplitude einprägen kann, so wird nichts leichter seyn als Zwischenzeiten mit Genauigkeit zu be-

stimmen, die nach Tausend- oder Zehntausendtheile der Secunde zählen. Um solche Messungen mittelst der Magnetnadel auszuführen, kommt demnach Alles auf zwei wesentliche Fragen zurück: Welche Zeitgränze hat ein Strom zur Durchlaufung einer gegebenen Kette nöthig? und welche Gränze hat die Weite der Schwingungen, die er dem empfindlichsten magnetischen System einprägen kann?

Die erstere Aufgabe ist in einer von mir im Jahr 1837 der Academie überreichten Abhandlung, über die Gesetze der Intensität elektrischer Ströme, bereits untersucht. Ich habe nachgewiesen, daß der Strom eine Kette von mehren tausend Metern Länge innerhalb eines Zeitraums von noch nicht $\frac{1}{10000}$ Secunde durchläuft, und innerhalb dieses so raschen Augenblicks war es nicht bloß ein Theil der Elektricität, die sich in der Kette äußerte, sondern der gesammte Strom ging mit seiner vollen Intensität durch. Ich weiß nicht, daß seitdem diese Art von Untersuchungen weiter getrieben worden wären. Ich werde demnach dies Resultat als Gränze des Bewiesenen ansehen, nicht als Gränze des Möglichen; vielmehr bin ich geneigt zu glauben, daß die Elektricität in einer kürzeren Zeit eine noch bedeutend ausgehntere Kette durchlaufen kann. Es würde interessant seyn dergleichen Versuche mit Ketten von 3- bis 400000 Metern, wie man sie zu elektrischen Telegraphen gebraucht, anzustellen. Bei solchen Längen würde man die Gränze der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität mit viel größerer Leichtigkeit finden, und auch ermitteln, ob diese Gränze von der absoluten Länge der Kette oder dem Grade ihrer Leitungsfähigkeit abhängt.

Die zweite Aufgabe ist nicht durch die erstere gelöst. Daraus, daß ein Strom gänzlich innerhalb $\frac{1}{10000}$ Secunde durchgeht, und vermöge seiner Wiederkehr in kurzen Intervallen die Magnetnadel der Intensitätsbussole in Gleichgewicht erhält, folgt keineswegs, daß eine ein-

zige dieser Actionen der Nadel eine merkliche und beobachtbare Ablenkung einprägen müsse. Man muß daher einen dieser Stöße isoliren, um dessen Effect kennen zu lernen. Das ist mir folgendermaßen gelungen.

Auf eine Glasscheibe von 84 Centim. Durchmesser ist ein Streifen Zinnfolie von einem Millimeter Breite geklebt, so daß er sich als Radius vom Umfang zum Mittelpunkt erstreckt; hier steht er in Verbindung mit einem kreisrunden, breiteren Streifen, welcher die Rotationsaxe umgiebt. Gesetzt nun, die Scheibe drehe sich ei: Mal in der Secunde, und die Enden einer elektrischen Kette drücken mittelst einer Feder, das eine in fortwährender Berührung auf den centralen Streifen, das andere auf die Glasscheibe nahe am Umfang. Im Moment, da der millimeterbreite Streifen unter letzteres tritt, findet Schließung der Kette statt, und die Dauer des Stroms wird genau gleich seyn der Durchgangsdauer des Streifens, d. h. gleich $\frac{1}{2275}$ Secunde, wenn man nahe am Umfang berührt, $\frac{1}{11375}$ Secunde, wenn es in der Hälfte des Radius geschieht u. s. w.

Macht die Scheibe zwei, drei, vier Umgänge in der Secunde, so erhält man Durchgänge von zwei, drei, vier Mal geringerer Dauer.

Als ich nun den Versuch machte, fand ich, daß eine gewöhnliche Daniell'sche Batterie von sechs Elementen, in die etwa 40 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter eingeschaltet waren, einen so starken Strom gab, daß die von ihm während $\frac{1}{2275}$ Secunde ausgeübte Wirkung die Nadel eines wenig empfindlichen Galvanometers um 12° ablenkte. Die Nadel gebrauchte zur Durchlaufung dieses Bogens etwa 10 Secunden; also war die rasche Wirkung zwischen den elektrischen und magnetischen Fluidis, die während $\frac{1}{2275}$ Secunde geschah, hier in eine 50000 Mal langsamere Bewegung verwandelt worden, sobald sie in die wägbare Substanz der Nadel überging.

Das Galvanometer des Hrn. Melloni besitzt eine gegenwärtig allen Physikern bekannte Empfindlichkeit; sie ist verschieden nach den Instrumenten, kann indefs als Vergleichspunkt dienen, sobald es sich nur darum handelt, eine angenäherte Idee von den elektrischen Wirkungen zu geben. Eins dieser Instrumente gab 15° Ablenkung, als man den Strom eines einzigen Daniell'schen Elements, in welches ungefähr 20 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter Dicke eingeschaltet war, während $\frac{1}{1000}$ Secunde auf dasselbe wirken ließ. Mit diesem Instrument kann man also ohne Mühe ein Zehntausendstel einer Secunde wahrnehmen.

Begreiflich hat man hier zu bestimmen, nach welchen Gesetzen die Ausschlagsweite in demselben Instrument mit der Stromstärke und der Berührungsdauer variire; diese Gesetze lassen sich aus verschiedenen theoretischen Betrachtungen herleiten; jedoch ist es nöthig sie durch genaue Versuche zu prüfen. Unterdefs habe ich mich begnügt, das von mir angewandte Instrument empirisch zu graduiren, d. h. eine Tafel zu entwerfen, die die Ausschläge desselben unter Einfluß eines bekannten Stroms von bestimmter Dauer angiebt. Ist diese Graduierung einmal gemacht, so wird das Galvanometer gleichsam ein ballistisches Pendel, welches die Zeit angiebt, während der derselbe Strom seine Wirkung ausübt.

Unter den Anwendungen, die ich bisher habe machen können, will ich nur eine anführen: die in Betreff der Geschwindigkeit der Entzündung des Schiefspulvers.

Der Versuch wird folgendermaßen eingerichtet. Von den beiden Enden einer Kette, in welcher ein Galvanometer und ein Daniell'sches Element enthalten, ist das eine an der auf die Pfanne gesteckten Zündkapsel, und das andere an dem Hahn befestigt, beide wohl isolirt vom Lauf; ein Theil des Schließdrahts geht in einiger Entfernung vor dem Lauf des Geschützes vorüber, so dafs er von der Kugel, im Moment ihres Herausfliegens,

zerrissen wird. Diefes ist der ganze Apparat. Schiefst man ab, so erfolgt ein Strom, von der Zeit an, wo der Hahn auf die Kapsel schlägt, bis zu der, wo die Kugel den Draht zerreißt. Bei verschiedenen Versuchen mit derselben Pulverladung sind die Ausschläge vollkommen übereinstimmend. Die Beobachtungen machen sich mit größter Leichtigkeit und mit der angewandten Ladung sind die äußersten Werthe $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{1000}$ Secunde für die Zeit, die zwischen dem Aufschlagen des Hahns und dem Zerreißen des Drahts durch die Kugel verstreicht.

Verändert man die Ladung, indem man Pulver von verschiedener Beschaffenheit und Geschütze mit gewöhnlichem oder gezogenem Laufe nimmt, so wird man leicht in allen Fällen die erwähnte Zeit bestimmen können.

Um dasselbe Princip auf die Untersuchung der Geschwindigkeit eines Geschosses in verschiedenen Punkten seiner Bahn anzuwenden, brauchte man nur in dieser Bahn ein System von Seidenfäden und weiterhin ein System von Leitdrähten anzubringen, so daß, wenn das Geschos den Seidenfaden zerreißt, dasselbe die Kette schließt, und wenn es den Leitdraht zerreißt, dieselbe öffnet; der beobachtete Ausschlag wird die Zeit zwischen beiden Momenten angeben. Nur die nöthige Zeit zum Abspannen der Feder, welche im Moment des Zerreißen der Seidenfäden die Kette schließt, ist noch in Rechnung zu nehmen. Diese Zeit bestimmt sich aber sehr leicht, wie man auch die Zeit des Stosses elastischer Körper bestimmen kann. Dieselbe ist sehr kurz. Bei Versuchen, die ich anstellte, schwankte sie zwischen $\frac{1}{10000}$ oder $\frac{1}{100000}$ Secunde.

Das Princip, von dem ich hier eine Idee gegeben, um die Physiker darauf aufmerksam zu machen, ist nicht bloß zur Messung der Dauer der schnellsten mechanischen Wirkungen geeignet, sondern kann, ich hoffe, als Mittel zur Messung der Intensität elektrischer Ströme selbst von großem Nutzen seyn, vor allem bei den so

genannten *instantanen* Strömen, d. h. denen, die durch gemeine Elektricität und durch Induction erzeugt werden.

Die genaue Graduierung des Galvanometers erfordert sehr gleichförmige Rotationsgeschwindigkeiten. Ohne Zweifel kann man diese Gleichförmigkeit durch ein Uhrwerk erreichen; allein ich bin zu glauben geneigt, daß man sie leichter mittelst einer zweckmäfsig eingerichteten elektromagnetischen Maschine erlangen wird, und das ist vielleicht der unmittelbarste Dienst, den man von diesen Maschinen erwarten darf ¹⁾.

IX. *Ueber einen Apparat zur Messung der Geschwindigkeit eines Geschosses in verschiedenen Punkten seiner Bahn;*

von *Hrn. L. Breguet.*

(*Compt. rend. T. XX p. 157.*)

Der Aufsatz, den neulich Hr. Pouillet in der Academie über die Anwendung der Elektricität als Mittel

- 1) Veranlaßt durch Hr. Pouillet's Aufsatz hat kurz hernach Herr Baudrimont eine rotirende Scheibe oder Welle mit darauf tupfendem Stifte als directes Mittel zur Messung kleiner Zeittheile vorgeschlagen (*Compt. rend. T. XIX p. 1454*); allein dieser Vorschlag ist nicht neu, schon von Dupré bei seiner Fallmaschine angewandt (*Annal. Bd. 58 S. 466*), und, wie Hr. Poncelet berichtet, noch früher, nämlich 1830, von Hr. Morin bei seinen Versuchen über die Reibung benutzt (*Compt. rend. T. XX p. 2*). Im Grunde kommt auch das Mittel, dessen sich im vorigen Jahrhundert der Ritter d'Arcy, und in neuerer Zeit (1829) Hr. Plateau (*Annalen, Bd. 20 S. 304*) zur Messung der Dauer von Lichteindrücken bedienten, auf dasselbe Princip zurück. — Bei dieser Gelegenheit erlaube ich mir noch zu bemerken, daß ein dem Pouillet'schen sehr analoges Verfahren hier bereits im vorigen Sommer vom Hr. Hauptm. Hartmann zur Messung der Geschwindigkeit von Geschossen angewandt worden ist. P.