Wenn es mir gelungen ist, durch die vorliegende Arbeit einen neuen factischen Stützpunkt für künftige Theorien darzubieten, so sehe ich mein Ziel als vollkommen erreicht an.

Physikalisches Universitäts-Laboratorium,
Moskau, October 1875.

III. *Versuche über elektrische Uhren;* *von Dr. Joseph Brunn,*

Rector der höheren Lehranstalt in Opladen.

Die im Nachfolgenden beschriebenen Versuche bilden die Fortsetzung von Experimenten, welche ich auf der Berliner Sternwarte an einem von Tiede angefertigten elektrischen Pendel theils zu machen, theils zu beobachten Gelegenheit hatte. Es ist deshalb geboten, zunächst das genannte Pendel kurz zu beschreiben, zumal das in §. 2 angeführte elektrische Pendel in wesentlichen Theilen seiner Construction sich an das Tiede'sche anschließt.

§. 1. Elektrisches Pendel von Tiede.

Dieses Pendel wurde im Jahre 1864 von Tiede für die Sternwarte zu Berlin angefertigt. Dasselbe, ein Sekundenpendel, schwingt in einem hermetisch verschlossenen Glascylinder unter constantem Luftdruck, durch welche Einrichtung der Einfluß der Barometerschwankungen auf seinen Gang aufgehoben werden soll. Das Pendel wird mit Hülfe des elektrischen Stromes in Bewegung gehalten, so jedoch, daß (theoretisch wenigstens) die Variationen der Stromstärke keinen Einfluß auf seinen Gang haben. Fig. 1, Taf. V giebt eine *schematische* Abbildung des Mechanismus, welcher das Pendel in Schwingung erhält.

Auf einer starken messingenen Platine MN sind zwei Elektromagnete, E und E' , befestigt. Die Anker derselben, A und A' , sind durch einen messingenen Hebel TT' mit einander verbunden. Dieser Hebel ist drehbar um eine Axe F , welche senkrecht zur Ebene der Figur steht. Die Bewegung des Ankerträgers TT' ist beiderseits begränzt durch die Schrauben C und C' . Bei I und I' sind zwei kleine Lamellen von Messingblech, L und L' , *isolirt von der Platine* befestigt. Diese Lamellen sind bei I und I' sehr leicht drehbar gemacht dadurch, daß zwei kleine Stückchen vom feinsten Pendelstahl an I und L resp. I' und L' angeklemt sind. Diese feinen Stahlblättchen, deren Federkraft verschwindend klein ist, bilden die leitende Verbindung zwischen L und I resp. L' und I' . Die beiden Lamellen L und L' liegen in der Figur auf zwei Schrauben S und S' , deren Spitzen jedoch durch eingesetzte Rubinsteinen von den Lamellen isolirt sind. Die Muttern dieser Schrauben sind durch Messingarme V und V' fest mit dem Hebel TT' verbunden. Das Pendel GP (an Federn aufgehängt) hat seinen Drehungspunkt bei G . Mit dem oberen Ende der Pendelstange ist fest verbunden ein messingener Arm, welcher an seinen Enden die Schrauben B und B' trägt. Dieselben sind an ihren Spitzen mit Contacten versehen und legen sich mit diesen gegen die an der Berührungsstelle ebenfalls mit Contacten versehenen Lamellen L und L' . Die Contacte sind, der größeren Dauerhaftigkeit wegen, aus den diamantharten Körnern von Osmium-Iridium geschliffen. Die Verbindung der einzelnen Theile des Apparates untereinander und mit den Polen K und Z der Batterie durch Leitungsdrähte ist aus der Figur ersichtlich.

Das Pendel wird nun mit Hülfe des elektrischen Stromes in folgender Weise in Bewegung erhalten. Ist dasselbe aus seiner Ruhelage nach links abgewichen, so legt sich die Schraube B mit ihrem Contacte gegen die Lamelle L , und der Strom circulirt in folgender Weise. Von dem Kupferpole K der Batterie geht er bei H an die Pla-

tine *MN*, und, da das Pendel bei *G* mit der letzteren in leitender Verbindung steht, so geht er über *G* und *B* nach *L* und *I*, von *I*, welches von der Platine isolirt ist, durch einen angesetzten Leitungsdraht um den Elektromagnet *E* und zum Zinkpole *Z* der Batterie. Der Elektromagnet *E* wird hierdurch veranlaßt, seinen Anker *A'* anzuziehen, und der bei *F* drehbare Hebel *TT'* legt sich so; daß er bei *T'* die Schraube *C'* berührt und bei *T* sich von der Schraube *C* entfernt. *Es muß also auch die an TT' befestigte Schraube S sich senken*, während aus demselben Grunde die Schraube *S'* und mit ihr die aufliegende Lamelle *L'* gehoben wird. Schwingt nun das Pendel von links nach rechts und kommt in der Nähe der Mitte seines Schwingungsbogens an, so legt sich die Lamelle *L* auf die Rubinspitze der Schraube *S*, und da sie bei weiter schwingendem Pendel nicht mehr auf der Spitze der Schraube *B* liegen bleiben kann, so wird der Contact zwischen *B* und *L* unterbrochen. In diesem Augenblicke berührt die Spitze von *B'* die Lamelle *L'* und der Strom circulirt jetzt um den Elektromagnet *E*. Derselbe zieht seinen Anker *A* an und bringt dadurch den Hebel *TT'* in eine solche Lage, daß *T* sich gegen *C* legt und *T'* sich von *C'* entfernt. Es senkt sich somit auch die mit *TT'* fest verbundene Schraube *S'* (während sich die Schraube *S* hebt und mit ihr die aufliegende Lamelle *L*). Schwingt das Pendel wieder von rechts nach links, so kommt in der Nähe der Mittellage die Lamelle *L'* wieder mit der Rubinspitze von *S'* in Verbindung, und der Contact zwischen *B'* und *L'* wird bei weiterschwingendem Pendel unterbrochen. In diesem Augenblicke wird der Contact zwischen *B* und *L* wiederhergestellt, und das Spiel beginnt von Neuem.

Wodurch wird nun die verlorene Bewegung des Pendels ersetzt? Geht die mit der Pendelstange fest verbundene Schraube *B* hinauf, so trifft sie die Lamelle *L*, welche auf der Schraube *S* in deren höchster Stellung liegt. Es ruht nämlich dann *T* gegen *C*, und *S* hat die Lamelle *L* gehoben. Geht die Schraube *B* darauf hinunter, so hat

unterdessen der Elektromagnet E' den Hebel TT' umgelegt, und es liegt die mit TT' fest verbundene Schraube S in ihrer tiefsten Stellung. Es wird nun die Berührung der Lamelle L und der Schraube B nicht eher aufgehoben, als bis erstere die Schraube S , d. h. ihre eigene tiefste Stellung erreicht. Sie liegt also beim Hinuntergange von B ein wenig länger auf dieser Schraube als beim Hinaufgange. Durch das Gewicht der Lamelle wird folglich der Schraube B bei ihrem Hinuntergange ein kleiner Druck ertheilt. In derselben Weise wirkt L' auf B' . Durch diesen geringen Druck, den die vielleicht $\frac{1}{2}$ Grm. schweren Lamellen L und L' auf B und B' ausüben, wird das schwere Pendel in Bewegung gehalten. Die Differenz zwischen der höchsten und tiefsten Stellung von S und S' beträgt dabei nicht $\frac{1}{2}$ Millimeter.

Bei der Bewegung des Hebels TT' wirkt keine Feder mit. Das Abreißen des Ankers von seinen Elektromagneten wird vielmehr durch den zweiten Elektromagnet bewirkt. Aus diesem Grunde bedarf der Apparat, wenn er einmal regulirt ist, keiner weiteren Regulirung bei wechselnder Stromstärke. Da ferner weder der Strom selbst noch der von ihm erregte und mit ihm wechselnde Magnetismus die treibende Kraft ist, sondern vielmehr die auf die beiden Lamellen L und L' wirkende Gravitation, so ist der Gang des Pendels von der Stromstärke unabhängig. Das Pendel ist ferner compensirt und also von der Temperatur nicht beeinflusst. Auch schwingt dasselbe in einem hermetisch verschlossenen Raume unter constantem Luftdruck, und es kann dieser Druck durch eine Luftpumpe auf einen beliebigen Grad gebracht werden. Es sind also möglichst alle Einflüsse beseitigt, welche auf den Gang des Pendels störend einwirken könnten. Es war somit alle Aussicht vorhanden, ein Pendel von constanter Schwingungszeit zu erhalten.

Diese Aussichten haben sich jedoch nur zum Theil verwirklicht. Die darauf bezüglichen Untersuchungen sind von Hrn. Director Prof. Förster in den Astronomischen Nachrichten und in den Berichten der Berliner Sternwarte

mitgetheilt. An dieser Stelle soll nur das angeführt werden, was sich auf den elektrischen Theil des Apparates bezieht.

Zunächst ist das Pendel nicht ganz unabhängig von der Stromstärke, indem bei wachsender Stromstärke der Schwingungsbogen ein wenig zunimmt. Wahrscheinlich liegt der Grund in Folgendem: Je größer die Differenz ist zwischen der höchsten und tiefsten Lage der Schraube S (oder S'), desto länger währt der Druck, den die Lamelle L (oder L') auf das Pendel ausübt, und desto größer wird also der Schwingungsbogen. Nun aber wird, wenn beispielsweise E seinen Anker A anzieht und T gegen C sich legt, eine mit wachsender Stromstärke zunehmende *Durchbiegung* des Hebels TT' eintreten, wodurch dann zugleich eine größere Differenz zwischen den beiden Lagen von S (oder S') bedingt ist. Es würde diese Abhängigkeit wegfallen, wenn die Schrauben C und C' , an starken Armen befestigt, zwischen den Schenkeln der Elektromagnete E und E' direct den Druck der Anker A und A' empfangen. Dafs der angegebene Grund der richtige ist, haben Versuche an meinem unten beschriebenen Pendel mehr als wahrscheinlich gemacht.

Ein anderer Mangel liegt in dem Umstande, dafs, wie oben bemerkt, keine Feder zum Abreißen der Anker vorhanden ist. Es giebt nämlich in der Mittellage des Pendels einen Augenblick, wo, je nach der Stellung der Schrauben B und B' , der Strom entweder durch beide Elektromagnete gleichzeitig oder durch keinen derselben circulirt. In diesem Augenblicke ist die Stellung des Hebels TT' , da er entweder von keinem oder beiden Elektromagneten gleichzeitig angezogen wird, keine feste, sondern eine labile; er wird nicht mehr fest gegen eine der beiden Schrauben C oder C' gedrückt. Da nun diese Schrauben die Contacte für die elektrischen Zifferblätter bilden so wird wegen Mangels einer genügenden Stromschliessung eine Störung in diesen Zifferblättern leicht eintreten können. Diesen Mangel hat Prof. Förster ge-

hoben durch zwei permanente Magnete, welche unter den Ankern *A* und *A'* angebracht sind. Vielleicht wäre derselbe Zweck erreicht worden dadurch, daß man die Anker selbst von hartem Stahl genommen und magnetisirt hätte.

Eine weit wesentlichere Störung wurde, wenigstens so lange ich Gelegenheit hatte, das Pendel persönlich zu beobachten, durch die Oxydation der vier elektrischen Contacte an *B*, *B'*, *C* und *C'* hervorgerufen. Durch den in den Spiralen der Elektromagnete erzeugten Extrastrom wird nämlich bewirkt, daß bei der Oeffnung der Contacte an der Unterbrechungsstelle ein intensiver Funke überspringt, dessen zerstörender Wirkung bis jetzt kein Metall widerstehen konnte. Die zur Paralysisirung dieser Verbrennung ersonnenen Mittel mögen hier etwas eingehender besprochen werden.

§. 2. Mittel gegen die Verbrennung der Contacte.

An einer Pendeluhr, welche der bekannte Verfertiger astronomischer Uhren, Tiede in Berlin, an seinem Hause aufgehängt hatte, war zum Betriebe eines elektrischen Zifferblattes ein Quecksilbercontact angebracht, von der Form, in der er zuerst von Krille in Altona construirt wurde. Da bekanntlich das Quecksilber sehr leicht oxydirt wird, so wäre es eine Unmöglichkeit gewesen, mit Hülfe desselben ein Secunden zeigendes elektrisches Zifferblatt auf längere Zeit in geordneter Bewegung zu erhalten, wenn nicht eine besondere Vorrichtung zum Schutze des Contactes angebracht worden wäre. Tiede verfiel auf den Gedanken, mit den Contactenden die Pole eines Condensators in Verbindung zu setzen. Dieser Condensator ist von der Form, wie er jetzt allgemein an größeren Inductionsapparaten gebräuchlich ist. Es sollten dadurch die an der Unterbrechungsstelle sich anhäufenden Elektricitäten veranlaßt werden, sich in den Platten des Condensators wechselseitig zu binden. Wurde außerdem noch ein ganz schwacher Strom benutzt, so war Aussicht vorhanden, den Funken vollständig verschwinden zu sehen.

Diese Anordnung war in der That von Erfolg gekrönt. In den Strom eines Zink-Kupfer-Elementes, welcher durch diesen Quecksilbercontact jede Secunde geschlossen wurde, war ein Relais eingeschaltet, dessen Contact ebenfalls mit einem Condensator versehen war. Durch dieses Relais wurde ein zweiter Strom geschlossen, in dessen Kreis sich ein elektrisches Zifferblatt befand. Beinahe täglich hatte ich Gelegenheit die Vorrichtung zu beobachten. Das Zifferblatt ging, ehe es abgenommen wurde, ein ganzes Jahr lang, ohne einen Fehler zu machen. Das Quecksilber des Contactes blieb immer glänzend rein.

Es ist übrigens dieses das einzige mir bekannte Beispiel, daß ein Condensator elektrische Contacte *vollständig* vor Verbrennung bewahrt hat. Auch bei dem in §. 1 beschriebenen Pendel waren Condensatoren angebracht. Dieselben haben jedoch — wenigstens so weit meine persönliche Beobachtung reicht — nur eine Zeit lang die Contacte rein zu erhalten vermocht. Auch bei einer elektrischen Uhr auf der Sternwarte zu Münster mit Krille'schem Contacte wurde das Quecksilber trotz des Condensators von Zeit zu Zeit oxydirt gefunden. Der elektrische Funke, welcher bei mangelndem Condensator bei jeder Unterbrechung des Stromes auftritt, verschwindet zwar augenblicklich, sobald ein solcher angebracht wird, jedoch tritt von Zeit zu Zeit, vielleicht durch Restladungen des Condensators veranlaßt, ein solcher Funke auf. Natürlich wird dadurch allmählich eine Oxydation des Contactes bewirkt.

Um den Elektricitäten des Extrastromes Gelegenheit zu geben, sich direct auszugleichen, wurde auf meine Veranlassung ein anderes Mittel versucht. Es wurden nämlich (Fig. 2, Taf. V) mit den beiden von der Spirale *S* des Elektromagnets kommenden Leitungsdrähten die Platindrähte *P* und *P'* verbunden, welche in eine mit schwach angesäuertem Wasser gefüllte Röhre *W* tauchten. Der Strom theilt sich dann zwischen dieser „Wasser-röhre“ *W* und der elektrischen Spirale *S*. Da jedoch der

Widerstand dieser Röhre gegen den der Spirale sehr groß ist, so wird der durch die Spirale gehende Strom nur wenig geschwächt. Beim Erlöschen des Stromes in der Leitung können die entgegengesetzten Elektricitäten des Extrastromes, welcher in der Spirale S entsteht, sich durch die Wasserröhre W auf dem Wege PP' ausgleichen.

Beim Einschalten einer solchen Wasserröhre verschwindet der Funke an der Contactstelle ebenfalls augenblicklich, aber auch bei dieser Vorrichtung bleibt der Contact auf die Dauer nicht rein. Wahrscheinlich machen die an den Platindrähten auftretenden dünnen Schichten von Wasserstoff und Sauerstoff den Widerstand so groß, daß ein Durchgehen des Extrastromes unmöglich ist, oder vielmehr, daß er den kurzen „Luftsprung“ an der Contactstelle in Form eines Funkens vorzieht.

Ich versuchte darauf die Wasserröhre durch einen Widerstand anderer Art zu ersetzen. Ein langer und dünner, mit Seide besponnener Draht wurde in der Mitte zusammengebogen, und die beiden parallelen Hälften wurden dann nebeneinander auf eine Spule gewickelt. Ging durch diese „doppeltgewickelte“ Spule dann ein Strom, so durchlief er je zwei nebeneinander liegende Windungen in entgegengesetzter Richtung, und die in derselben entstehenden Extraströme mußten sich gegenseitig aufheben. Wurde diese Spirale an Stelle der Wasserröhre eingeschaltet, so war der Erfolg genau derselbe. Der Funke verschwand, aber der Contact blieb nur eine Zeit lang rein.

Später habe ich an einem kleinen Inductionsapparate, welcher keinen Condensator hatte, den Versuch gemacht, den letzteren durch eine *einfache* Leitung von großem Widerstande zu ersetzen. Dieselbe sollte mit den beiden Enden der primären Spirale verbunden werden. Ich nahm dazu einen Bleistift, dessen Graphitprisma diesen Widerstand bieten sollte. Da aber gleich die ersten vorläufigen Versuche ein ungünstiges Resultat gaben, so wurden die-

selben nicht weiter fortgesetzt. Als ich mir später ein elektrisches Pendel construirte, welches im folgenden §. beschrieben werden soll, wurde an demselben ein neues Mittel gegen die zerstörenden Wirkungen des Extrastromes in Anwendung gebracht. Dasselbe hatte anfangs einen fast vollständigen, später einen ganz durchschlagenden Erfolg. Das Nähere darüber im folgenden Abschnitt.

§. 3. Elektrisches Normalpendel.

Der Name „Normalpendel“ soll nicht etwa andeuten, es sey das hier zu beschreibende Pendel so gut gelungen, daß man es zum Zwecke genauester Zeitbestimmung unbedenklich verwerthen könnte. Es soll vielmehr dieser Name gebraucht werden, um es zu unterscheiden von den weiter unten zu beschreibenden „secundären“ Pendeln, welche mit diesem „Normalpendel“ übereinstimmend schwingen müssen.

Die Oxydation der Contacte beim Tiede'schen Pendel veranlaßte mich, an einem Pendel, welches ich im Sommer des Jahres 1873 construiren wollte, die Zahl der Contacte bis auf einen einzigen zu verringern und dann nach Mitteln zu suchen, diesen einzigen Contact rein zu erhalten. Nachdem ich mich durch ein Versuchsmodell von der Ausführbarkeit überzeugt hatte, wurde der Apparat construiert. Derselbe wurde zwar später wegen wesentlicher Mängel wieder umgebaut. Nichts desto weniger habe ich denselben wegen der Uebersichtlichkeit der einzelnen Theile im Folgenden beschrieben.

An einem starken, in das Grundbrett eingelassenen Messingprisma *H* (Fig. 3, Taf. V) ist an zwei stählernen Federn das Pendel *P* aufgehängt, welches jede Schwingung in $\frac{1}{3}$ Secunde macht. Durch den Zwischenraum der beiden Federn geht frei hindurch die leichte Lamelle *L*. Dieselbe ist an das auf dem Grundbrette festgeschraubte Messingstück *T* durch ein eingeklemmtes Stückchen feinsten Pendelstahls befestigt, so daß sie einerseits mit *T*.

leitend verbunden, andererseits leicht bei *J* drehbar ist. Die Pendelstange trägt bei *B* einen horizontalen Arm *BD*, durch dessen Ende eine Schraube *S* geht. Diese trägt an ihrem obern Ende eine Platinspitze und legt sich bei *M* gegen ein aufgelöthetes Platinstückchen der Lamelle *L*. Ein dreimal rechtwinklich gebogener Hebel *URVWX* ist bei *R* um eine zur Ebene der Zeichnung senkrechte Axe drehbar. Derselbe trägt den Anker *A* des Elektromagnets *E*, ist bei *V* mit einer durch die Schraube *G* regulirbaren Abreißfeder *F* versehen und wird bei *X* von der Schraube *O* durchbohrt. Die Bewegung des Hebels ist bei *U* durch die beiden Schrauben *C* und *C'* begrenzt.

Das Pendel wird in gleicher Weise wie das in §. 1 beschriebene Tiede'sche in Bewegung erhalten. Bewegt sich das Pendel nach der rechten Seite, so legt sich die Schraube *S* gegen den Contact *M* der Lamelle *L*, und der Strom circulirt in folgender Weise. Von dem Kupferpole *K* der Batterie geht er über *H* durch die Aufhängungsfedern des Pendels, den Arm *BD*, die Schraube *S*, den Contact *M*, die Lamelle *L* nach *T*, von dort durch die Spirale des Elektromagnetes *E*, sowie durch die Spiralen *Y* der etwa eingeschalteten „secundären“ Uhren¹⁾ und kommt über *G* zum Zinkpole *Z* der Batterie zurück. In Folge dessen wird der Anker *A* durch den Elektromagnet *E* angezogen, und der um *R* drehbare Hebel *URVWX*, welcher bei geöffnetem Stromkreise durch die Spiralfeder *F* bei *U* gegen *C* gedrückt wurde, legt sich an dieser Stelle gegen die Schraube *C'*. Es muß sich also das Ende *X* mit seiner Schraube *O* nach unten bewegen. Wenn nun das Pendel sich von rechts nach links bewegt, so wird die durch *S* gehobene Lamelle *L* sich immer mehr der Schraube *O* nähern. Wenn sie dieselbe erreicht, so wird, weil das Pendel weiterschwingt, der Contact bei *M* geöffnet. Der Elektromagnet hört auf,

1) Sind keine secundären Uhren eingeschaltet, so geht der Strom durch einen in der Figur durch Punkte angedeuteten Verbindungsdraht von *E* nach *G*.

den Hebelarm RU anzuziehen, und die Feder vermag nun den unteren Hebelarm $RVWX$ mit der Schraube O und der Lamelle L zu heben. Es liegt also auch hier, wie bei dem Tiede'schen Pendel, die Lamelle L beim Hinabgehen der Schraube S , ein wenig länger auf derselben als beim Hinaufgehen, und der in Folge dessen auf S ausgeübte geringe Druck genügt, um das Pendel in Bewegung zu setzen.

Bei dem vorläufigen Versuchsmodell wurde der Contact zwischen S und L ohne Vermittelung eines edlen Metalles einfach durch Messing hergestellt. Wie zu erwarten war, wurden die sich berührenden Metalltheile durch Oxydation schon nach kurzer Zeit zur Leitung des Stromes unfähig, und das Pendel blieb stehen. Trotzdem wurde die Anfertigung des definitiven Apparates in Angriff genommen. An diesem sollten die Contactenden von Platin gemacht werden. Noch ehe dasselbe fertig war, versuchte ich es, in einer von meinen bisherigen Versuchen ganz abweichenden Weise, die zerstörenden Wirkungen des Extrastromes zu paralysiren. Die bisherigen Versuche hatten, wie mir schien, deshalb einen ungünstigen Erfolg gehabt, weil der Weg, den die Elektricitäten des Extrastromes zu ihrer Ausgleichung nehmen mußten, einen zu großen Widerstand bot. Ich versuchte deshalb in dem Augenblicke, in welchem der Strom bei M unterbrochen wird, einen neuen Contact herzustellen, so zwar, daß bei Schließung desselben die Spiralen der in den Strom eingeschalteten Elektromagnete einen in sich vollständig geschlossenen metallischen Kreis bildeten. Es leuchtet ein, daß in diesem geschlossenen Kreise der Extrastrom verschwinden muß, und daß ferner, da der Contact keinen nennenswerthen Widerstand bietet, ein Ueberspringen des Funkens an der Unterbrechungsstelle verhindert wird.

Von vorn herein lag es nahe, zur Herstellung dieses Contactes, den ich als den „*Extrastromcontact*“ bezeichnen möchte, die Berührungsstelle der Schraube O und der Lamelle L bei N zu benutzen. An dem schon genannten Versuchsmodelle wurde der von dem Elektromagnete E

kommende Draht, wie schon in der Zeichnung Fig. 3, Taf. V angedeutet ist, mit *G* metallisch verbunden und von *G* weiter nach *Z* geführt. Die Wirkung dieser Verbindung ist nun folgende: In dem Augenblicke, wo sich die Lamelle *L* auf *O* legt, wird der „Stromcontact“ bei *M* geöffnet. In demselben Augenblicke wird durch Berührung zwischen *L* und *O* der „Extrastromcontact“ bei *N* geschlossen. Die Spirale *E*, sowie die Spiralen *Y* sämtlicher in den Strom eingeschalteten Elektromagnete, bilden einen geschlossenen metallischen Kreis. Die Electricitäten des Extrastromes gleichen sich also aus auf dem Wege *G* durch die Feder *F* nach *V*, *W*, *O*, *N*, *I*, *T* über *E* und *Y* wieder nach *G*.

Als die genannte Verbindung an dem Hilfsmodelle hergestellt war, verschwand alsbald der Funken bei *M*. Um die Wirkung dieser Verbindung besser verfolgen zu können, wurden die (messingenen) Contactstellen frisch gereinigt und das Pendel in Gang gesetzt. Anstatt wie früher nach einigen Stunden seine Thätigkeit einzustellen, ging es jetzt ohne Unterbrechung mehrere Tage. Jedoch wurden beide Contactstellen bei *M* und *N* allmählich oxydirt, und nach einigen Tagen kamen Fehler vor, welche einen mangelhaften Contact bei *M* andeuteten. Diese Oxydation der Contacte ist jedoch leicht zu erklären. Da sich in einem bewohnten Zimmer überall Wasserdämpfe niederschlagen, also auch bei *M* und *N*, so bildet sich an diesen Contactstellen eine dünne Wasserschicht, welche bei *M* durch den primären Strom, bei *N* durch den Extrastrom zersetzt wird. Wahrscheinlich hat auch der primäre Strom an der Zersetzung bei *N* seinen Antheil. Sind nämlich vor der Unterbrechung des Stromcontactes bei *M* die beiden Contacte *M* und *N* auch nur auf einen Augenblick *gleichzeitig* geschlossen (wie es factisch der Fall ist), so circulirt der Strom über *H*, *B*, *D*, *M*, *N*, *O*, *W*, *V*, *F*, *G* nach *Z*. Voraussichtlich mußten Platincontacte die Oxydation verhindern.

An dem unterdessen beinahe fertig gestellten definiti-

ven Apparate wurden deshalb bei *M* und *N* Platincontacte angebracht. Dieselben hielten sich, wie es schien, vortrefflich, indem das Pendel ohne Störung mehrere Monate hindurch im Gange blieb. Inzwischen waren zwei secundäre Uhren in den Strom eingeschaltet, so daß derselbe drei Elektromagnete enthielt. Wurde die Verbindung des Drahtes mit *G* unterbrochen, wodurch der Extrastrom-contact außer Wirksamkeit kam, so sprangen bei *M* lebhaft Funken über. Auch eine physiologische Wirkung des Extrastromes war deutlich merkbar, wenn man zwei Finger an die entsprechenden Drähte legte. Wurde dann die Verbindung bei *G* wieder hergestellt, so waren damit die Funken verschwunden, und nicht die geringste physiologische Wirkung war zu verspüren.

Obgleich wie schon bemerkt, die Contacte sich mehrere Monate hielten, ohne einer Reinigung zu bedürfen, so war doch allmählig eine *schwache* Oxydation der ursprünglich ganz blanken Platinstückchen eingetreten. Der Grund wurde natürlich in der nicht vollständig aufgehobenen Wirkung des Extrastromes gesucht. Es trat auch in der That von Zeit zu Zeit ein schwacher Funke bald bei *M*, bald bei *N* auf. Zuerst sah ich einen solchen, als ich eines Abends bei eintretender Dunkelheit zufällig meinen Blick auf das Pendel richtete. Seit jener Zeit habe ich denselben häufiger im Dunkeln beobachtet. Bei hellem Tageslicht waren die schwachen Funken nicht zu bemerken. Den Grund für das Erscheinen derselben erkannte ich bald in der mangelhaften Construction des Apparates. Einmal war nämlich die Verbindung zwischen dem an *G* geleiteten Drahte und der Schraube *O* keine sichere, weil die Spiralfeder *F* an *G* und *RV* nur durch Haken befestigt war, dann aber auch wurde das freie Ende *X* des langen Hebelarmes *RVWX* bei jedem Anschlage des Endes *U* an *C* in vibrirende Bewegung versetzt. Dieser letztere Umstand hatte zur Folge, daß die Verbindung zwischen *O* und *N* keine beständige war, weil durch die Vibration die Schraube *O* leicht von *N* entfernt

werden konnte. Da sich außerdem noch andere Mängel in den Details der Construction zeigten, so beschloß ich, den Apparat ganz umzubauen.

Der neue Apparat ist in Fig. 4, Taf. V abgebildet. In demselben ist der lange Hebel $URVWX$ (Fig. 3) des alten Apparates ersetzt durch den geraden einarmigen Hebel IU (Fig. 4). Derselbe ist vermittelt einer Feder I aus dünnem, sehr hart geschlagenem Messingblech zwischen die beiden Hälften des Messingprismas R eingeklemmt. Diese Feder vertritt erstens die Drehungsaxe des Hebels IU und liefert zweitens durch ihre Spannung die Kraft, welche den an IU befestigten Anker A von seinem Elektromagnete E abreißt. Um der Feder I die dazu nöthige Spannung zu geben, ist das Messingprisma R um eine Axe senkrecht zur Ebene der Zeichnung drehbar, und seine Drehung geschieht vermittelt des Armes R' und der Schraube Q . Das Ende U des Hebels IU ist in seiner Bewegung begränzt durch die beiden Schrauben C und C' , und da der Extrastromcontact N in der Nähe der Schraube C angebracht ist, so kann er nicht mehr in vibrirende Bewegung gerathen. Die beiden Schrauben C und C' haben ihre Muttern in einem sehr soliden Messingstück. Ihr Abstand kann sich deshalb nicht mehr in Folge der Durchbiegungen ändern, wie es bei dem frühern Apparate der Fall war. Der Hebel IU geht, ebenso wie die Lamelle L frei durch den Zwischenraum der Aufhängungsfedern des Pendels P hindurch. Der Stromcontact wird gebildet durch die Schraube S , welche durch eine hinlänglich weite Oeffnung des Hebels IU frei hindurch geht, und durch ein Platinstück M , der Extrastromcontact durch einen mit IU fest vernieteten Platinstift und ein an L befestigtes Platinstück N . Der Elektromagnet E ist auf einem Schlitten befestigt und läßt sich durch eine Schraube F seinem Anker A beliebig nähern. Der etwas schief abgefeilte Anker sitzt nicht fest auf IU , sondern auf einer darunter liegenden starken Messingfeder, welche an der rechten Seite mit IU ver-

nietet ist. Auf der linken Seite legt sich diese Feder gegen eine bei *I* befindliche Schraube, durch deren Hülfe sich der Anker den Polflächen des Elektromagnets parallel stellen läßt. Die übrigen Theile des Apparates bedürfen keiner weiteren Erklärung.

Bei diesem Apparate, der jetzt, kurze Unterbrechungen abgerechnet, ungefähr $1\frac{1}{2}$ Jahre in Thätigkeit ist, bleiben die Contacte *vollständig rein*, und es ist selbst durch die Lupe keine Spur von Oxydation zu bemerken. Einen Funken habe ich, trotz wiederholter Aufmerksamkeit im Dunkeln, weder bei *M* noch bei *N* je gesehen. Der Stromcontact hat, so lange die Batterie in Ordnung war, nie versagt. Die Abnutzungen, welche die Contacte noch zeigen, sind rein mechanischer Natur, veranlaßt durch das gegenseitige Reiben der beiden Theile, die sich ja nicht um denselben Mittelpunkt drehen. Jedenfalls können noch mehrere Jahre benutzt werden, ehe sie erneuert werden brauchen. Wahrscheinlich würden hier harte Metalle, wie das von Tiede benutzte Iridium gar keine Abnutzung zeigen. Der Zweck, den Contact *M* vor Oxydation zu schützen, darf also wohl als erreicht betrachtet werden.

Ein solcher Extrastromcontact kann überall da angewendet werden, wo es wünschenswerth ist, einen Stromcontact zu schonen. Soll z. B. (Fig. 5, Taf. V) der Stromcontact *M* geschützt werden, so darf man die Unterbrechung nicht dadurch herstellen, daß man den bei *A* drehbaren Hebel direct aufhebt. Dieses Aufheben muß vielmehr durch einen bei *B* drehbaren zweiten Hebel bewirkt werden, welcher bei *B* den Extrastromcontact bildet. Ist dann der Leitungsdraht in der angegebenen Weise mit *B* verbunden, so gleichen sich die Elektricitäten des Extrastromes über *A*, *N*, *C*, *B* aus. In dieser Weise könnte man bei den gewöhnlichen elektrischen Uhren, bei denen der Strom alle Minuten geschlossen wird, den Contact an der Normaluhr einrichten. Es müßte dann der Hebel *BC* durch die Uhr gehoben werden.

Wahrscheinlich wird auch an den Inductionsapparaten

der Extrastromcontact einen vollständigen Ersatz für den Condensator bilden. Doch hatte ich keine Gelegenheit, hierüber Versuche anzustellen.

Da man in neuerer Zeit bei den Uhren der Sternwarten dem Krille'schen Contacte vor andern den Vorzug zu geben scheint, weil er der Pendelbewegung ein möglichst geringes Hinderniß entgegensetzt, so möge hier erwähnt werden, daß auch bei diesem die Einrichtung des Extrastromcontactes möglich ist, dadurch nämlich, daß man zwischen die beiden Quecksilbergefäße noch ein drittes einschaltet, welches nach den beiden äußeren hin horizontale, durchbohrte Spitzen hat. Fig. 8, Taf. V giebt einen Querschnitt durch die drei Gefäße, dessen Ebene durch die horizontalen einander gegenüberstehenden Ausflußöffnungen geht. Durch die Lücken zwischen *A* und *B*, sowie zwischen *B* und *C*, schwingen Glimmerblätter. Diese sind so angebracht, daß die *untere* Kante des zwischen *A* und *B* schwingenden und die *obere* Kante des zwischen *B* und *C* schwingenden in einer horizontalen Ebene liegen. Dann wird in dem Augenblicke, wo durch Abschneiden des Quecksilberfadens zwischen *B* und *A* der Stromcontact geöffnet wird, der Extrastromcontact zwischen *B* und *C* hergestellt, so daß der in *Y* entstehende Extrastrom über *B* und *C* verschwinden kann.

Es möge an dieser Stelle noch erwähnt werden, in welcher Weise ein einfacher Stromcontact mit den elektrischen Spiralen so verbunden werden kann, daß er gleichzeitig die Stelle eines Extrastromcontactes vertritt. Die Anordnung ist aus Fig. 6, Taf. V ersichtlich. Ist der Contact bei *M* geöffnet, so geht der elektrische Strom durch die Spirale *Y*. Wird er geschlossen, so theilt sich der Strom zwischen *Y* und *MA*, und da der Widerstand zwischen *M* und *A* gegen den der Spirale *Y* als verschwindend klein zu betrachten ist, so geht (fast) der ganze Strom durch *MA*, und *Y* verliert seinen Magnetismus. Der dabei auftretende Extrastrom verschwindet auf dem Wege *BMA*. Da eine Unterbrechungsstelle hier nicht

vorhanden ist, so kann auch kein Funke auftreten. Diese Einrichtung habe ich bisher nicht durch Versuche geprüft. Man wird dieselbe aber auch in der Praxis darum nicht leicht verwenden, weil die Batterie unnützer Weise bedeutend in Anspruch genommen wird. Dieselbe ist nämlich immer geschlossen, einmal mit größerem Widerstande durch die Spirale *Y*, das andere Mal mit kleinem Widerstande über *BMA*, und diese Schließung ist für die verlangte Arbeit vollständig verloren. Doch wird diese Verbindungsweise sich eignen für solche Contacte, welche wie z. B. an Registrirapparaten nur auf kurze Zeit benutzt werden. Bringt man dann zwischen *K* und *B* oder *Z* und *A* eine Unterbrechungsvorrichtung an, so wird die Batterie nur während der kurzen Zeit des Registrirens selbst in Anspruch genommen.

Was nun die Frage angeht, ob das Pendel einen regelmäßigen Gang habe, und ob es sich für genaue Zeitmessungen z. B. auf Sternwarten eigne, so kann ich dieselbe bis jetzt noch nicht günstig beantworten. Anfangs zeigte sich eine nicht unbedeutende Abhängigkeit des Schwingungsbogens von der Temperatur. Ein solcher Einfluß hat sich auch, wenn ich mich recht erinnere, früher an dem Tiede'schen Pendel gezeigt, und es wurde dieselbe wohl mit Recht von Prof. Förster dem Umstande zugeschrieben, daß die Aufhängungsfedern sich erst mit der Zeit der Pendelbewegung vollständig anbequemen. Auch an meinem Pendel hat sich in der letzten Zeit diese Abhängigkeit nicht in auffallender Weise bemerkbar gemacht. Die Aufhängungsfedern sind provisorisch aus der dünnen Triebfeder einer kleinen Cylinder-Taschenuhr gemacht und harren noch immer der Ersetzung durch solche aus ganz feinem Pendelstahl. Letztere dürften ein weit besseres Ergebnifs liefern.

Weiterhin zeigt sich eine geringe Abhängigkeit des Schwingungsbogens von der *Stromstärke*, wenigstens bei *bedeutenden* Schwankungen derselben. Ich habe *absichtlich* solche dadurch hervorgerufen, daß ich bei der Bat-

terie den verbrauchten Kupfervitriol nicht ersetzte. Eine Abnahme der Stromstärke verräth sich schon dem Gehöre, indem der Anschlag bei *C* und *C'* (Fig. 4, Taf. V) verschiedene Stärke hat. Nimmt nun der Strom ab, so ist die Feder *I* eher im Stande, den durch die Spirale *E* hervorgerufenen resp. den im Eisenkerne remanirenden Magnetismus zu überwinden, die Lamelle *L* wird früher abgehoben und der Schwingungsbogen in Folge dessen kleiner. Hauptsächlich scheint mir jedoch ein anderer Umstand einzuwirken. Je stärker der durch *E* hervorgerufene Magnetismus ist, desto mehr wird durch Anziehung des Ankers *A* der Hebel *IU* durchgebogen, und da ein Theil dieser Durchbiegung sich auch noch in der Amplitude zeigt, welche der Bewegung des Punktes *O* entspricht, so muß eine Vergrößerung der Stromstärke eine Zunahme des Schwingungsbogens zur Folge haben. Eine der nächsten Verbesserungen, welche ich an dem Apparate anzubringen gedenke, wird deshalb die seyn, daß ich den Hebel *IU* durch einen stärkeren ersetze und die Schraube *C'* unmittelbar unter *O* anbringe. Der letztere Umstand wirkt auch bei dem Tiede'schen Pendel ein, während der erstere wegfällt, da keine Abreißfedern vorhanden sind.

§. 4. Secundäre elektrische Uhren.

Bei der im Folgenden beschriebenen Construction *secundärer Uhren*, d. h. solcher Uhren, welche in ihrem Gange vollständig mit einer Normaluhr übereinstimmen müssen, ging ich noch von der Ansicht aus, daß es mir nicht gelingen würde, einen nicht sich oxydirenden Contact an der Normaluhr herzustellen. Die secundären elektrischen Uhren sollten deshalb so eingerichtet werden, daß das Ausbleiben eines einzelnen der sie treibenden Stromimpulse keinen Einfluß auf ihren Gang hätte.

Die erste Idee dazu wurde in mir angeregt durch eine gelegentliche Aeußerung des Hrn. Prof. Förster, welcher bemerkte, es müsse möglich seyn, durch regelmä-

fsige, alle Secunden eintretende Stromimpulse eine gewöhnliche Pendeluhr mit einer Normaluhr in Uebereinstimmung zu bringen. Selbstverständlich würde eine solche Uhr auch dann noch ruhig weiter gehen, wenn einzelne Stromimpulse ausblieben. Eine solche Pendeluhr, welche jedoch ohne Gewicht oder Federkraft lediglich durch den elektrischen Strom in Bewegung erhalten wird, ist im Folgenden beschrieben und in Fig. 7, Taf. V schematisch abgebildet.

Ein gewöhnliches Pendel (in dem ausgeführten Exemplare von Holz mit schwerer Linse) ist bei *H* an zwei Federn aufgehängt. Bei *B* trägt dasselbe einen horizontalen Arm *BD*, an dessen Ende die Schraube *S* durch ihre Mutter *D* hindurchgeht. Diese Schraube ist an ihrem oberen Ende mit einer einen Millimeter tiefen axialen Bohrung versehen. Um den Punkt *R*, drehbar in der Ebene der Zeichnung, bewegt sich ein Hebel *AN*, welcher bei *A* den Anker des Elektromagnets *Y* trägt. Dieser letztere ist auf einem Schlitten befestigt und läßt sich durch eine Schraube *I* gegen seinen Anker verstellen. Die Bewegung des Hebels *RN* ist nach Unten hin begränzt durch eine Schraube *L*. An seinem rechten Ende trägt er einen um *N* leicht drehbaren Hebel *CN*. Dieser hat bei *C* einen Sperrhaken und legt sich mit diesem durch sein eigenes Gewicht in die Zähne des Secundenrades *L'*. Ein Winkelhebel *KFE*, bei *F* leicht drehbar, wird gleichfalls durch das Gewicht *K* in die Zähne des Secundenrades gedrückt. Derselbe verhindert den Rückgang des Rades. Bei *M* ist der Hebel *RN* durchbohrt, und durch die Oeffnung kann sich mit verschwindender Reibung das dünner gedrehte Ende eines stählernen Stiftes *G* bewegen, während der dickere Theil dieses Stiftes nicht durch die bei *M* befindliche Oeffnung hindurchgeht. Dieser Stift *G* ist bei *G'* noch einmal besonders abgebildet. Derselbe ruht mit seinem unteren dünnen Ende in der axialen Bohrung der Schraube *S*.

Es möge nach Erklärung der Figur gestattet seyn, die

Entstehung der einzelnen Theile des Apparates näher zu beschreiben. Die Nothwendigkeit der einzelnen Theile wird dadurch besser verständlich.

Um die Ausführbarkeit der Idee zu prüfen, war ursprünglich nichts weiter vorhanden als das Pendel, der Arm *RN* mit dem Anker *A* und der Elektromagnet *Y*. Das Pendel trug den Arm *BD* ohne die Schraube *S*, und die Verbindung zwischen *M* und *D* bildete ein an beiden Enden conisch zugefeilter Stift, welcher in Vertiefungen bei *M* und *D* paßte. Wurde nun der Elektromagnet *Y* in den Stromkreis eingeschaltet (wie die Verbindung zwischen Figur 4 und 7, Taf. V zeigt), so übte *RN* auf *D* einen intermittirenden Druck aus, weil nach jeder Secunde der Anker *A* von *Y* angezogen wurde. Da das Pendel mit dem der Normaluhr nahezu gleiche Schwingungsdauer hatte, so addirten sich die Wirkungen der einzelnen Impulse, und das Pendel nahm in kurzer Zeit einen bedeutenden Schwingungsbogen an. Nicht lange dauerte es jedoch, so begannen die Schwingungen allmählich abzunehmen, das Pendel kam „aus dem Tacte“ und stand bald darauf still. Dann wiederholte sich der geschilderte Vorgang. Durch Veränderung der Pendellänge gelang es mir, die beiden Pendel in fortwährender Uebereinstimmung zu erhalten.

Es wurde nun das Secundenrad mit den beiden Hebeln *CN* und *KFE* angebracht. Bei jeder Schwingung des Pendels nach links zieht der Haken *C* das Rad um einen Zahn weiter. Bei der Schwingung nach Rechts läßt sich *C* in die folgende Zahnücke, während *E* den Rückgang des Rades hindert. Bei dieser Einrichtung, wo also die Schraube *L* noch fehlte, blieb der Apparat mehrere Monate in Thätigkeit.

Es zeigten sich jedoch einige wesentliche Mängel. Der Schwingungsbogen änderte sich nämlich fortwährend, auch bei geringen Stromschwankungen. Hatte er ein gewisses Maximum erreicht, so kam der Anker zu nahe in den Bereich des Elektromagnets, und die Einwirkung

des letzteren wurde so stark, daß der Anker auf die Pole aufschlug und der *M* und *D* verbindende Stift herausfiel. Um dies zu verhindern, wurde die Schraube *L* angebracht, welche dann anstatt des ursprünglichen Stiftes den bei *G'* gezeichneten verlangte. Durch diese Einrichtung wurde zugleich noch einem anderen Uebelstande gesteuert. Der Haken *C* zog nämlich den jedesmal gefassten Zahn des Secundenrades weiter als es nöthig gewesen wäre, um den Sperrhaken *E* in die nächste Zahnücke fallen zu lassen, und es wurde in Folge dessen bei dem Zurückgange des Pendels eine zurückgehende Bewegung des Zeigers hervorgerufen. Ja es kam sogar bei stärkeren Stromschwankungen vor, daß wegen der damit zusammenhängenden Zunahme des Schwingungsbogens zwei Zähne zugleich sich an dem Sperrhaken vorbei bewegten.

Die Schraube *L* erlaubt nun, die Bewegung des Hakens *C* so zu reguliren, daß gerade ein Zahn des Secundenrades an dem Sperrhaken *E* vorbeigleitet.

In dieser Weise ist das Pendel schon seit ungefähr $1\frac{1}{2}$ Jahren mit dem Normalpendel verbunden, und seine Uebereinstimmung mit demselben ist *bei guter Regulirung* eine vollkommene. Auch bei stärkeren Stromschwankungen, wie sie bei absichtlicher Vernachlässigung der Batterie sich einstellten, wurde dieselbe nicht gestört. Freilich ist diese Regulirung schwer zu erreichen. Es fehlt nämlich an sicheren Kennzeichen, um zu entscheiden, ob das Pendel verkürzt oder verlängert werden müsse, damit sein Gang mit dem des Normalpendels übereinstimme. Das Pendel schwingt unter dem Einflusse zweier Kräfte, der Gravitation und der anziehenden Kraft des Elektromagnetes. Diese letztere aber variirt mit der Stromstärke, und kann mit der ersteren überhaupt nicht ohne Weiteres verglichen werden. Nicht selten habe ich tagelang reguliren müssen, weil die Uebereinstimmung zwar eine Zeit lang vorhanden war, bei einer geringen Stromschwankung aber wieder verloren ging. Es handelte sich jedoch dabei nicht um eine kleine Veränderung der Pendellänge,

sondern um eine solche von mehreren Umdrehungen der Correctionsschraube. Ist der Fehler in der Pendellänge unbedeutender, so vermag das Normalpendel das secundäre mit sich in vollständiger Uebereinstimmung zu halten. Es folgt daraus, daß Veränderungen in der Länge des Normalpendels auch die gleiche Aenderung in der Schwingungszeit der secundären Pendel ohne weitere Correction derselben bewirken; und zwar sogar dann noch, wenn diese Abänderungen, wie der Versuch zeigt, eine Differenz von 1 bis 2 Minuten im täglichen Gange bewirken.

Ein Räderwerk, welches in Bewegung des Secundenrades auf einen Minuten- und Stundenzeiger hätte übertragen können, ist an diesem Apparate nicht angebracht worden, einerseits weil mir ein passendes nicht zu Gebote stand, andererseits, weil eine andere Einrichtung mehr Erfolg versprach.

Durch Einführung elektrischer Uhren nämlich, wenigstens so weit dies auf Sternwarten geschieht, verfolgt man weniger den Zweck, das Aufziehen zu ersparen, als den, eine vollständige Uebereinstimmung anderer Uhren mit einer Normaluhr hervorzubringen. Es kann daher die Bewegung des Zeigerwerkes der Wirkung eines Gewichtes überlassen bleiben. Wird dann das Pendel der Einwirkung des Gewichtes entzogen, und die Bewegung desselben lediglich dem elektrischen Strom in der zuletzt beschriebenen Weise anheimgegeben, so läßt sich eine solche Uebereinstimmung erzielen.

Um die Ausführbarkeit der Idee zu prüfen, wurde an einem alten Uhrwerke mit Federkraft, das Echappement geändert, so daß die schiefen Flächen des Ankers, auf welche die Zähne des Echappementsrades ihre Bewegung übertrugen, wegfielen. Sonst blieb an der Uhr Alles unverändert. Das Pendel wurde durch die zuletzt beschriebene, und in der Fig. 7, Taf. V abgebildete Vorrichtung (bei der natürlich alles über *RN* Befindliche wegfällt) mit dem Normalpendel in Verbindung gesetzt. Da die Einrichtung sich bewährte, so übertrug ich sie auf eine

Pendule mit Schlagwerk, welche zufällig ein Halbsecundenpendel hatte. Hier hat sie zu meiner vollen Zufriedenheit fungirt. Sie geht schon seit langer Zeit in voller Uebereinstimmung mit dem Normalpendel, obgleich ihre Aufstellung auf einem Schreibtische keine feste ist, und die Erschütterungen des Fußbodens sich auf dieselbe übertragen. Bei dieser Uhr gelingt mir die Regulirung viel leichter, und dieß wohl deshalb, weil das Pendel keine besondere Arbeit zu verrichten hat. Bei der ersten Regulirung mußte das bis dahin richtig schwingende Pendel beinahe um ein Centimeter verlängert werden. Eine dauernde Uebereinstimmung ist übrigens merkwürdiger Weise (wie auch bei dem Apparat Fig. 7, Taf. V) nur dadurch zu erzielen, daß man durch die Schraube *L* (Fig. 7) erst dann die Einwirkung des Elektromagnets auf das Pendel hemmt, wenn dasselbe über die Mitte seines Schwingungsbogens nach links hinausgegangen ist.

Bei der zuletzt beschriebenen Einrichtung bringt das Auffallen des Hebels *RN* auf die Schraube *L* einen lauten Schlag hervor, welcher für den astronomischen Beobachter sehr lästig ist, da er nicht mit dem Schlage der Zähne des Echappementsrades gegen den Anker zusammenfällt. Um diesen Uebelstand zu heben, habe ich an *RN* bei *L* ein Stückchen Leder angebracht. In Folge dessen hört man nichts mehr als die gewöhnlichen Schläge der Uhr.

Wenn auch die Resultate der beschriebenen Versuche nicht allseitig befriedigen, so dürften dieselben doch zur Genüge gezeigt haben, daß es möglich ist, zwei Pendel in vollständige und dauernde Uebereinstimmung zu bringen. Dabei darf ich jedoch nicht verhehlen, daß die Art und Weise wie diese Uebereinstimmung *erhalten*, d. h. wie das zurückbleibende Pendel in ein rascheres, das vor-eilende in ein langsames Tempo gebracht wird, mir noch nicht zu vollständiger Klarheit gekommen ist. Der Grund dafür liegt hauptsächlich darin, daß es schwer wird, zu entscheiden, bei welcher Lage des Pendels der Elektromagnet *anfängt* seine Wirksamkeit zu äußern. *Factisch*

ist aber ein solcher regulirender Zwang des Normalpendels vorhanden. Wird nämlich die Uebereinstimmung der Pendel absichtlich gestört, so dauert es nur kurze Zeit, bei guter Regulirung des secundären Pendels kaum eine Minute, bis die Harmonie wieder vollständig hergestellt ist.

Es wurde schon bemerkt, daß die anfängliche Regulirung der secundären Pendel mühsam ist. Ich glaube jedoch jetzt ein Mittel gefunden zu haben, sowohl diese anfängliche Regulirung zu erleichtern, als auch die secundären Uhren von der Stromstärke unabhängig zu machen. Dieses Mittel soll darin bestehen, daß (wie in Fig. 4, Taf. V) der Elektromagnet keinen directen Einfluß auf den Gang des Pendels ausübt, sondern bloß dazu verwandt wird, eine Lamelle, die durch ihr Gewicht auf das Pendel einwirkt, zu heben. Versieht man diese Lamelle mit einem Contacte, so kann es durch passende Drahtverbindung ermöglicht werden, das Pendel zunächst unabhängig von der Normaluhr für sich zu reguliren und erst, wenn dies geschehen, es mit der Normaluhr zu verbinden.

Schließlich verdient noch erwähnt zu werden, daß diese Einrichtung nur eine sehr kleine Batterie erfordert. Durch zwei Kupferelemente der primitivsten Art wird das Normalpendel mit zwei (zeitweilig drei) secundären Uhren in Bewegung erhalten, und ich bin überzeugt, daß die Anzahl der letzteren sich bis auf vier wird vermehren lassen, ohne daß es einer Vergrößerung der Batterie bedarf. Es hat sogar eine Zeitlang ein einziges Element den Dienst versehen, und es ist nur aus dem Grunde ein zweites hinzugefügt worden, weil bei einer der secundären Uhren der Elektromagnet nicht besonders gut construiert ist und deshalb einen stärkeren Strom verlangt. Aus diesem Grunde kamen denn auch bei dieser Uhr, so lange nur ein Element wirkte, leicht Fehler vor, während das Normalpendel und die anderen secundären Uhren keine größere elektrische Kraft erforderten.

Nachschrift. Während des Druckes erhielt ich durch Vermittelung des Herrn Director Schellen ein Schriftchen von Bröcking in Hamburg, welches die mir bis dahin unbekannten Versuche von Jones über Uhren mit gleichschwingenden Pendeln bespricht. Die in demselben beschriebene Vorrichtung ist von der im Vorstehenden angeführten im Principe wesentlich verschieden. Es übt nämlich der elektrische Strom nur dann einen Einfluß auf den Gang des Pendels einer gewöhnlichen Pendeluhr, wenn dieselbe beginnt gegen das der Normaluhr vorzueilen oder zurückzubleiben. Im ersten Falle tritt er hemmend, im zweiten beschleunigend auf. Da es bei dem in Fig. 7, Taf. V abgebildeten Pendel möglich war, ohne irgend eine Aenderung in der Construction des Apparates das Jones'sche Princip in Anwendung zu bringen, so versuchte ich mich von der Zweckmäßigkeit desselben zu überzeugen. Zu dem Zwecke wurde zunächst die elektrische Verbindung des Pendels mit der Normaluhr unterbrochen und ersteres soweit verkürzt, daß es möglichst gleiche Schwingungsdauer mit der letzteren hatte. Nach Wiederherstellung der Stromverbindung wurde es angestoßen, jedoch so, daß es nach links schwang, während das Normalpendel sich nach rechts bewegte. Es können nun drei verschiedene Bedingungen erfüllt seyn.

1) Das nach links schwingende Pendel und das nach rechts schwingende Normalpendel erreichen gleichzeitig die Mitte des Schwingungsbogens. Während der nächsten halben Secunde ist jetzt der Strom geschlossen und macht *Y* (Fig. 7, Taf. V) magnetisch. In der ersten Hälfte dieser Zeit wirkt der Elektromagnet auf das Pendel beschleunigend, während der zweiten Hälfte um eben soviel verzögernd. Die Gesamtwirkung hebt sich also auf.

2) Das secundäre Pendel hat die Tendenz zurückzubleiben und kommt deshalb eine sehr kleine Zeit später als das Normalpendel in der Mitte seines Schwingungsbogens an. Dann dauert also die beschleunigende Kraft des Magnets ebenso viel länger als $\frac{1}{4}$ Secunde, und die

verzögernde nimmt um eben soviel ab. Es ist also ein Ueberschuß der beschleunigenden Kraft über die verzögernde vorhanden. Das Pendel wird gezwungen rascher zu gehen.

3) Das Pendel hat die Tendenz vorzueilen, kommt also früher in der Mitte seines Schwingungsbogens an als das Normalpendel. Die Zeit also, während welcher die elektrische Kraft beschleunigend wirkt, ist kürzer als die Zeit, in der sie verzögert. Die verzögernde Kraft überwiegt die beschleunigende Kraft und hält das voreilende Pendel auf.

Der Fall 1) setzt ein Pendel voraus, dessen verlorene Bewegung durch eine andere Kraft als die regulirende elektrische ersetzt wird. Da dies bei meinem Pendel nicht der Fall ist, so muß dasselbe, wenn seine verlorene Kraft ersetzt werden soll, ein wenig retardirend bleiben. In der That ist jedoch die Differenz zwischen den Schlägen des Normal- und des secundären Pendels kaum so groß, daß dieselbe mit dem Ohre wahrnehmbar ist.

Das Pendel geht seit ungefähr acht Tagen, so weit sich beobachten ließ, leidlich gut. Weitere Versuche habe ich natürlich in dieser kurzen Zeit mit demselben nicht machen können.

Uebrigens ist der Apparat von Jones in der Construction bedeutend verschieden von dem in Fig. 7, Taf. V abgebildeten Pendel. Die Einwirkung des Stromes geschieht bei demselben dadurch, daß an der Pendelstange sich eine elektrische Spirale befindet, in deren Höhlung ein am Uhrgehäuse befestigter Magnetstab hineinragt.