Beschreibung einiger neuen physikalischen Apparate.

Mit 2 Figurentafeln. Von Prof. Dr. Mauritius.

1. Heliotrop.
2. Schiefe Ebene zu Präcisionsversuchen.
3. Stromschliesser.
4. Fallraummesser.
5. Wasserstandsfernmesser.

---

1. **Heliotrop.** Wenn man das Steinheil'sche Instrument, welches in Fig. 1 schematisch skizzirt ist, mit Hülfe der Baumschraube B und des Gelenks bei D so gerichtet hat, dass die Sonnenstrahlen von S her durch die von der Belegung befreite Stelle M des Spiegels auf die Linse L fallen, so entsteht bei F auf einem Stückchen Papier ein Sonnenbildchen, von dem die Strahlen wieder auf dem bereits zurückgelegten Wege rückwärts auf die Rückfläche der unbelegten Stelle des Spiegels fallen. Man dreht nun mit Hülfe des Conus bei K und um die Axe AA′ den oberen Theil mit dem Spiegel so, dass das Auge durch M blickend, das in der Luft schwebende Sonnenbildchen den fixirten Punkt G der Gegend decken sieht. Wenn die Sonne nach einigen Minuten ihren Stand bemerkbar verändert hat, so muss man die erste Einstellung wiederholen und verdirbt damit die Stellung des Spiegels, welcher seinerseits auch wieder gerichtet werden muss. Hierdurch wird für grosse Entfernungen das Telegraphiren mit Lichtblitzen oder das ununterbrochene Lichtgeben erschwert, wie jeder weiss, der mit diesem so geistreich construirten Instrument gearbeitet hat.

Bei dem Heliotrop von Gauss, schematisch in Fig. 2 nach sehr alter Erinnerung hoffentlich noch zutreffend skizzirt, haben zwei auf einander senkrechte reflectirende Flächen den strengen Anforderungen der Triangulation genügt. Ueber das Fernrohrende, wo sich die Objectivkapsel aufsetzt, ist ein Ring geschoben, der mit dem Rahmen RR′ die Spiegel trägt, von denen BB′ belegt, UU′ aber unbelegt ist. Das Fernrohr F wird auf den Punkt G der Gegend gerichtet, welcher Licht erhalten soll. Darauf dreht man mit Hülfe des erwähnten Rings um die Axe GL und zugleich um die Axe AA′ das festverbundene System der Gläser so, dass das in F gesehene Sonnenbild auf G fällt. Die belegten Spiegelflächen BB′ geben dann, wie man in der Figur leicht sieht, von selbst die Sonnenstrahlen nach G. Die Normalität der Spiegel muss genau hergestellt sein. Bei verändertem Stand der Sonne bleibt demnach hier das Fernrohr unbewegt, und weil es einem schweren Theodoliten angehört, bei dem alles Bewegliche gebremst ist, so kann man wohl die Drehung des Spiegelsystems um die Axen GL und AA′ mit sanfter Hand ausführen, ohne G aus dem Fadenkreuz zu bringen.

Diesen beiden Constructionen erlaube ich mir eine neue anzureihen, welche mir die grösste Einfachheit zu bieten scheint.

In eine Messingröhre von fast 66 cm Länge (Fig. 8) ist als Objectiv O ein auf 2 cm Durchmesser verkleinertes planconvexes Brillenglas von 62 cm Brennweite eingesetzt. Als Ocular dient eine planconvexe Linse von 4 cm Brennweite. Bei F ist ein Fadenkreuz. Das Rohr wird mit einer Baumschraube befestigt oder auf einem Stativ gebraucht und nach dem Punkt G der Gegend gerichtet, nach welchem man Licht geben will. Zwischen Rohr und Spiegel besteht keine Verbindung. Der benutzte Spiegel misst etwa 40 cm im Quadrat (also 1600 qcm gegen etwa 50 qcm beim Steinheil'schen Heliotrop) und hat in der Mitte die von der Belegung befreite Stelle M. Er wird so gerichtet, dass das dicht hinter ihm befindliche Auge dasjenige der beiden Sonnenbildchen, welches von der belegten Glasfläche herrührt, genau im Fadenkreuz erblickt, welches auf den Punkt G der Gegend eingestellt war. Man nimmt das Fadenkreuz kräftig und schützt das Auge durch ein farbiges Glas. Fig. 9 zeigt, wie die Drehbarkeit des immerhin schon etwas schweren Spiegels bewirkt ist. Auf dem Holzrahmen sind an der Rückseite zwei Leisten L und L′ angeschraubt, um einen Bügel BB′ mit geringer Weite zur Herstellung der Drehungsaxe AA′ anwenden zu können. Ein Gasrohr G ($^3/_8$ engl.) ist bei U eingeschraubt, und mit seinem Gewinde ist die Drehung im Aximut ermöglicht. An dem Bügel und an G sind noch 2 Schrauben (hier nicht gezeichnet) angebracht, mit denen eine sanfte Verschiebung möglich ist, so dass man der Sonne folgen kann, ohne die Lichtgebung zu unterbrechen. Das Rohr G wird von einem Stativ getragen, welches Fig. 10 veranschaulicht. Daselbst ist die Bremsschraube für das Rohr und die Befestigung eines der drei Beine an dem dreiseitigen Prisma mit starken Flügelmuttern zu ersehen.

Bei der soeben beschriebenen Construction wird also das einmal eingestellte Fernrohr nicht wieder berührt. Der dahinter stehende Spiegel ist in seiner Bewegung unabhängig vom Rohr, so dass man ihm für stationäre Einrichtungen beliebige Grösse geben und über enorme Lichtmengen verfügen kann. (Die Verwendung zur gegenseitigen Sichtbarmachung berühmter, vielbesuchter Aussichtspunkte, wie z. B. Brocken und Inselsberg, würde die Freunde der Natur sehr erfreuen, denn ein aus dem Nebelschleier der Ferne hervorbrechendes mächtiges Heliotroplicht gewährt einen wunderbaren Anblick). Da nach Zeitungsnachrichten in der Armee dem Heliotrop wieder mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird, was jedenfalls für die an Sonnenschein reichen Colonien seine Berechtigung hat, so möge noch bemerkt sein, dass es nicht nötig ist, ein besonderes Fernrohr mitzuführen. Denn entweder lässt man das Fernrohr so einrichten, dass das Objectiv herausgeschraubt und an seine Stelle eine Fassung mit der einfachen Linse eingeschraubt wird, und ebenso beim Ocular; oder man lässt das Fernrohr wie es ist, und schiebt statt der Objectivkapsel eine Fassung mit einem planparallelen Glas auf und entfernt die beiden inneren Linsen des terrestrischen Satzes. Von dieser Anpassung war ich ausgegangen. Ein kleines Objectiv mit planer Vorderfläche wäre freilich das Beste. Es hat aber auch kein Bedenken, da das Fernrohr nicht wieder bewegt wird und also sehr festgeschraubt werden kann, einen

Spiegel in den Dimensionen des Steinheil'schen mit einer Hülse, an der die Gabel sitzt, über das Ocularende zu schieben und ihn wie beim Heliotrop von Gauss zu bewegen.

2. Schiefe Ebene zu Präcisionsversuchen.

Die Vollendung, welche die Construction der Fahrräder erreicht hat, beruht zum Theil auf der Herstellung hochpolirter tadelloser Stahlkugeln, welche in den Lagern verwendet werden. Der Mechaniker wäre nicht im Stande, einzeln solche Kugeln herzustellen, die schon ohne ausgesucht zu sein, sich nicht um 5 mg im Gewicht unterscheiden. In Verbindung mit der hohen Politur und gleichmässigen Beschaffenheit der Klaviersaiten scheinen sie die beste Zusammenstellung für Versuche auf der schiefen Ebene zu geben. Die folgende Einrichtung zeigt ihre Verwendung.

Auf einem schmiedeeisernen Träger von 8 cm Höhe und etwa 2,20 m Länge ist ein Bohlenstreifen von 10 cm Breite und 3 cm Stärke mit zahlreichen Schrauben mit Muttern aufgezogen, so dass er sich nicht verziehen kann. Die beiden Enden sind in Fig. 4 und 5 gezeichnet. Vier Paare starke Klavierseiten sind auf starker eiserner Unterlage an den Haken zwischen H und H′ eingehängt (Fig. 4), laufen an den Stiften in dem Steg SS′ vorbei über den zweiten Steg (Fig. 5) und werden durch die Stimmnägel bei N wie bei einem Klavier gespannt. Um die Zwischenräume zwischen den Seiten genau zu reguliren, benutzt man die zwischen C und C′ angedeuteten Schrauben, deren Hals konisch ist.

Auf diesen Saiten nun sollen die Stahlkugeln laufen und müssen auf electrischem Wege losgelassen werden können. Sie liegen deshalb hinter der polirten Stahlnadel DD′ in Fig. 4, welche durch Schrauben gerade so hoch gestellt ist, dass sie den Kugeln eben noch das Abrollen verwehrt. Die Nadel ist mit der Eisenlamelle L verbunden, die um die Axe AB drehbar ist und schräg vor den Polen von E und E′ steht, so dass DD′ durch seine Schwere auf den Stützpunkten aufliegt. Die erregten Electromagnete ziehen L an, und DD′ hebt sich. Die Horizontalstellung des Apparats, welcher auf eisernen, in das Mauerwerk eingelassenen Trägern ruht, bewirkt man am besten durch eine mit Gummischlauch und 2 Glasröhren von gleicher Weite mit 2 Retortenhaltern auf die ganze Länge hergestellte Wasserwage, welche mit der unteren Wasserkuppe beim Visiren in der Ebene der 8 Drähte die Warnehmung von Theilen des Millimeters gestattet. (Gegen die Anwendung einer auch genau rectificirten Libelle von grosser Empfindlichkeit lassen sich Einwände erheben.) An die Unterseite des T-Trägers sind an den Enden starke Brettstücke angeschraubt, welche die Stellschrauben von 1,5 mm Ganghöhe tragen. Die einzeln stehende davon hat eine Trommel, um kleine Theile der Drehung abzulesen. Der Apparat ruht auf Stücken Spiegelglas, und die Schiefstellung wird durch Wegnahme von Platten unter der Stellschraube und mit dieser bewirkt. Die Dicken der Platten sind mit dem Mikrometer gemessen. Der electrische Strom wird durch ein sogleich zu beschreibendes Pendel geschlossen und lässt sowol DD′ sich heben, als auch ein kurzes Glockenzeichen ertönen. Wenn nun die abrollende Kugel am Ende der Bahn in Fig. 5 an ein in gemessener Entfernung aufgestelles Hinderniss

anschlägt, so besteht die Aufgabe des Beobachters darin, die Höhe der schiefen Ebene derart zu verändern, dass genau ein Schlag des Pendels mit dem Anschlag der Kugel an dem Kugelfang zusammenfällt. Es wird demnach an dem Prinzip festgehalten, die vollen ganzen Sekunden der Beobachtung zu Grund zu legen und nur die Höhe der schiefen Ebene zu ändern, die sich sehr genau messen lässt; dagegen den zurückgelegten Weg unverändert zu lassen und namentlich nicht zu Mitteln nach einer genauen Messung von Bruchtheilen der Zeit zu greifen.

Die Beobachtung der Coincidenz von Anschlag der Kugel und Glockenschlag ist aber sehr schwierig, auch wenn man beide Geräusche gleichartig gemacht hat und nicht mehr zwei Sinne, Auge und Ohr, mit einander übereinstimmend arbeiten sollen. Die persönliche Gleichung hat schon lange gelehrt, dass man keineswegs gleichzeitig sieht und hört. Aber wenn man auch selbstverständlich vermeidet, auf die rollende Kugel zu blicken, so liegt die Sache doch anders wie bei der Chronometer-Vergleichung, wo hinreichende Zeit geboten ist, die Beurtheilung der allmählich sich verändernden Unterschiede zu erlernen, weil hier die Wahrnehmung eines einzigen plötzlich auftretenden sehr kleinen Unterschieds gefordert wird. Denn auch dort wird nur beobachtet, dass man zu einer gewissen Zeit keinen Unterschied mehr hört und nachher wieder einen hört, so dass man die Coincidenz auf die Mitte von diesseitiger und jenseitiger Wahrnehmbarkeit eines Unterschieds setzt. Während einer Reihe von Schlägen wird demnach ein Unterschied überhaupt nicht wahrgenommen in einem Fall, der die günstigsten Bedingungen für die Beobachtung bietet und eben deshalb nicht zur Bestimmung eines Grenzwertes für die Wahrnehmbarkeit eines plötzlich auftretenden sehr kleinen Zeitunterschiedes benutzt werden kann.

Demnach bleibt bei der Unvollkommenheit des menschlichen Wahrnehmungsvermögens nichts übrig, als die Coincidenz mechanisch zur Darstellung zu bringen. Zu diesem Zweck zieht in Fig. 5, mit jedem Secundenschlag der Electromagnet M den Blechstreif B nieder. Für den Anfang richtet man es so ein, dass die Kugel grade schon durch ist, wenn dies geschieht, und vermindert darauf die Neigung der schiefen Ebene, bis die Kugel von dem Blechstreif eben aufgehalten wird. Für verschiedene Neigungswinkel und verschiedene Sekundenzahlen erhält man dann aus zwei Beobachtungen zwei Gleichungen, aus denen sich Beschleunigung und Reibungscoefficient ergeben.

Die *vier* Drahtbahnen dienen erstens dazu, die Empfindlichkeit des Apparats dadurch zu prüfen, dass die vier Kugeln gleichzeitig die Bahn durchlaufen, dann aber noch dazu, um sie nach Wegen, welche den Quadraten der Sekundenzahlen entsprechen, durch vorgeschobene Hindernisse aufzuhalten. Alsdann erfolgt der Anschlag an diese mit den Sekundenschlägen.

Ein Durchhängen der Drahtbahn ist bei der angewendeten Länge und Spannung nicht zu beobachten.

3. Stromschliesser.

Die Unzuverlässigkeit der Quecksilbercontacte und der Kraftverbrauch der Federcontacte veranlasste mich zur Construction des in Fig. 3 etwa in doppelter Grösse abgebildeten

Apparats. Der Haupttheil ist ein dünner aber steifer in Form eines V gebogener Messingdraht, welcher sich in labilem Gleichgewicht mittelst ganz feiner Stahlzapfen bei M dreht. An den Drahtenden bei B und B′ sind die gleichbeschaffenen Messingdrähte PP′ und P″P‴ angelöthet, welche an den Enden die mit P bezeichneten Platinbleche tragen. Dies V wird vom schwingenden Pendel abwechselnd nach rechts und links geworfen. In der Figur ist der Moment gezeichnet, wo der Bügel auf der linken Seite ruht. Man sieht die Platinplättchen P und P′ auf den Platindrähten D und D′ aufliegen. Diese gehen durch einen zierlichen Wagebalken aus Ebonit und tauchen immer tief in das Quecksilber in den Gläschen G und G′ ein und schliessen einen Strom, der in zwei Klemmschrauben zugeführt wird, die links nicht sichtbar sind, aber genau denjenigen rechts bei K und K′ entsprechen. Bewegt sich die Pendelstange H nach rechts, so wirft sie zuerst den Bügel B′ nach rechts hinüber auf die Platindrähte D″ und D‴, geht bis zur Vollendung der Amplitude über den kein Hinderniss mehr bildenden Bügel B′ weiter nach rechts, um bei der Rückkehr den durch das Herumwerfen von B′ bereits aufgerichteten Bügel B anzutreffen, welcher den Stoss der Pendelstange erwartet, um durch denselben wieder nach links geworfen zu werden. Der kleine Wagebalken aus Ebonit hat den Zweck, einen sicheren Contact herbeizuführen. Denn käme z. B. das Platin P einen Moment früher auf dem Ende des Drahtes D an, so würde dadurch der Arm E′ sogleich gehoben werden und somit das Platin P′ mit dem Ende von D′ sicher in Berührung kommen. Der Contact erfolgt mit einer gewissen Energie. Hervorzuheben ist, dass trotz der Anwendung von Quecksilber doch von keinem Quecksilbercontact die Rede ist, sondern nur Platin mit Platin in Berührung kommt. Das Pendel, dessen normal zur Stange gestellte Linse etwa 8 kg wiegt, hängt in Federn und schwingt halbe Sekunden. Wenn man ein Pendel, welches ganze Sekunden schlägt, zu einem electrischen Stromschluss einrichtet, so kann man damit genau nur Intervalle von 2 Sekunden erhalten, weil eine Doppelschwingung dazwischen liegen muss, wenn man den Contact in derselben Phase wieder eintreten lassen will. Ein Verschieben des bei jeder einfachen Schwingung eintretenden Contactes, bis die Schläge dem Gehör nach gleich ausfallen, würde von vornherein einen Fehler in die Beobachtungen bringen.

Bei den in Rede stehenden Versuchen wird nur auf einer Seite der Stromschluss verwendet. Der doppelte Stromschluss ist für einen andern Zweck bestimmt, der hier unerörtert bleiben kann. Die Dauer des Stromschlusses hat man in der Hand.

Der Strom erregt die Electromagnete der schiefen Ebene, gibt ausserdem Glockenzeichen an einem kleinen, gewöhnlichen Läutewerk, dessen Selbstunterbrechung ausgeschaltet ist, und treibt zugleich in Parallelschaltung mit ausgleichendem Widerstand ein electrisches Zählwerk, welches zur Vergleichung des Pendels mit einer guten Pendeluhr sehr bequem ist und die Richtigkeit der Sekunden verbürgt.

4. Fallraummesser.

An die Vervollkommnung der so schön gedachten Atwood'schen Fallmaschine ist so ausserordentlich viel Mühe und Scharfsinn gewendet worden, wie kaum an einen anderen

physikalischen Apparat. Und doch werden auch Collegen, die noch nicht mehr als 33 Jahre in Prima Physik lehren, mir zustimmen, wenn ich beklage, dass man bei dem Experimentiren mit den einfachen Fallmaschinen sich der Wissenschaft zu Liebe einer eigentlich unerlaubten Geschicklichkeit befleissigen muss, damit es klappt. Bei den kunstvollen grossen Apparaten hat der Mechanikus durch die Zugabe von Extragewichten für Reibung und Trägheitsmoment bereits sein Gewissen beschwert, und der Experimentator darf sich schuldlos des schönen Erfolges der Versuche freuen.

Man verlangt eben zu viel von dem vortrefflichen Apparat, welcher nie zur Bestimmung von g dienen kann und der in den complicirten Constructionen jedenfalls in der Schule noch nicht verstanden wird und so lange nichts beweist, als die Grösse der zugegebenen Gewichte als der Theorie entsprechend auf Treu und Glauben hingenommen wird. Was also sonst? Stellt man sich an den Ausgangspunkt des Problems, so trifft man auf die Behauptung, dass es nicht möglich ist, den Fallraum direct zu messen. Darum entsteht die Frage, wie diese Schwierigkeit zu umgehen ist. Drei Wege bieten sich dar. Den ersten hat nach Galilei Atwood eingeschlagen, indem er das Fallen verlangsamte. Der zweite Weg (Rollmann) ging von der genauen Messung der Zeit aus, welche durch die Stimmgabel erreicht werden kann. Einen dritten, noch nicht beschrittenen, Weg bietet die genaue Messung des Fallraums mit Hülfe der Momentphotographie, wie sie bei Geschossen angewendet wird. Auch bei Anwendung dieser Methode wird die Benutzung der vollen genauen Sekunden, die ich hier empfehle und durch den Stromschliesser Fig. 3 als erreichbar nachgewiesen habe, die besten Dienste leisten. Für die Schule ist eine solche Messung aber zu difficil, ebenso wie die Anwendung der Stimmgabel.

Nach Ablehnung dieser ausweichenden Methoden schlage ich vielmehr vor, das ursprüngliche Problem direct zu lösen und den Fallraum in der ersten Sekunde wirklich zu messen. Kann man das auf einfache Weise ausführen, so ist eine der wichtigsten fundamentalen Constanten auf geradem Wege für die Schule gewonnen.

Die Möglichkeit ergibt sich aus Folgendem. Die fallende Kugel K wird, Fig 6, in dem Ring R durch die 3 Spitzen S, S′ und S″ grade am Fallen verhindert. Die Spitze S kann durch die Electromagnete EE′ zurückgezogen werden und die Kugel fällt. Unten fällt sie, nebensächliche Anordnungen sind weggelassen, auf die Feder F und drückt die Spitze S nieder. Der darunter befindliche, mit dem in Fig. 6 gebrauchten in allen Stücken ganz identische Electromagnet, wird momentan genau mit dem zweiten Sekundenschlag angezogen und dadurch unter S gebracht. Trifft die Spitze von S in diesem Augenblick auf das Platinplättchen beim Anker A, so wird ein besonderer Strom zwischen B und B′ geschlossen, und ein Glockenzeichen ertönt. Wenn aber die Kugel K einen Augenblick früher ankommt, der Fallraum also noch zu klein ist, so schlägt der Anker, ohne Contact zu bilden, mit der Seite an die bereits heruntergegangene Spitze, und das Glockenzeichen bleibt aus. Man schiebt also das Ganze in Fig. 7 etwas abwärts, bis die Glocke klingt, und findet so den Fallraum in der ersten Sekunde direct. Die Beobachtung ist somit allen Schwierigkeiten entzogen, welche aus psychologischen und physiologischen Umständen

entspringen. Findet man die fünf Meter zu unbequem, so kann man ein Pendel anwenden, was mit dem Stromschliesser Fig. 3 genau halbe Sekunden liefert, die sich auch noch gut mit der Pendeluhr controliren lassen.

5. Wasserstandsfernmesser.

Die Kenntniss der Höhe des Wasserstands in Hochreservoiren, Thalsperren, unter Umständen auch des Grundwasserstands u. s. w. ist für die Betriebsleitung von Wasserwerken unentbehrlich; die directe Ablesung der Wasserstandshöhe im Geschäftszimmer selbst, abgesehen von der dadurch ermöglichten Controle der Wächter, höchst erwünscht, um bei eintretendem Mangel durch Trockenheit, starken Verbrauch bei Feuersbrunst, Spülung von Kanälen u. s. w. die erforderlichen Massregeln sogleich treffen zu können. Die Construction von rein mechanischen Apparaten, welche diesen Zweck erfüllen, wenn auch natürlich, wie nicht anders möglich, mit electrischer Uebertragung, kämpft mit den Schwierigkeiten, welche durch die feuchte Atmosphäre und durch den vom Einfluss bewegten Wasserstand verursacht werden.

Im Folgenden ist eine Construction beschrieben, welche betriebssicher functionirt.

An der Mauer M des Bassins ist eine Inductionsspule I befestigt, bei welcher auf eine Glasröhre von 15 mm diam. und 20 cm Länge bei meinem Modell 7 Lagen dünnen Drahtes von 0,20 mm und 5 Lagen dicken Drahtes von 1,2 mm gewickelt sind. Ein Schwimmer S, umgeben von einem Chamotterohr CC′, um den Wellenschlag abzuhalten, führt in der Glasröhre G eine Eisenstange F in der Spule I auf und nieder. Im Amtszimmer der Betriebsleitung ist ein Apparat angebracht, der, wie Fig. 12 zeigt, eine mit der soeben beschriebenen in allen Stücken identische Spule I besitzt, in deren Glasröhre G eine Eisenstange F hineingeschoben wird. Dieselbe ist an dem Klotz K befestigt und lässt sich schlittenartig, wie daneben angedeutet, zwischen den Leisten S und S′ verschieben, so dass man an der Theilung auf Schiene S′ die Tiefe des Einschiebens ablesen kann.

Die Schaltung ist in Fig. 12a angegeben. Der Strom geht durch den Selbstunterbrecher U und dann hintereinander durch die Spulen des dicken Drahtes im Zimmer und im Reservoir. Die Spulen des dünnen Drahtes sind entgegengesetzt verbunden und nehmen in ihren Kreis das Telephon T auf, durch dessen Abhängen sich der primäre Strom schliesst. Das Telephon an's Ohr haltend, schiebt man nun mit dem Klotz K die Eisenstange F ein, bis das Telephon stumm wird. Dies tritt ein, wenn die Eisenstange in die erste Spule ebenso tief eingeschoben ist, wie sie der Schwimmer in die andere Spule im Reservoir eingeschoben hat. Man hört genau und leicht den Einfluss von einem Millimeter Verschiebung der Stange und stellt in 10 bis 15 Sekunden sicher ein. Verschiebt man nun einen Centimeter, so hört man im ganzen Zimmer das Telephon trommeln. Diese grosse Empfindlichkeit würde auch erlauben, den Schwimmer im Bassin durch Uebertragung des Wasserdrucks auf Quecksilber heben zu lassen, wodurch die Spulen sich sofort auf den dreizehnten Teil der Länge reduciren und doch noch den Wasserstand auf 1 bis 2 cm Höhe erkennen lassen würden.