Lehrbuch der Experimentalphysik

Mechanik und Akustik

Wüllner, Adolf

Leipzig, 1870

Aufgabe der Physik

urn:nbn:at:at-ubi:2-7322

Einleitung.

Aufgabe der Physik.

Die uns umgebende Körperwelt, die Natur, können wir nach einer doppelten Richtung hin zum Gegenstande unseres Studiums machen. Einmal können wir suchen die Körper selbst in der Form und dem Zustande, in welchem wir sie vorfinden, kennen zu lernen, zu beschreiben und zu classificiren; diese Aufgabe verfolgen die beschreibenden Naturwissenschaften oder die Naturgeschichte. Andererseits nehmen wir an den Körpern eine Reihe von Veränderungen wahr, die man unter dem Namen von Naturerscheinungen zusammenfasst, die zum Theil ohne zum Theil mit unserm Zuthun verlaufen, die entweder den augenblicklichen Zustand der Körper bleibend oder nur vorübergehend ändern. Das Studium dieser Erscheinungen, der Ursachen, welche sie hervorrufen und der Folgen, welche sie für die Körper haben, an denen sie stattfinden, ist der zweite Zweig der Naturwissenschaften, es ist der Inhalt der Physik und der Chemie.

Die uns umgebende Körperwelt nehmen wir wahr durch den Eindruck, welchen die einzelnen Körper auf unsere Sinne machen, indem wir sie sehen oder auch bei der Berührung fühlen; was eigentlich der Inhalt dieser Körper ist, das wissen wir nicht; um diesen uns unbekannten Inhalt aber allgemein zu bezeichnen hat man ihm einen Namen beigelegt, man nennt ihn die Materie. Die Materie ist also die Trägerin der Eigenschaften, welche die Körper besitzen, sie ist die Ursache der Eindrücke, welche sie auf unsere Sinne machen.

Die Erscheinungen, welche die Körper verändern, und deren Studium der Inhalt der Physik und Chemie ist, können wir also genauer dahin definiren, dass es Veränderungen sind, die an und in der Materie stattfinden.

Wir erkennen die Materie nur durch ihre Eigenschaften; da wir nun an den verschiedenen Körpern verschiedene Eigenschaften vorfinden, so müssen wir schliessen, dass es auch verschiedene Materien gibt. Es gibt nun eine Reihe von Erscheinungen, welche die Eigenschaften der Materien, an denen sie stattfinden, bleibend verändern; es sind das vorzugsweise solche, bei welchen mehrere Materien sich zu einer neuen vereinigen, oder aus einer Materie andere abgeschieden werden. Das Studium dieser Erscheinungen und ihrer Folgen für die einzelnen Materien ist die Aufgabe der Chemie. Sie hat demnach zunächst die verschiedenen Materien kennen zu lernen und zu classificiren; sie hat dabei gefunden, dass es eine gewisse Anzahl Materien gibt, aus denen sich nicht mehr andere abscheiden lassen, und dass aus diesen einfachen Materien sich alle in der Natur befindlichen Körper herstellen, indem zwei oder mehr dieser einfachen Materien zu einer dritten neuen zusammentreten. Sie hat dann ferner die zusammengesetzten Körper in ihre einfachen Bestandtheile zu zerlegen und aus den einfachen Materien die zusammengesetzten herzustellen. Die Aufgabe der Chemie ist daher fest bestimmt und begrenzt, sie hat die jeder Materie eigenthümlichen, ihr besonders zukommenden und sie von den andern unterscheidenden Eigenschaften zu untersuchen und sich mit allen den Erscheinungen zu befassen, welche die innere Zusammensetzung der Körper verändern.

Die Physik lässt alle Erscheinungen, welche die Zusammensetzung der Körper verändern, ausser Acht, sie beschäftigt sich mit denen, welche die Eigenschaften der Materie, an denen sie stattfinden, nicht bleibend, welche also die innere Zusammensetzung der Körper nicht wesentlich verändern. Sie hat daher zunächst die Eigenschaften der Körper zu untersuchen, welche allen den verschiedenen Materien gemeinschaftlich zukommen, dieselben verfolgend in den drei Zuständen, in welchen wir sie vorfinden, in dem festen, flüssigen und luftförmigen. Sie hat die festen, die flüssigen und gasförmigen Körper in ihren Eigenschaften und den uns an ihnen gebotenen Erscheinungen zu untersuchen, die ihnen als solche und unabhängig davon zukommen, welche von den durch die Chemie erkannten Materien gerade den Körper bilden. Die Erscheinungen dieser Art, welche uns die Natur an der Materie zeigt, können wir, wie sich später zeigen wird, in fünf grosse Gruppen ordnen, in die Bewegungserscheinungen, die Erscheinungen des Lichtes, der Wärme, des Magnetismus und der Elektricität. Alle Erscheinungen, die wir kennen, lassen sich in eine dieser Gruppen einordnen, die Betrachtung und Untersuchung dieser fünf Erscheinungsgruppen ist daher die Aufgabe der Physik.

Methode der Physik.

Wenn man das Studium der mathematischen Wissenschaften beginnt, so genügen als Grundlage einige wenige allgemeine, a priori feststehende Sätze, aus welchen man durch strenge logische Schlüsse Folgerungen zieht, welche ebenso sicher sind als jene allgemeinen Sätze selbst. Diese Wissenschaften sind aus Begriffen zusammengesetzt, welche lediglich den Gesetzen des Denkens unterworfen sind. Anders ist es bei dem Studium der physischen Welt, wir können dort nicht von einigen wenigen gegebenen allgemeinen Sätzen ausgehen und aus diesen die Kenntniss der Natur nach den Gesetzen des

Denkens ableiten. Denn die Natur ist etwas ausser uns Existirendes, von dem wir nur durch die Wahrnehmungen unserer Sinne etwas erfahren. Die Grundlage der ganzen Naturwissenschaften bildet daher die Erfahrung dessen was in der Natur vor sich geht. Zu dieser Erfahrung gelangen wir aber lediglich durch vorsichtige, genaue und ins Einzelne gehende Beobachtungen. Ein einfaches Anschauen der Natur genügt dazu nicht; denn die Natur ist ein verwickelter Mechanismus, und die Erscheinungen, die sich unsern Augen darbieten, entstehen durch das Zusammenwirken der verschiedensten Umstände. Eine einfache Anschauung dieser Erscheinungen liefert uns ebenso wenig Aufschluss über die zusammenwirkenden Umstände und die bedingenden Kräfte, wie uns eine Betrachtung der Bewegung des Uhrzeigers die Einrichtung des ihn treibenden Mechanismus kennen lehrt. Wollen wir über diesen Aufklärung haben, so müssen wir das Uhrwerk auseinandernehmen, die Eingriffe der einzelnen Räder verfolgen, bis wir zuletzt in der sich aufwindenden Feder oder dem fallenden Gewichte die Triebkraft finden, die das Werk in Bewegung setzt.

Wie hier bei der Uhr, so müssen wir auch bei dem Studium der Naturerscheinungen verfahren, wir müssen jede Erscheinung zunächst in ihrem Verlaufe auf das genaueste beobachten und in alle ihre Einzelnheiten einzudringen suchen, wir müssen sie in ihren verschiedenen Phasen begleiten und in ihren einzelnen Umständen messend verfolgen.

Dass nur durch die Beobachtung das Fundament gewonnen werden kann, auf dem sich der Bau der Naturwissenschaften erheben kann, das beweist die Geschichte dieser Wissenschaften aufs deutlichste. Jahrhunderte lang glaubte man auf rein speculativem Wege die Naturgesetze, den Mechanismus der ganzen Natur auffinden zu können, die Folge dieses Irrthums war der absolute Stillstand in der Erkenntniss der Natur; selbst die einfachsten Erscheinungen, deren Gesetze jetzt jeder erkennt, wurden missverstanden, weil man es verschmähte die Natur selbst zu befragen. Bis an das Ende des Mittelalters, bis zu den Zeiten Galileis glaubte man, dass Körper von verschiedenem Gewichte mit verschiedener Geschwindigkeit zu Boden fallen, dass der schwerere in demselben Verhältniss rascher falle als ein leichterer, wie er schwerer ist als dieser, man glaubte es auf die Autorität des Aristoteles, der an einer Stelle seiner Schrift über den Himmel den Satz aufgestellt hatte, dass derjenige Körper der schwerere ist, welcher bei gleichem Inhalt schneller abwärts geht. Die einfachste Beobachtung zweier verschiedener fallender Körper hätte die Unhaltbarkeit dieser Ansicht bewiesen, man hätte gesehen, dass sich bei Körpern selbst des verschiedensten Gewichts nur äusserst geringe Unterschiede in der Fallgeschwindigkeit zeigen, man hätte gefunden, dass im luftleeren Raume auch diese kleinen Unterschiede verschwinden.

In welcher Weise exakte Beobachtungen und Messungen die Fortschritte der Wissenschaft bedingen, das zeigt in auffallender Weise die Geschichte der ältesten unter den Naturwissenschaften, der Astronomie. Die Beobachtungen der griechischen Astronomen besonders der alexandrinischen Schule hatten zur Erklärung des Ganges der Gestirne zu dem ptolemäischen Weltsysteme geführt, nach welchem die Erde im Mittelpunkte des Weltsystems steht, und die Planeten, sowie die Sonne in den verwickeltsten Bahnen um dieselbe sich bewegen. Fast zwei Jahrtausende hielt man an diesem Systeme fest, bis Nicolaus Copernicus im Beginne des 16. Jahrhunderts zunächst auf formelle Gründe gestützt das nach ihm benannte System aufstellte, nach welchem die Sonne den Mittelpunkt unseres Weltsystems bildet, um welche unsere Erde und die übrigen Planeten in nahe kreisförmigen Bahnen kreisen. Zunächst stand dann Theorie gegen Theorie, deren letztere gegen die erstere nur den Vorzug der grösseren Einfachheit hatte. Die Beobachtungen und Messungen Kepplers waren es aber, welche den Beweis lieferten, dass die grössere Einfachheit der Wirklichkeit entsprach: Jahrelang bestimmte er mittels täglicher Messungen die Stellungen des Mars und die Zeiten, welche er brauchte, um von einer zur andern zu gelangen. Die Frucht dieser Beobachtungen und der auf sie gestützten Rechnungen waren die beiden ersten Kepplerschen Gesetze, welche er im Jahre 1609 dahin aussprach, dass die Bahn der Planeten Ellipsen seien, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht, und dass die von den Leitstrahlen derselben in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume gleich seien. Nach weitern neunjährigen Messungen und Rechnungen fügte er dann im Jahre 1618 das dritte Gesetz hinzu, dass die Quadrate der Umlaufszeiten sich verhalten wie die Kuben der mittlern Entfernungen. Diese Gesetze waren es, welche dann 50 Jahre später den Geist Newtons in den Stand setzten den Mechanismus unseres Sonnensystems, die Kräfte, welche es in Bewegung erhalten und die Gesetze, nach welchen dieselben wirken, zu erkennen.

Wenn auch die Beobachtung der Naturerscheinungen das Fundament der Naturwissenschaften ist, so reicht sie allein zur Erkenntniss der Natur nicht aus. Die meisten Naturerscheinungen, die ohne unser Zuthun verlaufen, sind nämlich so verwickelter Natur, dass es nicht möglich ist, die Einzelnheiten desselben zu erkennen und die verschiedenen Umstände, welche sie beeinflussen, zu trennen. So lange man deshalb nur auf die Beobachtung der sich uns in der Natur darbietenden Erscheinungen beschränkt war, blieb der Fortschritt der Naturwissenschaften nur ein langsamer. Bei dem Wiederaufleben der Naturwissenschaften im 16. Jahrhundert erfand man dann aber die Kunst die Naturerscheinungen selbst hervorzurufen, ihren Verlauf zu regeln und die Umstände, unter denen sie sich zeigen, zu ändern, man erfand die Kunst Versuche anzustellen; diese Kunst ist es, welche im Laufe der letzten zwei Jahrhunderte die Kenntniss der Naturerscheinungen so weit gefördert, durch welche Physik und Chemie jener stolze Bau geworden, den wir jetzt bewundern.

Der Versuch lehrt uns aber nicht allein die Gesetze jener Erscheinungen kennen, die wir auch ohne unser Zuthun beobachten, er führt uns gleichzeitig zu ganz neuen Erscheinungen, deren Existenz man ohne denselben gar nicht ahnen konnte. Man hat zufällig, schon im Alterthume die Beobachtung gemacht, dass geriebener Bernstein die Fähigkeit besitzt leichte ihm nahe gebrachte Körpertheilchen, wie Strohhalme anzuziehen; indem man den Versuch wiederholte und auch andere Körper demselben unterwarf, fand man die Mittel diese Kraft in höherm Maasse hervorzurufen, man construirte Maschinen, welche zeigten, dass die im Bernstein schlummernde Kraft in schmetternden Funken Glas durchbohren und brennbare Körper entzünden kann. Zufällig fand man, dass zwei verschiedene Metalle, wenn sie nach der Berührung wieder getrennt werden, dieselbe Fähigkeit besitzen, wie der geriebene Bernstein; eine Wiederholung und Abänderung dieses Versuches lehrte uns in der Berührung verschiedener Körper eine neue noch viel mächtigere Quelle der Elektricität kennen, deren Ströme jetzt unsere Telegraphendrähte durchlaufend fast momentan die Gedanken der Menschen in die entferntesten Gegenden tragen.

Die Kunst des Experimentirens förderte die Naturwissenschaften ebenso wie durch die Entdeckung neuer Thatsachen, durch die Erfindung neuer Apparate; jeder derselben vermehrt unsern Einfluss auf die Kräfte der Natur, nicht neue Kräfte schaffend, sondern die vorhandenen nach unserm Willen regelnd und die ohne dieselben verborgenen unsern Zwecken dienstbar machend; jeder derselben eröffnet daher unserer Forschung ein neues Feld. So hat die Luftpumpe uns den Druck der Luft bewiesen, sie macht uns fähig die Eigenschaften der Gase aufzufinden; vieles hat uns die Elektrisirmaschine, die voltaische Säule offenbart; man vermag nicht zu übersehen, welche Entdeckungen sie der Zukunft vorbehalten.

Neben diesen Apparaten, welche bestimmt sind, unserer Beobachtung neue Erscheinungen vorzuführen, gibt es andere von nicht geringerer Wichtigkeit, deren Aufgabe es ist, die beobachteten Thatsachen zu isoliren und messend zu verfolgen, so das Barometer, das Thermometer, das Fernrohr, und die ganze Reihe von feinen Messapparaten, die allein im Stande sind unsern Beobachtungen die erforderliche Genauigkeit zu geben. Beide Arten von Instrumenten haben die gleiche Bedeutung, die erstere, indem sie unsere Kenntniss erbreitert, die letztere, indem sie dieselbe vertieft.

Die Beobachtungen und Versuche liefern uns in einer Menge von Thatsachen das Material, dessen Verwerthung dann die Thätigkeit des menschlichen Geistes, den combinirenden Scharfsinn unseres Verstandes verlangt. Denn einer Kenntniss der Natur können wir uns nur rühmen, wenn wir das Bedingende der einzelnen Naturerscheinungen erkannt haben, wenn wir die Gesetze kennen, welche ihre gegenseitige Abhängigkeit darstellen. Diese Kenntniss erlangen wir erst, wenn wir durch Combination der einzelnen Beobachtungen das ihnen Gemeinsame und ihren Verlauf aufsuchen. Ein Beispiel wird zeigen, in welcher Weise man zu einem solchen Gesetze gelangt. Wenn ein Lichtstrahl in seiner Bahn auf eine glatte Fläche trifft, so wird er von derselben immer zurückgeworfen, und man sieht bald, dass die Richtung, nach welcher der Strahl zurückgeworfen wird, verschieden ist, je nach der

Richtung, in welcher der Strahl die Fläche trifft. Die Erscheinung der Zurückwerfung ist uns deshalb erst dann vollständig bekannt, wenn wir für jeden einfallenden Strahl auch die Richtung des zurückgeworfenen kennen, wenn wir also das Gesetz kennen, welches die Richtung dieser beiden Strahlen mit einander verknüpft. Wir erhalten dasselbe, indem wir zunächst in einer Reihe von Versuchen die Richtungen des einfallenden und des zu ihm gehörigen zurückgeworfenen Strahles messend bestimmen, und nun die so gefundenen Richtungen mit einander vergleichen. Man findet dann, dass die Winkel, welche beide Strahlen in der Ebene, welche durch den einfallenden Strahl und die an der Stelle, an welcher derselbe die Fläche trifft, errichtete Normale gelegt wird, mit der Normale bilden, immer gleich sind. Aus dieser Vergleichung erhält man dann das Gesetz: „Der Zurückwerfungswinkel ist dem Einfallswinkel gleich.“ Man sieht, dieses Gesetz, und so jedes andere physikalische Gesetz, ist eine mathematische Beziehung zwischen den eine Erscheinung bedingenden veränderlichen Grössen.

Die auf diese Weise erhaltenen physikalischen Gesetze sind der gemeinsame Ausdruck einer Reihe einzelner Thatsachen; ihre Bedeutung ist aber noch eine weitere, sie drücken nicht nur die Thatsachen aus, welche wir zu ihrer Ableitung benutzten, sondern sie enthalten auch alle Erscheinungen in sich, die aus jenen Thatsachen folgen. Man habe z. B. einen Spiegel von beliebiger aber geometrisch bestimmter Gestalt, und es fallen auf ihn Lichtstrahlen, welche von einer in bestimmter Entfernung aufgestellten Flamme herkommen. Das eben erwähnte Reflexionsgesetz setzt uns in den Stand die Wirkung des Spiegels zu bestimmen, ohne den Versuch zu Hilfe zu nehmen; denn nach jenem Gesetze kann man den Weg jedes Lichtstrahles nach der Reflexion mit Hilfe der analytischen Geometrie ableiten. Wie in diesem so ist es in allen Fällen; jedes physikalische Gesetz schliesst eine Reihe von Folgesätzen in sich, welche aus jenem sich ableiten lassen; das Mittel diese Sätze abzuleiten ist die Mathematik, man hat die Gesetze mathematisch zu formuliren, und indem man dann dieselben als Ausgangspunkte nimmt, aus ihnen nur durch mathematische Entwicklungen die Folgerungen zu ziehen.

Daraus erhellt die äusserst wichtige Rolle, welche die Mathematik in der Entwicklung der Physik spielt. Sie ist ebenso wichtig als die Versuche, denn sie dient dazu diese zusammenzufassen und zu berechnen, die erhaltenen Gesetze auszudrücken und aus diesen die weiteren Folgen abzuleiten. Die Mathematik ist für den Physiker eine Sprache und ein Instrument. Da man die Mathematik nur anwenden kann, wenn die Wissenschaft von unbestimmten Erfahrungen zu genau gemessenen Beziehungen fortgeschritten ist, wenn sie begonnen hat, die einzelnen Thatsachen in ihrer Gesetzmässigkeit zusammenzufassen, so kann man behaupten, dass der Grad des Fortschrittes in unserer Wissenschaft bestimmt wird nach der Anwendung der Mathematik.

In jedem Zweige der Physik gibt es gewisse Gruppen von Erscheinungen, welche sich alle aus einem fundamentalen Gesetze ableiten lassen. So unter den Lichterscheinungen die Erscheinungen der Reflexion und Brechung, die der Interferenz und Beugung; die Gesetze dieser Erscheinungen sind jetzt vollständig bekannt; und indem man sie als Grundlage nimmt, ist es leicht, nur durch mathematische Entwicklungen die Gesetze der Fortpflanzung des Lichtes durch eine beliebige Reihe von Mitteln und unter den verschiedensten Umständen zu erhalten. Wären alle Gesetze der Optik oder überhaupt eines Zweiges der empirischen Wissenschaften bekannt, so könnte man den Weg der Erfahrung, welche zu deren Auffinden diente, verlassen, und mit geänderter Methode nur durch mathematische Deductionen ihre Folgerungen erhalten. Die Physik hat diesen Punkt noch lange nicht erreicht; aber dahin zu gelangen, ist eine Aufgabe, welche sie sich vorsetzen darf, und welche eines Tages zu lösen sie erwarten kann. In einem Zweige derselben wenigstens ist sie dahin gelangt, in der theoretischen Mechanik. Dieselbe war ursprünglich eine empirische Wissenschaft, wie alle Zweige der Naturlehre, denn man kann nicht a priori wissen, in welcher Weise die Körper durch auf sie wirkende Kräfte bewegt werden, und nach welchen Gesetzen die Körper auf einander einwirken; die Beobachtungen Kepplers, die Versuche Galileis und Huyghens boten aber schon das Material, aus welchem Newton die fundamentalen Gesetze dieser Erscheinungsgruppe ableitete. Seitdem aber ist die Mechanik ein Zweig der mathematischen Wissenschaften geworden; sie enthält sich der Versuche und entwickelt ihre Sätze an der Hand logischer Folgerungen.

Wie in der Mechanik, so ist dieses Ziel erreicht in der Astronomie, in einem grossen Theile der Optik und in manchen kleinern Zweigen der Physik, man ist bestrebt, es auch in den übrigen zu gewinnen.

Fassen wir das Resultat der bisherigen Betrachtungen zusammen, so können wir in der Entwicklung der physikalischen Wissenschaften drei Epochen unterscheiden; die erste ist die der Empirie, durch Beobachtung und Versuche werden Thatsachen gesammelt und aus diesen durch die combinirende Thätigkeit des Verstandes die Gesetze der einzelnen Erscheinungen aufgestellt; an diese schliesst sich, sobald hinreichendes Material vorhanden ist, die philosophische Thätigkeit der Abstraction, des Aufsuchens der Hauptgesetze für eine Reihe aus gleicher Ursache hervortretender Erscheinungen, und auf diese folgt dann eine Zeit, in welcher man durch Deduction aus jenen Gesetzen neue Folgerungen und Thatsachen ableitet, eine Zeit, in welcher Beobachtung und Versuch nur dazu dienen die theoretisch abgeleiteten Folgerungen zu controliren und nachträglich zu bestätigen. Im allgemeinen ist das auch der geschichtliche Gang in der Entwicklung der Physik, man findet fast stets diese drei Epochen auch zeitlich verschieden.

Man begnügt sich jedoch in den Naturwissenschaften nicht damit aus den Beobachtungen und Versuchen die Gesetze und aus diesen durch mathematische Deductionen weitere Folgerungen abzuleiten, sondern man geht weiter. Der menschliche Geist hat das natürliche Bestreben alles zu erklären; er sucht die Ursachen aufzufinden, aus denen die beobachteten Erscheinungen hervorgehen. Und wenn es nun klar ist, dass man von einer bekannten Ursache durch streng logische Schlüsse zu ihren Wirkungen herabsteigen kann, so ist es doch ebenso klar, dass der umgekehrte Weg nicht dieselbe Gewissheit bietet. Denn es kann ein und dieselbe Erscheinung aus verschiedenen Ursachen hervorgehen, und nichts bürgt uns dafür, dass wir bei Annahme der Ursache einer Erscheinung unter den möglichen die richtige wählen. Wenn wir wissen, dass das Wasser unter dem Drucke der Atmosphäre steht, so ist es eine nothwendige Folgerung, dass es in einer Pumpe aufsteigen muss, in welcher wir über dem Wasser einen luftleeren Raum hergestellt haben; weiss man dagegen nicht, dass das Wasser dem Druck der Atmosphäre ausgesetzt ist, und sieht man dasselbe in einer luftleer gemachten Pumpe emporsteigen, so kann man eine Menge von Ursachen ersinnen, welche das Aufsteigen bewirken. Will man zwischen diesen wählen, so hat man alle Chancen dafür, dass man die unrichtige wählt, gegen eine einzige, dass man die richtige trifft. Die Geschichte lehrt uns, wie sich die älteren Physiker in der That täuschten, als sie annahmen die Natur habe einen Abscheu vor dem leeren Raume. Demselben Bedürfnisse nach einer Erklärung folgen wir bei der Annahme, dass die Materie sich anziehe; die Mechanik beweist zwar strenge, dass zwischen zwei benachbarten Gestirnen eine Kraft thätig ist, aber wir sind genau genommen ebenso wenig berechtigt, diese Kraft einer Anziehung der Materie zuzuschreiben, als aus dem Steigen des Wassers in der Pumpe den horror vacui zu folgern; es ist möglich, dass die eine Annahme ebenso wenig der Wirklichkeit entspricht, als die andere. Die verschiedenen Erscheinungen des Lichtes, der Wärme, des Magnetismus und der Elektricität suchte man lange Zeit und zum Theil noch jetzt durch vier verschiedene unwägbare Flüssigkeiten zu erklären. Dieselben sind aber nichts als Geschöpfe unserer Einbildungskraft, geeignet sich allen Erklärungen anzuschmiegen, weil wir ihnen alle möglichen Eigenschaften beilegen können.

Die Hypothesen über die Grundlagen der Naturerscheinungen, die Annahme über die verschiedenen Kräfte, aus denen sie hervorgehen, dienen in vielen Fällen nur dazu unsere Unwissenheit zu verbergen und unsern Geist irre zu führen. Selten lässt der Fortschritt der Wissenschaft sie bestehen; man hat viele aufgestellt, nur wenige werden noch festgehalten, und wer weiss, welches das Schicksal dieser wenigen sein wird. Die neuere Physik hütet sich daher ebenso sehr vor Hypothesen, wie die ältere bestrebt war sie zu vervielfältigen. Sie lässt aber trotzdem einige zu, aber unter einer Bedingung, welche dieselben brauchbar und nützlich macht, unter der Bedingung, dass sie einen einzigen obersten Grundsatz bilden, aus dem man die experimentell gefundenen Thatsachen mathematisch entwickeln kann, und der geeignet ist, selbst auf neue Thatsachen zu führen. Die einfachste Hypothese ist deshalb die beste, und wenn man sich für eine zu entscheiden hat, mag man den Ausspruch Fresnels zur Richtschnur nehmen: „Dans le choix d'un système on ne doit avoir égard qu'à la simplicité des hypothèses; celle de calcule ne peut être d'aucun poids dans la balance des probabilités. La nature se n'est pas embarrassée des difficultés d'analyse, elle n'a évité que la complication des moyens. Elle paraît s'être proposé de faire beaucoup avec peu: c'est un principe que le perfectionnement des sciences physique appuie sans cesse de preuves nouvelles“ [1]).

Eine solche Hypothese ist die jetzt der Behandlung der Optik zu Grunde gelegte Undulationstheorie. Seitdem man angenommen hat, das Licht sei eine zitternde Bewegung des Aethers, wurden alle experimentell aufgefundenen Gesetze der Lichterscheinungen Folgerungen dieses einen Grundsatzes, und die Optik hat fast jene Stufe der Vollkommenheit erreicht, auf welcher die Erfahrung nur mehr ein Mittel ist, die Folgerungen der Theorie zu bestätigen, anstatt das einzige Mittel zu sein, um Gesetze aufzufinden. Das ist eben die Bedingung, unter welcher man jetzt eine Hypothese zulässt.

Ableitung der physikalischen Gesetze aus Messungen.

Wir haben im Vorigen bereits mehrfach gezeigt, dass die Grundlage alles physikalischen Wissens genaue Beobachtungen und Messungen sind; ehe wir zur Besprechung der physikalischen Naturerscheinungen selbst übergehen, müssen wir uns daher noch die Frage vorlegen, wie wir aus den Messungen die Gesetze der Erscheinungen ableiten, und wie wir bei den Messungen zu verfahren haben. Wir wollen dieses an dem Beispiele der Zurückwerfung des Lichtes zeigen, welches wir vorhin bereits angeführt haben. Wir wissen also, dass jedesmal wenn ein Lichtstrahl auf eine polirte Fläche fällt, derselbe zurückgeworfen wird, ferner, dass die Richtung, nach welcher der zurückgeworfene Strahl fortgepflanzt wird, sich ändert, wenn die Richtung des einfallenden sich ändert. Um das Gesetz zu erhalten, welches die Abhängigkeit der Richtung des zurückgeworfenen von der des einfallenden Strahles darstellt, setzen wir einen Spiegel in den Mittelpunkt eines getheilten Kreises, so dass die Ebene des Spiegels senkrecht ist zur Ebene des Kreises. An dem Kreise sind zwei bewegliche Radien, deren Enden mit einer Spitze auf die Theilung des Kreises zeigen. Die Radien tragen durchsichtige Röhren, deren Achsen den Radien parallel sind; vor der einen Röhre steht eine möglichst kleine Flamme, welche nur durch die Röhre Licht auf den Spiegel senden kann. Ist nun der Spiegel ferner so aufgestellt, dass die Spiegelnormale, das Einfallsloth, den Nullpunkt der Theilung trifft, so gibt uns der Abstand des die Flamme tragenden Radius vom Nullpunkte der Theilung den Einfallswinkel des Lichtstrahls. Wir verschieben dann den zweiten beweglichen Radius so lange, bis wir durch die Röhre blickend den zurückgeworfenen Strahl sehen. Da dann die Richtung dieses zweiten Radius jene des zurückgeworfe-

1) Fresnel: Sur la diffraction de lumière. Mémoires de l'Acad. de France. Tom. V.

nen Lichtstrahles ist, so gibt uns der Abstand seiner Spitze von dem Nullpunkte der Theilung den Zurückwerfungswinkel. Man setzt dann die beiden beobachteten Winkel nebeneinander. Man wiederholt dann den Versuch, indem man nach und nach verschiedene Einfallswinkel wählt, dabei von dem kleinsten, der senkrechten Incidenz, bis zum grössten, der streifenden Incidenz fortschreitet, und entwirft sich eine Tabelle, auf welcher neben jedem gewählten Einfallswinkel der beobachtete Zurückwerfungswinkel verzeichnet ist. Eine Vergleichung der zusammengehörigen Winkel zeigt uns dann, unter Voraussetzung absoluter Genauigkeit, dass die zu einander gehörigen Winkel immer gleich sind. Indem man dann so eine ganz constante Beziehung zwischen den beiden Winkeln in den beobachteten Fällen erkennt, schliesst man, dass das in allen so sein wird und erhält auf diese Weise ein experimentell bewiesenes Gesetz.

Der Beweis eines physikalischen Gesetzes ist somit der Nachweis einer bestimmten Beziehung zwischen Zahlen, welche durch direkte Messung erhalten oder aus direkt gemessenen Grössen berechnet werden; wir erkennen diese Beziehung in einer grössern oder geringern Anzahl von Fällen und schliessen daraus, dass sie in allen bestehe.

Damit aber die zwischen den verglichenen Grössen bestehende Beziehung in aller Schärfe hervortrete, ist es nöthig, dass die Messungen absolut genau sind. Das ist niemals zu erreichen, einmal wegen der Ungenauigkeit der Instrumente, dann aber auch wegen der Unvollkommenheit unserer Sinne. In dem eben besprochenen Beispiele ist der Maassstab, an welchem gemessen wird, ein getheilter Kreis; eine solche Theilung lässt sich nie absolut genau herstellen, der eine Grad ist niemals dem andern absolut gleich, und die Theilstriche haben niemals absolut gleiche Breite. An dem Kreise lassen sich ferner niemals die beweglichen Radien mit absoluter Genauigkeit einstellen und schliesslich lässt sich die Stellung der Radien nicht mit vollkommener Sicherheit ablesen. Deshalb sind auch die besten Messungen mit unvermeidlichen Beobachtungsfehlern behaftet, welche je nach der Güte der Instrumente und der Geschicklichkeit des Beobachters grösser oder kleiner sein können. Sind die Instrumente schlecht, besitzt der Beobachter nicht die nothwendige Geschicklichkeit, oder wendet er nicht die gehörige Sorgfalt an, so können die Beobachtungsfehler eine solche Grösse erreichen, dass die Messungen das Gesetz gar nicht erkennen lassen; man würde dann gar keine oder auch sehr viele algebraische Beziehungen finden, welche die beobachteten Werthe mit der gleichen Genauigkeit wiedergeben, und keine dieser Beziehungen würde nach den Messungen den Vorzug verdienen.

Haben aber die Instrumente die nöthige Feinheit und hat der Beobachter die erforderliche Sorgfalt angewandt, so findet man immer eine Beziehung, welche die beobachteten Werthe am genauesten wiedergibt, und indem man dann erwägt, dass vollkommene Genauigkeit nicht erreicht werden kann, darf man diese Beziehung als den Ausdruck des physikalischen Gesetzes betrachten.

Hierbei sind aber noch folgende Punkte zu beachten. Da man bei einer hinreichend grossen Zahl von Messungen ebenso oft Wahrscheinlichkeit hat, dass die beobachteten Werthe zu klein als dass sie zu gross sind, so müssen im allgemeinen ebenso viele Werthe kleiner als grösser sein wie diejenigen, welche das aus den Messungen abzuleitende Gesetz verlangt. Findet man dagegen, dass die gefundenen Werthe, wenn auch innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler, stets grösser oder stets kleiner sind, so muss man dennoch schliessen, dass das Gesetz nicht genau besteht. Wir werden sehen, dass die Erkenntniss der nicht ganz strengen Gültigkeit des Mariotteschen Gesetzes lange Zeit dadurch verzögert wurde, dass Arago und Dulong diese Vorsicht bei den aus ihren Versuchen gezogenen Schlüssen verabsäumten.

Die Abweichungen der beobachteten Werthe von den vom Gesetze verlangten müssen ferner ganz unregelmässig sein, dieselben dürfen nicht eine bestimmte Gesetzmässigkeit zeigen. Würde man finden, dass etwa für kleine Werthe der gegebenen Grösse der beobachtete Werth der von derselben abhängigen Grösse immer grösser, für grosse dagegen immer kleiner ist als der vom Gesetze verlangte, so würde man auch dann nicht schliessen dürfen, dass das aus den Messungen abgeleitete Gesetz der Wirklichkeit vollständig entspricht; wir dürfen es auch dann, wie in dem vorigen Falle, nur für ein annähernd richtiges halten.

Wie gross in den einzelnen Fällen die Beobachtungsfehler sein können, wie nahe die beobachteten Werthe den wirklich stattfindenden entsprechen können, das lässt sich nicht allgemein feststellen; es hängt das unter sonst gleichen Umständen von der Schwierigkeit der Messungen ab. Man hat in jedem Falle die Grenze der erreichbaren Genauigkeit zu bestimmen, in welcher Weise, das werden wir später bei den einzelnen Untersuchungen kennen lernen. Das aber ist immer festzuhalten, dass wenn Beobachtungen ein Gesetz bestätigen sollen, die Differenzen des beobachteten und gesetzmässigen Werthes nur ein kleiner Bruchtheil des erstern sein dürfen.

Die in der Physik gebräuchlichen Maasse.

Die Maasse, welche in der Physik angewandt werden, sind dem neufranzösischen Maasssystem entnommen, welches den grossen Vorzug hat, dass es alle Maassbestimmungen auf ein und dieselbe Einheit, die des Längenmaasses zurückführt. Die Einheit des französischen Längenmaasses ist das Meter. Dasselbe ist von der Länge eines Erdmeridians abgeleitet und zwar wurde der 10millionte Theil des durch genaue Messungen bestimmten Quadranten eines Erdmeridian dazu gewählt. Später hat sich zwar ergeben, dass in die dem Meter zu Grunde liegenden Messungen sich ein kleiner Fehler eingeschlichen hat, da aber die Maasseinheit einmal festgestellt und verbreitet war, so hat man es unterlassen, dieselbe darnach zu ändern. Das Meter ist sonach um ein sehr Geringes von dem 10millionten Theile eines Erdmeridianquadranten verschieden.

Man theilt das Meter nach dem Decimalsystem

$$1 \text{ Meter} = 10^{dc} \text{ Decimeter} = 100^{cm} \text{ Centimeter} = 1000^{mm} \text{ Millimeter.}$$

Früher legte man in Frankreich und noch jetzt in den übrigen Ländern die willkürlich gewählte Einheit des Fusses (ungefähr von der Länge des menschlichen Fusses) zu Grunde.

Eine Vergleichung der wichtigsten Fussmaasse mit dem Metermaass gibt folgende Zusammenstellung.

Meter	Pariser Fuss	Preussen Rhnld. Fuss	England Fuss	Oesterreich Wien. Fuss	Baiern Fuss	Baden Fuss	Hannover Fuss	Kurhessen Fuss
1 =	3,078 444	3,186 199	3,280 899	3,163 446	3,426 310	3,333 333	3,423 547	3,475 854

Mit Preussen hat Dänemark, mit England Russland, mit Baden die Schweiz gleiches Fussmaass.

Der Fuss wird eingetheilt in 12 Zolle, der Zoll in 12 Linien

$$1' = 12'' = 144'''.$$

Vielfach, besonders bei Landvermessungen, wird der Fuss auch nach dem Decimalsystem getheilt

$$1' = 10'' = 100'''.$$

Das Flächenmaass wird im neufranzösischen System durch Quadrirung des Meter erhalten, und ebenso das Körpermaass durch Kubation des Meter.

$$1^{qm} \text{ Quadratmeter} = 100^{qdm} = 10\,000^{qcm} = 1\,000\,000^{qmm}.$$

$$1^{km} = \text{Kubikmeter} = 1\,000^{kdm} = 1\,000\,000^{kcm} = 1\,000\,000\,000^{kmm}.$$

Es wird leicht sein, das Verhältniss der Quadrat- und Kubik-Fusse, Zolle etc. zum französischen Flächen- und Kubikmaasse zu erhalten.

$$1^{qm} = 9{,}476817 \;\square' \text{ Paris.} = 10{,}15187 \;\square' \text{ preuss. etc.}$$

$$1^{km} = 29{,}17385' \text{ kub. Paris.} = 32{,}34587' \text{ kub. preuss. etc.}$$

Als Einheit des Hohlmaasses geht das französische Maasssystem von dem Rauminhalt eines Kubikdecimeter aus und nennt dieses ein Litre.

In den übrigen Ländern ist das Hohlmaass aus dem Fussmaass verschieden gebildet. In Preussen ist das Quart = 64″ kub., in England die Gallone = 277,2738″ kub., in Baiern das Maass = 84,304″ kub. u. s. f.

Es ist

1 Litre = 0,8733386 preuss. Quart = 0,9354301 bair. Maass = 0,2200967 engl. Gallone.

Auch die Einheit des Gewichtes ist im französischen Maasssytsem von der Einheit des Längenmaasses abgeleitet. Man geht vom Centimeter aus und nennt das Gewicht eines Kubikcentimeters Wasser von 4^0 C auf der Sternwarte zu Paris 1 Gramm.

Im gewöhnlichen Leben wird das Gewicht von einem Litre Wasser als Einheit genommen. Dasselbe enthält 1000^{cm} kub. und wiegt daher 1000^{gr}. Dieses Gewicht wird Kilogramm genannt.

Die Unterabtheilungen des Grammes sind nach dem Decimalsystem gebildet.

$1^{gr} = 10^{dgr}$ Decigramme $= 100^{cgr}$ Centigramme $= 1000^{mgr}$ Milligramme.

In den übrigen Ländern ist die Einheit des Gewichtsmaasses das Pfund, welches sich in den meisten von $^1/_2$ Kilogramm nicht bedeutend unterscheidet. In den Ländern des deutschen Zollvereins ist grösstentheils in der neueren Zeit das halbe Kilogramm auch als Einheit des Landesgewichts eingeführt, so in Preussen, Sachsen, Baden, Hessen u. s. f. Eine Vergleichung der wichtigsten Pfunde mit dem Kilogramm bietet folgende Zusammenstellung:

1 Kilogr. = 2,204597 Pfd. englisch Avoirdupois,
= 1,785714 „ baierisch,
= 1,785675 „ österreichisch,
= 2,441883 „ russisch,
= 2,002768 „ dänisch und norwegisch,
= 2,351063 „ schwedisch Schalgew.,
= 2,000000 „ Zollgewicht, preussisch, hessisch etc.

In den deutschen Staaten, in denen neuerlichst das $^1/_2$ Kilogramm als Landesgewicht eingeführt ist, wird das Pfund eingetheilt:

1 Pfund = 30 Loth
1 Loth = 10 Quent
1 Quent = 10 Cent
1 Cent = 10 Korn,

es ist somit

1 Loth $= 16{,}666^{gr}$ 1 Cent $= 0{,}1666^{gr}$
1 Quent $= 1{,}6666^{gr}$ 1 Korn $= 0{,}01666^{gr}$.

Um eine Richtung im Raum mit einer andern zu vergleichen, hat man ein Maass für Winkel oder Richtungsverschiedenheiten eingeführt. Man theilt zu dem Ende überall den Kreisumfang in 360 Theile, deren einer Grad genannt wird. Der Grad wird in 60′ Minuten, die Minute in 60″ Sekunden getheilt.

Die Erscheinungen, welche wir in der Physik zu betrachten haben, treten nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich verschieden auf. Wir haben daher in vielen Fällen auch die Zeit zu messen. Das Zeitmaass ist auf die Länge des Tages gegründet, es ist

1 Tag = 24 Stunden
1^h Stunde = 60′ Minuten
1′ Minute = 60″ Sekunden.

In der Physik dient meist die Sekunde als Einheit der Zeit.

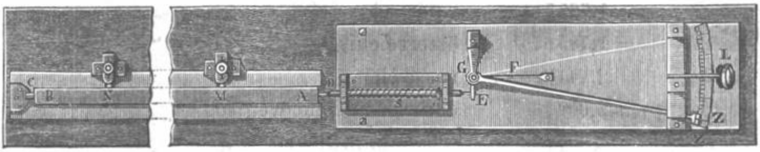
Ueber einige Messinstrumente.

Der Comparator.

Wir beziehen in der Physik alle Längeneinheiten auf das Meter, den 10millionten Theil des Erdquadranten. Da es schwierig ist, jedes Metermaass durch direkte Messung am Erdmeridian zu erhalten, so hat man ein Meter aus Platin construirt, welches als Etalon in den Pariser Archiven aufbewahrt wird. Nach diesem Muster werden alle Meter hergestellt, welche in Gebrauch sind. Es ist jedoch äusserst schwierig, nach diesem Muster eine Copie zu verfertigen, und es gelingt nur nach einer äusserst sorgfältigen Vergleichung mit Hilfe von Instrumenten, welche den Namen Comparatoren führen. Wir wollen ein solches sehr einfaches von Fortin construirtes Instrument beschreiben.

Ein breite Platte von gehobeltem Gusseisen dient dem Apparat (Fig. 1) als Basis.

Fig. 1.



Diese Platte besitzt an dem einen Ende ein mit Schrauben befestigtes stählernes Aufsatzstück C; an diesem befindet sich eine vorspringende stumpfe Schneide, gegen welche das Meter fest angelegt wird. Gegen das andere Ende des Apparats hin ist ein stählerner Stift DE angebracht, der seiner Länge nach gleiten kann; man kann ihn von D nach E hin verschieben, aber eine Spiralfeder drückt ihn immer nach D hin zurück. Der Messapparat des Instrumentes wird von einem um eine Axe G beweglichen Winkelhebel ZGE gebildet. Der Winkelhebel hat einen sehr kurzen Arm GE, der durch eine Feder F immer an das Ende E des Stiftes DE angedrückt ist, und einen 100mal längeren Arm ZG, dessen Ende auf einem getheilten Kreisbogen sich bewegt. Bei L befindet sich eine Lupe, durch welche man scharf beobachten kann, an welchem Theilstrich das Ende Z ansteht.

Um nun ein Meter zu prüfen, verfährt man folgendermaassen. Zunächst legt man den Etalon, mit welchem man den Maassstab vergleichen will, gegen die Schneide bei C und richtet ihn gerade durch Anschieben an die beiden festen Aufsatzstücke M und N. Der bewegliche Stift DE wird dann durch die ihn umgebende Spiralfeder gegen das Ende A des Etalons gedrückt; der Hebelarm GE wird dann durch die Feder F an das vordere Ende E des Stiftes DE angedrückt und der Zeiger GZ stellt sich auf irgend einen Theilstrich der Theilung ein. Man beobachtet und bemerkt sich denselben.

Darauf ersetzt man den Etalon durch den Maassstab, der geprüft werden soll. Wenn der Zeiger dann genau auf demselben Theilstrich einsteht, so ist derselbe richtig, zeigt er auf eine andere Stelle der Theilung, so ist der Maassstab unrichtig und muss, je nachdem der Zeiger sich mehr oder weniger entfernt von Z einstellt, verkürzt oder verlängert werden.

Um die Empfindlichkeit des Apparates zu beurtheilen, genügt es zu beachten, dass der Unterschied der beiden verglichenen Maassstäbe in der Bewegung des Hebelendes Z hundertmal grösser erscheint, weil der Arm ZG des

Winkelhebels 100mal grösser ist als der Arm *GE*. Da man nun eine Verschiebung von $0^{mm},1$ auf der Theilung mit Hilfe der Lupe noch recht gut wahrnehmen kann, so kann man einen Unterschied der Maassstäbe von $0^{mm},001$ noch gut bestimmen.

Die Vergleichung eines Maassstabes mit dem Etalon ist aber dennoch meist nicht so einfach, da nur selten der verglichene Maassstab von Platin verfertigt ist. Die Wärme dehnt nämlich alle Körper aus, und der als Etalon benutzte Platinmaassstab hat nur bei der Temperatur des schmelzenden Eises genau die Länge des als Einheit angenommenen Meters. Man muss daher alle Vergleichungen bei dieser Temperatur ausführen, oder wenn man sie bei einer andern Temperatur ausgeführt hat, Rücksicht nehmen auf die Ausdehnung der Körper durch die Wärme, welche für die verschiedenen Maassstäbe eine andere ist, wenn sie nicht aus dem gleichen Material gefertigt sind. Dadurch wird das Verfahren etwas complicirter; wir werden später sehen, wie man diese nothwendigen Correctionen anbringen kann.

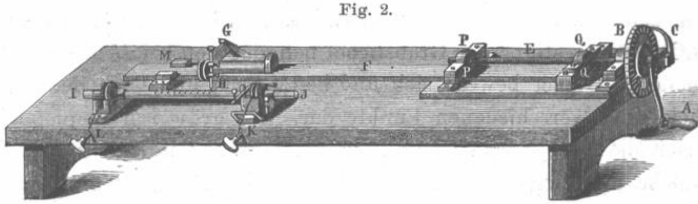
Mit Hilfe des Comparators kann man sich also jeder Zeit ein genaues Meter verschaffen. Ist das geschehen, so müssen wir dasselbe in seine Unterabtheilungen, Decimeter, Centimeter und Millimeter theilen. Diese gleich schwierige Operation geschieht mittels der Theilmaschine.

Die Theilmaschine.

Der wichtigste Theil dieses Apparates ist eine Mikrometerschraube. Dieselbe ist auf einem möglichst homogenen Cylinder von hartem Stahl eingeschnitten und hat eine Länge von 50—80 Centimeter. Bei der Herstellung derselben sucht man es dahin zu bringen, dass ein Schraubengang genau einem Millimeter entspricht, das heisst also einmal zu erreichen, dass die Höhe aller Schraubengänge unter sich gleich und jeder gleich einem Millimeter ist. Es muss also die Anzahl der Schraubengänge genau der Anzahl Millimeter entsprechen, welche der Cylinder lang ist. Absolute Genauigkeit kann natürlich nicht erreicht werden, die Ungenauigkeiten dürfen aber nur sehr klein sein und müssen durch Messung bestimmt werden. Bei der Beschreibung des Instrumentes und seiner Anwendung nehmen wir an, dass die Schraube möglichst genau gearbeitet sei.

An seinen beiden Enden ist der mit der Schraube versehene Cylinder in zwei Zapfenlager *P* und *B* (Fig. 2.) eingeschlossen, in denen er sich mit sanfter Reibung drehen kann ohne die geringste fortschreitende Bewegung an-

Fig. 2.



zunehmen; eine Kurbel A, welche man mit der Hand dreht, bringt diese Bewegung hervor.

Die Schraube geht in einer Mutter Q, welche sie umfasst und welche sich nicht mit derselben drehen kann. Die Mutter bewegt sich daher vorwärts oder rückwärts, wenn man die Schraube in dem einen oder andern Sinne dreht. Die Mutter theilt ihre Bewegung einer stählernen Platte F mit, welche an ihr befestigt ist. An der Platte F ist ein Grabstichel H angebracht, der also genau die Bewegung der Platte und somit der Schraubenmutter Q annimmt.

Es ist klar, dass durch eine ganze Umdrehung der Kurbel der Grabstichel um die Höhe eines Schraubenganges, also um 1^{mm} fortschreitet, durch eine zehntel, hundertstel, tausendstel Umdrehung bewegt sich auch der Stichel um $0^{mm},1$, $0^{mm},01$, $0^{mm},001$ fort. Es genügt daher den Bruchtheil der Umdrehung der Schraube zu kennen, um genau zu wissen, wie weit der Stichel vorangeschoben ist.

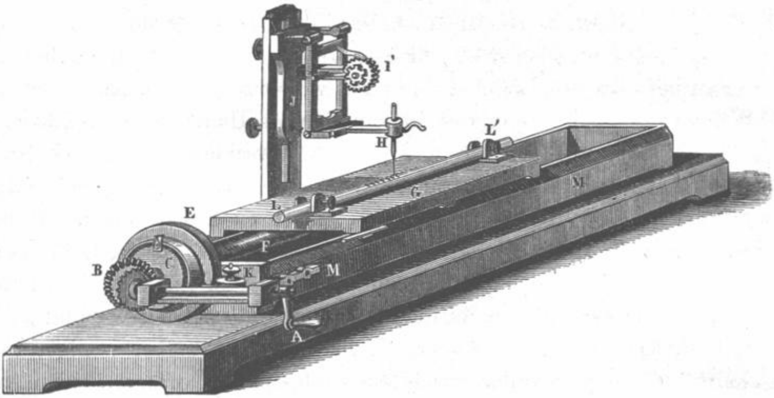
Es ist deshalb an dem mit der Kurbel versehenen Ende der Schraube auf den Cylinder eine kreisförmige Scheibe D aufgesetzt, welche sich mit der Schraube dreht und deren Rand in 100 oder mehr Theile getheilt ist; ein unbeweglicher an dem Tisch des Apparates angebrachter Zeiger C gibt dann an, um wieviel Theile einer Umdrehung die Schraube gedreht, um wieviel hundertstel eines Millimeter also der Stichel voran geschoben ist.

Will man nun z. B. eine Glasröhre theilen, so legt man dieselbe, wie die Figur anzeigt, auf 2 Lager, in denen sie durch 2 Fäden L und K festgehalten wird, so dass sie sich drehen aber nicht ihrer Länge nach bewegen kann. Man nimmt dann als Stichel einen Schreibdiamanten und führt ihn mittels der Schraube an das Ende der Röhre. Dort macht man den ersten Strich, indem man den Diamanten mit der einen Hand sanft auf die Röhre drückt und mit der anderen die Röhre in ihren Lagern herumdreht. Darauf dreht man die Kurbel um n Theile des Kreises und bewirkt dadurch ein Fortschreiten des Diamanten um $n\ 0^{mm},01$. Man zieht den zweiten Strich und fährt so fort, bis man die gewünschte Theilung vollendet hat.

Dies war die Theilmaschine in ihrer ersten Gestalt, theoretisch zwar vollendet, aber für die praktische Anwendung, wie jeder sieht, sehr unbequem. Man hat daher an derselben manche Verbesserungen angebracht. Eine volkommnere zeigt Fig. 3.

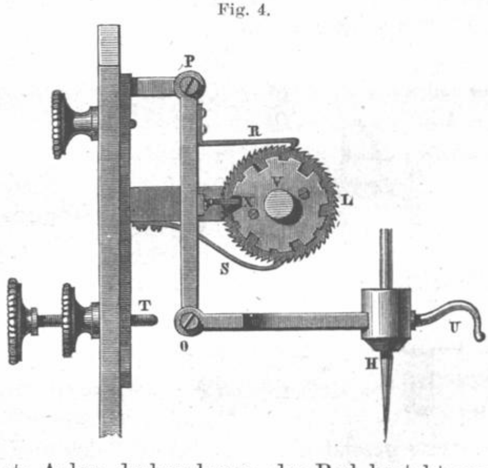
Die Basis M ist von Gusseisen und stellt eine Eisenbahn dar, deren obere Schienen sorgfältig abgehobelt sind. Die Mikrometerschraube sieht man bei F und die von ihr bewegte Mutter ist an der Platte G befestigt, welche mit ihr auf den Schienen gleitend sich bewegt. Auf dieser Platte wird das zu theilende Object befestigt; der Grabstichel befindet sich bei H und steht fest; das zu theilende Object bewegt sich und bietet nach und nach der Wirkung des Stichels seine verschiedenen Punkte dar. Zur grösseren Bequemlichkeit befindet sich die Kurbel bei A und dreht die Schraube mittels zweier Zahnräder, welche unter einem rechten Winkel in einander greifen. Soweit ist die Maschine leicht verständlich; zwei Punkte haben wir jedoch noch hervorzuheben, nämlich die Art, wie der Grabstichel angebracht ist und wie man die Umdrehung der Schraube misst.

Fig. 3.



Man zieht auf einem Maassstabe, den man theilen will, nicht alle Striche gleich lang, sondern den ersten lang, dann 4 kurze, den 5. von mittlerer Länge, dann wieder 4 kurze und den zehnten mit dem ersten von gleicher Länge. Bei der alten Maschine musste die Hand des Theilenden diese Gruppirung der Linien besorgen; das erforderte Geschicklichkeit und stete Aufmerksamkeit, ohne dass man jedoch im Stande war, die gewünschte Regelmässigkeit zu erreichen. Die neue Einrichtung des Grabstichels jedoch, wie sie Fig. 3 perspectivisch und Fig. 4 vom Profil zeigt, enthält einen besonderen Mechanismus zur Lösung dieser Aufgabe. Man hat in der Hand den kleinen Haken U (Fig. 4).

Fig. 4.



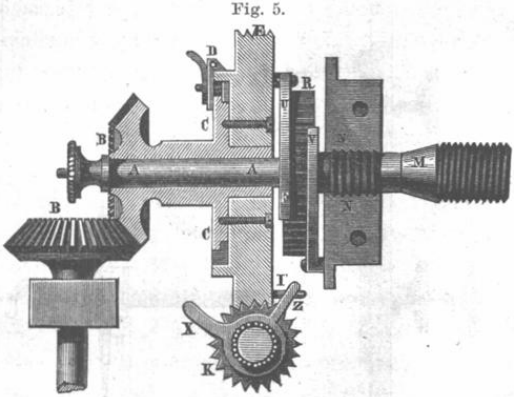
Man zieht denselben anfangs gegen sich hin, indem man ihn ein wenig aufhebt, dann schiebt man ihn leicht niederdrückend zurück. Dabei dringt der Stift ein wenig in das zu theilende Object ein und hinterlässt den Strich. Um nun dem Striche die gewünschte Länge zu geben, genügt es, den Gang des Stichels passend zu hemmen.

Dazu ist über dem Stichel ein Rad LVX (Fig. 4) angebracht, welches sich um eine feste Achse drehen kann; das Rad besteht aus zwei kreisrunden Platten, deren eine L auf ihrem Umfange mit Zähnen versehen ist, die andere VX aber mit Ausschnitten, welche abwechselnd tiefer und weniger tief sind, getrennt durch Zwischenräume von gleicher Länge, die durch den Umfang der Scheibe gebildet werden. In dem Augenblick nun, wo man den Haken *U* anzieht, bewegt sich ein vorspringendes Stück bei *X* gegen das Rad, dringt in einen tieferen Ausschnitt ein und hemmt auf den Boden desselben aufstossend die Bewegung des Schreibstiftes. Wenn man dann den Stift zurückschiebt, so bewegt er sich so weit, bis er an den Vorsprung *T* stösst, welcher ihm nicht weiter zu gehen erlaubt.

Während dieser Bewegung greift nun aber ein Haken *R* in die Zähne des Rades *L*, dreht es um einen Zahn voran und verschiebt den Ausschnitt des nebenliegenden Rades *V*. Wenn man dann den Stift von neuem anzieht, so trifft er nicht mehr auf einen Ausschnitt, sondern auf den äusseren Umfang des Rades, welcher an die Stelle des Ausschnittes getreten ist. Die Bewegung des Stichels geht daher nicht so weit und der von ihm gemachte Strich wird kürzer. Bei jeder Bewegung geht dieselbe Drehung der Räder vor und kommt der fünfte Strich, so dringt der Stift *X* wieder in einen, aber weniger tiefen Ausschnitt. Dadurch wird der Strich länger als die vier vorhergehenden, aber kürzer als der erste. Kurz der Arbeiter braucht sich nicht um die Länge der Theile zu bekümmern, sie werden genau gezogen und jedesmal der fünfte und zehnte sind durch ihre grössere Länge hervorgehoben.

Der zweite Mechanismus, den wir noch zu beschreiben haben, hat ebenfalls die Aufgabe, die Arbeit zu vereinfachen. Wenn man mit der alten Maschine theilte, so musste man zu jedem Theilstrich die Schraube um denselben Winkel drehen; das erforderte jedesmal eine kleine Rechenoperation. Man drehte z. B. von dem Theilstrich 0 nach 12, von dem nach 24, 36 u. s. f., alles das erforderte eine gewisse geistige Arbeit, denn es bedurfte immerhin ziemlicher Aufmerksamkeit, um genau den richtigen Theilstrich zu treffen. Alles dieses wird durch den nun zu beschreibenden Mechanismus geleistet.

Fig. 5.



Die Mikrometerschraube *M* liegt (Fig. 5) in dem Lager *NN*, welches in der Zeichnung offengelegt ist, in der sie sich ohne Verrückung dreht; sie verlängert sich dann durch ein Zahnrad *R* und endigt mit der Axe *A*.

Die Axe *A* ist umgeben von einem Stücke *CCDE*, das die Zeichnung im Durchschnitt zeigt; dieses wird von der Kurbel *A* (Fig. 3) in Bewegung gesetzt durch die beiden Zahnräder *B* und *B'*. An dem Ansatzstück befindet sich eine grosse und dicke kreisförmige Scheibe, auf deren äusserem Umfang *E* ein Schraubengewinde eingeschnitten ist, dessen Aufgabe gleich hervortreten wird. Es ist klar, dass dieses Stück, welches ohne Reibung auf die Axe *A* aufgesetzt ist, sich umdrehen kann, ohne die Mikrometerschraube *M* zu drehen.

An dem Umfange der Scheibe *E* ist jedoch eine Feder befestigt *UF*, welche mit dem einen Ende in die Zähne des Rades *R* eingreift. Dreht man die Kurbel so, dass die Scheibe *E* sich von *F* gegen *U* hin bewegt, so gleitet die Feder über die Zähne hin, ohne das Rad zu bewegen, also ohne die Schraube zu drehen. Der Haken *V* dient ausserdem noch dazu, das Rad vor einer Drehung in dem Falle zu schützen. Wird jedoch die Scheibe *E* im entgegengesetzten Sinne gedreht, so drückt die Feder gegen einen Zahn des Rades *R*, treibt es voran und ertheilt somit der Schraube eine Drehung von genau gleicher Grösse mit der, welche die Scheibe erhielt. Durch diesen Mechanismus ist also die Mikrometerschraube nur mehr in einem Sinne drehbar; jede Bewegung der Scheibe von *U* gegen *F* hin theilt sich der Schraube mit, jede von *F* gegen *U* gerichtete Drehung lässt sie in Ruhe.

Nun bemerken wir in der Nähe des Kreises *E* ein Zahngetriebe *K*, welches in die auf *E* eingeschnittenen Schraubenwindungen eingreift; wenn die Scheibe einmal vollständig sich dreht, so geht das Trieb um einen Zahn voran, entweder in dem einen oder andern Sinne. An der Scheibe ist ein Vorsprung *I*, an dem Trieb eine Hemmung *Z*, und die Bewegung des Kreises von *F* nach *U* sowie des Triebes ist gehemmt, wenn der Vorsprung *I* und die Hemmung *Z* auf einander treffen. Wir beginnen nun damit *I* und *Z* in Berührung zu bringen; ist das geschehen, so ziehen wir auf dem zu theilenden Object den ersten Strich. Darauf drehen wir die Scheibe *E* im entgegengesetzten Sinne und drehen so die Schraube; das Zahngetriebe *K* dreht sich dann in der Richtung von *X* nach *Z* und nach einiger Zeit trifft ein Ansatzstück *D* an der Scheibe mit der zweiten Hemmung *X* des Triebes zusammen. Dadurch ist nun die Bewegung wieder gehemmt und die Schraube hat je nach der Stellung der beiden Hemmsysteme eine genau bestimmte Drehung zurückgelegt. Man zieht dann einen zweiten Theilstrich und dreht währenddes die Kurbel *A* (Fig. 3) im entgegengesetzten Sinne, wodurch die Schraube keine Bewegung erhält, aber die beiden Vorsprünge *I* und *Z* in Berührung gebracht werden, wie sie es anfänglich waren. Man kann dann wieder zurückdrehen, einen Theilstrich machen und so fort, ohne die Umdrehung gemessen zu haben. Was also vorhin grosser Aufmerksamkeit bedurfte, das rechtzeitige Anhalten der Schrauben, das bewirkt hier die Maschine selbst. Fügen wir noch hinzu, dass die Hemmungen *I* und *Z* unveränderlich fest, die beiden anderen *X* und *D* verstellbar sind, und dass eine Theilung auf dem Kreise *CC*, an welchem der Stift *D* befestigt ist, den Theil der Umdrehung bestimmt, nach dem die Hemmungen wieder auf einander treffen, so ist es klar, dass man die Theilstriche in beliebiger Entfernung auf dem zu theilenden Objecte anbringen kann.

Ohne auf die vielfachen Anwendungen der Theilmaschine einzugehen, kommen wir jetzt wieder zu der Aufgabe zurück, welche uns veranlasste, sie zu beschreiben. Wir haben einen metallnen Maassstab von einem Meter Länge und wollen ihn in Millimeter theilen. Wäre die Maschine ganz vollkommen, so wäre die Arbeit sehr leicht; man regelte den Lauf der Hemmungen D und X derart, dass sie nach einer ganzen Umdrehung auf einander träfen und die Theilstriche würden genau ein Millimeter von einander entfernt sein. Wäre der erste an dem einen Ende des Meters gezogen, so würde der tausendste das andere Ende treffen. In der Praxis ist das jedoch nicht zu erreichen; es ist daher unsere erste Aufgabe, die Maschine selbst zu untersuchen. Zu dem Ende befestigt man das durch den Comparator verglichene Meter auf der mit der Schraube parallelen beweglichen Platte, bringt über demselben ein mit Fadenkreuz versehenes Mikroskop an und stellt den Stichel genau auf das Ende des Meter ein. Darauf setzt man die Maschine in Gang und bestimmt die Anzahl von Umdrehungen, deren es bedarf, um das andere Ende des Meter zu erreichen. Das lässt sich nicht auf einmal durchführen, weil die Schraube nicht 1^m lang ist, man theilt deshalb das Meter in mehrere Theile und verfährt in der angegebenen Weise für die einzelnen Theile. Im allgemeinen wird man nun niemals finden, dass genau 1000 Umdrehungen der Schraube einem Meter entsprechen, man hat dann den Werth einer Umdrehung zu berechnen.

Habe man z. B. gefunden, dass bereits 998 Umdrehungen hinreichen, um das andere Ende des Meter zu erreichen, so ist der Werth einer Umdrehung gleich $\frac{1000}{998}$ Millimeter gleich $1{,}002^{mm}$. Will man daher den Maassstab in 1000 Theile theilen, so genügen für den Abstand zweier Theilstriche 0,998 eines Schraubenganges und man hat daher die Schraube auch nur um diesen Theil eines Schraubenganges zu drehen. In dem Falle ist man sicher, dass der tausendste Theilstrich das andere Ende des Meter erreicht und dass der Abstand zweier Theilstriche bis auf geringe Ungleichheiten in der Höhe der einzelnen Schraubengänge genau 1^{mm} beträgt.

Mit Hilfe dieser Maschine sind wir also im Stande Maassstäbe zu irgend welchen Längenmessungen in Millimeter zu theilen. Das genügt jedoch nicht immer, oft ist es nothwendig, noch die Unterabtheilungen des Millimeter auszuwerthen. Dazu dient der Nonius.

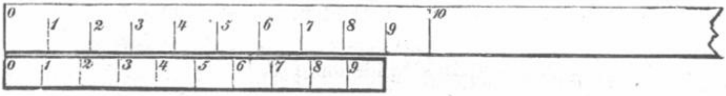
Der Nonius.

Nehmen wir einen Maassstab von genau 9^{mm} Länge und theilen ihn mit der Theilmaschine in 10 genau gleiche Theile, legen ihn dann der Länge nach an unser getheiltes Meter, so dass er längs des getheilten Randes verschoben werden kann, so ist dieser einfache Apparat ein Nonius. Da die Länge des Maassstabes 9^{mm} in 10 Theile getheilt ist, so ist der Werth jedes Theilstriches 0,9 Millimeter. Der Werth der Theilung unseres Metermaasses ist dagegen 1^{mm}. Der Unterschied beider daher

$$1^{mm} - 0^{mm}{,}9 = 0^{mm}{,}1.$$

Es folgt daraus, dass, wenn die beiden Theilstriche 0 (Fig. 6) zu-

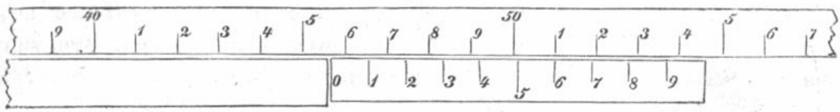
Fig. 6.



sammenfallen, die beiden Theilstriche 1 um $0{,}1^{mm}$ von einander abstehen, die beiden Theilstriche 2 um $0^{mm}{,}2$ u. s. f., bis der Theilstrich 10 des Nonius mit dem Theilstrich 9 des Maassstabes zusammentrifft. Aehnlich wird es sein, wenn statt der Theilstriche 0 zwei andere Theilstriche auf einander treffen, von diesen aus werden dann die beiden nächsten zu jeder Seite um 1, die folgenden um 2 Zehntel eines Millimeter differiren.

Nehmen wir nun an, man wolle die Länge eines Objectes mit unserem Metermaass bestimmen und es zeigte sich, dass es 4^{cm} 5^{mm} und einen Bruchtheil eines Millimeters (Fig. 7) lang wäre. Dieser Bruchtheil wird dann mittels des Nonius bestimmt.

Fig. 7.



Zu dem Ende führt man den Nonius, bis er das Ende des zu messenden Objectes berührt und sucht, welcher Theilstrich des Nonius mit einem des Maassstabes zusammenfällt. In unserer Abbildung ist es der sechste.

Von diesem ausgehend findet man dann, dass die Theilstriche 5, 4, ... 0 des Nonius um $0^{mm}{,}1$, $0^{mm}{,}2$ .... $0^{mm}{,}6$ hinter denen des Maassstabes zurückbleiben. Der auszuwerthende Bruchtheil ist demnach $0^{mm}{,}6$, sein Werth ist in Zehntheilen eines Millimeters angegeben durch die Zahl, welche neben dem mit einem des Maassstabes zusammenfallenden Theilstrich steht.

Wir haben bei der Beschreibung des Nonius vorausgesetzt, dass derselbe eine Länge von 9^{mm} habe und in 10 Theile getheilt sei. Dadurch erhielten wir die Theile des Millimeter in Zehnteln angegeben. Wir können nun ebenso gut die Länge desselben zu 19^{mm}, 29^{mm}, 39^{mm} nehmen und diese Länge in 20, 30, 40 Theile theilen; wir erhalten dann Zwanzigstel, Dreissigstel, Vierzigstel eines Millimeter. Wenn man jedoch die Theile zu sehr vervielfältigt, so tritt der Uebelstand ein, dass zur Rechten und Linken der coincidirenden Theilstriche eine Anzahl so wenig von einander abstehender Theilstriche sich findet, dass sie noch zusammenzufallen scheinen und man daher nicht im Stande ist anzugeben, welche nun eigentlich die coincidirenden Theile sind. Indem man die Theilstriche möglichst fein zieht und dieselben durch ein Mikroskop betrachtet, kann man zwar die Genauigkeit ziemlich weit, vielleicht bis auf 0,01 eines Millimeters bringen; es gibt jedoch immer eine Grenze, welche nicht überschritten werden kann.

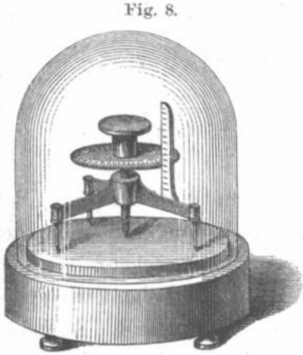
Der Nonius kann an allen Theilungen, auch an getheilten Kreisen angebracht werden, dort befindet er sich auf den Alhidaden. Wir werden ihn an allen feineren Messapparaten wiederfinden.

Das Sphärometer.

Die Mikrometerschraube dient nicht allein dazu, Längen zu theilen, sondern findet auch stets dann Anwendung, wenn es sich darum handelt, sehr kleine Abstände zu messen und deshalb findet man sie an allen dazu bestimmten Apparaten. Es folge hier die Beschreibung eines Apparates, der vorzüglich dazu dient, kleine Höhenunterschiede, z. B. die Dicke dünner ebener Platten zu bestimmen.

Das Sphärometer besteht (Fig. 8) aus einer möglichst genau gearbeiteten Mikrometerschraube, deren Gänge die Höhe von $0^{mm},5$ haben. Dieselbe bewegt sich in einer Mutter, welche mittels dreier Füsse von gut gehärtetem Stahl, die in feine Spitzen auslaufen, auf einer horizontalen vollkommen ebenen Glasplatte fest aufgestellt ist. Die Mikrometerschraube hebt und senkt sich, wenn man sie dreht. Man kann sie daher mit ihrer Spitze die Glasplatte berühren lassen und sie durch Umdrehung dann in die Höhe führen. Die Höhe, bis zu der die Spitze gehoben ist, ist proportional der Drehung, welche man der Schraube ertheilt hat. Um diese Höhe zu messen, ist auf einem Fusse der Schraubenmutter ein verticaler, in 0,5 Millimeter getheilter Maassstab befestigt, der auch zugleich als Index dient. An dem Kopfe der Schraube ist ein horizontaler Kreis angebracht, dessen Umfang in 500 Theile getheilt ist, welche beim Drehen der Schraube an dem Index vorübergehen. Um bequemer mit dem Apparate arbeiten zu können, ist auf der Mitte der Scheibe ein geriefter Knopf angebracht, den man mit der einen Hand dreht, während die andere den Apparat fest hält.

Fig. 8.



Will man mit dem Apparate nun z. B. die Dicke einer planparallelen Glasplatte bestimmen, so setzt man das Instrument auf seine Unterlage und lässt zunächst die Schraube so weit herab, dass ihre Spitze gerade die Unterlage berührt. Um das zu erreichen lässt man zunächst die Schraube etwas zu tief herab; stösst man dann einen der Füsse leicht an, so dreht sich der Apparat um die Spitze der Schraube, indem die Füsse mit geringer Reibung auf der Unterlage Kreisbogen beschreiben. Schraubt man dann langsam in die Höhe, so wird bei leichtem Anstosse die Bewegung des Apparates an einer Stelle eine fortschreitende, schwierigere und bald ist er durch einen leichten Anstoss nicht mehr zu bewegen. In diesem Augenblicke hört man auf die Schraube zu drehen, denn dann berührt die Schraubenspitze gerade die Platte.

Man liest dann die Theilung ab und berechnet die Höhe der Anfangsstellung der Scheibe. Befinde sich z. B. die Scheibe zwischen den Theilstrichen 3 und 4 des seitlich angebrachten Maasstabes und stehe der Theilstrich 25 gerade am Index. Da die Theilung des Maassstabes in $0^{mm},5$ ist, so bedeutet das eine Höhe zwischen 1,5 und 2 Millimeter. Nun ist die Theilung des Kreises und Index so gerichtet, dass jedesmal, wenn der Theilstrich 0 der Kreistheilung am Index vorübergeht, die Scheibe genau auf einem Theilstrich des Maassstabes einsteht. In unserem Falle steht nun der Theilstrich 25 am Index, die Scheibe ist also um $^{25}/_{500}$ Theile eines Schraubenganges, oder da die Höhe eines Schraubenganges $0^{mm},5$ beträgt um 0,025 Millimeter höher als 1,5. Die Anfangsstellung entspricht also in unserem Falle einer Erhebung von $1^{mm},525$ der Scheibe über den Nullpunkt der Theilung. Nun schraubt man in die Höhe, so lange, bis man das zu messende Glasplättchen unter die Spitze der Schraube einschieben kann und verfährt zur genauen Einstellung gerade wie vorhin. Findet man dann z. B. nach genauer Einstellung die Höhe der Scheibe zu $3^{mm},826$, so ist die Dicke der Glasplatte gleich der Differenz zwischen den beiden gefundenen Werthen, gleich $3,826 - 1,525 = 2^{mm},301$. Bei zwei auf einander folgenden Messungen derselben Dicke wird man übrigens bei aller Vorsicht einen Unterschied von einigen Theilstrichen finden.

Will man die Dicke eines Körpers messen, der nicht direkt unter das Sphärometer gelegt werden kann, z. B. die Dicke eines sehr feinen Drahtes oder eines Haares, so bedient man sich einer planparallelen Glasplatte, legt diese zunächst unter das Sphärometer und bestimmt die Höhe der Schraubenspitze. Darauf legt man den Draht unter das Glas und bestimmt die Höhe der Schraubenspitze neuerdings. Die Differenz beider Stellungen gibt auch dann die gesuchte Dicke an.

Das Kathetometer.

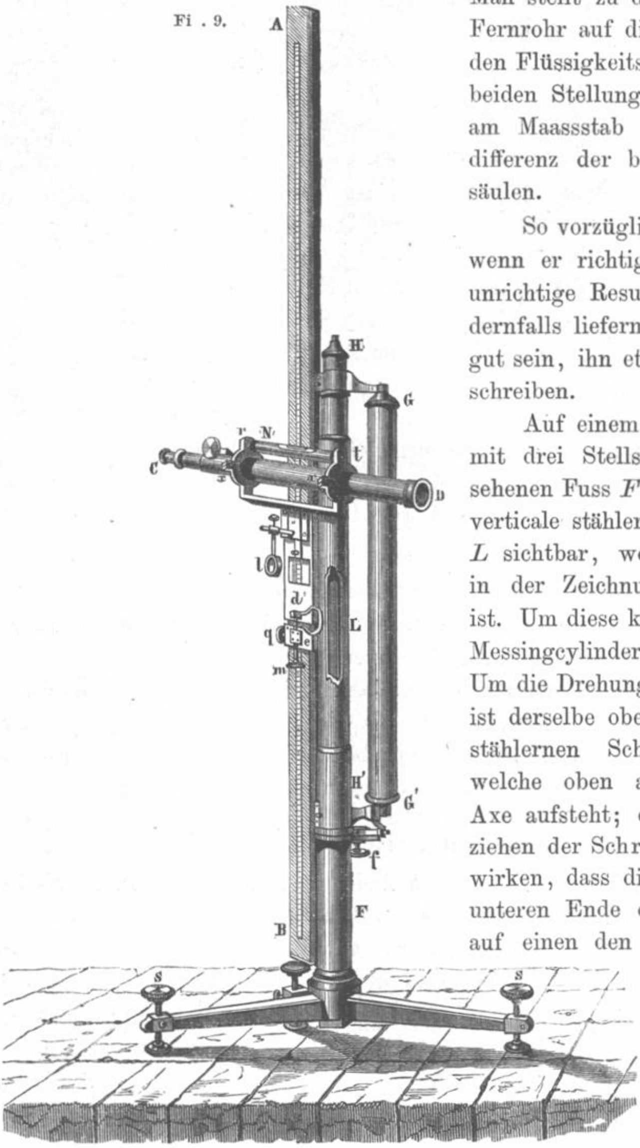
Bei physikalischen Untersuchungen findet man sich so oft in die Nothwendigkeit versetzt, kleine und grössere Höhenunterschiede, besonders von Flüssigkeitssäulen zu messen, dass ein besonderer Apparat, um dieses auszuführen, Bedürfniss ist. Ein solcher wird uns in dem Kathetometer geboten.

Derselbe wurde construirt und zuerst angewandt von den beiden französischen Physikern Dulong und Petit bei ihren Untersuchungen über die Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme. Später wurde er von Pouillet vergrössert und Kathetometer genannt.

In neuerer Zeit haben ihn vorzüglich Magnus, bei seinen Versuchen über die Ausdehnung der Gase und über Spannkräfte des Wasserdampfes und Regnault zu einer Menge ähnlicher Versuche benutzt. Das in Fig. 9 (siehe folg. Seite) abgebildete Kathetometer, dessen Beschreibung hier folgt, ist ein ausgezeichnetes von dem Mechaniker Staudinger in Giessen verfertigtes Exemplar

Die wesentlichen Bestandtheile des Apparates sind ein verticaler Maassstab, an dem ein horizontales Fernrohr auf und abgeschoben werden kann. Man stellt zu den Messungen das Fernrohr auf die Kuppen der beiden Flüssigkeitssäulen ein und die beiden Stellungen des Fernrohres am Maassstab geben die Höhendifferenz der beiden Flüssigkeitssäulen.

Fi . 9.



So vorzüglich der Apparat ist, wenn er richtig geordnet ist, so unrichtige Resultate kann er andernfalls liefern, deshalb wird es gut sein, ihn etwas genauer zu beschreiben.

Auf einem massiven eisernen, mit drei Stellschrauben *SS* versehenen Fuss *F* (Fig. 9) steht eine verticale stählerne Axe; sie ist bei *L* sichtbar, wo die Messinghülle in der Zeichnung fortgenommen ist. Um diese kann sich ein hohler Messingcylinder *HH'* frei drehen. Um die Drehung leicht zu machen, ist derselbe oben bei *H* von einer stählernen Schraube durchsetzt, welche oben auf der stählernen Axe aufsteht; durch gelindes Anziehen der Schraube kann man bewirken, dass die Reibung an dem unteren Ende der Hülse, wo sie auf einen den Fuss umgebenden Reif sich stützt, sehr gering ist, indem die Hülse dann fast ganz von der Schraube getragen wird. An der Hülse ist nun einerseits der Maassstab *AB* der Axe genau parallel, an der anderen Seite ein den Maassstab als Gegengewicht balancirender massiver Messingcylinder *GG'* befestigt. Der Maassstab besteht aus einem Prisma von Gussstahl, dessen Seiten in einer Breite von 8^{mm} möglichst glatt abgehobelt, dann aber stark ausgehöhlt sind. Der Maassstab ist wie das Gegengewicht oben und unten an der Hülse befestigt. Die Basis des Prisma, die vordere Seite, ist ebenfalls glatt abgehobelt. In der Mitte derselben ist ein Silberstreifen eingesetzt von $1^{m},1$ Länge und 8^{mm} Breite. Derselbe ist 1^{m} lang in Millimeter getheilt.

Auf den glattgehobelten und geschliffenen Seitenflächen des Prisma gleitet nun ein Schlitten *de* (Fig. 9 und 12) auf und ab, welcher das Fernrohr mit Zubehör trägt. Der Schlitten besteht aus 2 Theilen, die in der Zeichnung mit *d* und *e* bezeichnet sind. Derselbe gleitet mit sanfter Reibung, die durch etwas Oel noch vermindert wird, an dem Prisma ganz regelmässig und ohne die geringste Schwankung auf und ab. Durch eine Klemmschraube *q*, welche ein der Seite des Prisma angepasstes Messingstück gegen das Prisma drückt, kann man den Schlitten festhalten. Im Schlitten ist ein abgeschrägter Ausschnitt, über dem Buchstaben *d*, dessen eine Seite mit einem Nonius versehen ist, der gerade an der Skala des Silberstreifens anliegt. Die Stellung des Schlittens an der Skala liest man durch eine Lupe *l* ab, der Nonius gibt direkt $0^{mm},05$.

Der obere Theil des Schlittens ruht mit einem kleinen Stahlfortsatz auf dem oberen Ende der Mikrometerschraube *m* und wird durch eine stählerne Feder stets fest an dasselbe angedrückt. Mittels der Mikrometerschraube kann dieser Theil ein wenig gehoben und gesenkt werden, um eine möglichst feine Einstellung des Fernrohrs auf das Beobachtungsobject zu erzielen.

Das Fernrohr *CD* (Fig. 9) ruht in einer Gabel unveränderlich fest und eine Libelle *N* ist der optischen Axe des Fernrohrs genau parallel gestellt.

Dies ist die Gestalt unseres Messapparates; wir haben nur noch einiges hinzuzufügen, wie man ihn zu reguliren hat.

Das Fernrohr ist ein optischer Apparat, den wir später zu beschreiben haben. Hier müssen wir nur erwähnen, dass es in seinem Innern 2 unter einem rechten Winkel gekreuzte Spinnfäden besitzt, ein so genanntes Fadenkreuz, welches man stets zugleich mit dem Object, auf welches das Fernrohr eingestellt ist, genau sieht. Man kann leicht bewirken, dass der Kreuzungspunkt der Fäden den zu fixirenden Punkt deckt. Es gibt nun in jedem Fernrohr eine festbestimmte Linie, die optische Axe, welche durch den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes und durch den Mittelpunkt des Objectives geht. Wenn nun der Mittelpunkt des Fadenkreuzes den zu fixirenden Punkt deckt, so kann man sicher sein, dass der fixirte Punkt in der Verlängerung der optischen Axe liegt.

Die Gabel, in welcher das Fernrohr liegt, sowie das Fernrohr selbst, sind genau cylindrisch gearbeitet. Dreht man daher das Fernrohr in seinen Lagern um sich selbst, so kann seine geometrische Axe nicht geändert werden, es darf aber auch seine optische Axe dadurch nicht geändert werden, d. h. sie muss genau mit der geometrischen Axe zusammenfallen. Sieht man bei der Drehung des Fernrohrs nach und nach verschiedene Punkte in den Mittelpunkt des Fadenkreuzes fallen, so ist das nicht der Fall, dann muss man die optische Axe corrigiren, d. h. das Fadenkreuz so lange reguliren, bis bei einer Drehung des Fernrohres um sich selbst stets derselbe Punkt von seinem Kreuzungspunkte bedeckt wird. Will man dann die Lage der optischen Axe corrigiren, so hat man nur die der geometrischen zu reguliren, da dann beide zusammenfallen.

Nachdem also die Fernrohraxe corrigirt ist, hat man vor Gebrauch des Kathetometers

1) dafür zu sorgen, dass die Libelle der Axe des Fernrohrs parallel ist;

2) die Axe des Fernrohrs genau senkrecht zu dem Maassstabe zu stellen;

3) die Rotationsaxe des Kathetometers und damit den Maassstab AB vertical zu stellen.

Die Libelle ist an unserem Instrumente an der oberen Hälfte der Ringe befestigt, welche das Fernrohr einschliessen. Diese Ringe sind bei xx mittels eines ebenen Schnittes, welcher genau durch die Mittelpunkte der Ringe, also durch die geometrische und optische Axe des Fernrohrs hindurchgeht, in eine obere und untere Hälfte getheilt. Die obere Hälfte mit der Libelle lässt sich abnehmen. Sei nun XY ein Durchschnitt jener Ebene, in der die optische Axe liegt und AB die Libelle, deren Luftblase bei m stehe. Wird nun die obere Hälfte der Ringe mit der Libelle losgenommen und dann wieder so hingestellt, dass wo vorhin das Ende A war, jetzt B ist, so kehrt die Libelle, wenn sie jener Ebene und somit der optischen Axe parallel ist, sich blos um, in ihrer zweiten Lage die erste deckend, sie muss wieder in $A'B'$ liegen. Die Luftblase muss dann wieder liegen wie früher, ihren Ort in Bezug auf den Beobachter nicht geändert haben. Hatte dagegen die Libelle die Lage ab, so hat sie nach der Umstellung die Lage $a'b'$ und die Luftblase hätte ihre Stellung geändert. Durch Drehung an einer Schraube bei r wird sie dann corrigirt. Um die zweite Bedingung zu prüfen, hat man dem Instrument nur eine Drehung von 180⁰ zu ertheilen. Ist das Fernrohr AB (Fig. 11) senkrecht zum Maassstab MM, so ist es nach der Drehung sich selbst parallel, steht es nicht senkrecht in ab, so steht es nach der Drehung in $a'b'$ und die Luftblase wird eine Aenderung ihrer Stellung zeigen.

Fig. 10.

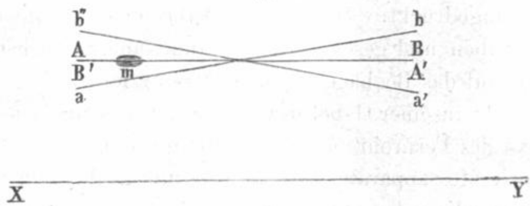
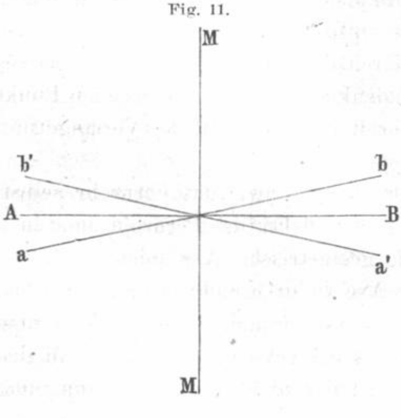
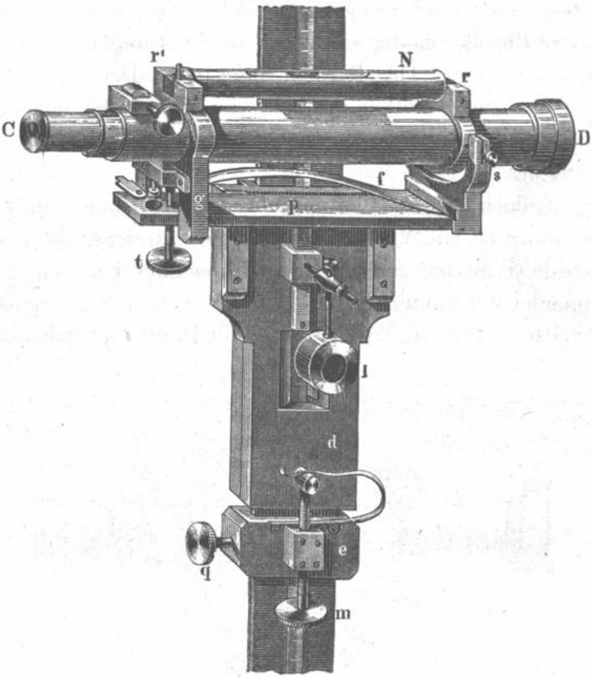


Fig. 11.



Um die Fernrohraxe immer senkrecht zum Maasstabe stellen zu können, was auch bei dem bestgearbeiteten Instrument nicht an allen Stellen mit gleicher Schärfe der Fall sein kann, da der Schlitten doch nicht ganz vollkommen an das Prisma angepresst werden kann, hat Staudinger bei einem mir später gelieferten Instrument das Fernrohr anders auf dem Schlitten befestigt. Die Einrichtung zeigt Fig. 12.

Fig. 12.



Von den beiden Ringen, in welchen das Fernrohr liegt, r und r^1, ist der eine r an einer Axe drehbar befestigt, indem Stahlschrauben s in konische Vertiefungen des Ringes eingreifen. Die Schrauben sind in dem Halbring befestigt, welcher sich an dem einen Ende der am Schlitten angeschraubten Tragplatte p befindet. Der andere Tragring des Fernrohrs ist mit einem gabelförmigen Fortsatz g versehen, der die Platte p zwischen sich fasst. Hinter dieser Gabel ist durch die Platte p eine Mikrometerschraube t geführt, auf deren konisch zugeschliffenem Ende der das Fernrohr tragende Ring r^1, der zu dem Zwecke mit einer kleinen Stahlplatte versehen ist, ruht. Man kann dadurch das Ende C des Fernrohrs heben und senken, es somit immer senkrecht zur Skala stellen. Die unter dem Fernrohr befindliche Feder f dient dazu den Ring r^1 immer an die Mikrometerschraube t anzudrücken.

Um die dritte Regulirung, das Verticalstellen der Rotationsaxe des Instrumentes vorzunehmen, stellt man das Fernrohr der Verbindungslinie zweier Stellschrauben des Fusses parallel und dreht eine oder beide Stellschrauben so lange, bis die Blase der Libelle in der Mitte steht; darauf dreht man den

Apparat um 90^0 und bringt durch Drehung der dritten Schraube die Blase ebenfalls in die Mitte. Hat man auf diese Weise die Fernrohraxe in zwei auf einander senkrechten Richtungen horizontal gestellt, so ist sie es in allen, und die zur Fernrohraxe senkrechte Rotationsaxe und somit auch der Maassstab des Apparates stehen vertical.

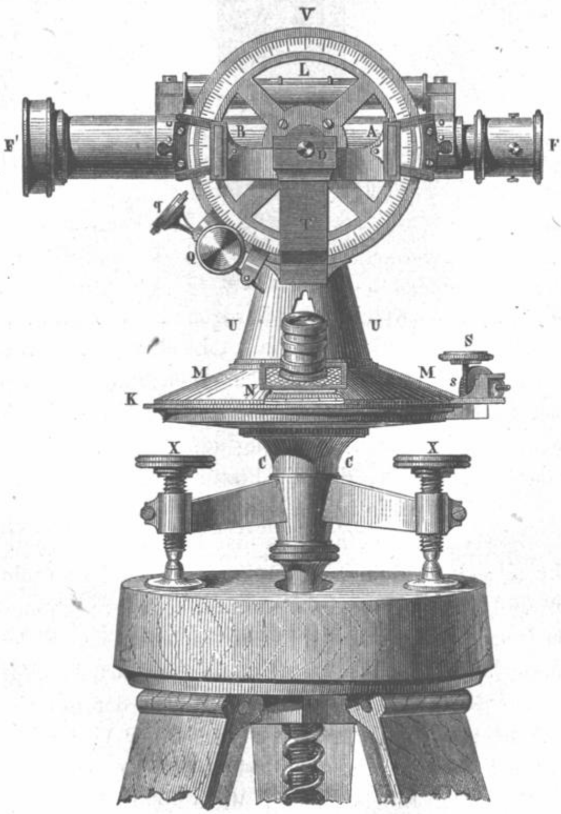
Der Theodolith.

Ausser der Abmessung von Längen haben wir, besonders in dem optischen Theile der Physik, häufig genaue Winkelmessungen auszuführen. Dieselben werden mittels des Theodolithen angestellt. Der Theodolith ist ein in geringerer oder grösserer Vollkommenheit schon sehr lange bekanntes Winkelmessinstrument, dessen erster Verfertiger ebenso unbekannt ist, als die eigentliche Bedeutung des Namens. Man hat zwar seinen Namen aus dem Griechischen herleiten wollen, doch ist die Ableitung ebenso unbestimmt, als gezwungen.

Der Theodolith ist ein Winkelmessinstrument, welches aus zwei getheilten Kreisen, einem horizontalen und einem verticalen, mit Fernrohr besteht.

Nachfolgender Zeichnung (Fig. 13) und Beschreibung liegt ein Exemplar aus der Werkstätte mathematischer Apparate von Breithaupt in Kassel zu Grunde.

Fig. 13.



Auf einem massiven, mit Stellschrauben X versehenen Dreifuss CC befindet sich ein Kreis von Messing K, der mittels Speichen in dem Mittelstücke des Dreifusses befestigt ist. Auf dem Kreise ist ein silberner, mit einer genauen Kreistheilung versehener Streifen eingelegt. Mit diesem Kreise in gleicher Ebene und genau centrirt liegt ein kleiner Kreis, dessen äusserer Umfang genau den innern Rand des Kreises K berührt. Derselbe ist um eine durch seinen Mittelpunkt gehende, im Mittelpunkt des Dreifusses genau eingeschliffene Axe, mit welcher er durch Speichen verbunden ist, drehbar. Der Kreis heisst der Alhidadenkreis. An den beiden Enden eines Durchmessers besitzt der Alhidadenkreis Nonien N, welche je nach der Theilung des Kreises halbe Minuten oder noch kleinere Bruchtheile von einem Grade geben. An demselben Kreise sind über den Nonien kleine Mikroskope befestigt zur genaueren Ablesung. Der Alhidadenkreis kann mittels der Klemmschraube S festgestellt werden, an der zur feineren Einstellung des Kreises die Mikrometerschraube s angebracht ist.

An einer Säule UU, welche auf dem Alhidadenkreise festgeschraubt ist, befindet sich das Fernrohr FF'. Die optische Axe des Fernrohrs wird von der mit der Axe des Alhidadenkreises zusammenfallenden Drehungsaxe der Säule U geschnitten. Das Fernrohr selbst ist an einer auf seiner optischen Axe senkrechten Axe D befestigt, welche in zwei Zapfenlagern drehbar eingelegt ist. Die Axe D ist genau dem Horizontalkreis parallel. Auf dem Fernrohr befindet sich eine Libelle L. An dem Fernrohr in unveränderlich fester Verbindung und auf der Drehungsaxe D desselben senkrecht ist der Verticalkreis V angebracht. Zu beiden Seiten des Kreises, an den Enden eines Durchmessers, befinden sich feste, nicht drehbare Nonien A und B. Den Nullpunkten der Nonien entsprechend sind auf der Theilung des Verticalkreises zwei Nullpunkte, von denen aus die Theilung nach beiden Seiten von $0 — 90^0$ fortzählt. Die optische Axe des Fernrohrs muss mit dem durch die Nullpunkte angegebenen Durchmesser des Verticalkreises zusammenfallen. Dreht man Fernrohr sammt Kreis, so liest man an den Nonien die Grösse der Drehung ab. Der Verticalkreis kann durch die Klemmschraube Q festgestellt und mittels der an dieser befestigten Mikrometerschraube q feiner eingestellt werden.

Der ganze Apparat steht auf einem massiven Stativ, an welchem er mittels einer Schraube und einer Spiralfeder befestigt ist.

Will man nun mittels des Theodolithen z. B. die Winkeldistanz zweier in einer Horizontalebene befindlicher Punkte nehmen, so hat man das Instrument zunächst in ähnlicher Weise wie das Kathetometer zu reguliren, und zu prüfen, ob die Libelle parallel dem Fernrohr ist, ob die Drehaxe des Fernrohrs zur optischen Axe senkrecht und mit dieser in einer zur Axe des Alhidadenkreises senkrechten Ebene liegt und dann, ob die Drehungsaxe des Alhidadenkreises senkrecht zum Horizontalkreis ist. Dann hat man den Horizontalkreis horizontal und damit die Rotationsaxe des Verticalkreises vertical zu stellen [1]).

Hat man so das Instrument vorbereitet, so stellt man das Fernrohr zunächst auf den einen Punkt ein und merkt den Stand der Nonien am Horizontalkreise. Darauf verfährt man ebenso mit dem andern Punkte und die Differenz der Nonienangaben gibt die gesuchte Winkeldistanz. Die beiden Nonien N geben jedesmal zwei Ablesungen, also auch zwei sich controlirende Werthe, die zugleich zum Eliminiren etwaiger Theilungsfehler dienen.

Ausser Längen und Winkel sind es nun vorzüglich noch Gewichte, welche wir in der Physik zu messen haben. Dieses geschieht mit der Wage, deren Beschreibung und Gebrauch wir aber erst an einer andern Stelle vorführen können.

1) Eine vorzügliche Zusammenstellung aller Correctionen am Theodolithen gibt Bauernfeind, „Elemente der Vermessungskunde“ Bd. I.