



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296960





128

# Bilder

aus der

# Geschichte der Physik.

Für

Freunde der Naturwissenschaften  
und für Studierende an höheren Schulen.

Von

N. W. 26.  
V. 141.

Dr. Eugen Netoliczka,

kais. Rath, Professor der Physik i. R. in Graz, Ritter des k. k. österreichischen Franz-Josef-Ordens, Besitzer der gold. Medaille für Kunst und Wissenschaft und des Verdienstkreuzes des grossherz. Mecklenburgischen Ordens der windischen Krone.

Nach des Verfassers Tode fortgesetzt und durchgesehen

von

Dr. A. Wachlowski,  
k. k. Gymnasial-Professor.



71

Wien und Leipzig 1891.

Verlag von A. Pichler's Witwe & Sohn,  
Buchhandlung für pädagogische Literatur.



I 25192

*[Faint handwritten text, possibly "KRAKÓW" and "1917"]*

Akc. Nr. \_\_\_\_\_

423/52

## Vorrede.

---

Es wird mit Recht von allen maßgebenden Seiten betont, dass der physikalische Unterricht erst dann seine volle Wirkung ausüben kann, wenn das historische Moment darin hinreichende Berücksichtigung findet. Es darf dem Schüler nicht die fertige Wahrheit, losgelöst von aller Entwicklung wie ein Wunder vorgeführt werden. Er muss ihr allmähliches Entstehen erfahren, die Irrthümer, welche begangen wurden, kennen lernen, um in ihren vollen Besitz zu gelangen. Die Physik in ihrer historischen Darstellung ist die eigentliche Lehre von der Entwicklung des menschlichen Geistes, und sie führt, was ja viele Pädagogen als das Endziel des Gymnasialunterrichtes verlangen, zu einer bestimmten Weltanschauung. Vielleicht ist kein zweiter Gegenstand am Gymnasium dazu so geeignet als die Physik, selbst wenn man davon absieht, dass ein auf historischer Grundlage durchgeführter Unterricht ungleich mehr Interesse für die Schüler hat, und daher auch ein besseres Resultat nach sich zieht. Ohne Zweifel haben die meisten Lehrer diesem Vorgange seit jeher gehuldigt, aber bis jetzt hat es an einem entsprechenden Büchlein gefehlt, in welchem der Schüler das in der Schule Gehörte kurz gefasst und im Zusammenhange nachlesen könnte. Es war das Verdienst des verstorbenen Professors Netoliczka, den Gedanken gefasst zu haben, ein solches Buch zu verfassen. Er hatte es schon bis auf Galvani und Volta fertig, als ihn an der weiteren Arbeit der Tod hinderte. Der freundlichen Aufforderung des Herrn Verlegers folgend, habe ich gerne die Vollendung und die Durchsicht des Manuscriptes übernommen. Das Büchlein

macht keinen Anspruch auf Vollständigkeit, wohl aber dürfte kaum eine Thatsache, die für die Entwicklung der Wissenschaft von Wichtigkeit war, übergangen worden sein. Benützt wurden die historischen Werke von Whewell, Heller und Rosenberger, die Biographien Aragos, die Jahrbücher der Erfindungen von Gretschel und Wunder, sowie die späteren von Gretschel und Bornemann, schließlich einige Specialwerke über Spectralanalyse und Astrophysik.

Zum Schlusse füge ich noch die Bitte hinzu, die Herren Fachcollegen mögen das Büchlein prüfen, und, falls sie es geeignet finden, anderweitig empfehlen. Meinem Collegen, dem k. k. Professor Herrn Cornel Kozak, danke ich herzlich für seine Theilnahme bei der Correctur.

Czernowitz, im August 1890.

Dr. A. Wachlowski.

## I. Allgemeines Bild des Zustandes der Physik im Alterthume.

Die ersten ungewissen Anfänge der Wissenschaft verlieren sich im Dunkel der Urzeit. Obwohl es unzweifelhaft ist, dass die Ägypter, Chaldäer, Inder und Chinesen sich eifrig mit den Geheimnissen der Natur beschäftigten und die drei erstgenannten in dieser Richtung gewiss die Lehrer der Griechen gewesen sind, so treten doch bestimmte Namen in der Geschichte der physikalischen Wissenschaften erst bei den Griechen auf. Diese sind es demnach, welche im Alterthume vorzüglich in Betracht kommen, während die Römer nur mit geringem Erfolge ihren Fußtapfen folgten. Zur Zeit des Aufblühens des römischen Reiches kümmerten sich die Römer mehr um Schlachtenruhm und Erwerbung von Reichthum als um Erkenntnis der Naturgesetze, die Zeit des Verfalles aber war noch weniger zu einem ernstern, angestrengten Studium geeignet.

Die alten Griechen suchten die Natur auf dem Wege der Speculation zu ergründen. Sie stellten philosophische Systeme auf, denen sie alle Erscheinungen in der Natur, so gut es eben gieng, anzupassen bestrebt waren. Von diesem Fehler konnte sich selbst Aristoteles (geb. 384 v. Chr. zu Stagira in Macedonien, gest. 322 zu Chalkis), der größte Schüler des Plato und Lehrer Alexanders des Großen, nicht frei machen, obwohl dieser große Denker bereits nicht selten das Experiment zu Rathe zog. Er muss als der bedeutendste Vertreter der griechischen Naturphilosophie betrachtet werden. Wir finden in diesem Manne das Gesamtwissen seiner Zeit vereinigt und seine Schriften bringen mitunter überraschende Ansichten über Naturerscheinungen. Allerdings ist er an manchen Stellen geradezu unverständlich.

Durch den Hang zu Speculation, die oft an das Mystische streifte, wurde die Auffassung einer reinen Naturgesetzmäßigkeit sehr erschwert. Besonders nachtheilig wirkte in der ersten Zeit der Einfluss der orientalischen Lehrmeister, da diese Völker häufig geheimnisvoll und übernatürlich wirkende Kräfte annahmen und sogar mythische Personen, Götter und Heroen als Urheber wichtiger Entdeckungen und Erfindungen bezeichneten. Die Griechen hatten demnach vor allem die große Aufgabe, sich von alten überkommenen Vorurtheilen zu befreien. Ihr aufgeweckter Geist war aber auch befähigt, eine Erklärung der von ihnen beobachteten Naturerscheinungen zu versuchen und nach dem gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen diesen zu forschen.

Wir können die Physik des Alterthumes als eine Physik der Griechen bezeichnen, denn von den anderen Culturvölkern ist kein einziger Fortschritt, keine einzige Entdeckung auf dem Gebiete physikalischer Naturforschung auf uns gekommen, die man als historisch gewiss annehmen könnte. Sämmtliche physikalische Disciplinen wurden durch die alten Römer kaum weiter ausgebildet, da sie sich überhaupt mehr mit der Zusammentragung des bereits Bekannten, als mit selbständigen Forschungen befassten. Selbst die Chinesen, von denen erwiesen ist, dass sie manche physikalische Kenntnisse vor uns besessen, können hier nicht in Betracht kommen, da sie sich in jener Zeit gänzlich von der übrigen Welt abgeschlossen hatten, und jene Kenntnisse erst dann zu anderen Völkern gelangten, nachdem diese in einzelnen Theilen die Chinesen oft bedeutend überholt hatten.

Die Forschungen der alten Griechen galten merkwürdigerweise fast allen Zweigen der Physik. Am meisten leisteten sie in der Mechanik und Optik; in der Akustik und Wärmelehre können nur vereinzelte Beobachtungen verzeichnet werden, Magnetismus und Elektrizität waren für sie nur im ersten Keime vorhanden. Große Aufmerksamkeit wurde auch dem Sternenhimmel und den Erscheinungen in der Atmosphäre, überhaupt den Vorgängen in der freien Natur, sowie auch den physikalisch-geographischen Erscheinungen zugewendet.

Wir haben den Namen „Physik“ von den alten Griechen übernommen, doch unterscheidet sich die Physik der Griechen wesentlich von der heutigen Wissenschaft nicht allein durch den geringen Inhalt, nicht nur durch die engen Grenzen, innerhalb deren sie sich bewegte, sondern besonders durch die Art und Weise des Forschens. Die Methode ihrer Untersuchungen war eine andere, ihnen fehlten die Experimente. Sie gaben sich mit bloßen Beobachtungen dessen zufrieden, was sich ihren Sinnen von selbst und ohne ihr Zuthun darbot, verstanden es aber noch nicht, eine Erscheinung unter verschiedenen Verhältnissen selbst hervorzurufen, um so Fragen an die Natur stellen zu können, die sie selbst beantworten muss. Statt That-sachen zu sammeln, welche auf allgemeine Gesetze leiten, stellten sie allgemeine Principien auf, um sie auf besondere Fälle anzuwenden. So schlossen sich in der Regel ihre Theorien nicht den Naturerscheinungen an, weil man verlangte, dass die Naturerscheinungen sich einem bestimmten System entsprechend gestalten sollten.

Die Nachfolger des Aristoteles verließen allmählich den Weg der Naturphilosophie und es begann eine Periode der mathematischen Physik, welche hundert Jahre nach Aristoteles in Archimedes (geb. um 287 v. Chr. in Syrakus) ihren bedeutendsten Vertreter fand. † 212 v. Chr.

Diese Methode hätte als ein bedeutender Fortschritt betrachtet werden können, wenn nicht bei den griechischen Gelehrten das Interesse mehr ein rein mathematisches und nicht ein physikalisches gewesen wäre. So gelangte die Physik nicht zum Range einer selbständigen Wissenschaft; obwohl sie durch die Mathematik eine festere Gestalt erhielt, so fehlte noch immer die experimentelle Methode.

Die Zeit des großen Kampfes zwischen Heidenthum und Christenthum führte den Verfall der antiken Wissenschaft überhaupt herbei und musste auch den Fortschritt der Naturwissenschaften hemmen.

Als nun dieser Kampf mit dem endlichen Siege des Christenthumes endigte, da waren es große politische Umwälzungen, vor welchen das Interesse für Naturforschung zurücktrat. Das

Wenige, was überhaupt auf diesem Gebiete die Forscher des Alterthumes aufgebaut, riss die Flut der Völkerwanderung nieder. Aber auch später, nachdem die einzelnen Völker wieder zu festen Wohnsitzen gelangt waren, konnte noch lange nicht von einem Interesse für die Natur die Rede sein. In dieser traurigen Zeit geistiger Öde fanden die Naturwissenschaften eine Heimstätte und freundliche Pflege bei den Arabern.

## II. Die Mechanik der alten Griechen.

Unstreitig hatten die Griechen durch die Ägypter, welche bereits in der Urzeit Riesenbauten zu Land und Wasser aufgeführt und verschiedene mechanische und Kunstarbeiten zustande gebracht hatten, Werkzeuge und praktische Regeln der Mechanik kennen gelernt, obwohl von einer eigentlichen Mittheilung keine Rede sein konnte, indem in Ägypten tiefere Kenntnisse nur das Privilegium einer bevorzugten Kaste waren, welche dieselben als Geheimnisse hütete.

Im Allgemeinen beschäftigten sich die alten Griechen nur mit der praktischen Mechanik und legten bei der Verfertigung von Maschinen einen großen Scharfsinn an den Tag. Die älteste Schrift, welche sich mit den Principien der Mechanik befasst, stammt von Aristoteles her und führt den Titel „Mechanische Probleme.“ In diesem Werke erscheint bereits der Satz von der Zusammensetzung der Kräfte, jedoch bloß für den Fall, dass diese Kräfte gegen einander rechtwinkelig wirken.

Die Bewegung betrachtet er als ein allen Körpern inwohnendes Princip und unterscheidet zwei Hauptarten, die Kreisbewegung als die vollkommenste, welche den Himmelskörpern, und die geradlinige, welche den irdischen Körpern eigen sei. Ein Theil derselben hat das Bestreben, sich nach dem Mittelpunkte der Erde, die eine Kugel ist, hinzubewegen. Die Körper fallen desto schneller, je größer ihr Gewicht ist. Nach der Lehre des Aristoteles nahm man an, dass ein Körper, der z. B. fünfmal mehr wiege, als ein anderer, auch fünfmal schneller falle, als dieser. Die genannten Bewegungen seien natürliche, alle anderen aber, z. B. die Bewegung eines ge-

worfenen Körpers gewaltsame, die „den Qualitäten der Körper so widerstrében, dass sie nur so lange dauern, als die Kräfte wirken.“ Zu einer geradlinigen gleichförmigen Bewegung war daher nach Aristoteles eine stetig wirkende bewegende Kraft erforderlich, denn ohne diese würde der Körper sogleich zur Ruhe kommen. Wenn nun schon die geradlinige gleichförmige Bewegung durch eine stete Einwirkung einer Kraft erklärt wurde, so musste bei einer beschleunigten Bewegung noch zu einer Hilfskraft die Zuflucht genommen werden. Aristoteles nahm nämlich an, dass ein fallender Körper von der Luft, die ihm folgt, fortwährend in jedem Augenblicke einen neuen Antrieb zur Bewegung bekomme, und dass die Körper im luftleeren Raume mit gleichförmiger Geschwindigkeit fallen, während gegenwärtig bereits jeder Schulknabe weiß, dass die Luft durch ihren Widerstand die Bewegung der Körper hemmt und dass diese im luftleeren Raume erst recht mit beschleunigter Geschwindigkeit fallen.

Die Fortsetzung einer eingeleiteten Wurfbewegung stellt sich Aristoteles ebenfalls als die Wirkung der Luft vor. Er nimmt nämlich an, dass der geworfene Körper hinter sich einen leeren Raum lasse, die Luft in diesen eindringe und dem Körper einen neuen Stoß ertheile. Er kommt dadurch in Verlegenheit, die Frage zu beantworten; die er sich selbst aufwirft, wodurch ein Projectil schließlich zur Ruhe komme.

Wir ersehen schon aus diesen Beispielen, mit welchen Schwierigkeiten selbst geniale Köpfe bei der Erklärung von Erscheinungen zu kämpfen hatten, welche heutzutage eine so leichte Lösung finden, und dass Elementarbegriffe, wie Masse, Schwere und Gewicht ihnen ganz unklar waren.

Es ist dagegen höchst auffallend, dass bereits Aristoteles die erste Andeutung zum Principe der virtuellen Geschwindigkeit macht, und zwar in seinen „physikalischen Lectionen.“ Er sagt, dass Kräfte oder bewegte Massen gleich viel wirken, wenn sie sich umgekehrt verhalten, wie ihre Geschwindigkeiten. Besitzen z. B. zwei Kugeln mit den Massen  $M = 6$  und  $m = 1$  die Geschwindigkeiten  $C = 1$  und  $c = 6$ , so ertheilt jede einer dritten Kugel dieselbe Geschwindigkeit.

Über die Wirkung des Hebels sagt er: „Mit einem größeren Hebelarme können größere Lasten gehoben werden, weil der größere Hebelarm sich stärker bewegt“ — oder „eine in größerer Entfernung vom Unterstützungspunkte angreifende Kraft bewegt eine Last leichter, weil sie einen größeren Kreis beschreibt.“

Die Schwere der Luft glaubte er durch folgendes Experiment nachgewiesen zu haben. Er fand nämlich, dass mit Luft aufgeblasene Lederschläuche ein größeres Gewicht hatten, als ausgedrückte. Dabei ward ihm aber nicht klar, weshalb dann jene im Wasser schwammen und diese untersanken.

Es ist auffallend, dass Aristoteles, obwohl er der Luft ein Gewicht zuschrieb, vom Luftdrucke keine Idee hatte. Erscheinungen, die auf dem Luftdrucke, beruhen, erklärte er durch den „Abscheu der Natur vor dem leeren Raume (horror vacui),“ welche Ansicht sich merkwürdigerweise bis ins 17. Jahrhundert erhielt.

Als der Gründer der Statik und Hydrostatik kann ohne Bedenken der auch um die Geometrie so hochverdiente Archimedes angesehen werden. Seine wichtigsten Schriften über Mechanik sind: „Über das Gleichgewicht der Ebenen“ und „Von den schwimmenden Körpern.“ In jener nimmt er an, dass gleich schwere Körper, die in gleichen Entfernungen wirken, im Gleichgewichte sind, und daraus folgert er, dass, wenn zwei gleich schwere Größen nicht einerlei Schwerpunkt haben, der Schwerpunkt der aus beiden zusammengesetzten Größe in der Mitte der Geraden liegt, welche die Schwerpunkte der einzelnen Größen verbindet. Mittelst dieser Sätze bewies Archimedes die Richtigkeit des Hebelgesetzes. Dieses Gesetz erschien ihm bereits so wichtig, dass er sich äußerte: „Man könnte mittelst des Hebels die Erde aus ihrer Lage bringen, wenn man außerhalb derselben einen Stützpunkt hätte.“

In dieser Schrift bestimmte Archimedes auch die Schwerpunkte in den Dreiecken, Parallelogrammen, Trapezen und parabolischen Segmenten.

In der zweiten Schrift stellt er den Satz auf, welcher noch heutzutage das Archimed'sche Princip genannt wird, dass

nämlich ein fester Körper beim Eintauchen in eine Flüssigkeit soviel an Gewicht verliert, als das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeit beträgt. Diesen Satz soll er beim Baden entdeckt haben. Nach der Erzählung des Vitruvius beauftragte König Hiero von Syrakus den Archimedes, zu untersuchen, ob die Krone, welche der König von einem Künstler hatte verfertigen lassen, aus reinem Golde bestehe, oder ob der Goldschmied, wie das Gerücht gieng, einen Theil des Goldes durch Silber ersetzt habe. Archimedes konnte lange kein Mittel finden, die ihm gestellte Aufgabe zu lösen, bis er einmal im Bade die Beobachtung machte, dass das Wasser in dem marmornen Becken in dem er sich befand, genau in dem Maße sich erhob, in welchem er seinen Körper eintauchte. Plötzlich kam ihm der Gedanke, dass ein jeder feste Körper ein gleiches Volumen dieser Flüssigkeit verdrängen müsse. In der Überzeugung, das richtige Mittel zur Lösung der ihm vorgelegten Aufgabe gefunden zu haben, soll Archimedes aus dem Bade gesprungen und durch die Strassen von Syrakus zum Staunen seiner Mitbürger mit dem Ausrufe: „Ich habe es gefunden“ (εὕρηκα) gerannt sein. Er verschaffte sich eine Quantität reines Gold und eine gleiche von reinem Silber, deren jede so viel wog als die Krone, und fand, dass, wenn er die Goldmasse in ein ganz mit Wasser gefülltes Gefäss tauchte, diese weniger Wasser verdrängte als die Krone, die Silbermasse dagegen mehr. Dadurch war der Beweis geliefert, dass die Krone nicht aus reinem Golde bestand und es war ihm auch möglich zu berechnen, wie viel Gold durch Silber ersetzt worden war. Diese Methode hatte allerdings keine große Genauigkeit und man sollte nach den Kenntnissen, welche Archimedes in der Hydromechanik besass, vielmehr vermuthen, dass er die Fälschung durch den Gewichtsverlust erkannte, welche die Krone im Wasser erlitt.

Archimedes fand auch zuerst das Princip der gleichförmigen Fortpflanzung des auf einen Theil einer Flüssigkeit ausgeübten Druckes, das aber bis zum Ende des Mittelalters unbenützt geblieben, und als man es wieder aufgenommen hatte, lange nicht richtig aufgefasst worden ist. Er behauptete ferner, dass

jeder Theil einer Flüssigkeit von der senkrecht über ihm befindlichen Flüssigkeit gedrückt wird, dass die Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit sphärisch und mit der Erde concentrisch sein müsse, dass ein Körper, der leichter ist als eine Flüssigkeit, in dieser so weit einsinkt, bis sein ganzes Gewicht dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit gleich ist, dass ein in eine Flüssigkeit ganz eingetauchter Körper, welcher leichter ist als jene, mit einer Kraft aufsteigt, welche dem Überschusse des Gewichtes der Flüssigkeit über jenes des Körpers gleich ist und dass alle Körper, welche von einer Flüssigkeit emporgetrieben werden, der Verticallinie folgen, welche durch ihren Schwerpunkt geht.

Archimedes bestimmte bereits die Dichte verschiedener Flüssigkeiten mittelst eines aus Blech gefertigten und mit einer Scala versehenen Gefäßes und kann demnach als Erfinder des Aräometers bezeichnet werden. Außerdem erfand er die Wasserschnecke oder Archimed'sche Schraube, die Schraube ohne Ende, den Flaschenzug und verfertigte Wurfmaschinen von außerordentlicher Wirkung, welche zur Vertheidigung seiner Vaterstadt gegen die Römer verwendet wurden.

Dass man dem Archimedes selbst fabelhafte Leistungen auf dem Gebiete der praktischen Mechanik zutraute, beweisen die übertriebenen und zum Theile unwahren Berichte, welche über ihn von Plutarch, Livius, Polybius und Plinius auf uns gekommen sind. So soll er unter anderem ein großes, mit Bleiplatten belegtes Linienschiff, welches vom Stapelplatz nicht ins Meer gebracht werden konnte, durch seine Maschinen allein ins Meer gezogen haben.

Als Syrakus von den Römern nach einer längeren Belagerung erobert worden war, gab der römische Feldherr Marcellus seinen Kriegern den Befehl, des großen Geometers zu schonen. Dieser saß ruhig und in Gedanken vertieft vor seinen geometrischen, in den Sand gezeichneten Figuren, als ein römischer Krieger an ihn herantrat. „Zertritt mir meine Figuren nicht!“ rief ihm Archimedes zu, doch der beutegierige Römer, der ihn vielleicht nicht einmal verstanden haben mochte, tödtete ihn. (212 v. Ch.)

Nächst Archimedes kommen besonders in Betracht Ktesibios und noch mehr sein Schüler Heron, welche um das Jahr 150 oder 120 v. Ch. in Alexandrien lebten. Ersterem wird die Erfindung der Windbüchse und der Druckpumpe zugeschrieben. Diese bestand aus zwei metallenen Stiefeln, die am Boden Ventile hatten und durch eine Röhre in Verbindung standen, welche zur Aufnahme des Wassers diente und auch ein Ventil besaß. Später zur Zeit der römischen Kaiser bediente man sich solcher Druckwerke als Feuerspritzen. Handspritzen (kleine Saugpumpen) waren schon zur Zeit des Aristoteles bekannt.

Heron erfand den Heronsball und Heronsbrunnen. Seine Schrift über die Hebewinde leitet die Wirkung derselben auf mathematischem Wege richtig aus dem Hebelgesetze ab. Seine Hauptversuche betrafen jedoch die Spannkraft des Dampfes, und er setzte bereits eine hohle Metallkugel, in welcher Wasserdampf entwickelt wurde, durch Rückwirkung des aus einer seitwärts angebrachten Röhre ausströmenden Dampfes in drehende Bewegung.

### III. Die Kindheit der Optik.

Sobald man den Erscheinungen des Lichtes einige Aufmerksamkeit zuzuwenden begann, musste man nothwendigerweise zur Überzeugung gelangen, dass sich das Licht in gerader Linie fortpflanze, denn es musste unzweifelhaft dem ersten Beobachter auffallen, dass man nur jene Stellen eines Körpers sehen kann, von denen sich eine gerade Linie, die durch keinen undurchsichtigen Körper unterbrochen wird, zu unserem Auge ziehen lässt. Ebenso wenig konnte eine zweite Thatsache der Aufmerksamkeit der Menschen lange entgehen, nämlich, dass die Lichtstrahlen von der Oberfläche spiegelnder Körper so zurückgeworfen werden, dass der Einfallswinkel immer dem Reflexionswinkel gleich ist. Die Beobachtung der Sonnenstrahlen, wenn sie z. B. von der Oberfläche eines stehenden Wassers oder eines glatten Körpers überhaupt zurückgeworfen werden, musste zur Erkenntnis dieses wichtigen Gesetzes führen, welches, sobald es einmal ge-

funden war, durch unzählige andere Erscheinungen bestätigt wurde. Bei vorgenommener Messung dieser Winkel musste man ferner noch jedenfalls die Erfahrung machen, dass der einfallende und reflectierte Strahl in einer und derselben Ebene, welche auf der spiegelnden Fläche senkrecht ist, sich befinden; auch folgerte man bald aus dem zweiten Gesetze, dass der auf die spiegelnde Fläche senkrecht auffallende Strahl in sich selbst reflectiert werde. Wer diese Beobachtungen zuerst gemacht habe, ist nicht bekannt. Wir finden diese wichtigen Principe bei den Platonikern, welche übrigens, sowie die anderen griechischen Philosophen-Schulen ganz sonderbare Ansichten über das Licht und das Sehen hatten.

Hinsichtlich künstlicher Spiegel ist gewiss, dass Metallspiegel schon in den ältesten Zeiten bekannt waren. Sie werden bereits im fünften Buche Mosis erwähnt; auch fand man solche in ägyptischen Mumiengräbern. Desgleichen kannten die Griechen lange vor Pythagoras solche Spiegel, welche häufig aus Silber oder Zinn verfertigt wurden. Später verfertigte man Spiegel aus obsidianartiger, dunkler undurchsichtiger Masse mit polierter Oberfläche und aus Glas. Die Glasspiegel waren unbelegt und sollen in Sidon erfunden worden sein. Nicht nur ebene, sondern auch concave und convexe Spiegel wurden von den Alten benützt.

Die meisten Philosophen der Griechen behaupteten, dass das Sehen durch Strahlen bewirkt werde, welche von dem Auge ausgehen, zum Gegenstande gelangen und dann die Empfindung von demselben nach dem Gesichtsorgane schicken, „so dass wir also, wenn wir Gegenstände ansehen, ihren Umriss und ihre Gestalt gleichsam nur wie ein blinder Mann kennen lernen, der diese Gegenstände nach und nach in allen ihren Theilen mit der Spitze seines Stockes befühlt.“ Dieser Missgriff wäre übrigens weiteren Forschungen nicht im Wege gestanden, da für beide Voraussetzungen die mathematischen Resultate dieselben bleiben.

Dagegen stellten allerdings einige Philosophen, wie Demokritos (Geburtsjahr ganz ungewiss) und Epikur (geb. 342 v. Ch.) die Ansicht auf, dass die Gegenstände durch etwas, was

von ihnen ins Auge gelange, sichtbar werden. Pythagoras (geb. zu Sámos etwa 580 v. Ch.) hatte schon beinahe zwei Jahrhunderte früher eine ähnliche Meinung, dass nämlich von der Oberfläche der Gegenstände sich Theilchen absondern und ins Auge gelangen. Eine ähnliche Ansicht entwickelte Empedokles (in der Mitte des 5. Jahrhunderts v. Ch.) Diese beiden letztgenannten Philosophen erscheinen demnach als die ersten Verfechter der Emanationstheorie. Platon (geb. 429 v. Ch.) suchte eine Vermittelung beider Ansichten herbeizuführen, indem er annahm, dass ein Ausfluss vom Auge einem Ausflusse von dem Gegenstande begegne. Die Ansicht, dass beim Sehen ein Ausfluss vom Auge stattfinde, hat Aristoteles auf eine scharfsinnige Weise angegriffen. Er sagt: „Wahrlich, wenn das Sehen stattfände, indem das Licht gleichsam wie aus einer Lampe herausgeht, warum würde dann das Auge nicht auch in der Finsternis sehen?“

Nach Aristoteles erfolgt das Sehen durch die Bewegung eines feinen Mediums, das sich zwischen dem Auge und dem sichtbaren Gegenstande befindet, auf ähnliche Art, wie der Schall durch die Luft vermittelt, zum Ohre gelangt. Er behauptet auch die wässerige Natur des Auges, dass durch eine in diesem entstandene Bewegung das Sehen bewirkt werde und dass das Innere des Auges für das Licht empfänglich sein müsse. Aristoteles kann demnach als ein Vorläufer der Undulationstheorie betrachtet werden.

Auch war demselben die Strahlenbrechung nicht unbekannt. Er ist der erste, welcher den Ausdruck *Brechung* (*ἀνάκλασις*) gebraucht, indem er sagt: „der Lichtstrahl wird durch Wasser, durch Luft und durch alle Körper gebrochen, die eine glatte (?) Oberfläche haben.“ Dann finden wir unter verschiedenen wertlosen optischen Fragen, welche er stellt, auch jene, warum ein schief in Wasser gehaltener Stab gebrochen erscheine.

Erst spätere Schriftsteller erwähnen einige Gesetze der Lichtbrechung, doch kennen sie die Ursache nicht. Kleomenes, (lebte etwa 50 Jahre n. Ch.) wusste, dass ein Lichtstrahl, wenn er schief aus einem Mittel in ein dichteres übergeht, dem Lothe zugelenkt, dagegen von diesem abgelenkt

wird, wenn er in ein dünneres Mittel tritt. Derselbe Schriftsteller kennt auch schon den Versuch, bei welchem man auf den Boden einer leeren Schale ein Geldstück legt, und sich dann so stellt, dass uns eben durch den Rand der Schale das Sehen der Münze entzogen ist, dieselbe aber sogleich sichtbar wird, ohne dass wir mit dem Auge rücken, sobald Wasser in die Schale gegossen wird.

Kleomenes macht noch dazu die Bemerkung, dass man auf gleiche Weise die noch unter dem Horizonte verborgene Sonne durch Strahlenbrechung sehen könne.

Obwohl Aristoteles wusste, unter welchen Umständen ein Regenbogen zu Stande komme, so hatte er doch keine richtige Vorstellung von der Entstehung desselben. Er glaubte, der Regenbogen entstehe dadurch, dass die Sonne sich in dunkleren Wolken abbilde. Die Farben desselben erklärt er auf folgende Art durch Reflexion. Die schrägsten Strahlen werden am stärksten reflectiert und erzeugen die lebhafteste Farbe, das Roth. Je schwächer das reflectierte Licht ist, desto mehr nähert sich die Farbe dem Schwarz, wird dann grün und geht endlich in Purpur über. Er nimmt demnach nur drei Farben an. Wenn man von dem äußeren Kreise, welcher der größte ist, zu dem inneren geht, so haben wir eine Stufenfolge von Roth, durch Grün bis zum Purpur.

Auf eine noch viel mehr ungenügende Weise sucht er die Kreisgestalt des Regenbogens zu erklären, wofür er sogar mathematische Gründe anführt. Übrigens bemerkt er, dass der Kreisbogen desto kleiner sei, je höher die Sonne am Himmel stehe, so dass im Sommer zu Mittag kein Regenbogen entstehen könne. Er kennt auch den Nebenregenbogen, ja sogar den Mondregenbogen und weiß, dass dieser nur bei Vollmond erscheine. Er gibt auch ein Mittel an, einen künstlichen Regenbogen zu erzeugen; man möge nämlich mit einem Ruder ins Wasser schlagen, so dass das Wasser reichlich in Tropfen herumspritze, nur müsse man dann den Rücken gegen die Sonne kehren.

Endlich waren der platonischen und aristotelischen Schule die Hauptgesetze der Perspective nicht unbekannt.

Wenn die Alten auf dem Gebiete der Optik und Physik im allgemeinen nicht raschere Fortschritte gemacht haben, so liegt die Ursache nicht etwa in einer Unaufmerksamkeit gegen die Erscheinungen der Natur, sondern darin, dass sie nur wenige oder gar keine Versuche machten und vielmehr ihrer fruchtbaren Einbildungskraft einen zu großen Spielraum gewährten, Hypothesen über Hypothesen schmiedeten, ohne sich viel dabei an die Natur zu halten.

Die optischen Schriften, welche dem grossen Geometer Euklides (geb. zu Alexandrien um 300 v. Ch.) zugeschrieben werden, können ungeachtet einiger Zeugnisse kaum für echt erkannt werden. Sie enthalten Untersuchungen über die scheinbare Grösse und Gestalt der Gegenstände nach dem Schwinkel und Bestimmungen der Bilder, welche Spiegel von Gegenständen erzeugen. Er erklärt auch in seiner Katoptrik bereits die Luftbilder von Hohlspiegeln. Er beweiset, dass bei Hohlspiegel die reflectirten Strahlen entweder convergieren oder divergieren, bei den erhabenen Spiegeln nur divergieren. Er behauptet übrigens irrig, der Brennpunkt eines Hohlspiegels liege in dem Mittelpunkte der Kugel desselben. Auch erwähnt er die zündende Kraft der Hohlspiegel.

Die Fabel, dass Archimedes die feindliche Flotte vor Syrakus mittelst großer Brennspiegel angezündet habe, scheint erst im 12. Jahrhunderte entstanden zu sein; weder Polybius, noch Livius, noch Plutarch erwähnen etwas davon. Der einzige Galenus erzählt, dass Archimedes die römischen Schiffe angezündet habe, aber er sagt bloß im allgemeinen durch Feuer. Die Schriftsteller des 12. Jahrhundertes, welche obiges behaupten, berufen sich jedoch auf Stellen in alten Classikern, deren Werke leider nicht mehr vollständig auf uns gekommen sind.

Nach Euklides findet man nichts Wichtigeres über optische Gegenstände bis zum Seneca (geb. 12. gest. 66. n. Ch.), welcher, da die Römer in den Naturwissenschaften und in der Philosophie meist Nachbeter der Griechen waren, besonders dem Aristoteles folgt, übrigens aber auch die Leistungen anderer Völker, namentlich der Babylonier und Ägypter nicht übersah.

Er kennt die Dispersion des Lichtes durch Refraction, denn er führt an, dass prismatische Glasstücke, wenn sie quer die Sonne auffassen, jene Farben zeigen, welche man im Regenbogen sieht. Diese Erscheinung ist jedoch jedenfalls schon lange vor Seneca beobachtet worden. Was nun die Erklärung betrifft, so bemüht er sich durchaus nicht, die Ursache zu erforschen. Er theilt die unvollkommenen Meinungen des Aristoteles. Nach ihm ist der Regenbogen ein Bild der Sonne, das sich in einer regnenden hohlen Wolke gestaltet; die Sonne ist jedoch wegen der Mangelhaftigkeit der Gestalt des Spiegels auch nur mangelhaft abgespiegelt. Dass das Bild der Sonne in den Wolken vergrößert erscheint, kommt daher, weil es Spiegel gibt, die von der Art sind, dass sie die Gegenstände viel größer zeigen, dagegen gibt es wieder andere, welche verkleinern. Die Buntfarbigkeit hat aber keinen anderen Grund, als dass ein Theil der Farbe von der Sonne herrührt, ein Theil von jener Wolke. Die bogenförmige Gestalt des Regenbogens und die Kreisgestalt der Höfe um Sonne und Mond entsteht durch eine Bewegung der atmosphärischen Luft und der in ihr enthaltenen Dünste infolge eines Anstoßes des Lichtes, ähnlich den Kreisen, welche auf der Oberfläche des Wassers durch einen hineingeworfenen Stein entstehen. Seneca spricht ferner bereits auch von Nebensonnen, die er für Abspiegelungen der Sonne in einer dichten, nahen wie ein Spiegel wirkenden Wolke hält.

Interessant ist endlich die Stelle, wo Seneca der vergrößernden Kraft durchsichtiger Körper von gewisser Gestalt erwähnt. Dasselbst heißt es nämlich: „Buchstaben, wie klein und dunkel sie auch sein mögen, sieht man durch eine mit Wasser gefüllte Glaskugel größer und heller.“ Von der Ursache dieser Erscheinung konnte sich jedoch Seneca nicht die geringste Rechenschaft geben. Es veranlasst ihn dies bloß zur Bemerkung, dass nichts so trügerisch sei, als unser Gesicht.

Nach der Angabe einiger Schriftsteller sollen auch wirklich die alten Steinschneider sich gläserner, mit Wasser gefüllter Kugeln bedient haben, um sich die Figuren zu vergrößern und

um so feiner arbeiten zu können. Auch scheinen den Alten nicht nur Brennspiegel, sondern auch eine Art Brenngläser bekannt gewesen zu sein. Schon in einem Lustspiele des griechischen Lustspieldichters Aristophanes (424 v. Ch.), welches den Titel führt „die Wolken“, finden wir eine Erwähnung der Brenngläser. Dasselbst gibt nämlich ein gewisser Strepsiades in einem Gespräche mit Sokrates ein Mittel an, durch welches er sich von seinen Gläubigern befreien wolle.

Strepsiades. Gefunden hab' ich die schlaueste Klagebeseitigung, wie du mir selbst bezeugen musst.

Sokrates. Was wäre das?

Strepsiades. Du hast doch schon in Krämerbuden jenen Stein gesehen, jenen hellen und durchsichtigen, womit man Feuer macht?

Sokrates. Du meinst den Brennkry stall?

Strepsiades. Ja diesen.

Sokrates. Nun, was soll's damit?

Strepsiades. Den nähm' ich denn, und während nun der Schreiber mir die Klage schrieb, entfernt' ich mich ein wenig gegen die Sonne hin und schmelzt' ihm meine Klage unter dem Griffel weg.

Nicht unwahrscheinlich ist es, dass die Römer ihr heiliges Feuer beim Vestadienste entweder durch Hohlspiegel oder mittelst Brenngläser entzündet hatten. War nämlich das „ewige“ Feuer, welches zu Ehren der Vesta unterhalten wurde, durch einen Zufall erloschen, so durfte es nur mit dem Feuer der Sonne, als dem reinsten Feuer, wieder entzündet werden. Da der Vestadienst aber schon vor Erbauung der Stadt Rom in Italien üblich war, so müsste jenes Verfahren sehr alt gewesen sein. Plinius der Ältere (geb. 23 n. Ch. zu Verona) spricht an zwei Stellen von Brenngläsern. An einer Stelle heißt es, dass mit Wasser gefüllte Glaskugeln durch die gegenüberstehende Sonne so heiß werden, dass sie die Kleider anzünden; und an einer zweiten Stelle: „Ich finde bei den Ärzten, dass sie, was am Körper zu brennen ist, nicht besser brennen zu können glauben, als mit einer Krystallkugel, auf welche man von der entgegengesetzten Seite die Sonnenstrahlen fallen lässt.“

Die gründlichsten optischen Kenntnisse im ganzen Alterthume besaß der auch als Astronom und Geograph berühmte Claudius Ptolemäus (geb. 70 J. n. Ch. zu Ptolemais in Ägypten, gest. 147 zu Alexandrien). Derselbe hat ein optisches Werk in fünf Büchern geschrieben, welches aber bis auf eine handschriftlich in der Pariser Bibliothek vorhandene, aus dem Arabischen gemachte lateinische Übersetzung verloren gegangen ist. Dieses Werk behandelt die Theorie des Sehens, die Reflexion, die Theorie der ebenen und concaven Spiegel und die Refraction. In letzterer Beziehung suchte er die Ablenkung eines Lichtstrahles zu bestimmen für den Übergang des Lichtes aus Luft in Wasser und Glas und aus Glas in Wasser. Die Gesetze der Refraction hatten für ihn als Astronomen ein besonderes Interesse, da man ohne Kenntnis der astronomischen Refraction die Höhe der Gestirne nicht richtig bestimmen kann. Er wusste, dass die astronomische Refraction im Zenith gleich Null ist und nach dem Horizonte zu immer größer wird. Er gibt eine recht entsprechende Erklärung von der scheinbaren Vergrößerung der Sonne und des Mondes nahe am Horizonte. Er sagt nämlich, dass wir durch Erfahrung dahin kommen, die Entfernung eines Gegenstandes und ihren Einfluss auf die Größe desselben schnell und ohne daran zu denken, abzuschätzen und diese Entfernung scheint größer, wenn viele Gegenstände zwischen dem Gegenstande und unserem Auge sich befinden.

Bezüglich der Höhe der Atmosphäre glaubt er, dass sie sich bis zum Monde erstrecke.

Die irdische Strahlenbrechung war den Alten auch bereits bekannt. Verschiedene Schriftsteller, unter ihnen Plinius, erwähnen solcher Luftspiegelungen, was uns weniger wundern darf, da diese Erscheinungen an den Küsten von Sicilien, Süd-Italien und Griechenland nicht gar so selten auftreten, in manchen Gegenden von Afrika und Asien aber sogar häufig beobachtet werden können.

Nach Ptolemäus tritt eine sehr große Lücke in der Geschichte der Optik ein.

#### IV. Über die ältesten Bestrebungen in der Akustik.

Es ist ohne Zweifel anzunehmen, dass die Verfertiger musikalischer Instrumente, wenn auch das Entstehen einer eigentlichen Wissenschaft der Akustik erst Jahrtausende später zu suchen ist, mit gewissen Grundsätzen derselben vertraut gewesen sein mussten. Oder sollte der Verfertiger der ersten Saiteninstrumente gar keinen Begriff von Resonanz gehabt, sollte er nicht die Erfahrung gemacht haben, wie die Tonhöhe von der Länge, Dicke, Spannung und materiellen Beschaffenheit der Saiten abhängt, sollte der Erzeuger der ersten Blasinstrumente nicht auch schon gewusst haben, was bei denselben das Tönende sei, und dass eine kürzere Luftsäule einen höheren Ton gebe! Der erste Musiker war in gewisser Beziehung der erste Akustiker, wenn er auch keinen richtigen Begriff über Entstehung und Fortpflanzung des Schalles hatte. In manchen Theilen der Physik geht es auch heute nicht besser; wir besitzen eine Unzahl von Erfahrungen, wir verwenden Naturkräfte auf die mannigfaltigste Weise, wir bauen, gestützt auf unsere gefundenen Wahrheiten, die compliciertesten Apparate und doch vermögen wir keinen sicheren Aufschluss über die Ursache einer Reihe von Erscheinungen zu geben.

Die älteste Nachricht über musikalische Instrumente gibt Moses. Nach seinen Angaben hat bereits Jubal, der 3948 v. Ch. gelebt haben soll, Saiteninstrumente (Kinnor) und Blasinstrumente (Ugab) verfertigt.

Verschiedene Abbildungen von Tonwerkzeugen auf alten Denkmälern der Ägypter zeigen, dass schon vor dem Könige Sesostrius jenes alte Volk mit gar manchen wichtigen Sätzen der Schallehre vertraut gewesen sein musste, indem dessen musikalische Instrumente bereits eine ziemlich hohe Stufe von Zweckmäßigkeit erreicht hatten. James Bruce fand nämlich unter den Ruinen des ägyptischen Theben in einem Königsgrabmale (angeblich von Sesostrius Vater) die Abbildung einer Harfe, welche, der Form nach zu schließen, nach den Regeln der Akustik und mit Verständnis der Schwingungsverhältnisse der

Saiten gebaut war. Der Resonanzboden wird gegen den Fuß hin immer weiter, so dass er, wie die Saitenlänge zunimmt, auch nach Verhältnis größer wird. Das ganze Instrument ist höchst zierlich gearbeitet und mit dreizehn Saiten bespannt.

Die alten Ägypter kannten nächst der Harfe auch die Flöte, das Horn, welches zur Ankündigung der Feste und zur Zusammenberufung des Volkes diente, die Trompete, die beim Kriegsheere gebraucht wurde, eine Art Trommel bei den Opfertänzen und das Systrum, dessen Erfindung der Isis zugeschrieben und deshalb auch von Frauen geschlagen wurde.

Das Systrum, welches bei den Ägyptern sehr beliebt war, bestand aus einem Reifen, außen mit Schellen oder Cymbeln behangen, dessen inneren Raum drei durch den Reifen gehende Metallstäbe ausfüllten, an beiden Enden etwas umgebogen, um das Herausfallen zu verhindern. An dem Reifen befand sich ein Griff für die linke Hand, um das Instrument zu halten. Beim Spielen strich die rechte Hand mit einem Plektrum über die sich drehenden Metallstäbchen weg, wodurch ein lärmendes Geklingel entstand, das bei starker Handhabung betäubend auf das Ohr wirkte.

Die Israeliten haben während ihres Aufenthaltes in Ägypten die Posaunen, welche wohl ursprünglich vom Horn und von der Trompete kaum verschieden waren, kennen gelernt, und vor Samuel schienen bei ihnen vorzüglich Lärminstrumente im Gebrauche gewesen zu sein. Moses ließ eine silberne Posaune, welche beinahe eine Elle lang war, verfertigen, und die Bibel berichtet von den furchtbaren Riesentönen der Posaunen Josua's vor Jericho.

Unter David kamen die Saiteninstrumente in Aufnahme. Aus jener Zeit soll auch die Äolsharfe stammen, denn von David erzählen die Talmudisten, dessen Harfe, über seinem Haupte aufgehangen, habe in süßen Weisen geklungen, wenn um Mitternacht der Nordwind durch die Saiten strich.

Zur Zeit Salomons sollen bereits sechsunddreißig verschiedene musikalische Instrumente bekannt gewesen sein. Das gibt Zeugnis von der Rührigkeit der Alten auf dem Gebiete der Musik und Akustik.

Dass bei den alten Griechen bereits ein Jahrtausend vor Christus kostbare musikalische Instrumente im Gebrauche waren, spricht eine Stelle im Homer aus. (Iliade, IX. Gesang, Verse 180 und 181.)

Während in der Optik und in anderen Theilen der Physik seit den ältesten Zeiten die sonderbarsten Irrwege zurückgelegt wurden, eine Reihe der verschiedensten Erscheinungen entdeckt und auf mühevoller Weise Schritt für Schritt ein unbekannter Boden erkämpft werden musste, um endlich zu einem ersten und höchsten Principe zu gelangen, dem man jene Erscheinungen unterordnen könnte, so tritt uns in der Akustik wohl der umgekehrte Fall entgegen. Glückliche Muthmaßungen einiger Philosophen classischen Alterthums führten zu einem Principe, welches freilich noch zu allgemein hingestellt, nur auf den scharfsinnigen Geist harrte, der ihm eine bestimmte Form und eine mathematische Sicherheit verleihen sollte, um jeden besonderen Fall unter jenes Princip subsummieren zu können.

Dem Pythagoras schreibt man die Entdeckung zu, dass die musikalischen Tonverhältnisse sich durch Zahlverhältnisse darstellen lassen. Wie wir an verschiedenen Stellen lesen, soll Pythagoras auf einem Spaziergange, durch den verschiedenen Klang der Hämmer, welche in der Werkstätte eines Schmiedes den Ambos trafen, aufmerksam gemacht, gefunden haben, dass diese Töne gerade eine Octave, eine Quint und eine Quart gaben. Bei Wägung der drei Hämmer soll er entdeckt haben, dass die Töne derselben ihren Gewichten proportional wären, und darauf geleitet worden sein, dass bei gleich langen und auch übrigens gleichen Saiten die Tonhöhen sich so verhalten, wie die angehängten Gewichte. Schon Chladni weist darauf hin, dass jene Erzählung sehr ungenau sei, indem jene drei Töne keineswegs durch Hämmer von den bezeichneten Gewichten hervorgebracht würden, zudem die Tonhöhe einer Saite nicht dem angehängten Gewichte, sondern der Quadratwurzel aus dem spannenden Gewichte proportional sei. Dass übrigens ähnliche Versuche an Saiten, um die Tonverhältnisse dadurch auszumitteln, von Pythagoras und mehreren Philosophen der Pythagoräischen Schule gemacht wurden, scheint festzustehen. Be-

sonders haben Lasus von Hermione und Hippasus von Metapont experimentiert, indem sie bald die Länge der Saiten, bald die spannenden Gewichte mannigfaltig abänderten. So soll das Monochord, sowie die Bestimmung der Tonleiter, octochordum Pythagorae (die Pythagoräische Lyra) entstanden sein.

Aristoteles scheint über die Ursache und Entstehung des Schalles für seine Zeit ziemlich richtige Begriffe gehabt zu haben, denn er betrachtete den Schall als Folge gewisser Bewegungen von Körpern und nahm an, dass diese Bewegungen der Luft mitgetheilt und bis zu unserem Gehörorgane fortgeleitet werden.

Er sagt in seiner Abhandlung über den Schall und vom Hören folgendes: „Ein Schall entsteht, wenn ein Körper die Luft bewegt, nicht indem er nach der Ansicht einiger, der Luft eine gewisse Form überträgt, sondern sie auf eine angemessene Weise in Bewegung setzt.“ Was Aristoteles unter dieser „angemessenen Weise“ versteht, ist allerdings unklar; jedenfalls merkwürdig sind die hierauf folgenden Worte: „Die Luft wird dabei zusammengedrückt und wieder ausgedehnt.“

Ebenso bemerkenswert bleibt seine Äußerung über das Echo. „Ein Echo,“ schreibt er, „entsteht, wenn die Luft, die bezüglich des Raumes, in dem sie sich befindet, als ein Körper gilt, wegen der Begrenzung dieses Raumes nicht weiter vorwärts kann, und von den Wänden desselben, wie ein Ball, zurückgeworfen wird.“ Dass auch das Wasser ein Fortpflanzungsmittel des Schalles sei, erwähnt er ausdrücklich: „Man hört auch im Wasser, aber in diesem weniger als in der Luft.“

Epikur meinte, dass aus den Körpern, die einen Klang erregen, gewisse materielle Theilchen ausgesendet werden, welche in unseren Ohren eine Empfindung hervorrufen, wie es bei Körpern geschieht, die einen Geruch von sich geben.

Einen sehr klaren Begriff von der Fortpflanzung des Schalles finden wir dagegen bereits bei Vitruvius (um Ch. G.) Er schreibt: „Indem der Schall die Luft erschüttert, gibt er sich unserem Ohre kund. Dabei bewegt sich die Luft in zahllosen concentrischen Kreisen, ähnlich den Wellen des Wassers, in welches man einen Stein wirft, wo auch die Kreise

immer größer werden, je mehr sie sich von ihrem Mittelpunkte entfernen und die so lange weiter gehen, bis sie von einer Begrenzung des Raumes oder von irgend einem Hindernisse in ihrer Bewegung aufgehalten werden.“

Dass sich Vitruvius die Schallwellen gleichsam als Schallkugeln vorstellt, geht aus folgender Stelle hervor: „Im Wasser gehen die Kreise bloß in der Breite und in horizontaler Richtung fort, während der Schall in der Luft nicht nur in der Breite, sondern auch in der Tiefe allmählich immer weiter schreitet.“

Auch die Interferenz des Schalles wird von ihm erwähnt, indem er sagt: „Wie eine Wasserwelle schreitet auch der Ton in der Luft fort und wenn kein Hindernis die vorderen aufhält, so werden auch dadurch die zweiten und die folgenden Töne nicht gestört und alle kommen zu unserem Ohre, wir mögen hoch oder niedrig stehen und ohne alle Resonanz. Wenn sie aber auf ihrem Wege Hindernisse treffen, so werden die ersten daselbst ankommenden Töne von diesem Hindernisse zurückgeworfen, und stören dadurch auch die Kreise aller folgenden Töne.“

Den Alten waren auch die Mittel nicht fremd, die Verstärkung und Verbreitung der Töne zu bewirken, wenn auch die akustische Eigenschaft des berüchtigten Ohres des Dionysius zu Syrakus zufällig entstanden ist. Theils Erfahrung, theils die Nothwendigkeit solcher Hilfsmittel, z. B. um die Stimme der Schauspieler in ihren ungeheuren und ganz unbedeckten Schauspielhäusern noch vernehmen zu können, mag sie darauf geführt haben. Vitruvius bezeugt die Thatsache, dass man sich großer Gefäße aus Erz bedient habe, die an verschiedenen Stellen der Gebäude angebracht waren, um die Töne durch Resonanz zu verstärken. Aus seinen ungenügenden Angaben lässt sich jedoch nicht die Möglichkeit einer so günstigen Wirkung jener Gefäße entnehmen.

Die ersten Untersuchungen über die Entstehungsweise der hohen und tiefen Töne liefert Ptolemäus (150 J. n. Ch. G.). Er findet die Ursachen der Verschiedenheit der Töne in der verschiedenen materiellen Beschaffenheit des tönenden Körpers,

in der Kraft, mit welcher der Körper bewegt wird, und in der größeren Gespanntheit desselben. Nach seiner Ansicht geben Körper, welche eine größere Dichtigkeit und ein kleineres Volumen besitzen, einen höheren Ton, Körper aber von geringerer Dichte und dickerer Gestalt einen tieferen Ton.

Sehr treffend ist folgende Stelle: „Wenn bei Saiten oder Pfeifen alles andere ungeändert bleibt, so geben die Saiten, die in der kleinsten Distanz von dem Stege befestigt werden, den höchsten Ton, und ebenso sind bei den Pfeifen diejenigen Töne die höchsten, welche durch die dem Mundloche nächsten Öffnungen gehen.

Trotzdem, dass die Behauptungen der Alten so manche Wahrheit enthalten, ergibt sich doch bei genauerer Prüfung ihrer Ansichten, dass sie allerdings die Ursache des Schalles in einer Bewegung gesucht, dass sie jedoch von der Art dieser Bewegung keinen klaren Begriff gehabt, und dass, obwohl sie die Fortsetzung des Schalles in der Luft mit Ausbreitung der Wasserwellen verglichen haben, sie kaum eine tiefere Einsicht in die Wellentheorie besaßen.

So beschränkte sich der ganze Schatz akustischer Lehren auf wenige Erklärungen, denen fast durch ein Jahrtausend nichts Wesentliches angereicht wurde. Es gab noch keine Wissenschaft der Akustik; dennoch aber war bereits im Alterthume das Princip in der Hauptsache gefunden; es hieß: „Der Schall entsteht durch Bewegung der Körper.“ Dieser rohe Diamant brauchte nur geschliffen und entsprechend gefasst zu werden, um ein strahlendes Licht über unverstandene Thatsachen zu werfen.

Erst Bacon und später Galilei legten die Grundpfeiler zu der jetzt mathematischen Wissenschaft, dem großen Newton aber war es vorbehalten, zuerst durch Rechnung zu zeigen, auf welche Weise die Fortpflanzung des Schalles von der Elasticität der Luft oder anderer Körper abhängt.

## V. Was die Alten vom Magnet wussten.

Aus nebelhaften Fernen der Vorzeit stammt die erste Kunde von einer Kraft, deren nähere Erkenntnis jedoch der Neuzeit vorbehalten blieb. Schon mehrere Jahrhunderte v. Chr. G.

erzählen Schriftsteller von einem Eisenerze, welches unzweifelhaft das von uns „Magneteisenstein“ genannte Mineral gewesen ist, dass es Eisen an sich ziehe. Die Alten nannten es auch Herkulesstein (herakleischer Stein), lydischer Stein, Sideritis (von dem griechischen Worte σιδηρος Eisen); Aristoteles nannte dieses Mineral kurzweg „Stein“.

Der Hirte Magnes, so berichtet die Sage, welche der griechische Arzt Nikander (160 J. v. Chr.) erzählt, wurde auf dem Berge Ida, wo er das Vieh hütete, mit den Nägeln seiner Sandalen und der Eisenspitze seines Stockes an dem Erdboden so fest gehalten, dass er Mühe hatte, sich loszureißen. Er grub nach und fand so den merkwürdigen Stein, der nun nach ihm Magnetes genannt wurde. Eine ähnliche Fabel berichtet von gewaltigen Magnetbergen, welche schon in beträchtlicher Entfernung den Schiffen die Nägel auszogen. Einige Schriftsteller leiten die Bezeichnung Magnet von einer Stadt Magnesia in Kleinasien ab, da man eine solche Eigenthümlichkeit zuerst bei einem in der Nähe dieser Stadt aufgefundenen Eisenerze beobachtet haben soll.

Platon und andere leiten die Bezeichnung „herakleischer Stein“ von der Stadt Herakleia am Berge Sipylus in Lydien ab. Plinius gibt für letztere Benennung dagegen die Erklärung, es solle dadurch die räthselhafte Kraft des Steines, welche selbst das Eisen bezwingt, angedeutet werden. Der Name Magnes, Magnetes behielt später über die anderen die Oberhand.

Im allgemeinen war den Alten nur bekannt, dass der Magnet Eisen anziehe, von der magnetischen Abstoßung scheinen sie in früherer Zeit nichts gewusst zu haben. Doch finden wir später bei Lucretius (geb. 95 v. Chr.), dass der Magnet das Eisen auch abstoßen könne. Er sagt nämlich: „Das geschieht auch, dass das Eisen nach seiner Natur sich von diesem Steine abwendet.“ Man scheint die Abstoßung als Eigenschaft eines Magnetes ganz specieller Beschaffenheit betrachtet zu haben. Lucretius erwähnt auch, dass der Magnet durch andere Körper auf Eisen wirke, z. B. auf Eisenspäne, die in einem Kupferkessel befindlich seien.

Ebenso weiß Lucretius, dass das Eisen für einige Zeit vom Magnete die Eigenschaft erhalten kann, selbst anderes Eisen anzuziehen. Er schreibt: „dem Steine zollen die Menschen Bewunderung, weil er uns eiserne Ringe zeigt, die, einer am andern, von ihm ab hängen als eine Kette.“

Schon Platon beschreibt in ähnlicher Weise das Anhängen eiserner Ringe an einen Magnet in einem Gespräche, bei welchem er Sokrates sagen lässt: „Dieser Stein zieht nicht bloß selber eiserne Ringe an, sondern er legt dieselbe Kraft auch in diese Ringe hinein, so dass sie eben dasselbe, wie der Stein selbst zu thun vermögen, nämlich andere Ringe anzuziehen, so dass bisweilen eine lange Reihe von Eisenstücken und Ringen aneinander hängt; diesen allen ist dann diese Kraft von jenem Steine angehängt.“

Plinius hebt hervor, dass das Eisen die einzige Substanz sei, welche von dem Magnete die Kraft annimmt, anderes Eisen festzuhalten und diese Kraft durch einige Zeit behält. „Das unerfahrene Volk,“ sagt er, „nennt solches Eisen lebendiges Eisen.“

Übrigens hat sogar einer der sieben Weltweisen Griechenlands Thales v. Milet (geb. 640 v. Ch.) dem Magnete eine Seele zugeschrieben.

Epikur und seine Schule glaubten das Wesen der Magnete dadurch zu erklären, dass man sich ihre Oberfläche mit einer großen Anzahl unsichtbarer Häkchen versehen dachte, an denen das Eisen hängen bleibe. Weshalb jedoch bloß das Eisen hängen bleibe, wussten sie nicht zu sagen.

Lucretius und später Plutarch (geb. 50 n. Ch.) stellten eine merkwürdige Erklärung von der Wirkung des Magnetes durch Ausströmungen aus dem Magnetsteine auf. Es wurde nämlich angenommen, dass von allen Körpern unausgesetzt Ströme von Atomen ausgehen, durch welche die Körper in Wechselwirkung treten. Die Ströme, welche von dem Magnete ausgehen, sind nun nach dieser Ansicht so stark, dass sie die nächste Luft verdrängen und einen luftleeren Raum um den Magnet bewirken, in welchen dann das Eisen „hineinstürzt.“ Weshalb wird aber nur das Eisen an den Magnet getrieben?

Weil die einen Körper zu schwer sind, um durch diese Ströme bewegt zu werden, die leichteren aber so große Poren haben, dass die Ströme ungehindert durch sie hindurchgehen.

Merkwürdiger Weise finden wir diese im ersten Jahrhunderte ausgesprochene Theorie, welche darthut, wie gerne die Alten Hypothesen auf Hypothesen bildeten, zum Theile noch bei Descartes (geb. 1596, gest. 1630), also noch nach 1 $\frac{1}{2}$  Jahrtausenden, da er nicht nur die magnetische, sondern überhaupt alle Anziehung durch Strömungen von materiellen Theilchen erklärt.

Dass jeder Magnet Polarität besitze und eine zwischen Nord- und Südpol liegende indifferente Zone, war im Alterthume völlig unbekannt.

Wenn wir noch erwähnen, dass Claudianus (lebte zu Ende des 4. Jahrhunderts unserer Zeitrechnung) wusste, dass ein Magnet in Berührung mit Eisen an Kraft gewinne, dagegen dieselbe allmählich einbüsse, wenn er von dem Eisen getrennt wird, so haben wir alles über Magnete Bemerkenswerte aus der Zeitperiode angedeutet, welche noch dem Alterthume angehört.

## VI. Die ersten Beobachtungen elektrischer Erscheinungen.

Nach allgemeiner Angabe hat Thales, der Gründer der jonischen Philosophie, die erste elektrische Erscheinung beobachtet, nämlich dass Bernstein durch Reiben die Eigenschaft erlange, leichte Körperchen, wie Stroh, Fäden und dgl. anzuziehen. Diese Thatsache setzte den griechischen Philosophen so sehr in Erstaunen, dass er den Bernstein für einen belebten Körper hielt. Theophrast von Eresus auf Lesbos, der berühmteste Mineralog des Alterthums, welcher 300 Jahre nach Thales lebte, beschreibt mit dem größten Erstaunen diese Erscheinung und erwähnt einer gleichen Eigenschaft von einem Edelsteine, welcher unter dem Namen Lynkurion aufgeführt wird, worunter nach der Ansicht einiger der Turmalin, nach anderen der Hyacinth (Zirkon) zu verstehen ist. Da der Turmalin durch Reiben nur schwach oder gar nicht elektrisch wird, da ferner dem Theophrast es kaum entgangen wäre, dass dieses Mineral durch Erwärmung jene anziehende Kraft er-

lange, wovon er nichts erwähnt, so bleibt diese Annahme immerhin unbegründet. Theophrast erzählt von jenem Lynkursion, dass es nicht nur Strohhalme und kleine Holzsplitter, sondern auch kleine Eisen- und Kupfertheilchen anziehe, wenn man es nur gehörig gerieben hat. Plinius, Strabo, Dioskorides, Plutarch und andere alte Schriftsteller erwähnen der nämlichen Erscheinung. Plinius erzählt auch von einem Steine, den er carbunculus nennt, dass er sowohl durch Reibung als durch Sonnenwärme die Eigenschaft erlange, leichte Körperchen anzuziehen.

Die Anziehungskraft des Bernsteines und jene des Magnetes sind häufig von einander nicht unterschieden worden, auch blieb den Alten die elektrische Abstoßung am Bernstein unbekannt. Übrigens kannten die Alten verschiedene elektrische Naturerscheinungen, von denen sie allerdings nicht ahnten, dass diesen dieselbe Kraft, welche im Bernstein schlummere, zu Grunde liegen könnte. Sie kannten vor Allem die wunderbaren Wirkungen des Blitzes. Aristoteles führt an, der Kupferüberzug eines Schildes sei durch den Blitz geschmolzen, die darunter liegende Holzplatte aber unverletzt geblieben. Seneca erzählt, dass durch einen Blitz Silbermünzen in unverletzten Fächern eines Kastens geschmolzen, ein Schwert in der Scheide zusammengeflossen sei. Nach Plinius ist Gold und Silber in Beuteln geschmolzen worden, ohne dass diese oder die daran befestigten Wachssiegel verletzt worden seien. Plutarch endlich erwähnt, der Blitz habe Kupfermünzen in dem Gürtel eines Schlafenden zu einer Masse geschmolzen, ohne die Kleider desselben zu versengen.

Aus dieser Kenntnis einiger Wirkungen des Blitzes bei den Alten glaubten mehrere Schriftsteller die Folgerung ziehen zu dürfen, die Griechen und Römer hätten auch eine empirische Kenntnis der Schutzkraft gehabt, welche metallene Leiter gegen Blitzschläge gewähren. Dagegen kommt in dem Werke des Ktesias, Leibarztes des persischen Königs Artaxerxes Mnemon, etwa 400 v. Chr. eine Stelle vor, worin gesagt wird, dass die Inder Eisenstangen in den Boden steckten, um Wolken, Hagel und Blitzstrahlen abzuleiten. In neuerer Zeit hat auch der

Franzose Paravay nachzuweisen gesucht, dass die Chinesen schon von altersher zugespitzte Bambusrohre in den Boden gesteckt hätten, um Gewitter abzuwehren, und er setzt diese Angabe in Verbindung mit den Spitzen, mit welchen das Dach des salomonischen Tempels besetzt gewesen sein soll, in denen er gleichfalls Blitzableiter zu erkennen glaubte. Mehrere Ägyptologen behaupten, dass die ägyptischen Priester die Blitzableiter gekannt hätten. An mehreren ägyptischen Tempeln wurden Inschriften aufgefunden, nach welchen die hohen, an den Thorpfeilern befindlichen, die Zinnen überragenden Stangen mit Kupfer beschlagen und an der oberen Spitze vergoldet gewesen seien, „um das aus der Höhe kommende Ungewitter zu brechen.“

Den Alten entgieng die erstaunliche Geschwindigkeit des Blitzes nicht und sie erkannten auch ganz richtig, warum man den Blitz früher wahrnehme als den Donner, obgleich beide zu gleicher Zeit entstehen. Plinius sagt, dies geschehe, weil sich das Licht eben weit schneller fortpflanze, als der Schall.

Dagegen finden wir bei Platon, Plutarch, Aristoteles die unrichtige Ansicht, dass jede Bewegung, also auch die des Blitzes, die einem ursprünglichen Impulse ihre Entstehung verdankt, zu ihrer Fortsetzung einer fortdauernden Ursache bedarf, daher die Annahme eines Zusammenschlages der Wolken hinter dem Blitzstrahle, um diesen vorwärts zu stoßen.

Bezüglich der Erklärung von der Entstehung des Blitzes und Donners begegnen wir wohl den sonderbarsten und verschiedensten Ansichten. Wir wollen nicht alle die Irrthümer verzeichnen, sondern nur hervorheben, dass die Alten in der Erscheinung des Blitzes das Herabgelangen irgend einer Materie sahen.

Das Wetterleuchten ist nach Seneca nur der Anlauf zum Schlage, eine Flamme, die zu wenig Kraft hat, um ein Blitz zu werden. Andere sehen im Wetterleuchten nur durch Reibung leuchtend gewordene Wolken. Die meisten Philosophen fassten Blitz und Wetterleuchten nicht als in ihrem Wesen, sondern nur dem Grade nach verschiedene Erscheinungen auf.

Das St. Elmsfeuer wurde allerdings schon in den ältesten Zeiten beobachtet, aber man hatte selbstverständlich von der Ursache desselben nicht die geringste Ahnung. Die Alten benannten diese Erscheinung, wenn zwei Flammen sichtbar wurden, nach den Dioskuren Castor und Pollux und betrachteten dies Zeichen als glückbringend, hingegen sahen sie in einer Flamme Helena, die unheilbringende Schwester der Dioskuren.

Schon Plinius erzählt, dass in einzelnen Fällen „Sterne“ auf Mastbäumen, Segelstangen, sogar auf den Spießen der Soldaten gesehen wurden, und er bemerkt, der Grund von allem diesem sei ungewiss und in der Hoheit der Natur verborgen. Seneca berichtet, ein Stern habe sich auf die Lanze des Gylippus gesetzt, als dieser nach Syrakus segelte.

Julius Cäsar erwähnt in seinem Buche vom afrikanischen Kriege, dass einmal während eines heftigen Ungewitters zur Nachtzeit die Lanzenspitzen der fünften Legion von selbst leuchteten. Ähnliche Erscheinungen erwähnt Livius.

Auch die Erscheinungen der thierischen Elektrizität sind bereits in den ältesten Zeiten wahrgenommen worden, ohne dass man natürlich über das Wesen derselben einen Aufschluss zu geben imstande war. Schon Aristoteles, Plinius und Aelian kannten die Erschütterungen des Zitter- oder Krampfrochens (Torpedo.) Die Sage berichtet, dass vor Jahrtausenden bereits Negerfrauen in Afrika ihre kranken Kinder in dem Wasser, worin sich ein Zitterrochen befand, badeten. Ähnliche Heilmethoden finden wir bei den Griechen und Römern. Zur Zeit des Kaisers Tiberius wurde eine solche von dem Arzte Skribonius Largus angewendet. Verschiedene Schriftsteller der Griechen und Römer erwähnen die Heilkraft dieses Fisches.

Nach Aristoteles, bei welchem dieser Fisch Narke heisst, soll er im Sande liegen, die über ihm herschwimmenden Fische betäuben und sich ihrer bemächtigen. Nach Cicero bedient er sich dieser Gabe auch zur Vertheidigung.

Auf dieses geringe Maß beschränkt sich die ganze Kenntnis elektrischer Erscheinungen, welche sich überhaupt im Alterthume vorfindet. Im Verlaufe vieler Jahrhunderte geschah gar

nichts bis zu Anfang des 17. Jahrhunderts die Kenntnis der elektrischen Erscheinungen eine wesentliche Erweiterung durch die zahlreichen Versuche des englischen Arztes Gilbert erfuhr. Dieser war es auch, welcher die Bezeichnungen „elektrisch“, „Elektricität“, abgeleitet von dem griechischen Worte Elektron (Bernstein) in die Wissenschaft eingeführt hat.

## VII. Die kosmische Physik im Alterthume.

Die ältesten astronomischen Kenntnisse finden wir bei den Chaldäern, Arabern, Ägyptern. Man hatte sehr frühzeitig bemerkt, dass die Sonne und der Mond täglich ihre Stellung zu den Sternen ändern, dass beide Weltkörper abgesehen von ihrer täglichen Bewegung am Himmel auch von Westen nach Osten zu wandern scheinen und daß einzelne Sterne ihren Ort am Himmel und zu einander ändern, während die große Zahl der Sterne nur die allgemeine Bewegung des Himmelsgewölbes mitmacht, gegen einander aber dieselbe Stellung behauptet. Man nannte jene Sterne Planeten, d. h. Irr- oder Wandelsterne (von dem griechischen Worte „πλαναομαι“ ich irre herum), letztere wurden Fixsterne genannt. Dagegen entwickelte sich die Kenntnis von der Gestalt der Erde sehr langsam.

Man hielt in der Kindheit des Culturlebens die Erde für eine kreisrunde Scheibe, welche zur Zeit Homers von einem breiten Strome, dem Okeanos, umflossen gedacht wurde. Das Himmelsgewölbe ruhte auf hohen Gebirgen und die kreisrunde Erdscheibe selbst wurde von einer festen Unterlage getragen. So lange die Völker nicht weit über die am Mittelmeere liegenden Länder hinaus kamen, dachten sie sich diese Scheibe im Osten durch Syrien und den Hellespont begrenzt, ließen sie im Westen zwei Tagreisen hinter Sicilien endigen, während sie die Grenzen nach Norden und Süden nicht genau anzugeben imstande waren. Als sich aber die Länderkenntnis erweiterte, als die Phönicier bis über die Säulen des Hercules und vom rothen Meere bis Ceylon gelangten, als ferner durch die Perserkriege die Griechen von Ländern östlich vom Euphrat und Tigris hörten, als endlich Alexander der Große bis nach Indien

vordrang, da musste man die Vorstellung von einer kreisförmigen Erdscheibe aufgeben und nahm nun eine länglich runde Scheibe an, deren längere Ausdehnung von Osten nach Westen sich erstreckte. Die Ansicht von einer festen Unterlage musste aufgegeben werden, sobald man darüber nachzudenken anfieng, dass Sonne, Mond und Sterne täglich im Westen verschwinden, um bald darauf im Osten wieder sichtbar zu werden. Sie mussten also wohl unter der Erde durchgegangen sein.

Das poetische Volk der Griechen wusste sich freilich zur Zeit seiner kindlichen Anschauungen leicht zu helfen: der Sonnengott, welcher seinen Wagen am Tage von Osten nach Westen lenkte, und sich abends in den Okeanos senkte „um die durstigen Rosse zu tränken“ und die glühend gewordene Achse des Sonnenwagens abzukühlen, kehrte in der Nacht durch die hyperboräischen, d. h. nördlichen Gegenden wieder nach dem Ausgangspunkte zurück. Wenn man auch gezwungen war, die feste Unterlage der Erdscheibe aufzugeben, so blieb es immerhin noch ein kühner Gedanke, die Erde frei im Weltenraume schwebend anzunehmen. Wer ihn zuerst ausgesprochen, wissen wir nicht. Noch dem Thales wird eine sehr kindliche Ansicht zugesprochen, nach welcher das Himmelsgewölbe eine zur Hälfte mit Wasser gefüllte Hohlkugel war, in welcher die Erde schwamm. Andererseits wird behauptet, Thales hätte bei den Ägyptern sich ganz gründliche astronomische Kenntnisse erworben und bereits die Idee von der Kugelgestalt der Erde aufgestellt. Da seine Schriften verloren gegangen sind, so wird das Richtige kaum je mit Gewissheit ermittelt werden. Wenn es wahr ist, dass er eine Sonnenfinsternis vorhergesagt hat, so konnten seine astronomischen Kenntnisse nicht gering gewesen sein.

Anaximenes (circa 550 v. Chr.) lässt die Erde auf Luft schwimmen. Zur Zeit dieser beiden Philosophen hielt man die Erde auch noch für scheibenförmig oder cilindrisch.

Von mancher Seite wird dem Pythagoras die Ehre beigelegt, zuerst die Kugelgestalt der Erde erkannt zu haben. Zu Platon's Zeit wurde diese Lehre schon bestimmt von mehreren

Philosophen vorgetragen, und zur Zeit des Aristoteles war sie bereits die herrschende. Letzterer führt zur Begründung derselben verschiedene Beobachtungen an, so, dass bei Reisen nach Norden oder Süden sich die Sterne über den Horizont heben oder senken, dass von entfernten Gegenständen in großen Ebenen und auf dem Meere nur die obersten Theile und bei Annäherung an dieselben erst auch die unteren Theile hervortreten und dass der Erdschatten bei Mondesfinsternissen immer kreisrund sei.

Schwieriger noch als das Problem von der Kugelgestalt der Erde war für die Alten die Antwort auf die Frage, wodurch denn die Erde im Weltenraume gehalten werde.

Da man die Erde für den wichtigsten Himmelskörper und daher für unbeweglich in der Mitte einer massiven Himmels-hohlkugel hielt, so konnte die Antwort nur dahin ausfallen, dass eigentlich kein Grund vorhanden sei, weshalb die Erde eher nach der einen als nach der anderen Richtung fallen sollte. Diese Erklärung erhielt sich bis Ptolemäus.

Eine weitere Frage entstand nun nach der Größe der Erde.

Schon Aristoteles gibt den Umfang der Erde mit 400.000 Stadien (circa 9970 geograph. Meilen) an, ohne mitzutheilen, auf welche Weise dieses Resultat, welches fast doppelt so groß erscheint, als es sein sollte, ermittelt wurde.

Die erste Gradmessung, von welcher uns die Art der Ausführung bekannt geworden ist, unternahm Eratosthenes (geb. zu Kyrene 276 v. Chr.), ein Zeitgenosse des Archimedes. Er beobachtete nämlich, dass die Bodenfläche eines Brunnenschachtes in Syene in Oberägypten zu Anfang des Sommers ganz erleuchtet war, dass also die Sonne für Syene um diese Zeit im Zenith stand, während sie in dem nördlich von Syene gelegenen Alexandrien, welches nach seiner Meinung genau mit Syene in einem Meridiane lag, zu derselben Zeit um  $\frac{1}{50}$  der Peripherie ( $7^{\circ} 12'$ ) vom Zenith entfernt war. Da nun die Entfernung beider Städte voneinander von Reisenden auf 5000 Stadien angegeben wurde, so bestimmte Eratosthenes darnach den Erdumfang auf 250.000 Stadien = circa 6200 geograph. Meilen. Diese Bestimmung ergibt einen Fehler von etwa 800 Meilen.

Ungefähr 200 Jahre nach Eratosthenes stellte Posidonius (geb. in Syrien 103 v. Chr.) eine ähnliche Messung an, nach welcher der Umfang der Erde 180.000 Stadien (circa 4464 geograph. Meilen) betragen würde.

Mit dem Principe, dass die Erde als der wichtigste Himmelskörper in der Mitte des Weltalls unbeweglich ruhe, verbanden die Alten die Ansicht, dass die Bewegungen der anderen Himmelskörper in Kreisen gleichförmig vor sich gehen müssen, weil der Kreis die vollkommenste aller krummen Linien sei.

Es ist merkwürdig, dass dagegen bereits die Pythagoräer die Bewegung der Erde lehrten, dass sich nämlich die Erde sowie der Mond, die Sonne, Mercur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn, die Sphäre der Fixsterne um ein in der Mitte des Weltalls befindliches Centralfeuer bewegten.

Einem aufmerksamen Beobachter konnte es nicht entgehen, dass bei den Planetenbewegungen Unregelmäßigkeiten stattfinden, dass sie bald schneller, bald langsamer fortrücken, bald stille stehen, und dass die oberen Planeten sogar gänzlich rückläufig werden.

Eudoxus (408 bis 355 v. Ch.), ein Schüler des Platon, unternahm es, diese Erscheinungen zu erklären. Er nahm an, dass sich die Planeten in Epicykeln bewegen. Nach ihm ruht nämlich die Erde, jeder Planet aber durchläuft einen Kreis, dessen durch gar keinen Körper bezeichneter Mittelpunkt einen Kreis um die Erde beschreibt. Das erste heliocentrische Welt-system, nämlich dass die Sonne stille stehe und die Erde sich um die Sonne in einem „schiefen Kreise“ bewege, stellte Aristarch von Samos auf, welcher um 280 v. Chr. in Alexandrien lehrte. Sein System fand unter den Astronomen wenig Anklang. Dennoch bildet er mit Hipparch und Ptolemäus das leuchtende Dreigestirn der alten Astronomie.

Hipparch aus Nicaea lehrte von 160 bis 125 v. Ch. in Alexandrien. Er erklärte die ungleichförmige Bewegung der Planeten dadurch, dass er die Erde etwas aus dem Mittelpunkte der Planetenbahnen herausrückte und also diese Bahnen als excentrische Kreise annahm. Ebenso berichtigte er die Theorie der Bewegung des Mondes. Er fand, dass die Entfernung

des Mondes von der Erde zu verschiedenen Zeiten verschieden sei, und dass er sich in der Erdnähe rascher, in der Erdferne langsamer bewege.

Nach Hipparch ist Posidonius aus Rhodus, Lehrer Cicero's, zu erwähnen. Er erklärt die Mondphasen und die Finsternisse in richtiger Weise.

Ptolemäus endlich hat die bereits von Eudoxus aufgestellte Ansicht, dass sich die Planeten in Epicykeln bewegen, zu einem System ausgearbeitet, welches sich über tausend Jahre in Ansehen erhielt. Es ist staunenswert, dass man so lange einer Hypothese huldigen konnte, deren Nichtigkeit so leicht einzusehen war, wenn man erwogen hätte, dass ein bloß gedachter Mittelpunkt die Planeten nicht in ihren Bahnen erhalten könne. Nach dem Ptolemäischen Systeme drehten sich um die ruhende Erde der Reihe nach: Mond, Mercur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn. Doch schweben diese Weltkörper nicht frei im Weltenraume, sondern bewegen sich mittelst Sphären welche er sich gleichsam als krystallene Kugelschalen vorstellt. Außer diesen Planetensphären nahm er eine an, in welcher alle Fixsterne sich bewegen sollten. Eine äußerste Sphäre sollte die Sphären aller Planeten und selbst die der Fixsterne genau in derselben Zeit täglich um die ruhende Erde von Ost nach West führen, während in den Sphären jeder der genannten Himmelskörper vermöge seiner ihm eigenthümlichen jährlichen Bewegung gegen Osten gieng.

Die Nähe jedoch, in welcher Mercur und Venus sich immer bei der Sonne befanden, rief schon bei einigen alten ägyptischen Astronomen die richtige Meinung hervor, dass die Bewegung dieser beiden Planeten wohl näheren Bezug auf die Sonne als auf die Erde haben müsse, und so entstand das ägyptische System, nach welchem der Mond, die Sonne, Mars, Jupiter und Saturn sich um die im Mittelpunkte ihrer Bahnen liegende Erde, Mercur und Venus aber gleich Trabanten um die Sonne und mit dieser zugleich um die Erde drehen sollten.

Was die Kometen betrifft, so sah man in den ältesten Zeiten dieselben gar nicht für eigentliche Himmelskörper an, sondern hielt sie für bloße Lufterscheinungen. Noch Aristoteles

erklärte sie für Ausdünstungen der Erde, welche in der Atmosphäre aufsteigen, sich daselbst einige Zeit herumtreiben und dann wieder verschwinden. Erst nachdem man sich über die Gestalt und Größe der Erde richtigere Vorstellungen gebildet hatte, hörte man auf, die Kometen für bloße Lufterscheinungen zu halten.

Nur sehr wenige griechische Philosophen, Pythagoras, Demokritos, Appolonius, Myndius und der Römer Seneca erklärten sie für Weltkörper, welche in ungeheuren excentrischen Bahnen sich um die Sonne bewegten. Pythagoras hatte jedoch die sonderbare Meinung, dass es nur einen einzigen Kometen gebe, der so oft sichtbar würde, als er in die Nähe der Erde käme. Dagegen spricht Seneca für seine Zeiten ganz unerwartete Ideen aus. (Quaes. nat. lib. VII. 13.) Der große Römer wirft einen Blick in die Zukunft des Wissens: „Wundern wir uns nicht, dass wir die Gesetze des Laufes der Kometen, deren Erscheinung so selten ist, noch nicht erforscht haben. Wir erblicken weder den Anfang noch das Ende dieser Bahnen, in denen sie aus unermesslichen Fernen zu uns herniedersteigen. Kaum sind es 1500 Jahre, dass Griechenland die Gestirne gezählt und ihnen Namen gegeben hat. Einst wird der Tag anbrechen, wo man nach Jahrhunderten des Forschens klar erkennen wird, was uns jetzt verborgen bleibt.“

Die ältesten Daten über den Lauf und die Gestalt der Kometen verdanken wir den Chinesen und Arabern.

Dass sich die Erde um eine Achse drehe, behaupteten bereits Heraklides von Pantus, ein Schüler des Platon, und der Pythagoräer Ekphantus. Diese erklärten auch durch die Achsendrehung der Erde die Umdrehung des Fixsternhimmels. Doch blieb dieser Satz ganz unbeachtet oder er fand eifrige Gegner.

Von der Ursache der Jahreszeiten hatten die Alten eine irrige Vorstellung, indem sie dieselben einer periodischen Veränderung in dem Abstände der Sonne von der Erde zuschrieben.

Die ältesten Nachrichten über die Beobachtungen der Ebbe und Flut stammen von Pytheas aus Massilien, welcher

zur Zeit Alexanders des Großen lebte. Derselbe machte auch bereits auf den Zusammenhang dieses Phänomens mit dem Gange des Mondes aufmerksam. Man liest ferner in der Geschichte des Feldzuges Alexanders des Großen in Indien, dass seine Krieger sich verwunderten, als das Meer sich an den Küsten so weit zurückzog, dass die Schiffe aufs Trockene gesetzt wurden.

Nach Strabo (geb. 19 J. n. Ch.) sollen schon die Phöniciër die periodischen Meeres-Oscillationen gekannt haben. Doch kann man ihnen nicht eine genaue Einsicht in die Ursache dieser Erscheinung zuschreiben, da die Alten überhaupt von der Gravitation der Himmelskörper noch keine Kenntniss hatten, wenn auch Spuren dieser Idee bei Pythagoras, Aristarch und Anaxagoras zu finden sind.

Ogleich die Römer in der Astronomie keine Fortschritte herbeigeführt haben, so verdankt man doch dem Scharfsinne Julius Cäsars die Kalenderreform. Wie das Jahr in den ältesten Zeiten gerechnet wurde, darüber gibt uns weder die Bibel noch ein Werk eines Griechen genaueren Aufschluss. Nach Hesiod wurde der Fortgang des Jahres durch den Aufgang der Plejaden, den Untergang Arkturs, den Zug der Kraniche, die Erscheinung der Schwalben und dgl. bezeichnet, allein die Dauer der Jahre war durch nichts bestimmt festgesetzt, und erst später durch die Wiederkehr der Jahreszeiten aufmerksam gemacht, stellte man ein Jahr von 12 Mondmonaten fest.

Diese Eintheilung ist schon sehr alt; man findet sie bei den Hebräern, Ägyptern, Babyloniern, Persern, Griechen u. s. w. Das Jahr begann in den frühesten Zeiten mit der Sommersonnenwende, bis Solon die Wintersonnenwende als Anfang des Jahres bestimmte.

Die alten Römer rechneten das Jahr zu 353 Tagen, setzten aber seit der Zeit der Decemviren alle zwei Jahre einen Schaltmonat von abwechselnd 22 und 23 Tagen zu, doch sollten zeitweise Tage ausgelassen werden.

Auf diese Weise kamen die größten Unordnungen in die Zeitrechnung, bis Julius Cäsar mit Hilfe des Astronomen Sosigenes im Jahre 45 v. Ch. das Sonnenjahr von 12 Mo-

naten oder  $365\frac{1}{4}$  Tagen einführte, so dass jedes vierte Jahr einen Schalttag, also 366 Tage erhielt. Der Schalttag lag zwischen dem 23. und 24. Februar. Diese julianische Zeitrechnung theilt das Jahr in 11 Monate von abwechselnd 30 und 31 Tagen und einen Monat von 28 Tagen, der in einem Schaltjahre 29 Tage zählt.

Auf diese Weise wurde das Jahr um 11 Minuten zu lang angenommen. Dieser Fehler betrug schon nach 128 Jahren einen Tag. Zur Zeit der Nicäaschen Kirchenversammlung im Jahre 325 n. Ch. G. betrug dieser Fehler schon drei Tage und man war gezwungen, um eine Ausgleichung zu bewirken, diese drei Tage auszulassen. Allein im Jahre 1582 betrug der Fehler schon 10 Tage. Da verordnete der damalige P a p s t G r e g o r XIII., man solle diese 10 Tage auslassen und nach dem vierten October dieses Jahres nicht den fünften, sondern den fünfzehnten schreiben, und um ähnlichen Verwirrungen für die Folge vorzubeugen, sollten in 400 Jahren 3 sonst gewöhnliche Schalttage ausfallen. (Gregorianische Zeitrechnung.)

Nach dem Untergange des weströmischen Reiches und der Eroberung Alexandriens durch die Araber gieng auch die Pflege der Astronomie an die Araber über, bei welchen unter den die Wissenschaften fördernden Khalifen der abbasidischen Dynastie und der Omajaden in Spanien das Studium der Mathematik und Astronomie begünstigt wurde. Wir verdanken den Arabern die Erhaltung mancher astronomischer Schriften der Griechen, da sie doch wenigstens in arabischen Übersetzungen auf uns gekommen sind. Eine nicht unbedeutende Anzahl arabischer Wörter, wie Zenith, Nadir, Azimut, Alhidade, ferner Sternennamen, wie Aldebaran, Algol u. s. w. bezeugen noch bis auf den heutigen Tag die Thätigkeit der Araber in dieser Wissenschaft.

### VIII. Der Anfang der Chemie.

Die Chemie ist hinsichtlich ihres Ursprunges sehr dunkel. Man weiß nicht einmal mit Gewissheit, woher der Name stammt und wann er aufgekommen ist. Manche leiten ihn ab von dem griechischen Worte  $\chi\acute{\epsilon}\omega$  oder  $\chi\acute{\epsilon}\upsilon\omega$  ich schmelze.

Am wahrscheinlichsten ist die Ansicht Alexanders von Humboldt, dass das Wort Chemie von dem Namen Chemia stamme, womit nach Plutarch die Ägypter ihr Land seines dunklen Bodens wegen belegten, da in diesem Lande jene geheimnisvolle Wissenschaft zuerst mit Eifer betrieben wurde. Auf diese Weise würden sich dann auch die lange im deutschen üblichen Benennungen Schwarzkunst, Schwarzkünstler ungezwungen erklären lassen.

Die Ägypter kannten sehr frühe die Gewinnung und Bearbeitung der Metalle, die Bearbeitung und Anwendung von Farben, die Darstellung des Glases und dgl. Sie verwendeten ferner chemische Präparate als Medicamente wie z. B. Bleiweiß zu Salben, doch haben sie so wie die anderen alten Culturvölker die Erklärung der chemischen Erscheinungen fast ausschließlich durch Speculation zu erreichen gesucht. Von einem ernstern Streben, die gemachten Erfahrungen durch Versuche zu erweitern und sie in einen systematischen Zusammenhang zu bringen, finden wir lange keine Spur. Die Alten begnügten sich, die Naturkörper für die Zwecke des praktischen Lebens nutzbar zu machen.

Als vorbereitend für die spätere Entwicklung der Chemie muss die Atomenlehre des Demokritos und die Lehre des Aristoteles von den Elementen betrachtet werden. Erstere wurde schon von Leukipp um 500 v. Ch. aufgestellt und später von Demokrit ausführlich entwickelt.

Demokritos war im Jahre 460 v. Ch. in Abdera an der thracischen Küste geboren. Nach seiner Ansicht besteht die Welt aus dem leeren Raume und unendlich vielen, untheilbaren, unsichtbaren kleinen Urkörperchen, den Atomen, die nicht qualitativ, sondern nur durch Gestalt und Größe verschieden sind, während Anaxagoras (500 bis 428 v. Ch.) die Atome als qualitativ verschieden betrachtete. Dieselben sind unvergängliche und unveränderliche Urstoffe. Alle Veränderung ist nur eine Trennung und Verbindung der Atome. Die Materie besteht aus Atomen, die durch leere Zwischenräume getrennt sind und die Verschiedenheit der Körper wird nur durch die verschiedenartige Zusammensetzung der Atome begründet.

Aristoteles wendet sich direct gegen die Atome und den leeren Raum. Er sagt: der Raum ist stetig mit Materie erfüllt, es gibt also weder einen leeren Raum noch in demselben untheilbar kleinste Theilchen der Materie oder Atome. An dem einen Grundstoffe lassen sich nur vier Grundeigenschaften sinnlich wahrnehmen. Diese können nicht von anderen abgeleitet werden. Sie sind: heiß und kalt, trocken und feucht. Da die Gegensätze nicht vereinigt werden können, so entstehen durch Verbindung dieser Elementarqualitäten zu zwei nur vier Elementarstoffe, die vier Elemente, welche die ihrer Art nach nicht weiter theilbaren Grundbestandtheile der Körper darstellen. Es sind:

Feuer: trocken, warm,

Luft: warm, feucht,

Wasser: feucht, kalt,

Luft: kalt, trocken.

Das fünfte Element, welches Aristoteles annahm, der Aether, war kein irdisches, es war das vollkommenste und erfüllte den Weltenraum von den Fixsternen bis herab zum Monde, doch bestand nur die Sphäre der Fixsterne aus reinem Aether, die Planeten waren schon mit irdischen Bestandtheilen vermengt.

Die oben genannten vier Elemente sind einfache materielle Körper und besitzen die Fähigkeit, durch Wechsel der Eigenschaften in einander überzugehen. Diese vier Stoffe sind in allen Körpern enthalten und können aus allen ausgeschieden werden.

Es ist nicht zu verwundern, dass, so lange eine solche Vorstellung vorherrschend war, der Gedanke an Metallverwandlung, Metallveredlung entstehen konnte, und in erster Linie die Erzeugung von Gold als eine Hauptaufgabe chemischer Operationen betrachtet wurde.

Von dem 3. Jahrhunderte n. Chr. an sprechen Männer von unzweifelhaft wissenschaftlicher Bildung aus vollster Überzeugung von der Möglichkeit der Metallveredlung. Wenn man sah, dass in Kupfervitriol gelegtes Eisen sich in Kupfer verwandelte, wenn man aus Bleiglanz Silber gewinnen konnte, wenn

man Kupfer durch eine zinkhaltige Substanz gelb zu färben und somit in ein Metall von goldartiger Farbe zu verwandeln im Stande war, wenn das Kupfer durch Arsen ein silberähnliches Aussehen erhielt, so musste durch solche Vorgänge jene Ansicht immer mehr Boden gewinnen.

Das Wort Chemie in der Bedeutung der Metallverwandlung findet sich zuerst bei griechischen Schriftstellern des 3. und 4. Jahrhunderts. Später kam der arabische Artikel al dazu und es entstand das Wort Alchemie.

Die Alten kannten nur sieben Metalle im regulinischen Zustande: Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Quecksilber. Die ersten vier waren am längsten bekannt. Dann lernten die Alten noch drei, nach manchen Angaben fünf Metalle kennen, aber nur im vererzten Zustande: Zink, Antimon, Arsenik, Kobalt, Mangan.

In einer Schrift des Theophrast, eines Schülers des Platon und Aristoteles, wird bereits Arsenik erwähnt und eine Darstellung des Quecksilbers aus Zinnober angegeben, nämlich durch Reiben des letzteren mit Essig in einem kupfernen Gefäße.

Dioskorides, ein griechischer Arzt, welcher im ersten Jahrhundert v. Chr. lebte, Verfasser einer Arzneimittellehre, bespricht in derselben verschiedene chemische Processe und Substanzen. Derselbe erwähnt ebenfalls eine Darstellung des Quecksilbers aus Zinnober durch eine Art Destillation des letzteren, indem Zinnober mit Kohle in einem irdenen Gefäße erhitzt, und die Quecksilberdämpfe aufgefangen wurden. Dioskorides kennt auch die Gewinnung des Kupfers aus Kupferkies.

Plinius der Ältere berichtet in seiner „Historia naturalis“ über die Gewinnung der Metalle aus Eisen- und Kupfererzen, über Vergoldung und Verzinnung, hält aber das Zinn für ein weißes Blei *plumbum candidum*. Auch sagt er, dass es außer der gewöhnlichen Luft noch andere Luftarten gibt, theils erstickende, theils brennbare, welche an manchen Orten aus der Erde strömen.

Aus dem 4. Jahrhunderte stammt die erste Handschrift über Chemie, eine Papyrushandschrift aus Theben in Oberägypten, welche meistens die Chemie der Metalle betrifft.

Als die Völkerwanderung über Europa hereinbrach, giengen auch großentheils die nicht sehr umfassenden und noch wenig gründlichen Kenntnisse der Chemie verloren. Erst in der ersten Hälfte des 8. Jahrhunderts tritt bei den Arabern ein Chemiker im eigentlichen Sinne des Wortes auf, nämlich Giafar, gewöhnlich Geber genannt, welcher Lehrer an der Hochschule zu Sevilla war.

### IX. Allgemeines Bild der Physik im Mittelalter.

Die ersten Jahrhunderte des Mittelalters waren wenig dazu geeignet, Licht über unverstandene Thatsachen zu werfen, erst in der zweiten Hälfte dieser Zeitperiode zeigen sich vereinzelte Keime einer besseren Richtung, einzelne Beispiele eigener Forschung. Es war eine unfruchtbare Zeit für naturwissenschaftliche Bestrebungen, eine Periode des Stillstandes, welche das classische Alterthum von der neueren Zeit trennte. Der bloß commentatorische Geist und der Mysticismus des Mittelalters trat echt wissenschaftlicher Forschung hemmend entgegen und gab der gebildeten Welt eine falsche Richtung. Entweder suchte man nur alte Sätze den Meinungen der eigenen Zeit anzupassen, oder man führte Naturerscheinungen auf ganz heterogene Ursachen zurück und ließ einer erregten Phantasie ohne Bedenken frei die Zügel schießen. Die wissenschaftlichen Kenntnisse überhaupt hatten sich bei dem Einbruche der nordischen Nationen aus den Abendländern verloren und fristeten in Italien ein kümmerliches Dasein, bis sie auch hier unter der longobardischen Herrschaft fast gänzlich erloschen; nur im byzantinischen Reiche erhielten sie noch Pflege und gelangten durch die Verjagung vieler Gelehrten, durch die Berufung griechischer Ärzte und durch andere Umstände zu den Arabern. Diese übersetzten und studierten fleißig den Aristoteles. Auch der am Hofe des Ostgothen-Königs Theodorich des Großen lebende Boëthius (470 bis 524) hatte viel zur Verbreitung der Schriften des großen Philosophen beigetragen.

Überhaupt gelangte Aristoteles im Mittelalter zu großem Ansehen und wir finden in jener Zeit blinden Autoritätsglauben vereint mit Aberglauben. Charakteristisch für den Geist jener

Zeit ist der allgemeine Beifall, welchen die Astrologie genoss, und das Aufkommen der eigentlichen Alchemie.

Die Menge des Volkes suchte in der Wissenschaft nach Wundern, nach außerordentlicher Hilfe in der Noth, und solche Strömungen wussten schlaue Köpfe zu benützen. Magie, Astrologie blühten besonders bei den Arabern und die Alchemie scheint ihnen sogar ihre besondere Ausbildung zu verdanken. Der Glaube, dass die Gestirne Einfluss auf das Leben des Menschen hätten und besonders, dass aus ihrer Stellung bei der Geburt desselben sich seine Schicksale wahrsagen ließen, war bald allgemein verbreitet. Andererseits war die Verwandlung unedler Metalle in edle, namentlich die Goldmacherkunst das Ziel, nach welchem die meisten rangen. Das Mittel, diese Verwandlung zu bewirken, nannten sie den „Stein der Weisen“. Außerdem strebten sie nach einem noch größeren Hirngespinnste, nämlich nach einem Universalmittel, welches alle Krankheiten heilen, das Leben verlängern und dem Körper Schönheit und Kraft geben sollte. Diese alchemistischen Träumereien hatten vielleicht zum Theile das Gute zur Folge, dass durch zahlreiche Experimente manche Einblicke in die Kräfte der Natur gewonnen wurden, obwohl man ein planloses Durchprobieren aller möglichen chemischen Combinationen kaum ein Experimentieren nennen kann.

So sehr wir anerkennen müssen, dass die Araber die physikalischen Kenntnisse der Griechen in jener dunklen Zeit vor dem Untergange retteten, und in jenen Völkerstürmen das wissenschaftliche Leben so lange unterhielten, bis die christliche Welt wieder die Pflege der Wissenschaften von ihnen übernahm, so können wir doch andererseits nicht zugestehen, dass sie principiell der Methode oder dem Stoffe nach, ihren Nachfolgern wesentlich mehr hinterließen, als sie von den Alten übernommen hatten.

Mit dem 12. Jahrhunderte beginnt die christliche Periode der mittelalterlichen Physik. Dem 13. Jahrhundert verdanken wir bereits das Bekanntwerden mehrerer bedeutender naturwissenschaftlicher Entdeckungen, und es tritt uns hier als die glänzendste Erscheinung des 13. Jahrhunderts Roger Bacon,

als der erste wirkliche Naturforscher des Mittelalters, als der Begründer einer Experimentalphysik entgegen. Allerdings hat er manches von den Arabern gelernt, aber er schüttelte das Joch des Aristoteles ab und schärfte die Wichtigkeit der Beobachtungen und Experimente ein. Seine Schriften enthalten besonders auf dem Gebiete der Optik mehrere überraschende Gedanken. Überhaupt gehört das 13. Jahrhundert der Optik.

Es schien endlich eine Zeit des Aufschwunges gekommen zu sein, Universitäten wurden gegründet zu Paris, Oxford, Cambridge, Neapel, Salerno, Bologna, Padua, Pavia, Salamanca, Prag (1348), Wien (1365), Heidelberg (1386) und an anderen Orten. Es erschienen mehrere bedeutende Arbeiten auf naturwissenschaftlichem Gebiete, die Methode der Beobachtung wurde empfohlen.

Der Hohenstaufe Kaiser Friedrich II. förderte nicht bloß die bildenden Künste und schönen Wissenschaften, sondern auch das Studium der Natur. Er ließ die Werke des Ptolemäus ins Lateinische übersetzen. Der König von Kastilien, Alfons X., förderte die Astronomie. Er rief gelehrte Araber ins Land nach Toledo und ließ von diesen die nach ihm benannten astronomischen Tafeln entwerfen.

Dessenungeachtet erfüllten die nächsten Jahrhunderte nicht die Erwartungen, welche das dreizehnte erregt hatte. Das 14. Jahrhundert macht in wissenschaftlicher Beziehung einen geradezu jämmerlichen Eindruck. Die Scholastiker erklären unter der Autorität der Kirche die Welt. Die erste Hälfte des 15. Jahrhunderts gleicht noch dem 14. Jahrhunderte, erst in der zweiten Hälfte beginnt wieder das Leben in jenen Wissenschaften, die nicht Scholastik oder Theologie sind. Deutschland wird von dieser Zeit an bis zum Anfange des 17. Jahrhunderts von der Astronomie beherrscht.

Das Ptolemäische System, nach welchem die Erde in der Mitte des Weltalls unbeweglich ruhen und die Himmelskörper in Kreisen sich um dieselbe bewegen sollen, hatte beinahe vierzehn Jahrhunderte geherrscht, ohne dass man es gewagt hatte, an demselben zu rütteln, da wurde es von einem deutschen

Astronomen Nicolaus Kopernicus umgestoßen und damit der Forschung auf dem Gebiete der Astronomie eine Bahn gebrochen, welche unaufhaltsam bis auf unsere Zeiten die größten Siege des Geistes zur Folge hatte. Er war es, der die seit den ältesten Zeiten allgemein angenommene und gleichsam geheiligte Lehre von der Ruhe der Erde im Mittelpunkte des Weltalls für immer zerstörte. Vergebens war die Bemühung des ausgezeichneten praktischen Astronomen Tycho Brahe, diese Ruhe der Erde zu retten, indem er ein neues System, das tychonische aufstellte, welches ein Rückschritt zum ptolemäischen war.

Durch den Ruhm und das Ansehen, welches Tycho Brahe sich durch die Menge und Sorgfalt seiner astronomischen Beobachtungen erworben hatte, wurde sein System schnell bekannt und fand im allgemeinen vielen Beifall; nur der eigene Assistent des Tycho, Kepler, konnte sich nicht zur Annahme desselben entschließen. Keplers große und vielseitige Leistungen in der Wissenschaft fallen zum Theile in die Zeit am Ende des 16., vorzüglich aber in den Beginn des 17. Jahrhunderts.

Akustik und Wärmelehre haben in dieser Periode fast gar keine Fortschritte gemacht. Namentlich finden wir bezüglich der Wärmeerscheinungen noch keine Spur wissenschaftlicher Forschung. Meistens galt noch die Hypothese von Aristoteles, welche Feuer und Wärme für ein eigenes Element annimmt, welches das unkörperlichste von allen sei und aus außerordentlich kleinen und beweglichen Theilen bestehe.

Die Mechanik machte im Mittelalter keine Fortschritte; ebensowenig wurden in diesem Zeitraume Entdeckungen auf dem Gebiete des Magnetismus und der Elektrizität gemacht. Nur finden wir im 13. Jahrhunderte die erste Nachricht über die Kenntnis der Magnetnadel bei den Arabern. (1242.)

## X. Fortschritte der Optik im 13. Jahrhunderte. Erfindung der Brillen.

Der bedeutendste nächste Optiker nach Ptolemäus ist erst der Araber Al Hazen (um 1100 n. Ch.). Sein Hauptwerk, das einzige, welches sich von den Arabern erhalten hat, ist die vollständigste

Darstellung der Optik zwischen Ptolemäus und Roger Bacon, welcher im 13. Jahrhunderte lebte. In diesem Werke werden die Bedingungen des Sehens von ihm schon ausführlich besprochen; er gibt bereits eine erträgliche Beschreibung des Auges, betrachtet die krystallene Feuchtigkeit, die er jedoch nicht als Linse kannte, als Hauptwerkzeug zum Sehen und sagt, dass die Empfindungen von äußeren Gegenständen durch die Sehnerven zum Gehirne fortgepflanzt würden; er erklärt ferner auf richtige Weise, warum wir mit zwei Augen doch nur einfach sehen, untersucht umständlich verschiedene optische Täuschungen und behandelt ausführlich die astronomische Strahlenbrechung in einer eigenen Schrift, er leitet sie davon her, dass die Materie des Himmels subtiler sei, als unsere Luft; auch schlägt er Mittel vor, die Größe der Refraction zu finden, gelangt aber nicht zur Bestimmung dieser Größe selbst. Bei ihm finden wir auch eine deutliche Meldung von der Vergrößerung durch Gläser, denn er berichtet, dass ein Gegenstand nahe an die Grundfläche des größeren Abschnittes einer Glaskugel gehalten, vergrößert erscheint.

Der nächstfolgende uns bekannte optische Schriftsteller ist Vitellio, ein geborener Pole aus Krakau, der aber seine Studien in Italien gemacht hatte. In seinem Werke, welches 1270 erschien, hält er sich größtentheils an Al Hazen, trägt jedoch vieles weit besser und genauer vor, als dieser.

Vitellio war auch ein fleißiger Experimentator; er machte viele Versuche über die brechende Kraft der Luft, des Wassers und des Glases und stellte die Brechungswinkel, die sich bei verschiedenen Einfallswinkel ergaben, in einer Tabelle zusammen, er beobachtete die Schwächung des Lichtes durch wiederholte Reflexion und Refraction, er legte dar, dass zur Entstehung des Regenbogens sowohl eine Brechung als eine Zurückwerfung erforderlich sei, dass für einen in der Ebene sich befindenden Beobachter kein Regenbogen mehr sichtbar sein könne, wenn die Sonne etwas über  $42^\circ$  hoch steht; er führte auch den Versuch an, dass man durch ein mit Wasser gefülltes, in die Sonne gestelltes Glas die Regenbogenfarben erzeugen könne, und suchte auch den Brennpunkt von Glaskugeln zu bestimmen, was ihm jedoch nicht gelang.

Zu gleicher Zeit mit Vitellio lebte Roger Bacon, ein Mann, der seinem Zeitalter weit voraus war, und Ahnungen künftiger Erkenntnisse in sich trug. Roger Bacon (nicht zu verwechseln mit Lord Bacon von Verulam, der 300 Jahre später lebte) wurde 1214 in Sommerset geboren, studierte in Oxford, gieng zu seiner weiteren Ausbildung nach Paris und trat nach seiner Rückkehr 1240 in den Franziskaner-Orden zu Oxford. Hier in der Einsamkeit seiner Zelle überließ er sich seinen Studien und Forschungen, kam jedoch durch seine Kenntnisse und Entdeckungen in den Verdacht der Zauberei und verbrachte deshalb viele Jahre seines Lebens im Kerker. Bald nach seiner endlichen Befreiung starb er zu Oxford. Seine Schriften enthalten mehrere überraschende Gedanken. Dass ein Kugelstück aus Glas mit der flachen Seite auf eine Schrift gelegt, die Buchstaben vergrößere, wusste er offenbar aus Al Hazen's Schriften, aber er spricht in seinem Opus majus auch den Gedanken aus, dass man, wenn kleine und nahe Gegenstände auf obige Weise vergrößert erscheinen, auch durch ähnliche Mittel entfernte Gegenstände in die Nähe rücken und vergrößern könne, so dass Sonne und Mond scheinbar zur Erde herabgezogen würden; besonders dürften Hohlspiegel zu diesem Zwecke dienlich sein. Einige Schriftsteller sehen darin bereits die Erfindung der katoptrischen Fernrohre, jedenfalls ist die Stelle sehr merkwürdig. An einem Orte sagt Bacon, Julius Cäsar habe von der Küste Galliens die britischen Häfen und Städte durch aufgerichtete Spiegel (specula) betrachtet. Endlich führt noch Wood eine Stelle aus Bacon an im Buche: „De perspectivis“, welches sich als Manuscript zu Oxford befindet, wo es ausdrücklich heißt, Cäsar habe die britischen Küsten durch ein Rohr (tubi ope) betrachtet.

Auch der berühmte Benedictiner, Mabillon, erwähnt eines in der Abtei Scheyern im Bisthume Freysingen befindlichen Manuscriptes aus dem 13. Jahrhunderte, worin ein Bild des Ptolemäus vorkommt, der die Gestirne durch einige ineinander geschobene Röhren betrachtet. Nach Mabillon's Abbildung sieht es wirklich fast aus wie ein Fernrohr. Vielleicht waren diese Röhren ohne Gläser, um das Licht von den

Seiten her abzuhalten. Diess zeigt denn doch, dass man in jener Zeit, in welcher Bacon lebte, schon Ideen von Röhren gehabt haben müsse, durch welche sich entlegene Gegenstände schärfer betrachten lassen. Doch kann man anderseits eigentliche Fernrohre in jener Zeit nicht vermuthen, da wir sonst über eine so wichtige Sache etwas Bestimmtes in jenen und in späteren Schriften finden müssten.

Wann und von wem die Brillen erfunden worden sind, lässt sich nicht mit Sicherheit feststellen. Übrigens ist soviel gewiss, dass sie bereits im 13. Jahrhunderte bekannt gewesen sind.

Die Bemerkungen des arabischen Physikers Al Hazen über die Vergrößerung durch Linsen, dann die Experimente des genialen Naturforschers Roger Bacon über die Veränderungen der Gesichtswinkel, welche, durch concav oder convex gekrümmerte sphärische Gläser bewirkt werden, mussten bald den Gedanken nahe legen, durch solche Gläser Fehler in der Refraction der Augen zu beheben. Bacon hat bereits schwachsichtigen Personen angerathen, convexe Gläser auf die Objecte zu legen, die sie genau betrachten wollen.

Wer aber zuerst Gläser vor den Augen befestigte, wer zuerst nicht nur Brillen mit convexen Gläsern für Weitsichtige, sondern auch Brillen mit concaven Gläsern für Kurzsichtige construiert hat, wissen wir nicht genau anzugeben. Der Minnesänger Missner der Alte gedenkt der Brillen in seinen Gedichten ausdrücklich schon 1270 und sagt, dass alte Leute sich deren zum Lesen bedient hätten.

Von einer Seite wird der Florentiner Salviano degli Armati († 1317), von einer anderen Seite der Dominicaner im Kloster St. Katharina zu Pisa, Alexander de Spina († 1313) als Erfinder der Brillen bezeichnet. Die Erfindung selbst soll in das Jahr 1285 fallen.

Es scheint, dass die Brillen zuerst mittelst einer Fassung in der Hand gehalten worden sind, später sollen sie an der Kopfbedeckung befestigt worden sein. Gegen die Mitte des 15. Jahrhunderts klemmte man die Brillen mittelst einer elastischen Fassung an die Nase.

Den Namen „Brille“ leiten viele von Beryll her, indem sie vermuthen, dass die Brillen anfangs aus grünlichem, beryllähnlichem Glase angefertigt worden waren.

Dem 13. Jahrhundert verdanken wir auch die belegten Glasspiegel. Die ersten Spiegelbelege bestanden aus Blei. Die Erfindung, Glastafeln mit Zinnamalgam zu belegen, fällt in das 14. Jahrhundert. Der Erfinder derselben ist unbekannt.

## XI. Erfindung des Compasses.

Wohl nur ein bloßer Zufall führte zur Entdeckung, dass ein frei aufgehängter Magnet, sei es nun ein künstlicher oder ein natürlicher, immer eine bestimmte Richtung annimmt, die sich an demselben Orte in einer mäßigen Zeit wenig ändert. Den Alten war diese Thatsache gänzlich unbekannt. Von wem und wann diese Entdeckung gemacht worden ist, wissen wir nicht. Jedenfalls lag nach derselben die Anwendung eines Magnetes als Compass sehr nahe.

Es ist auch durch verschiedene Untersuchungen sicher gestellt, dass die Magnetnadel seit uralter Zeit und früher als in jedem anderen uns bekannten Lande, in China als Wegweiser bei Land- und Seereisen und bei dem Bergbaue verwendet wurde. In chinesischen Schriften wird erzählt, dass mehrere chinesische Kaiser bei ihren Landreisen sich eines Wagens bedienten, auf welchem sich eine menschliche Figur befand, die stets mit dem einen Arme nach Süden zeigte.

Wie und wann die Völker in Europa den Compass kennen und anwenden lernten, lässt sich nicht mit Sicherheit angeben. Die älteste Nachricht über den Gebrauch der Magnetnadel als Compass soll in einem Geschichtswerke des normännischen Schriftstellers *Are Flode* über die Entdeckung Islands enthalten sein. Da dieser am Ende des 11. Jahrhunderts lebte, so musste wenigstens schon in diesem Jahrhunderte der Gebrauch der Boussole den Normannen bekannt gewesen sein.

*Flode* erzählt nämlich, dass *Floke Vilgardarson*, ein berühmter Viking oder Seeräuber, etwa im Jahre 868 von Rogaland in Norwegen auszog, um Gardasholm, das ist Island, aufzusuchen,

welches vordem schon zweimal erreicht worden war. Er nahm drei Raben mit sich, welche als Wegweiser dienen sollten und zu diesem Zwecke eingeweiht wurden, weil damals die Seefahrer noch keinen Leidarstein (Leitstein, d. i. wegweisenden Stein) in den nördlichen Ländern hatten.

Die erste Nachricht über die Anwendung des Compasses bei den Arabern stammt aus dem Jahre 1242, indem der arabische Gelehrte Bäilak in seinem Werke „Schatz der Kaufleute für die Kenntnis der Steine“ berichtet, dass syrische Seefahrer in dunklen Nächten, in denen sie keine Sterne sehen konnten, sich eines Magnetes bedienten, um die Weltgegenden bestimmen zu können. Sie stellten nämlich im Innern des Schiffes an einem gegen den Wind geschützten Orte ein mit Wasser gefülltes Gefäß auf, legten ein Kreuz aus Holzstäbchen auf die Oberfläche des Wassers und auf jenes einen Magnetstein, der ihnen mit seinen Spitzen die Nord-Süd-Richtung bezeichnete. Derselbe Gelehrte schreibt ferner:

„Man sagt, dass die Capitäne, welche das indische Meer befahren, die Nadel mit dem Holzkreuz durch eine Art Fisch aus dünnem Eisen ersetzen, welcher hohl und derart verfertigt ist, dass er, in Wasser geworfen, auf diesem schwimmt und durch seinen Kopf und Schweif die beiden Punkte, Süd und Nord anzeigt.“

Die Wasserboussole war jedenfalls die älteste Form eines Compasses. Sie war auch in China im Gebrauche und scheint sich dort lange erhalten zu haben. Auch Boussole von besserer Einrichtung waren schon seit längerer Zeit im Gebrauche. In einer im 12. Jahrhunderte verfassten chinesischen Naturgeschichte wird gesagt, dass man ein Magnetstäbchen mittelst Wachs an einem Faden frei beweglich aufhängen solle. Vasco de Gama traf im Jahre 1498 an der Ostküste Afrikas indische Seefahrer, welche Seekarten und Boussole hatten, letztere bestanden aus einem Streifen magnetischen Eisenbleches, welcher mittelst eines Hütchens auf einer Spitze schwebte.

Die Bezeichnung der Weltgegenden durch 32 Windstriche wird den Holländern zugeschrieben und in das 16. Jahrhundert verlegt.

Dass Marco Paolo aus Venedig die Magnetnadel bereits 1260 auf dem Meere benützt habe, wird von mehreren Seiten angenommen, von anderer Seite wird Flavio Gioja aus Almasi, dem die Neapolitaner auf der Börse von Neapel eine ehrene Bildsäule errichtet haben, als Erfinder des Compasses im Anfange des 14. Jahrhunderts (1302) bezeichnet. Derselbe hat jedoch wenig Anspruch auf diese Ehre, denn vor ihm war der Compass jedenfalls bereits den Europäern bekannt. Vielleicht hat Flavio Gioja dem Compass eine zweckmäßige Einrichtung gegeben, vielleicht hat er demselben einen ausgedehnteren Gebrauch zur See, besonders in der neapolitanischen Schifffahrt verschafft. So viel ist gewiss, dass die Chinesen den Gebrauch der Boussole schon lange vor Christi Geburt gekannt haben, dass die Araber dieselbe bei den Chinesen kennen lernten und den Europäern im 13. Jahrhunderte übermittelten.

Dass eine horizontal bewegliche Magnetnadel nicht genau nach Norden zeige, sondern eine Declination besitze, und dass diese Abweichung vom Nordpunkte nicht an allen Orten der Erde die gleiche sei, hat wahrscheinlich zuerst Christoph Columbus 1492 wahrgenommen. Allerdings hatten Seefahrer in den europäischen Gewässern, besonders im mittelländischen Meere eine östliche Abweichung der Magnetnadel vom Nordpunkte bemerkt, aber es wurde anfangs ziemlich allgemein geglaubt, diese Abweichung sei etwas zufälliges und rühre von einer fehlerhaften Construction der Magnetnadeln her. Man bemühte sich daher auf verschiedene Weise Magnetnadeln herzustellen, die genau nach Norden zeigen sollten. Columbus erwähnt von dieser östlichen Declination nichts, obwohl sie im 15. Jahrhunderte nicht gering gewesen sein musste, da sie gegen Ende des sechzehnten Jahrhunderts noch  $9^{\circ}$  betrug und seitdem abnahm.

Im 16. Jahrhunderte war nämlich die Declination in Europa eine östliche. Sie begann dann abzunehmen, wurde im nordwestlichen Europa im Jahre 1660 Null und gieng endlich in eine westliche über, die im Jahre 1819 bis zu einem Maximum von  $24^{\circ} 41'$  zunahm, dann jedoch wieder abzunehmen begann und beständig noch im Abnehmen begriffen ist.

Als Columbus bei seiner ersten Entdeckungsreise nach Amerika zu seinem Erstaunen bemerkte, dass das Nordende der Nadel, als er 200 Seemeilen westlich von Ferro eine astronomische Aufnahme machte, eine westliche Abweichung von  $5^{\circ}$  zeige, dass diese Abweichung mit dem Vorrücken nach Westen größer wurde, durfte diese Erscheinung nicht mehr als eine zufällige aufgefasst werden. Immerhin erforderte es noch eine Reihe von Jahren, bis die Declination allgemein bekannt und beachtet wurde.

Den ersten Schritt zu einer richtigen Erklärung der magnetischen Declination that Robert Normann, ein tüchtiger englischer Seemann, welcher gegen Ende des 16. Jahrhunderts ein Werk über diesen Gegenstand veröffentlichte. Columbus und andere waren der Ansicht, die Magnetnadel erhalte ihre Richtung durch die Anziehung, welche von einem Punkte des Himmels auf sie ausgeübt werde. Zuerst versetzte man diesen Punkt in das Sternbild des großen Bären. Normann aber verlegte diesen Punkt in die Erde selbst, erklärte aber die Erde selbst noch nicht für einen Magnet. Kurz vor ihm tauchte auch die Ansicht auf, dass am Nordpol ganze Berge von Eisenmassen sich befinden müssten, durch deren Einwirkung die Richtung der Nadel hervorgebracht würde.

Man war lange Zeit der Ansicht, dass die magnetische Declination nur an verschiedenen Orten verschieden, an demselben Orte aber constant sei. Der erste, welcher darauf aufmerksam machte, dass die Declination selbst an demselben Orte sich nach einiger Zeit ändere, war der Professor der Astronomie zu London Gellibrand, welcher 1635 darüber eine Schrift veröffentlichte. Er gelangte zu diesem Resultate durch Vergleichung eigener Beobachtungen mit denen seiner Vorgänger Normann, Gauter u. a. Nach der Entdeckung der säcularen Variationen folgte erst später die Entdeckung der eigentlich periodischen, der täglichen und jährlichen.

Ein weiterer Schritt auf dem Gebiete des tellurischen Magnetismus wurde durch die Entdeckung der magnetischen Inclination gemacht. Georg Hartmann, Vicar an der Sebalduskirche zu Nürnberg, entdeckte dieselbe um die Mitte

des 16. Jahrhunderts. In seinem an den Herzog Albrecht von Preußen gerichteten Schreiben, datiert vom 4. März 1544, schreibt er: „Zu dem anderen finde ich auch dies an dem Magneten, dass er sich nicht allein wendet von der Mitternacht, sondern er zeigt auch unter sich.“

Während seine Zeitgenossen die Neigung der Nadel einer ungenauen Aufhängung zuschrieben und etwa durch Aufkleben von Wachs auf die andere Hälfte der Nadel dies zu beseitigen suchten, erkannte Hartmann ganz richtig, dass nicht die Schwerkraft, sondern eine magnetische Kraft der Nadel die Neigung ertheile. Es erforderte gewiss eine große Aufmerksamkeit, um diese Neigung zu entdecken, da dieselbe bei Declinationsnadeln, die damals im Gebrauche waren, sehr gering ist.

Das Verdienst, zuerst eine geeignete Vorrichtung zum Messen des Inclinationswinkels, ein sogenanntes Inclinorium hergestellt zu haben, hat Normann. Die Nadel wurde nämlich um eine horizontale, möglichst genau durch ihren Schwerpunkt geführte Achse beweglich gemacht und dann mit ihrer Ebene in den magnetischen Meridian gestellt. Mit diesem Apparate bestimmte Normann in London die Inclination für das Jahr 1576 zu  $71^{\circ} 50'$ .

Die Entdeckung der Inclination war es, die Normann vorzüglich bestimmte, den anziehenden Punkt in die Erde zu verlegen, wenn er auch diese selbst noch nicht für einen Magnet erklärte. Bis zum Ende des 16. Jahrhunderts wusste man von der Inclination nicht viel mehr, als dass sie eben vorhanden sei. Aber bald erfuhr die Kenntnis der magnetischen Erscheinungen und die Auffassung der Declination und Inclination eine wesentliche Erweiterung durch Gilbert, den Entdecker des Erdmagnetismus.

## XII. Erweiterung der Kenntnisse des Magnetismus und der Elektrizität durch Gilbert.

Mehr als zwei Jahrtausende waren seit der ersten Entdeckung des Magnetismus und der Elektrizität verflossen, ohne dass auf diesen Gebieten, abgesehen von der Erfindung des

Compasses, ein bedeutender Schritt vorwärts gemacht worden wäre. Erst am Schlusse des 16. Jahrhunderts erfährt die Kenntniss der magnetischen und elektrischen Erscheinungen eine wesentliche Erweiterung.

Der Mann, welcher nach dem Ausspruche Poggendorfs in der Geschichte des Magnetismus eine ähnliche Rolle spielt, wie Galilei in dem mechanischen Theile der Physik, war William Gilbert (geb. zu Glocester 1540, gest. zu London 1603), Leibarzt der Königin Elisabeth. Er war es, der die Theorie des Erdmagnetismus aufstellte und somit das Fundament für weitere Entwicklungen gab. „Vor allem,“ sagte er, „müssen wir jene Volksmeinungen der neueren Schriftsteller von uns weisen, die von Magnetbergen, von einem großen magnetischen Felsen oder einem imaginären Anziehungspunkte sprechen.“ Er erklärte die ganze Erde für einen Magnet und zeigte, um diese Annahme zu beweisen, dass eine magnetisierte Eisenkugel auf eine Magnetnadel ganz so wirke, wie die Erde. Er sprach ferner, ohne dass noch außer von London Inclinationsbeobachtungen vorlagen, gleichsam die Ahnung aus, dass die Inclination an verschiedenen Orten der Erde verschieden sein müsse, und von dem Äquator gegen die Pole zu wachse, was wenige Jahre nach seinem Tode durch die Untersuchungen von Hudson, dem Entdecker der Hudsonsbay bestätigt wurde. Von dieser Überzeugung erfüllt, schlug er vor, die geographische Breite zur See nach der Inclination der Magnetnadel zu bestimmen, was ihm richtig erscheinen musste, da er der irrigen Ansicht war, dass die magnetischen Pole der Erde mit den geographischen, der magnetische Äquator mit dem geographischen zusammenfallen. Um ungeachtet dieser Annahme die Declination erklären zu können, behauptete er, dass nur der feste Erdkörper, nicht aber auch das Wasser magnetisch wäre. Nach dieser Theorie musste auf dem freien Ocean gleich weit entfernt von den Küsten die Declination gleich Null sein, was Gilbert auch annahm, indem Europa und Amerika einander das Gleichgewicht hielten, näher an Europa wäre sie östlich, näher an Amerika westlich. Es war zu Gilberts Zeit nicht leicht, diese Ansicht zu bestätigen oder auch zu widerlegen. Erst als nach-

her entdeckt wurde, dass die Magnetnadel an der Küste Brasiliens sich vom Lande abwende, als man ferner gefunden hat, dass die Declination auch an einem und demselben Orte veränderlich sei, konnte die Theorie Gilberts von dem Zusammenfallen der geographischen mit den magnetischen Polen nicht mehr aufrecht erhalten werden. Wir müssen hier bemerken, dass Gilbert die Declination mit dem Worte „Variation“ bezeichnet und dass er Declination nennt, was wir Inclination nennen.

Gilbert hatte auch bereits entdeckt, dass durch den Einfluss der Erde in Stahl und Eisen Magnetismus hervorgerufen werden könne, wenn man einen solchen Stab längere Zeit im magnetischen Meridian und zwar in der Richtung der Inclinationsnadel hält, und dass das nach abwärts gehaltene Ende zu einem Nordpol wird, welchen Gilbert jedoch Südpol nannte, weil er wusste, dass die Pole zweier Magnete nur dann einander anziehen, welche sonst nach entgegengesetzten Weltgegenden zeigen. Seine Bezeichnung war demnach eine ganz richtige. Dagegen konnte er sich nicht erklären, weshalb eine auf der Oberfläche des Wassers schwimmende Magnetnadel durch den Erdmagnetismus bloß gerichtet und nicht gegen Norden gezogen werde. Er wusste sich nicht anders zu helfen, als dass er eine Richtkraft und eine Anziehungskraft der Erde annahm und sich die erstere als überwiegend vorstellte.

Weiter besaß Gilbert über Magnete noch eine große Anzahl sehr bemerkenswerter Kenntnisse, welche er in seinem Werke „De magnete“ im Jahre 1600 veröffentlichte, wenn er auch nicht alle magnetischen Erscheinungen, welche er anführt, selbst entdeckt hat. Er wusste, dass ein Magnet an allen Punkten seiner Oberfläche, jedoch an den Polen am stärksten anziehe, dass er durch alle Körper hindurchwirke, dass es zweckmäßig sei, um die Schwächung eines Magnetes zu verhindern, ihn in Eisenfeile zu legen oder ihm ein Eisenstäbchen anzulegen, dass ein Magnet, wenn man ihn in mehrere Theile zersägt, lauter kleine Magnete von gleicher Richtung liefert, dass ein Magnetpol beim Streichen über Stahl und Eisen immer

den entgegengesetzten Pol erzeugt, dass ein starker Magnet die Pole eines schwächeren umzukehren imstande ist, dass Nadeln, welche man magnetisieren will, nur von dem besten Stahle genommen werden sollen; dennoch kennt er nicht genau den Unterschied des weichen und des harten Eisens in seinem Verhalten zu dem Magnete und hat noch keine klare Vorstellung von der magnetischen Induction.

Man sah in damaliger Zeit die magnetische Wirkung als den Typus aller anziehenden Thätigkeit an, und so betrachtet auch Gilbert die Elektrizität als eine Art Magnetismus. Dennoch gieng er um einige Schritte weiter und unterschied magnetische und elektrische Kräfte. Weiter bemerkt er, dass die elektrische Kraft alle leichten Körper anzieht, während die magnetische nur auf das Eisen wirkt, dass bei der elektrischen Anziehung sich nur der eine Körper bewege, bei der magnetischen jeder der beiden, dass das Reiben nothwendig sei, um einen Körper elektrisch zu machen, dass Metalle durch Reiben nicht elektrisch gemacht werden können, endlich hebt er als eine Verschiedenheit des Magnetismus und der Elektrizität hervor, dass bei jenem Abstößungen vorkommen, bei dieser nicht, was offenbar beweist, dass er nur die elektrische Anziehung kannte.

Er gelangte durch zahlreiche Versuche zur Überzeugung, dass außer Bernstein und Gagat noch viele andere Körper, insbesondere der Diamant, Saphir, Rubin, Opal, Amethyst, Beryll, Bergkrystall, verschiedene Spathe, Glas, Schwefel, Mastix, Siegellack die Fähigkeit erlangen, leichte Körper anzuziehen. Dabei machte er die Beobachtung, dass die elektrischen Erscheinungen bei trockener Luft, bei nördlichen und östlichen Winden stärker hervortreten, als bei feuchter Luft und bei südlichen Winden.

Es schienen ihm ferner einige Körper mehr, andere weniger elektrisch zu sein. Um dieses zu zeigen, legte er eine den Compassnadeln ähnliche Nadel auf einen spitz zulaufenden Zapfen und machte sie auf diese Weise beweglicher, als es ein auf eine ebene Fläche gelegter leichter Körper ist. Auf diese Art zeigte er die Anziehung, welche ein elektrischer Körper auf eine Nadel ausübte.

Gilberts glückliche Versuche erregten die Aufmerksamkeit der Naturforscher. Die Mitglieder der berühmten florentinischen Academia del Cimento widmeten sich zuerst solchen Untersuchungen.

Ehe wir diesen verdienstvollen Forscher verlassen, wollen wir noch erwähnen, dass sich in einem, längere Zeit nach seinem Tode erschienenen Werke (Amsterdam 1651) eine merkwürdige Ansicht ausgesprochen findet. Er nimmt nämlich an, dass zwischen den Theilen eines Planeten die Schwerkraft, zwischen den Gestirnen aber eine weiter reichende magnetische Kraft thätig sei.

### XIII. Das Wiederaufleben der Mechanik am Ende des Mittelalters.

Erst im 15. Jahrhunderte hat Leonardo da Vinci (geb. 1452 zu Vinci bei Florenz) die lange vernachlässigte Mechanik zu fördern gesucht. Leonardo war von einer erstaunlichen Vielseitigkeit; er war ein bedeutender Maler, Bildhauer, Baumeister und Musiker, dabei trieb er Mathematik, Mechanik, Astronomie, Physik, Botanik mit gleichem Eifer und mit gleichem Verständnisse. Leider wurden seine wissenschaftlichen Arbeiten wenig bekannt und blieben daher ohne Einfluss. Er empfiehlt für die Mechanik die Anwendung der Mathematik, nachdem man durch Beobachtung die nöthigen Daten gewonnen hat, und nennt die Mechanik das eigentliche Paradies der mathematischen Wissenschaften. Hätte Leonardo nicht allzusehr seine Kraft zersplittert, hätten dessen Zeitgenossen seine neuen Ideen in sich aufzunehmen und zu verarbeiten vermocht, so könnte er als der Begründer der neueren Mechanik betrachtet werden.

Bezüglich des freien Falles der Körper sprach er bereits richtigere Ansichten aus, als man sie zu seiner Zeit hatte. Er sagt, dass die Fallgeschwindigkeiten in arithmetischer Progression wachsen, dass ein Körper durch einen Bogen schneller falle, als auf der zugehörigen Sehne, dass ein Körper auf einer schiefen Ebene in dem Verhältnisse langsamer herabgleite, in welchem die Länge der schiefen Ebene größer ist, als ihre Höhe. Leo-

nardo hat auch die Reibung und ihre Wirkung beobachtet, ein Dynamometer und mehrere zusammengesetzte Maschinen erfunden, die Capillarität entdeckt u. s. w.

Noch im 16. Jahrhunderte waren die Fortschritte der mechanischen Theorie nicht bedeutend, doch verdienen Tartaglia, Cardanus, Ubaldi, Stevin und Benedetti hervorgehoben zu werden.

Nicola Tartaglia (geb. 1501 zu Brescia) stammte aus sehr armer Familie und wuchs ohne jeden Jugendunterricht auf, so dass er erst im 14. Jahre lesen und schreiben lernte. Doch brach sich sein großes Talent Bahn und er nahm bald in der Mathematik und Mechanik, obwohl Autodidakt, eine hervorragende Stelle ein. In seinem 30. Jahre fand er selbständig die Auflösung der Gleichungen dritten Grades. In der Mechanik beschäftigte er sich besonders mit der Behandlung dynamischer Aufgaben, während bisher die Dynamik sich ganz in den Händen der Aristoteliker befand.

Ein Gegenstand seines Nachdenkens war speciell die Lehre vom Wurfe. Nach der Lehre des Aristoteles verfolgt eine geworfene Kugel drei verschiedene Stadien; im ersten geht sie in gerader Linie in Folge der Wurfkraft (gewaltsame Bewegung), im zweiten bewegt sie sich kreisförmig (gemischte Bewegung) und geht endlich, wenn die gewaltsame Bewegung ganz erloschen ist, in die senkrechte (natürliche) Bewegung über. Eine noch sonderbarere Behauptung wurde 1561 aufgestellt, nach welcher die geworfene Kugel so lange in gerader Linie sich fortbewegt, bis die gewaltsame Bewegung erloschen ist, worauf sie in die senkrecht nach unten gerichtete übergeht.

Tartaglia hat das Verdienst, darauf hingewiesen zu haben, dass sich schon vom Anfange an die gewaltsame Bewegung mit der sogenannten natürlichen zusammensetze und dass die Bahn eines geworfenen Körpers überall krummlinig sei, dennoch gesteht er den Aristotelikern so viel zu, dass diese Bahn am Anfange und am Ende sehr wenig von der geraden Linie abweiche.

Ferner gelangt er, jedoch durch unrichtige Schlüsse zu dem richtigen Resultate, dass die horizontale Wurfweite am größten sei, wenn ein Projectil unter einem Elevationswinkel von  $45^{\circ}$  geworfen werde.

Hieronymus Cardanus, eigentlich Geronimo Cardano (geb. zu Pavia 1501, gest. zu Rom 1576), gleichfalls ein vielseitiger Gelehrter, hat mit den Ansichten des Alterthums völlig gebrochen. Er hat in den exacten Wissenschaften manches Bedeutende geleistet. Am bekanntesten wurde er durch sein mathematisches Werk, in welchem er die Auflösungen der Gleichungen dritten Grades bekannt macht (Cardanische Regel), doch rührt die erste Auflösung dieser Gleichungen nicht von ihm, sondern von Tartaglia her, der ihm wenigstens andeutungsweise den Weg zur Lösung mitgetheilt hatte. Seine besten physikalischen Leistungen betreffen die Mechanik. Da er jedoch nicht das Experiment zu Rathe zieht, so gelangt er zuweilen zu argen Fehlschlüssen; so behauptet er, die Kraft, welche einen Körper auf der schiefen Ebene im Gleichgewicht erhalten solle, müsse der Neigung der schiefen Ebene proportional sein, demnach müsste z. B. für eine Neigung von  $40^\circ$  die Kraft doppelt so groß sein als für eine Neigung von  $20^\circ$ . Die bekannte Vorrichtung einer doppelten Aufhängung, wie sie noch jetzt bei Schiffskompassen und Lampen benützt wird, rührt von Cardanus her.

Derselbe Mann, welcher in verschiedenen Wissenszweigen eine große Gelehrsamkeit besaß, war andererseits voll Schwärmerie, Überspanntheit und Aberglauben, glaubte an Träume und Zauberei und beschäftigte sich auch mit Magie.

Guido Ubaldi (geb. 1545) stammte aus einer berühmten Adelsfamilie Italiens. In früher Jugend begann er bereits das Studium der Mathematik, schrieb später selbst eine Mechanik und übersetzte den Archimedes, welcher damals bezüglich der Mechanik maßgebend war. Ubaldi führte in seinem eigenen Werke die Rolle, das Wellrad, den Keil und die Schraube auf den Hebel zurück und erklärt dessen Wirkung nach dem Verhältnisse der virtuellen Geschwindigkeiten. Gewiss spricht auch sehr für die Begabung dieses Mannes, dass selbst der große Galilei erklärt hat, er sei durch Ubaldi zu tieferen Untersuchungen über die Schwerpunkte angeregt worden.

Simon Stevin (geb. 1548 zu Brügge), ein hervorragender Mathematiker, beschäftigte sich besonders mit der Statik, und erwarb sich namentlich in der Hydrostatik unleugbar große Ver-

dienste. In seinem Werke über Principien des Gleichgewichtes behandelt er die Zusammensetzung der Kräfte und spricht bereits aus, dass drei Kräfte einander das Gleichgewicht halten, wenn sie in Größe und Richtung sich wie die Seiten eines Dreieckes verhalten. Man braucht sich nur das Dreieck zu einem Parallelogramm zu ergänzen, so hat man das Parallelogramm der Kräfte vor sich; dennoch sollte man Stevin nicht als den Entdecker dieses Satzes ansehen, denn er hat für denselben noch keinen Beweis geliefert und nur den Fall des Gleichgewichtes, nicht aber auch die Gleichheit der durch die Kräfte hervorgebrachten Bewegungen berücksichtigt. Er erwähnt nicht, dass die eine dieser drei im Gleichgewichte stehenden Kräfte, wenn sie allein vorhanden wäre, eine Bewegung erzeugen würde, die gleich groß und gerade entgegengesetzt jener wäre, welche die beiden anderen Kräfte erzeugen würden.

Bezüglich der schiefen Ebene gelangt er zu dem Gesetze: Um eine Last auf der schiefen Ebene zu halten, ist eine Kraft nöthig, die sich zur Last verhält wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge.

Seit Archimedes hat kein Forscher auf dem Gebiete der Hydrostatik so Bedeutendes geleistet, wie Stevin. Er war es, der das hydrostatische Paradoxon gefunden hat (1585). Er wies nämlich durch eine theoretische Betrachtung, sowie durch Versuche nach, dass der Druck des Wassers auf den Boden eines Gefäßes unabhängig sei von der Gestalt des Gefäßes und bloß von der Höhe des Wassers im Gefäße abhängt. Er verwendete zu diesem Behufe ein Gefäß mit senkrechter und eines mit nach oben convergierender Wandung und füllte sie beide bis zu gleicher Höhe mit Wasser. Hierauf brachte er eine an einem Wagebalken aufgehängte Metallscheibe auf den Boden der Gefäße. Es zeigte sich nun, dass zur Hebung der Scheibe in beiden Fällen dasselbe Gegengewicht nothwendig war, gleichviel ob das Gefäß überall gleich weit war, oder ob es sich nach oben verengte und der Wasserspiegel eine kleinere Fläche hatte, als die Scheibe.

Eine einfache Reflexion führte ihn auch zur Erklärung dieses Satzes. Denkt man sich in einem parallelepipedischen

mit Wasser gefüllten Gefäße einen Theil des Wassers erstarrt, so wird das Gleichgewicht fortbestehen und an den Druckverhältnissen wird nichts geändert. Auch der Druck auf den Boden ist derselbe geblieben. Es ändert gar nichts an der Sache, wenn man die Begrenzungsfläche des erstarrten Wassers durch eine feste Wand ersetzt.

Stevin zeigte auch den Auftrieb oder den Druck einer Flüssigkeit nach oben durch das jetzt allgemein gebräuchliche Experiment, wobei man eine Röhre, gegen deren untere Öffnung eine leichte Metallplatte gepresst wird, so tief in die Flüssigkeit senkt, bis diese durch den Druck nach oben das Abfallen der Platte hindert.

Er benützte auch die Thatsache, dass in ungleich weiten Communications-Röhren die Flüssigkeit gleich hoch steht, als Beweis für seinen Satz vom Bodendruck. Ferner sah er ein, dass man mit einer kleinen Wassermasse einen großen Druck erzielen könne und hatte somit eine Ahnung von der erst zweihundert Jahre später erfundenen hydraulischen Presse.

Stevin bestimmte endlich ganz richtig den Druck einer Flüssigkeit auf die ebene verticale Seitenwand eines parallel-epipedischen Gefäßes.

Die Lehre des Archimedes von den schwimmenden Körpern erweiterte er durch zwei wichtige Sätze, nämlich dass der Schwerpunkt eines schwimmenden Körpers, damit Gleichgewicht bestehe, mit dem eingebildeten Schwerpunkte des verdrängten Flüssigkeitsvolumens in derselben Verticalen liegen müsse, ferner dass zu einem stabilen Schwimmen nöthig sei, dass der Schwerpunkt des Körpers unterhalb des Schwerpunktes dieses Flüssigkeitsvolumens liege und dass der Körper um so stabiler schwimme, je tiefer sich der Schwerpunkt des Körpers unter jenem der verdrängten Flüssigkeitsmasse befinde.

J. Baptista Benedetti (geb. zu Venedig 1530), ein Schüler Tartaglias, wird auf dem Gebiete der Mechanik, besonders der Dynamik, für den bedeutendsten Vorgänger Galileis gehalten. Er war ein ausgesprochener Gegner des Aristoteles. Unter anderem trat er ihm in der Lehre von dem Wurfe entgegen, indem er im Gegensatze zu Aristoteles be-

hauptete, dass ein geworfener Körper durch die Luft gehindert und nicht angetrieben werde. Er sagt ferner, dass ein Körper, sobald er die werfende Hand verlassen, in Folge des Bewegungstrebens, das er von der ersten bewegenden Kraft erhalten habe, seine Bewegung fortsetze. Bei den freifallenden Körpern wachse dieses Bewegungstreiben, weil die Ursache desselben ebenfalls immerfort wachse.

Von der Centrifugalkraft hat er schon eine klare Vorstellung. Er erklärt bereits, dass Körper, welche im Kreise herumgeschwungen werden, in der Richtung der Tangente des beschriebenen Kreises fortgehen müssen, von dem Augenblicke an, in welchem sie sich selbst überlassen werden. Er gibt auch eine deutliche Erklärung von dem, was wir jetzt Kraftmoment nennen. Er zeigt, dass bei krummen oder winkelförmigen Hebeln im Zustande des Gleichgewichtes die Kräfte umgekehrt proportional seien den Senkrechten, welche man von dem Drehpunkte des Hebels auf die Richtung der Kräfte fällt. Dadurch war auch eine Aufgabe gelöst, welche fast zwei Jahrhunderte lang bestritten wurde, nämlich der Fall, wenn die Kräfte in nicht paralleler Richtung auf einen geraden Hebel wirken.

Ungeachtet der verdienstvollen Leistungen der angeführten Männer fängt die glänzende Epoche der Mechanik doch erst von den Zeiten Galileis mit seiner Entdeckung der Gesetze fallender Körper an. Mit ihm beginnt dann die Periode des eigentlichen Fortschrittes.

#### XIV. Der arabische Chemiker Geber.

Ganz besonders war es die Chemie, welcher sich die Araber mit wahrer Leidenschaft zuwendeten. Dies geschah aber nicht so sehr zu wissenschaftlichen Zwecken, als vielmehr um die Goldmacherkunst zu entdecken und ein Universalheilmittel aufzufinden. Der erste bedeutende Chemiker der Araber im eigentlichen Sinne des Wortes war Geber (arabisch Giafar), welcher um das Jahr 800 n. Ch. gelebt hatte, doch war auch er nicht frei von alchemistischen Träumereien.

Es gibt, sagt Geber, Mittel der Erzeugung und Verwandlung der Metalle, und zwar bestehen sie aus dreierlei Medicinen, (unter welchem Worte er Substanzen versteht), welche Veränderungen in den Metallen bewirken. Die der ersten Ordnung sind die rohen Materialien, wie sie die Natur liefert (Erze), sie bewirken vorübergehende Veränderungen. Die der zweiten Ordnung sind die durch chemische Processe gereinigten der ersten Ordnung, sie bewirken dauernde Veränderungen. Durch weitere Veredlung und Fixierung entsteht die Medicin der dritten Ordnung; dies ist das große Magisterium, die rothe Tinctur, das große Elixier, der Stein der Weisen. Dieser verwandelt unedle Metalle in Gold. Ein anderes Mittel, unedle Metalle in Silber zu verwandeln, heißt das kleine Magisterium oder auch die weiße Tinctur.

Über die persönlichen Verhältnisse Gebers ist nichts Sicheres bekannt. Über seine Thätigkeit in der Chemie und Alchemie geben seine Schriften hinreichende Auskunft. Ein großer Vorzug derselben besteht darin, dass in denselben das Bestreben hervortritt, gewisse chemische Erscheinungen unter einem gemeinsamen Gesichtspunkte zusammenzufassen und eine Theorie der Chemie zu geben, wenn auch dieselbe mangelhaft, ja nach den gegenwärtigen Ansichten unrichtig ist.

Nach seiner Ansicht sind alle Metalle zusammengesetzte Körper und zwar bilden Schwefel und Quecksilber die Bestandtheile derselben, durch deren Verhältnis und verschiedenen Grad der Bindung alle Verschiedenartigkeit der Metalle erzeugt wird. Es muss jedoch hervorgehoben werden, dass diese Grundstoffe eigenthümlicher Art sind und mit unseren gleichnamigen Elementen nicht verwechselt werden dürfen, sondern als reinere Elemente, der Schwefel als Princip der Verbrennung, aufgefasst werden müssen.

Geber unterscheidet die Metalle in vollkommene und unvollkommene. Gold ist ihm das vollkommenste Metall, da es das schönste, reinste und dauerhafteste ist, ihm zunächst steht das Silber und dann kommen die anderen Metalle. Nach seiner Ansicht bestehen jene Metalle, welche durch Feuer gar nicht oder nur wenig verändert werden, vorzüglich aus Quecksilber

und enthalten wenig Schwefel, dagegen enthalten jene, welche leicht durch Feuer verändert werden, viel Schwefel und wenig Quecksilber. So besteht das Gold aus dem feinsten Quecksilber und einer geringen Menge von reinem rothen Schwefel, das Silber aus reinem Quecksilber und reinem weißen Schwefel. Eisen und Kupfer besteht aus weniger feinen Arten der Grundbestandtheile. Je vollkommener ein Metall, desto mehr Quecksilber enthält es. Solche Ansichten machen es erklärlich, dass in den Zeiten der Alchemie nicht nur bei den Arabern, sondern auch in den Abendländern so viele Kraft und Geduld, so viel Lebensglück in dem Jagen nach einem unerreichbaren Ziele verschwendet worden ist.

Geber hat bereits zwei wichtige Säuren, nämlich Salpetersäure und Schwefelsäure gekannt, während den Alten keine andere Säure als der Essig bekannt war, demnach sie kein kräftiges Lösungsmittel besaßen. Mit Geber beginnt die Chemie des nassen Weges. Er kannte die Löslichkeit des Silbers in Salpetersäure, die Löslichkeit des Goldes in Königswasser, die Darstellung von Zinnober durch Sublimieren eines Gemisches von Quecksilber und Schwefel. Er war mit den Operationen der Destillation und Sublimation vollkommen vertraut. Seine Werke enthalten eine ausführliche Beschreibung von chemischen Operationen und Geräthen. Dagegen beziehen sich manche seiner Schriften ganz auf Mysticismus und Alchemie, wie schon die Titel anzeigen: „Ergründung der Vollkommenheit.“ — „Von dem vollkommenen Meisterthum“ — „Über die Auffindung der Wahrheit und Vollkommenheit“ u. dgl.

## XV. Die Alchemie im christlichen Abendlande.

Die Hinneigung zu alchemistischen Künsten finden wir schon bei den Römern, die ihres großen Reichthums ungeachtet immer noch nach größerem verlangten. Schon Caligula hatte Versuche angestellt, aus Auripigment Gold zu machen. Diocletian dagegen befahl, alle ägyptischen Bücher über die Magie zu verbrennen, indem sein gesunder Sinn die Thorheit dieser Unternehmungen erkannte. Zu seiner Zeit scheinen die meisten

alten alchemistischen Bücher entstanden zu sein, die man dem Pythagoras, Demokrit u. a. zuschrieb, die aber wohl meistens nur ägyptische Mönche und Einsiedler zu Verfassern hatten. Die alten Griechen schenkten diesen Dingen wenig oder gar keine Aufmerksamkeit. Die Römer scheinen erst durch die Eroberung Ägyptens auf alchemistische Künste aufmerksam geworden zu sein. Von eben daher kamen sie auch im 7. Jahrhunderte zu den Arabern, die sie später nach Spanien und von da über ganz Europa verbreitet haben.

Zu Anfang des 13. Jahrhundertes hatte sich die Alchemie bereits über Deutschland, Frankreich, Spanien und England verbreitet. Sogar hervorragende Gelehrte begannen sich mit derselben zu beschäftigen. Wir führen zuerst Albert von Bollstädt an, genannt Albertus Magnus. Er war ein berühmter Chemiker, Physiker und Mathematiker. Sein ausgebreitetes Wissen verschaffte ihm den Beinamen „Doctor universalis.“ Er stammte aus dem Hause der Grafen von Bollstädt und war 1193 zu Lauingen in Baiern geboren worden. Seine Studien machte er zu Pavia, trat 1223 in den Dominikaner-Orden, lehrte dann an vielen Orten, wurde Provincial seines Ordens und endlich 1260 Bischof von Regensburg. Nach fünf Jahren dankte er jedoch ab und zog sich in das Dominikanerkloster in Köln zurück, um hier ausschließlich den Wissenschaften zu leben. Er starb daselbst 1280.

Seine chemischen und mechanischen Fertigkeiten waren so groß, dass er bei seinen Zeitgenossen in den Ruf eines Zauberers kam. Er gibt auch bereits die Zusammensetzung des Schießpulvers an, indem er sagt, man müsse 1 Pfund Schwefel, 2 Pfund Kohle und 6 Pfund Salpeter in einem Mörser mischen. Doch kann ihm deshalb nicht die Erfindung des Schießpulvers zugeschrieben werden, denn schon im 8. Jahrhunderte beschreibt Marcus Graecius die Bereitung des Schießpulvers. Dieser hat auch den Vorschlag gemacht, mit jenem Gemische lange, enge Röhren zu füllen, diese zu entzünden, dann würden die Röhren durch die Luft fliegen (Raketen). Überhaupt ist über die Erfindung des Schießpulvers nichts Sicheres bekannt. Chinesen und Araber hatten schon in den ältesten Zeiten derartige Mischungen zu

Brandpfeilen und in der Feuerwerkerei verwendet. Auch das griechische Feuer und die Zündmittel der Sarazenen dürften eine Zusammensetzung gehabt haben. Lange Zeit war in Deutschland der Glaube verbreitet, dass ein Franciskanermönch Berthold Schwarz zu Anfang des 14. Jahrhunderts das Schießpulver erfunden habe.

Albertus Magnus stand, was seine Ansichten über Chemie betrifft, auf dem Standpunkte der aristotelischen Lehre von den vier Elementen, doch nimmt er an, dass der Schwefel aus allen vier Elementen, das Quecksilber vorzüglich aus Erde und Wasser bestehe. In der Lehre von der Zusammensetzung der Metalle stimmt er vollkommen mit Geber überein. Er hält es daher auch für möglich, dass man ein Metall in das andere verwandeln könne. Sein Hauptverdienst liegt darin, dass er durch seine Lehrthätigkeit das Interesse für die Naturwissenschaften im christlichen Abendlande angeregt hat. Ein selbständiger Forscher war er nicht, er hat nur aus anderen Werken geschöpft.

Selbst der bedeutendste Gelehrte des 13. Jahrhunderts, Roger Bacon, betrachtete die Verwandlung unedler Metalle in edle und die Auffindung des Magisteriums als die Aufgabe der Alchemie. In seinen Schriften erweist sich Bacon als Schüler Gebers, doch hat er diese Kenntnisse nicht durch eigene Arbeiten vermehrt. Seine Verdienste um die Naturwissenschaften, namentlich um die Optik haben wir an anderer Stelle hervorgehoben. Seine Schüler und Anhänger nannten ihn den Doctor mirabilis.

Erst zwei Jahrhunderte später fand die Alchemie eine wesentliche Weiterbildung und eine immer größere Verbreitung. Es bildete sich die Meinung heraus, dass die Metalle und sämtliche Körper aus drei Elementen, Quecksilber, Schwefel und Salz bestehen. Diese drei Grundbestandtheile wurden aus den aristotelischen Elementen bestehend angesehen. Zwar konnte der Chemiker jener Zeit aus den meisten Körpern Bestandtheile gewinnen, die er Salz, Schwefel und Quecksilber nannte, allein diese Namen wurden mehr gebraucht, um die einmal aufgestellte Hypothese zu retten, nicht aber, weil die Körper

jene und nur jene Bestandtheile in der That enthielten. Zur Hinzunahme des Salzes als dritten Grundbestandtheil der Körper mag die Beobachtung der Salzbildung durch Einwirkung von Säuren auf Metalle geleitet haben. In den Schriften jener Zeit finden wir Beschreibungen von bereits vervollkommenen chemischen Apparaten.

Während im Mittelalter die Alchemie vorzüglich in den Klöstern betrieben wurde, drang sie später in fast alle Gesellschaftskreise. Den Mönchen wurde sie von mehreren Päpsten verboten. Dafür fand sie an manchem Fürstenhofs Aufnahme und Schutz. Wir finden in jener Periode Männer von unzweifelhaft wissenschaftlicher Bedeutung, welche aus voller Überzeugung von der Wahrheit der alchemistischen Theorie sprechen. Unvollkommene Hilfsmittel begünstigten die Selbsttäuschung, doch traten auch Betrüger auf, welche behaupteten, im Besitze des Geheimnisses zu sein und oft mit sehr plumphen Mitteln namentlich geldbedürftige Fürsten täuschten. Die Meister der alchemistischen Kunst wurden Adepten genannt.

Im 13. Jahrhunderte war Raimund Lully oder Lullus, aus einem alten Geschlechte der Insel Majorca, einer der berühmtesten Alchemisten. Man fabelte über ihn, dass er bei seiner letzten Anwesenheit in London für den König Eduard I. eine Masse von 50.000 Pfund Quecksilber in Gold verwandelt habe.

Obwohl die Alchemie noch im 18. Jahrhunderte Anhänger zählte, so war doch mit Ende des 15. Jahrhunderts ihre Blütezeit vorüber. Mit Beginn des 16. Jahrhunderts trat die Chemie in den Dienst der Heilkunde.

## XVI. Das Zeitalter der medicinischen Chemie.

Das Zeitalter der medicinischen Chemie oder Jatrochemie rechnet man gewöhnlich vom Anfange des 16. bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts. Die Bezeichnung der Jatrochemie stammt von dem griechischen Worte *ιατρός* Arzt. Paracelsus war der erste, der es aussprach, dass es nicht die Aufgabe der Chemie sei, Gold zu machen, sondern Arzeneien zu bereiten,

und dass man die Natur nicht aus den Schriften der Alten, sondern aus ihr selbst studieren müsse.

Philippus Theophrastus Paracelsus von Hohenheim, auch Bombastus genannt, wurde 1493 zu Einsiedeln unweit Zürich als der Sohn eines praktischen Arztes geboren. Den ersten Unterricht erhielt er von seinem Vater, der 1502 nach Villach in Kärnten übersiedelte. Den weiteren Unterricht theilten ihm die berühmten Chemiker Trithemius und Fugger, worauf er den größten Theil Europas als Chemiker und Arzt durchreiste und durch glückliche Curen sich einen solchen Ruf erwarb, dass er als Professor der Medicin an die Universität nach Basel berufen wurde. Aber schon nach einem Jahre verließ er infolge eines Streites mit dem Magistrate die Stadt und zog wieder als Arzt im Elsass, in der Schweiz und im südlichen Deutschland herum. Er starb 1541 zu Salzburg.

Man hat Paracelsus noch vor nicht gar langer Zeit als einen wissenschaftlichen Abenteurer und Charlatan angesehen, aber neuere Forschungen haben dargethan, dass er sich hohe Verdienste um die Medicin und die gesammte Naturwissenschaft erworben hat. Allerdings hatte er etwas Marktschreierisches an sich und es zeigt von dünkelfhafter Selbstüberschätzung, wenn er die Schriften des griechischen Arztes Galenus, der unter den medicinischen Schriftstellern seiner Zeit eine hervorragende Stellung einnimmt, sowie die Schriften des berühmten persischen Arztes Avicenna öffentlich verbrannte, indem er sagte: „In meinen Schuhrinken steckt mehr Gelehrsamkeit, als in Galenus und Avicenna zusammen.“

Er wollte eben den Autoritätsglauben ganz beseitigen und suchte die Chemie für die Heilkunde nutzbar zu machen. Nach seiner Ansicht besteht der menschliche Körper ebenfalls aus den drei Grundbestandtheilen: Quecksilber, Schwefel und Salz und jede Krankheit besteht in der Störung des richtigen Verhältnisses der Mengen dieser Bestandtheile. Die Heilung liegt demnach nur in der Wiederherstellung des richtigen Verhältnisses.

Als einen ferneren Hauptvertreter der medicinischen Chemie müssen wir Helmont nennen. Johann Baptist van Hel-

mont, aus dem Geschlechte der Grafen von Merode stammend, einer der gewandtesten und scharfsinnigsten Ärzte des 17. Jahrhunderts, wurde 1577 zu Brüssel geboren. Er studierte zu Löwen Naturwissenschaften und Medicin. Schon in seinem 17. Jahre gab er öffentlichen Unterricht in der Chirurgie. Als ihm einmal eine Heilung durchaus nicht gelingen wollte, gab er die Medicin als eine unverlässliche Kunst auf und irrte durch mehrere Jahre in verschiedenen Ländern herum, bis endlich ein praktischer Chemiker großes Interesse für die Chemie in ihm erweckte, wobei auch seine frühere Vorliebe für Medicin wieder erwachte, indem er vorzüglich in der Chemie das wundervolle Universalheilmittel gegen alle Krankheiten zu finden hoffte. Er kehrte nach Brabant zurück und lebte von nun an, unweit Brüssel, sich mit chemischen Studien beschäftigend, war aber zugleich ein gesuchter praktischer Arzt. Die Kaiser Rudolf II., Mathias und Ferdinand II. luden ihn öfter unter großen Versprechungen nach Wien, aber er zog die Unabhängigkeit seiner Stellung allen Verheißungen vor. Er starb zu Vilvorde bei Brüssel im Jahre 1644.

Helmont war der erste, welcher die Natur der Gase studiert und überhaupt den Namen Gas gebildet hat. Woher der Name „Gas“ stammt, ist wohl nicht sicherzustellen. Einige behaupten, Helmont habe ihn von dem griechischen Worte Chaos abgeleitet, dagegen ist es wahrscheinlicher, dass der Name deutschen Ursprunges sei und von „Gahst“ d. i. Geist, stamme. Helmont versteht unter Gasen im Gegensatze zu Dämpfen nicht condensierbare luftförmige Körper, die in ihren Eigenschaften von der atmosphärischen Luft verschieden sind. Er unterscheidet brennbare Gase und solche, welche weder die Verbrennung noch die Athmung in denselben gestatten. Er wird als Entdecker des kohlsauren Gases angesehen, doch hatte bereits Paracelsus dasselbe gekannt. Jedenfalls kannte es Helmont genauer, er wusste, dass es sich sowohl beim Verbrennen von Kohle, als beim Gähren von Brot und Wein entwickelt. Ebenso war ihm bekannt, dass das Volum einer abgeschlossenen Menge Luft kleiner wird, wenn ein Körper in derselben verbrennt. Hinsichtlich der Lehre von den Grund-

bestandtheilen und in seinen medicinischen Ansichten war er ein entschiedener Gegner des Paracelsus. Er stellte vor allem in Abrede, dass die Körper aus Quecksilber, Schwefel und Salz bestehen. Die Ernährung des menschlichen Körpers geschieht nach seiner Ansicht durch Säfte, welche in Folge eines Gährungsprocesses aus dem Blute bereitet werden. Dieser Process wird durch eine im Magen befindliche Säure eingeleitet. Die aus dem Magen tretende Säure wird durch die Galle, welche alkalisch reagiert, neutralisiert. Vermag letztere dies nicht vollständig, so gelangt die Säure in andere Organe und es entstehen Krankheiten, welche nur durch alkalische Substanzen geheilt werden können.

Franz Sylvius, ein deutscher Arzt, geb. 1614 zu Hanau, sah in den Flüssigkeiten des menschlichen Körpers nichts als Säuren und Alkalien und betrachtete die festen Theile des Körpers als Destillierapparate. Er hielt wenig auf Bücherweisheit und secierte häufig Leichen, was für jene Zeit etwas Ungewöhnliches war. Er wird daher als einer der ersten Gründer der Anatomie betrachtet.

Johann Rudolf Glauber, geb. 1603 zu Karlstadt in Franken, befasste sich viel mit der Erzeugung medicinischer und chemischer Geheimmittel, war auch von vielen Vorurtheilen seiner Zeit befangen, die er von Kindheit an in sich aufgenommen, doch dürfen die Verdienste, welche er sich um die medicinische und gewerbliche Chemie erworben hat, nicht zu gering angeschlagen werden. Er ist der Entdecker des weltberühmten Salzes, welches nach ihm Glaubersalz (sal mirabile Glauberi) genannt wurde. Dies erzeugte er, wie es noch heutzutage geschieht, durch Einwirkung von Schwefelsäure auf Kochsalz. Er beschreibt bereits einen Fall der Verdichtung zweier Metalle beim Zusammenschmelzen. Auch hatte er eine deutliche Vorstellung von dem, was später die chemische Verwandtschaft genannt wurde. Die alte chemische Nomenclatur nennt verschiedene von ihm entdeckte oder verbessert bereitete chemische Präparate nach ihm.

## XVII. Optiker des 14. bis Ende des 16. Jahrhunderts.

Im 14. Jahrhunderte, welches überhaupt an wissenschaftlichen Bestrebungen weit ärmer war, tritt uns auf dem Gebiete der Optik nur eine bedeutendere Erscheinung entgegen, es ist dies der Predigermönch Theodorich, genannt Bruder Theodorich, der ein Sachse von Geburt war. Dieser hat zu Anfang jenes Jahrhunderts ein optisches Werk geschrieben, das jedoch lange Zeit im Kloster der Predigermönche in Basel lag und erst zur Zeit der Reformation in die Stadtbibliothek gelangte, wo es 1814 entdeckt wurde. So war dieses wichtige Werk durch Jahrhunderte unbekannt geblieben, und konnte auf den Stand der Wissenschaft keinen Einfluss üben. Thatsachen, welche schon längst in dem Buche enthalten waren, mussten von neuem aufgefunden werden.

In diesem Werke wird bereits der Haupt- und Nebenregenbogen in ganz richtiger Weise erklärt, nämlich, dass bei jenem die Sonnenstrahlen oben im Regentropfen gebrochen, an der Rückseite reflectiert und dann noch einmal unten im Tropfen gebrochen werden, der Nebenregenbogen werde jedoch durch Sonnenstrahlen hervorgebracht, welche in den unteren Theil der Regentropfen eindringen und nach zweimaliger Reflexion an der Hinterwand aus dem oberen Theile der Tropfen wieder gebrochen austreten. Die Ursache, weshalb nur gewisse Stellen in den Tropfen wirksam sind, konnte er nicht angeben, weil ihm das Brechungsgesetz noch unbekannt war.

Nach Bruder Theodorich trat eine lange Lücke in der Geschichte der Optik ein. Erst im 16. Jahrhunderte sind zwei Männer zu erwähnen, welche sich jedenfalls durch ihre Leistungen aner kennenswerte Verdienste um die Optik erworben haben.

Franciscus Maurolykus, einer der ausgezeichnetsten Mathematiker seiner Zeit, wurde 1494 zu Messina geboren. Er trat in den geistlichen Stand, lehrte aber meist Mathematik in seiner Vaterstadt. Er liess eine Reihe von mathematischen Schriften erscheinen, darunter eine sehr umfangreiche mathematische Encyclopädie und wertvolle Untersuchungen über Kegelschnitte. Am bekanntesten wurde er jedoch durch sein optisches Werk:

„Theoremata de lumine et umbra“ (1575 zu Venedig erschienen).

Er vermag allerdings nicht eine richtige Erklärung des Regenbogens zu geben, aber er tritt in treffender Weise der Ansicht entgegen, dass der Nebenregenbogen ein Spiegelbild des Hauptbogens sei. Er sagt, eine Spiegelung müsste nicht nur die Farben, sondern auch den Bogen umkehren, zudem sei übrigens keine spiegelnde Fläche vorhanden. Er hat ziemlich richtige Ansichten über die Brechung der Lichtstrahlen in Linsen, obwohl er noch nicht das Brechungsgesetz kennt. Auch fand er bei Linsen die sphärische Abweichung, wie sie bereits Roger-Bacon bei Hohlspiegeln gefunden hat, denn er sagt, dass nicht alle der Achse parallelen Lichtstrahlen in einem Punkte hinter der Linse vereinigt werden. Der Sache nach sind ihm auch die Brennlinien bekannt, wenn er auch nicht diesen Namen gebraucht. Er weiß ferner, dass convexe und concave Linsen um so stärker wirken, je mehr sie gekrümmt sind. Dies wendet er auf die Krystalllinse des Auges an und gibt eine annähernde Erklärung der Kurz- und Weitsichtigkeit. Nach seiner Ansicht hat der Kurzsichtige eine zu viel, der Weitsichtige eine zu wenig gekrümmte Krystalllinse, weshalb jener concave, dieser convexe Brillengläser gebrauchen soll, um den Fehler auszugleichen. Dessenungeachtet kennt er das Netzhautbildchen nicht.

Schon Aristoteles hatte die runden Sonnenbilder beobachtet, die sich unter Bäumen mit dichter Belaubung am Boden zeigen, wenn die Sonnenstrahlen nur durch einzelne kleinere Zwischenräume des Laubes dringen können. Ja es war ihm nicht entgangen, dass bei Sonnenfinsternissen diese Bilder selbst sichelförmig sind und diese Sichel immer schmaler werden, je mehr die Verfinsterung zunimmt, und dass die Seite, nach der sie sich krümmen, der Krümmung der wirklichen Sonnensichel entgegengesetzt sei. Aber eine physikalische Erklärung dieser Erscheinung vermochte Aristoteles nicht zu geben. Er sagte bloß, „dass das Licht, nachdem es durch eine Öffnung hindurchgegangen, umsomehr die Gestalt des leuchtenden Körpers wieder anzunehmen bestrebt sei, je weiter es sich von dem Hin-

dernisse entferne.“ Maurolykus hat aber diese Erscheinung ganz richtig erklärt. Er sagt, dass jeder Punkt einer kleinen noch so unregelmäßigen Öffnung die Spitze eines strahlenden Doppelkegels bilde, dessen eine Grundfläche die Sonnenscheibe, dessen andere die Fläche ist, welche das durchgegangene Licht aufängt. Jeder Punkt der Lücke erzeugt demnach ein rundes Bild auf der Fläche und diese runden Bilder verschmelzen immer mehr zu einem einzigen runden, je kleiner die Öffnung im Verhältnisse zu ihrer Entfernung von der auffangenden Fläche ist.

Ein räthselhafter Charakter, der jedoch großen Einfluss auf seine Zeitgenossen ausgeübt hat, war Porta, der allgemein für den Erfinder der camera obscura gilt.

Giambattista della Porta, aus einer neapolitanischen Adelsfamilie stammend, wurde 1538 zu Neapel geboren. Er brachte einen großen Theil seines Lebens auf Reisen zu, suchte überall Neues zu erfahren, knüpfte Verbindungen mit den meisten bedeutenden Männern jener Zeit an, dabei studierte er die Schriften alter Naturforscher. Er war jedenfalls ein bedeutendes Talent, neigte aber sehr zum Geheimnisvollen und Wunderbaren und war zum Theile auch ein Marktschreier. So entwarf er zuweilen Projecte, deren Unausführbarkeit jeder Fachkundige bald einsehen konnte. Dennoch war er ein sehr gewandter Experimentator und entdeckte auf diesem Wege manches Neue. Die Erfahrungen, welche er auf Reisen gemacht sowie eigene Arbeiten und Ideen veröffentlichte er in einem großen Sammelwerke, welches den Titel führt „*Magia naturalis*.“ In der ersten Ausgabe dieses Werkes finden sich viele Albernheiten und unsinnige Behauptungen, welche in der zweiten Ausgabe größtentheils weggelassen sind. So beschreibt z. B. Porta eine Lampe, welche die Eigenschaft haben soll, dass die von ihr beleuchteten Personen mit einem Pferdekopfe erscheinen. In jener, das Übernatürliche und Wunderbare liebenden Zeit hat die erste Ausgabe seines Werkes so großen Beifall gefunden, dass dasselbe aus dem Lateinischen in fünf lebende Sprachen übersetzt werden musste. Der wichtigste Theil seines Werkes ist der optische. In diesem macht Porta als erster die richtige Bemerkung, dass der Vereinigungspunkt aller Strahlen, welche in der Nähe der

Achse eines Hohlspiegels auf diesen fallen, nahezu in den Mittelpunkt des Halbmessers versetzt werden kann.

In der ersten Ausgabe beschreibt er eine camera obscura in ihrer einfachsten Gestalt. Er sagt, ein kleines Loch in dem Fensterladen eines verfinsterten Zimmers genüge, um auf einer der Öffnung gegenüber liegenden Wand des Zimmers Bilder von hellen vor der Öffnung außerhalb des Zimmers befindlichen Gegenständen in ihren natürlichen Farben aber verkehrt zu erzeugen. Dies hat aber bereits Leonardo da Vinci gewusst. In der zweiten Ausgabe spricht jedoch Porta von der Anwendung einer convexen Linse in der Öffnung, wodurch die Bilder schärfer erscheinen. Insoferne kann er als der Erfinder unserer camera angesehen werden, obwohl er noch nicht die tragbare Form derselben anwendete. Da er auch transparente Zeichnungen auf diese Weise darstellte, so wird er auch für den Erfinder der *laterna magica* gehalten.

Es war naheliegend, dass Porta das menschliche Auge für eine Dunkelkammer erklärte, bei welcher die Pupille die Öffnung bildet; höchst sonderbar aber ist es, dass er die Krystalllinse für den Schirm hält, der die Bilder auffängt.

### XVIII. Copernicus und Tycho Brahe.

Nicolaus Copernicus (eigentlich Koppernigk) wurde im Jahre 1473 in Thorn als der Sohn eines Wundarztes geboren. Von der Schule in Thorn gieng er an die Universität nach Krakau, um Medicin zu studieren und erwarb sich auch daselbst den medicinischen Doctorgrad. Dabei aber erweiterte er seine bereits erworbenen Kenntnisse in den alten Sprachen, studierte Philosophie und besonders Mathematik und Astronomie, zu welchen Gegenständen er sich von jeher hingezogen gefühlt hatte. Hierauf begab er sich nach Wien, um dort den Unterricht der beiden berühmtesten Astronomen damaliger Zeit Purbach und Regiomontan zu genießen. Er blieb jedoch nicht lange dort. In seinem 23. Jahre begab er sich zur weiteren Ausbildung nach Bologna, wurde der Schüler des dortigen Professors der Astronomie, des berühmten Domenico Maria Novara

und bald darauf dessen Freund. Im Jahre 1500 befand er sich in Rom. Sein Ruf glich bereits dem des Regiomontan und so erhielt er in Rom eine Professur der Mathematik. Nach einigen Jahren kehrte er nach Thorn zurück und erhielt durch Verwendung seines Oheims, des Bischofes von Ermeland, eine Stelle in dem Domcapitel zu Frauenburg, einem Städtchen am „frischen Haff.“ Hier lebte er nun ungestört seinem Amte und seinen Studien.

Die Ideen über das Weltsystem, welche Copernicus wahrscheinlich schon in Italien gefasst hatte, entwickelten sich nun zu voller Klarheit. Er lebte still und zurückgezogen und schrieb an seinem großen Werke, welches bestimmt war, eine durch mehr als tausendjähriges Bestehen gleichsam geheiligte Lehre umzustößen. Er hielt dasselbe bis zur Vollendung um 1530 geheim und erst von dieser Zeit an begann er seinen gelehrten Freunden in Deutschland brieflich Mittheilungen zu machen. Doch konnte er sich lange nicht entschließen öffentlich gegen Ptolemäus aufzutreten. Er ahnte, welchen Sturm seine neue Lehre erregen würde und wollte auch die Spötteleien der großen Menge von sich abhalten. Man erzählt, dass seine Gegner, welche ihn für einen ruhmstüchtigen Neuerer ausgaben, einen Comödienschreiber aufgefördert hätten, den Copernicus so auf die Bühne zu bringen, wie Aristophanes den Sokrates, und vor dem Volke lächerlich zu machen.

Auf vieles Drängen seiner Freunde erschien sein Werk endlich im Jahre 1543 zu Nürnberg. Dasselbe rief in Fachkreisen nicht nur großes Aufsehen hervor, sondern erregte auch von vielen Seiten den lebhaftesten Widerspruch. Nur wenige Astronomen schlossen sich der neuen Lehre an. Die große Menge aber nahm das Werk mit Gleichgiltigkeit auf. Leider starb der große Forscher in demselben Jahre, in welchem sein Werk erschienen war. Kurz vor seinem Tode, bereits auf dem Krankenbette, erhielt er das erste Exemplar seines vollendeten Werkes. Er wurde in dem Dome zu Frauenburg vor dem Altare bestattet.

Das Weltsystem des Copernicus gründet sich auf drei Hauptsätze, nämlich:

1. Die Erde dreht sich von Westen nach Osten um eine feste Achse; daher die tägliche Bewegung der Himmelskörper von Osten nach Westen nur eine scheinbare ist. Daraus erklärt sich der Wechsel von Tag und Nacht.

2. Nebst der Achsendrehung hat die Erde noch eine Bewegung von Westen nach Osten um die Sonne, wobei die Achse immer eine parallele Lage behält, indem sie gegen die Ebene der Erdbahn schief gestellt erscheint. Daraus erklärt er die Jahreszeiten.

3. Wie die Erde, so bewegen sich auch in immer größeren concentrischen Kreisen die Planeten um die Sonne; der Sonne zunächst Mercur, dann Venus, die Erde, um welche sich der Mond bewegt, Mars, Jupiter und Saturn, sämmtlich in der Richtung von Westen gegen Osten. Die übrigen Planeten waren ihm noch unbekannt.

Wenn auch mit Ausnahme des dritten Satzes, welchen vor Copernicus niemand gelehrt hatte, Ähnliches bereits von einzelnen Griechen behauptet worden war, wie z. B. von Aristarch von Samos die Bewegung der Erde um die Sonne, von Heraklides aus Pontus die Achsendrehung der Erde, so behaupteten sie es eben, ohne es zu beweisen und ohne die glückliche Idee weiter zu verfolgen, daher sie mit ihr auch keinen Eingang gefunden hatten.

Copernicus jedoch suchte seine Behauptungen durch Vergleichen mit dem Himmel, durch unmittelbare Beobachtungen zu beweisen und sie nicht wie jene als einen philosophischen Satz, sondern als eine mathematisch erwiesene Wahrheit hinzustellen. Wo die Alten gesagt hatten, es könne so sein, da trat Copernicus mit der Zuversicht des Mannes der Wissenschaft auf und bewies, dass es so sein müsse.

Wenn wir nun bedenken, dass die Messinstrumente noch nicht einen hohen Grad der Vervollkommnung erreicht hatten, dass manche Sätze, welche das Copernikanische System erst recht klar machen und abschließen, noch nicht aufgefunden waren, dass Copernicus weder ein Fernrohr noch eine Pendeluhr besaß, so erfüllt uns das Werk des genialen Astronomen mit noch größerer Bewunderung. Treffend sagt Poggendorf: „Co-

pernicus ist und bleibt ein hell leuchtendes Gestirn am Firmamente der Wissenschaft; allein es gieng zu einer Zeit auf, wo der Horizont noch mannigfach von Nebeln umdüstert war.“

Etwa ein halbes Jahrhundert nach Bekanntmachung des Copernikanischen Weltsystems versuchte Tycho Brahe einen Mittelweg zwischen Copernicus und Ptolemäus einzuschlagen und so beiden Parteien es recht zu thun. Tycho Brahe aus einer altadeligen schwedischen Familie, welche in Dänemark und Schweden begütert war, wurde im Jahre 1546 in einem kleinen Orte der schwedischen Landschaft Schonen geboren. Schon in seinem 14. Jahre zeigte er für Astronomie eine besondere Neigung, welche noch dadurch erhöht wurde, dass 1560 eine Sonnenfinsternis genau zu dem voraus berechneten Zeitpunkt eintrat. Dies machte das Verlangen in ihm rege, die Grundsätze der Astronomie kennen zu lernen. Seine Eltern wollten einen Juristen und Staatsmann aus ihm machen, und schickten ihn zu diesem Behufe an die Universitäten Kopenhagen und Leipzig. Dennoch wusste Tycho seinen Hang zur Astronomie zu befriedigen, denn während er in Leipzig am Tage die Rechte studieren musste, beobachtete er des Nachts den Himmel und studierte astronomische Schriften.

Bereits im Jahre 1563 beobachtete er in Leipzig eine Conjunction des Jupiter mit Saturn und fand, dass die damaligen Tafeln für diese beiden Planeten sehr fehlerhaft waren. Er bereiste hierauf durch mehrere Jahre Deutschland, hielt sich namentlich zu Wittenberg, Rostock und Augsburg auf und kehrte 1571 in seine Heimat zurück, wo ihm ein Onkel eine kleine Sternwarte und ein chemisches Laboratorium einrichtete. Da begründete ein merkwürdiges Ereignis Tychos Ruhm. Als er im Jahre 1572 am 11. November aus seinem chemischen Laboratorium zur Nachtzeit über den Hof in die Sternwarte gieng, bemerkte er in dem Sternbilde der Cassiopeia einen neuen Stern von vorzüglicher Größe an einer Stelle, an welcher er früher nur sehr kleine Sterne gesehen hatte.

Er leuchtete wie ein Stern erster Größe. Man konnte ihn nur mit der Venus vergleichen, wenn sie der Erde am nächsten steht. Tychos Beobachtungen ergaben, dass der Stern

weder einen Schweif noch eine Nebelhülle besaß, auch lehrten ihn sorgfältig angestellte Messungen, dass sein Abstand von anderen Sternen der Cassiopeia sich nicht änderte. Er konnte daher kein Komet sein, sondern glich vielmehr allen übrigen Fixsternen. Dieser glänzende Stern fieng jedoch nach zwei Monaten an zu erbleichen und verschwand im März 1574, nachdem er 17 Monate hindurch geleuchtet hatte, wieder vom Himmel und wurde seitdem nicht wiedergesehen.

Wie Hipparch durch einen neuen Stern veranlasst worden war, ein Sternenverzeichnis anzulegen, so wurde Tycho Brahe durch die Erscheinung des neuen Sternes in der Cassiopeia bewogen, einen Sternenkatalog zu verfassen, in welchem nach besseren Methoden die genaue Lage eines jeden Sternes angegeben wurde. Dazu bedurfte er aber auch genauerer Instrumente. Auf seinen Reisen hatte er Verbindungen mit den besten Mechanikern angeknüpft.

Eine neue Reise führte ihn nach Italien, von da durch die Schweiz und er entschloss sich in Basel seinen künftigen Aufenthalt zu nehmen. Dieses Vorhaben verhinderte König Friedrich II. von Dänemark, der den bereits bedeutenden Astronomen durch dessen Vorträge in Kopenhagen kennen gelernt hatte, indem er ihn 1576 mit der kleinen Insel Haen im Sunde belehnte und ihm die berühmte Sternwarte Uranienborg bauen und mit den nöthigen Instrumenten ausrüsten ließ. Hier machte Tycho Brahe während der 21 Jahre seines Aufenthaltes, umgeben von vielen Schülern, zahlreiche Beobachtungen und Entdeckungen.

Nach dem Tode seines Gönners von vielen Gegnern angefeindet, beschloss der Gelehrte, seine Heimat zu verlassen (1599). Er fand einen neuen Beschützer in dem deutschen Kaiser Rudolf II., der ihn in Regensburg kennen gelernt hatte. Dieser versprach ihm in dem kaiserlichen Schlosse zu Prag eine Sternwarte einzurichten. Tycho Brahe wurde nun in Prag kaiserlicher Astronom, Astrolog und Alchemiker mit einem ansehnlichen Gehalte. Seine Thätigkeit in Prag dauerte aber nicht lange, denn schon im Juli 1601, zwei Jahre nach seiner Ankunft daselbst, ereilte ihn der Tod.

Neun Jahre nach seinem Tode erschien in dem zu Frankfurt a. M. 1610 gedruckten Werke das sogenannte Tychonische System. Nach diesem steht die Erde unbeweglich im Weltall, so dass sie sich weder um ihre Achse noch um die Sonne bewegt; um die Erde bewegen sich Mond, Sonne und die Fixsternsphäre, um die Sonne aber gehen in immer größeren concentrischen Kreisen Mercur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn. Er stellte also wieder wie die Alten, die Erde in den Mittelpunkt des Planetensystems und ließ um sie die Sonne gehen, welche zugleich der Mittelpunkt anderer Kreise war, in deren Peripherie die übrigen Planeten unmittelbar um die Sonne und durch diese mittelbar um die Erde sich bewegten. Tycho Brahe's Annahme, dass die fünf Planeten um die Sonne kreisen, war die einzige Abweichung von Ptolemäus.

Gegen die Achsendrehung der Erde führte er besonders folgendes an: Ein von der Spitze eines Thurmes an der Westseite herabfallender Stein könnte, wenn die Erde von West nach Ost rotierte, nicht am Fuße des Thurmes senkrecht unter seinem Abgangspunkte ankommen, sondern er müsste westlich von dem Thurme zur Erde fallen, weil der Thurm während des Falles des Steines infolge der Bewegung der Erde weiter gegen Osten vorgerückt wäre. Es wurde dabei übersehen, dass die Bewegung des Steines in dem Augenblicke, in welchem er die Spitze des Thurmes verlässt, eine doppelte ist; die eine ist wegen der Anziehung der Erde nach abwärts gerichtet, die andere hat der Stein gemeinschaftlich mit der Thurmspitze und zwar schon vor seinem Falle. Dieser Vorgang wurde erst dann vollständig begriffen, als Galilei und seine Schüler die Lehre von der Zusammensetzung der Kräfte und der Geschwindigkeit auseinandergesetzt hatten. Kepler hatte einfach geäußert, dass die Erde ihre eigene Bewegung den Körpern auf ihrer Oberfläche mittheile.

Gerade durch einen ähnlichen Versuch wurde später (1679) durch Newton und vorzüglich zu Anfang dieses Jahrhunderts (1802 und 1803) durch Benzenberg der Beweis für die Achsendrehung der Erde geliefert.

Wenn man nämlich, wie letzterer es auf dem 144 Meter hohen Michaelisthurm in Hamburg mit aller Vorsicht ausführte,

einen Stein in verticaler Richtung herabfallen lässt, so kommt derselbe mit östlicher Abweichung auf dem Erdboden an. Würde die Erde ruhen, so würde der Stein den Erdboden in verticaler Richtung erreichen; wenn sie jedoch um ihre Achse von West nach Ost rotiert, so wird die Richtung seiner Bewegung von zwei Kräften bestimmt, nämlich von der Schwerkraft, welche ihn nach dem Erdmittelpunkte zieht, und von der die Erde um ihre Achse von West nach Ost bewegenden Kraft. Seine Bahn wird daher durch das Bewegungsparallelogramm bestimmt. Würde die Thurmspitze sich nicht schneller bewegen, als der unterste Theil des Thurmes, so müsste der Stein, obwohl er von zwei Kräften zugleich beherrscht wird, doch genau am Fuße des Thurmes ankommen, weil er in dem Augenblicke das Ende der Diagonale jenes Parallelogramms erreichen würde, in welchem der Fuß des Thurmes dahin kommt. Da aber die Thurmspitze eine größere Peripherie in derselben Zeit von West nach Ost beschreibt als der Fuß, somit eine größere Geschwindigkeit hat, so muss der Stein, der in Folge des Beharrungsgesetzes diese größere Geschwindigkeit während der Zeit seines Falles beibehält, östlich von dem Thurmfuße niederfallen.

Ebenso hinfällig waren Tycho's fernere Gründe gegen die Achsendrehung der Erde, nämlich, dass man nicht annehmen könne, alle 24 Stunden mit dem Kopfe nach abwärts zu stehen, auch müsste durch die Schwungkraft Alles von der Erde weggeschleudert werden.

Gegen den Umlauf der Erde um die Sonne wendet er sich, indem er sagt, dass, wenn die Erde einen so großen Weg durchlaufen würde, die Fixsterne gegen einander ihre scheinbare Lage merklich ändern müssten. Dieser Einwand entfällt, wenn man die ungeheure Entfernung der Fixsterne von uns bedenkt, gegen welche selbst die große Achse der Erdbahn verschwindend klein erscheint.

Ungeachtet seiner verschiedenen Irrthümer muss doch Tycho Brahe als einer der bedeutendsten praktischen Astronomen anerkannt werden. Er entdeckte die Ungleichheit in der Bewegung des Mondes, er erkannte die Veränderlichkeit der Mondbahn gegen die Ekliptik, er verbesserte die Sternkarten, er

benutzte zuerst die untere und obere Lage des Polarsternes zur Bestimmung der Polhöhe eines Ortes.

Sein Weltsystem aber war nicht imstande, das Copernicanische zu verdrängen, wenn es auch im Anfange viel Beifall fand. Das große Werk des Copernicus zu befestigen blieb dem Genie eines Johannes Kepler vorbehalten.

## XIX. Allgemeines Bild des Zustandes der Physik in der Periode des Fortschrittes.

(Von circa 1600 bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts.)

Diese Periode beginnt wohl mit Galilei, neben welchem gleichzeitig ein Stern erster Größe am Himmel der Wissenschaft glänzte, Johannes Kepler. Wie Keplers Gesetze die Grundsteine wurden zur Mechanik des Himmels, so erweiterten Galileis Leistungen im Gebiete der Optik die Kenntnis des Sonnensystems, seine Fallgesetze brachten richtige Begriffe in die Mechanik, seine Pendelgesetze gaben den Anstoß zur Erfindung der für die Astronomie so wichtigen genaueren Zeitmessung durch Pendeluhren.

Galilei kann mit Recht als der Hauptbegründer der neueren Physik betrachtet werden. Seine wissenschaftlichen Leistungen kann man in zwei Hauptclassen eintheilen, in die mechanischen und in die optisch-astronomischen. Er begründete nicht nur die Mechanik fester Körper, sondern hinterließ auch in der Hydrostatik und Hydrodynamik Spuren seiner Thätigkeit. Ihm verdankt man nämlich über die innere Beschaffenheit der Flüssigkeiten diejenige Ansicht, die im Wesentlichen noch heute bei allen mathematischen Untersuchungen zum Grunde gelegt wird und welche auch selbständig von dem Holländer Stevinus (1585) ausgesprochen wurde.

Die Principien der Construction des in den ersten Jahren des 17. Jahrhunderts erfundenen holländischen Fernrohres hatte Galilei in nichts verbessert, allein in der Ausführung war es vollkommener als die bis dahin (1609) gefertigten Fernrohre, so dass es zu astronomischen Beobachtungen brauchbar war. Er entdeckte damit die Jupitermonde, beobachtete die Berge auf

dem Monde, wies nach, dass der Schimmer in der Milchstraße der vereinte Glanz von zahlreichen Sternen sei u. s. w.

Auch Kepler stellte in seiner „Dioptrik“ das Princip eines eigenen Fernrohres, des astronomischen auf (1611).

Kepler ist für die gesammten Naturwissenschaften schon deshalb von bleibender Bedeutung, weil er der erste war, der mit großer Ausdauer die Methode der inductiven Forschung gebraucht hat.

Ein Zeitgenosse dieser beiden genialen Männer war auch der Staatsmann und Philosoph Franz Baco von Verulam (geb. 1561). Seine großen Verdienste um die Naturwissenschaften überhaupt und besonders um die experimentierenden bestehen darin, dass er die Autorität des Aristoteles siegreich bekämpfte, die Beobachtung der Natur verlangte, zum Anstellen von Experimenten anregte, um von den beobachteten Erscheinungen zu allgemeineren Wahrheiten zu gelangen, und somit die inductive Methode dringend empfahl.

Nach Galileis Tode (1642) ist die Mehrzahl der Arbeiten der Physiker in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts durch seine Untersuchungen angeregt worden oder aus ihnen hervorgegangen. Sie bilden gleichsam den Mittelpunkt, von dem aus das Gebiet der Physik nach seinen verschiedenen Richtungen hin erforscht wurde.

Unter allen Entdeckungen auf dem weiten Gebiete der Naturwissenschaften ist wohl die der allgemeinen Schwere, die wir dem großen Newton (geb. 1642) verdanken, die glänzendste und einflussreichste, da sie das Gesetz enthält, dem alle Himmelskörper unseres Sonnensystems, und, wie wir anzunehmen berechtigt sind, alle Körper des Weltraumes überhaupt gehorchen.

Das Werk Newtons „Principia mathematica,“ sowie die Entdeckung der „Analysis des Unendlichen“ durch ihn und den ausgezeichneten Mathematiker und Philosophen Leibnitz (geb. 1646) haben viel dazu beigetragen, der Physik für mehrere Decennien einen vorwiegend mathematischen Charakter zu ertheilen. Dadurch trat die Experimentalphysik in den Hintergrund. Das Übergewicht der Mathematik in der Physik dauerte

ungefähr bis zum Jahre 1747, dann erlangte das Experiment, besonders durch die Arbeiten auf dem Gebiete der Reibungselektricität eine neue Bedeutung. Die Newton'sche Schule schloss die Hypothese von der Physik aus, und wollte nur die mathematische und empirische Methode gelten lassen.

In der Optik wurde Newton der Gründer der schon von Empedokles im 5. Jahrhunderte v. Ch. geahnten Emissionstheorie des Lichtes. Er war es auch, der zuerst darlegte, dass das weiße Licht aus verschiedenen Farbenstrahlen von verschiedener Brechbarkeit bestehe, und ihn beschäftigte bereits der Gedanke, wie der chromatischen Abweichung bei Linsen abzuhelpen sei. Um den Unvollkommenheiten der dioptrischen Fernröhre in dieser Beziehung zu entgehen, construierte er ein nach ihm benanntes Spiegelteleskop. Die Einführung der Hohlspiegel in die Teleskopie war jedoch nicht Newtons Erfindung, denn schon zu Anfang des 17. Jahrhunderts hatten der Jesuit Zucchi in Italien und im Jahre 1639 Pater Mersenne in Frankreich Hohlspiegel bei Fernröhren angewendet.

Niemand wagte aus Scheu oder Achtung vor dem berühmten Urheber der Emissionstheorie auch nur einen leisen Zweifel in ihre Richtigkeit zu setzen, da trat Christian Huyghens (geb. zu Haag 1629) mit seiner Undulationstheorie auf, welche anfangs völlig unbeachtet blieb (1690), später aber von Euler (1746), Young (1800), Fresnel (1815) und Cauchy (1836) bedeutend gefördert wurde. Dies Verdienst allein würde Huyghens die Unsterblichkeit sichern, wenn er auch nicht andere wichtige Arbeiten auf dem Gebiete der Optik, der Astronomie, ferner über Pendel (er erfand die Pendelubr 1658), über Centrifugalkraft und den Stoß geliefert hätte.

Noch ist aus der Geschichte der Optik zu erwähnen, dass 1621 der Holländer Snellius das Brechungsgesetz, 1665 der Italiener Grimaldi die Interferenz und Beugung der Lichtstrahlen, 1669 Bartolin in Kopenhagen die doppelte Brechung des Lichtes im Kalkspathe entdeckt und 1675 der dänische Astronom Olaf Römer die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmt habe.

Nur auf dem Gebiete der Aërostatik war man bis zum Tode Galileis nicht vorwärts gekommen, man sprach noch

immer von einem Abscheu der Natur vor dem leeren Raum, doch schon ein Jahr nach seinem Tode hat einer seiner bedeutendsten Schüler Toricelli (geb. 1608 zu Faënza) das Vorhandensein des Luftdruckes erkannt. Sein bekannter Versuch führte ihn zur Erfindung des Barometers (1643). Wenige Jahre später wurde durch Otto v. Guericke (geb. 1602) die Luftpumpe erfunden (1650). Die erste eigentliche Compressionspumpe construierte der Engländer Robert Boyle (geb. 1626), welcher die Elasticität der Luft zum Gegenstand vieler Versuche gemacht hatte, und er war der Erste, welcher bewiesen, dass sich die Volumina einer und derselben Luftmasse umgekehrt verhalten wie die Drucke (1660). Dieses Gesetz, welches man später das Mariotte'sche genannt hat und noch so nennt, ist also nicht zuerst von Mariotte aufgefunden worden. Dieser versuchte jedoch bereits eine nützliche Anwendung von demselben zu machen, indem er mittelst desselben das Barometer zum Höhenmessen anwendbar zu machen versuchte, auch bereits den Einfluss der Winde auf den Stand desselben beobachtete.

Die von Boyle zuerst beobachtete Thatsache, dass der Luftdruck auf das Sieden einen großen Einfluss übe, führte den französischen Physiker Denis Papin (geb. 1647) zur Erfindung des Papin'schen Topfes. Auch hat Papin bereits eine Vorrichtung ersonnen, in der schon das Princip der Dampfmaschine liegt.

Überhaupt beschäftigten sich die Physiker des 17. Jahrhunderts vorzüglich mit dem Drucke und der Elasticität der Luft, sowie mit dem Sieden der Flüssigkeiten, und so konnte es nicht ausbleiben, dass man auch dem Wasserdampfe endlich eine größere Aufmerksamkeit zuwendete. Die fortgesetzten Bemühungen, sich die Dampfkraft als bewegende Kraft dienstbar zu machen, führten gegen Ende des 17. Jahrhunderts allmählig zur Construction der Dampfmaschine, denn ihre Erfindung ist, so wie manche andere, nicht mit einem Schlage gemacht worden. Man begann zuerst die Kraft des Dampfes zur Hebung von Wasser aus der Erde, namentlich in Bergwerken, zu benützen. Die erste vollkommene Dampfmaschine ward aber erst im Jahre 1763 durch James Watt (geb. 1736),

nachdem er Messungen der Elasticität des Wasserdampfes angestellt hatte, zu Stande gebracht.

Auf dem Gebiete der Wärmelehre haben wir ferner in dieser Periode die Erfindung des Thermometers (1605), angeblich durch Cornelius Drebbel (geb. 1572) zu verzeichnen. Jedoch liegt die Geschichte der Erfindung dieses wichtigen Instrumentes im Dunklen und man kann nicht mit Bestimmtheit angeben, wer der Erfinder war. Manche schreiben die Erfindung Galilei zu. Jedenfalls war das erste Thermometer ein Luftthermometer.

Fahrenheit (geb. 1686) füllte sein erstes Thermometer mit Weingeist; um das Jahr 1715 gieng er zum Quecksilber über. Die ersten Thermometer hatten noch keine festen Scalenpunkte. Später führten Fahrenheit und Réaumur die noch jetzt gebräuchlichen festen Punkte ein.

Man begann nun auch den meteorologischen Erscheinungen eine größere Aufmerksamkeit zuzuwenden und verfertigte vollkommenere Barometer, übereinstimmende Thermometer, Hygrometer (Feuchtigkeitsmesser) Anemometer (Windmesser) Ombrometer (Regenmesser). Bisher gab es nur Hygroskope, d. h. Apparate, welche wohl ein Mehr oder Weniger der Feuchtigkeit in der Luft angaben, aber keine Messung dieser Feuchtigkeit gestatteten. Sie gründeten sich auf das Vermögen pflanzlicher und thierischer Stoffe, Feuchtigkeit aus der Luft an sich zu ziehen und dadurch entweder an Gewicht zuzunehmen, oder ihre Länge zu ändern. Die ersten wirklichen Messinstrumente für Feuchtigkeitsgrade wurden in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts bekannt, und gründeten sich nicht auf Absorption, sondern auf Condensation der Wasserdämpfe.

Auch in der Lehre von dem Magnetismus und von der Elektrizität finden wir manche Fortschritte. Das verdienstliche Wirken Gilbert's, des Entdeckers des tellurischen Magnetismus reichte auch noch in die ersten Jahre dieser Periode herüber. Französische und englische Gelehrte und vom Jahre 1742 an auch deutsche Physiker experimentierten fleißig auf dem Gebiete der Elektrizität. Im Jahre 1729 begann mit dem Engländer Stefan Gray eine ganz neue Epoche. Er fand vor allem, dass

die durch Reibung in gewissen Körpern erzeugte Elektrizität anderen mitgetheilt werden könne. Er gelangte auch im Vereine mit Wheeler durch Versuche zum Begriffe von guten und schlechten Elektrizitätsleitern. Weiter gelang es dem Franzosen Dufay (geb. 1698) einige wichtige allgemeine Gesetze aufzustellen. Er war der erste, welcher elektrische Funken an elektrisierten lebendigen Körpern wahrnahm. Seine beiden Hauptentdeckungen aber waren, erstlich, dass es zwei verschiedene einander entgegengesetzte Elektrizitäten gibt, welche sich selbst abstoßen, jedoch eine die andere anziehen, und dass die elektrischen Körper alle jene anziehen, welche nicht elektrisch sind, sie jedoch abstoßen, sobald sie ebenfalls mit jenen gleichnamig elektrisch geworden sind. Am Schlusse dieses Zeitraumes begann die Periode der Reibungselektrizität, die bis etwa 1780 dauerte.

Elektrisiermaschinen mit Glascylindern statt der Scheiben, wurden gegen 1743 von den Deutschen Hausen, Winkler und Bose erfunden. Die bequeme und bessere Glasscheibe scheint Ingenhaus um 1764 eingeführt zu haben. Guericke kann nicht leicht als Erfinder der Elektrisiermaschine gelten, da er seine Schwefelkugel, die er mittelst einer durchgesteckten Achse in Drehung versetzte, bloß mit der Hand rieb, und auch kein Conductor vorhanden war.

Gegen Ende des Jahres 1745 wurde durch den Domherrn von Kleist zu Cannin in Pommern und im folgenden Jahre durch Cunäus zu Leyden, welcher letztere von Kleists Versuchen nichts wusste, die Leydnerflasche erfunden. Watsons Versuche im Jahre 1748 führten zu dem Resultate einer unendlich großen Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Elektrizität und von 1747 — 1753 fasste Benjamin Franklin (geb. 1706 zu Boston in Nordamerika) alle Gründe zusammen, welche für die elektrische Natur der Gewitter sprechen und wies dieselbe 1752 mittelst seiner in die Luft aufgelassenen Kinderdrachen nach. So wurde er auch Erfinder des Blitzableiters um 1753.

Auf dem Gebiete der Akustik stellte Mersenne zu Paris Versuche an, und ermittelte 1636 die Gesetze, nach denen die Tonhöhe der Saiten durch die Dicke und Spannung derselben

geändert wird. Überhaupt begann dieser seit Galilei's Zeit im Ganzen wenig cultivierte Zweig der Physik erst am Ende des 17. Jahrhunderts größere Theilnahme zu erregen und namentlich die Aufmerksamkeit der Mathematiker auf sich zu ziehen. Den ersten Impuls zur mathematischen Behandlung der Akustik gab unstreitig Newton durch die Formel für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles (1687). Im Anfange des 18. Jahrhunderts eröffnete der englische Mathematiker Taylor (geb. 1685 bei London) durch seine Arbeit über die schwingenden Saiten der mathematischen Forschung ein ganz neues und weites Feld. Die Akustik wurde mit verhältnismäßig großer Schnelligkeit im Laufe des 18. Jahrhunderts aufgebaut.

Die Astronomie hat infolge des von Newton aufgestellten Gravitationsgesetzes und bei der rasch fortschreitenden Entwicklung der Mathematik einen solchen Grad der Selbständigkeit erreicht, dass sie sich immer mehr von der Physik trennte.

Die Chemie erhob sich erst vom 17. Jahrhunderte ab zur selbständigen Wissenschaft. Auf die alchemistischen Träumereien und die Zeit der Chemiatrik oder der medicinischen Chemie (1525 — 1650) folgte das Zeitalter der phlogistischen Chemie (1650 — 1775), so genannt, weil sie sich vorzugsweise mit der Verbrennung beschäftigte. Man schrieb nämlich allen brennbaren Körpern je nach dem Grade ihrer Verbrennbarkeit einen größeren oder geringeren Gehalt an einem eigenthümlichen Stoffe, Phlogiston genannt, zu, welcher beim Verbrennen der Körper von diesen getrennt werde. Diese Ansicht wurde besonders durch den Chemiker Stahl in Halle (später in Berlin) vertreten (1700.)

## XX. Galilei.

Galileo Galilei wurde am 18. Februar 1564 zu Pisa geboren. Er war der Sohn eines armen Edelmannes, der ein hochgebildeter Musiker war, und als solcher sich einen Ruf erworben hatte. Der junge Galilei wurde von seinem Vater anfangs für ein bürgerliches Gewerbe, später aber wegen seiner ungewöhnlichen Anlagen für das Studium der Medicin bestimmt,

und kam in seinem neunzehnten Jahre an die Universität zu Pisa. Bald jedoch wendete er sich mit vollem Eifer der Mathematik und den Naturwissenschaften, besonders der Experimentalphysik zu, nachdem er die Bekanntschaft mehrerer ausgezeichneten Gelehrter, unter ihnen die des berühmten Kenners der Archimedischen Mechanik Ubaldo del Monte (fälschlich Ubaldi genannt) bei Gelegenheit seiner ersten Versuche mit einer Wasserwage gemacht hatte. Die von ihm erfundene hydrostatische Schnellwage bestand aus einem ungleicharmigen Wagebalken, an dessen längerem Arme ein Laufgewicht und an dem kürzeren der Körper, dessen specifisches Gewicht untersucht werden sollte, angebracht war und so in der Luft und unter dem Wasser gewogen werden konnte.

Seine erste bedeutende Entdeckung machte er 1583 im Dome zu Pisa, indem er die durch einen Zufall veranlassten Schwingungen eines herabhängenden Kronleuchters beobachtete. Er fand, indem er die Schwingungszeit desselben mit seinen Pulsschlägen abzählte, den Isochronismus der Pendelschwingungen, der allerdings nur genähert und für größere Schwingungen nicht mehr genau wahr ist. Dass innerhalb gewisser Grenzen die Schwingungszeit von der Schwingungsamplitude unabhängig sei, erklärte Galilei dadurch, dass er der Erste die Pendelschwingungen als ein Fallen betrachtete. Bei einer größeren Amplitude hat das Pendel allerdings einen größeren Weg zurückzulegen, aber dafür besitzt es eine größere Geschwindigkeit, nämlich jeder Punkt des Bogens bis zum untersten hat jenen Grad der Geschwindigkeit, welchen er erhalten würde, wenn er vertical von derselben Höhe herabgefallen wäre. Da er einsah, dass ein kürzeres Pendel schneller schwinde als ein längeres, so schlug er Pendel zum Gebrauche am Krankenbette vor, um die Geschwindigkeit des Pulses der Kranken zu bestimmen, welches Verfahren die italienischen Ärzte durch einige Zeit beibehielten.

Galilei selbst hat später bei astronomischen und physikalischen Untersuchungen Pendel als Zeitmesser gebraucht. Da sie jedoch das Unbequeme hatten, dass sie die verfllossene Zeit nicht selbständig anzeigten, so verfiel er auf die Idee, das Pendel mit einem Zählwerke zu verbinden. Das Pendel blieb aber schon

aus dem Grunde kein sicheres und bequemes Mittel, die Zeit zu messen, weil es immer wieder von neuem in Bewegung gesetzt werden musste. Dies dauerte so lange, bis Huyghens das Pendel mit der Uhr in Verbindung setzte 1657.

Galilei wurde durch Beobachtungen und eigene Versuche auch zu dem Gesetze geführt, dass die Schwingungszeit eines Pendels von der Substanz und dem Gewichte des schwingenden Körpers unabhängig sei, indem er sich überzeugt hat, dass Pendel von verschiedenem Gewichte oder aus verschiedenem Materiale unter gleichen Winkeln erhoben, in derselben Zeit gleichviel Schwingungen vollendeten. Er hat ferner gefunden, dass sich die Schwingungszeiten verhalten, wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen, aber umgekehrt wie die Schwingungszahlen. Diese Erfahrung benutzte er, um die Höhen der Kirchengewölbe zu messen. Er zählte nämlich die Schwingungen der Lampen, welche an dem obersten Theile der gewölbten Decke befestigt waren, und verglich damit die Schwingungen solcher Pendel, deren Länge bekannt war.

Im Jahre 1589 wurde Galilei von seinem Gönner und Freunde, Marchese Ubaldo del Monte, dem Großherzoge von Toscana, Ferdinand I. aus dem Hause der Medici, empfohlen und erhielt infolge dessen die Professur der Mathematik in Pisa mit einem übrigens nur sehr geringen Gehalte. Hier begann er sofort eine Reihe von Experimenten über die Bewegung und trat als Gegner der aristotelischen Physik, welche in ganz Italien im größten Ansehen stand, öffentlich auf. Namentlich griff er die irrigen Lehrsätze über den freien Fall der Körper an, wodurch er sich besonders in Pisa so viele Feinde zuzog, dass er sein Lehramt daselbst aufgeben musste.

Seit den ältesten Zeiten herrschten über den Fall der Körper sehr irrige Vorstellungen. Die Anhänger der aristotelischen Schule nahmen nämlich an, dass die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers sich zu der Geschwindigkeit eines anderen fallenden Körpers verhalte wie die Gewichte beider Körper. Galilei widerlegte das Irrige dieser Ansichten theils durch Experimente theils durch theoretische Erörterungen. Er ließ von dem schiefen Thurme in Pisa Körper, die im Gewichte sehr ver-

schieden waren, herabfallen, welche zum großen Erstaunen der Zuschauer zu gleicher Zeit den Erdboden erreichten. Die kleine Differenz, die man bemerkte, schrieb Galilei mit Recht dem Widerstande der Luft zu. Er machte darauf aufmerksam, dass ein Körper, wenn er auch ein noch einmal so großes Gewicht habe als ein anderer, nicht deshalb noch einmal so schnell fallen könne, da ja auch eine noch einmal so große Masse bewegt werden müsse. Denkt man sich eine Masse in eine beliebige Anzahl gleicher Theile getheilt, so wird doch offenbar jeder solche Theil gleichzeitig mit den übrigen zur Erde gelangen. Es sei nicht einzusehen, weshalb die Theile in ihrer Vereinigung zu einem Ganzen schneller fallen sollten.

Nachdem Galilei sein Lehramt in Pisa aufgegeben hatte, erhielt er 1592 in seinem 27. Jahre, auf Verwendung Ubaldós, eine Professur der Mathematik an der venetianischen Universität in Padua, wo er nun seine in Pisa angefangenen Arbeiten fortsetzte und mit Kepler einen lebhaften Briefwechsel begann.

Im Jahre 1602 entdeckte er weitere Gesetze des freien Falles, sowie des Falles auf der schiefen Ebene, und stellte das Trägheitsgesetz auf.

Man hatte sich vor Galilei sehr unrichtige Vorstellungen von der Beschleunigung des Falles gemacht. Im allgemeinen war man der Ansicht, dass die Geschwindigkeiten wachsen wie die zurückgelegten Fallstrecken. Galilei hat die Unrichtigkeit dieser Behauptung nachgewiesen und den Satz aufgestellt, dass sich die Geschwindigkeiten nicht wie die zurückgelegten Wege, sondern wie die während des Falles verflossenen Zeiten verhalten. Indem er nämlich voraussetzte, dass der Antrieb zur Bewegung bei dem Falle der Körper in jedem Augenblicke dieselbe Größe beibehält, so schloss er daraus, dass die Geschwindigkeit mit der Zeit gleichmäßig wachsen müsse. Hierbei ward er zur Ergänzung des Trägheitsgesetzes geführt, dass nicht nur kein ruhender Körper ohne eine auf ihn wirkende Kraft in Bewegung kommen könne, sondern dass auch ein sich bewegendes Körper ohne Einwirkung einer Kraft seine Geschwindigkeit weder der Größe noch der Richtung nach ändern könne. Bei dem Falle füge demnach eine constante Kraft in gleichen Zei-

ten dem Körper gleiche Geschwindigkeiten hinzu. Auf die Ursache dieser Kraftwirkung lässt er sich nicht weiter ein. Wie man sich die Neigung der Körper, gegen den Mittelpunkt der Erde zu fallen, erkläre, sei hier nicht nöthig zu untersuchen. Es genüge anzunehmen, dass eine immerwährend gleiche Kraft die fallenden Körper immer gleichviel beschleunige. Da er die Wirkungen der Schwerkraft nur an einem Punkte der Erdoberfläche untersuchte, so gelangte er auch nicht zu der Frage, ob dieselbe an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche gleich groß sei oder nicht. Ebenso hielt er die Schwerkraft in verschiedenen Höhen für constant.

Der Satz, dass die Geschwindigkeiten den Fallzeiten proportional seien, lässt sich direct nicht nachweisen, weil wir nicht imstande sind, in jedem beliebigen Augenblicke die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers zu messen, allein es kann auf indirecte Weise geschehen, indem aus diesem Satze ein anderer abgeleitet werden kann, der einer unmittelbaren Bestätigung durch die Erfahrung fähig ist, nämlich der Satz, dass die Fallstrecken sich wie die Quadrate der Zeiten verhalten. Dieser Satz könnte durch den freien Fall von Körpern erwiesen werden, welche ein bedeutendes specifisches Gewicht haben und von sehr bedeutenden Höhen fallen gelassen werden. Man brauchte dann nur die Fallstrecken und die dazu gehörigen Fallzeiten zu messen. Bei der großen Geschwindigkeit frei fallender Körper ist jedoch ein genaues Resultat kaum zu erreichen. Galilei suchte daher nach einem Mittel die Fallgeschwindigkeit der Körper zu verringern, ohne den Charakter der Bewegung zu ändern, und so entstand sein berühmter Versuch, der noch heute mit dem Namen seines Erfinders bezeichnet wird, nämlich der Galilei'sche Versuch über den Fall auf der schiefen Ebene. Doch musste er früher untersuchen, wie eine solche schiefe Ebene den freien Fall der Körper abändere. Diese Untersuchung geschah mittelst des Pendels. Er fand, dass ein Pendel auf jedem Punkte des Bogens, auf welchem es sich bewegt, denjenigen Grad der Geschwindigkeit besitzen müsse, den es hätte, wenn es vertical von derselben Höhe herabgefallen wäre. Er schloss weiter, dass dasselbe auch stattfände, wenn

jener Bogen in eine gerade Linie übergienge, also ein Körper bei dem freien Falle durch die Höhe einer schiefen Ebene dieselbe Geschwindigkeit wie bei dem Falle über die Länge dieser Ebene erhalte, dass bei verschiedenen schiefen Ebenen von ungleicher Neigung aber gleicher Höhe die Fallzeit in dem Maße zunehme, als eine schiefe Ebene sich mehr gegen den Horizont neigt, weil in demselben Maße eine größere Länge durchlaufen werden muss, damit der Körper dieselbe Geschwindigkeit erhalte wie bei dem Falle durch die Höhe. Er gelangte am Schlusse zu dem Resultate, dass der Fall eines Körpers auf einer schiefen Ebene ganz nach dem Gesetze des freien Falles, nur verlangsamt, vor sich gehe.

Zum Behufe des Experimentes ließ Galilei eine 12 Ellen lange Latte verfertigen und auf der oberen Seite mit einer Rinne versehen, welche gehörig glatt gemacht wurde. In der letzteren Absicht wurde die Rinne mit Pergament belegt. Die Höhe des erhobenen Endes betrug  $\frac{1}{12}$  der Länge der schiefen Ebene, so dass eine in der Rinne herabrollende Kugel eine 12 mal längere Strecke zurücklegen musste, um dieselbe Geschwindigkeit zu erlangen wie bei dem freien Falle. Die Bewegung war also eine 12 mal langsamere. Zum Herabrollen wurden glatte Messingkugeln verwendet.

Da die ganze Rinne durch Striche in gleiche Theile eingetheilt war, so konnte er beobachten, wie viele solcher Theile in einer gewissen Zeit durchlaufen würden. In Ermangelung einer Uhr wurde die Zeit durch die Gewichtsmenge von Wasser gemessen, welches in einem sehr feinen Strahle aus einem größeren Gefäße in ein kleineres floss. Auf diese Weise fand er, dass die Kugel, wenn sie in einer gewissen Zeit einen abgezeichneten Theil der Rinne durchlaufen habe, in der doppelten Zeit sich durch 4 solche Theile, in der dreifachen Zeit durch 9, in der vierfachen durch 16 bewege u. s. f., dass also die vom Anfange der Bewegung an durchlaufenen Wege sich wie die Quadrate der Zeiten verhalten. Daraus ergab sich zugleich, dass die in aufeinander folgenden gleichen Zeiten durchlaufenen Wege wie die ungeraden Zahlen wachsen, denn wenn sich für die Zeiten 1, 2, 3, 4 die Fallräume 1, 4, 9, 16 ergeben,

so sind die Wege in den auf einander folgenden Zeiten 1, 3, 5, 7.

Galilei fand auch durch sorgfältig angestellte Versuche für den Fall der Körper das Gesetz, dass die am Ende der ersten Secunde erlangte Geschwindigkeit doppelt so groß sei, als der in der ersten Secunde zurückgelegte Weg.

Alle angeführten Fallgesetze hat Galilei im Jahre 1602 gefunden; veröffentlicht wurden sie jedoch erst 1638. Da er bei seinen Versuchen Körper von Messing, also von großem specifischen Gewichte verwendete, so konnte der Widerstand der Luft vernachlässigt werden.

Auch bezüglich der geradlinigen gleichförmigen Bewegung berichtete er den großen Irrthum des Aristoteles, welcher dieselbe durch eine stete Einwirkung der bewegenden Kraft erklärt, und angenommen hatte, dass ein Körper bei der geradlinigen Bewegung nur dadurch zur Ruhe komme, dass die bewegende Kraft erlösche, sowie z. B. die Wärme aus einem Körper entweicht. Galilei stellte die richtige Behauptung auf, dass wohl eine Kraft die Bewegung veranlasst, dass jedoch während dieser Bewegung keine Kraft mehr auf den Körper einwirkt, sondern dass er vermöge der Trägheit seine Bewegung fortsetzt, bis er durch Gegenkräfte oder Hindernisse in seiner Bewegung aufgehalten wird.

Wir verdanken Galilei auch den wichtigen Satz von dem Parallelogramme der Kräfte. Allerdings findet man, wie wir bereits an den betreffenden Stellen hervorgehoben haben, Andeutungen dieses Satzes für den Fall der Rechtwinkligkeit der Kräfte sogar schon bei Aristoteles, ferner bei Stevin für ein Kräftedreieck, aber dieser Satz wurde nur in statischer Beziehung betrachtet und niemand vor Galilei hat denselben so vollständig erfasst und zur Erklärung zusammengesetzter Bewegungen benützt.

Galilei unternahm es auch, das Problem der Wurfbewegung, die Zusammensetzung einer gleichförmigen und einer beschleunigten Bewegung zu lösen. Er behandelt am ausführlichsten den horizontalen Wurf, wobei er von dem Grundsatz ausgeht, dass die Schwerkraft auf einen geworfenen Körper

genau ebenso wirke, wie auf einen ruhenden oder freifallenden. Wird ein Körper horizontal geworfen, so hat er infolge der Wurfkraft das Bestreben in der Richtung des Wurfes in gerader Linie fortzugehen und abgesehen von dem Luftwiderstande in gleichen Zeiten gleiche Wege zurückzulegen. Zugleich erhält er aber infolge der Schwerkraft eine beschleunigte Fallbewegung. Da nun die Wirkungen dieser beiden Kräfte sich in jedem Augenblicke verbinden, so entsteht eine krummlinige Bewegung. Da sich bei derselben die Quadrate der horizontalen Ordinaten wie die verticalen Abscissen verhalten, so ist die Wurflinie beim horizontalen Wurf eine Parabel, deren Scheitel im Anfangspunkte der Bewegung liegt und deren Achse gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet ist.

Für einen schief gerichteten Wurf zeigte Galilei, dass dadurch im Wesentlichen nichts geändert und von dem geworfenen Körper ebenfalls eine Parabel beschrieben wird, welche jedoch eine andere Lage hat. Er bestimmte auch für verschiedene Elevationswinkel des Wurfes die entsprechenden Wurfweiten und fand, dass bei einer Elevation von  $45^\circ$  die Wurfweite am größten sei. Obwohl er bei seinen Bestimmungen den Luftwiderstand vernachlässigte, so sah er doch ein, dass durch denselben die Wurflinie bedeutend abgeändert werden könne, und dass deshalb die ballistische Curve in ihrem absteigenden Aste steiler sei als in ihrem aufsteigenden.

Er erkannte ferner den verticalen Wurf aufwärts als eine gleichförmig verzögerte Bewegung und bestimmte die Höhe, bis zu welcher ein vertical aufwärts geworfener Körper emporsteigt.

Zu den bisher geschilderten Leistungen Galilei's, welche die Grundlehren der heutigen Mechanik bilden, gehört auch seine wenngleich noch beschränkte Aufstellung des Satzes von der virtuellen Geschwindigkeit. Wie wir bereits erwähnt haben, wusste schon Aristoteles, dass zwei Gewichte, welche an einem Hebel einander das Gleichgewicht halten, wenn sie sich überhaupt bewegen, sich mit solchen Geschwindigkeiten bewegen, die sich verkehrt wie diese Gewichte verhalten. Ubaldo del Monte hat in seiner 1577 erschienenen Mechanik die Theorie

der Maschinen vervollkommnet, indem er sie alle auf den Hebel zurückführte. Durch die Generalisation der Eigenschaft des Hebels gelangten die Mathematiker zu dem Satze, dass man bei Hebung eines Gewichtes durch eine Maschine immer soviel an Zeit verliert, als man an Kraft gewinnt; das gehobene Gewicht bewegt sich nämlich desto langsamer, je größer es als die Kraft ist. Dies setzte Galilei in seiner im Jahre 1592 erschienenen Abhandlung „über die Wissenschaft der Mechanik“ klar auseinander.

Der Satz, welcher das „Princip der virtuellen Geschwindigkeiten“ genannt wird, sagt nach Galilei, dass das allgemeine Gesetz des Gleichgewichtes darin bestehe, dass bei jeder Maschine die Kräfte, die einander das Gleichgewicht halten, sich unter einander verkehrt verhalten wie ihre virtuellen Geschwindigkeiten, zerlegt nach den Richtungen dieser Kräfte. Unter virtueller Geschwindigkeit ist diejenige zu verstehen, welche ein im Gleichgewichte befindlicher Körper im ersten Momente, in welchem das Gleichgewicht gestört wird, annimmt oder anzunehmen geneigt ist. Dieses Princip, welches später noch weiter entwickelt wurde, hatte einen vortheilhaften Einfluss auf den Fortgang der mechanischen Wissenschaften und rief eine bessere Einsicht in die Wirkungen der Maschinen hervor. Auch führte es zu dem Begriffe des Momentes, unter welchem Worte man das Product des Gewichtes in die Geschwindigkeit verstand.

Wenn in einer Maschine ein Gewicht von 3 Kilogramm auf der einen Seite, einem Gewichte von 4 Kilogramm auf der anderen Seite das Gleichgewicht hält und wenn dann das erste Gewicht 4 Decimeter, das andere in derselben Zeit nur 3 Decimeter Weg macht, so ersieht man (da  $3 \times 4 = 4 \times 3$  ist), dass das Product des Gewichtes in die Geschwindigkeit oder das Moment dasselbe ist, so oft zwei Gewichte sich das Gleichgewicht halten und man kann das Gesetz des Gleichgewichtes auch so aussprechen: Für zwei in einer Maschine im Gleichgewichte stehende Körper muss, wenn dieselben in Bewegung gesetzt werden, das Moment des einen Körpers gleich sein dem Momente des anderen Körpers.

Hier wird der Begriff von Moment in Beziehung auf die virtuelle Geschwindigkeit genommen, aber man hat bald darauf denselben Begriff auch auf wirkliche Geschwindigkeiten angewendet.

Seit Aristoteles waren Ausdrücke wie „Moment,“ „Kraft“ u. s. w. die Quellen vieler Irrthümer und falscher Vorstellungen gewesen. Der Ausdruck „Moment“ wurde zur Bezeichnung der Kraft eines bewegten Körpers zu einer Zeit eingeführt, in welcher man von dem Worte „Kraft“ selbst noch keinen bestimmten richtigen Begriff hatte. Galilei versteht unter Moment ganz allgemein die Größe der unter gegebenen Umständen zur Wirkung kommenden Kraft. Als er aber später zu einer größeren Klarheit in seinen Ansichten gelangt war, so setzte er fest, dass in demselben Körper das Moment der Geschwindigkeit desselben proportional sei, und daraus ließ sich dann leicht ableiten, dass bei verschiedenen Körpern das Moment dem Producte der Geschwindigkeit in die Masse dieser Körper proportional sein müsse.

Eine sehr sonderbare und zwar irrige Ansicht hatte Galilei bezüglich der Ursache der Cohäsion fester Körper. Galilei, sonst der eifrigste Gegner des Aristoteles, stimmt hier mit demselben überein. Letzterer behauptete, es müsse, wenn Körper zerreißen sollen, wenigstens für einen Augenblick zwischen den Theilen ein leerer Raum entstehen. Da aber die Natur einen „Abscheu vor dem leeren Raume“ (horror vacui) habe, so wirke sie der Trennung der Körper entgegen. Diese Ansicht nahm Galilei an und bildete sie weiter aus. Nach ihm hat die Verschiedenheit der Festigkeit der Körper ihren Grund in der Verschiedenheit der Poren im Inneren des Körpers. Je mehr leere Räume, die aber unendlich klein gedacht werden müssen, sich im Inneren eines Körpers befinden, desto stärker ist das Bestreben der Natur, in dieselben Materie hinein zu pressen, desto fester ist der Körper. Flüssigkeiten sind nach Galileis Theorie solche, bei denen die Poren ausgefüllt sind, weshalb die Theilchen nicht durch den horror vacui an einander gepresst werden.

Dieser horror vacui bei Galilei ist jedoch nicht mehr der alte des Aristoteles; er ist nicht mehr ein unbegrenztes Wider-

streben der Natur, sondern eine ganz bestimmte Kraft, deren Größe er durch Saugpumpen bestimmte. Nach der gewöhnlichen Erzählung sollen Florentiner Brunnenmacher bei Anlegung einer neuen Pumpe bemerkt haben, dass das Wasser nicht höher als 18 braccia (italienische Ellen, etwa 10 Meter) gehoben werden konnte. Wurde der Stempel in der Pumpe höher gehoben, so folgte das Wasser nicht mehr, sondern blieb unter demselben stehen. Galilei habe sich durch Untersuchung der Pumpe überzeugt, dass an derselben kein Fehler eingetreten sei, und habe endlich erklärt, dass diese Erscheinung dem horror vacui zugeschrieben werden müsse, der bei jener Höhe seine Grenzen erreiche, indem er nur einer Wassersäule von 18 braccia das Gleichgewicht zu halten imstande sei. Dass Galilei die Ursache dieser Erscheinung nicht in dem Drucke der äußeren Luft suchte, ist um so merkwürdiger, als er überzeugt war, dass die Luft ein Gewicht habe, und er sogar ein Mittel angab, das specifische Gewicht der Luft zu bestimmen. Man solle nämlich eine Flasche mit Luft wägen, dann nachdem man sie durch Erwärmen luftleer (wohl nur luftverdünnt) gemacht und verschlossen, abermals wägen. Der Unterschied der beiden Gewichte gibt an, wie viel die in der Flasche enthaltene Luft wiegt. Um nun das Gewicht der Luft auf das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser zu beziehen, d. h. um das specifische Gewicht der Luft zu finden, sollte man die Flasche mit Wasser füllen, sorgfältig wägen und von dem so erhaltenen Gewichte das der leeren Flasche abziehen. Obwohl dieses Verfahren ein ganz richtiges ist, so konnte auf diese Weise, da man die Luftpumpe noch nicht kannte, kein genaues Resultat erzielt werden.

Ehe wir zu den optisch-astronomischen Leistungen Galileis übergehen, müssen wir noch seine Thätigkeit auf dem Gebiete der Akustik hervorheben. Die Akustik war bisher fast gar nicht von dem neuen Geiste berührt worden, was um so wunderbarer erscheint, da das Alterthum viele Anknüpfungspunkte bot und in der Praxis sich die Musik reich entwickelt hatte. Erst Galilei nahm die akustischen Untersuchungen wieder auf, deren Resultate sich nicht durch ihre Quantität, wohl aber

durch ihre Wichtigkeit auszeichnen. Er fand das Gesetz, dass die Tonhöhe von der Anzahl der Schwingungen abhängig sei, welche die tönenden Körper in gleichen Zeiten machen und zwar so, dass die Schwingungszahl bei der Octav doppelt, bei der Quinte  $\frac{3}{2}$  und bei der Quarte  $\frac{4}{3}$  mal so groß sei, als bei dem Grundtone. Aus seinen Untersuchungen ergab sich ferner, dass bei Saiten von gleicher Dicke, gleicher Substanz und Spannung sich die Schwingungszahlen umgekehrt wie die Längen der Saiten verhalten. Bei gespannten Saiten war es nicht schwer sich zu überzeugen, dass der Ton durch ein Ausweichen der Saite nach entgegengesetzten Richtungen von der Ruhelage hervorgebracht werde. Da nun um jene Zeit Galileis Versuche über Pendelschwingungen stattgefunden hatten, so lag es nahe, auch die näheren Umstände der Schwingungen tönender Saiten zu untersuchen, was namentlich durch Galileis Schüler Merseune geschah.

Indem Galilei dem unfassbaren physiologischen Moment der Tonhöhe die mathematisch bestimmte Schwingungszahl substituierte, legte er den Grund zu einer physikalischen Behandlung der Akustik.

Galilei hat auch zum ersten mal stehende Wellen beobachtet, freilich ohne diesen Ausdruck zu gebrauchen. Er hat nämlich beobachtet, dass in einem zum Theile mit Wasser gefüllten Glase, wenn man dasselbe mit nassem Finger am Rande streicht, so dass es tönt, sich an der Oberfläche des Wassers ringförmige concentrische Erhöhungen und Vertiefungen bilden, die stehen bleiben, so lange derselbe Ton anhält, sich aber verdoppeln, wenn der Ton des Glases zufällig in die höhere Octav überspringt.

Obwohl die bisher kurz angeführten Arbeiten Galileis namentlich auf dem Gebiete der Mechanik weit mehr seinen genialen Geist und seine tiefe Forschungsgabe bekunden, als seine optisch-astronomischen Leistungen, so haben ihm doch letztere mehr Ruhm und Ansehen verschafft, als jene.

Im Frühjahr 1609 machte Galilei eine Reise nach Venedig. Dort hörte er von den kurz zuvor (1608) in Holland erfundenen Fernrohren, welche aus einem convexen Objectiv und

einem concaven Ocular bestanden. Allein dieselben waren noch ziemlich unvollkommen, dienten mehr zur Unterhaltung als zu einer nützlichen Verwendung. Es machte Vergnügen, von Kirchthürmen aus Entferntes gleichsam näher rücken und sehen zu können. Wer eigentlich in Holland die große Erfindung gemacht, ob einer von den Brillenmachern Zacharias Jansen, Jacob Metius und Hans Lippershey (Lippersheim) ist nicht mehr zu ermitteln. Nach einer sehr verbreiteten Erzählung, welche jedoch der Phantasie ihre Entstehung verdanken mag, sollen sogar die Kinder des Brillenmachers Jansen zu Mittelburg, indem sie beim Spielen mit Glaslinsen durch mehrere von einander entfernt gehaltene Gläser den Hahn des Kirchthurmes näher und vergrößert erblickten, bei der Erfindung des Fernrohres theiligt gewesen sein.

Galilei kam auf den großartigen Gedanken, ein solches Instrument auf den Himmel anzuwenden und mit Hilfe desselben in die Räume der Sternwelt vorzudringen. Aber zu einem solchen Zwecke musste das Fernrohr bedeutend verbessert werden. Sogleich nach seiner Rückkehr nach Padua gieng Galilei ans Werk und schon im August desselben Jahres konnte er sein erstes Fernrohr dem Senate von Venedig übersenden, welches mehr leistete, als das in Holland gefertigte, welches ebenfalls dem Senate zugekommen war. Galileis Fernrohr war mit den berühmten venetianischen Gläsern versehen; es gewährte eine 30 malige Vergrößerung, während die Holländer kaum eine fünffache Vergrößerung zu Stande brachten. Auch gab es die Bilder mit einem solchen Grade der Deutlichkeit, dass es zu astronomischen Beobachtungen brauchbar war. Ob Galilei das Fernrohr ganz unabhängig erfunden, ob er wenigstens eine Beschreibung des in Holland gefertigten habe benützen können, oder ob ihm gar ein solches in Venedig zur Hand gekommen ist, konnte bis jetzt nicht mit Sicherheit ermittelt werden. Soviel lässt sich nicht läugnen, dass er das Instrument auf eine hohe Stufe der Vollkommenheit erhoben und demselben eine geniale Anwendung gegeben hat.

Der Senat belohnte ihn dafür sehr freigebig, er verlieh ihm ein Jahresgehalt von eintausend Goldgulden, den höchsten

Betrag, den bisher irgend ein Professor der Mathematik erhalten hatte. Kurz darauf verfertigte Galilei ein zweites, noch bedeutend besseres Instrument, und mit diesem machte er seine berühmten astronomischen Entdeckungen.

Nur zehn Monate nach der Construction seines Fernrohres gab er seinen „Sternenboten“ (nuntius sidereus) heraus, der eine Menge neuer Entdeckungen am Himmel enthielt. Er sah als der erste mit seinem Fernrohre die Berge und Ebenen des Mondes, er gab zur Höhenmessung der Berge desselben ein einfaches Verfahren an und zeigte, dass die Mondberge verhältnismäßig viel größer seien, als die der Erde, er erkannte, dass das Licht des Mondes nur von der Sonne geborgt sei, dass der Mond beständig dieselbe Hälfte seiner kugelförmigen Gestalt der Erde zuwende. Er fand in manchen Gegenden des Himmels, die für das unbewaffnete Auge sehr arm an Sternen erschienen, zahllose kleine Sterne. Die Milchstraße, welche Aristoteles für eine atmosphärische Erscheinung gehalten hatte, löste sich im Fernrohre in eine unzählbare Menge scheinbar enge zusammengedrängter Fixsterne auf. Die Planeten unterschieden sich im Fernrohre durch ihr ruhiges Licht von den funkelnden Fixsternen.

Eine der bedeutendsten Entdeckungen Galileis am Himmel war die Entdeckung der Jupitermonde. Er erblickte nämlich am 7. Jänner 1610 drei kleine Sterne in der Nähe des Jupiter, von denen er noch im Laufe der Nacht bemerkte, dass sie sich um diesen Planeten bewegen. Schon am 13. desselben Monats entdeckte er den vierten Stern. Er stand nicht an, sie für Satelliten Jupiters zu erklären und nannte sie „sidera medicea“ zu Ehren des Hauses Medici, welches in seinem Vaterlande Toscana regierte. Galilei beobachtete auch die Verfinsterungen dieser Monde, sobald sie bei ihrem Umlaufe um den Jupiter in den Schatten traten, den der große Körper dieses Planeten hinter sich wirft. Diese Finsternisse gaben uns, wie ebenfalls Galilei schon bemerkte, die erste Auflösung des für die Nautik und für die gesammte mathematische Geographie so wichtigen Problems, die Länge des Beobachtungsortes auf der Erde oder auf hoher See zu finden. Bekanntlich verdanken wir ferner die Kenntnis der Geschwindigkeit des Lichtes den Beobachtungen

der Verfinsterungen dieser Monde, indem 65 Jahre später (1675) der dänische Astronom Olaus Römer diese Geschwindigkeit auf astronomischem Wege bestimmte.

Die Veröffentlichung dieser Entdeckungen machte ungeheures Aufsehen, vermehrte aber die Anzahl der Feinde Galileis. Einige suchten dessen Verdienste um diese Entdeckungen vollständig in Abrede zu stellen, indem sie behaupteten, dass alle diese Erscheinungen Trugbilder seiner erregten Phantasie seien. Andere erklärten ihn für einen eitlen Thoren, für den die Natur sich herablassen sollte, dem Jupiter vier Monde zu geben, bloß damit Galilei seinem Beschützer und Gönner schmeicheln könne.

Der Großherzog Cosimo II. berief ihn in demselben Jahre (1610) unter sehr vortheilhaften Bedingungen an seinen Hof. Er ernannte ihn zum ersten Professor der Mathematik in Pisa mit einem Jahresgehälte von 1000 Scudi ohne die Verpflichtung in Pisa zu wohnen und sein Lehramt auszuüben. Galilei verließ nun die Dienste der venetianischen Republik und gieng mit dem Titel eines Mathematikers des Großherzogs schon im Juli 1610 nach Florenz. Jetzt konnte Galilei seine ganze Zeit rein wissenschaftlichen Arbeiten widmen, und es folgten den bisher erwähnten neue astronomische Entdeckungen.

Indem er sein Fernrohr auf den Saturn richtete, bemerkte er sogleich, dass dieser von der runden Gestalt der übrigen Himmelskörper abweiche und mehr eine elliptische Gestalt zeige. Er behauptete, dass Saturn aus drei aneinander befestigten Körpern bestehe, indem er an zwei einander entgegengesetzt befindlichen Seiten mit zwei kleinen Planeten verbunden sei. Er erklärte diese Meinung selbst für sonderbar und verließ sie auch später wieder, als er einige Jahre darauf den Saturn ganz rund erblickte. Erst im Jahre 1659 wurde von Huyghens, diesem vortrefflichen Astronomen und großen Beobachter die wahre Gestalt dieses Planeten bekannt gemacht, so wie er sie durch das von ihm selbst gefertigte, für seine Zeit sehr gute Fernrohr im Jahre 1655 gesehen hatte. Er hat gezeigt, dass die Kugel des Saturn ringsum von einem breiten freischwebenden Ringe umgeben ist.

Im September 1610 entdeckte Galilei die Lichtphasen der Venus und des Mars. Es war dies offenbar auch eine Bestätigung des copernicanischen Systems. Im October desselben Jahres sah er zum ersten Male Sonnenflecke und stellte darüber sogleich im Vergleiche mit anderen sehr annehmbare Ansichten auf. Galilei, dem vorzüglich die Veränderlichkeit dieser Sonnenflecken auffiel, hielt sie für Wolken, welche in der Sonnenatmosphäre schwimmen.

Später entwickelte sich wegen der Priorität der Entdeckung der Sonnenflecken zwischen mehreren Astronomen ein unerquicklicher Streit. Ein solcher entstand auch zwischen Galilei und dem Jesuiten Scheiner, welcher Professor in Ingolstadt war, indem jener den anderen des Plagiats beschuldigte. Wie dies auch sein mag, Scheiner hat wenigstens die Sonnenflecken mit fortgesetztem Fleiße durch neun Jahre beobachtet.\*)

Mit dem Jahre 1611 begann für Galilei eine Reihe von Widerwärtigkeiten und Kränkungen. Er gieng im März dieses Jahres nach Rom, wo er verschiedene einflussreiche Personen mit seinen Entdeckungen bekannt machte. Diese, darunter auch mehrere Cardinäle, haben seine astronomischen Entdeckungen in wohlwollender Weise beurtheilt. Er fand sogar in Rom neue Freunde. Doch zog ihm später der große Eifer, mit welchem er die copernicanische Lehre vertheidigte, auch viele Gegner zu.

In Übereinstimmung mit dem dogmatischen Geiste des Mittelalters, der damals noch über Italien lagerte, galt es für ein Verbrechen, althergebrachte Meinungen zu stören. Der Satz, dass die Erde in der Mitte der Welt ruhe, war nicht bloß ein Theil der damals herrschenden Schulphilosophie, sondern er war auch, so wurde es wenigstens angenommen, durch die Bibel selbst bestätigt. So lange diese Lehre auf einen kleinen Kreis

---

\*) Der italienische Gelehrte, Mr. Govi, hat in neuester Zeit der französischen Akademie der Wissenschaften eine Abhandlung überreicht, in welcher er auf Grund einer im Jahre 1610 erschienenen Druckschrift nachweist, dass Galilei bereits damals dazu gelangt war, das sogenannte zusammengesetzte Mikroskop zu erfinden, mit welchem er, wie er angibt, die Bewegungs- und Sinnesorgane der kleinsten Thiere beobachten konnte.

von Astronomen und Naturkundigen überhaupt beschränkt blieb, kümmerte man sich wenig um dieselbe und so kam es, dass etwa sieben Decennien verflossen waren, seit Copernicus sein weltberühmtes Werk geschrieben, ohne dass es außerhalb dieses Kreises eine große Erregung hervorgerufen hatte. Als jedoch Galilei jedermann mit großer Bereitwilligkeit seine neuen Entdeckungen mittheilte, als er anfieng, öffentlich für das Welt-system des Copernicus in die Schranken zu treten, da begannen die Dominikaner den Angriff gegen den Vorkämpfer dieses Systems und seine neue Entdeckungen.

Galileis erster und eigentlicher Ankläger war der Dominikaner Caccini, welcher die copernicanische Lehre als ketzerisch bezeichnete und 1614 in Florenz selbst gegen den großherzoglichen Mathematiker predigte, der sich offen für die Bewegung der Erde erklärte.

Der Kampf spielte bald auf das kirchliche Gebiet hinüber und wurde um so heftiger, als ein Augustiner und der Carmeliter Foscarini den Galilei öffentlich vertheidigten, indem sie behaupteten, dass aus der Bibel kein Beweis gegen die Bewegung der Erde genommen werden könne.

Galilei fand es endlich für nothwendig, im Jahre 1615 wieder nach Rom zu gehen, und sich dort persönlich bei dem Papste Paul V. zu rechtfertigen und zugleich Denkfreiheit auszuwirken. Dieser nahm ihn sehr freundlich auf, übergab jedoch die Angelegenheit der sogenannten „Congregation des Index,“ welche am 20. Februar 1616 ein Decret erließ, durch welches alle Bücher verboten wurden, welche behaupteten, die Bewegung der Erde sei nicht der heiligen Schrift zuwider.

Unmittelbar gegen Galilei wurde noch nichts verfügt und der Papst versprach ihm ungestörten Frieden, wenn er das copernicanische System nicht weiter öffentlich lehren würde. Galilei zog sich dann nach Florenz zurück, ließ dort dem Verbote gemäß die Beschäftigung mit dem Himmel bei Seite und schwieg gänzlich bezüglich der Bewegung der Erde. Er wurde auch von 1616 bis 1630 nicht weiter beunruhigt. In ländlicher Abgeschiedenheit lebte er auf seiner Villa bei Arcetri, häufig bereits sehr kränklich. Im Jahre 1623 hatte Urban VIII. den

päpstlichen Thron bestiegen. Dieser war ein aufrichtiger Gönner und schon als Cardinal ein persönlicher Freund Galileis. Der letztere beeilte sich nach Rom zu gehen, um sich dem Papste vorzustellen, Urban VIII. nahm ihn sehr gütig auf und Galilei fasste nun neuen Muth zur Vollendung seines Werkes: „Dialoge über das ptolemäische und copernicanische Weltsystem.“ Während dieser Arbeit unternahm er noch zwei Reisen nach Rom (1628 und 1630). Dieses Buch, welches 1632 in Florenz erschien, war eine Vergleichung der beiden Systeme, eingekleidet in die Form eines Gespräches zwischen drei Personen, einem Vertheidiger des ptolemäischen, einem Anhänger des copernicanischen Systems und einer dritten Person, dem sogenannten Zwischenredner, welcher beide Ansichten vergleicht. Natürlich wird der Vertheidiger des Ptolemäus durch Ernst und Scherz bedeutend in die Enge getrieben, und der Anhänger des Copernicus geht aus dem Kampfe siegreich hervor.

Gegen diese neue Vertheidigung des Copernicus erhob sich nun in Rom ein gewaltiger Sturm, ja man wusste selbst den Papst gegen seinen Schützling umzustimmen, indem man ihm einredete, er selbst sei unter der Gestalt des Simplicius, des Vertheidigers des Ptolemäus, gemeint und so öffentlich lächerlich gemacht. Urban VIII. wurde hierauf Galileis erbittertster Gegner. Man setzte in Rom eine Commission aus lauter Feinden Galileis zur Untersuchung der Sache ein, und im November 1632 wurde Galilei aufgefordert, in Rom zu erscheinen. Der nahezu siebzigjährige kränkliche Mann kam im Februar 1633 nach Rom, wo man ihm in dem Palaste des toscanischen Gesandten Nicolini seine Wohnung anwies. Am 22. Juni wurde er vor Gericht gestellt und blieb diesen Tag und die folgende Nacht im Gebäude der Inquisition. Am andern Morgen führte man ihn in das Dominikanerkloster Alla Minerva, wo er den von ihm verlangten Widerruf leistete. Er wurde dann in die Villa Medici und nach einiger Zeit in den erzbischöflichen Palast zu Siena verwiesen, von wo er sich nicht entfernen durfte. Im Jahre 1634 erhielt er die Erlaubnis, nach Arcetri zurückzukehren, auch zuweilen nach Florenz zu gehen, doch unter beständiger Aufsicht seiner früheren Richter. Da ihm

die Inquisition die Beschäftigung mit der Astronomie unmöglich gemacht hatte, so widmete er sich wieder der Physik und namentlich der Mathematik.

Im Jahre 1634 erschien seine Theorie der Mechanik und 1638 sein bedeutendstes Werk „Discorsi e dimostrazioni“. Da diese Schriften in Italien nicht erscheinen durften, so gab erstere der französische Physiker Mersenne in französischer Übersetzung heraus, letztere erschien in Leyden.

Galilei war in seinen letzten Lebensjahren nicht nur sehr kränklich, sondern schwerhörig, und vom Jahre 1637 bildete sich bei ihm der Star auf beiden Augen aus, bis er 1640 gänzlich erblindete. Er starb am 8. Jänner 1642 in seinem 78. Lebensjahre in den Armen seiner beiden Schüler Toricelli und Viviani. Seine Leiche wurde in einer Nebencapelle der Kirche Santa croce in Florenz beigesetzt, jedoch erst 1737 wurde ihm ein Grabmal neben Michel Angelo errichtet. In neuer Zeit hat das geeinigste Italien dem großen Manne in seiner Vaterstadt Pisa ein Denkmal gesetzt.

## XXI. Johannes Kepler.

Der große Astronom und Physiker, auf den das deutsche Volk noch heute mit Stolz als einen der Seinen hinblickt, Johannes Kepler, wurde am 27. December 1571 zu Magstadt, einem Dorfe bei der ehemaligen Reichsstadt Weil im Württembergischen, nach anderen Angaben in dieser Stadt selbst geboren, demnach sieben Jahre nach der Geburt seines berühmten Zeitgenossen Galilei. Die Stadt Weil ist jetzt unbedeutend, sie zählt etwa 2000 Einwohner. Kepler stammte aus einem altadeligen, aber sehr zurückgekommenen Geschlechte von Keppel, welches aus Nürnberg eingewandert und streng lutherisch war. Die Schreibung des Namens ist während der letzten Jahrhunderte in Deutschland eine besonders unbestimmte (Kepler, Keppler, Kheppler). Sein Vater Heinrich Kepler war ein ungestümer, unstäter Mensch, der sein Hab und Gut verkaufen musste und sein Heil in Kriegsdiensten suchte. Er starb auf einem Feldzuge. Die Mutter Katharina war eine

ungebildete Frau, welche weder lesen noch schreiben konnte. Es ist natürlich, dass bei solchen Verhältnissen die erste Erziehung des Knaben sehr vernachlässigt wurde. Sein Schulbesuch war oft unterbrochen, theils durch Krankheiten, denen der von Natur aus schwächliche Knabe häufig unterworfen war, theils dadurch, dass er zu Feldarbeiten, denen er nicht gewachsen war, angehalten wurde. Wegen seines schwächlichen Körperbaues wurde er endlich 1583 für das Studium der Theologie bestimmt und erhielt die dazu nöthige Vorbildung in den Klosterschulen zu Adelberg (1584) und Maulbronn (1586). Im Jahre 1589 trat er in das evangelische Stift der Universität Tübingen, wo er auf öffentliche Kosten unterrichtet wurde. Die ersten zwei Jahre waren den philosophischen Wissenschaften gewidmet. Hier wirkte als Lehrer der Mathematik und Astronomie der berühmte Michael Mästlin, welcher in dem jungen Kepler das auffallend große Talent für diese beiden Wissenschaften entdeckte. Noch durfte das copernicanische Weltsystem nicht öffentlich gelehrt werden, noch musste auch Möstlin in seinen öffentlichen Vorlesungen gegen seine Überzeugung das ptolemäische System lehren, aber im engeren Kreise weniger auserlesener Schüler, zu denen auch Kepler gehörte, besprach er die Richtigkeit der Lehre des Copernicus. Kepler wurde für die neue Lehre so begeistert, dass er mehrere seiner Studien-genossen durch Privatunterricht mit derselben bekannt machte und dieselbe schon als Student nicht nur durch Wort, sondern auch durch Schrift vertheidigte. Dadurch machte er sich missliebig und konnte die drei folgenden Universitätsjahre, welche im Tübinger Stifte dem Studium der Theologie gehören sollten, in Tübingen nicht mehr vollenden. Er nahm daher eine Lehrstelle der Mathematik, welche ihm durch Verwendung seines Lehrers Möstlin von den steiermärkischen Ständen an der höheren protestantischen Bildungsschule in Graz angeboten wurde, im Jahre 1594 gerne an. Gegen diese Lehranstalt sollte die im Jahre 1586 im katholischen Sinne errichtete Universität ein Gegengewicht bilden. Zu seinen Amtsgeschäften neben den Vorlesungen gehörte auch die Abfassung des steirischen Kalenders, in welchem das sogenannte Prognostikon, d. h. auf Astro-

logie gegründete Prophezeiungen enthalten sein musste. Obwohl Kepler selbst nicht viel von denselben hielt, so verschafften sie ihm doch bei allen Ständen, vom Fürsten bis zum Bauer, großes Ansehen, da die in seinem ersten Kalender für 1595 gemachten Prophezeiungen zufällig eintrafen. Der gelehrten Welt aber wurde er zuerst durch sein im Jahre 1596 in Tübingen erschienenenes Werk, welches den Titel führte „Prodromus oder *Mysterium cosmographicum*“, als geistreicher Denker bekannt. In diesem Buche nimmt Kepler das copernicanische System in seinen Schutz, wobei er mit großem Scharfsinne zu Werke gieng, aber auch viel Phantasie vorherrschen ließ. Diese Schrift, welche er den Astronomen der damaligen Zeit übersendete, verschaffte ihm großen Ruhm und setzte ihn mit Tycho und Galilei in Verbindung.

Als Kaiser Ferdinand I., der Bruder Karl's V., seine Länder unter seine drei Söhne theilte, erhielt der jüngste, Karl, Steiermark, Kärnten, Krain, Istrien, Görz und Triest. Dieser Fürst gieng anfangs mit Strenge gegen den Protestantismus in seinen Ländern vor, ließ aber später einige Duldung walten. Dasselbe Verhältnis blieb auch nach seinem 1590 erfolgten Tode unter der Vormundschaft für seinen noch unmündigen Sohn Ferdinand, den nachmaligen Kaiser Ferdinand II. Als jedoch dieser von den gelehrten Jesuiten erzogene, an der streng katholischen Universität zu Ingolstadt unterrichtete Fürst die Regierung antrat, fühlte er sich verpflichtet, die katholische Religion in der Steiermark wieder zur einzigen Landesreligion zu erheben. Er gieng dabei unerschütterlich zu Werke und verordnete, dass alle lutherischen Kirchen- und Schulübungen im ganzen Lande unterbleiben, dass die Stiftschule in Graz und alle übrigen lutherischen Schulen geschlossen werden, die evangelischen Prediger binnen vierzehn Tagen ganz Innerösterreich verlassen und alle Einwohner zur katholischen Kirche zurückkehren, diejenigen, welche den alten Glauben nicht annehmen, sollen ihre Habe verkaufen und mit dem gelösten Gelde nach Abzug des zehnten Theiles die Erbländer verlassen. Auch Kepler wurde vertrieben und floh nach Ungarn. Zwar erwirkten die Stände Steiermarks bald darauf für ihn die Erlaubnis zur

Rückkehr. Aber sein Aufenthalt in Graz war von keiner längeren Dauer mehr. Als er nach Graz zurückgekehrt war, hatte die Stiftschule keine Schüler mehr, die Protestantenverfolgung wurde verschärft und er erhielt in der Mitte des Jahres 1600 die Aufforderung, das Land zu verlassen. Nach einem vergeblichen Versuche in Tübingen einen Lehrstuhl zu erhalten, wendete er sich an Tycho Brahe in Prag, welcher ihm an der dortigen Sternwarte die Stelle eines Hilfsarbeiters verschaffte.

Kepler erhielt zwar den Titel eines kaiserlichen Mathematikers, war aber in der That dem Tycho ganz untergeordnet und selbst in Geldsachen von diesem abhängig. Dies führte bei dem herrischen Charakter Tycho's, da zudem die Zahlungen an Kepler häufig nicht geleistet wurden, zu Misshelligkeiten zwischen beiden Gelehrten und machte Kepler den Aufenthalt in Prag nicht angenehm. Als Tycho Brahe schon im Jahre 1601 starb, wurde Kepler an dessen Stelle vom Kaiser Rudolf II. zum kaiserlichen Hofastronomen ernannt, doch änderte sich deshalb seine traurige materielle Lage keineswegs. Wegen der schlechten Finanzverwaltung am kaiserlichen Hofe konnte er seine Besoldung nur theilweise und mit steten Unregelmäßigkeiten erhalten. Ebenso giengen ihm nicht rechtzeitig und ungeschmälert die Hilfgelder zu, die er zur Herstellung der zu Ehren des Kaisers benannten Rudolfinischen Sternkarten benötigte. Auch nach dem im J. 1612 erfolgten Tode Rudolfs II., auf welchen Mathias folgte, wurde Kepler's Geldnoth nicht behoben. Ungeachtet des fortwährenden Kampfes mit Nahrungsorgen machte er, wie wir später besprechen werden, während seines Aufenthaltes in Prag seine Hauptentdeckungen (das erste und zweite Kepler'sche Gesetz). Da sich seine Lage nicht besserte, so nahm er eine Lehrstelle am Gymnasium in Linz an, welche ihm die Stände Oberösterreichs angeboten hatten. Nebst dem sollte er auch für den Kaiser die Sterntafeln vollenden und sein Gehalt als kais. Hofastronom fortbeziehen. Dennoch lebte er in Linz nicht sorgenfrei. Sein Gehalt lief nach wie vor schlecht ein und dazu kam noch Familienunglück. Seiner Mutter wurde im Jahre 1620 ein Hexenprocess gemacht und Kepler musste, um sie vor der Tortur zu retten, zu ihrer Verthei-

digung von Linz nach Württemberg eilen, wo er sich deshalb durch 15 Monate aufhielt.

Ungeachtet solcher trauriger Verhältnisse arbeitete Kepler rastlos an seinen Sterntafeln, die er endlich in Linz vollendete verfasste zahlreiche astronomische Schriften und machte in Linz seine dritte große Entdeckung (drittes Kepler'sches Gesetz). Im Jahre 1626 verließ Kepler Linz für immer, da er unter Kaiser Ferdinand II. wegen religiöser Verfolgung seine Stelle aufgeben musste. Er gieng wegen des Druckes seiner Tafeln nach Ulm. Wirklich erschienen dieselben ungeachtet der unzureichenden Geldmittel bereits im folgenden Jahre. Bei Übersendung des Werkes an den Kaiser bat Kepler um Auszahlung der Rückstände, welche schon eine Höhe von 12000 Gulden erreicht hatten. Der Kaiser setzte diese Summe und die Besoldung auf die Einkünfte des an Wallenstein verliehenen Herzogthums Mecklenburg. Wallenstein, ein Freund der Astronomie und noch mehr der Astrologie, versprach die Gelder auszusahlen und berief Kepler zu sich nach Sagan in Schlesien, wo er damals residierte. Als aber Kepler mit seiner Forderung hervortrat und sich nicht als Hofastrolog gebrauchen lassen wollte, so bot ihm Wallenstein, dem er durch seine Geldforderungen lästig wurde, eine wenig einträgliche Professur in Rostock an. Kepler reiste daher im October 1630 zu dem Reichstage nach Regensburg, um dort seine Beschwerde vorzubringen und die Auszahlung dieser Rückstände zu erbitten. Auf der Reise dahin erkrankte er infolge der Anstrengung der Reise und des ihn überall begleitenden Kummers und starb am 15. November 1630, noch nicht 59 Jahre alt.

Der Charakter dieses großen Mannes kann nicht treffender mit wenigen Worten geschildert werden, als dies in Rosenbergers Geschichte der Physik geschieht, indem dieser sagt: „Es gehörte wahrlich nicht nur ein genialer Geist, sondern auch ein großer kräftiger Charakter dazu, um in der immerwährenden Geldnoth, bei drückenden Familienverhältnissen, unter dem Lärm eines großen Krieges und der religiösen Streitigkeiten die Thaten Keplers zu vollbringen. Er war kein Märtyrer, der passiv einige Augenblicke der Qual ertrug, sondern

ein Held, den Jahre der Leiden in seiner Kraft nicht zu brechen vermochten.“

Seinen unsterblichen Ruhm erwarb er sich als der Begründer der Mechanik des Himmels, indem er die drei nach ihm benannten Gesetze aufstellte. Das erste und zweite fand er in Prag 1609, das dritte in Linz 1618. Sie lauten bekanntlich:

1. Die Planeten bewegen sich in Ellipsen, in deren einem Brennpunkte sich die Sonne befindet.

2. Der von der Sonne zum Planeten gezogene Leitstrahl (radius vector) beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume.

3. Bei allen Planeten sind die zweiten Potenzen der Umlaufzeiten proportional den dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Die Entdeckung dieser für die Astronomie höchst wichtigen Gesetze war nicht das Ergebnis einer glücklichen Stunde, sondern die Frucht jahrelangen Forschens und äußerst mühevoller Berechnungen. Es gehörte ein unverdrossener Muth, eine unermüdliche Geduld und ein großer Scharfblick dazu, um diese Resultate zu erringen.

Zur Auffindung des ersten Gesetzes führten Kepler die Beobachtungen der Bahn des Planeten Mars, welche Tycho de Brahe angestellt hatte, und welche sich durch Genauigkeit vor allen früheren auszeichneten. Die Marsbahn wurde wohl deshalb gewählt, weil Mars als der uns nächste obere, d. h. die Erdbahn einschließende Planet am besten beobachtet werden konnte, was aber auch eine sehr glückliche Wahl war, weil dessen Bahn abgesehen von dem damals noch sehr unvollkommen beobachteten Merkur unter allen Planeten am meisten von der Kreisbahn abweicht, und daher konnte durch genaue Untersuchung am frühesten die eigentliche Form der Planetenbahnen aufgefunden werden. Kepler überzeugte sich nun, dass bei allen früher als Bahnen angenommenen geschlossenen Linien Berechnungen und Beobachtungen nicht übereinstimmten, dass dieses jedoch genau der Fall war, wenn Mars sich in einer Ellipse um die in einem ihrer Brennpunkte angenommene

Sonne bewege. Kepler selbst schreibt in seinem Werke *Astronomia nova de motibus stellae Martis*: „Wem das Durchlesen dieser mühevollen Rechnungen lange Weile macht, der mag immerhin Mitleid mit mir haben, der ich sie wenigstens siebenzimal wiederholen musste, während er sie nur einmal lesen darf.“ Und eine einzige dieser Rechnungen nimmt volle zehn Folioseiten ein.

Das zweite Gesetz ist eigentlich eine unmittelbare Folge des ersten. Kepler gelangte zur Aufstellung desselben dadurch, dass man im alten Systeme, nach welchem man die Bahnen der Planeten als excentrische Kreise sich dachte, die Bewegung derselben als gleichförmig annahm.

Zur Entdeckung des dritten Gesetzes gelangte er, indem er die mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne mit den Umlaufzeiten derselben verglich. Sein Zweck war, irgend einen Zusammenhang zwischen den Distanzen und den Umlaufzeiten der Planeten zu finden. Er erzählt in seiner *Harmonices mundi*, dass er bereits im März 1618 dieses Gesetz geahnt habe, dass jedoch ein Rechnungsfehler bewirkte, seine Idee nicht bestätigt zu finden. Doch schon im Mai desselben Jahres kehrte er wieder zu seinem Gedanken zurück und fand bei neuerlicher Durchsicht seiner Rechnungen zu seiner Freude die bekannte Proportion.

Littrow sagt: „Alle Beobachtungen der zwei letzten Jahrhunderte, die seit der Entdeckung dieser drei Gesetze verflossen sind, haben die Genauigkeit in einem so hohen Grade bestätigt, dass fortan niemand mehr an der Wahrheit derselben zweifeln kann. Sie sind es, die allen Bewegungen der Planeten zu Grunde liegen. Jahrtausende sind vorübergezogen, und diese Gesetze blieben dem ganzen Menschengeschlechte unlesbar, obschon sie mit Feuerzügen auf dem gestirnten Himmel geschrieben waren, bis es endlich dem Scharfsinne und der unermüdlichen Geduld eines seltenen Mannes gelang, jene Charaktere zu entziffern und dadurch seinem eigenen Namen mit ebenso unvergänglichen Zügen an demselben Himmel ein Denkmal zu setzen, ein Denkmal, das dauern wird, wenn andere Monumente von Erz und Stein längst zu Staub geworden sein werden.“

Obwohl Kepler als der Begründer der Mechanik des Himmels angesehen werden muss, so wurde er doch nicht der Entdecker des allgemeinen Gravitationsgesetzes. Noch war ihm der Grund seiner aufgefundenen Gesetze, gleichsam das einzige oberste Gesetz, unbekannt, von welchem jene bloß eine Folge sein sollten. Er war noch nicht imstande, den Lauf der Planeten um die Sonne durch die Wirkung einer Anziehungskraft zu erklären, besonders da er das Princip der Trägheit nur zur Hälfte kannte. Er erkannte nämlich, dass ein ruhender Körper nicht von selbst in Bewegung gerathen könne, wusste aber noch nicht, dass ein sich bewegendes Körper auch nicht von selbst zur Ruhe gelangen oder die Richtung seiner Bewegung ändern könne. Dass die Weltkörper mit einer Anziehungskraft versehen seien und dass durch diese eine geradlinige Bewegung entstehen könne und müsse, war ihm einleuchtend, aber er sah nicht ein, dass auch die Bewegung der Planeten um die Sonne durch diese allgemeine Anziehung bewirkt werde, denn man braucht immer noch eine Tangentialkraft.

Er suchte die Planetenbewegungen durch eine Kraft der Sonne zu erklären, welche er mit dem Magnete verglich, der auch in der Entfernung schon wirksam ist, und dessen Wirksamkeit, wie jene der Sonne mit der Zunahme dieser Entfernung abnimmt. Nun sollte aber gezeigt werden, wie die Sonne in der Entfernung eine solche Bewegung erzeuge, die auf der Richtung dieser Entfernung schief stehe. Zu diesem Zwecke dachte Kepler an eine Achsendrehung der Sonne, indem er annahm, dass durch diese Rotation die Planeten um die Sonne herumgeführt werden, ähnlich wie ein Magnet Eisen mit sich herumführen kann, wenn er gedreht wird, nur folgen die Planeten bei dieser Umdrehung mit verschiedenen Geschwindigkeiten, weil sie verschieden schwer sind.

Merkwürdiger Weise hat Kepler die Rotation der Sonne, die er hypothetisch annahm, ohne es zu wissen, in der That beobachtet, ehe sie durch die Bewegung der Sonnenflecken wirklich nachgewiesen war. Er hielt nämlich den Sonnenfleck, den er an der Sonnenscheibe sich bewegen sah, für den Planeten Merkur, welcher vor der Sonne vorübergehe.

Wenn man Keplers Namen hört, so denkt man gewöhnlich nur an seine astronomischen Leistungen, doch dürfen wir nicht übersehen, dass er sich auf dem Gebiete der Optik manche große Verdienste erworben.

Im Jahre 1604 erschien über diesen Zweig der Physik sein erstes Werk unter dem Titel: „Ad Vittellonem paralipomena quibus astronomiae pars optica traditur.“ Allerdings enthält dieses Buch vielfach Unrichtigkeiten und Irrthümer, dennoch wurde er der Begründer des theoretischen Theiles der Dioptrik (1611), er gab eine annähernd richtige Darlegung des Brechungsgesetzes, er lieferte eine höchst klare Theorie des Sehens und eine richtige Beschreibung der Einrichtung des Auges, ihm verdanken wir auch das astronomische Fernrohr (1617), welches ihn bei seinen astronomischen Betrachtungen unterstützte.

Seit Ptolemäus hatte man an der Ansicht festgehalten, dass die Einfallswinkel und Brechungswinkel für dieselben Mittel proportional seien. Kepler erkannte dies als unrichtig und zeigte, wie es schon der arabische Mathematiker Alhazen 1100 gethan, dass ein solches constantes Verhältnis zwischen Einfallswinkel und Brechungswinkel nur bei kleinen Einfallswinkeln so ziemlich stattfindet, dass aber für größere Einfallswinkel der Brechungswinkel größer werde, als er nach diesem Verhältnisse sein sollte. Das richtige Brechungsgesetz aufzufinden, wurde um so mehr Bedürfnis, als durch Tycho de Brahe darauf aufmerksam gemacht wurde, dass man bei der Höhenbestimmung der Gestirne auf die Refraction Rücksicht nehmen und eine Correction anbringen müsse.

Obwohl eine große Anzahl von Versuchen und Messungen der Brechung aus der Luft in Wasser und in Glas angestellt wurde, so gelang es doch niemanden, das wahre Brechungsgesetz aufzufinden, welches bekanntlich in dem Satze besteht, dass das Verhältnis des Sinus des Einfallswinkels und Brechungswinkels für dasselbe Mittel constant ist. Es ist zu verwundern, dass der Scharfsinn eines Kepler nach vielen mühsamen Arbeiten dieses einfache Gesetz nicht aufzufinden imstande war. Er musste sich mit einer Annäherung begnügen, indem er den Brechungs-

winkel in zwei Theile zerlegte, von denen der eine dem Einfallswinkel, der andere aber der trigonometrischen Secante des Einfallswinkels proportional wäre. Kepler selbst sah ein, dass in dieser Formel noch nicht das wahre Brechungsgesetz ausgesprochen sei. Dieses wurde erst um das Jahr 1621 von Willebrord Snell (Snellius), Professor der Mathematik in Leyden, entdeckt. Descartes, der es kennen lernte, veröffentlichte dasselbe in seiner Dioptrik 1637 und galt lange Zeit als Entdecker dieses Gesetzes.

Bezüglich der Theorie des Sehens spricht Kepler sehr richtige Ansichten aus, nämlich dass von jedem Punkte eines gesehenen Gegenstandes ein Strahlenkegel ins Auge gelange, dessen Basis die Pupille bilde, dass dieser Strahlenkegel von der Krystalllinse so gebrochen werde, dass er hinter der Linse wieder in einem Punkte und zwar auf der Netzhaut vereinigt werde, wodurch auf dieser ein Bild von dem gesehenen Gegenstande entstehe. Kepler weiß auch, dass dieses Netzhautbildchen ein umgekehrtes sei, weil sich die Achsen der Strahlenkegel in der Krystalllinse kreuzen. Die Ursache, weshalb wir ungeachtet dieses umgekehrten Bildes die Gegenstände doch aufrecht sehen, liegt nach seiner Ansicht darin, dass der Eindruck des Lichtes als ein Stoß auf die Netzhaut gedacht werden müsse, und unsere Netzhaut die Richtung empfindet, aus welcher die Lichtstrahlen kommen, daher die Seele weiß, dass das Untere des Bildes dem oberen des Gegenstandes entspricht und umgekehrt.

Kepler betrachtete, so wie Porta, welcher gewöhnlich für den Erfinder der camera obscura ausgegeben wird, das Auge als eine camera obscura, nur hatte letzterer die irrige Ansicht, dass nicht auf der Netzhaut, sondern auf der Krystalllinse das Bild aufgefangen werde.

Nach Kepler beruht die Accomodations-Fähigkeit des Auges auf einer Zusammenziehung und Ausdehnung der Krystalllinse. Die Kurz- und Weitsichtigkeit erklärt er durch eine fehlerhafte Wölbung der Linse, wodurch bei Kurzsichtigen die Bilder vor der Netzhaut, bei Weitsichtigen jedoch hinter derselben zustande kommen. Er gibt auch an, dass die Kurzsichtigkeit durch concave Gläser, die Weitsichtigkeit durch con-

vexe Gläser verbessert werden könne, indem durch die betreffenden Gläser die Bilder auf die Netzhaut gebracht werden. Nach Keplers eigener Angabe kostete ihm die Lösung dieser Aufgabe drei Jahre Zeit.

Wir wollen hier nur noch erwähnen, dass Kepler die Irradiation kannte, ohne sie genügend erklären zu können, dass er als Hauptgesetz für die Photometrie aufstellte, das Licht nehme im umgekehrten Verhältnisse der auffangenden Flächen ab, dass er die totale Reflexion entdeckte, dass er die sphärische Abweichung bei Linsen beobachtete und dass er bei Erklärung der astronomischen Refraction darlegte, diese Brechung erstrecke sich vom Horizont bis zum Zenith. Die Theorie der Brechungen in Linsengläsern wendete Kepler auf das Fernrohr an und gab damit nicht nur zum erstenmale eine Erklärung des galileischen Fernrohres, sondern machte auch Vorschläge zu einem schärferen Instrumente, nämlich dem nach ihm benannten Kepler'schen oder astronomischen Fernrohre. Sein Vorschlag wurde von dem Jesuiten Scheiner, einem Landsmanne Kepler's, ausgeführt. (1617). Das Fernrohr wurde durch eine Verbindung zweier convexen Gläser, nämlich eines convexen Objectivs und eines eben solchen Oculars hergestellt. Kepler erkannte bereits auch die Nothwendigkeit, die Röhren verschiebbar zu machen, damit sich das Instrument nach dem Auge einrichten lasse. Auch hebt Kepler schon 1618 hervor, dass das Objectiv des Fernrohres größer sein müsse als das Ocular. Das Kepler'sche Fernrohr hat vor dem holländischen verschiedene Vorzüge. Es hat ein relativ großes Gesichtsfeld, während das holländische nur ein kleines Gesichtsfeld hat, weil die Strahlen divergierend aus dem Ocular treten. Bei dem holländischen muss das Auge dicht hinter das Ocular gehalten werden, was bei dem Kepler'schen nicht der Fall ist. Da endlich bei dem Kepler'schen Fernrohre das von dem Objectiv erzeugte Bild eines Gegenstandes wirklich zu Stande kommt, so lässt sich an dem Orte des Bildes ein Fadencross anbringen. Endlich hatte Kepler bereits vorgeschlagen, das Bild mittelst einer dritten Linse umzukehren, was jedoch nach seinem Verfahren ein zu kleines Gesichtsfeld gäbe. Erst der Kapuziner Schyel, gewöhnlich Rheita, vom Kloster

Rheit in Böhmen, genannt, welcher auch zuerst die Ausdrücke Objectiv und Ocular gebrauchte, zeigte 1665, wie man mittelst einer Verbindung von 4 convexen Linsen aufrechte Bilder von den Gegenständen erhalten könne (Erdfernrohr).

In Keplers Schriften ist neben dem wahrhaft Trefflichen auch manches Mystische enthalten, doch war seine Entdeckungskraft unzweifelhaft eine sehr thätige und fruchtbare, und die Ausdauer in der Verfolgung eines Zweckes war bewundernswert. Dass er jedoch durch lange mühevollte Wanderungen, die er dann als Irrwege erkannte, sich nicht so leicht bestimmen ließ, seine einmal gefasste Idee zu verlassen, darin liegt zum Theile die Schattenseite dieses großen Geistes.

## XXII. Isaak Newton.

Es wurde nicht selten von Biographen als ein merkwürdiger Umstand hervorgehoben, dass in demselben Jahre, in welchem der schwergeprüfte erblindete Galilei starb, der große Denker Newton das Licht der Welt erblickte. Dies ist unrichtig. Isaak Newton wurde allerdings nach altem Style am 25. December 1642 zu Woolsthorpe, einem Dorfe in der englischen Grafschaft Lincoln geboren; dies ist aber nach unserem gregorianischen Kalender der 5. Jänner 1643, während Galilei nach unserer Zeitrechnung am 8. Jänner 1642 starb. Newton wurde also ein Jahr nach Galilei's Tode geboren.

Newton kam als sehr schwächliches Kind, was keine lange Lebensdauer versprechen konnte, zur Welt. Seine Eltern waren arm, zudem starb der Vater bereits vor Newtons Geburt. Da seine Mutter sich wieder verheiratete, wurde er seiner Großmutter übergeben, bei welcher für seine geistige Entwicklung schlecht gesorgt wurde. Erst in seinem 12. Jahre besuchte er die Stadtschule des benachbarten Städtchens Grantham, wo er weder für fleißig, noch talentvoll galt, so dass er seine Stelle unter den letzten Schülern dieser Schule einnahm. Bald erwachte jedoch sein Ehrgeiz und er gehörte zu den Besten der Classe. In den freien Stunden beschäftigte er sich vorzüglich mit mechanischen Arbeiten, indem er Windmühlen, Wasser- und Son-

nenuhren u. dgl. verfertigte. Schon damals war er gerne allein und zurückgezogen, ohne an den lärmenden Spielen seiner Kameraden viel theilzunehmen. Nachdem seine Mutter, die in zweiter Ehe mit einem Pfarrer Smith vernäht war, abermals zur Witwe geworden war, rief sie den sechzehnjährigen Jüngling nach Woolsthorpe zurück, um ihr in ihren ländlichen Geschäften beizustehen. Der junge Newton zeigte sich jedoch dazu wenig geeignet. Wenn er nach Grantham kam, so beschäftigte er sich daselbst mehr mit den alten Büchern eines ihm bekannten Apothekers, als mit dem Vertrieb seiner landwirtschaftlichen Producte. Er wurde daher von seiner Mutter auf Fürsprache seines Oheims wieder in die Schule von Grantham zurückgeschickt. Dort blieb er bis zu seinem 18. Jahre, in welchem er das Trinity-College der Universität Cambridge, aber ohne jene Vorkenntnisse bezog, die man von den Zöglingen bei ihrem Eintritte in diese Akademie zu fordern pflegte. Seine hervorragenden Geisteskräfte machten die gewöhnliche Schulbildung überflüssig.

Er bildete sich mehr als Autodidact, als durch die Vorträge der Professoren fort und überwand mit Leichtigkeit die größten Schwierigkeiten. Er studierte die Geometrie des Descartes, die Arithmetik des Unendlichen von Wallis, Professor der Mathematik an der Universität Oxford, Keplers Werke u. s. w.

Seit 1663 war Barrow, der sich besonders durch seine Arbeiten auf dem Gebiete der Optik hervorgethan, Professor der Mathematik in Cambridge. Dieser gab 1669 seine Optik heraus, an deren Ausarbeitung Newton einen großen Antheil gehabt. In demselben Jahre entsagte Barrow seiner mathematischen Professur zu Gunsten Newtons, welcher hierauf diese Lehrkanzel durch 34 Jahre, bis 1703, inne hatte.

Newton wurde, im Jahre 1699 zum königlichen Münzmeister ernannt. Dies war eine Stellung, mit welcher ein bedeutendes Einkommen verbunden war. Infolge dessen legte er vier Jahre später seine Professur nieder, da für die Dauer dieselbe sich nicht mit seiner neuen Stellung vereinigen ließ, und nahm seinen Aufenthalt in London.

Seine hervorragenden wissenschaftlichen Leistungen, die wir sogleich der Hauptsache nach anführen wollen, fanden die verdiente Anerkennung und von allen Seiten wurden ihm Ehrenbezeugungen zu Theil. Er wurde Mitglied des Parlamentes, die Royal Society wählte ihn von 1703 alljährlich zum Präsidenten und die Königin Anna ertheilte ihm die Ritterwürde. Ganz Europa war seines Lobes voll und seine Landsleute priesen ihn als den Stolz Englands. Obwohl in Dürftigkeit geboren, hinterließ er bei seinem Tode ein Vermögen, das selbst für England bedeutend war. Wie ganz anders hatte sich sein Leben gestaltet, als jenes Galileis und Keplers.

In seinem 80. Lebensjahre traten bei ihm verschiedene körperliche Leiden, namentlich Gicht und Rheumatismus auf, welche ihn nicht mehr verließen. Dass jedoch in den letzten Jahren seines Lebens sein Geist gestört gewesen sei, und zwar so, dass er seine eigenen Werke nicht mehr verstanden haben soll, ist nicht erwiesen. Man erzählt nämlich, dass, als sich Newton für kurze Zeit aus seinem Studierzimmer entfernte, sein Hund eine brennende Kerze umwarf, welche Newton auf seinem Schreibtische stehen gelassen, wodurch ein Theil der Schriften von Flammen verzehrt wurde. Dieser Verlust soll ihn so sehr ergriffen haben, dass dadurch seine Verstandeskräfte geschwächt wurden. Wir glauben nicht, dass bei einem so gewaltigen Geiste das geschilderte Ereignis eine solche Katastrophe hätte herbeiführen können. Thatsache ist, dass er noch einen Monat vor seinem Tode der Royal Society präsi- dierte. Er starb am 21. März 1727 im 85. Lebensjahre. Seine Leiche wurde mit großen Ehren in der Westminsterabtei, dem Pantheon der großen Männer Englands, beigesetzt.

Was seinen Charakter betrifft, so scheute er nicht die größten Anstrengungen seiner Denkkraft, besaß eine seltene Ausdauer und einen festen Willen in Verfolgung eines Gegenstandes und wusste sich von allen störenden äußeren Einflüssen abzuschließen. Seine Zeitgenossen rühmen auch seine Bescheidenheit und Offenheit, seine Milde und Seelengüte. Sein Äußeres war angenehm, verrieth aber nicht die Erhabenheit seines Geistes. Das Talent des öffentlichen Auftretens, zu dem sich

ihm als Mitglied des Parlamentes Gelegenheit bot, scheint er nicht besessen zu haben.

Seine Schriften sind nicht so zahlreich, als man bei einem so regen außergewöhnlichen Geiste und bei einer so langen Lebensdauer erwarten könnte, dagegen sind seine Leistungen um so wichtiger und großartiger.

Newton war groß als Mathematiker, Physiker, namentlich auf dem Gebiete der Optik, Mechaniker und besonders als theoretischer Astronom. Die meisten seiner Arbeiten tragen einen mathematischen Charakter an sich. Seine Experimente hatten nicht den Zweck, neue Thatsachen zu entdecken, sondern für vorhandene ihre Ursachen aufzufinden.

Seine optischen Leistungen haben ihn unter seinen Zeitgenossen fast bekannter gemacht, als seine Arbeiten in der Mechanik und Astronomie. Viele Tausende hatten sich wohl bereits an dem bunten Farbenspiel von Glasprismen erfreut, welche seit dem Anfange des 17. Jahrhunderts bekannt waren, ohne weiter gelangt zu sein, als eben nur zur sinnlichen Anschauung, als im Jahre 1669 der mit einem seltenen Forscherblick begabte Newton einem solchen Prisma Fragen vorlegte und darauf Antworten erhielt, welche die ganze wissenschaftliche Welt damals in Staunen versetzten. Die unseren Lesern bekannten Versuche führten Newton zu folgenden Schlüssen:

1. Das weiße Licht ist nicht einfach, sondern aus unzählig vielen Farbenstrahlen zusammengesetzt.

2. Diese verschiedenfarbigen Strahlen haben eine verschiedene Größe ihrer Brechbarkeit. Die am stärksten brechbaren sind die violetten, die am schwächsten brechbaren die rothen.

3. Während jede Gattung von Strahlen für sich allein die Empfindung einer bestimmten Farbe im Auge hervorruft, erzeugen alle vereinigt die Empfindung des weißen Lichtes.

Newton unterschied im Spectrum sieben Hauptfarben: roth, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett, indem er sie, wie man glaubte, mit den sieben Tönen der Octave, mit den damaligen sieben Planeten und mit anderen mystischen Dingen dieser für heilig gehaltenen Zahl in Verbindung bringen wollte. Newtons Entdeckungen wurden erst 1672 durch die Royal

Society bekannt, welche sie in ihren Schriften aufgenommen hatte. Seine Ansichten erwarben sich in der ersten Zeit mehr Gegner als Anhänger. Zu den Gegnern des Schöpfers der Emanationstheorie gehörten selbst bedeutende Männer, wie der durch zahlreiche Entdeckungen und Erfindungen berühmt gewordene Hooke und der Begründer der Undulationstheorie Huyghens.\*)

Nach der von Newton in ihren Hauptzügen begründeten Theorie der Emanation oder Emission stellte man sich vor, das Licht sei ein feiner Stoff, welcher von den leuchtenden Körpern nach allen Seiten mit einer ungeheuren Geschwindigkeit ausgesendet wird. Im leeren Raume sowohl als in einem gleichartigen Mittel erfolgt die Bewegung stets in geraden Linien (Lichtstrahlen). Der beleuchtete Körper ist derjenige, auf welchen die ausgesendeten Lichttheilchen auffallen und wieder mehr oder weniger zurückgeworfen werden. Der mehr oder weniger durchsichtige Körper ist jener, durch welchen diese Lichttheilchen leichter oder schwieriger ihren Weg fortsetzen. Die Theilchen sollen äußerst fein sein, weil man sonst nicht durch eine sehr kleine Öffnung eine so große Menge von Gegenständen zugleich übersehen würde und weil dann diese Lichttheilchen nicht nach allen Richtungen durch die durchsichtigen Körper ungehindert durchgehen könnten. Die Lichttheilchen sollen wohl den Gesetzen der Trägheit, aber nicht der Schwerkraft unterworfen sein. Die Intensität des Lichtes wird durch eine Anhäufung der Lichttheilchen in einem Punkte erklärt. Um die verschiedenen Farben zu erklären, legt man den Lichttheilchen verschiedene Massen und selbst verschiedene Gestalten bei. Der Kampf zwischen den Anhängern dieser beiden Theorien war ein lebhafter. Die Wogen desselben lassen sich selbst bis in den Anfang unseres Jahrhundertses und noch weiter verfolgen. Noch Biot vertheidigte 1816 die Emanationstheorie auf das wärmste und brachte sie auf den höchsten Grad ihrer Ausbildung. Gelehrte ersten Ranges wie der berühmte Laplace 1809 waren getreue Anhänger derselben. Dagegen kämpften für die Undulationstheorie Euler 1746, Young 1800

---

\*) Siehe Capitel Huyghens.

bis 1803, Fresnel 1815 bis 1822, Cauchy 1836, Airy, Hamilton u. a. und gaben derselben eine bereits der Vollendung sehr nahe Entwicklung, so dass sie die so lange bestrittene Herrschaft über die Emissionstheorie erhalten musste.

Goethe konnte es nicht unterlassen, die Lauge des Spottes in Poesie und Prosa über die ihm widerstrebende Farbenlehre Newtons auszugießen. Schelling äußert sich in seinen Vorlesungen sogar in folgender Weise:

„Newtons Optik ist das größte Beispiel eines ganzen Systems von Irrthümern, das in allen seinen Theilen auf Beobachtung und Erfahrung gegründet ist.“

Auf die Einrichtung der Fernrohre hatte die Entdeckung der Farbenzerstreuung einen bedeutenden Einfluss, indem sie an denselben große Veränderungen hervorrief. Man überzeugte sich nämlich, dass auch bei Glaslinsen mit der Brechung der Lichtstrahlen eine Farbenzerstreuung verbunden sei, die allerdings weit geringer als bei einem Glasprisma ist. Bei Fernrohren mit Glaslinsen tritt daher der Übelstand ein, dass die Bilder der Gegenstände von einem färbigen Rande umgeben sind, da die Farben daselbst nicht alle zusammenfallen, was nur in der Mitte geschehen kann, weshalb sie auch nur hier weiß bilden. Newton machte darauf aufmerksam, dass infolge der chromatischen Abweichung die Bilder noch mehr undeutlich werden, als durch die sphärische Abweichung. Da er nicht ahnte, dass bei verschiedenen Medien das Verhältnis der Brechung und Farbenzerstreuung ein verschiedenes ist, dass sich demnach die Farbenzerstreuung aufheben lässt, während die Brechung bleibt, so hielt er die Fernrohre mit Linsen bezüglich der chromatischen Abweichung keiner Verbesserung fähig, sondern empfahl deshalb die Spiegelteleskope. Schon zu Anfang des 17. Jahrhunderts (1616) hatte der Jesuit Zucchi ein Spiegelteleskop ausgeführt, das aus einer concaven Linse als Ocularglas und einem Hohlspiegel bestand. Zwanzig Jahre später schlug Mersenne vor, wiewohl er die Idee schon viel früher gefasst hatte, ein Spiegelteleskop zu verfertigen, welches aus zwei parabolischen gegen einander geneigten Hohlspiegeln bestehen sollte. Nach dem im Jahre 1663 von James Gregory, einem ausgezeichneten Mathe-

matiker und Astronomen gemachten Vorschlage erhält das Rohr am Ende einen mit einer kreisrunden Öffnung versehenen parabolischen Hohlspiegel, welcher ein umgekehrtes objectives Bild von einem entfernten Gegenstande erzeugt. Von diesem Spiegel gelangen die Strahlen auf einen zweiten kleinen elliptischen Hohlspiegel, der das Bild in aufrechter Stellung durch die Öffnung des großen Hohlspiegels einem convexen Ocular zuführt.

Newton, welcher seinen Reflector im Jahre 1671 construieren ließ, nachdem er schon 1668 einen mit eigener Hand angefertigt hatte, kann also nach dem Gesagten nicht als Erfinder der Spiegelteleskope angesehen werden. Da Newton die Schwierigkeit einsah, parabolische und elliptische Spiegel darzustellen, so beschränkte er sich auf sphärische. Im Newton'schen Fernrohre werden die von einem entfernten Gegenstande auf den großen Hohlspiegel fallenden und von da zurückgeworfenen Strahlen von einem kleineren, gegen die Achse des ersten unter  $45^{\circ}$  geneigten Planspiegel nach einer seitwärts angebrachten Convexlinse reflectiert, so dass das verkehrte Bild des Gegenstandes durch diese Linse angesehen werden kann. Es hat aber die Unbequemlichkeit, dass es die Gegenstände verkehrt zeigt, und dass man zum Aufsuchen derselben viele Mühe braucht. Indess wird letzteres durch ein kleines dioptrisches Fernrohr (Sucher), das mit der Achse des Rohres parallel läuft, bedeutend erleichtert.

Der Franzose Cassegrain trat im Jahre 1672 mit einem Spiegelteleskop auf, welches er schon vor Newton erfunden haben will. Cassegrains Instrument unterscheidet sich von dem Gregorys dadurch, dass der kleinere Spiegel convex statt concav ist, dadurch die sphärische Abweichung größtentheils aufgehoben wird. Wir wollen hier erwähnen, dass das erste Fernrohr mit achromatischen Linsen erst 1757 von Dollond in England verfertigt wurde. Die Entdeckung Newtons, dass das weiße Licht aus verschiedenfarbigen Strahlen von ungleicher Brechbarkeit zusammengesetzt sei, übte auch einen Einfluss auf die Theorie des Regenbogens aus. Vor Newton galt meistens die Theorie von Descartes, welcher der wahren

Erklärung des Regenbogens viel näher kam, als seine Vorgänger bis Aristoteles zurück.

Descartes hat nämlich experimentell mittelst einer mit Wasser gefüllten Glaskugel den Gang der Lichtstrahlen nachgewiesen, und gezeigt, dass der Hauptregenbogen durch zweimalige Brechung und einmalige Reflexion, der Nebenregenbogen aber durch zweimalige Brechung und zweimalige Reflexion entsteht. Ferner hat Descartes bestimmt, dass sich der Haupt- und der Nebenregenbogen als zwei leuchtende Kreisbögen von circa  $41^\circ$  und circa  $51^\circ$  Halbmesser zeigen müssten. Descartes war jedoch nicht imstande, die Farben des Regenbogens zu erklären, auch nicht die Ursache anzugeben, weshalb die Reihenfolge von Violett nach Roth in Haupt- und Nebenbogen die entgegengesetzte ist; dies blieb Newton vorbehalten. Derselbe konnte nebstdem auch vermöge seiner Messung der Brechungsexponenten für die verschiedenen Farben ganz genau die Stadien der einzelnen Farbenbögen und darnach die Breite des Haupt- und Nebenregenbogens bestimmen, die er für den Hauptbogen zu  $2^\circ 51'$  und für den Nebenbogen zu  $3^\circ 43'$  fand.

Newton suchte ferner die natürlichen Farben der Körper zu erklären. Seine Abhandlung über dieselben wurde im Jahre 1676 veröffentlicht. Was vor Newton über diesen Gegenstand und über das Wesen der Farben gesagt worden, war meist ein bloßes Spiel der Phantasie. Boyle, ein Irländer, der große Experimentator (geb. 1627), machte allerdings bereits einen entschiedenen Fortschritt nach Newton hin, indem er der Ansicht war, dass die Farben nur gewisse durch die Körper bewirkte Modificationen des weißen Lichtes seien. Maurus Manzi, Professor der Medicin in Prag, behauptete sogar vor Newton in einem Werke über den Regenbogen, dass verschieden gebrochenes Licht auch verschiedene Farben zeigen müsse.

Nach Newtons Theorie entspricht immer demselben Grade der Brechbarkeit ein und dieselbe Farbe. Ein jeder Bestandtheil eines Strahles ist imstande, eine besondere Wirkung auf unser Auge hervorzubringen, wodurch eigene Empfindungen

entstehen, die wir eben mit dem Namen der verschiedenen Farben belegen. Die Farbe ist nichts einem Körper anhaftendes. Die Verschiedenartigkeit der Lichttheilchen, begründet Newton als Repräsentant der Emanationstheorie, durch die Annahme einer verschiedenen Größe der Lichttheilchen, so dass die kleinsten derselben die violette Farbe des Spectrums und die stärkste Brechbarkeit zeigen.

Durchsichtigkeit entsteht nach Newton, wenn die Körpertheilchen und ihre Zwischenräume so klein sind, dass sie das Licht nicht zu reflectieren imstande sind, undurchsichtig dagegen erscheinen Körper, wenn ihre Theilchen so groß sind, dass sie das Licht zu reflectieren vermögen; die Menge der inneren Reflexion ist es dann, welche das Licht vernichtet.

Newton versuchte auch für die Farben dünner Blättchen eine Erklärung zu geben. Doch wurden dieselben, obwohl Newton die Gesetze dieser Erscheinungen mit musterhafter Genauigkeit erforschte, erst im Jahre 1800 von Young in England nach gehöriger Begründung der Undulationstheorie durch die Interferenz der Lichtwellen entsprechend erklärt. Newton gebrauchte zu seinen Versuchen eine ebene Glasplatte, auf die er ein wohl centriertes Convexglas von großem Halbmesser legte. Letzteres berührt nämlich jene Platte nur an einer Stelle und steht rings um diese Stelle in gleicher Entfernung auch gleichweit von der Platte ab, und man kann diesen Abstand genau messen. Bringt man nun in den Raum zwischen den beiden Gläsern Luft, Wasser, Weingeist oder irgend eine Flüssigkeit, so füllt sie dieselben aus und bildet daher gleichsam concentrische, an Dicke nach außen zunehmende ringförmige Plättchen; so entstehen bei weißem Lichte farbige Ringe, die Newton'schen Farbenringe. Diese Farben folgen immer in derselben Ordnung auf einander und erscheinen selbst dann, wenn aus dem Raume zwischen den Gläsern alles Materielle entfernt wird, also auch wenn dieser Raum luftleer ist.

Newton stellte auch bereits Versuche über Beugung des Lichtes an, und nannte diese Erscheinung Inflexion. Grimaldi (geb. 1618 zu Bologna) war der erste, der auf dieses Phänomen aufmerksam machte (1665) und bereits für dasselbe

den noch heute üblichen Namen „Diffraction“ gebrauchte. Newton ließ, so wie es auch Grimaldi gethan, durch eine kleine Öffnung Licht in ein verfinstertes Zimmer fallen und stellte in den einfallenden Lichtkegel einen feinen Draht. Befand sich der Draht in einer bestimmten Entfernung, so erschien der Schatten dieses Drahtes viel breiter, als er infolge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes sein sollte und zugleich zeigte sich der Schatten zu beiden Seiten von farbigen Säumen begrenzt. Diesen Versuch setzte Newton mit verschiedenen Abänderungen fort. So brachte er auch in den Lichtkegel eine undurchsichtige Platte mit einer kleinen kreisförmigen Öffnung und fieng das durchgegangene Licht wieder auf einem weißen Schirme auf. Auch hier erschien der erleuchtete Kreis größer, als er nach der Ausdehnung der Öffnung hätte sein sollen. Newton konnte für diese sowie andere ähnliche Erscheinungen keine genügende Erklärung nach der Emanationstheorie geben. Er sagt nur, dass das Licht, wenn es an den Kanten oder Rändern eines Körpers vorübergehe, etwas abgestoßen und von demselben weggebogen würde. Dadurch will er die Verbreiterung des Schattens erklären. Er nimmt Strahlen von verschiedener Inflexibilität an, sowie er an anderen Stellen seiner 1704 erschienenen Optik Strahlen von verschiedener Reflexionsfähigkeit und Brechbarkeit annimmt.

Eine befriedigende Erklärung der Beugungsphänomene gab erst Fresnel in Frankreich, nachdem er die Theorie der Lichtwellen vervollständigt hatte.

Newton behandelt auch in seiner Optik die Doppelbrechung und Polarisation. Erstere wurde durch Bartholin in Kopenhagen 1669 im Kalkspathe entdeckt. Bartholin erklärte, dass dieses Phänomen durch eine eigenthümliche Einwirkung des Krystalles auf das Licht hervorgebracht werde. Doch war erst Huyghens imstande, diese Gesetze so darzustellen, dass später selbst ausgezeichnete Forscher, wie Wollaston, Malus, Biot und Fresnel, denen alle Hilfsmittel zu Gebote standen, die ihnen die Fortschritte der Wissenschaft darboten, nur weniges daran zu berichtigen vermochten. Während Huyghens das Phänomen nach der von ihm vertheidigten

Undulationstheorie zu erklären suchte, trat Newton als Gegner auf. Newton nahm an, dass der Lichtstrahl nach verschiedenen Seiten hin mit verschiedenen Eigenschaften begabt sei, und zwar sollten zwei entgegengesetzte Seiten des Lichtstrahles die gewöhnliche Brechung und die zwei anderen entgegengesetzten Seiten die außergewöhnliche Brechung bewirken.

Man bemerkte ferner am isländischen Doppelspath noch eine andere Eigenschaft, deren Wichtigkeit erst in der Folge gehörig gewürdigt wurde, nämlich jene Erscheinungen, welche man mit dem Namen „Polarisation“ bezeichnet. Die erste Entdeckung derselben verdanken wir Huyghens. (Die Entdeckung der Polarisation des Lichtes mittelst Reflexion machte erst 1810 der französische Artillerie-Oberst Malus.)

Die Erklärung Newton's durch die verschiedenen Eigenschaften je zweier entgegengesetzten Seiten eines Lichtstrahles bei der Doppelbrechung hatte auch für die Erklärung der Polarisations-Erscheinungen einen Wert, denn die Annahme von Malus, dass die Lichttheilchen winkelrecht auf der Richtung des Strahles entgegengesetzte Pole nach Art eines Magnetes haben, war der Newton'schen Vorstellung sehr ähnlich und daher stammt auch der Name „Polarisation.“

Newton beschäftigte sich auch mit fast allen anderen Zweigen der Physik. Ehe wir seine großen Leistungen auf dem Gebiete der Mechanik hervorheben, welche seinen Ruhm weithin verbreiteten und dauernd begründeten, wollen wir nur noch erwähnen, dass er mit großem Scharfsinne auf theoretischem Wege eine Formel für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft zustande brachte, welche selbst der große Mathematiker La Grange (1786) als richtig erkannte. Nach dieser Formel ist die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft direct proportional der Quadratwurzel aus der Elasticität und indirect proportional der Quadratwurzel der Dichte der Luft. Wiewohl diese Formel mit Rücksicht auf die physischen Voraussetzungen vollkommen richtig ist, so weicht ihr numerischer Wert von jenem der Erfahrung um  $\frac{1}{6}$  ab, indem er nur  $\frac{5}{6}$  von jenem der Beobachtung beträgt, was bereits Newton wusste, ohne eine Erklärung dafür finden zu können. Erst im Jahre

1816 fand Laplace, dass bei der Newton'schen Formel eine physikalische Bedingung nicht in Betracht gezogen wurde und dass man die Formel noch mit einem constanten Factor multiplicieren müsse. Er sagt: „Der Schall pflanzt sich in elastischen Mitteln durch eine Compression fort; da aber jede Compression von einer Wärmeentwicklung begleitet ist, so wird durch diese frei werdende Wärme die Elasticität der Luft erhöht und dadurch die Geschwindigkeit des Schalles vergrößert.“ Unstreitig bleibt die großartigste Leistung auf dem Gebiete der inductiven Wissenschaften die Auffindung des Gravitationsgesetzes. Dem großen Briten war es vorbehalten, aus einer und derselben Kraft (der Schwere) die scheinbar so verwickelten Bewegungen der Weltkörper abzuleiten.

Allbekannt ist die Erzählung, die wir wohl als eine Sage bezeichnen können, dass Newton durch den Fall eines Apfels von einem Baume auf die erste Idee der allgemeinen Schwere geführt worden sei. Diese Erzählung ist vorzüglich durch Voltaire verbreitet worden, der sie von einer Nichte Newtons erhalten haben will.

Die Reihenfolge der Gedanken Newtons bei dieser Beobachtung sucht Littrow (Wunder des Himmels) in folgender Weise zu schildern: „Warum fällt der Apfel und überhaupt jeder Körper, wenn er nicht gehalten oder unterstützt wird? Da er immer in einer senkrechten Richtung zur Erde hinfällt, so scheint in der Erde etwas zu sein, das ihn an sich zieht. Dieses Etwas, diese Kraft, auf welche Weise, nach welchem Gesetze wirkt sie auf den fallenden Körper? Und wie weit erstreckt sie sich von der Erde? Wenn sie z. B. bis zu dem Monde reichen sollte, welche Wirkung äußert sie auf diesen Himmelskörper? Sollte vielleicht die Bewegung des Mondes eine Folge jener Kraft sein, welche den Stein zu ihr fallen macht? Wird nun der Mond zu seiner Bewegung durch jene Kraft der Erde gezwungen, könnten nicht auch die Erde und alle Planeten zu ihrer Bewegung um die Sonne durch eine ähnliche, in der Sonne wohnende Kraft gezwungen werden?“

Ähnliche Fragen haben sich wohl schon vor Newton mehrere Astronomen gestellt, aber sie beantworteten dieselben nicht mit

strenger Rechnung. Newton scheint schon im Jahre 1666 seine Aufmerksamkeit der Bewegung der Himmelskörper zugewendet zu haben; soviel ist gewiss, dass er bereits in jenem Jahre auf den Gedanken gekommen ist, dass die Schwerkraft sich mit abnehmender Wirkung bis zum Monde erstrecke. Er lieferte den mathematisch genauen Nachweis, dass diese Kraft, welche im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung abnehme, auch von der Sonne ausgehend die Bewegung der Planeten hervorbringe, dass sie zwischen allen einzelnen Weltkörpern stattfindet, und behauptete die Identität dieser Kraft mit der irdischen Schwere. Er gelangte durch Combination einer großen Anzahl von Beobachtungen und mit Hilfe der tiefsten mathematischen Forschungen im Jahre 1682 zu dem Gesetze: Die Gravitation, d. i. die Anziehung zwischen den Himmelskörpern, ist *direct proportional* der Masse der Himmelskörper und *umgekehrt proportional* dem Quadrate der Entfernung.

Newton betrachtete die Gravitation als die allgemeine Kraft, von welcher die irdische Schwere nur einen besonderen Theil ausmacht. Sie ist ein Band, welches Weltkörper mit einander verbindet und jedes Stäubchen an die Erde fesselt, sie ist es, welche Monde um ihre Planeten bewegt und den aufwärts geworfenen Stein wieder zum Erdboden zurückführt. Da die Sonne nicht bloß jeden einzelnen Planeten, sondern sie alle zusammen noch bei weitem an Größe übertrifft, so muss sie auf jene den entschiedensten Einfluss haben, vermöge dessen sie in ihren elliptischen Bahnen sich um die Sonne bewegen. In seinem Lehrbuche der Mechanik, welches im Jahre 1687 unter dem Titel *Philosophiae naturalis principia mathematica* erschien, und eine seltene Vollkommenheit an sich trägt, bewies er auch folgende Sätze:

1. Wenn ein Körper sich in einer Ellipse, Parabel oder Hyperbel bewegt, und durch eine von dem Brennpunkte dieser Linien aus wirkende Kraft erhalten werden soll, so muss diese Kraft umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung wirken.
2. Wenn von einem Punkte eine Kraft umgekehrt wie das Quadrat der Entfernungen auf einen Körper wirkt, so

muss dieser eine der drei Kegelschnittlinien beschreiben, wenn er nur nicht gerade auf jenen Punkt hin oder von ihm weggerichtet ist.

Newton erkannte auch, dass, da die Planeten nicht bloß von der Sonne angezogen werden, sondern auch ihrerseits die Sonne und sich gegenseitig unter einander anziehen, infolge letzterer Anziehung keine vollkommenen Ellipsen beschreiben können, sondern sogenannte Perturbationen (Störungen) entstehen müssen. Er war der erste, welcher solche Perturbationen nachgewiesen und berechnet hat.

Sehr natürlich war es, dass die Frage nach der Ursache der Gravitation, d. h. woher es komme, dass die Körper einander gegenseitig anziehen, aufgeworfen wurde. Ein Theil nahm diese Anziehung als eine wesentliche innere Eigenschaft der Materie an, ein anderer Theil behauptete, dass sie durch einen unsichtbaren feinen Stoff mittelbar bewirkt werde. Obwohl Newton sich letzterer Ansicht nicht anschloss, so nahm er dennoch keine wirkliche auf so große Entfernungen unvermittelt wirkende räthselhafte Anziehungskraft an, sondern ließ die Ursache der Gravitation unentschieden. Er sagt: „Ich habe noch nicht dahin gelangen können, aus den Erscheinungen den Grund dieser Eigenschaften der Schwere abzuleiten und Hypothesen erdenke ich nicht. Es genügt, dass die Schwere existiere, dass sie nach den von uns dargelegten Gesetzen wirke und dass sie alle Bewegungen der Himmelskörper und des Meeres zu erklären imstande sei.\*)

---

\*) Wir können hier nicht unerwähnt lassen, dass in neuester Zeit namhafte Schriftsteller die Anziehungstheorie aufgegeben und nach dem Vorgange von **Aurel Andersohn** (Breslau) die Schwerkraft als äußeren mechanischen Druck annehmen, so dass wir es nicht mit einer Anziehungs-, sondern mit einer Druckkraft zu thun haben. Dieser Druck wirkt aus dem Weltall auf unsere Erde und jeden Himmelskörper so, dass seine Richtung von allen Seiten her auf deren Centrum erfolgt, wodurch jeder nicht unterstützte Körper gezwungen wird, sich dem Erdmittelpunkte zu nähern. Die Sonne leitet nämlich mittelst des Weltäthers durch den Weltraum Schwingungen in Form von Licht und Wärme zur Erde, wo sie als Träger lebendiger Kraft auftreten. Was aber von den Bewegungserscheinungen auf der Erde gilt, hat Geltung für das ganze Sonnensystem und hat auch Geltung für das ganze

Obwohl die Theorie Newtons ein großartiger Gedanke war, so fand sie dennoch zahlreiche Gegner. Zwar wurde sie durch Arbeiten einiger Nachfolger bestätigt, erläutert und erweitert, und fand in England eine glänzende jedoch auf dem Continente eine sehr kühle Aufnahme. Leibnitz, Huyghens u. a. huldigten sogar dem abenteuerlichen Wirbelsysteme von Descartes, nach welchem aus einer feinen Materie bestehende Wirbel angenommen wurden, welche die Planeten um die Sonne und die Monde um die Planeten tragen, wie der Wirbelwind den vom Boden aufgehobenen Staub fortträgt.

Es ist unglaublich, dass dieser Unsinn auf den Universitäten in Frankreich vielen Beifall fand und dass die Theorie Newtons daselbst bis zum Anfange des 18. Jahrhunderts keinen Eingang finden konnte. Voltaire sagt, dass noch im Jahre 1728 die Lehre Newtons außer England kaum zwanzig Anhänger zählte.

Von den anderen astronomischen Arbeiten Newtons wollen wir nur einige anführen.

Im November 1679 schrieb Newton an Hooke, den Secretär der königl. Gesellschaft der Wissenschaften in London, dass er ein Mittel gefunden habe, die Achsendrehung der Erde durch unmittelbare Beobachtungen zu beweisen. Es war dies ein Vorschlag zur Beobachtung der Bahn fallender Körper auf der rotierenden Erde. Allerdings waren Tycho Brahe und andere Astronomen schon vor Newton auf den Gedanken ge-

---

Weltall. Jeder Fixstern ist eine Sonne und strahlt deshalb ebenfalls Licht und Wärme gleich unserer Sonne in den Weltraum auf die anderen Weltkörper. Die von jeder Sonne aus sich radial fortpflanzenden Schwingungen sind Träger von Energie und bewegen die anderen Weltkörper in radialer Richtung von sich fort, drücken sie gewissermaßen in die Ferne. Von diesem Druck und Gegendruck gehalten, schwebt die Erde im Weltenraume. Die Bewegung der Planeten resultiert aus der von den Fixsternen ausgehenden Strahlung und der fortwährend wirkenden Strahlung der mitfortschreitenden Sonne. Näheres über diesen Gegenstand findet man in: Andersohn, die Theorie vom Massendruck aus der Ferne, Breslau bei Trewendt. — Die Berichte des physikalischen Vereines zu Breslau. — Zeitschrift „Natur“ von K. Müller in Halle. — Das Räthsel von der Schwerkraft von Isenkrahe bei Vieweg in Braunschweig.

kommen, dass bei solchen Experimenten eine Abweichung der fallenden Körper von der verticalen Richtung stattfinden solle, aber sie erwarteten eine Abweichung nach Westen, weil, wenn die Erde sich dreht, während des Fallens der Erdboden nach Osten vorrückt. Newton behauptete das entgegengesetzte, nämlich eine Abweichung fallender Körper nach Osten, weil, wenn der Körper aus einer bedeutenden Höhe z. B. von der Spitze eines Thurmes herabfällt, diese eine größere Rotationsgeschwindigkeit besitze, als der Fuß des Thurmes, da sie einen größeren Kreis um den Erdmittelpunkt beschreibt, als der Fuß, daher die von der Spitze fallenden Körper nach Osten voraneilen und ostwärts von dem Fuße des Thurmes niederfallen müssen. Hookes Versuche gelangen allerdings nicht, da sie nur bei einer sehr geringen Fallhöhe (27 Fuß) angestellt wurden. Vollständig gelang dieser Versuch erst im Jahre 1802 durch Benzenberg auf dem 235 hohen Fuß Michaelisthurm zu Hamburg.

Aus seiner Gravitationstheorie erklärte Newton ferner Ebbe und Flut und berechnete die Höhen der Meeresflut. Allerdings hatte bereits Kepler dieses Phänomen der Anziehung des Mondes zugeschrieben, desgleichen auch Stevin, ohne jedoch eine genügende Erklärung geben zu können. Dagegen gab Galilei als Ursache dieser Erscheinung die Schwingkraft der Erde an, indem er glaubte, dass bei der schnellen Achsendrehung der Erde das Wasser dem festen Erdkörper nicht in gleichem Maße folgen könne und sich daher an der Hinterseite anhäufe. Einige erklärten Ebbe und Flut durch Einwirkung des Mondes auf den Luftdruck, der wieder auf das Wasser wirke. Newton hat das Verdienst, das Steigen des Meeres an der von dem Monde abgewendeten Seite durch die ungleiche Anziehung erklärt zu haben, welche der Mond auf die ihm näheren und ferneren Theile des leicht beweglichen Wassers der Weltmeere ausübt. Auch hat er bereits die anziehende Wirkung der Sonne berücksichtigt.

Newton beschäftigte sich auch mit dem sogenannten Problem der drei Körper, welches in der Folge so berühmt geworden ist, nachdem im Jahre 1747 von Clairant und d'Alembert eine Lösung dieses Problems der Akademie der Wissenschaften

in Paris überreicht worden war. Dasselbe beschränkte sich anfangs auf die Bestimmung der Störungen, welche durch die Anziehung der Sonne in der Bewegung des Mondes um die Erde hervorgebracht werden. Später wurde es auf die Perturbationen ausgedehnt, die jeder Planet bei seiner Bewegung um die Sonne von einem anderen Planeten erleidet.\*)

Allgemein enthält es die Bestimmung der Bewegung von drei Körpern, deren gegenseitige Anziehung ihren Massen direct und den Quadraten ihrer Entfernungen umgekehrt proportional ist.

Newton begründete auch jenen Theil der höheren Mathematik, welchen man gegenwärtig die Analysis des Unendlichen nennt. Aber auch Leibnitz muss als Entdecker des neuen Calcüls bezeichnet werden. Poggendorff schreibt darüber in seiner Geschichte der Physik: „Newton ist unstreitig der erste Entdecker, aber nicht der alleinige. Auch Leibnitz hat diesen Calcül entdeckt, und seine Anrechte auf diese Entdeckung, wengleich sie späteren Datums sind, sind darum ebenso wohl begründet, wie die von Newton. Ja, wenn man zugleich die Frage aufwirft, wer von beiden die neue Rechnung unter dem allgemeineren Gesichtspunkte aufgefasst, wer am meisten zu ihrer Ausbildung beigetragen hat, so kann kein Zweifel darüber obwalten, dass Leibnitz das größere Verdienst zuerkannt werden müsse.“

### XXIII. Christian Huyghens.

Der geniale Schöpfer der Undulationstheorie Christian Huyghens (auch Huygens lat. Hugenius) wurde am 14. April 1629

---

\*) Wir wollen hiebei erinnern, dass durch die Berechnung solcher Störungen in der Bewegung des Planeten Uranus der Planet Neptun entdeckt wurde. Die berechneten Störungen der Uranusbahn konnten nämlich nicht den alten Planeten zugeschrieben werden, und ließen auf die Einwirkung eines jenseits der Uranusbahn sich bewegendem Planeten schließen. Dies war der Neptun, der auch wirklich am 23. September 1846 durch Dr. Galle zu Berlin mittelst des Fernrohres an jener Stelle des Himmels aufgefunden wurde, welche der Franzose Leverrier nach höchst schwierigen Rechnungen im vorhinein bezeichnet hatte.

zu Haag geboren. Von seinem Vater, der am Hofe des Prinzen von Oranien lebte, erhielt er den ersten Unterricht in der Mathematik und Physik. Zum Studium der Rechte bestimmt, bezog er 1645 die Universität Leyden, widmete sich aber sehr bald aus Neigung den Naturwissenschaften und erlangte auf diesem Wege einen Ruhm, der ihn neben Galilei und Newton stellte. Schon in seinem 22. Lebensjahre (im Jahre 1651) veröffentlichte er eine mathematische Schrift, welche Aufsehen erregte. Derselben folgten bis zum Jahre 1658 noch vier andere, gleichfalls mathematischen, meist geometrischen Inhaltes. Im letzteren Jahre erschien auch eine Abhandlung von ihm unter dem Titel *Horologium*, welche seine wichtige Erfindung der Pendeluhrn behandelte. Im Jahre 1659 erschien von ihm eine Schrift (*Systema Saturnium*), in welcher er die wahre Gestalt des Planeten Saturn bekannt machte, so wie er sie durch das von ihm selbst verfertigte, für seine Zeit sehr gute Fernrohr im Jahre 1655 gesehen hatte. Er zeigte, dass die Kugel des Saturns ringsum von einem breiten, freischwebenden Ringe umgeben ist. Sein größeres Werk (*Horologium oscillatorium*) über die Lehre vom Pendel und dessen Anwendungen erschien erst 1673. In diesem Werke finden wir die wertvollsten Untersuchungen über das Pendel. Galileis Pendelgesetz, dass sich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen verhalten, gilt, strenge genommen, nur für den Fall, dass ein bloßer materieller Punkt an einer schwerlosen Linie in sehr kleinen Kreisbogen schwingen würde. Sind mehrere materielle Punkte fest miteinander verbunden, so kann dieses System nicht so schwingen, wie ein einzelner seiner Punkte für sich, d. h. es kann ein physisches Pendel nicht so schwingen, wie ein mathematisches von gleicher Länge.

Huyghens zeigte nun in seinem *Horologium oscillatorium*, dass es in jedem um seine Achse schwingenden Körper einen Punkt gibt, der genau so schwingt, wie er schwingen würde, wenn er frei wäre, in dem man die ganze Masse des Körpers vereinigen könnte, ohne dadurch die Pendelschwingungen zu ändern. Huyghens nannte diesen Punkt *Agitationscentrum* (*centrum oscillationis*), d. h. Schwingungsmittelpunkt.

Um den Abstand dieses Punktes von der Drehachse, d. h. das einfache Pendel, welches mit dem zusammengesetzten gleich schwingt, durch Rechnung zu bestimmen, gab Huyghens eine Formel an, die noch gegenwärtig in den Lehrbüchern der mathematischen Physik gebraucht wird. \*)

Huyghens kannte auch bereits den Satz, dass die Schwingungszeit eines Pendels nicht geändert wird, wenn man den Schwingungsmittelpunkt zum Aufhängepunkt macht. Dieser Satz wurde dadurch wichtig, dass sich die praktische Bestimmung der reducierten Länge eines jeden anderen zusammengesetzten Pendels, also auch des Secundenpendels hierauf gründet.

Er bestimmte mittelst des Pendels auch die Acceleration der Schwere durch die beobachtete Schwingungsdauer und die Länge des Pendels.\*\*)

Da Huyghens der Ansicht war, das Secundenpendel müsse an allen Orten der Erde gleich lang ( $440 \frac{1}{2}$  Pariser Linien) sein, so machte er den Vorschlag, die Länge desselben als normales Längenmaß, und zwar den dritten Theil davon als Einheit anzunehmen.

Man verfertigte bereits im 14. Jahrhunderte Gewichtsuhren und brachte an denselben Hemmungen an, welche den beschleunigten Ablauf der Gewichte verhindern sollten. Doch waren sie nicht imstande, einen gleichmäßigen Gang der Uhren zu bewirken. Man wendete daher noch lange Zeit lieber Wasser- oder Quecksilberuhren an. Dieselben bestanden aus einem mit Wasser oder Quecksilber gefüllten Gefäße, in welchem sich eine kleine Öffnung befand, aus welcher die Flüssigkeit ausfloss. Nur auf Thürmen gebrauchte man Räderuhren.

Galilei hatte schon vorgeschlagen, das Pendel zum Zeitmessen zu benützen und mit einem Zählwerk zu verbinden, damit die verflossene Zeit durch die Anzahl der vollbrachten Pendelschwingungen bestimmt werde. Doch blieb das Pendel

---

\*) Die reducierte Länge eines physischen Pendels ist gleich dem Quotienten des Trägheitsmomentes des Pendels durch das statische Moment seiner Masse.

$$**) g = \frac{\pi^2 l}{T^2}$$

noch immer ein unvollkommenes Mittel, die Zeit zu messen, da dasselbe immer wieder von neuem in Bewegung gesetzt werden musste. Übrigens hörte man sehr bald nichts mehr von den Zeitmessern Galileis. Huyghens dagegen wollte nicht wie Galilei zum Pendel ein Zählwerk erfinden, sondern verband ein Uhrwerk mit dem Pendel. Der lange dauernde Gang des Uhrwerkes bewirkte eine anhaltende Bewegung des Pendels und letzteres beförderte durch den Isochronismus seiner Schwingungen einen gleichförmigen Gang der Uhr. \*)

Dem Scharfsinne Huyghens verdanken wir auch die Regulierung der Taschenuhren mittelst einer Spiralfeder. Diese Uhren, welche im Beginne des 16. Jahrhunderts erfunden worden sind, haben dadurch erst ihre volle Brauchbarkeit erlangt.

In demselben Jahre (1673), in welchem Huyghens sein großes Werk *Horologium oscillatorium* erscheinen ließ, worin noch vorausgesetzt wird, dass das Secundenpendel an allen Orten der Erde eine gleiche Länge haben müsse, theilte der französische Astronom Jean Richer, welcher im Jahre 1672 in Cayenne (5° nördlicher Breite) astronomische Betrachtungen angestellt hatte, der Pariser Akademie mit, dass die Länge des Secundenpendels von der geographischen Breite abhängig sei. Er hatte nämlich beobachtet, dass in Cayenne ein Pendel langsamer schwinde, als in Paris. Eine von Richer aus Paris mitgenommene genau gehende Pendeluhr gieng in Cayenne täglich um 2 Minuten gegen Paris zu langsam, so dass er um diese Differenz auszugleichen, das Pendel fast um  $\frac{1}{4}$  Linien verkürzen musste. Der Fehler konnte nicht im Uhrwerke liegen, da dieses bei der Rückkehr nach Paris genau um 2 Minuten vorieng, so dass Richer sich genöthigt sah, dem Pendel wieder seine ursprüngliche Länge zu geben. Ähnliche Beobachtungen wurden durch zwei französische Gelehrte an der afrikanischen Küste und auf den westindischen Inseln gemacht. Die meisten

---

\*) Von mancher Seite wird behauptet, Galilei hätte schon im Jahre 1641 den Plan gefasst, ein Zählwerk durch ein Gewicht in Bewegung zu setzen und dann mit jenem ein Pendel so zu verbinden, dass das Pendel durch das Zählwerk in Bewegung erhalten würde. Diese Behauptung lässt Huyghens nur als zweiten, jedoch unabhängigen Erfinder gelten.

Mitglieder der Pariser Akademie waren der Ansicht, die Verlangsamung des Ganges der Pendel entstehe durch die Wärme, welche in den Tropenländern die Pendel verlängere. So gestaltete sich diese Angelegenheit zu einem großen wissenschaftlichen Streite.

Newton, dessen Scharfsinn sogleich die Ursache dieser Erscheinung entdeckte, stand nicht an, sie für den so lange gesuchten experimentellen Beweis der Achsendrehung der Erde zu halten. Ferner zeigte Huyghens mit großer Klarheit, dass infolge der Achsendrehung der Erde auf derselben die Schwerkraft aus einem doppelten Grunde von den Polen nach dem Äquator abnehmen müsse, erstlich weil die Punkte der Erde bei der Achsendrehung nach dem Äquator hin einen immer größeren Kreis beschreiben, weshalb die Centrifugalkraft zunehme und die Wirkung der Schwerkraft verringere, ferner weil die Schwungkraft gegen den Äquator hin immer mehr eine der Schwerkraft gerade entgegengesetzte Richtung annimmt.

Huyghens suchte auch die Gestalt der Erde genauer zu bestimmen. Newton hatte auf Grund theoretischer Betrachtungen die Abplattung der Erde behauptet und als Erfahrungsbe-  
 weis die von Richer und anderen gemachten Beobachtungen am Secundenpendel angeführt. Seine Behauptung fand aber nicht die Zustimmung der Pariser Akademie, welche bei der Ansicht verblieb, dass die Pendel in heißen Klimaten ausgedehnt werden. Huyghens behauptete übereinstimmend mit Newton die Abplattung der Erde, welche sie beide durch die Schwungkraft erklärten. Huyghens berechnete die Schwungkraft am Äquator auf  $\frac{1}{288}$  der Schwere, die Abplattung der Erde auf  $\frac{1}{18}$ . Newton berechnete dieselbe richtiger, wie später Gradmessungen \*) bestätigten, auf  $\frac{1}{230}$ . Huyghens lieferte auch bereits den experimentellen Beweis für die Abplattung rotierender Kugeln, indem er eine weiche Thonkugel um eine Achse in Rotation versetzte.

\*) Bessel berechnete die Abplattung der Erde auf  $\frac{1}{230}$ , nach neueren Berechnungen beträgt die Abplattung  $\frac{1}{231}$ .

Obwohl beide Forscher zur Überzeugung gelangt waren, dass die Erde an den Polen abgeplattet sein müsse, so gieng doch Huyghens von der Voraussetzung aus, dass die Anziehungskraft der Erde ihren Sitz allein im Mittelpunkte der Erde habe, während Newton die Schwerkraft der Erde als das Gesamtresultat der Wirkungen aller Theile der Erde betrachtete. Auf diese Weise fand Newton für die Gestalt der Erde ein abgeplattetes Sphäroïd von dem Achsenverhältnisse 229: 230. Aus der Abplattung der Erde und aus ihrer Achsendrehung musste sich auch der richtige Schluss ergeben, dass sich die Erde ehemals in einem weichen bildsamem Zustande befunden haben müsse.

Dass die Resultate verschiedener Berechnungen der Abplattung von einander abweichen, rührt daher, dass man früher eine durchgängig gleiche Dichte des Erdinneren angenommen hatte. Später, als man bei der abermaligen Berechnung des Verhältnisses beider Achsen berücksichtigte, dass die Dichte der Erde nach innen zunehme, kamen die Resultate der unmittelbaren Messungen in größere Übereinstimmung mit jenen der Pendelbeobachtungen.

Huyghens beschäftigte sich auch bereits mit der Entwicklung der Gesetze der Schwingungen konischer Pendel, d. h. solcher, welche nicht wie die gewöhnlichen Pendel in einer Ebene hin- und hergehen, sondern bei ihren Schwingungen eine Kegelfläche beschreiben. Da sie sich nicht in einer ruckweisen, sondern stetigen Bewegung befinden, so empfahl Huyghens die Anwendung solcher Pendel für Uhren; doch fand diese Empfehlung zu ihrer Zeit fast keine Beachtung. Wohl aber führte sie später Watt zur Regulierung des Ganges der Dampfmaschinen ein.

Die Pendeluntersuchungen führten Huyghens auch auf die Lehre von der Centrifugalkraft. Die Untersuchungen darüber beschränkten sich auf die Centrifugalkraft bei der Kreisbewegung. Die von ihm aufgefundenen Sätze befinden sich bereits in seinem 1673 erschienenen *Horologium oscillatorium*. Eine ausführliche und beweisende Darlegung derselben brachte erst seine Abhandlung *De motu et vi centrifuga*, welche nach

seinem Tode, 1703 erschien. Die von Huyghens aufgefundenen Sätze bei der Kreisbewegung waren:

1. Die Centrifugalkraft ist dem Quadrate der Geschwindigkeit direct und dem Radius der Krümmung umgekehrt proportional.

2. Die Schwungkräfte verhalten sich bei gleichen Umlaufzeiten direct wie die Radien.

3. Die Schwungkräfte verhalten sich bei gleichen Radien umgekehrt wie die Quadrate der Umlaufzeiten.

Schon Galilei zeigte, dass die Schwere bei der Größe des Erdradius zur Überwindung der Schwungkraft genüge.

Bezüglich der vielen übrigen Arbeiten Huyghens auf dem Gebiete der Mechanik wollen wir nur noch erwähnen, dass uns auch in der Lehre vom Stoße der Körper sein Name entgegentritt. Selbst Galilei hatte diese Theorie noch gar nicht bearbeitet, und nur die wichtige Behauptung aufgestellt, dass die Kraft des Stoßes im Vergleiche zur Kraft des Druckes unendlich groß sei, Stoß und Druck nicht vergleichbare Größen seien. Huyghens hat sich anfänglich auf die Behandlung des centralen Stoßes elastischer Körper beschränkt. In seinen hinterlassenen Werken jedoch, welche unter dem Titel *Opuscula posthuma* im Jahre 1703 erschienen, befindet sich eine Abhandlung *De motu corporum ex percussione*, welche die ganze Lehre vom centralen Stoße mit Beweisen enthält. Höchst bemerkenswert sind darin folgende Gesetze:

Zwei gleiche elastische Körper, die mit entgegengesetzt gleichen Geschwindigkeiten auf einander stoßen, prallen mit denselben Geschwindigkeiten von einander zurück. (Aus diesem Grundsätze leitete er die Stoßgesetze ab.)

Die Quantität der Bewegung ist nur constant, wenn man die algebraische Summe der Bewegungsmengen nimmt.

Bei dem Stoße elastischer Körper bleibt die Summe der Producte aus den Massen und den Quadraten der zugehörigen Geschwindigkeiten vor und nach dem Stoße dieselbe.

Dieser Satz erhielt später den Namen des Satzes von der Erhaltung der lebendigen Kräfte, weil Leibnitz das Product

aus der bewegten Masse in das Quadrat ihrer Geschwindigkeit die lebendige Kraft nannte.

Als die bedeutendste Leistung von Huyghens, welche seinen unsterblichen Ruhm begründete, muss die Undulationstheorie bezeichnet werden.

„Die Undulationstheorie des Lichtes,“ sagt Whewell in seiner Geschichte der inductiven Wissenschaften, „ist die einzige unter allen anderen Entdeckungen des menschlichen Geistes, die sich der Theorie der allgemeinen Schwere kühn zur Seite stellen kann, in Beziehung auf ihren hohen Standpunkt sowohl, als auch auf ihre Allgemeinheit, ihre Fruchtbarkeit und ihre innere Sicherheit.

Grimaldi hatte im Jahre 1656 die später Interferenz des Lichtes genannte Erscheinung entdeckt und sich überzeugt, dass Licht zu Licht hinzugefügt unter gewissen Umständen Dunkelheit erzeugen könne. Diese Thatsache konnte mit der seit Empedokles (5 Jahrhunderte v. Ch.) angenommenen Emanation eines Lichtstoffes nicht vereinbart werden, denn, wäre das Licht eine ausströmende Materie, so müssten doch Lichttheilchen zu Lichttheilchen hinzugefügt immer verstärktes Licht und nie Dunkelheit erzeugen. Grimaldi hat bereits an eine Wellenbewegung des Lichtes gedacht. Er glaubte diese Erscheinung nicht anders als nach Analogie der Interferenz der Wasserwellen erklären zu können; wenn Wasserwellen von verschiedenen Erregungspunkten ausgehen, durcheinander gehen, so entstehen an jenen Stellen, an denen Wellenberg mit Wellenberg und Wellenthal mit Wellenthal zusammentreffen, erhöhte Berge und vertiefte Thäler, an anderen Stellen, wo ein Wellenberg mit einem Wellenthal zusammentrifft, kann eine ebene Wirkung entstehen.

Sicherer spricht Hooke (geb. 1635 auf der Insel Wight) in einer im Jahre 1675 der königl. Gesellschaft in London überreichten Schrift sich dahin aus, dass das Licht in einer wellenförmigen Bewegung eines allverbreiteten Mediums bestehen müsse, und dass die Richtung der Vibrationen auf der Fortpflanzungsrichtung der Wellen senkrecht stehe. Leider wurde letzterer geistvolle Gedanke von seinen Zeitgenossen

nicht beachtet und musste später, so zu sagen, neu entdeckt werden.

Endlich trat Huyghens 1688 mit seiner Undulationstheorie auf, welche aus einem langen Kampfe mit der durch die Autorität Newtons geschützten Emanationstheorie siegreich hervorgieng. Noch im Jahre 1809 vertheidigte der geniale Laplace und 1816 Biot die Emissionstheorie.

Huyghens nahm einen höchst feinen, elastischen, den Beharrungsgesetzen, aber nicht den Schweregesetzen unterworfenen Stoff „Aether“ genannt an, welcher im unendlichen Welt- raume verbreitet ist, und selbst die kleinsten Zwischenräume eines jeden Körpers erfüllt. Die Äthertheilchen stehen durch Molekularkräfte miteinander in Wechselwirkung, so dass sich keines bewegen kann, ohne zugleich eine Bewegung der benachbarten Theile hervorzubringen. Jeder Punkt einer Wellen- fläche kann als der Ausgangspunkt einer sich nach allen Sei- ten ausbreitenden „Elementarwelle“ betrachtet werden. Diese Elementarwellen können einzeln keine merkliche Wirkung erzeugen, nur dort, wo sie sich durch ihr Zusammentreffen verstärken, entsteht eine deutliche Bewegung, nämlich die wirklich fortschreitende Welle. (Das Princip von Huyg- hens.) Gelangen solche wirksame Wellen zur Netzhaut des Auges, so entsteht jene Empfindung, welche wir das „Sehen“ nennen.

Huyghens lässt die Äthertheilchen, deren Schwingungen die Lichtwellen bilden, in der Fortpflanzungsrichtung des Lichtes schwingen, also Longitudinalschwingungen machen. Demnach ist das Licht als eine dem Schalle analoge Erschei- nung aufzufassen.

Selbstleuchtende Körper sind solche, welche die Ei- genschaft besitzen, den Aether in schwingende Bewegung zu versetzen, also Lichtwellen zu erzeugen. Die dunklen werden nur dadurch sichtbar, dass sie die von selbst leuchtenden Kör- pern auf sie fallenden Lichtwellen zurückwerfen. Durchsich- tig sind jene Körper, welche den Lichtwellen des Aethers den Durchgang gestatten. Die Intensität des Lichtes wird durch die Amplitude der Schwingungen bedingt.

Es lag gewiss nach der Analogie mit dem Schalle die Ansicht nicht allzu ferne, dass, sowie die Höhe des Tones durch die verschiedene Zahl der in der Zeiteinheit unser Ohr treffenden Schwingungen der Luft bestimmt wird, so nach der Undulationstheorie die Verschiedenheit der Farbe von der verschiedenen Anzahl der Vibrationen des Lichtäthers abhängt. Doch ließ Huyghens die Farbentheorie, die ihm Schwierigkeiten zu machen schien, einfach unbesprochen. Wer hat damals geahnt, dass eine Zeit kommen wird, in welcher man die Länge der Lichtwellen und die für jede Farbe nöthige Anzahl der Schwingungen wird messen können!

Erst Euler gelangte in der Mitte des vorigen Jahrhunderts mit Hilfe der Undulationstheorie zu einer Farbentheorie, die bis dahin gefehlt hatte. Er sagt: „Eine jede einfache Farbe rührt von einer bestimmten Anzahl von Schwingungen her, die in einer gewissen Zeit geschehen; so bringt eine gewisse Anzahl von Schwingungen in einer Secunde die rothe Farbe hervor, eine andere die gelbe, eine andere die grüne, wieder eine andere die blaue und noch eine andere die violette.“ Euler kannte aber noch kein Mittel, die Anzahl der Schwingungen einer jeden Farbe zu bestimmen, er wusste nicht einmal, welche Farben mehr oder weniger Schwingungen erfordern.

Ein unbestreitbar großes Verdienst um die Optik erwarb sich Huyghens durch die Entdeckung des Gesetzes, nach welchem bei der Doppelbrechung der außerordentliche Strahl gebrochen wird. Man kann sagen, er habe auf die Kenntnis der doppelten Strahlenbrechung seine Theorie des Lichtes gebaut.

Die Erscheinungen der Interferenz und Beugung des Lichtes lieferten den directen Beweis, dass das Licht in einer schwingenden Bewegung bestehe, gaben jedoch keinen Aufschluss darüber, ob diese Schwingungen nach der Annahme von Huyghens wie beim Schalle longitudinale, oder ob sie, wie Hooke angenommen, transversal sind. Die Entscheidung über diese Frage lieferten die zuerst von Huyghens beobachteten Erscheinungen bei der doppelten Strahlenbrechung, indem durch einen Kalkspathkrystall durchgegangene Lichtstrahlen eine Eigenthümlichkeit zeigten, die später Polarisation genannt wurde.

Solche Lichtstrahlen zeigten nämlich an ihren verschiedenen Seiten verschiedene Eigenschaften. Huyghens wusste diese Erscheinung nicht zu erklären. Etwa 130 Jahre später stellte Malus, der die Polarisation mittelst Reflexion entdeckt hatte, sogar die Behauptung auf, die Polarisation sei mit der Undulationstheorie unvereinbar. Erst der Neuzeit, bei der neuen Erweckung der Wellentheorie blieb es vorbehalten, eine entsprechende Erklärung zu geben, welche sehr an den Gedanken Newtons von den verschiedenen Seiten des Lichtstrahles erinnert. Nach derselben geschehen die Schwingungen im gewöhnlichen (nicht polarisierten) Lichte — in sehr schneller Aufeinanderfolge nach allen erdenklichen transversalen Richtungen. Ein solcher Strahl kann demnach nach keiner Seite verschiedene Eigenschaften haben. Für das polarisierte Licht wird angenommen, dass die Schwingungen des Äthers in einer bestimmten durch die Fortpflanzungsrichtung des Strahles gelegten Ebene senkrecht zum Strahle erfolgen.

Im Jahre 1690 erschien von Huyghens unter dem Titel *Traité de la lumière* ein selbständiges Werkchen, nachdem er bereits im Jahre 1678 über die Reflexion und Brechung des Lichtes in gewöhnlichen Mitteln und auch über die Doppelbrechung im Kalkspath seine Ideen und Beobachtungen veröffentlicht hatte. Es war ein unglücklicher Zeitpunkt, in welchem Huyghens mit seiner Undulationstheorie hervortrat. Dieselbe fand nicht die gehoffte Aufnahme, da der große Newton 1669 gerade die entgegengesetzte Ansicht, nämlich die Emissions- oder Emanationstheorie aufgestellt hatte und zu vertheidigen anfieng. Diese Theorie hatte bereits so viele Anhänger gefunden, als die Theorie von Huyghens erschien, dass letztere wenig beachtet wurde. Die Hypothese Newton's vom Lichtstoffe erschien viel einfacher, als die von Huyghens, zu welcher erst wieder noch eine Hilfhypothese, nämlich die vom Äther nothwendig war. Man fragte: „Wie kann man sich von dem Dasein dieses Äthers überzeugen? \*) Ist die Annahme eines

---

\*) Man versuchte in neuerer Zeit die Abweichung des Eneke'schen Kometen von seiner berechneten Bahn auf den Widerstand des Äthers im Weltraume zurückzuführen.

Lichtstoffes, welcher von selbstleuchtenden Körpern ausgesendet wird, nicht näherliegend?“

In den vierziger Jahren des 18. Jahrhunderts begann Euler die Wellentheorie in Schutz zu nehmen und eröffnete eine Reihe von heftigen Angriffen gegen die Emissionshypothese. Wir wollen hier nur einige anführen:

1. Die Sonne müsste durch das unaufhörliche Ausströmen einer Materie aus allen ihren Punkten und nach allen Seiten einen merklichen Verlust erleiden.

2. Es sei unbegreiflich, dass eine Materie mit einer so großen Geschwindigkeit wie das Licht sich bewegen sollte.

3. Materielle Strahlen könnten die durchsichtigen Körper nicht anders, als in geradlinigen Gängen durchdringen. Denkt man sich aber solche Gänge in einem Körper an allen Stellen und nach allen Richtungen, so bleibt für die undurchdringliche Materie des Körpers kein Ort übrig. Ein solcher Bau würde dem durchsichtigen Körper alle Materie oder wenigstens allen Zusammenhang nehmen.

Dafür wurde von verschiedenen Seiten unter anderem gegen die Wellentheorie behauptet, dass nach derselben kein Schatten möglich wäre. Sollte das Licht in der Bewegung dem Schalle ähnlich sein, so würden Wellen auch hinter einen undurchsichtigen Körper gelangen, sowie dies beim Schalle der Fall ist.

So wurde der Kampf zwischen beiden Theorien mit abwechselndem Glücke geführt. Es musste seit der ersten Veröffentlichung der Huyghens'schen Ideen mehr als ein Jahrhundert verfließen, bis Young und Fresnel tief in den Geist der Undulationstheorie eindrangten, und ihr zum Siege verhalfen, so dass die physikalische Optik auf dieser Grundlage zu einer der sichersten und am weitesten ausgebildeten Disciplinen der ganzen Physik geworden ist.

Huyghens war bereits in jungen Jahren zu einem großen Rufe gelangt. Im Jahre 1663 wurde er zum Mitgliede der königl. Gesellschaft in London ernannt. Im Jahre 1665 lud ihn der König von Frankreich Ludwig XIV. ein, Mitglied der königl. Akademie der Wissenschaften in Paris zu werden. Er folgte diesem Rufe unter den glänzendsten Bedingungen und

galt während seines ganzen Aufenthaltes in Paris für eine der vorzüglichsten Zierden der Akademie. Aber der Widerruf des Edicts zu Nantes veranlasste ihn, da er Reformierter war, 1681 in sein Vaterland zurückzukehren und dort seine Forschungen fortzusetzen. Sein Tod trat am 5. Juni 1695 unerwartet ein. Der Bibliothek zu Leyden hinterließ er seine sämtlichen Papiere, und die dortigen Mathematiker gaben sie nach einer Auswahl, seinem Willen gemäß 1703 unter dem Titel: „Hugenii opuscula posthuma“ in Leyden heraus.

#### XXIV. Evangelista Torricelli und die Erfindung des Barometers.

Das ganze Alterthum und Mittelalter hindurch wusste man vom Luftdrucke nicht das geringste, obwohl die Physiker verschiedene Erscheinungen kannten, welche nur durch diesen Druck erklärt werden können. So war bekannt, dass man Flüssigkeiten in einer engen Röhre schwebend erhalten kann, wenn man das obere Ende mit dem Finger verschließt; man wusste, dass Wasser in einer Röhre aufwärts steigt, aus der man eben durch Saugen die Luft entfernt; man kannte die Erscheinung, dass einsaugende Spritzen und Heber (schon dem Hero bekannt), dass Saugpumpen (die schon Aristoteles kannte,) fließen oder stille stehen, je nachdem man die obere Öffnung offen lässt oder zuhält. Aber die Physiker suchten diese Erscheinung nicht durch den Druck der Luft, sondern durch die Annahme des Abscheues, welchen die Natur gegen einen leeren Raum habe (*horror vacui*) zu erklären. Auch Galilei theilte noch diese Ansicht. \*). In der Folge entdeckte er zwar, dass in den Saugpumpen das Wasser nicht über eine Höhe von  $10\frac{2}{3}$  Meter gehoben werden könne, allein hierdurch wurde er nicht bewogen, seine bisherige Behauptung aufzugeben, sondern nur einzuschränken, indem er lehrte, dass der Abscheu der Natur gegen die Leere gewisse Grenzen habe. Da führte Evangelista Torricelli, ein Schüler Galilei's, durch ein ein-

\*) Siehe Capitel „Galilei“

faches Experiment einen vernichtenden Schlag gegen die bisherige Theorie und verbreitete über diesen Gegenstand richtige Begriffe. Er machte nämlich den Schluss, dass dieselbe Ursache, welche das Wasser in einer Röhre, nach seiner Schätzung etwa 31 Fuß 9 Zoll = 381 Zoll hoch hebe, das Quecksilber, welches 13·6 mal schwerer als das Wasser ist, auch nur in einer 13·6 mal geringeren Höhe erhalten könne. Von der Richtigkeit dieser Vermuthung überzeugte er sich durch den nach ihm benannten Versuch. (Toricellischer Versuch.) Er füllte eine lange, an einem Ende zugeschmolzene Glasröhre mit Quecksilber, verschloss sie mit dem Daumen und stellte sie senkrecht in ein Gefäß mit Quecksilber. Nachdem er den Daumen weggezogen, fiel das Quecksilber nicht ganz herab, sondern blieb etwa 28 Zoll hoch in der Röhre stehen.

Der von Toricelli angestellte Versuch wurde allen Physikern bekannt, allein keiner derselben sah den wahren Grund von dieser Erscheinung ein, bis Toricelli selbst auf den Gedanken kam, dass das Quecksilber in der Röhre durch den Luftdruck erhalten werde, der auf der Oberfläche des Quecksilbers in dem weiteren Gefäße lastet. „Die Atmosphäre ist es,“ sprach er bestimmt aus, „welche diesen Druck hervorbringt, denn die Luft ist ein schwerer Körper und lastet mit diesem Gewichte auf der Erde, wie das Wasser des Meeres schwer auf dem Grunde seines Beckens ruht.“

Toricelli hat nicht nur den Luftdruck, sondern auch die Veränderungen desselben entdeckt. Als er nämlich in seiner Röhre die Höhe der Quecksilbersäule mehrere Tage hindurch beobachtete, fand er, dass sie bald zu-, bald abnahm und die Röhre, welche man anfangs nur gebrauchte, um den Druck der Atmosphäre zu beweisen, war die nächste Veranlassung zu der Erfindung des Barometers, denn man schloss aus den täglichen Veränderungen, welchen die Höhe des Quecksilbers unterworfen war, dass der Druck der Atmosphäre nicht immer ein und derselbe sein könne. Diese Veränderungen in der Höhe der Quecksilbersäule waren es, welche Toricelli vorzüglich bestimmten, den horror vacui durch einen veränderlichen Luftdruck zu ersetzen, denn weshalb sollte die Natur einmal

einen größeren, ein andermal einen kleineren Abscheu vor dem leeren Raume haben?

Toricelli theilte seine Ideen seinem Freunde Viviani mit und überließ demselben die Ausführung. Im Jahre 1643 erblickte das erste, allerdings sehr unvollkommene Barometer das Licht der Welt. Die zwei ältesten Formen waren das Gefäß- und Heberbarometer. Einige schlugen vor, das offene mit Quecksilber gefüllte Gefäß an dem offenen Theile der Röhre anzukitten. Von anderen wurde die Röhre umgebogen und unten ein etwas weiteres oben mit einer Öffnung versehenes Gefäß, welches das Behältnis für das Quecksilber sein sollte, angeblasen. Außerdem wurden noch verschiedene andere Abänderungen an dem Barometer vorgenommen. Doch waren alle Versuche, die barometrischen Veränderungen auf einen größeren Raum auszudehnen, nicht zweckmäßig. So verfertigte Guericke ein Wasserbarometer, welches er in seinen Schriften entweder „Semper vivum“ oder Anemoskopium (Windanzeiger) oder Wettermännchen nennt. Das Wort „Barometer“ finden wir bei ihm nicht; überhaupt ist nicht bekannt, wer zuerst diese Bezeichnung eingeführt hat. Guericke's Wasserbarometer bestand aus einer 20 Ellen langen und einen Finger weiten Messingröhre, welche an der Wand seines Hauses angebracht war, und mit dem unteren Ende in einem mit Wasser gefüllten Gefäße stand; oben schloss sich an die Messingröhre eine Glasröhre, welche mit einem Hahn versehen war. Wenn dieser Hahn geöffnet und der obere Raum mittelst einer Luftpumpe evacuiert wurde, so stieg das Wasser in der Röhre über keine größere Höhe als 32 Fuß. Jede Veränderung des Luftdruckes wurde durch ein Steigen und Fallen der Wassersäule, welches mehrere Handbreiten betrug, angezeigt. Um dem Geschmacke der damaligen Zeit Rechnung zu tragen, ließ Guericke auf dem Wasser in der Röhre ein aus Holz geschnitztes Männchen schwimmen, welches mit ausgestrecktem Zeigefinger auf eine Scala zeigte, auf welcher das Wetter angegeben war. Guericke hatte nämlich bemerkt, dass Barometeränderungen häufig mit Wetterveränderungen im Zusammenhange stehen und dass namentlich ein rasches Sinken des Barometerstandes heftigen Wind

prophezeihe. Noch gegen die Mitte dieses Jahrhunderts befand sich ein ähnliches Wasserbarometer in dem sogenannten Sommerset-House in London.

Eine besondere Art von Barometer, das sogenannte Radbarometer beschreibt Hooke. Es datiert vom Jahre 1665. Dasselbe ist ein heberförmiges Barometer, bei welchem auf der Quecksilberoberfläche im offenen Schenkel ein kleines Gewichtchen ruht, welches zugleich an einem um eine Rolle gelegten Faden aufgehangen und mit einem Gegengewichte beinahe im Gleichgewichte ist. Je nachdem nun das Quecksilber steigt oder fällt, wird die Rolle gedreht. Ein Zeiger, der an derselben Achse befindlich ist, zeigt auf einer Scheibe die jedesmalige Barometerhöhe in Abtheilungen, welche Zolle und Linien bedeuten und desto größer sein können, je länger der Zeiger ist.

Es wurden noch viele Änderungen an der Gestalt des Barometers vorgenommen; sie sollten meistens den Zweck erreichen, das Instrument empfindlicher zu machen. So lange man nicht wusste, dass das Barometer zum Höhenmessen verwendet werden könne, gab man sich auch noch nicht viele Mühe, die Transportfähigkeit desselben zu erhöhen. Da verfiel im Jahre 1647 der erst 24jährige französische Physiker Pascal auf eine höchst sinnreiche Idee, den Luftdruck unzweifelhaft zu beweisen. Er ordnete den Versuch nämlich so an, dass die äußere Luft um das Barometer in dem Raume, in welchem sich dieses befand, ganz entfernt werden konnte. Da sank das Quecksilber in der Röhre immer tiefer und endlich nahezu bis zur Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße.

Er zog daraus den Schluss, dass, da die Luft von der Erdoberfläche nach aufwärts an Dichte abnehme, auch der Barometerstand abnehmen müsse, wenn man sich mit einem solchen Instrumente über die Meeresfläche erhebt. Pascal bewog seinen Schwager Perier zu Clermont, diesen Versuch auszuführen, da er selbst keine Gelegenheit dazu fand (1648). Perier stellte zwei ganz gleiche Quecksilber-Barometer her; das eine ließ er in dem am Fuße des Puy de Dôme liegenden Clermont unter Bewachung des Pater Clastin zurück, welcher den ganzen

Tag den Barometerstand zu beobachten hatte. Mit dem anderen bestieg er den etwa 3000 Fuß hohen Berg. Schon während des Besteigens des Berges zeigte sich ein fortwährendes Fallen der Quecksilbersäule. Als man zuletzt den an der Spitze des Berges beobachteten Barometerstand mit jenem in Clermont verglich, fand man einen Unterschied von 3 Zoll und 15 Linien.

Als hierauf Pascal in Paris den etwa 150 Pariser Fuß hohen Thurm der Kirche St. Jaques de la Boucherie bestieg, fand er für diese Höhe einen Unterschied der Barometerstände von 2 Pariser Linien.

Hierauf folgten noch verschiedene Versuche in Paris, Stockholm, Clermont u. a. Dadurch kam Pascal auf den Gedanken, dass das Barometer zum Höhenmessen verwendet werden könne. Ehe er jedoch an die Ausführung schreiten konnte, starb er.

Den ersten Schritt zur barometrischen Höhenmessung that Mariotte, indem er nach Auffindung des nach ihm benannten Gesetzes zu bestimmen suchte, auf welche Weise der Luftdruck von der Höhe abhängt. Er brachte wirklich eine ziemlich entsprechende Formel für die Berechnung von Höhen aus Differenzen von Barometerständen zustande, indem er die Atmosphäre in Schichten theilte.

Mariotte bestimmte so experimentell 1676, wie hoch die Luftschicht sei, welche unmittelbar über dem Erdboden einer gewissen Barometerdifferenz entspreche, und berechnete dann nach seinem Gesetze die Höhe der folgenden Luftschichten, welche einer gleichen Barometerdifferenz entspricht.

Der berühmte Physiker und Astronom Halley gab endlich 1685 eine Barometerformel, welche in der Hauptsache der noch heute giltigen Formel entspricht.

Wenden wir uns nun zu Toricelli zurück. Ihm verdanken wir auch die Auffindung der Gesetze für den Ausfluss von Flüssigkeiten aus Gefäßen. Er zeigte, dass Wasser, welches aus einer engen Öffnung in dem horizontalen Boden eines Gefäßes ausfließt, nahezu eine solche Geschwindigkeit hat, welche ein Körper beim freien Fall erlangt, wenn er durch eine Höhe gefallen ist, welche der Tiefe der Öffnung unter dem Wasserspiegel gleich ist, (Toricelli's Theorem), dass sie also abnimmt,

so wie das Wasser im Gefäße sinkt, dass bei verschiedenen Druckhöhen sich die Ausflussgeschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus diesen Höhen verhalten, dass also bei gleich großen Öffnungen die Mengen, welche in gleichen Zeiten ausfließen, den Quadratwurzeln aus den Niveauhöhen direct proportional sind, dass der ausfließende Strahl, wenn sich die Öffnung in der Seitenwand eines Gefäßes befindet, nahe die Gestalt einer Parabel hat.

Über die Lebensverhältnisse Torricelli's lässt sich nicht viel berichten. Zu Faenza im Jahre 1608 geboren, studierte er unter dem gelehrten Benedictiner Castelli, welcher auch ein Gehilfe Galilei's bei dessen astronomischen Beobachtungen war, die Mathematik in Rom. Eine Schrift, die er über die Bewegung der Körper verfasste, erregte die Aufmerksamkeit Galilei's, welcher ihn zu sich rief, damit er ihm bei Vollendung seiner Arbeiten Unterstützung gewähre. Toricelli kam wirklich im October 1641 nach Arcetri, wo sich Galilei damals aufhielt; doch hatte er nur kurze Zeit das Glück des Zusammenlebens und Ideenaustausches mit dem bereits erblindeten Greise, denn Galilei starb schon drei Monate später. Nun erhielt Toricelli die Stellen eines Hofmathematikers und Professors der Mathematik in Florenz, welche beide Galilei inne gehabt hatte. Leider wurde er seiner wissenschaftlichen Thätigkeit zu bald entrissen. Er starb zu Florenz im Jahre 1647 im eben vollendeten 39. Lebensjahre.

## XXV. Otto von Guericke und die Erfindung der Luftpumpe.

Der Toricellische Versuch hatte ein sehr einfaches Mittel geliefert, einen luftleeren Raum herzustellen, und es wurde wirklich durch längere Zeit von der Akademie zu Florenz die Toricellische Röhre dazu gebraucht. Zum Behufe der Herstellung eines Vacuums von einigermaßen hinreichender Größe wurde die Röhre an einem Ende durch Aufblasen erweitert, mit Quecksilber gefüllt mit dem anderen offenen Ende in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß senkrecht gehalten. Das Quecksilber sank hierauf in der Erweiterung und ließ den oberen Theil

luftleer. In diesem befanden sich nur Quecksilberdämpfe, die aber so dünn sind, dass man sie wohl vernachlässigen darf. Allein dieses Verfahren lässt sich nicht praktisch anwenden, denn um einen nur mäßig großen Raum auf diese Weise luftleer zu machen, braucht man ungemein viel Quecksilber und man müsste, um das Eindringen von Luft zu verhindern, so viel Vorsichtsmaßregeln anwenden, dass die Handhabung eines solchen Apparates sehr erschwert würde. Doch war dies jedenfalls bereits der Weg zur Erfindung der Quecksilberluftpumpe, welche aber selbst nach den in neuester Zeit an ihr vorgenommenen Verbesserungen nur eine beschränkte Anwendung gefunden hat. Dagegen construierte im Jahre 1650\*) Otto von Guericke jenen Apparat, der noch heute zum Zwecke der Luftverdünnung in einem Raume mit Vortheil gebraucht wird, die Luftpumpe.

Otto von Guericke, geb. 1602 zu Magdeburg, war der Sohn eines Richters; er studierte zu Leipzig, Helmstädt, Jena und Leyden anfangs die Rechte, später aber fast nur Mathematik und Physik und erwarb sich um diese Wissenschaften durch mehrere Erfindungen anerkannte Verdienste. Guericke durchreiste nach zurückgelegten Universitätsjahren Frankreich und England, wurde 1617 Rathsherr und 1646 Bürgermeister in seiner Vaterstadt, erhielt später den Titel eines brandenburgischen Rathes und das Adelsdiplom. Im Jahre 1686 starb er zu Hamburg im Hause seines Sohnes, bei dem er seine letzten Jahre ungetrübt und ruhig hatte zubringen wollen.

Zur Erfindung der Luftpumpe führte ihn das Bestreben, einen luftleeren Raum zu erzeugen. Da ihm Toricelli's Vacuum damals noch nicht bekannt war, so machte er folgenden Versuch: Er füllte ein Fass ganz mit Wasser, setzte am Boden des Fasses senkrecht nach unten eine Saugpumpe an und versuchte nun mittelst dieser das Wasser herauszuziehen. Obwohl drei Arbei-

---

\*) Da Guericke nicht selbst die Zeit seiner Erfindungen bezeichnet, so herrscht jetzt bezüglich des Jahres für die Erfindung der Luftpumpe ein Zweifel. Manche nehmen das Jahr 1652 an.

ter an der Saugpumpe beschäftigt waren, so gelang es ihnen doch nur mit großer Anstrengung sehr wenig Wasser herauszupumpen. Dabei hörte man ein fortwährendes Zischen. Guericke sah bald ein, dass die Luft durch die Poren der Holzwände in den etwa entstandenen leeren Raum eindringen müsste. Eben so wenig gelang der Versuch, als er dieses Fass in ein anderes größeres mit Wasser gefülltes einsetzen und die Arbeit wiederholen ließ. Er änderte nun den Versuch in gründlicher Weise. Er ließ eine große Hohlkugel aus Kupfer anfertigen. Die Berichte geben an, dieselbe hätte 60 bis 70 Magdeburger Maß gehalten. Diese Kugel füllte er nicht mit Wasser, sondern ließ an derselben eine kurze mit einem Hahn verschließbare Röhre anbringen, welche mit einer Saugpumpe verbunden wurde. Da Guericke noch nicht von der Elasticität der Luft überzeugt war, so ließ er die Öffnung der Kugel mit der Saugpumpe nach unten anbringen, weil er glaubte, die Luft müsse dem Stempel nur vermöge ihres Gewichtes folgen. Auf diese Weise gelang es, Luft aus der Kugel zu pumpen, doch konnten nach einiger Zeit bei fortschreitender Luftverdünnung zwei Männer kaum mehr den Kolben bewegen. Um die Arbeit zu erleichtern, ließ er später den Kolben mittelst eines Hebels bewegen. Eine weitere Modification bestand darin, dass Guericke an ein auszupumpendes Glasgefäß einen unten umgebogenen Metallstiefel mit einem Stempel aus Leder anbringen ließ. Die Luft konnte durch ein Ventil aus dem Stiefel ausgelassen, und das Gefäß durch einen Hahn verschlossen werden, wenn die Luft in demselben hinreichend verdünnt war. Später stellte Guericke den Stiefel vertical. Um einen luftdichten Verschluss zu erzielen, umgab er die Stelle, wo der auszupumpende Behälter an den Stiefel geschraubt war, mit einem Trichter, welcher mit Wasser gefüllt wurde.

Um die Verbesserung der Luftpumpe haben sich verschiedene Physiker, in der ersten Zeit besonders Boyle, Papin, Muschenbroek und Gravesande, Verdienste erworben.

Boyle construierte im Vereine mit Hooke eine Luftpumpe, welche er 1660 beschrieb. Dieselbe hatte wie die von Guericke einen Hahn und ein Stöpselventil, war jedoch auf einem Gestell befestigt und hatte an dem Kolbenstiel Zähne, in welche

ein Zahnrad mit einer Kurbel eingriff. Diese Luftpumpe konnte schon durch einen Mann gehandhabt werden.

In einer 1674 in Paris erschienenen Schrift Papin's wird bereits eine Luftpumpe beschrieben, welche dieser bei seinen Experimenten mit Huyghens gebrauchte. Sie hatte schon einen Teller, einen cylindrischen Glasrecipienten und eine Barometerprobe. Der senkrecht herabgehende Stempel war mit einem Steigbügel versehen, mittelst dessen man ihn mit dem Fuße herabtreten konnte, was dem Experimentierenden eine geringere Anstrengung verursachte. Einige behaupten, dass Huyghens schon am Ende des Jahres 1661 einen Teller und Recipienten bei der Luftpumpe angewendet habe. Die im Jahre 1687 von Papin beschriebene Luftpumpe hatte eine wichtige Verbesserung, nämlich ein Blasenventil, welches den Hahn ersetzte.

Gegen Ende des 17. Jahrhunderts kamen Ventilluftpumpen in Gebrauch mit zwei sich nach oben öffnenden Kegelventilen, deren eines sich am Grunde des Stiefels, das andere im Kolben befand.

Im Jahre 1697 ließ der Holländer Senguerd, Professor der Physik an der Universität Leyden, eine Hahnluftpumpe mit schief liegendem Stiefel ausführen, an welcher er eine wichtige Verbesserung, nämlich den nach ihm benannten Senguerd'schen Hahn anbrachte. Derselbe hat bekanntlich eine doppelte Bohrung, so dass bei einer Stellung des Hahnes der Stiefel mit dem Recipienten und bei einer darauf senkrechten Stellung der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung gebracht wurde. Diese Luftpumpen konnten auch zum Comprimieren gebraucht werden und waren in Deutschland sehr beliebt.

Im Jahre 1709 wird in einer zu London erschienenen Schrift von Hawksber eine Ventilluftpumpe mit doppeltem Pumpenstiefel beschrieben.

Schon Guericke hatte mit seiner ersten unvollkommenen Luftpumpe Wirkungen erzielt, welche in überzeugendster Weise den Luftdruck anschaulich machten und seine Zeitgenossen in Erstaunen versetzten. Wir wollen nur einige derselben erwähnen.

Das größte Aufsehen erregte sein Versuch mit den sogenannten Magdeburger Halbkugeln. Guericke ließ nämlich zwei

ganz gleiche kupferne Halbkugeln, welche einen Durchmesser von 0.67 Elle hatten, anfertigen. Dieselben mussten mit ihrem Rande luftdicht an einander passen, was er dadurch erreichte, dass er an den wohlabgeschliffenen Rand einen Ring aus Leder legte, welcher mit einer Auflösung von Wachs und Terpentin getränkt war.

Die eine Halbkugel war mit einem Hahn oder mit einem Ventil versehen, so dass mittelst dieser die Luft aus der Kugel gepumpt und wieder äußere Luft in die Kugel hineingelassen werden konnte. Ferner befanden sich noch an beiden Halbkugeln eiserne Ringe, durch welche Stricke gezogen wurden, um Pferde anspannen zu können. Nachdem der Raum innerhalb der auf einander gelegten Halbkugeln ausgepumpt worden war, vermochten 16 Pferde, von denen je acht in entgegengesetzten Richtungen angespannt waren, nur mit Anstrengung die Halbkugeln von einander zu reißen und als dies geschah, so erfolgte ein Knall, wie von einem Schießgewehr. Wurde dagegen nach erfolgter Luftverdünnung der Hahn geöffnet, so dass von außen Luft einströmen konnte, so fielen die Halbkugeln sogleich von einander.

Diesen Versuch führte Guericke im Jahre 1654 auf dem Reichstage zu Regensburg vor Kaiser Ferdinand III. und den versammelten Reichsfürsten aus. Später wiederholte Guericke den Versuch in noch größerem Maßstabe mit Halbkugeln von einer Elle im Durchmesser und mit 24 Pferden.

Auch im Kleinen zeigte er den Luftdruck dadurch, dass er die Luft in abgeplatteten gläsernen Gefäßen mit parallelen Wänden verdünnte. Die Gefäße zersprangen endlich durch den Druck der äußeren Luft in viele Stücke.

Auch die Elasticität der Luft bewies Guericke, indem er eine mit Luft gefüllte Blase in ein Glasgefäß brachte, aus welchem er die Luft auspumpte. Die Blase dehnte sich immer mehr aus, bis sie mit lautem Knalle zersprang.

Ferner verband er zwei gläserne Halbkugeln mit einem Hahn dazwischen, von denen die eine mit Luft erfüllt, die andere möglichst luftleer war. Nach Öffnung des Hahnes gieng die Luft auch in die luftleere Kugel über, wie die entstehende

lebhaftere Bewegung darin befindlicher leichter Körper anzeigte, und vertheilte sich gleichmäßig in beide Kugeln.

Guericke versuchte auch bereits, das Gewicht der Luft zu bestimmen, indem er eine gläserne Hohlkugel, welche mit Luft gefüllt war, und dann, wenn sie luftleer war, wog. So kam er auf den Gedanken, dass die Luft in den unteren Schichten der Atmosphäre dichter sein müsse, weil die Luft, je näher dem Erdboden, desto mehr durch ihr eigenes Gewicht zusammengedrückt werde. Er bewies dies ohne Luftpumpe auf folgende Weise: Wurde ein mit einem Hahn verschlossenes Gefäß vom Fuße eines Berges auf den Gipfel gebracht, daselbst aber der Hahn geöffnet, so strömte die Luft mit Zischen heraus. Wurde hierauf der Hahn oben geschlossen, das Gefäß ins Thal gebracht und nun der Hahn geöffnet, so strömte die Luft in das Gefäß ein.

Nach dem eben Angeführten musste Guericke einsehen, dass das Gewicht der Luft nach der Höhe des Standpunktes verschieden auffalle. Erst später verfiel man darauf, bei Wägungen der Luft die Barometerstände und den Wärmegrad der Luft in Rechnung zu ziehen, und dann erst war es möglich, das Gewicht der Luft mit dem Gewichte eines gleichen Volumens Wasser zu vergleichen. Auf diese Art fand man, dass die atmosphärische Luft bei 76 Centimeter Barometerstand und bei Null Grad Temperatur 770mal leichter als Wasser ist, und dass folglich ein Liter atmosphärische Luft 1·3 Gramm wiegt.

Guericke zeigte unter verschiedenen Versuchen auch die Wirkung der Luftverdünnung auf den Schall und die Verbrennung in ganz ähnlicher Weise, wie sie noch heute gezeigt wird.

Die anfangs allgemein verbreiteten Hahnluftpumpen konnten nicht bloß zur Verdünnung, sondern auch zur Verdichtung der Luft gebraucht werden. Als man aber anfieng, Ventilluftpumpen zu construieren, wurden eigene Compressionspumpen nothwendig. Die erste derartige Verdichtungspumpe construierte Boyle. Sie glied der Hauptsache nach ganz den noch heute im Gebrauche stehenden.

Guericke hatte beobachtet, dass zwei Körper von sehr verschiedenem Volumen, aber einerlei absolutem Gewichte an

einem Wagebalken nur im Gleichgewichte bleiben, so lange sie sich in einer Luft von mittlerer Dichte befinden, dass jedoch in einer verdünnten Luft der Körper sinkt, welcher ein größeres Volumen hat, in einer dichteren Luft aber der kleinere Körper das Übergewicht erhält, und zwar, dass in beiden Fällen die Erscheinung um so auffallender ist, je mehr die Luft in dem einen Falle verdünnt, in dem anderen verdichtet wird. Auf diesen Erfahrungssatz gründete Guericke das *Dasymeter* oder *Wagemanometer*, welches ihm die Zu- und Abnahme der Dichte der Luft anzeigte. Dieses Instrument, welches heute in keinem physikalischen Cabinet fehlt, führte er in riesigen Dimensionen aus. Er befestigte an einem Ende eines Wagebalkens eine kupferne Hohlkugel von einem Fuß im Durchmesser, nachdem er sie luftleer gemacht hatte, was überflüssig war, und brachte an das andere Ende ein Gleichgewicht von möglichst kleinem Volumen.

Boyle stellte ein subtileres Dasymeter dar, indem er dazu eine Kugel aus dünnem Glase, etwa von der Größe eines Apfels verwendete.

Guericke hat sich auch auf dem Gebiete der Elektrizität Verdienste erworben und wird auch häufig als Erfinder der Elektrisiermaschine betrachtet. Jedenfalls war er der erste, der nach Gilbert die Kenntniss dieses Zweiges der Physik nicht unerheblich vermehrte. Er experimentierte mit geriebenen Schwefelkugeln, welche er auf die Weise verfertigte, dass er Schwefel in einer Glaskugel schmolz und dann nach Erkaltung desselben das Glas herum zerschlug und absonderte. Diese Schwefelkugel durchbohrte er und steckte sie auf eine Achse, mittelst welcher er sie in Drehung versetzen konnte. Als Reibzeug diente dabei die trockene Hand. Dieser Vorrichtung kann wohl noch nicht der Name einer Elektrisiermaschine gegeben werden, dennoch aber müssen wir darin bereits den ersten Schritt zur Erfindung derselben erkennen.

Guericke entdeckte die elektrische Abstoßung; er bemerkte nämlich, dass eine elektrische Kugel von Schwefel, die einen leichten Körper an zog, diesen später wieder ab stieß, und dies so lange, bis dieser Körper mit irgend einem anderen Körper in

Berührung gekommen war. Eine Flaumfeder wurde zuerst von der geriebenen Schwefelkugel angezogen, dann aber abgestoßen und die einzelnen Härchen sträubten sich; sobald er aber die Flaumfeder mit dem Finger berührte, wurde sie wieder von der Kugel angezogen. Von dieser elektrischen Abstoßung wussten weder die Alten, noch Gilbert. Diese Entdeckung benutzte Guericke zu einer Menge interessanter Experimente, die man in den Lehrbüchern der Physik des 17. und 18. Jahrhunderts beschrieben findet.

Dem gewandten Experimentator entging auch nicht ein Leuchten und ein schwaches Knistern an einer geriebenen Schwefelkugel. Es war indessen nur das schwache phosphorische Leuchten der Elektrizität im Dunkeln, welches er wahrnahm, den eigentlichen elektrischen Funken beobachtete erst im Jahre 1708 der Engländer Wall.

Guericke's elektrische Entdeckungen stammen meist aus dem Jahre 1663 und wurden 1672 zu Amsterdam veröffentlicht.

## XXVI. Geschichte der Wärmelehre.

Die Alten haben sich mit Untersuchungen über Wärme wenig befasst. Wärme und Feuer ist nach Aristoteles ein eigenes Element, welches das unkörperlichste von allen ist und aus außerordentlich kleinen und beweglichen Theilen besteht. Epikur lehrte, die Wärme bestehe aus feurigen Ausflüssen. Von einer wissenschaftlichen Auffassung finden wir keine Spur. Die Kenntnisse der Alten beschränkten sich auf die empirische Bekanntschaft mit den täglichen Erscheinungen des Schmelzens, Verdampfens, Siedens und dgl. Auch noch bei den strebsamen Arabern waren die Leistungen auf diesem Gebiete, so weit wir sie kennen, fast gleich Null. Merkwürdig ist es, dass Alkhasini bereits die Veränderungen kennt, welche das specifische Gewicht des Wassers durch Änderungen der Temperatur erleidet.

Einen Wärmemesser kannte man bis zum 17. Jahrhunderte nicht und selbst da gelangte man zur Construction eines solchen

erst nach vielen vergeblichen Versuchen. (Über die Erfindung des Thermometers siehe Seite 161). Über das Wesen der Wärme schwanken fortwährend die Ansichten. Gilbert (1540—1603) sagt: Feuer ist kein Element, es ist nur der höchste Grad von Wärme, diese aber der Actus einer verfeinerten Flüssigkeit, etwa eines sehr feinen Äthers.

Bacon von Verulam (1561 — 1626) spricht in seinem Hauptwerke (1620) verhältnismäßig richtige Ansichten über die Wärme aus, nämlich: Erwärmende Körper verlieren nichts an ihrem Gewichte, sie können daher keine Substanz mittheilen. Das Licht gehört nicht nothwendig zum Wesen der Wärme, weil auch dunkle Körper erwärmen. Weil alle Körper durch Reibung warm werden, ist jeder selbständige Wärmestoff ausgeschlossen. Nach ihm ist die Wärme eine ausdehnende Bewegung, die gehemmt wird und in den kleineren Theilen erfolgt. Auch Descartes (1596 — 1650) huldigte der Vibrationstheorie. Dagegen nimmt Gassendi (1592 — 1655) nicht nur eine Wärmematerie, sondern auch eine eigene Kältematerie an, weil durch Mischungen Kälte erzeugt werden könne. Über solche Kältemischungen stellte der ausgezeichnete Experimentator Boyle (1659 — 1691) zahlreiche Versuche an und machte dabei die wichtige Entdeckung, dass alle Salzè, wenn sie mit Eis oder Schnee Kälte erzeugen, sich dabei auch verflüssigen. Gassendi entlehnte von Epikur die Lehre von den Atomen. Er nahm eigene Atome an für das Licht, die von dem leuchtenden Körper in geraden Linien nach allen Seiten fortgeschleudert werden, ebenso nahm er Atome für die Wärme und Kälte, ja sogar für Geruch, Geschmack und Gehör an. Auch Newton beschäftigte sich mit Studien über das Wesen der Wärme. Er sagt unter anderem, dass, wenn man zwei Thermometer mitten in zwei Glasgefäße hängt, von denen das eine luftgefüllt, das andere luftleer ist, und dieselben von einem kalten Orte an einen warmen oder umgekehrt gebracht werden, in beiden das Quecksilber gleichzeitig steige oder falle. Daraus zieht er den Schluss, dass die Wärme durch Schwingungen eines Mittels erzeugt werde, welche viel feiner als die Luft ist und selbst im luftleeren Raume vorhanden sein müsse.

Newton stellte auch ein Erkaltungsgesetz auf, nach welchem der Wärmeverlust, welchen ein Körper innerhalb einer kurzen Zeit erleidet, proportional seiner Wärme ist, d. h. dem jedesmaligen Überschuss an Wärme über die Umgebung.

Der Philosoph Christian Freiherr v. Wolf spricht bereits 1724 Ansichten über die Wärme und das Wesen derselben aus, wie sie noch bis vor kurzer Zeit die herrschenden waren. Nach ihm ist die Wärme ein besonderer Stoff, der von einem Körper zum anderen übergeht. Er sammelt sich in den Poren der Körper an und zwar je nach dem Stoffe, aus dem sie bestehen, in einem Körper in größerer Menge als in einem anderen. Der Wärmestoff ist an sich nicht warm, er erzeugt erst das Gefühl von Wärme, wenn er bewegt wird. Dies deutet wohl schon auf den Begriff der latenten Wärme hin, worüber Wolf jedoch selbst nicht klar wurde. Wilke (1732 — 1796) hält die Wärme für „eine feine Materie, deren Theilchen einander abstoßen, von den Materien der meisten Körper aber in verschiedenen Stärken angezogen werden.“ Er hat 1772 die spezifische Wärme entdeckt, indem er fand, dass verschiedene Körper bei gleicher Erwärmung verschiedene Wärmemengen verbrauchten. Die Messungen der spezifischen Wärme der Körper wurden zuerst fast durchgehends nach der Methode der Mischungen vorgenommen. Später seit 1777 gebrauchten Lavoisier und Laplace das Eis calorimeter, welches Verfahren Wilke als ungenau bezeichnete.

Auch der Genfer Physiker Deluc hielt die Wärme für einen Stoff, der viel leichter als Luft ist, oder zu den Imponderabilien gehört, der sich aber wie ein anderer Stoff mit der gewöhnlichen Materie verbindet. Er erklärte so wie Newton die Erscheinungen der Verdunstung und des Siedens durch die abstoßende Kraft der Wärme (1772). Er machte auch auf die Constanz der Siedepunkte, wie der Gefrierpunkte aufmerksam, welche man bis dahin kaum beachtet hatte. Er zeigte durch Versuche, dass, wie bei dem Schmelzen des Eises, so auch bei dem Sieden des Wassers eine bestimmte Wärmemenge verbraucht werde, ohne die Temperatur zu erhöhen und bloß dazu diene, die Aggregatform des Körpers zu ändern. Diese Wärme, die

durch das Thermometer nicht ersichtlich gemacht werden kann, nannte er „latente Wärme.“

Die Emanationstheorie des Lichtes legte die Annahme eines Wärmestoffes mittelst Analogie sehr nahe. Zu dieser Annahme führten auch die Erscheinungen der latenten und specifischen Wärme und die Meinung, dass die Wärme sich wie jeder andere Stoff mit den Körpern chemisch verbinden und auch wieder aus den Verbindungen ausgeschieden werden könne. Es entstand aber nun die Frage, ob dieser Wärmestoff nur eine Modification des Lichtstoffes oder wirklich eine besondere ursprüngliche Substanz sei und ob in letzterem Falle dieselbe als einfach oder zusammengesetzt angesehen werden müsse. Nach langem Hin- und Herschwanken entschied man sich dahin, den Wärmestoff für einen einfachen und expansiven, von allen anderen Stoffen gänzlich verschiedenen Stoff zu erklären, der jedoch zum Lichtstoffe in gewissen Beziehungen stehe. Ebenso gelangte man erst nach vielen Versuchen (Wägungen), welche sehr widersprechende Resultate lieferten, zu der Überzeugung, dass der Wärmestoff keine Schwere haben könne.

Nach der Emanationstheorie der Wärme wurden die Körper durch deren Anhäufung in denselben erwärmt und ausgedehnt oder in eine andere Aggregatform übergeführt. Dass die Körper durch Wärme ausgedehnt werden, bewies die Akademie in Florenz (1657—1662) mittelst verschiedener Apparate, welche meist so beschaffen waren, dass ein Körper im kalten Zustande durch eine Öffnung eben noch hindurch konnte, im erwärmten aber nicht mehr hindurchging. Hierher gehört z. B. der Versuch, dass Metallkegel, welche in die Löcher einer Stahlplatte gesteckt wurden, um so weniger tief hineingingen, je mehr sie erwärmt worden waren.

Während des Überganges aus einer Aggregatform in die andere wird nach dieser Stofftheorie der Wärmestoff entweder gebunden, d. h. er kann weder durch das Gefühl noch durch das Thermometer bemerkt werden, oder er wird frei und der Umgebung mitgetheilt. Die strahlende Wärme besteht nach dieser Theorie in einem Aussenden des Wärmestoffes, welcher, wenn er auf Körper auffällt, theils an ihrer Oberfläche zurück-

geworfen wird, theils in die Körper eindringt. Im letzteren Falle wird ein Theil des Wärmestoffes durchgelassen, ein anderer Theil wird zurückgehalten und bewirkt Erwärmung der Körper.

Über strahlende Wärme hat schon Porta in seiner „natürlichen Magie“ 1553 eine Beobachtung mitgetheilt. Die Stelle lautet in der Übersetzung also: Wenn man eine brennende Kerze in den Brennpunkt eines Hohlspiegels stelle, so werde das Licht so stark gegen die Augen geworfen, dass man davon die Wärme und den Glanz nicht ertragen könne. Es sei auch wunderbar, dass wie die Wärme, so auch die Kälte zurückgeworfen werde.

Die älteste wissenschaftliche Thatsache über die Existenz der strahlenden Wärme finden wir jedoch in dem Hauptwerke der Florentiner Akademie (1667 — 1692). Es war eigentlich ein Versuch über Kältestrahlung. Die Mitglieder der Akademie ließen in einer größeren Entfernung vor einem Hohlspiegel eine bedeutende Menge Eis aufhäufen und stellten in den Brennpunkt des Spiegels ein empfindliches Thermometer, worauf sogleich ein auffallendes Fallen desselben eintrat. Um sich zu überzeugen, ob dieses Fallen nicht von der Nähe der Eismassen am Thermometer herrühre, schoben sie einen Schirm zwischen Hohlspiegel und Thermometer, worauf dieses stieg und die Temperatur der umgebenden Luft anzeigte. Wurde jedoch der Schirm wieder entfernt, so fiel das Thermometer abermals. Dies war ein Beweis, dass das Fallen am Thermometer nicht durch die unmittelbare Einwirkung des Eises, sondern durch die von dem Hohlspiegel zurückgeworfene Kältestrahlung bewirkt wurde. Die Wärmeleitung wurde nach der Stofftheorie so aufgefasst, dass jede erwärmte Schichte der angrenzenden kälteren von ihrem Wärmestoffe mittheile.

Obwohl sich nun diese Emanationstheorie im allgemeinen nicht schwierig durchführen lässt, so gibt es doch einzelne Erscheinungen, die sich durch dieselbe entweder schwer oder gar nicht erklären lassen. Da man die Wärme in mechanische Arbeit, und mechanische Arbeit in Wärme umsetzen kann, so lässt sich dies nach der genannten Theorie ebenso wenig erklären, als dass

bei der Reibung als Wärmequelle zwei Eisstücke aneinander gerieben, Wärme geben können. In der Optik hat die Undulationstheorie den Sieg über die Emanationstheorie davongetragen; ebenso ist man bezüglich der Wärme zur Überzeugung gekommen, dass dieselbe als Resultat von Bewegungen der Molecüle und Atome betrachtet werden müsse. Die auf dieser Grundlage aufgebaute Theorie heißt die mechanische Wärmetheorie und wurde wissenschaftlich begründet durch den Arzt Julius Robert Mayer in Heilbronn im Jahre 1842. Allerdings ist diese Ansicht nicht ganz neu, schon früher wurde sie für die wahrscheinlichste gehalten. Auch Thomas Young, der Wiedererwecker der Undulationstheorie des Lichtes, war ein unbedingter Anhänger der Bewegungstheorie der Wärme, wie er im Jahre 1801 in einer Abhandlung über „das Licht und die Farben“ aussprach. Aber allen Naturforschern, welche dieser Theorie bis Mayer huldigten, fehlte es meist an Beweisen für die Richtigkeit derselben.

Die Wärmeerscheinungen haben unbedingt mit jenen des Lichtes soviel übereinstimmendes, dass man schon dadurch auf die Vermuthung geführt wird, es seien die ihnen zu Grunde liegenden Ursachen von einerlei oder doch von ähnlicher Natur. Da sich die Wärmestrahlen im sogenannten leeren Raume fortpflanzen, so können die ihnen zu Grunde liegenden Schwingungen kein wahrnehmbar materielles Substrat haben, und man muss den Äther ebenso als Grundlage der Wärmeschwingungen ansehen, wie man ihn als Basis der Lichtschwingungen annimmt. Die strahlende Wärme und das Licht unterscheiden sich nur durch ihre Wellenlänge. Die dunklen Wärmestrahlen vor dem Roth im Spectrum werden vom Auge nicht wahrgenommen. Sind die Wellenlängen des Äthers kürzer, als jene des violetten Lichtes, so werden sie als „chemisch wirkende Strahlen“ wieder nicht vom Auge wahrgenommen. Die Wärmeerscheinungen sind nach dieser Theorie eine Folge der Vibrationen der Körpermolecüle und des zwischen ihnen enthaltenen Äthers. Geleitete Wärme ist das Resultat der Größe der den Molecülen eines Körpers durch Ätherschwingungen mitgetheilten Bewegung, welche sich dem in den Zwischenräumen

befindlichen Äther mittheilt, wodurch dieser wieder andere materielle Theilchen zur Bewegung bringt. Eine Folge der so bewegten Körpermolecüle sind die Ausdehnung und die Aggregatsveränderungen. Bei dem Übergange aus der festen in die flüssige Aggregatform wird die lebendige Kraft der Molecüle so groß, dass sich jedes Molecül von dem benachbarten so weit entfernen kann, dass die Cohäsion bedeutend vermindert wird.

Bei dem Übergange aus der flüssigen Form in die Dampf- form erlangen einzelne Molecüle an der Oberfläche der Flüssigkeit eine solche lebendige Kraft, dass sie die Cohäsion zu allen übrigen überwinden.

Ein Körper ist warm, dessen Molecüle sich in einer eigenthümlich schwingenden Bewegung befinden. Diese Bewegungen gehen auf den umgebenden Äther über und bilden das Wesen der strahlenden Wärme. Von der Größe der Schwingung der bewegten Körpermolecüle hängt die Wärmemenge, \*) von der größten Schwingungsgeschwindigkeit die Temperatur ab. Gänzliche Ruhe der Körper- oder Äthermolecüle wäre die absolute größte Kälte.

Die Erwärmung durch Absorption der Wärmestrahlen geschieht so, dass die Äthertheilchen, welche die Molecüle eines Körpers umgeben, diesen einen Theil ihrer lebendigen Kraft mittheilen. Diejenigen Körpermolecüle, welche den Äther leicht in schwingende Bewegung versetzen, werden auch ihrerseits leicht durch diesen in schwingende Bewegung versetzt, so dass Emissions- und Absorptionsvermögen in dem gleichen Verhältnisse stehen.

Die Wärme durch mechanische Arbeit, z. B. Reibung, Stoß u. dgl. entsteht dadurch, dass sich die sichtbare Bewegung der Körper in die unsichtbare ihrer Molecüle verwandelt. Früher hat man versucht, die schon lange bekannte Erzeugung von Wärme bei Reibung und Stoß durch eine andere Vertheilung des Wärmestoffes, gewissermaßen ein Ausquetschen desselben aus den geriebenen und gestoßenen Körpern zu er-

---

\*) Wenn man auch die Wärme nicht als einen messbaren Stoff ansehen darf, so spricht man doch von Wärmemenge.

klären. Der Erste, welcher es versuchte eine Beziehung zwischen der bei der Reibung aufgewendeten Arbeit und der dadurch erzeugten Wärme aufzufinden, war Rumford, der bereits am Ende des vorigen Jahrhunderts die Ansicht vertheidigte, die bei der Reibung entstandene Wärme rühre nicht von einer anderen Vertheilung des Wärmestoffes her, sondern dieselbe sei durch Reibung erzeugt. Der Erste aber, dem es gelang (1842—1849) genau die bei der Reibung verbrauchte Arbeit und die dadurch erzeugte Wärme zu messen, war Joule.

Aus der Vergleichung der durch Arbeit erzeugten Wärme und der durch Wärme erzeugten Arbeit ergibt sich der Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie, welcher also lautet: In allen Fällen, wo durch Arbeit Wärme entsteht, wird eine der erzeugten Wärme proportionale Arbeit verbraucht; umgekehrt kann durch Verbrauch einer eben so großen Wärmemenge die gleiche Arbeit erzeugt werden, und zwar entspricht der Erzeugung oder dem Verbräuche von je einer Wärmeeinheit\*) ein Verbrauch, beziehungsweise eine Erzeugung von 424 *kg* Arbeit. Dieses Gesetz heißt der Satz von der Äquivalenz von Wärme und Arbeit; die Zahl (424 *kg*) aber, welche angibt, wie viele Kilogramm-Meter Arbeit durch die Erzeugung einer Wärmeeinheit verbraucht, oder durch den Verbrauch einer Wärmeeinheit erzeugt werden, heißt das mechanische Wärmeäquivalent.

## XXVII. Die Erfindung des Thermometers.

Im wissenschaftlichen wie im praktischen Leben überhaupt musste sich das Bedürfnis nach einem Mittel fühlbar machen, durch welches man imstande wäre, den Gang der Temperatur gewissermaßen sinnlich zu veranschaulichen. Dieses Mittel fand man in der durch Wärme bewirkten Ausdehnung der Körper. Je mehr ein Körper erwärmt wird, desto mehr dehnt er sich aus, demnach kann man von der Ausdehnung auf die Größe der Erwärmung zurückschließen. Es handelte

\*) Die Wärmemenge, welche 1 *kg* Wasser von 0° um 1° C. erhöht, nimmt man als Wärmeeinheit (Calorie) an.

sich nun darum, einen Körper zu finden, der sich gleichmäßig ausdehnt, d. h. dass die Ausdehnung mit der Wärmezunahme proportional vorschreite und dann, dass dieser Körper auch eine geringe Wärmezunahme binnen kurzer Zeit anzeige.

Die Geschichte des Thermometers liegt im Dunkeln. Galilei soll schon im Jahre 1597 ein thermometerartiges Instrument verfertigt haben. Dasselbe bestand zuerst aus einer offenen Glasröhre, an welche eine Kugel angeblasen war. Wurde die Kugel schwach erwärmt, und die Öffnung der Röhre dann unter die Wasseroberfläche eines Glases gebracht, so stieg beim Abkühlen der Kugel das Wasser etwas in der Röhre empor. Traten nun Temperaturänderungen ein, so wurden dieselben durch weiteres Steigen oder Fallen angezeigt. Sobald nämlich die in dem oberen Theile der Röhre und der Kugel befindliche Luft durch die Wärme ausgedehnt wurde, senkte sich die Flüssigkeit in das Gefäß herab, stieg aber wieder herauf, wenn die obere Luft durch Kälte wieder zusammengezogen wurde.

Später ließ er bloß einen Tropfen Wasser in die Röhre steigen, der durch seine Bewegung in ähnlicher Weise solche Änderungen anzeigte. Dieser höchst unvollkommene Apparat, welcher noch dazu vom Luftdrucke beeinflusst wurde, kann wohl kaum als ein wahres Thermometer bezeichnet werden, da namentlich demselben eine Scala fehlte.

Die Erfindung eines ganz ähnlichen Instrumentes wird noch heute von vielen dem Holländer Cornelius Drebbel zugeschrieben (1605); ob mit Recht oder Unrecht, ist nicht mehr zu entscheiden möglich, doch sprechen viele Umstände dafür, dass Galilei der Erfinder des Luftthermometers gewesen sei.

Guericke, welcher es liebte, physikalische Apparate auf eine bei dem Volke beliebte recht auffallende Weise darzustellen, verfertigte ein Luftthermometer in Form einer Spielerei. Dasselbe bestand aus einem gebogenen kupfernen Rohre, dessen Schenkel parallel und aufwärts gerichtet und zur Hälfte mit Weingeist gefüllt waren. An dem einen Schenkel trug diese Röhre eine große kupferne, mit Luft gefüllte Hohlkugel, in dem anderen Schenkel befand sich auf dem Weingeist ein Schwimmer, von welchem ein Faden hinauf über eine Rolle gieng, wel-

cher am anderen Ende eine Figur trug. Diese zeigte mit der Hand auf eine an der Röhre angebrachte Scala, welche sieben Abtheilungen hatte. Die Endpunkte derselben gaben die für Magdeburg größte Kälte und größte Wärme an, und waren mit *magnum frigus* (große Kälte) und *magnus calor* (große Hitze) bezeichnet. Offenbar wurde auch dieses Instrument vom Luftdrucke afficiert.

Einen festen Punkt suchte Guericke seinem Instrumente dadurch zu geben, dass er als Mitteltemperatur diejenige um die Zeit der ersten Nachfröste annahm und seine Figur auf diesen Punkt dadurch einstellte, dass er mit der Luftpumpe so lange Luft aus der Kugel pumpte, bis dies geschah. So glaubte er der Vergleichbarkeit verschiedener Thermometer näher gekommen zu sein.

Alle bis dahin auch von anderen Physikern verfertigten Instrumente dieser Art waren zugleich den Einwirkungen der Temperatur und des Luftdruckes ausgesetzt; sie waren demnach Thermo-Baroskope. Das erste wirkliche Thermometer, bei welchem die Wirkung des Luftdruckes beseitigt war, wurde den Mitgliedern der Akademie in Florenz zugeschrieben. Da aber ein solches bereits 1641, also vor Gründung der Akademie existierte, so können wir über die erste wichtige Verbesserung des Apparates eben so wenig Gewisses sagen, wie über dessen Erfindung.

Dieses Thermometer bestand aus einer gläsernen Röhre, an deren unterem Ende eine Kugel angeschmolzen war. Sowohl diese, als auch ein Theil der Röhre wurde mit gefärbtem Weingeist gefüllt, und der obere mit dieser Flüssigkeit nicht angefüllte Theil wurde, nachdem er soviel als möglich luftleer gemacht worden war, an seinem oberen Ende verschlossen. Man konnte nun durch die Ausdehnung des Weingeistes die Grade der Wärme bestimmen. Dies war ein bedeutender Schritt in der Vervollkommnung des Instrumentes. Leider war die Scala ganz willkürlich, ja sogar die Anzahl der Grade bei verschiedenen Instrumenten verschieden. Man konnte auf diese Weise keine correspondierenden Thermometer erhalten, weil kein fester Punkt mit Sicherheit bestimmt werden konnte. Dieser Fehler

wurde auch eingesehen und zugleich machte man verschiedene Vorschläge, um demselben abzuhelpfen. Der ausgezeichnete Physiker Carlo Renaldini, Professor in Padua, machte im Jahre 1694 zuerst den Vorschlag, den Schmelzpunkt des Eises und den Siedepunkt des Wassers als feste Punkte bei Aufstellung der Scala anzuwenden.

So lange man aber nicht einsah, dass der Siedepunkt des Wassers von dem jedesmaligen Barometerstande abhängt, war kaum daran zu denken, vollkommen correspondierende Thermometer zu erhalten.

Um die Bestimmung fester Messpunkte, sowie um eine entsprechende Eintheilung der dazwischen liegenden Räume haben sich mehrere Physiker Verdienste erworben, der erste jedoch, dem es gelang, eine entsprechende Scala herzustellen und in ihrem Gange übereinstimmende Thermometer zu verfertigen, war Daniel Gabriel Fahrenheit. Derselbe wurde im Jahre 1686 zu Danzig geboren und anfangs für den Kaufmannsstand bestimmt. Seine Vorliebe für physikalische Studien zog ihn bald von diesem Stande ab. Nachdem er, um seine Kenntnisse zu erweitern, verschiedene Reisen unternommen, hielt er sich meistens in Holland auf und erwarb sich unter den Physikern einen großen Ruf als geschickter Mechaniker. Übereinstimmende Thermometer hat er jedenfalls schon vor dem Jahre 1709 verfertigt, denn in diesem Jahre wurden bereits in vielen Städten mit denselben Beobachtungen angestellt. Seine ersten Thermometer waren Weingeistthermometer. Erst im Jahre 1714 oder 1715 gieng er zum Quecksilber über.

Der Kanzler der Universität Halle, Christian von Wolf, erhielt im Jahre 1714 von Fahrenheit zwei Weingeistthermometer, welche in ihrem Gange so genau übereinstimmten, dass kein Unterschied in ihren Angaben bemerkt werden konnte. Wie jedoch Fahrenheit diese vollkommene Übereinstimmung erreicht habe, fand man lange nirgends angegeben, so dass einige schon vermutheten, er habe dies als ein Geheimnis bewahren wollen.

Fahrenheit gebrauchte bei seinen Thermometern verschiedene Scalen. Die zuletzt von ihm aufgestellte Scala ist noch

heute vorzüglich in Amerika und England üblich, sie reicht nämlich von Null bis 212.

Als die größtmögliche Kälte betrachtete er jene, welche er jedesmal hervorbringen konnte, wenn er Eis, Wasser, Salmiak oder Kochsalz vermischte. In eine solche Mischung setzte er das Thermometer und bezeichnete den Punkt, bei welchem dann die Flüssigkeit in der Röhre stand, mit Null und nannte ihn den künstlichen Eispunkt. Er hielt diese Kälte für die absolut größte, welche die Natur hervorbringe. Dann brachte er das Thermometer in eine Mischung von Wasser und Eis und bezeichnete den Punkt des Gefrierens (also unseren gewöhnlichen Nullpunkt) mit 32°. Ferner bestimmte er noch die Blutwärme eines gesunden Menschen entweder im Munde oder in der Achselhöhle mit seinem Thermometer und bezeichnete diesen Punkt mit 96°. Bei seinen ersten Thermometern benützte er demnach den Siedepunkt des Wassers noch nicht, doch gibt er nach einer Abhandlung, welche er im Jahre 1724 veröffentlichte, den Siedepunkt des Wassers immer auf 212° an.

Um dieselbe Zeit herum machte René Antoine de Réaumur für die Weingeistthermometer einen neuen Vorschlag, nämlich dieselben mit einem durch ein Fünftel Wasser verdünnten Weingeist zu füllen. Durch diesen Zusatz von Wasser wollte er bewirken, dass der Weingeist, ohne zu kochen, einen höheren Grad der Hitze annehmen könne. Als untersten Punkt an der Scala nahm er den Ort an, wo der Weingeist sich befindet, wenn die Kugel einer solchen Temperatur ausgesetzt wird, bei welcher das Wasser sich in Eis verwandelt. Die Entfernung von diesem Punkte, welcher mit Null bezeichnet wurde, bis zu dem Punkte, bei welchem der Weingeist unter dem Einflusse der Temperatur des siedenden Wassers steht, theilte er in 80 Grade ein, weil er gefunden, dass seine Weingeistmischung bei einer Erwärmung vom Eispunkte bis zum Siedepunkte des Wassers sich um 80 Tausendstel ausdehne. Als man bemerkte, dass die Weingeist- und Quecksilberthermometer nicht übereinstimmten, so fieng man an, wieder Quecksilber-Thermometer zu gebrauchen, denn von allen Stoffen, die man zur Füllung der Thermometer zu verwenden versuchte, entsprach Quecksilber dem Zwecke

unzweifelhaft am besten, weil es selbst innerhalb weiter Temperaturgrenzen sich bei zunehmender Erwärmung gleichmäßig ausdehnt.

Auch Anders Celsius, ein schwedischer Physiker, Professor der Astronomie in Upsala, griff um das Jahr 1742 auf das Quecksilber als thermometrische Substanz zurück, theilte jedoch der Bequemlichkeit wegen den Fundamentalabstand in 100 Grade.

Durch die allgemeine Einführung des Quecksilbers wurde endlich das Thermometer zu seiner gegenwärtigen Vollkommenheit gebracht.

### XXVIII. Die Erfindung der Dampfmaschine und James Watt.

Es ist auffallend, dass die gewaltige Kraft des Dampfes so lange unbeachtet blieb. Von dem Versuche des griechischen Philosophen Heron von Alexandrien mit seiner Dampfkugel (siehe Cap. 2) bis zum Versuche einer technischen Anwendung dieser Naturkraft vergingen etwa 18 Jahrhunderte. Fast jede Nation sucht die Ehre der Erfindung für sich in Anspruch zu nehmen, doch kann überhaupt bei einer so complicierten Maschine kaum von einem einzigen Erfinder gesprochen werden.

Die Erfindung der Dampfmaschine ist nach und nach aus sehr unbedeutenden Anfängen hervorgegangen und man muss ihr Entstehen in eine desto frühere oder spätere Zeit versetzen, je nachdem man den Begriff einer Dampfmaschine ausdehnt oder einengt.

Wenn wir von Herons Dampfkugel und im 16. Jahrhunderte von einigen abenteuerlichen Projecten, die Dampfkraft als bewegende Kraft zu benützen, gänzlich absehen, so finden wir einen Dampfapparat in einer Schrift von Porta im Jahre 1606 geschildert. In einem Kolben wurde nämlich Wasser erhitzt und der sich entwickelnde Dampf stieg in ein überall geschlossenes Gefäß, in welchem sich Wasser befand und ein Rohr, das von außen in das Wasser des Gefäßes reichte. Der sich entwickelnde Dampf drückte nun im Rohre das Wasser des Gefäßes bis zum Ausflusse hinauf.

Neun Jahre später, also im Jahre 1615 beschrieb Salomon de Caus einen Dampfapparat, der ebenfalls zum Heben von Wasser dienen sollte. Derselbe bestand aus einer eisernen Hohlkugel mit einem verschließbaren Eingußrohr an der Seite und einem bis nahe zum Boden der Kugel reichenden Steigrohr. Wurde die Kugel durch Feuer erhitzt, so trieben die sich entwickelnden Dämpfe, welche keinen anderen Ausweg hatten, das Wasser in der Steigröhre empor.

Im Jahre 1629 erschien zu Rom von dem Italiener Giovanni Branca, dem Erbauer der Kirche zu St. Loretto, ein Buch, in welchem derselbe den Vorschlag machte, die aus einer erhitzten Heron'schen Dampfkugel ausströmenden Dämpfe gegen die Schaufeln eines Rades wirken zu lassen, um durch dieses mittelst eines Räderwerkes Stampfen zu bewegen. Dieser Vorschlag scheint nicht zur praktischen Durchführung gelangt zu sein.

Erst 1663 trat der Marquis von Worcester mit einer Maschine auf, bei welcher der Dampf ohne Unterlass Wasser in großer Menge auf eine Höhe von 40 Fuß hob. Leider hat der Erfinder keine deutliche Beschreibung dieses Apparates hinterlassen, auf welchen er sogar ein Patent erwirkte. Nach den sehr geringen Andeutungen, die man in Worcester's in London erschienenem Buche findet, vermuthet man bloß, dass seine Maschine einen eigenen Dampfkessel hatte, aus welchem zwei durch Hähne verschließbare Röhren führten. Jede derselben mündete in ein mit Wasser gefülltes rings verschlossenes Gefäß, in welchem auch ein Steigrohr eingesetzt war. Wurde der Hahn einer Röhre geöffnet, so drang der Dampf in den einen Wasserbehälter und trieb das Wasser durch das Steigrohr hinauf. So konnte durch abwechselndes Öffnen des einen und des anderen Hahnes der Dampf abwechselnd in das eine und das andere Wassergefäß gelangen und continuierlich wirken, denn während er in das eine Gefäß eindrang, wurde das andere mit Wasser gefüllt. Worcester's Erfindung fand nicht die gehoffte Anerkennung und kam nach seinem Tode in Vergessenheit.

Im Jahre 1690 machte Denis Papin (geb. 1647 zu Blois) einen Versuch, die Dampfkraft als rein bewegende Kraft

zu verwenden. Er hatte sich zuerst der Medicin gewidmet und war praktischer Arzt zu Paris gewesen. Die Bekanntschaft mit Huyghens wendete ihn der Physik zu. In England verband er sich mit Boyle zu gemeinschaftlichen Versuchen über die Natur der Luft. Im Jahre 1688 folgte er einem Rufe nach Marburg als Professor der Mathematik und Physik.

Papin gieng bei seinem Dampfapparate von sehr einfachen Voraussetzungen aus. Er hatte sich nämlich überzeugt, dass eine Wassermenge, die man nach und nach in Dampf verwendete, sich ungeheuer über ihr früheres Volumen ausdehnt und dass es nur einer Abkühlung dieser Dämpfe bedarf, um dieselben sofort wieder in ihren früheren flüssigen Zustand zurückzuführen. Diese beiden Eigenschaften des Wassers verwerthete Papin auf folgende Weise. Er nahm einen an einem Ende offenen und am anderen Ende in eine Hohlkugel auslaufenden geraden, gleich weiten Cylinder, in welchem sich ein dicht anschließender Kolben auf- und abbewegen ließ. Wurde die Kugel etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt, und dann über Feuer erhitzt, bis sich Dämpfe bildeten, so trieb die Kraft der entstandenen Dämpfe den Kolben in die Höhe, bis eine Feder in die Seitennute der Kolbenstange einsprang. Wurde nun das Feuer beseitigt und der Cylinder abgekühlt, so verdichteten sich plötzlich die Dämpfe zu Wasser und sowie die Feder zurückgezogen wurde, gieng der Kolben durch den Druck der äußeren Luft rasch wieder herab.

So sehr auch dieser Apparat für den Scharfsinn Papins sprechen mochte, praktisch war er durchaus nicht. Welcher Aufwand von Zeit war, abgesehen von manchem anderen, erforderlich, um eine auf- und abwärts gehende Bewegung zu bewerkstelligen!

Die erste wirklich brauchbare Dampfmaschine war ein Werk des Engländers Thomas Savery, welcher gewöhnlich mit dem Titel Capitän belegt wird, was er aber nach seiner eigenen Aussage in einer Schrift nie gewesen ist. Er trat im Jahre 1698 mit seiner Maschine in die Öffentlichkeit und nahm in demselben Jahre ein Patent auf dieselbe. Sie war eine Combination von einer Druck- und Saugpumpe, indem mit-

telst Wasserdampf die Luft aus einem Pumpentiefel vertrieben und dann durch Abkühlung ein leerer Raum darin erzeugt wurde, in welchen nun das Wasser aus einem Brunnen durch den Luftdruck emporstieg. Sie gehört jedenfalls in die Abtheilung jener Dampfmaschinen, welche wir heute atmosphärische nennen, weil bei dieser einen wesentlichen Theil der Arbeit der von oben auf den Stempel wirkende Druck der atmosphärischen Luft zu leisten hatte. In der Hauptsache war jedoch die Maschine Saverys derjenigen von Worcester ähnlich. Savery versuchte auch mit derselben ein Schaufelrad in Bewegung zu setzen.

Saverys Maschine wurde im Jahre 1705 durch den Eisenhändler Newcomen und den Glaser John Cawley im Vereine mit Savery, weil dieser das Patent hatte, viele Schritte vorwärts geführt. Über einem Dampfkessel wurde ein hohler Cylinder mit einem beweglichen Stempel angebracht. Der Dampfkessel stand durch ein Rohr mit dem Cylinder in Verbindung, durch welches mittelst eines Hahnes das Einströmen des Dampfes in den Cylinder oder das Absperren bewirkt werden konnte. In der Bodenfläche des Cylinders mündeten zwei Röhren, die eine für den Zufluss kalten Wassers aus einem höher gelegenen Behälter, die andere zum Abfluss dieses Wassers, nachdem dasselbe bei der Verdichtung der Dämpfe seine Dienste geleistet hatte.

An dem einen Ende eines um seinen Mittelpunkt leicht beweglichen Balanciers war mittelst einer Kette der Stempel angehängt, während am anderen Ende des Balanciers ein Gegengewicht sammt dem Gestänge einer Pumpe befestigt war. Damit diese Bewegung senkrecht geschähe, wurde der Balancier an den Enden mit einem Bogenstück versehen, über welches sich die Kette legte.

Wenn man aus dem Dampfkessel in den Cylinder unter den Stempel Dampf eintreten ließ, so hielt seine Spannkraft dem Luftdrucke das Gleichgewicht, es konnte sich unter dem Stempel kein Vacuum bilden, der Stempel war also von einseitigem Luftdrucke frei und gieng in die Höhe, weil das Gegengewicht und die Pumpenstange in Folge ihres eigenen Gewichtes nach abwärts gieng.

War der Stempel oben angelangt, so wurde der Dampf abgesperrt und man ließ durch das kalte Wasser des höher gelegenen Gefäßes den Cylinder abkühlen, wodurch der Dampf daselbst wieder condensiert wurde, weshalb der Luftdruck auf den Stempel das Gegengewicht sammt dem Gestänge der Pumpe heben und zugleich den Druck im Pumpentiefel überwinden konnte.

Durch abermaliges Zulassen des Dampfes unter den Stempel konnte dieser wieder gehoben und durch abermalige Verdichtung der Dämpfe wieder zum Sinken gebracht werden. Dieses Auf- und Niederbewegen war es, welches die Erfinder in Arbeit umsetzten.

Das fortgesetzte Spiel der Maschinen wurde durch eine Hahnsteuerung mittelst Menschenhand bewirkt, indem die Hähne durch einen aufgestellten Wärter immer zur rechten Zeit geöffnet und geschlossen werden mussten. Man pflegte gewöhnlich einen Knaben mit dieser Vorrichtung zu betrauen. Einst war dieses leichte aber einförmige Geschäft an einer Maschine in Cornwallis einem aufgeweckten Jungen, namens Humphry Potter, anvertraut. Dieser fand die Arbeit sehr langweilig und als er bemerkte, dass das Drehen der Hähne mit der Bewegung des Balanciers in einem bestimmten Zusammenhange stand, so verband er die Hähne mittelst Schnüren so mit dem Balancier, dass die Maschine nun selbst die Drehung derselben bewerkstelligte. Später trat an die Stelle der Schnüre ein Gestänge, durch welches die Hähne geöffnet und geschlossen werden.

Auf diese verbesserte Dampfmaschine erhielten die Erfinder ein neues Patent im Jahre 1705, doch vergiengen noch sechs Jahre nach dem Patent, ehe es möglich ward, die Maschine ins Leben einzuführen. Endlich gelang es im Jahre 1711 zu Wolverhampton eine Maschine zum Wasserheben einzurichten, wobei sie bereits zur Verdichtung des Dampfes die Einspritzung kalten Wassers in denselben anwendeten.

Newcomen und Cawley haben demnach den Ruhm, die erste praktisch wirksame Maschine in Gang gesetzt zu haben. Obwohl sich nun die Dampfmaschinen langsam Bahn brachen, so blieb doch die Hebung von Wasser ihr einziger Zweck. Zu

anderen mechanischen Arbeiten fehlte ihnen noch vor allem die Kurbel und das Schwungrad.

Eine weitere Unvollkommenheit der Maschine war das Missverhältnis zwischen der von derselben geleisteten Arbeit und dem Verbräuche von Brennmaterial. So lange nämlich die Dämpfe im Dampfeylinder verdichtet wurden, mussten die Wände desselben zunächst für kurze Zeit abgekühlt, darauf aber für kurze Zeit wieder sehr stark erhitzt werden. Die Abkühlung, welche durch das in den Cylinder eingespritzte Wasser hervorgebracht wurde, war immer so bedeutend, dass allein zur Hervorbringung der für die Wände nöthigen Temperatur von  $80^{\circ}$  eine große Menge Dampf verwendet werden musste, so dass also dieser für den eigentlichen Arbeitszweck verloren gieng. Dies erkannte der junge Mechaniker James Watt, als ihm im Jahre 1764 aus dem physikalischen Cabinete der Universität Glasgow ein Modell einer Dampfmaschine von Newcomen, welches nicht mehr gehen wollte, zur Wiederherstellung übergeben wurde. Er setzte das Modell wieder in brauchbaren Zustand und widmete sich fortan fast ausschließlich den Studien um die Verbesserung der Dampfmaschine.

Seine erste hochwichtige Verbesserung in dieser Hinsicht war die Anwendung eines Condensators. Er verdichtete nämlich die Dämpfe nicht mehr in dem Dampfeylinder selbst, sondern in einem eigenen Kühlraume, der mit dem Dampfeylinder in Verbindung stand.

Eine fernere Neuerung, die Watt einführte, bestand darin, dass er den Niedergang des Stempels nicht mehr durch den Luftdruck herstellen, sondern den Stempel durch den Dampf sowohl nach oben wie auch nach unten treiben ließ. Er erreichte dies durch den sogenannten Vierwegehahn, welcher zwei von einander unabhängige Durchbohrungen hat und es ermöglicht, den Cylinderraum oberhalb und unterhalb des Stempels abwechselnd mit dem Dampfkessel und mit dem Condensator in Verbindung zu setzen. Jetzt dient statt dessen gewöhnlich das sogenannte Schieberventil. So verwandelte er die einfach wirkende Maschine in eine doppeltwirkende, bei welcher das Gegengewicht überflüssig wurde.

Da er ferner die Ketten am Balancier durch feste Stangen ersetzte, so durften doch wegen der Drehung des Balanciers nicht feste Verbindungen eingeführt werden. Er ersann deshalb das nach ihm benannte Watt'sche Parallelogramm, d. h. eine Combination von Stangen, durch welche die Verbindung der Kolbenstange mit dem Balancier mittelbar geschieht, weil die Kolbenstange sich geradlinig bewegen muss, während das Ende des Balanciers sich kreisförmig bewegt. Watt führte ferner noch die Anwendung des Schwungrades und der Kurbel ein, durch welche jenes gedreht wurde, auch bewirken seine Maschinen schon selbst die Entfernung des warmen Wassers aus dem Condensator und das Einpumpen des zur Abkühlung nöthigen kalten Wassers.

Endlich benutzte Watt das Centrifugalpendel bei seinen Maschinen als Regulator des Dampfzufflusses und damit der Geschwindigkeit des Ganges der Maschinen. Seit jener Zeit erlangte die Dampfmaschine durch zahlreiche größere und kleinere Verbesserungen jenen Grad der Vollkommenheit, der sie zum Betriebe der mannigfaltigsten technischen Operationen brauchbar macht.

James Watt wurde im Jahre 1736 zu Greenock in Schottland geboren, wo sein Vater ein als Beförderer gemeinnütziger Unternehmungen geachteter Kaufmann war. In seinem achtzehnten Jahre gieng er nach London zu einem besonders durch seine mathematischen Instrumente berühmten Mechaniker in die Lehre, musste diesen aber wegen Kränklichkeit nach einem Jahre wieder verlassen, und dies scheint der einzige Unterricht gewesen zu sein, den Watt erhielt. Alles andere verdankt er eigenem Fleiße und seinem Talente, welches sich so schnell entwickelte, dass er schon 1757 Universitäts-Mechaniker in Glasgow wurde. An dieser Universität machte er, was für ihn sehr wichtig war, die nähere Bekanntschaft ausgezeichneter Physiker, wie Adam Smith, Josef Black und Robert Simson, welche sich um die bis dahin ziemlich vernachlässigte Theorie der Wärme verdient gemacht haben. Besonders wirkte Black, der sich viel mit Versuchen über latente Wärme beschäftigte, auf ihn ein. Watt begann nun die bis dahin erschienenen Abhandlungen über Dampf-

maschinen zu studieren, und durch den Papin'schen Topf die Kraft der Wasserdämpfe zu messen; auch construierte er Tafeln für die Elasticität derselben. Seine von uns bereits angeführten wertvollen, praktischen Verbesserungen der Dampfmaschine machte er nach und nach. Seine geringen Geldmittel gestatteten ihm nicht, viele praktische Versuche anzustellen. Erst 1775 fand er an dem Kaufmanne Matthew Bulton einen unternehmungslustigen Compagnon, mit dem er bei Birmingham eine Fabrik gründete. Bald verbreiteten sich die Watt'schen Maschinen in England und Frankreich als Triebkräfte für verschiedene Maschinen. In den späteren Lebensjahren übergab Watt seine große und blühende Fabrik seinem Sohne, der sie in Gemeinschaft mit Bulton's Sohne fortsetzte. James Watt starb 1819 auf seinem Landgute zu Heathfield bei Birmingham als Mitglied der französischen Akademie und der königl. Gesellschaft der Wissenschaften in London.

### XXIX. Du Fay.

Einer der hervorragendsten Förderer der Lehre von der Elektricität in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts war der Franzose Charles Francois de Cisternay du Fay, gewöhnlich Dufay. Er war 1698 in Paris geboren, trat schon in zarter Jugend in Kriegsdienste, so dass er bereits mit 14 Jahren Lieutenant war, machte einige Schlachten im spanischen Erbfolgekrieg mit und brachte es bis zum Hauptmanne. Nach eingetretenem Frieden gab er die militärische Laufbahn, besonders wegen seiner schwachen Gesundheit auf und widmete sich ganz den Naturwissenschaften. Seine Arbeiten sind in den Memoiren der Pariser Akademie, deren Mitglied er seit 1723 war, erschienen. Die Akademie war damals in sechs Sectionen getheilt, die Geometrie, Astronomie, Mechanik, Anatomie, Chemie und Botanik. Du Fay suchte alle diese Wissenschaften nach einander kennen zu lernen. Zunächst wendete er sich der Chemie zu, welche schon sein Vater und Großvater gepflegt hatten. Später studierte er eifrig Physik und zwar besonders die magnetischen und elektrischen Erscheinungen. Ein vorzügliches

Verdienst erwarb er sich auch um den botanischen Garten (jardin des plantes), dessen Leitung er im Jahre 1732 übernahm.

Seine Untersuchungen auf dem Gebiete der Elektrizität beginnen mit dem Jahre 1733 und betreffen zunächst das Leitungsvermögen. Vor allem wiederholte und erweiterte er die Versuche des Engländers Stefan Gray, mit welchem eine neue Epoche für die Elektrizitätslehre im Jahre 1729 begann. Dieser fand nämlich, dass die Anziehung und Abstoßung, welche elektrische Körper äußern, auch in anderen Körpern hervortritt, wenn diese mit jenen in Berührung kommen, dass also die durch Reibung in gewissen Körpern erzeugte Elektrizität anderen mitgetheilt werden könne.

Du Fay untersuchte auch hinsichtlich der Leitungsfähigkeit eine große Anzahl von Körpern und fand dabei, dass die nicht oder schlecht leitenden Körper durch Reiben elektrisch werden, dass dagegen die leitenden, besonders die Metalle, eben wegen ihrer Leitungsfähigkeit keine Elektrizität behalten können.

Seine beiden Hauptentdeckungen waren folgende. Das erste Gesetz lautet: die elektrischen Körper ziehen alle diejenigen an, die nicht elektrisch sind und stoßen sie im Gegentheile ab, sobald diese durch die Annäherung oder Berührung jener elektrischen Körper ebenfalls elektrisch geworden sind. Das zweite von Du Fay entdeckte wichtige Gesetz ist, dass es zwei verschiedene und einander entgegengesetzte Elektrizitäten gibt. Er nennt die eine die Glas-Elektrizität (*électricité vitrée*), die andere die Harz-Elektrizität (*électricité résineuse*). Jene äußert sich in Glas, Edelsteinen, Thierhaaren, Wolle u. s. w., diese aber in Bernstein, Gummi, Lack, Seide u. s. w. Das unterscheidende Kennzeichen dieser zwei Elektrizitäten besteht darin, dass sie sich selbst abstoßen und im Gegentheile eine die andere anzieht. Die Bezeichnung + und — Elektrizität brachte der Physiker, Philosoph und satyrische Schriftsteller Lichtenberg zur allgemeinen Annahme.

Um zu erfahren, zu welcher von beiden Elektrizitäten ein elektrischer Körper gehöre, machte Du Fay einen Seidenfaden elektrisch und näherte ihn dann dem durch Reiben elektrisch gemachten Körper. Stieß dieser den Faden zurück,

so schloß er daraus, dass letzterer mit jenem gleichnamig elektrisch sei, nämlich „Harz-Elektricität besitze, zog er hingegen denselben an, so schloss er auf „Glas-Elektricität.“

Diese wichtige Entdeckung scheint nicht die verdiente Aufmerksamkeit erregt zu haben, und es gewann bald die Ansicht die Oberhand, dass die beiden Arten der Elektricität bloß dem Grade nach von einander verschieden wären und dass die stärkere die schwächere anzöge. Du Fay bemerkte ferner, dass mitgetheilte Elektricität dieselbe Eigenschaft mit der durch Reibung erzeugten besaß.

Durch die interessanten Versuche Du Fays wurde auch Gray wieder zu erneuerter Thätigkeit angespornt. Er machte bereits darauf aufmerksam, dass es bei der Elektrisierung eines Körpers nicht auf die Masse, sondern auf die Größe der Oberfläche ankomme, indem ein hohler Körper ebensoviel Elektricität annehme, wie ein massiver von gleicher Größe und von demselben Stoffe.

Ebenso regten die Experimente des französischen Gelehrten den eifrigen Forscher Desaguliers an, alle Körper in zwei Classen zu theilen, nämlich in für sich elektrische (*corpora electrica per se*), in denen sich Elektricität durch Reiben erzeugen lässt, und in nicht elektrische oder Conductoren. Dieser spricht bereits die wichtige Ansicht aus, dass ein für sich elektrischer Körper seine Elektricität nicht auf einmal, sondern nur in jenen Theilen verliert, mit denen unelektrische in Berührung gebracht werden, dass jedoch ein Conductor, welcher Elektricität empfangen hat, diese bei Annäherung eines anderen Leiters auf einmal verliert.

Wir ersehen aus dem Gesagten, dass Du Fays Wirken auch einen nachhaltigen Einfluss auf die Forschungen anderer Gelehrten ausübte. Es war daher ein großer Verlust für die Wissenschaft, dass dieser Gelehrte bereits im schönsten Mannesalter, in noch nicht zurückgelegtem 41. Jahre (1739) aus dem Leben schied.

### XXX. Benjamin Franklin und die Erfindung der Blitzableiter.

Benjamin Franklin wurde am 17. Jänner 1706 zu Boston in Nordamerika als Sohn eines Färbers und Seifensieders geboren. Er musste in seiner frühesten Jugend seinem Vater beim Lichterziehen, Seifensieden u. dgl. helfen. Seine Eltern hatten ihn zwar anfangs zum geistlichen Stande bestimmt, weil er frühe große Liebe für Bücher zeigte; da er aber keine großen Fortschritte machte, zudem auch nicht die nöthigen Geldmittel für das Studiren vorhanden waren, wurde er wieder aus der lateinischen Schule zurückgenommen, und zu einem Messerschmiede in die Lehre gegeben. Aber auch hier gieng es nicht vorwärts und er musste wieder ins väterliche Haus zurück, wo er seine freien Stunden ganz der Lectüre widmete. Unter den wenigen Büchern, die ihm zu Gebote standen, befanden sich namentlich die Biographien Plutarchs und die Essais sur les projets (Versuche über Projecte) von de Foë. Das erstere Buch ließ in seinem empfänglichen Geiste alle großen und erhabenen Bilder zurück und verlieh seinem Charakter eine gewisse Energie. Das letztere Werk, welches von verschiedenen Vorschlägen zur Verbesserung der ökonomischen und socialen Einrichtungen handelte, gab seinem Geiste die ihn später auszeichnende praktische Richtung. In seinem zwölften Jahre kam er zu seinem Bruder, einem Buchdrucker und Buchhändler, in die Lehre. Er benützte diese Gelegenheit vorzüglich zur Befriedigung seines Wissensdranges, für den er hier mehr Nahrung fand, als in seinen früheren Verhältnissen. Alle seine Kenntnisse erwarb er sich unabhängig von einem Lehrer, alles nur durch Bücherhilfe.

Im Jahre 1730 gründete er selbst in Philadelphia eine Buchdruckerei und zwei Jahre später die erste öffentliche Bibliothek. Wie außergewöhnlich die Bildungsfähigkeit seines Geistes war, beweist die Thatsache, dass er ohne alle Gymnasial- und Universitätsbildung sich später nicht nur als hervorragender Staatsmann den Dank seiner Mitbürger erwarb, sondern auch ein besonders auf dem Gebiete der Elektrizität epoche-

machender Gelehrter wurde; dabei gieng er von der Ansicht aus, die Wissenschaft müsse vor allem Früchte tragen, selbst Früchte für das gewöhnliche Leben.

Wie Franklin dazu kam, sich mit elektrischen Versuchen zu beschäftigen, ist nicht bekannt, wahrscheinlich durch Lesen der Schriften der beiden Elektriker Watson und Ellicot.

Franklin und seine Freunde in Philadelphia glaubten eine den Europäern unbekannte Entdeckung gemacht zu haben, als sie die zwei einander entgegengesetzten Elektricitäten De Fays beobachteten. Franklin, welcher wie alle anderen Elektriker der damaligen Zeit die Elektricität für eine in allen Körpern verbreitete flüssige Materie hielt, von welcher jeder Körper ein „natürliches Quantum“ besitze, war der Ansicht, dass sich eine überflüssige Menge elektrischer Materie durch verschiedene Mittel in einem Körper anhäufen lasse. Jener überflüssigen Menge elektrischer Materie gibt Franklin den Namen der positiven oder Plus-Elektricität, und einen Körper positiv elektrisieren, heißt demnach, in einem Körper eine größere Menge elektrischer Materie anhäufen, als er von Natur besitzt. Wenn man dagegen auf irgend eine Art einem Körper einen Theil seiner natürlichen Elektricität entzieht, so elektrisiert man nach Franklin negativ. Demnach besteht die negative oder Minus-Elektricität darin, dass einem Körper etwas an dem Quantum seiner ursprünglichen Elektricität abgeht.

Franklin machte hinsichtlich der Leydnerflasche die wichtige Entdeckung, dass die eine Belegung derselben positiv, die andere negativ elektrisch sei, und dass der Stoß durch die Wiederherstellung des Gleichgewichtes entstehe, wenn die äußere und innere Seite plötzlich in Verbindung gebracht werden. Nach seiner Ansicht war jedoch in der Flasche, nachdem sie geladen worden, nicht mehr Elektricität als zuvor, weil alles, was durch Laden geschehen könne, nur darin bestehe, dass man es von der einen Seite hinwegziehe und nach der anderen hinleite. Er machte die Entdeckung von der Verschiedenheit der elektrischen Zustände der beiden Seiten einer Leydnerflasche, indem er bemerkte, dass, wenn eine Flasche geladen war, eine an einem Seidenfaden hängende Korkkugel von der äußeren

Belegung angezogen wurde, wenn sie von einem mit der inneren Seite verbundenen Drahte zurückgestoßen wurde, und dass sie hingegen von der äußeren Seite zurückgestoßen wurde, wenn sie von der inneren angezogen worden war.

Franklin war ferner einer der ersten, welche die Wirkung spitzer Körper sowohl in Herbeilockung als auch Ablenkung des elektrischen Feuers wahrnahmen. Er beobachtete, dass eine elektrisirte eiserne Kugel einen genäherten Faden nicht anziehen wollte, wenn eine spitze Nadel daran gehalten wurde. Er fand es ferner unmöglich, die Kugel zu elektrisiren, wenn eine scharfe Nadel darauf lag.

Die wichtigste Entdeckung, welche Franklin auf dem Gebiete der Elektrizität gemacht hat, war die Auffindung der Identität des Blitzes mit der elektrischen Kraft. Um jeden Zweifel zu beseitigen, stellte er sich keine geringere Aufgabe, als die Elektrizität einer Gewitterwolke unmittelbar zur Erde zu leiten und zu untersuchen. Allgemein bekannt ist wohl sein Versuch mit einem Kinderdrachen, den er im Juni 1752 anstellte. Er verfertigte denselben nicht von Papier, sondern von Seide, damit er dem Regen widerstehen konnte und befestigte am oberen Ende des mittleren Stabes eine Metallspitze. Die Hanfschnur, an welcher der Drache steigen sollte, trug am unteren Ende einen Stahlschlüssel, derjenige Theil der Schnur aber, den Franklin in der Hand hielt, war von Seide. Mit dieser Vorrichtung begab sich Franklin zur Zeit eines aufsteigenden Gewitters, nur von seinem Sohne begleitet, um sich im Falle des Misslingens nicht dem Hohngelächter unwissender Spötter aussetzen, auf eine Wiese bei Philadelphia und ließ den Drachen steigen.

Anfangs zeigte sich keine Wirkung, obwohl der Drache hoch stand und die Gewitterwolken ziemlich dicht über ihn hingen, und schon begann Franklin an dem Erfolge seines Versuches zu verzweifeln, als er bemerkte, dass einige lose Fäden der Hanfschnur sich emporsträubten, als befände sich diese an dem Conductor einer Elektrisirmaschine. Durch diese hoffnungsvolle Erscheinung ermuthigt, näherte er ein Finger-gelenk dem Stahlschlüssel und erhielt zu seiner Freude einen deut-

lichen Funken, dem bald andere folgten. Inzwischen war die Schnur durch einen Regen nass geworden und infolge dessen gelangen die Versuche um so besser. Er war nun imstande, eine Leydener Flasche zu laden, Weingeist zu entzünden u. dgl.

Durch fortgesetzte Versuche überzeugte sich Franklin, dass manche Wolken positiv, andere negativ elektrisch wären.

Der Umstand, dass sich der Blitz nach denselben Gesetzen richtet, welche dem gewöhnlichen elektrischen Funken den Weg vorschreiben, brachte Franklin auf den Gedanken, Gebäude vor den Wirkungen des Blitzes zu bewahren.

Schon im Jahre 1749 machte er einen Vorschlag, welcher jedoch über das Erreichbare hinausgieng; er wollte nämlich den Ausbruch des Blitzes verhindern und das Gewitter über dem geschützten Orte zerstören. Zu diesem Behufe rieth er, auf Gebäuden scharf zugespitzte Eisenstangen zu befestigen, die Spitzen durch Vergoldung vor Rost zu bewahren und durch einen Draht mit der Erde oder dem Wasser zu verbinden. Diese Spitzen sollten den Wolken die Elektrizität entziehen, sowie eine nicht isolierte Spitze einen elektrisierten Conductor, in dessen Nähe sie sich befindet, des größten Theiles der Elektrizität beraubt.

Dieser Vorschlag wurde nicht berücksichtigt, doch erneute ihn 1753. Der erste Blitzableiter nach Franklin's Angabe wurde im Jahre 1760 in Philadelphia auf dem Hause des Kaufmannes West aufgerichtet. Bald wurden nun in dieser Stadt viele Häuser mit den empfohlenen Metallstangen versehen, und es ereignete sich, dass ein Blitz, der eine solche Stange traf, zwar den zur Erde führenden Draht schmolz, aber das Gebäude selbst nicht beschädigte. Dies brachte die Blitzableiter zu Ansehen.

Anfangs fehlte es allerdings nicht an zahlreichen Gegnern. Man hielt Franklins Blitzableiter nicht nur für nutzlos, sondern sogar für gefährlich, indem sie den Blitz heranzögen, statt vor ihm zu schützen. Ein langer Streit entstand auch darüber, ob spitze oder abgerundete Ableiter angewendet werden sollen. Seit 1778 entschied man sich für spitze Blitzableiter, wie es auch richtig ist.

Die ersten Blitzableiter in Europa wurden aufgeführt: 1754 in Mähren durch Prokop Divisch, 1762 zu Payneshill in England von Watson, 1769 am Jakobsthurme zu Hamburg, 1776 in Baiern auf dem Landhause des geheimen Rathes von Osterwald, 1777 auf der Kathedrale zu Siena im Toscanischen.

Wir können hier nicht umhin, zu erwähnen, dass Prokop Divisch, ein Pfarrer zu Prenditz bei Znaim in Mähren, nach vieljährigen Studien und unermüdlichem Forschen die Erfindung der Blitzableiter in Europa gleichzeitig mit Franklin oder wahrscheinlich noch früher gemacht hat, dass es ihm jedoch nicht gelungen ist, mit seinen Vorschlägen durchzudringen, während der amerikanische Gelehrte sich die Anerkennung seiner Zeitgenossen errang und sich die dankbare Erinnerung der Nachwelt sicherte.

Franklin starb den 17. April 1790. Seine irdische Hülle wurde unter Kanonendonner und Glockengeläute auf dem Friedhofe der Christuskirche in Philadelphia begraben. Es war Landestrauer für einen Monat und die Pariser Nationalversammlung legte auf Mirabeau's Antrag eine dreitägige Trauer an. Franklin hatte ein Alter von 84 Jahren erreicht.

### XXXI. Allgemeines Bild der Periode der Neuzeit.

(Von der Mitte des 18. Jahrhunderts bis zur Gegenwart.)

In dieser Periode werden allmählich ganz neue Gebiete aufgeschlossen und die bereits betretenen liefern einen solchen Reichthum von Thatsachen und Erscheinungen, dass sie einen früher gar nicht geahnten Umfang und eine völlig neue Gestalt erhalten. Vorzüglich war dies auf dem Gebiete der Elektrizität der Fall. Durch Franklins Entdeckungen wurde den Physikern ein neues Feld zur Untersuchung der atmosphärischen Elektrizität eröffnet. Zugleich begann man die Elektrizität medicinisch anzuwenden. Die Elektrisierung durch Vertheilung wurde im Jahre 1753 von Canton, einem englischen Schulvorsteher, entdeckt, dem wir auch die Methode, Stahl durch bloße Einwirkung des Erdmagnetismus zu magnetisieren, verdanken.

Wilke (geb. 1732 zu Wismar) und Aepinus (geb. 1724 zu Rostock) gaben für elektrische Vertheilung eine Erklärung, welche Franklin bereits 1747 angebahnt hatte. Es war dies die Ansicht von bloß einer elektrischen Materie (Unitarier).

Dagegen vertheidigte der Engländer Robert Symmer die Existenz von zwei elektrischen Materien 1759. (Dualisten). Ein entschiedenes Übergewicht erhielt die Theorie von zwei Fluiden durch die experimentellen und theoretischen Forschungen des ausgezeichneten Physikers Coulomb (geb. 1736 zu Angoulême), welcher die Torsionswage erfand. Dieser hat das Verdienst für eine Theorie der Elektrizität, welche selbst verwickelte Erscheinungen der mathematischen Analysis zu unterwerfen imstande ist, die Elemente vorbereitet zu haben.

Seit der Entdeckung der Luftpolektrizität wurden noch verschiedene andere neue Elektrizitätsquellen aufgefunden. Canton brachte (1759) Klarheit in die Untersuchungen über Pyroelektrizität am Turmalin. Walsh verdankt man den Nachweis, dass die Schläge des Zitterrochens elektrischer Natur seien.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts wurde aber durch einen Zufall eine Elektrizitätsquelle aufgefunden, welche an Ergiebigkeit alle früheren übertraf, nämlich die Berührungselektrizität, nach ihrem Entdecker Galvanismus genannt. Als Jahr der Entdeckung durch den Professor der Anatomie zu Bologna Alois Galvani (geb. 1737 zu Bologna) wird allgemein das Jahr 1790 angenommen. Die Analyse dieser Erscheinung und ihre weitere Entwicklung durch seinen Fundamentalversuch (1793) war das Werk Alexander Volta's, Professors der Physik in Pavia (geb. 1745 zu Como), welcher sich seit seinem achtzehnten bis nahe zu seinem fünfzigsten Jahre mit der Elektrizität beschäftigte, wie er denn auch der Erfinder des Elektrophors (1775), des elektrischen Condensators (1782) und der Volta'schen Säule (1800) war. Letztere war geeignet, außerordentliche Wirkungen für die Erzeugung von Licht und Wärme sowohl, als auch chemischer Veränderungen hervorzubringen.

Im Jahre 1800 wurde bereits durch Carlisle das Wasser zersetzt, Davy stellte auf diesem Wege die Metalle der Alka-

lien dar (1807) und Faraday in England stellte die Gesetze für die Elektrolyse auf (1835.) Infolge dessen erfanden Jacobi und Spencer (1838) die Galvanoplastik und Delarive (1840) die galvanische Vergoldung und Versilberung. Davy, dem wir so viele bedeutende Arbeiten verdanken, war der erste, welcher das elektrische Licht mittelst einer Volta'schen Säule von 2000 Elementen zu Stande brachte (1821). In demselben Jahre entdeckte Seebeck in Berlin die thermoelektrischen Ströme, nachdem zuvor (1819) durch Oersted der Einfluss des galvanischen Stromes auf Magnetnadeln und durch Arago und Ampère (1820) die elektromagnetischen Grunderscheinungen erkannt worden waren. Ohm in Erlangen entdeckte (1827) das nach ihm benannte Gesetz über die Stärke des elektrischen Stromes und (1831) Faraday die inductiven Ströme. Nachdem constante Ketten durch Daniell (1836,) Grove (1839) und Bunsen (1842) erfunden worden waren, begann die Elektrizität in die Thätigkeiten des Lebens und der Industrie auf die mannigfaltigste Weise einzugreifen. Wir erwähnen bloß die Erfindung des Morse'schen Telegraphen (1843), des Typendrucktelegraphen von Hughes (1855 — 1863), des Telephons durch Bell (1877), der verschiedenen elektro-dynamischen Maschinen, mittelst deren die mechanische Arbeit direct in elektrische Ströme verwandelt wird. (Kraftübertragung, elektrische Eisenbahn.)

Auf dem Gebiete des Magnetismus sind in dieser Periode hervorzuheben die Arbeiten über magnetische Influenz von Apinus (1759?), die vergleichenden Messungen der Intensität des Erdmagnetismus von Alexander v. Humboldt (1779 bis 1803), die Auffindung des Magnetpoles im Norden von Amerika durch John Ross (1831) und die des Magnetpoles im Südpolarlande durch James Ross (1841), endlich die Entdeckung des Diamagnetismus durch Faraday.

Auch in der Optik wurden bedeutende Fortschritte gemacht. Im Jahre 1757 wurde das erste achromatische Fernrohr durch Dollond in England verfertigt, 1773 entdeckte Scheele in Schweden die chemischen Wirkungen des Lichtes, auf welche dann Daguerre in Frankreich 1838 die Daguerrotypie und

Talbot in England 1839 die Photographie gründeten. Im Jahre 1808 entdeckte Malus in Frankreich die Polarisation des Lichtes, 1814 Fraunhofer die dunklen Linien im Sonnenspectrum, 1859 begründeten Kirchhoff und Bunsen zu Heidelberg die Spectral-Analyse und führten dieselbe zu epochemachenden Entdeckungen auf chemischen, physikalischen und astronomischen Gebieten.

Nachdem durch Knoblauch auch die Beugung 1847, die Doppelbrechung und Polarisation durch Reflexion (1848) und Interferenz für Wärmestrahlen nachgewiesen waren, konnte hieraus die Identität der Wärme- und Lichtstrahlen gefolgert werden.

So mussten im Laufe dieses Jahrhunderts die feinen Materien, die sogenannten Imponderabilien, welche bisher als das Substrat von Licht, Wärme, Magnetismus und Elektrizität betrachtet wurden, aus der Wissenschaft verschwinden und an ihre Stelle trat die Molekularbewegung.

Bezüglich der Wärmelehre hat Julius Robert Mayer in Heilbronn (geb. 1814) durch seine mechanische Wärmetheorie (1842) einen unermesslichen Fortschritt angebahnt. Aus seinem jetzt allgemein angenommenen Principe von der Erhaltung der Kraft folgt auch zugleich das Princip von der Einheit der Kraft als Fundamentalsatz der neueren Naturbetrachtung. Alle Erscheinungen sind nach demselben nur Umwandlungen zwischen den verschiedenen Formen der Energie.

Noch bleibt zu erwähnen, dass das erste Dampfschiff im Jahre 1807 von Robert Fulton in Nordamerika und die erste zweckmäßige Locomotive von Stephenson im Jahre 1814 gebaut wurde.

Auf dem Gebiete der Akustik entdeckte Chladni (1787) die Klangfiguren und erhielt durch Versuche mit elastischen Stäben annähernd richtige Werte für die Schwingungszahlen der Töne und bestimmte die Geschwindigkeit des Schalles in Gasen und festen Körpern (1800). Cagniard de la Tour erfand (1819) die Sirene, welche zur genaueren Bestimmung der Schwingungszahlen der Töne benutzt ward. In demselben Jahre und den folgenden unterwarf Savart in Paris die Er-

scheinung der Resonanz einer näheren Untersuchung. Durch Arago, Humboldt, Gay-Lussac u. a., sowie durch einige holländische Physiker wurde die Geschwindigkeit des Schalles experimentell nachgewiesen. Als besonders wichtig müssen die Arbeiten der Gebrüder Weber in Göttingen (1825) hervorgehoben werden, welche die Theorie der Wellen erweiterten und begründeten und die Erscheinungen der Interferenz der Schallwellen erklärten. Scheibler in Crefeld ermittelte (1833) durch die Stöße der Stimmgabeln die Schwingungszahlen der Töne mit der größten Genauigkeit.

Endlich erkannte Helmholtz in Berlin (1863) zuerst die Bedingungen, welche die Tonfarbe erzeugen und lehrte, dass dieselbe von der Zahl, Höhe und Stärke der einem Grundtone beigemischten Obertöne abhängt.

Zu den wichtigsten akustischen Erfindungen der Neuzeit gehören das Telephon von Bell (1877), der Phonograph, erfunden von Edison (1878) und das Photophon von Bell.

Im 18. Jahrhunderte beschäftigte die Chemiker besonders das Studium der Luftarten oder die sogenannte pneumatische Chemie. Der wesentlichste Gewinn, der sich aus diesen Untersuchungen ergab, war die Überzeugung, dass diese Gase zu den constituierenden Elementen der festen und flüssigen Körper zu zählen sind. Black, Professor in Edinburg, fand durch Vergleichung des kaustischen und gewöhnlichen Kalkes die fixe Luft (kohlensaures Gas), Cavendish in England entdeckte (1766) den Wasserstoff, Priestley in England (1774) und unabhängig von diesem Scheele in Schweden (1775) den Sauerstoff.

Lavoisier, ein vollendeter Chemiker Frankreichs (geb. 1743 und 1794 hingerichtet), gab die richtige Erklärung des Verbrennungsprocesses und der Oxydation überhaupt, wodurch die alte Ansicht vom hinzugetretenen Phlogiston völlig zerstört wurde. Doch gelangte seine antiphlogistische Theorie erst im 19. Jahrhunderte zur allgemeinen Geltung. Ebenso zeigte Lavoisier, dass die atmosphärische Luft aus reiner oder Lebensluft und aus einem zum Leben untauglichen Gase bestehe.

Mit diesem Chemiker beginnt das Zeitalter der quantitativen Chemie. Eines der kräftigsten Hilfsmittel zur Aufstellung und Verbreitung der neuen chemischen Theorie war eine auf die Theorie selbst gegründete systematische Nomenclatur, die sich auf alle chemischen Verbindungen erstreckte.

Hierauf stellte Dalton in England (1804), nachdem in Deutschland schon Wenzel (1777) und Richter (1792) auf die bestimmten Verhältnisse in chemischen Verbindungen hingewiesen hatten, die atomistische Theorie auf. Bald nach der Bekanntmachung von Daltons System fand Gay-Lussac die Theorie der Volume.

Davy, Faraday und Berzelius (geb. 1729) wurden durch die elektrolytischen Gesetze veranlasst, die chemische Verwandtschaft auf die elektrische Anziehung zurückzuführen und begründeten die elektrochemische Theorie. Berzelius in Schweden stellte die Lehre von den chemischen Proportionen fest. Auch hat er sich durch zweckmäßige Formeln ein besonderes Verdienst um die Chemie erworben. Noch sei erwähnt, dass Schönbein in Basel (1839) das Ozon entdeckte, und Liebig in Gießen (1840) wichtige Aufschlüsse über den Ernährungsprocess der Pflanzen und Thiere gab. Der Spectral-Analyse haben wir an anderer Stelle gedacht.

### XXXII. Wilke und Aepinus.

Wilke und Aepinus waren nächst Franklin die bedeutendsten Elektriker dieser Zeit. Johann Carl Wilke wurde im Jahre 1732 als Sohn eines Predigers in der damals noch schwedischen Stadt Wismar in Mecklenburg geboren. Er studierte in Göttingen und Rostock, wo er mit einer Abhandlung über die „entgegengesetzten Elektricitäten“ promovierte, und lebte dann einige Zeit in Berlin. Dort experimentierte er gemeinschaftlich mit Aepinus und studierte mit Erfolg die Erscheinungen der Leydnerflasche. Darauf gieng er nach Stockholm, hielt dort physikalische Vorträge und wurde bald Mitglied der schwedischen Akademie der Wissenschaften, in deren Schriften seine wichtigen Abhandlungen über Elektricität, Mag-

netismus und Wärmelehre erschienen sind. Bezüglich der letzteren entdeckte und untersuchte er zuerst genau die spezifische Wärme. Auch entwarf er die erste Karte von der magnetischen Inclination.

Franz Ulrich Theodor Aepinus war auch ein Mecklenburger, geboren zu Rostock 1724, wo er studierte und bis 1755 Privatdocent war. Dann wurde er Professor der Astronomie in Berlin, blieb dort etwa zwei Jahre und gieng hierauf als Professor der Physik nach Petersburg, wurde Mitglied der Akademie, Director des Cadettencorps und Oberaufseher der russischen Normalschulen. Zuletzt lebte er privatisierend in Dorpat. Sein berühmtestes Werk war „Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi.“ Er suchte in demselben die Erscheinungen der Elektrizität und des Magnetismus der mathematischen Analysis zu unterwerfen.

Dies waren die beiden Männer, durch welche die Kenntnis des Principes der elektrischen Influenz, wenn auch ohne diesen Namen, vorzüglich durch die im Jahre 1753 und in den darauf folgenden Jahren von ihnen und dem Engländer Canton über den elektrischen Wirkungskreis oder die sogenannte elektrische Atmosphäre angestellten Versuche, gewonnen wurde. Zwar hatten die Physiker schon früher vielfach hierher gehörige Erscheinungen beobachtet, aber dieselben irrig gedeutet.

Schon im Jahre 1733 hatte Du Fay zum Behufe der Untersuchungen der Leitungsfähigkeit verschiedener Körper schafwollene, baumwollene und leinene Fäden an einer isolierten Eisenstange aufgehängt und bemerkt, dass, wenn eine elektrische Glasröhre der Eisenstange genähert wurde, die Fäden auseinander giengen, die leinenen am meisten, weniger die baumwollenen, am wenigsten die schafwollenen. Gray hängte eine lange, an einem Ende breitere Holzstange an Hanfschnüren auf und befestigte am anderen Ende der Stange an einem etwa einen Fuß langen leitenden Bindfaden einen Kork. Sobald nun Gray dem breiteren Ende eine geriebene Glasröhre näherte, zog der Kork ein unter demselben liegendes Metallblättchen einen Zoll und höher empor.

Diese und ähnliche Erscheinungen wurden jedoch von den Physikern bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts dahin gedeutet, dass geriebene Körper von öligen Ausflüssen wie von einer Atmosphäre umgeben seien, und dass ein in diesen Dunstkreis, den sie auch elektrische Atmosphäre nannten, gebrachter Körper infolge hiervon selbst elektrisiert werde.

John Canton, der das noch heutzutage im Gebrauche stehende Korkkugel-Elektrometer erfand, isolierte eine Blechröhre und befestigte an jedem der beiden Enden mittelst leinenen Fäden ein Paar Korkkugeln. Wenn er nun eine geriebene Glasröhre einem Ende der Blechröhre näherte, so sah er die Korkkugeln an beiden Enden divergieren, dagegen zusammenfallen, wenn die Glasröhre entfernt wurde. Ungeachtet dieser und anderer ähnlicher Betrachtungen konnte sich Canton doch nicht von der Vorstellung einer elektrischen Atmosphäre frei machen.

Noch Franklin war der Ansicht, dass elektrische Körper von einer elektrischen Atmosphäre umgeben seien, und dass ein in diese Atmosphäre gebrachter Körper infolge dessen Elektrizität erhalte und zwar dieselbe, welche jene besitzen.

Dieser Irrthum ist nun vorzüglich durch Wilke und Aepinus widerlegt worden, indem zuerst jener und später letzterer mit Entschiedenheit zeigten, dass Körper, welche in die Nähe eines elektrischen Körpers gebracht werden, an dem genäherten Ende nicht die gleiche, sondern die entgegengesetzte Elektrizität von der des elektrischen Körpers erhalten. Wurde ein Körper, der sich in der elektrischen Atmosphäre eines anderen befand, ableitend berührt, so zeigte er, nachdem er aus der elektrischen Atmosphäre desselben gebracht wurde, immer noch Elektrizität und zwar diejenige, welche der des ursprünglich elektrischen Körpers entgegengesetzt war. Wilke beobachtete nicht nur, dass isolierte Körper bei Annäherung eines elektrischen selbst Elektrizität äußern, sondern auch, dass sie wieder unelektrisch werden, wenn dieser entfernt wird.

Aepinus wiederholte die Versuche Wilke's und gelangte zur Überzeugung, dass es keine andere elektrische Anziehung als zwischen entgegengesetzten Elektrizitäten gibt, indem jeder

Körper, welcher in eine gewisse Nähe eines elektrischen Körpers gebracht wird, an dem genäherten Ende sich mit der entgegengesetzten Elektrizität ladet, auf ähnliche Weise, wie der Magnet das Eisen nur insoferne anzieht, als dasselbe in seiner Nähe selbst in einen Magnet verwandelt wird, und nur die einander zugewendeten ungleichnamigen Pole beider Magnete sich gegenseitig anziehen. Dies führte zur richtigen Erkenntnis des Vorganges bei der Ladung einer Leydenerflasche und einer Glas- tafel Franklins. Aepinus ersetzte den Namen „elektrische Atmosphäre“ durch die Bezeichnung „elektrischer Wirkungskreis.“ Noch suchte man damals die elektrische Anziehung mittelst Ausflüssen, welche aus dem durch Reiben elektrisch gemachten Körper hervorkämen, zu erklären. Man nahm an, dass dieselben sich an alle nahen Körper ansetzten und die leichten mit sich zurückführten, denn auf dem damaligen Standpunkte behauptete man, dass alle Ausflüsse zu den Körpern, aus welchen sie hervorgekommen, wieder zurückkehrten, weil es sonst nicht erklärlich wäre, dass die Substanz durch solchen fortwährenden Verlust nicht eine Veränderung erfahre. Wären die leichten Körperchen nun an den elektrisch gemachten Körper gelangt, so würden sie wieder durch neue Ausflüsse fortgeführt. Natürlich sollten diese Theilchen sich nur auf eine gewisse Distanz hin entfernen, um wieder zum elektrischen Körper zurückkehren zu können.

Aepinus beseitigte diese Vorstellungen von Ausflüssen aus der Elektrizitätslehre und erklärt die verschiedenen Erscheinungen durch eine directe Fernwirkung. Er behauptet nämlich, dass jeder elektrische Körper bis in eine gewisse Entfernung die Elektrizität benachbarter Körper zurückstößt. Wird nun ein Körper einem positiv elektrischen genähert, so stößt letzterer in jenem die elektrische Flüssigkeit, von der jeder Körper in seinem natürlichen Zustande ein gewisses Quantum besitzt, zurück, und wenn dann in diesem durch Berührung die Elektrizität abgeleitet wird, so zeigt er nach Entfernung von dem elektrischen Körper Mangel an Elektrizität, d. h. er ist selbst negativ elektrisch geworden. Befindet sich aber der vertheilende Körper im Zustande des Mangels, so erfolgt in dem Körper, der

die Vertheilung erfährt, die umgekehrte Anordnung der elektrischen Materie, was jedoch schwieriger einzusehen ist.

Aepinus huldigte demnach der Theorie Franklin's, welche, da sie nur eine elektrische Materie annahm, auch die Hypothese der Unitarier genannt wurde. Sie erschien auch einfacher, als die von dem Engländer Robert Symmer aufgestellte Theorie der Dualisten, welche die Existenz zweier elektrischer Materien postulierte.

Aber nach Franklins Theorie konnte man die Abstoßung negativ elektrischer Körper, also solcher, die Mangel an Electricität haben, nicht erklären. Aepinus, welcher sehr viel zur Entwicklung dieser Theorie beigetragen, wusste sich nicht anders als durch die Annahme zu helfen, dass die Körpertheile, wenn sie aller elektrischen Materie beraubt wären, einander abstoßen würden, was mit der Newton'schen Attractionstheorie sich nicht recht vereinbaren lässt.

Wilke nahm anfangs sämtliche allgemeine Grundsätze der durch Aepinus weiter entwickelten Theorie Franklins an, gieng aber später zur Ansicht Symmer's über. Ja, selbst Aepinus nahm in späteren Jahren die Auffassung von zwei Electricitätsarten an.

Robert Symmer wurde um das Jahr 1759 auf eine merkwürdige Weise veranlasst eine dualistische Theorie aufzustellen. Er trug zwei Paare seidene Strümpfe über einander und zwar weiße unten, schwarze darüber und bemerkte eines Abends, dass dieselben, wenn er sie einzeln auszog, ein Geknistern hervorbrachten, dass ferner die Strümpfe derselben Farbe sich untereinander abstießen, die verschiedener Farbe aber sich wechselseitig anzogen. Da er ferner im Dunkeln auch Funken bemerkte, so zweifelte er nicht mehr, dass er es hier mit einer elektrischen Erscheinung und zwar mit zwei verschiedenen Electricitäten zu thun habe. Er glaubte jedoch, dass die Farbe der Strümpfe die verschiedene Electricität bedinge. Der Abbé Nollet zeigte aber, dass bei den schwarzen Strümpfen die Farbe nur ein Nebenumstand sei und dass die schwarzen Strümpfe sich deshalb elektrisch gegen die weißen verhalten, weil die schwarze Farbe durch Galläpfeldecocet erzeugt war, während auf

andere Weise schwarz gefärbte Strümpfe sich nicht elektrisch zeigten.

Dies bewog ihn anzunehmen, dass nämlich in jedem Körper im natürlichen Zustande zwei entgegengesetzte Elektricitäten in gleichen Mengen vorhanden seien, welche sich gegenseitig so binden, dass sie nach außen keine Wirkung erzeugen können. Durch Reiben jedoch oder Influenz erfolge eine Scheidung der elektrischen Materien, so dass beim Reiben der eine Körper die positive, der andere die negative Elektricität erhalte, und dass bei der Influenz durch Annäherung eines elektrischen Körpers an zugewendeten Theile die entgegengesetzte, am abgewendeten die gleiche Elektricität angesammelt werde.

Die Symmer'sche Theorie war im Grunde genommen keine neue, sondern älter als die Franklin'sche, da ja schon Du Fay sie vorgetragen hatte, nur war sie inzwischen fast vergessen worden.

Von großem Vortheile für dieselbe waren auch die Entdeckungen, welche von Wilke gemacht wurden. Derselbe beschäftigte sich auch mit der langsamen elektrischen Entladung durch Spitzen, welche Franklin bei positiver Ladung durch die gesteigerte Abstoßung der elektrischen Materie in einer Spitze genügend erklärt hatte. Da aber Wilke nun bemerkte, dass auch bei einer negativ elektrischen Spitze der elektrische Wind von der Spitze aus wehe, so nahm er an, dass dies nicht für einen Mangel an Elektricität, sondern für das Vorhandensein einer besonderen negativ elektrischen Materie den Beweis liefere. Auch der Umstand, dass bei dem Durchbohren von Papier mittelst des elektrischen Funkens die Ränder der Öffnung sich nach beiden Seiten aufgebogen zeigen, wurde für Simmer's Theorie als Beweis angeführt.

Ebenso glaubte man als entscheidend für diese Theorie ansehen zu können, dass, nach der zufälligen Entdeckung Lichtenbergs, wenn man gegen eine Harzplatte aus einer Spitze Elektricität schlagen ließ und dann mit feinem Harzstaube die getroffenen Stellen bestreute, sich verschiedene Staubfiguren bildeten, je nachdem man positive oder negative Elektricität anwendete.

Wilke war es ferner, der den ersten Anstoß zur Erfindung des Elektrophors gab, als dessen eigentlicher Erfinder jedoch Volta betrachtet werden muss. Wilke hatte nämlich bei seinen Untersuchungen von Erscheinungen durch elektrische Vertheilung im Jahre 1762 die Entdeckung gemacht, dass eine elektrisirte Glastafel mit an beiden Flächen anliegenden beweglichen Metallbelegungen Tage, ja Wochen hindurch durch Vertheilung zu elektrisiren vermöge. Volta vertauschte im Jahre 1775 die Glastafel mit einem Harzkuchen.

Noch mag erwähnt werden, dass Wilke und Aepinus, besonders letzterer, im Jahre 1756 durch Versuche nicht nur bewiesen, dass der Turmalin durch Erwärmen elektrisch werden könne, d. h. leichte Körperchen anziehe und dann wieder abstoße, sondern sie zeigten auch, dass er sich nur dann elektrisch erweise, wenn ein Ende wärmer ist, als das andere, dass dann die Enden entgegengesetzte Elektricitäten besitzen, dass er jedoch keine Elektricität zeige, wenn er auf beiden Seiten gleich warm sei.

### XXXIII. Galvani und Volta.

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts war die Menge der Erscheinungen auf dem Gebiete der Elektricität und des Magnetismus bereits derart angewachsen, dass man Gefahr lief, sich im Detail zu verlieren. Überall wurden Versuche gemacht, aber ihre Erklärung war eine mehr oder weniger mangelhafte. Es fehlte eben die alle Erscheinungen verbindende Theorie. Zwar hatten Aepinus und Wilke, wie bereits im vorhergehenden Capitel erwähnt wurde, mit einer mathematischen Theorie begonnen und die Influenzerscheinungen wurden durch die beiden Forscher auf Grund der unitarischen Hypothese vollständig erklärt. Dadurch fanden auch zwei Apparate theoretisch ihre Erklärung, wiewohl sie in Wirklichkeit noch gar nicht existierten. Nämlich der Elektrophor und der Condensator. Beide wurden erst viel später von Volta erfunden. Eine mathematische Theorie der gesammten elektrischen Erscheinungen war jedoch so lange nicht möglich, als das Gesetz, nach

welchem elektrische und magnetische Massen im Verhältnisse zur Entfernung auf einander wirken, unbekannt blieb. Zwar haben einige Forscher vermuthet, dass das Distanzgesetz in beiden Fällen dasselbe sei, wie bei der Gravitation. Andere wie Cavendish nahmen an, dass der Exponent, mit welchem die Distanz potenziert werden müsse, innerhalb gewisser Grenzen liegt. Doch keiner der beiden Annahmen lagen irgend welche bestimmte Versuche zugrunde. Erst der ausgezeichnete Physiker Coulomb gab einen musterhaften Beweis für das Gesetz und entwickelte auf Grund desselben eine Theorie der elektrischen Erscheinungen.

Coulomb Charles Augustin, geb. 1736 zu Angoulême, machte seine Studien in Paris und trat nach Beendigung derselben in den Militärdienst ein. Während desselben beschäftigte er sich hauptsächlich mit Problemen der Mechanik. Seine erste Arbeit war ein Aufsatz über die Statik der Gewölbe, welche im Jahre 1776 veröffentlicht wurde. Drei Jahre später machte er seine Abhandlung über die einfachen Maschinen bekannt. Dieselbe brachte ihm einen Preis der französischen Akademie und die Aufnahme in dieselbe ein. Beim Ausbruche der Revolution resignierte er auf alle seine Stellen und Besoldungen und zog sich aufs Land zurück. Hier lebte er ausschließlich für seine Kinder und seine wissenschaftlichen Arbeiten. Über Elektrizität und Magnetismus sind von ihm sieben Abhandlungen in den Mem. de Paris, 1785 bis 1789 veröffentlicht worden. Er starb 1806.

Coulombs experimentelle Untersuchungen über Elektrizität und Magnetismus zeichnen sich durch große Genauigkeit und Schärfe aus. Keinem Physiker vor ihm war es möglich, so kleine Kräfte als sie bei diesen Untersuchungen ins Spiel kommen, zu messen. Coulomb erreichte diese Möglichkeit durch die von ihm erfundene Torsionswaage. Er kam zu derselben auf folgende Art. Bei seiner Untersuchung der Elasticität der Körper, bemerkte er die sehr geringen Kräfte, welche bei der Torsionselasticität der Drähte auftreten. Er bestimmte vorerst die Gesetze der Torsion, und nachher wandte er die Torsionskräfte zur Messung der elektrischen und magnetischen Ab-

stoßung an. Zur Aufnahme der Elektrizität dienten ihm die auch noch heute gebräuchlichen Probekügelchen, welche an Schellackstäbchen befestigt waren. Auf Grund seiner Untersuchungen konnte er folgende Behauptungen aufstellen.

1. Die Wirkung der elektrischen Fluida aufeinander ist der Menge derselben direct, dem Quadrate des Abstandes verkehrt proportional.

2. Dasselbe Gesetz gilt auch für die Einwirkung magnetischer Massen aufeinander.

Wie sich schon daraus ergibt, hat Coulomb mit Entschiedenheit die Lehre von zwei elektrischen Flüssigkeiten vertreten. Dasselbe geschah auch in der Lehre des Magnetismus. Seither hatten die dualistischen Hypothesen bis in die neueste Zeit stets das Übergewicht. Er bewies ferner, dass die Elektrizität sich nur an der Oberfläche ansammle. Der Apparat, welcher ihm dazu diente, war derselbe, welcher auch noch gegenwärtig in den Schulbüchern abgebildet und beschrieben wird, der sog. Oberflächenconductor. Doch hat erst Faraday durch seine classischen, vielfach variirten Versuche jeden Zweifel an der Thatsache ausgeschlossen. Coulomb stellte schließlich die über die Constitution der Magnete bekannte Hypothese auf, der zufolge schon jedes Molecül ein vollständiger Magnet ist und das Magnetisieren nur im Ordnen derselben besteht. Bei den elektrischen Versuchen hat Coulomb das Distanzgesetz zunächst für sehr kleine Kügelchen bewiesen. Später lieferte er den Beweis auch für Kugeln bis zu zwei Fuß Durchmesser. Seine theoretischen Ausführungen, welche hauptsächlich die Vertheilung der Elektrizität auf der Oberfläche der Conductoren behandeln, beschränken sich auch nur auf Kugeln. Anders geformte Körper ließ Coulomb außer Acht. Wohl aber dehnte er seine experimentellen Untersuchungen auch auf diese aus. Erst Biot im Jahre 1801 und 1811 im Bulletin de Sciences und Poisson im Jahre 1811 und 1824 in Mem. de Paris haben eine allgemeinere Lösung dieses Problems gegeben. Biot fand, dass bei einem elliptischen Sphäroid die Dichten der Elektrizität an zwei verschiedenen Punkten der Oberfläche sich verhalten wie die Entfernungen dieser Punkte vom Mittelpunkte des Sphä-

roids. Poisson entwickelte seine Formel ohne Annahme irgend eines elektrischen Fluidums. Es war das bei ihm ein rein mechanisches Problem, in welchem nur Anziehung und Abstoßung der Molecüle eine Rolle spielten. Er brachte nur zum Ausdrucke, was schon seit Newton allgemeines Bestreben der Physiker war, alle physikalischen Erscheinungen von allen Hypothesen über die Eigenschaften der Materie unabhängig zu machen und sie rein als Wirkungen von Kräften zu betrachten. Poissons Resultate der Theorie stimmten vollständig mit den fast ein halbes Jahrhundert alten Versuchen Coulombs überein.

Durch Coulomb kam die sog. statische Elektrizität für das 18. Jahrhundert gewissermaßen zum Abschlusse. Weitere Untersuchungen darüber in theoretischer Hinsicht waren so schwierig, dass man erst auf die Ausbildung der mathematischen Analysis und auf die großen Analytiker des 19. Jahrhunderts wie Laplace, Poisson und insbesondere auf die Ausbildung der Lehre vom Potential durch Lagrange und seine Anwendung auf Elektrizität durch Green, Gauss, Clausius u. a. warten musste.

Eine neue Quelle der Elektrizität wurde 1773 von Walsh entdeckt. Man kannte nämlich schon lange die Eigenschaft mancher Fische, Schläge zu ertheilen. Doch war man im Zweifel, welcher Art diese Schläge wären. Man war ziemlich allgemein geneigt, sie der raschen Muskelbewegung dieser Fische zuzuschreiben. Erst Walsh bewies, dass es elektrische Schläge seien.

Das letzte Jahrzehnt des 18. Jahrhunderts brachte noch eine Entdeckung, welche das ganze gebildete Europa in Aufregung versetzte und ein neues fast unerschöpfliches Inductionsgebiet für den menschlichen Forschergeist erschloss. Es war das die Entdeckung der galvanischen Elektrizität.

Galvani Aloisio, geb. 1737, wurde nach Beendigung seiner Studien Arzt in Bologna. Hier beschäftigte er sich hauptsächlich mit Anatomie und Physiologie und erhielt auch die Stelle eines Professors der Anatomie an der Universität dieser Stadt. Nach der Errichtung der cisalpinischen Republik verweigerte er den neuen Machthabern den Eid und wurde dafür seiner Stelle entsetzt. Er zog sich auf das Land zurück und lebte hier kümmerlich. Dies bewog seine Freunde, ihm seine frühere

Anstellung wieder zu verschaffen. Ihre Bemühungen hatten auch Erfolg. Man bot ihm seine Stelle wieder an, allein es war zu spät. Er starb an Geist und Körper gebrochen im Jahre 1798 in großer Dürftigkeit. Die von ihm gemachte Entdeckung erzählt er auf folgende Weise. Eines Tages präparierte er Froschschenkel in seinem Laboratorium. Ein anwesender Gehilfe berührte zufällig mit einer Messerspitze einen bereits präparierten Schenkel. Da bemerkte er zu seiner Verwunderung ein lebhaftes Zucken desselben. Ein anderer Gehilfe, der zwar von Galvani nicht genannt wird, aber schon zu seinen Lebzeiten für seine Frau gehalten wurde und daher diese in den Geschichtswerken der Physik angeführt wird, glaubte zu bemerken, dass die Zuckungen eintreten, wenn eine Entladung der Elektrisiermaschine stattfindet, und machte Galvani darauf aufmerksam. Dies war die erste Veranlassung zu seinen Untersuchungen. Allein auch noch eine andere Erzählung wird mitgetheilt. Galvani soll einmal präparierte Froschschenkel, die an einem Kupferdrahte befestigt waren, an ein eisernes Gitter draußen herausgehängt haben. Da bemerkte er, dass dieselben jedesmal in Zuckungen geriethen, so oft sie, vom Winde bewegt, mit den Eisenstangen des Gitters in Berührung kamen. Es ist wohl nicht daran zu zweifeln, dass die zweite Erzählung ein späteres Stadium in der Untersuchung Galvanis angibt. Nach unserer heutigen Anschauung ist das erste von dem zweiten Zucken wohl zu unterscheiden, da jenes durch den Rückschlag, dieses durch die Berührungselektricität, welche die beiden Elektromotoren Kupfer und Eisen geben, entsteht. Für Galvani waren jedoch beide Zuckungen identisch, und er suchte die Ursache dafür in der sog. thierischen Elektricität. Er dachte sich nämlich jede Muskelfaser als eine Leydnerflasche, welche mit beiden Elektricitäten geladen war. Die Nerven sind die Leitungsdrähte, durch welche sich die Entladung vollzieht, wenn ein zweiter Körper mit dem Schenkel in Berührung kommt. Galvani machte seine Versuche und die Erklärung derselben in einer Reihe von Abhandlungen bekannt, welche in den Memoiren von Bologna veröffentlicht wurden. Die wichtigste derselben ist folgende: „De viribus electricitatis in motu musculari

commentarius.“ Diese Abhandlung erschien auch in den Mem. de l'institut 1791. Die Entdeckung selbst geschah 1790. Die Versuche Galvanis wurden überall wiederholt, und die meisten Physiker stimmten auch seiner Ansicht bei. Auch Volta huldigte ihr anfangs und erst im weiteren Verlaufe seiner Untersuchungen entfernte er sich von Galvani immer mehr, bis er sich schließlich gezwungen sah, eine eigene Ansicht aufzustellen, welche ihn mit einem Male unter die bedeutendsten Physiker einreichte.

Volta Alexander, geb. 1745 zu Como, beschäftigte sich schon in jungen Jahren mit den Erscheinungen der Elektrizität. Seine Dissertation erschien 1769 und führt den Titel „De vi attractiva ignis electrici.“ Seit dem Jahre 1774 war Volta Professor der Physik am Gymnasium in seiner Vaterstadt, von wo er 1779 an die Universität in Pavia berufen wurde. 1800 hat ihn Napoleon nach Paris eingeladen. Hier wiederholte er seine Versuche vor den Mitgliedern der Akademie. Eine Commission, welche die Angaben Voltas prüfen sollte, bestätigte dieselben. Er erhielt daher zwei Preise, wurde zum Mitgliede des Instituts von Frankreich und Italien und zum Deputierten der Universität Pavia ernannt. Später folgte noch seine Ernennung zum Officier der Ehrenlegion, zum Senator und zum Grafen. 1819 zog er sich in seine Vaterstadt zurück und lebte daselbst ohne jede wissenschaftliche Thätigkeit bis zu seinem Tode 1827. Seine Werke wurden später zu Florenz in 5 Bänden herausgegeben. Seine erste Arbeit über den Galvanismus erschien im Jahre 1792 unter dem Titel „Observationum circa electricitatem animale specimen.“ Erst im Jahre 1794 erschien eine Abhandlung, in welcher er sich von der thierischen Elektrizität lossagte und seine eigenen Wege gieng. 1800 erschien das Memoire über die Volta'sche Säule und 1802 eine Abhandlung über die Identität des elektrischen und des galvanischen Fluidums. Hier ist auch die nach ihm benannte Spannungsreihe bereits angeführt. Außerdem beschäftigte sich Volta mit der atmosphärischen Elektrizität, mit der Hagelbildung u. s. w.

Zu seinen Erfindungen gehören: der Elektrophor (1775), der Condensator (1782), ferner das elektrische Eudiometer, die elektrische Pistole, das Strohalmelektroskop u. s. w. Bei dem

letzten Apparate gehört jedoch Volta nur die Ausführung, denn die Idee rührt von Nollet her. Bennet ersetzte 1787 die Strohhalm durch Goldblättchen. Die beiden erstgenannten Apparate erklärte Volta nach der damals gewöhnlichen Ansicht von der elektrischen Atmosphäre und konnte davon selbst bei seiner Anwesenheit in Paris von Laplace nicht abgebracht werden. Seine bedeutendste Erfindung jedoch ist die Volta'sche Säule. Volta erkannte bald bei der Wiederholung der Versuche Galvanis, dass der Froschschenkel nur das Elektroskop sei, welches das Vorhandensein der Elektrizität anzeige. Diese selbst aber entstehe durch Berührung der beiden Metalle, welche beim Versuche Galvanis Kupfer und Eisen waren. Volta zeigte dieses mit Hilfe seines Condensators, wobei die Froschschenkel gar nicht mehr ins Spiel kamen. Er ersetzte sie nämlich durch ein feuchtes Kartenblatt, einen Tuchlappen und dgl. Galvani ist es allerdings gelungen zu zeigen, dass die Zuckungen auch nur bei einem Metall eintreten, aber Volta erwiderte, dass niemals ein Metall homogen genug sei, um nur als ein Metall angesehen werden zu können. Die Beimischungen, ja selbst die verschiedene Oxydation der beiden Enden sei hinreichend, eine elektrische Spannung hervorzurufen. Später erhielt Galvani auch Zuckungen der Froschschenkel ohne jedes Metall. Damit war unzweifelhaft die Existenz der thierischen Elektrizität nachgewiesen. Allein Voltas Versuche, welche sehr bald wichtige Folgen nach sich zogen, lenkten ganz die Aufmerksamkeit der Physiker von Galvanis Arbeiten ab, und die thierische Elektrizität musste später von Matteucci und Du Bois Raymond zum zweitenmal entdeckt werden.

Volta nannte die durch Berührung der Metalle entstandene Elektrizität Metallelektrizität und gab die auch noch heute aus den Lehrbüchern nicht verschwundene Contacttheorie zur Erklärung derselben. An der Berührungsstelle der beiden Metalle entstehe eine eigenthümliche Kraft, welche er die elektromotorische nannte.

Diese treibe die Elektrizitäten und zwar die positive in den einen, die negative in den andern der beiden sich berührenden Körper und verhindere auch ihre Wiedervereinigung. Die

Benennung der positiven und negativen Elektrizität rührt jedoch nicht von Volta; sondern von Lichtenberg her. Volta untersuchte in Bezug auf ihr Verhalten fast alle Metalle und gab die bekannte Spannungsreihe an. Auch das Gesetz von der Constanz der elektrischen Differenz und das zweite, dass die Differenz zweier Glieder der Reihe gleich ist der Summe der Differenzen der Zwischenglieder rührt von ihm her. Die Flüssigkeiten jedoch, welche er stets bei der Berührung der Metalle zur Anwendung bringen musste, erkannte er nicht als Elektromotoren. Sie dienten ihm vielmehr nur zur Leitung der Elektrizität. Seine Säule erhielt von ihm die auch noch heute gebräuchliche Form. Doch gebrauchte er als Elektromotoren Zink und Silber; erst der geniale Ritter führte statt des letzteren Kupfer ein, welches auch bald allgemein zur Anwendung kam. Volta beschreibt in derselben Abhandlung, in welcher er seine Säule bekannt macht, auch den sog. Becherapparat, bei welchem in einen Becher von Glas die beiden Metallplatten ohne einander zu berühren, gebracht, und der Becher mit angesäuertem Wasser oder mit einer Salzlösung gefüllt wird. Voltas Versuche hatten ein ungeheures Aufsehen erregt, besonders in England, da hier seine ersten und wichtigsten Abhandlungen in den „Phil. Transac.“ erschienen. In Deutschland und Frankreich, wohin die Entdeckungen Voltas erst später gelangten, hielt man vorerst an der Erklärung Galvanis fest, und hier, wie auch in England und Frankreich, wurde zunächst daran gezweifelt, ob diejenigen Erscheinungen, welche durch Volta erschlossen wurden, überhaupt elektrische seien, namentlich aber hat man gezweifelt an der Identität der Elektrizität, welche durch Berührung und welche durch Reibung erzeugt wird. Es mussten erst alle Wirkungen, welche sich durch Reibungselektrizität erzielen ließen, auch durch die Volta'sche Metallelektrizität erhalten werden, um die Identität beider glaubwürdig zu machen. Volta selbst behauptete, dass die Wirkung, welche man mit seiner Säule erhält, ähnlich ist jener, welche eine mit Reibungselektrizität schwach geladene elektrische Batterie gibt, bei welcher viele Entladungen rasch aufeinander folgen. Vorerst war die Volta'sche Säule zu schwach, um den Beweis für die Identität der beiden Elektrizitäten zu

liefern. Eine Vermehrung der Plattenpaare war mit vielen Unzukömmlichkeiten verbunden, man wendete daher ziemlich allgemein sogenannte Trogapparate an. Das waren Holzkästen, welche viele von einander getrennte Schlitze enthielten. In dieselben kam je ein Plattenpaar und die dazu gehörige Flüssigkeit. Um namhafte Wirkungen zu erhalten, mussten sehr viele Elemente mit einander verbunden werden. Da das eine Metall bis auf Ritter immer Silber oder Gold war, so war die Anschaffung vielzähliger Trogapparate mit bedeutenden Kosten verbunden. Es hatten jedoch an der Sache nicht nur Männer der Wissenschaft, sondern auch Laien großes Interesse. So hat Napoleon dem polytechnischen Institut einen Trogapparat von sechshundert Plattenpaaren und Freunde der Royale Institution, einen solchen von 2000 Plattenpaaren zum Geschenke gemacht.

Sofort nach dem Bekanntwerden der Volta'schen Säule folgten rasch aufeinander die damit gemachten Entdeckungen. Carlisle hat schon im Jahre 1800 bemerkt, dass wenn man die Endplatten der Volta'schen Säule mit Drähten verbindet und die anderen Enden der Drähte in ein Wassertröpfchen gibt, an denselben Gasblasen aufsteigen. Es trat sonach eine Zersetzung des Wassers ein, doch hat erst zwei Jahre später Davy die näheren Umstände dargelegt, welche hiebei auftreten. Die damaligen Physiker waren erstaunt über die scheinbare Wanderung des Sauerstoffs und des Wasserstoffs zu den Polen. Zum Verständnis dieser Erscheinung gab 1805 der lithauische Privatgelehrte Grothuss die Erklärung, dass an den beiden Elektroden die Wassermoleküle zerlegt werden. An der einen steigt der Sauerstoff in Form von Glasblasen auf, während der freigewordene Wasserstoff dem nächsten Wassermolekül den Sauerstoff entzieht und sich damit zu Wasser verbindet. Der Wasserstoff spielt dieselbe Rolle weiter, so dass sich die Spaltung und Verbindung von Molekül zu Molekül bis zur zweiten Elektrode fortpflanzt. Hier wird der freigewordene Wasserstoff in Form von Glasblasen sichtbar wie an der anderen der Sauerstoff. Später machte Clausius dieser Hypothese den Vorwurf, dass sie nicht erkläre, warum schon der schwächste Strom eine Zerlegung vornehme. Denn

offenbar ist eine gewisse Kraft nothwendig, um die Anziehung zwischen Sauerstoff und Wasserstoff zu überwinden. Erreicht der Strom diese Stärke nicht, so müsste auch die Zersetzung ausbleiben. Nun lehrt aber die Erfahrung, dass sie bei einem noch so schwachen Strom auftritt. Clausius hat daher zur Hypothese von Grothuss noch eine Erweiterung gegeben. Danach zerfallen die Wassermoleküle von selbst, und die freigewordenen Elemente treten mit anderen ebenso entstandenen in neue Verbindungen ein. Der galvanische Strom bewirkt nichts weiter, als dass er den nach allen Richtungen sich bewegenden Wasserstoff- und Sauerstoffatomen die Richtung zu der einen oder anderen Elektrode ertheilt. Bekanntlich wird gegenwärtig nach Kohlrausch' Versuchen angenommen, dass das reine Wasser den Strom gar nicht leitet und daher auch nicht zersetzt wird. Die scheinbare Zersetzung desselben ist nur eine mittelbare Folge der Zersetzung des im Wasser aufgelösten Körpers.

Bald nach der Entdeckung der Wasserzersetzung hat Davy eine Zersetzung des Kali und Natron erhalten. Seine Abhandlung darüber wurde 1808 in Phil. Transact. veröffentlicht. Er gab geschmolzenes Kali in einen Löffel und brachte die Drahtenden eines Trogapparates das eine mit dem Löffel, das andere mit der Oberfläche des Kali in Berührung. Die Zersetzung trat ein, doch konnte er das Metall nicht rein gewinnen, erst als er auf den Boden des Löffels etwas Quecksilber brachte, erhielt er ein Amalgam, aus welchem dann reines Metall gewonnen wurde. So entdeckte er die beiden Alkalimetalle Kalium und Natrium. Hiermit waren die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes constatiert, und da man entsprechende Wirkungen auch bei der Reibungselektricität kannte, so war dadurch ein Beleg für die Identität beider Elektricitäten gegeben. Die anderen sollten bald folgen.

Die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes waren die Veranlassung zur Aufstellung der elektrochemischen Theorien. Die damaligen Physiker waren nämlich mit der Theorie Voltas, welche die Quelle der Elektricität in der Berührung der beiden Elektromotoren allein suchte, nicht einverstanden. Schon damals war unter denselben die Vorstellung ziemlich allgemein,

dass die Erschaffung einer Kraft aus nichts, Menschen unmöglich sei. Freilich wurde dieser Grundsatz erst später durch den englischen Arzt Roger und insbesondere durch Faraday zur vollen Klarheit gebracht. Parrot war der erste, welcher den galvanischen Strom schon 1802 als die Wirkung der chemischen Kräfte erklärte. Ihm folgten Davy und Berzelius, welche 1806 ihre elektrochemischen Theorien aufstellten. Kopp behauptet, dass Davy früher als Berzelius zu bestimmten, festen Ansichten in dieser Hinsicht gelangt war, während der englische Geschichtsschreiber der inductiven Wissenschaften Whewell anführt, dass Berzelius zuerst ein elektrochemisches System entwickelte. Davy Humphry, geb. 1778, war Professor der Chemie an der Royal Institution, später Präsident der Royal Society. Ihm verdankt die Wissenschaft viele neue Entdeckungen und grundlegende Theorien. Er starb 1809. Berzelius Jakob, geb. 1779 in Ostgothland, studierte Medicin und Chemie in Upsala, wurde Professor der Chemie zu Stockholm und später Secretär der Akademie der Wissenschaften. Er machte sich besonders verdient durch Einführung einer bestimmten Nomenclatur und Classification der chemischen Verbindungen, und durch genaue Bestimmung vieler Atomgewichte. Ferner entdeckte er mehrere Elemente und legte den Grund zur organischen Chemie. Er starb 1848.

Sowohl seiner als auch Davys Theorie liegt der Gedanke zugrunde, dass alle Atome elektrisch polar seien. Demgemäß zerfallen alle Elemente in elektropositive und elektronegative. Da sich entgegengesetzte Elektricitäten anziehen: so werden die elektropositiven an der negativen, und umgekehrt die elektronegativen an der positiven Elektrode ausgeschieden. Ein ähnliches Verhalten zeigen auch manche chemisch zusammengesetzte Körper. Der galvanische Strom kommt durch die chemische Einwirkung der Körper aufeinander zustande. Die Theorien von Davy und Berzelius legten nur den Grundstein zu allen nachfolgenden Erklärungen des galvanischen Stromes. Die letzte Theorie von Exner, welche im Jahre 1880 in den Berichten der Wiener Akademie veröffentlicht wurde, erstreckt ihre Erklärung nicht nur auf die Berührung fester Körper mit Flüssigkeiten, sondern

auch auf die Berührung fester Körper untereinander und ist wohl gegenwärtig die vollkommenste elektrochemische Theorie.

Auch die Licht- und Wärmewirkungen des galvanischen Stromes wurden bald nach der Bekanntmachung der Volta'schen Säule entdeckt. Man erkannte auch, dass die Wärmewirkung hauptsächlich von der Größe der Platten, während die chemische von der Anzahl derselben abhängig ist. Die Folge war, dass man je nach dem Zwecke, welchem sie dienen sollten, verschiedenen Batterien baute. Die Ströme, welche großplattige Batterien lieferten, nannte man Quantitätsströme, jene, welche vielzählige Apparate gaben, hießen Intensitätsströme. Es war damit die Vorstellung verbunden, dass die ersten durch die größere Menge, die letzteren durch die größere Spannung der Elektrizität bedingt waren. Das Glühendwerden der Drähte wurde von allen, denen stärkere Batterien zur Verfügung standen, beobachtet, doch war Davy der erste, welchem es gelungen ist, Drähte zum Schmelzen zu bringen. Später hatte Joule die Wärme, welche der galvanische Strom in den Drähten erzeugt, in Abhängigkeit von der Stromstärke bestimmt. Er benutzte auch dieselbe zuerst zur Bestimmung des mechanischen Äquivalentes der Wärme. Ein weiterer Beweis für die Identität der galvanischen Elektrizität und der durch die Reibung erzeugten lag in dem Funken, welchen Nicholson bei galvanischen Strömen zuerst erhielt. Ebenso ist es Davy gelungen mit der schon früher erwähnten Batterie von 2000 Plattenpaaren im Jahre 1812 das elektrische Bogenlicht zum erstenmal zu erzeugen. Nach allen diesen Wirkungen des galvanischen Stromes, war es nicht mehr möglich zu zweifeln, dass die galvanische Elektrizität von der Reibungselektrizität sich dem Wesen nach nicht unterscheidet. Nur nannte man nach der Vorstellungsweise der damaligen Zeit die galvanischen Ströme magnetische Ströme. Man war nämlich geneigt anzunehmen, dass Magnetismus und Elektrizität im Grunde dasselbe sei, und zwar verschiedene Manifestationen eines und desselben Fluidums nämlich des magnetischen. Erst später hat Ampère die Sache umgekehrt und den Magnetismus auf die Elektrizität zurückgeführt. Es lag allerdings in der früher erwähnten Benennung der galvanischen Ströme das Bestreben nach

einer Reduction der Imponderabilien, allein Gründe dafür lagen damals nicht vor und bei Erklärungen der entsprechenden Erscheinungen hielt man immer an der Verschiedenheit des magnetischen und elektrischen Fluidums fest. Ampère dagegen hatte schon, wie wir sehen werden, triftige Gründe, die ihn zur Aufstellung seiner Theorie bewogen.

### XXXIV. Young und Fresnel.

Zwei Männer waren es vorzüglich, welche zu Anfang dieses Jahrhunderts die Undulationstheorie des Lichtes erweiterten und derselben zum entscheidenden Siege über die Emissionstheorie verhalfen, nämlich der Engländer Young und der Franzose Fresnel.

Thomas Young, geb. 1773 zu Milverton in der Grafschaft Sommerset, zeichnete sich schon als Kind durch große Geistesgaben und ein seltenes Gedächtnis aus. Er studierte in London, Edinburg und Göttingen Medicin, beschäftigte sich aber auch früh schon mit mathematischen, physikalischen, botanischen und philologischen Studien. Schon im Jahre 1793, also als zwanzigjähriger Jüngling, übergab er der königlichen Akademie zu London seine Schrift: „Über die Construction des Auges.“ Nachdem er seine medicinischen Studien vollendet hatte, promovierte er in Göttingen, ließ sich dann als Arzt in London nieder und war drei Jahre (1801 — 1804) auch Professor der Naturwissenschaften an der Royal Institution. Schon im Jahre 1800 hatte er eine Abhandlung „Über die Ähnlichkeit zwischen Licht und Schall“ veröffentlicht, in welcher er zwei schwache Seiten der Emanationstheorie des Lichtes hervorhebt. Er sagt nämlich: „Alle Lichtstrahlen, mögen sie nun herrühren vom schwächsten elektrischen Funken, von der Reibung zweier Kiesel, vom geringsten Grade sichtbaren Glühens, von der Weißglut eines Ofens oder gar von der Sonne, werden mit gleicher Geschwindigkeit im Raume fortgepflanzt; welchen Grund könnte die Emanationstheorie dafür angeben, dass alle diese verschiedenen Lichtquellen die leuchtenden Theilchen mit gleicher Geschwindigkeit von sich auswerfen.“

Ferner ließe sich nach dieser Theorie nicht erklären, wie Lichtstrahlen von ganz gleicher Beschaffenheit, wenn sie auf ein anderes durchsichtigeres Medium auffallen, immer zum Theile zurückgeworfen werden, während ein anderer Theil in das neue Mittel eintritt.

Die Undulationstheorie erklärt beide Erscheinungen durch die Annahme, dass der Äther in einem Mittel überall gleich dicht sei, in verschiedenen Mitteln aber eine verschiedene Dichte besitze.

In einem folgenden Capitel der früher genannten Abhandlung bespricht Young seine epochemachende Entdeckung der Interferenz der Wellenbewegungen. Obwohl das Wort „Interferenz“ von ihm stammt, so hat er es doch nicht gleich anfangs eingeführt, sondern erst im Jahre 1803, nachdem er im vorausgehenden Jahre bloß das Zeitwort *interferre* von den Lichtstrahlen gebraucht hat.

Bei den sichtbaren Wellen des Wassers hatte man wohl die Ausgleichung von Bergen und Thälern bemerkt, aber man legte keinen Wert darauf. Young aber behandelte die Durchkreuzung von Wellensystemen als ein wichtiges Problem. Er drückt das allgemeine Princip auf folgende Weise aus: „Wenn zwei Vibrationen, aus verschiedenen Quellen entsprungen, entweder ganz genau oder doch sehr nahe in ihrer Richtung zusammenfallen, so ist die aus ihrer Verbindung hervorgehende Wirkung eine Combination der jeder einzelnen Vibration zukommenden Bewegungen.“

Young fügt auch noch hinzu, dass die daraus hervorgehenden Bewegungen am stärksten werden müssen, wenn die Wellen in ihren Phasen vollkommen übereinstimmen, am schwächsten dagegen, wenn entgegengesetzte Phasen zusammentreffen, und dass in letzterem Falle die Bewegung ganz aufgehoben werden müsse, wenn die beiden Vibrationen gleiche Stärke besitzen.

Er erklärt die periodischen Farben dünner Blättchen und die farbigen Schattensäume durch die Lehre von der Interferenz der Lichtwellen. Um die Beugungserscheinungen darzustellen, spannte er in den Weg der Lichtstrahlen, die von einem hellen Spalt kamen, Haare, Seidenfäden und andere sehr schmale

Körper. Da zeigten sich nicht nur zu beiden Seiten des Schattens, sondern auch im Schatten dieser Körper Farbstreifen. Jene erklärte Young wie früher durch die Interferenz des directen und des an den Rändern der Körper reflectierten Lichtes, letztere aber durch die Interferenz des an den beiden Seiten des schattenwerfenden Körpers vorübergehenden gebeugten Lichtes. Dem entsprechend zeigte sich bei solchen Versuchen in der Mitte des Schattens eine weiße Linie, auf welche die farbigen Linien nach außen in Abständen folgten, welche dem Wegunterschiede der von beiden Seiten kommenden Lichtstrahlen entsprachen. Obschon Youngs Lehre durch Beobachtung und Rechnung kräftig unterstützt wurde, so nahm man sie in der wissenschaftlichen Welt anfangs nicht günstig auf. So äußerte sich Henry Brougham (1803) sehr absprechend über Youngs Arbeiten. Er konnte in denselben absolut nichts finden, was den Namen einer Entdeckung, ja nur eines wissenschaftlichen Experimentes verdiente, ja er machte der Royal Society, welche Youngs Arbeiten in ihre Schriften aufgenommen hatte, den Vorwurf, dass sie in den letzten Zeiten „viele flüchtige und inhaltsleere Aufsätze“ aufgenommen habe. Brewster, einer der gelehrtesten Physiker Englands, der sich besonders um die Lehre von der Polarisation des Lichtes sehr verdient gemacht, theilte mit seinen Landsleuten die allgemeine Abneigung gegen die Undulationstheorie, so zwar, dass er sich selbst dreißig Jahre später noch nur sehr schwer von dieser Abneigung losmachen konnte.

Davy schrieb (1802) an einen seiner Freunde: „Haben Sie die Theorie meines Collegen des Dr. Young über die Undulationen des Äthers schon gelesen, in welchem das Licht bestehen soll? Es ist wohl nicht zu erwarten, dass diese Hypothese je populär werden wird.“

Auch bei den Deutschen und den Franzosen fand die neue Lehre keine Anerkennung. Die deutschen Gelehrten übersetzten wohl Youngs Abhandlungen, ohne jedoch weiter einen Gebrauch davon zu machen, und die Franzosen scheinen die Arbeiten Youngs gar nicht oder doch nur sehr unvollkommen gekannt zu haben. Allerdings lag auch zum Theile die Ursache

der schlechten Aufnahme dieser Lehren in der Weise, wie Young dieselben vortrug. Seine mathematischen Darstellungen waren schon ganz außer dem Bereiche der gewöhnlichen Leser, hatten aber auch für den eigentlichen Mathematiker nichts Anziehendes. Die Beschreibung der Experimente war mehr kurz als bequem für das Verständnis.

Während Youngs Theorie wenig Beachtung fand, gieng er selbst seine eigenen Wege fort, indem er einige andere Theile der Optik zu verbessern sich bemühte. Erst im Jahre 1815 wurde die Aufmerksamkeit und Bewunderung der Gelehrten auf ihn gelenkt, als Fresnel sein berühmtes Memoire „über die Diffraction des Lichtes“ dem Institute von Frankreich vorlegte.

Arago und Poinsot wurden beauftragt, über dieses Memoir Bericht zu erstatten. Arago erklärte die Gesetze Fresnels für epochemachend, theilte aber auch in seinem Berichte mit, was bisher in dieser Sache gethan worden war, und zögerte nicht, rühmend hervorzuheben, was Young in dieser Beziehung geleistet.

Arago hat anerkannt, dass Young, während seine Vorgänger auf diesem Gebiete, wie Grimaldi, Newton diese Erscheinungen weder auf Gesetze, noch auf ihre Ursachen zurückzuführen imstande waren, so unähnliche Erscheinungen durch das Princip der Interferenz zu verbinden wusste.

Fresnel hat vierzehn Jahre später als Young in seinen Memoir das Princip der Interferenz in Frankreich aufgestellt und nahezu denselben Gang bei seinen Untersuchungen, jedoch unabhängig von diesem eingeschlagen, da er im Anfange wenigstens mit Youngs Arbeiten noch unbekannt war. Sein größeres Memoir „über die Diffraction“ wurde 1819 preisgekrönt.

Augustin Jean Fresnel wurde 1788 zu Broglie in der Normandie geboren. Wegen seiner schwächlichen Natur machte er anfangs im Lernen fast gar keine Fortschritte. Im achten Jahre konnte er kaum lesen. Bis zum 13. Jahre hatte er keinen anderen Lehrer als seinen Vater, welcher Architekt und Unternehmer öffentlicher Bauten war. Hierauf kam er in die Centralschule in Caen, wo er wirklich Fortschritte machte,

so dass er 16 Jahre alt in die polytechnische Schule zu Paris aufgenommen wurde. Obgleich immer schwächlich und leidend, glänzte er dort durch seine Leistungen unter seinen Mitschülern und zog die Aufmerksamkeit der Professoren auf sich. Von hier trat er in die Schule für Ingenieure und wurde später als solcher besonders im Departement der Vendée verwendet. Durch seinen Eifer und seine Talente zeichnete er sich immer mehr und mehr aus. Im Jahre 1815 setzte ihn Napoleon ab, weil er eifriger Royalist war. Nach der zweiten Rückkehr der Bourbonen wurde er Ingenieur in Paris, später Examiner an der polytechnischen Schule und 1823 auch Mitglied der Akademie. Infolge übermäßiger Anstrengungen stellte sich 1824 bei ihm ein Bluthusten ein, sein Gesundheitszustand wurde immer schlimmer. Mit der Resignation eines Philosophen sah er jedoch ruhig dem Tode entgegen und sagte bloß oftmals zu seinen Freunden: „Ach, wie viel hätte ich noch zu thun!“ Er starb 1827 in Ville d'Avray bei Paris, zwei Jahre vor dem genialen Young, der 1829 in London sein Leben beschloss.

Fresnel gieng mit seinen Arbeiten zum Theile über Young hinaus. Er leitete die Erscheinungen der Interferenz nicht wie Young aus dem Zusammenwirken zweier Lichtstrahlen, sondern aus der Combination der Elementarwellen ab, welche von allen Punkten der leuchtenden Fläche ausgehend in dem beobachteten Punkte zusammentreffen.

Da es bei Interferenzversuchen darauf ankommt, Lichtstrahlen unter einem äußerst kleinen Winkel kreuzen zu lassen und zudem die Lichtquellen in jeder Beziehung gleich sein sollen, so ließ Fresnel im Dunkeln durch eine enge verticale Spalte homogenes Sonnenlicht auf zwei ebene rückwärts geschwärzte Spiegel fallen, welche unter einem außerordentlich stumpfen Winkel gegen einander geneigt waren. Dadurch erhielt er zwei Bilder, welche sehr nahe bei einander lagen. Fresnel betrachtete nun auf einer weißen Tafel die Durchschnittspunkte der von den Spiegeln reflectierten Strahlen der Lichtlinie, wobei es ebenso war, als ob die beiden Spiegelbilder der Lichtspalte die Strahlen direct auf den Schirm senden

würden. Bei diesem Versuche erschienen an der auffangenden Wand lichte und dunkle Streifen, welche letztere sogleich verschwanden, sobald Fresnel den einen Spiegel verdeckte. Bewundernswert sind die feinen Messungen, durch welche Fresnel erfuhr, dass die Punkte des hellsten Streifens in der Mitte von Strahlen herrühren, die von der Lichtquelle bis zu ihren Kreuzungsstellen gleiche Wege beschrieben haben, weil dann dasselbst in diesem Falle übereinstimmende Schwingungen zusammentreffen, dass dagegen Dunkelheit an Stellen eintreten muss, wenn da die Wegdifferenz eine halbe Wellenlänge oder eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen beträgt, weil in diesem Falle entgegengesetzte Schwingungen zusammentreffen. Beträgt die Wegdifferenz eine gerade Anzahl halber Wellenlängen, so sind die Schwingungsphasen gleich und es entstehen helle Streifen.

Fresnel wendete bei seinem Interferenzversuche nach einander die farbigen Strahlen des Spectrums von roth bis violett an und fand, dass die farbigen Streifen unter sonst gleichen Umständen stets schmaler wurden, je näher er dem violett kam, dass somit verschiedene farbige Streifen nicht auf dieselbe Stelle fallen. Fällt daher weißes Licht auf den Spiegel auf, so fallen die Streifen verschiedener Farben nur in der Mitte aufeinander, weshalb daselbst ein weißer Streifen entsteht; die anderen fallen an verschiedene Stellen des Schirmes, decken sich theilweise, so dass in die einer Strahlengattung zugehörigen dunklen Theile auf die hellen Streifen einer anderen zu liegen kommen, aber auch helle Streifen verschiedener Farben sich theilweise über einander lagern und gemischte Farben erzeugen; man sieht daher an beiden Seiten des weißen Streifens eine Reihe paralleler Streifen von verschiedenartigen Farben. Um die Interferenzstreifen lebhaft zu erhalten, betrachtete Fresnel dieselben mittelst einer Loupe. Fresnel's Interferenzversuch mittelst Spiegel war jedenfalls vollkommener als die früheren Versuche von Huyghens, Grimaldi u. a. Huyghens ließ durch zwei feine, sehr nahe neben einander befindliche sehr schmale Spalten parallele homogene Lichtstrahlen eintreten, wobei sich auf einem entfernten Schirme zu beiden Seiten der Lichtlinie

abwechselnd die dunklen und hellen Streifen zeigten, welche sofort verschwanden, wenn eine der Spalten im Fensterladen verdeckt wurde.

Grimaldi hatte in dem Fensterladen eines dunklen Zimmers zwei Öffnungen sehr nahe an einander angebracht, so dass auf einer weißen Tafel zwei Lichtkegel aufgefangen werden konnten, die zum Theile in einander fielen. Wurde ein Lichtkegel allein aufgefangen, so erschien eine helle Scheibe, die in der Mitte heller war, als am Rande. Wurden beide Kegel zugleich aufgefangen, so dass sich die Kreisflächen theilweise deckten, so erschien die Fläche, welche beiden Scheiben gemeinschaftlich war, auffallend heller, als die beiden Reste der Kreisflächen, und die den hellen Mittelraum begrenzenden Bogenstücke erschienen auffallend dunkel.

Obwohl solche Versuche, welche der Emanationshypothese direct entgegenstanden, von Newton und anderen Physikern wiederholt wurden, so blieb es doch den beiden Forschern Young und Fresnel vorbehalten, diese Erscheinungen nach den Principien der Undulationstheorie befriedigend zu erklären.

Die Doppelbrechung erklärten Fresnel wie Young durch die Annahme einer nach verschiedenen Richtungen hin ungleichen Elasticität des Lichtäthers in den doppelt brechenden Krystallen. Namentlich hat Fresnel die Erscheinungen der Doppelbrechung genau untersucht. Diese Erscheinungen, sowie die damit verbundene und die durch Reflexion erzeugte Polarisation als Resultat transversaler Schwingungen nach der Undulationstheorie in jeder Beziehung befriedigend zu erklären, war eine der schwierigsten Aufgaben der Optik.

### XXXV. Faraday.

Nach der Entdeckung Galvanis und Voltas wurden die Wirkungen der galvanischen Ströme überall eifrig studiert. Fast in jedem physikalischen Laboratorium, aber auch in vielen Privathäusern, waren Voltas Elemente zu finden. Bei dem damaligen Interesse für magnetische Erscheinungen fehlte auch selten in der Wohnung eines Intelligenten eine Magnetnadel.

Dennoch musste eine so einfache Thatsache wie der Einfluss der galvanischen Ströme auf die Magnetnadel zwanzig Jahre nach dem Bekanntwerden der Volta'schen Säule auf ihre Entdeckung warten. Zwar spricht Aldini, ein Verwandter Galvanis in seinem 1804 erschienenen Werke davon, dass ein Advocat Romagnosi in Trient schon 1802 die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom beobachtet habe. Allein die Physiker beachteten diese Bemerkung nicht, so dass Oersted's Entdeckung, welche 1819 gemacht und 1820 bekannt wurde, großes Staunen erregte, sich rasch über ganz Europa verbreitete und überall wiederholt und discutiert wurde. Oersted Franz Christian, geb. 1777 auf der Insel Langeland, besuchte die Universität Kopenhagen, wo er mehrere Preise gewann. 1799 wurde er zum Doctor der Philosophie promoviert und erhielt die Stelle eines pharmaceutischen Adjuncten an der medizinischen Facultät. 1806 wurde er daselbst Professor der Physik und 1829 Director der polytechnischen Anstalt. Der König schenkte ihm 1850 eine Besitzung in der Nähe von Kopenhagen. Er starb 1851.

Diejenigen Versuche, welche ihm großen Ruhm eintrugen, machte er in der Schrift: „*Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticum*“ 1820 bekannt. Sein Werk: „*der Geist in der Natur*“ gehört zu den gelesensten Schriften, und das von ihm erfundene Piezometer ist heute ein allgemein verbreiteter Apparat.

Anfangs glaubte Oersted, dass nur die durch den Strom glühend gewordenen Drähte die Nadel ablenken. Doch bald bemerkte sowohl er selbst als auch andere, welche die Versuche nachmachten, den Irrthum. Schweigger hat noch in demselben Jahre, in welchem Oersted's Versuche bekannt wurden, den Multiplicator erfunden und Nobili 1825 die astatischen Nadeln bei demselben eingeführt. Dadurch wurden erst die Physiker in den Stand gesetzt, die feinsten Messungen auszuführen und ungeahnte Aufschlüsse über die elektrischen Erscheinungen zu erhalten. Besonders empfindlich wurde diese Methode seit der Einführung der von Poggendorff (1796 — 1877) angegebenen Spiegelablesung. Gauss brachte dieselbe zum erstenmale bei der Beobachtung schwingender Magnetnadeln zur Anwendung.

Nach dem Bekanntwerden von Oerstedts Entdeckung haben Savart und Biot das Gesetz, nach welchem Ströme auf Magnete wirken, zu bestimmen gesucht. Sie fanden, dass die resultierende Kraft, welche ein unbegrenzter Strom auf ein magnetisches Molekül ausübt, senkrecht auf den kürzesten Abstand des Moleküls vom Strome gerichtet und diesem Abstände verkehrt proportional ist. Laplace zeigte später, dass die Wirkung eines Stromelementes auf ein magnetisches Molekül dem Quadrate der Entfernung beider verkehrt proportional sei.

Eine Woche nach dem Bekanntwerden von Oerstedts Entdeckung in Paris kündigte Ampère seine erste theoretische Abhandlung über diesen Gegenstand in der Akademie der Wissenschaften an. Weitere Abhandlungen folgten rasch aufeinander. Die Geschichte der Physik kennt keine zweite Entdeckung, bei welcher nach ihrem Bekanntwerden eine nach allen Richtungen hin musterhafte Theorie in so kurzer Zeit gefolgt wäre.

Ampère André Marie, geb. 1775, verbrachte seine Jugendzeit auf dem Lande und hatte keine Gelegenheit sein Wissen auf gewöhnliche Art, durch Schulbesuch zu erweitern. Er studierte daher eifrig die Encyclopädie von Diderot und D'Alembert. Dadurch eignete er sich das gesammte Wissen seiner Zeit an. Von Aristoteles bis Ampère können in dieser Hinsicht wohl nur wenige Menschen angeführt werden, welche gleich den beiden Genannten das Wissen ihrer Zeit beherrscht hätten. Nach der Hinrichtung seines Vaters in der Revolutionszeit nahm Ampère 1796 eine Privatlehrerstelle an. 1807 erhielt er die Professur der Physik an der Centralschule zu Bourg und bald darauf an der polytechnischen Schule in Paris. Er starb 1836.

Seine bedeutendste That ist die Theorie der elektrodynamischen Erscheinungen. Maxwell nennt Ampère den Newton der Elektrizität und erklärt seine Theorie für eine der glänzendsten Leistungen in der Wissenschaft. Dieselbe wird auch noch gegenwärtig in der ihr von Ampère gegebenen Form vorgetragen. Außerdem verdankt ihm die Wissenschaft die Klarstellung der Beziehungen und Begriffe in der Elektrizitätslehre. Er war es, welcher den Unterschied zwischen der statischen und dynami-

schen Elektrizität feststellte, und von ihm rührt die noch heute übliche Eintheilung in Elektrostatik und Elektrodynamik. Er führte auch die Benennung elektrischer oder galvanischer Strom ein. Ampère hat schon in seiner ersten Abhandlung die Wirkung der Ströme auf Ströme bekannt gemacht und zum Studium dieser Erscheinungen das nach ihm benannte Gestell erfunden. Er gab ferner die bekannte Theorie über das Wesen des Magnetismus, der zufolge Magnetismus und Elektrizität vollständig identisch sind. Jeder Elementarmagnet ist als ein Solenoid anzusehen, durch welchen galvanische Ströme continuierlich kreisen. Die Elementarströme unterstützen sich gegenseitig in ihrer Wirkung nach außen, da sie in einem Magnetstabe dieselbe Richtung haben. Da die Erde seit Gilbert als ein Magnet angesehen wurde, so musste dieselbe Ansicht auch für sie festgehalten werden. Ampère nahm an, dass sie von Strömen, die von Ost nach West kreisen, umflossen wird. Seine Identifizierung des magnetischen Fluidums mit dem elektrischen stieß bei den Physikern seiner Zeit auf Widerspruch, welche entweder an der Verschiedenheit der Fluida hielten oder aber lieber das elektrische Fluidum, wenn auch ohne alle Gründe, verdrängt wissen wollten. Biot tadelt Ampère heftig wegen seiner, der damaligen Anschauungsweise zuwiderlaufenden Theorie. Auch die Entdeckung der Inductionsströme, welche durch Ampère 1822 unzweifelhaft gemacht wurde, wurde von den französischen Physikern für einen Irrthum erklärt und weiter nicht beachtet. Ampère hat nämlich einen Kupferstreifen innerhalb eines Stromkreises aufgehängt. Als dem ersteren ein Magnet genähert wurde, bemerkte man, dass Stromkreis und Magnet sich anzogen. Ampère schloss daraus, dass der Kupferstreifen von einem Strome durchflossen wird. Obwohl er von der vollständigen Reciprocität der magnetischen und elektrischen Erscheinungen überzeugt war, so ist er doch nach dem Widerspruche der Physiker auf diese Thatsache nicht weiter eingegangen und überließ das Verdienst der Entdeckung Faraday, welcher 1831 die Welt dadurch in Erstaunen setzte. Ampères sämtliche Abhandlungen sind in den Memoiren der Pariser Akademie der Wissenschaften erschienen.

Ampère hat durch seine Theorie die Zahl der Imponderabilien vermindert, indem nur das elektrische Fluidum beibehalten wurde. Aber er hat auch die bisherige Annahme von zwei elektrischen Flüssigkeiten dadurch beseitigt, indem er bloß ein elektrisches Fluidum annahm. Diese Hypothese wurde von allen späteren Analytikern bis auf den heutigen Tag bei theoretischen Behandlungen der Elektrizität festgehalten. Nur bei der begrifflichen Erklärung der elektrostatischen Erscheinungen kommt die dualistische Ansicht zur Anwendung: einerseits aus Mangel an einer klaren Ansicht über das Wesen der Elektrizität, andererseits wegen der bequemen und leichten Verständigung. Auch die Thatsache, welche Arago entdeckte, dass der vom galvanischen Strome durchflossene Draht Eisenfeilicht anzieht, und die von Ampère und insbesondere von Brewster 1826 gemachte Erfahrung, dass Stahl durch Ströme bleibend und Eisen vorübergehend magnetisch wird, führte die Ampère'sche Anschauung, wenn auch langsam, zum Siege. Es war das ein wesentlicher Schritt auf der Bahn, die Vielheit der physikalischen Kräfte zu vermindern. Besonders war es die Entdeckung der Thermoelektricität, welche die Anschauung von der Einheit der Naturkräfte bedeutend förderte. Denn hier wurde durch Wärme Elektrizität erzeugt. Die umgekehrte Umwandlung von Elektrizität in Wärme war schon lange vorher bekannt, da sie leicht in Leitungsdrähten zu constatieren war.

Wie Volta selbst, so hat man auch nach ihm bei galvanischen Elementen stets eine Flüssigkeit benützt, in welche die beiden Metalle eingetaucht wurden. Seebeck hoffte auch ohne die Flüssigkeit einen Strom zu erhalten. Er brachte zu dem Zwecke eine Wismutplatte auf Kupfer und verband beide mit einem Multiplicator. Da der Strom anfangs ausblieb, so versuchte er die beiden Metalle durch den Druck der Hand in einen innigeren Contact zu bringen. Er bemerkte so oft dies geschah, einen Ausschlag der Galvanometernadel. Sofort fiel ihm der Gedanke ein, ob es nicht die Handwärme sei, welche hier den Strom erzeugt, und weitere Versuche bestätigten diese Ansicht. Seebeck machte seine Entdeckung in den Jahren 1822 und 1823 in den Berichten der Berliner Akademie bekannt.

Später zeigte Peltier 1834, dass, wenn man durch ein solches Element, wie es Seebeck anwendete, den elektrischen Strom einer andern Elektrizitätsquelle hindurchlässt, die eine Berührungsstelle der beiden Metalle sich abkühlt, und Lenz konnte dadurch 1838 sogar Wasser zum Gefrieren bringen. Die Entdeckung Seebecks führte bald zur Construction von Thermosäulen. Fourier war der erste, welcher eine solche ausführte. Dieselben fanden überall dort ihre Verwendung, wo man constante Ströme haben wollte, da solche von Voltaelementen nicht zu haben waren. Ohm war dadurch in die Lage gesetzt, die Beziehung, welche zwischen der elektromotorischen Kraft, der Stromstärke und dem Widerstande besteht, ausfindig zu machen.

Ohm Georg Simon, geb. 1787 zu Erlangen, war anfangs Lehrer an mehreren niederen Schulen, zuletzt 1833—1849 Professor an der Universität in München. Er starb 1854. Seit dem Jahre 1826 beschäftigte er sich mit der Aufsuchung der obenerwähnten Beziehung und die Resultate seiner Untersuchungen machte er in dem Werke „die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet von Dr. G. S. Ohm, 1827“ bekannt. Anfangs zweifelten die Physiker vielfach an der Richtigkeit seiner Vorstellungen und Versuche. Erst als experimentelle Bestätigungen von mehreren Seiten bekannt wurden, fand das nach ihm benannte Gesetz allgemeine Anerkennung, und Ohm erhielt 1841 von der Royal Society die Copley-Medaille. Das Ohm'sche Gesetz hat nicht nur theoretisch seine hohe Bedeutung, sondern es ist auch mit den beiden Kirchhoff'schen Gesetzen, welche 1846—1849 in Poggendorfs Annalen veröffentlicht wurden, in der Praxis bei der Construction von elektrischen Maschinen u. dgl. ein unentbehrlicher Leiter. Dies wurde später und besonders in der neuesten Zeit uneingeschränkt anerkannt.

Seit dem Beginne des 19. Jahrhunderts schwebte der Gedanke von der Einheit der Naturkräfte in der Luft. Niemand hatte zwar eine klare Vorstellung davon, und nur wenige sprachen in mehr oder weniger unklaren Worten darüber. Das volle Licht der Erkenntnis war noch keinem Menschen aufgegangen, obwohl durch die Arbeiten Davy's, durch die Theorie

Ampères, und durch Seebecks Entdeckung der Thermoelektricität einerseits, andererseits aber durch die Arbeiten auf anderen Gebieten der Physik, wie wir später erfahren werden, die Welt dieser Erkenntnis bedeutend nahe gerückt wurde. Kein Wunder, der Satz ist so bedeutend, dass die Wissenschaft in ihrer mehr als 2000-jährigen Geschichte keinen zweiten aufzuweisen hat, der ihn an Wichtigkeit und philosophischer Tiefe erreicht, geschweige denn übertrifft. Da trat ein Mann auf, wie sie die Vorsehung nur selten zur Förderung der Menschheit auf die Welt schickt, um die Erkenntnis mit einemmale um Jahrhunderte vorwärts zu bringen, ein Heer von Forschern anzueifern, neues Leben zu bringen in die Gesellschaft. Dieser Mann war Michael Faraday. Tyndall sagt: „Wenn man eine gerade Linie ziehen würde von Newton zu Young, so würde sie ohne Zweifel gegen Young hin eine Neigung haben; denn Newton war der Größere von beiden. Aber keiner der in der Zwischenzeit Lebenden würde die Linie erreichen; denn keiner war größer als Young.“ Wenn man von Newton zu Faraday eine solche Linie zieht, so würde selbst Young unter derselben bleiben. Rosenberger sagt in seiner Geschichte der Physik von Faraday: „Er erfasste das Wesen der Elektrizität in jener theoretischen Allgemeinheit, welche dieses Gebiet erst in der richtigen organischen Verbindung mit anderen Gebieten der Wissenschaft erscheinen ließ. Und er schon hatte die klare Einsicht und das sichere Vertrauen in die Einheit aller Naturkräfte, welche die moderne Physik erst nach längerer Zeit und nach vielen Kämpfen sich erworben hat.“ Faraday Michael, geboren 1791 in einer kleinen Ortschaft bei London, war der Sohn eines Hufschmiedes. Als 13-jähriger Knabe wurde er in die Lehre zu einem Buchbinder gegeben. In freien Stunden las er in einer Encyclopädie diejenigen Artikel, welche über Chemie und Elektrizität handelten. Ein Kunde seines Dienstherrn, dem der eifrige Knabe aufgefallen war, verschaffte ihm Zutritt zu den populären Vorlesungen, welche in den Abendstunden von manchen Gelehrten Londons gehalten wurden. Faraday besuchte besonders eifrig die Vorlesungen Davys und brachte ihm auch nach einiger Zeit eine schriftliche Reproduc-

tion derselben zur Begutachtung. Dies war die Veranlassung, dass er durch Davy die Stelle eines Assistenten beim Royal Institut erhielt. 1816 hielt er seine ersten Vorlesungen über die Eigenschaften der Materie. 1824 wurde er Mitglied der Royal Society und 1827 Professor der Chemie an dem genannten Institut. Als er nicht mehr kräftig genug war, um seinen Posten auszufüllen, schenkte ihm die Königin ein Haus bei London, und das Parlament verlieh ihm eine Jahresdotacion von 300 Pfund Sterling. Es wurden ihm noch zu Lebzeiten, wie seinerzeit Newton, alle Ehren zutheil, welche man in England großen Verdiensten zuzusprechen pflegt. Er starb 1867.

Faraday's erste Arbeiten bezogen sich auf die Chemie. Erst später gieng er zur Elektricität über. 1825 begann er seine Vorstellungen über das Wesen der Elektricität experimentell zu prüfen. Bei ihm war es nicht ein Zufall, der ihm die Entdeckung brachte, sondern die Absicht, Beweise für seine Anschauung zu finden. Die Theorie stand fertig in seinem Bewusstsein, und es handelte sich um ihre Bestätigung durch die Erfahrung. Zunächst suchte er experimentell zu beweisen, dass durch die Bewegung eines Magnetes ein elektrischer Strom erzeugt werde. Doch gelangen die Versuche anfangs nicht. Mit anderen Arbeiten beschäftigt, dachte er fortwährend an eine passende Zusammenstellung der in Frage stehenden Versuche. 1831 begann er damit wieder und war auch so glücklich einen Erfolg zu erzielen. Zwar waren es nicht bewegte Magnete, aber Ströme, durch deren Schließen und Öffnen in einem benachbarten geschlossenen Leiter andere sog. Inductionsströme erhalten wurden. Er fand auch bald alle Gesetze, welche für die Volta-Induction noch gegenwärtig in den Lehrbüchern angeführt werden. Nicht lange nach dieser Entdeckung folgte die der Magnetoinduction und schließlich die Induction durch den Erdmagnetismus. Im Jahre 1824 legte Arago einen Versuch der Pariser Akademie vor, welcher damals keine Erklärung finden konnte. Der Versuch bestand darin, dass eine Magnetnadel, welche über einer rotierenden Kupferscheibe angebracht war, abgelenkt, ja sogar in Rotation versetzt

wurde. Man sah sich damals veranlasst, einen besonderen Magnetismus in die Wissenschaft einzuführen, welcher durch Drehung einer Kupferplatte entsteht, und nannte ihn Rotationsmagnetismus. Heute ist es ein Anachronismus und entspricht durchaus nicht dem Princip nach Vereinfachung der physikalischen Hypothesen, wenn man gegenwärtig in den Lehrbüchern die so einfache Inductionerscheinung auf den Rotationsmagnetismus zurückführt. Die Nadel induciert in der rotierenden Scheibe elektrische Ströme, welche wieder ihrerseits auf die Nadel wirken und diese ablenken.

Faraday's Anschauung ist folgende. Jeder Magnet sowohl, als auch jeder galvanische Strom versetzt das Medium, mag nun dieses ein materielles oder ein imponderables sein in, einen Zustand, den man vielleicht am besten mit Spannung bezeichnet. Soweit der Einfluss des Magnetes oder des Stromes reicht, soweit erstreckt sich sein sog. magnetisches, respective elektrisches Feld. Ist ein sichtbares Substrat vorhanden, welches diesem Spannungszustande sich unterwirft, wie z. B. die Eisenfeilspäne bei Anwesenheit eines Magnetes, so ordnet es sich in bestimmt geformten Linien an, welche Faraday Kraftlinien nennt. Jeder Punkt einer Kraftlinie ist der Sitz einer Kraft, welche ihre Wirkung ausübt. Jede Veränderung der Lage eines Körpers gegen eine Kraftlinie ruft eine Veränderung seines Zustandes hervor. Um Klarheit zu bringen in diese Vorstellung, bringt er als Beispiel die magnetischen Kraftlinien der Erde und das im Canal fließende Wasser in Verbindung. Indem letzteres durch seine Bewegung die Lage gegen die magnetischen Kraftlinien der Erde ändert, wird es fortwährend von elektrischen Strömen, die durch diese Änderung entstehen, durchflossen. Diese Lagenänderung der Körper gegen die Kraftlinien ist die Ursache der Inductionsströme.

So hat Faraday Magnetismus und Elektrizität als aufeinander zurückführbare Zustände mit aller Entschiedenheit erklärt. Allein nicht nur diese sind seiner Anschauung zufolge, sondern auch alle übrigen Naturkräfte bloß verschiedene Erscheinungen einer und derselben Kraft. Speciell war Faraday von der Verwandbarkeit des Lichtes in Magnetismus und um-

gekehrt, überzeugt. Er bemerkte nämlich, dass durch einen Magnet die Polarisationsenebene des Lichtes gedreht wird. Es geschah dies auf folgende Art: Faraday stellte den Nicol eines Polarisationsapparates derart, dass das Licht vollständig ausgelöscht wurde. Brachte er einen Magnet in die Nähe, so wurde das Gesichtsfeld wieder hell. Da nun dadurch ein Einfluss des Magnetismus auf das Licht constatirt war, so folgte nach seiner Anschauungsweise, dass auch das Licht die Magnete beeinflussen müsse. Er suchte dies durch entsprechende Versuche zu beweisen, doch sind sie ihm nicht gelungen. Es war erst unserer Zeit vorbehalten, in dieser Richtung einen mächtigen Schritt vorwärts zu machen, wie denn überhaupt das Streben der modernen Forschung darin besteht, die Anregungen, welche von Faraday ausgingen, auszuführen, dessen Ideen, für welche es ihm Belege in der Erfahrung zu finden nicht gelungen war, zu begründen. Es muss noch erwähnt werden, dass es Faraday war, welcher die von Brugman entdeckten diamagnetischen Erscheinungen nach allen Richtungen hin untersucht und die bekannten Gesetze darüber aufgestellt hat. Auch die Extraströme verdanken ihm ihre Entdeckung, und er gab auch den Einfluss derselben auf den Öffnungs- und Schließungsfunken an. Auch die elektrolytischen Gesetze und die unipolare Induction haben wir Faraday zu verdanken. Zur Begründung der ersteren erfand er das Voltameter und ließ denselben Strom durch mehrere Elektrolyten hindurchgehen. Von ihm rührt die heute gebräuchliche Nomenclatur her.

Sämmtliche Abhandlungen Faradays seit dem Jahre 1831 sind in den Phil. Transact erschienen. Faradays Epoche ist noch lange nicht abgeschlossen. Es sind hauptsächlich zwei Richtungen, in welchen sich die Physiker, durch seine Arbeiten angeregt, zur Thätigkeit setzten. Die einen suchten die analytischen Beziehungen herzustellen, welche zwischen den primären und secundären elektrischen Strömen bestehen, die andern die verschiedenen physikalischen Kräfte in einander zu verwandeln. Obenan steht Webers elektrodynamische Theorie, welche im 1846 veröffentlicht wurde. In dieser erscheint die Induction bloß als ein specieller Fall. Er nimmt nämlich an, dass die Kraft von

der Geschwindigkeit abhängig ist, und durch Änderung derselben auch andere Eigenschaften der Materie zum Vorschein kommen. Mehrere andere Theorien giengen theils der Weber'schen voraus, theils folgten sie ihr nach und trugen wesentlich bei zur Förderung der Erkenntnis so wie zur Klärung und Richtigstellung vieler Vorstellungen. Doch sind die theoretischen Untersuchungen in dieser Richtung noch nicht abgeschlossen. Jede Theorie veranlasst eine Discussion, durch welche ihre Fehler aufgedeckt und neue Gesichtspunkte gewonnen werden. In letzter Instanz entscheiden die Versuche, welche auf Grund der theoretischen Auseinandersetzungen sich ergeben. In dieser Hinsicht ist keine, auch nicht die Weber'sche Theorie ohne Einwurf geblieben. In der neuesten Zeit, 1873, hat Professor Clark Maxwell eine elektromagnetische Lichttheorie bekannt gemacht, in welcher zwischen Licht und Elektrizität Beziehungen aufgestellt werden. Durch experimentelle Prüfung derselben ist man in den Stand gesetzt, die Richtigkeit seiner Voraussetzungen zu prüfen. Auf Grund dieser Theorie ergibt sich nämlich: 1. Dass Licht und Elektrizität dieselbe Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben. 2. Dass der Brechungsexponent des Lichtes gleich sein muss der Wurzel aus der Dielektricitätsconstante desselben Mediums. Bezüglich des ersten Punktes ergaben die neuesten Bestimmungen sowohl der Licht- als auch der Elektrizitätsgeschwindigkeit Werte, bei welchen nur Differenzen auftreten, welche vollständig innerhalb der Beobachtungsfehler liegen. Experimentelle Untersuchungen der Brechungsexponenten und der Dielektricitätsconstanten haben in den letzten fünfzehn Jahren viele Physiker beschäftigt. Sie bestätigten das theoretische Ergebnis Maxwells. So konnte seine magnetische Lichttheorie immer kühner den Anspruch auf Wahrheit erheben. In den letzten Jahren hat sie noch eine Bestätigung erfahren, durch welche sie fast auf dieselbe Stufe erhoben wird, auf welcher sich gegenwärtig die Undulationstheorie des Lichtes befindet. Hertz, Professor der Physik in Bonn, hat nämlich im Jahre 1887 in den Berichten der Berliner Akademie der Wissenschaften eine Reihe von Versuchen veröffentlicht, durch welche fast alle uns bekannten Eigenschaften des Lichtes

bei der Elektrizität wiedergegeben werden. Er weist zunächst nach, dass die Elektrizität ein periodischer Schwingungszustand sei. Ferner beweist er experimentell die schon von Faraday aufgestellte Behauptung, dass die Inductionswirkung sich nicht momentan fortpflanzt, sondern dazu Zeit braucht, dass also ein continuierlich den Raum ausfüllendes Medium nothwendig ist, um die Wirkung in die Ferne zu übertragen. Dadurch wird die Überzeugung Faradays, dass es keine *actio in distans* gibt, bewiesen. Diese Frage hat seit Newton, welcher sie offen ließ, bis auf unsere Zeit die Physiker beschäftigt und zu allerlei Controversen Anlass gegeben. Durch Hertz' Versuche ist sie für die elektrischen Kräfte, aber zunächst nur für diese, entschieden. Ferner hat Hertz nachgewiesen, dass bei verschiedenen Medien die Inductionswirkung verschieden ist. Schließlich wurde von ihm gezeigt, dass auch bei der Elektrizität dieselben Erscheinungen wie beim Lichte vorkommen. So hat er namentlich die Reflexions-Brechungs- und Beugungserscheinungen der Elektrizität unzweifelhaft nachgewiesen.

Hertz' geistreiche Versuche trugen demselben mehrere Preise ein und eröffnen der Wissenschaft eine Perspective, welche die Freunde derselben mit Begeisterung erfüllt. Faraday war der Ausgangspunkt dafür. Allein damit waren die von ihm gegebenen Anregungen noch nicht erschöpft. Er bemerkte nämlich 1838 die Verschiedenheit des elektrischen Lichtes, welches an der Anode und Kathode entstanden war, sobald man den elektrischen Funken durch Glasröhren hindurchließ, an deren Enden die Poldrähte eingeschmolzen waren. Bald darauf fanden verschiedene Physiker, dass das Glimmlicht an der Kathode bei einer bestimmten Verdünnung des Gases sich über die ganze Röhre ausbreitet.

Ebenso wurde die Schichtung des Lichtes in denselben beobachtet. Eine zutreffende Erklärung dieser Erscheinungen hatte man jedoch nicht. Großes Aufsehen erregten sie wieder, als Crookes 1873 neue Versuche darüber bei früher niemals erreichten Verdünnungen bekannt machte. Es ergaben sich mancherlei Erscheinungen dabei, welche bei der gewöhnlichen Materie nach der Annahme Crookes nicht möglich sind. Er stellte daher die

Hypothese auf, dass Gase bei so hohen Verdünnungen, als sie bei seinen Versuchen zur Anwendung kamen, nicht mehr den bekannten Gasgesetzen gehorchen, sondern als ein neuer Zustand der Materie, als vierter Aggregatzustand zu betrachten seien. Er nannte ihn strahlende Materie, welcher Ausdruck ebenfalls Faraday entlehnt ist. Für dieselbe stellte er auf Grund seiner Untersuchungen mehrere Gesetze fest. Die strahlende Materie pflanzt sich zunächst geradlinig fort. Wenn sie auf ein Hindernis stößt, so dass ihre Bewegung vernichtet wird, so verwandelt sie sich entweder in sichtbare Bewegung der Körper oder in die unsichtbare der Moleküle gewöhnlicher Materie. So wird ein Flügelrad durch den Stoß derselben in Drehung versetzt, ein Platinblech zum Glühen gebracht. Der Magnet zieht die strahlende Materie entweder an oder stoßt sie ab. Sie ruft schließlich Fluorescenzerscheinungen hervor.

Crookes Versuche haben ungeheures Aufsehen erregt und wurden allenthalben wiederholt. Gintl und Puluj stimmten jedoch seiner Hypothese nicht zu. Der erste erklärte die strahlende Materie als losgerissene Theilchen der Kathode, Puluj betrachtete sie als Ätherstrahlen. Doch ist das letzte Wort über diese Erscheinungen noch nicht gesprochen worden. Der Vorstellung Faradays von der Identität der Elektrizität und des Lichtes folgten auch die Schöpfer der sog. Äthertheorien, in welchen die Elektrizität als eine Erscheinungsform des Äthers betrachtet wird. Edlund betont in seiner 1871 gegebenen Hypothese die Unmöglichkeit einer Fernwirkung ohne ein vermittelndes Medium. Ebenso ist eine momentane Fortpflanzung einer Wirkung unmöglich. Zeit und Raum sind unumgängliche Bedingungen für physikalische Wirkungen. Auf Grund dieser Voraussetzungen versucht er die elektrischen Erscheinungen zu erklären. Tuma machte seine Hypothese im Jahre 1885 bekannt. Er betrachtete nach derselben die Elektrizität als die Verschiedenheit der Ätherzustände in und außerhalb der Körper. Schwingt nämlich der Äther in einem Körper stärker als in der Umgebung, so erscheint er positiv elektrisch; ist dagegen die Schwingung der Äthertheilchen in ihm schwächer als außerhalb, so erscheint er negativ elektrisch. Die Zusammenstellung von

Äther und Elektrizität wird aus der Wissenschaft nicht mehr verschwinden, bis nicht eine Entscheidung gefallen ist. Jetzt steht die Sache so, dass Hertz auf der Naturforscherversammlung in Heidelberg 1889 erklären konnte, dass alle Lichterscheinungen eigentlich Erscheinungen der Elektrizität sind, so dass entweder angenommen werden muss, dass der für das Licht postulierte Äther auch der Träger der Elektrizität sei, oder aber, dass der Weltraum mit Elektrizität angefüllt ist. Mit letzterer Erklärung stimmen auch die naturphilosophischen Ansichten Zöllners überein. Sowohl Faraday's Vorstellungen als den Äthertheorien liegt das naturphilosophische Prinzip, welches schon Galilei aufgestellt hatte, zugrunde, dass alle physikalischen Erscheinungen sich auf Bewegung und Materie zurückführen lassen. Ein besonderes Medium, der Äther, muss angenommen werden, weil viele Erscheinungen gegenwärtig ein imponderables Mittel noch unumgänglich fordern. Doch ist damit durchaus nicht gesagt, dass es immateriell sei. Vielmehr sehen manche bedeutende Physiker und Naturphilosophen im Äther nichts anderes als die letzten Elemente ponderabler Materie.

### XXXVI.

#### Die Elektrizität in der Praxis.

Solange man bloß die Reibungselektrizität kannte, konnte von einer Anwendung derselben im praktischen Leben nicht ernstlich die Rede sein. Erst als die galvanischen und die Inductionsströme bekannt wurden, drangen die Errungenschaften der Forschung auf vielfache Art in den Dienst der Kunst, der Industrie und des Verkehrs ein. Vor allem waren es die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes, welche sich in der Praxis eine Domäne eroberten. Denn wenn auch der elektrische Strom für die Telegraphie früher als für die Galvanoplastik in zielbewusster Weise in Anspruch genommen wurde, so waren doch einerseits die ersten brauchbaren Versuche auf diesem Gebiete auch nur eine Anwendung der chemischen Wirkung des galvanischen Stromes; andererseits wurde ein für das praktische Leben brauchbarer Apparat später bekannt als die Galvanoplastik.

Es bemerkte nämlich schon Wach, später Daniell und De la Rive, dass das an einer Elektrode sich ausscheidende Kupfer sich von derselben trennen lässt und ihr vollständiges Abbild in negativer Form liefert. Doch wurde diese Wahrnehmung von den genannten Forschern nicht weiter verfolgt. Erst Spencer und Jacobi wendeten dieselbe zu praktischen Zwecken an, und heute ist die Galvanoplastik auf vielen Gebieten der menschlichen Thätigkeit unentbehrlich geworden; ja man kann behaupten, dass viele Erzeugnisse der Kunst und Industrie ohne Kenntnis des galvanoplastischen Verfahrens unmöglich wären. Jacobi (1801—1874) war der erste, welcher 1838 gelungene Abdrücke erhielt. Er legte dieselben dem russischen Kaiser vor und erhielt von ihm ein Geschenk von 25000 Rubel. In England wurde die Entdeckung durch Spencer, welcher von den Arbeiten Jacobis keine Kenntnis hatte, bald darauf bekannt. Seither ist die Galvanoplastik für Kupferstecher, Schriftgießer, Holzschneider u. s. w. eine unumgänglich notwendige Dienerin geworden. Gegenwärtig bestehen viele große Anstalten, in welchen das galvanoplastische Verfahren zur Vervielfältigung der Kunst-erzeugnisse und Industrieproducte Tausende von Händen beschäftigt.

Bald nach der Erfindung der Galvanoplastik hat De la Rive passende Lösungen zum Niederschlagen des Goldes und Silbers gefunden. Dadurch ward die galvanische Vergoldung und Versilberung möglich gemacht und hiemit ein neuer Industriezweig eröffnet. De la Rive erhielt 1841 für seine Erfindung von der Pariser Akademie einen Preis. Das größte Werk auf diesem Gebiete wurde von der galvanischen Vergoldungsanstalt in Reval ausgeführt. Es wurden daselbst die Füße und Capitäle der Säulen für die Isaaskirche in Petersburg vergoldet, wobei in drei Jahren mehr als 280 *kg* Gold niedergeschlagen wurden. Böttcher und andere Chemiker beschäftigten sich mit der Auffindung der geeignetsten Lösungen von Metallen für galvanische Niederschläge. Gegenwärtig sind solche bereits für alle Metalle bekannt.

Schon vor der Erfindung der Galvanoplastik, besonders aber nach ihrem Bekanntwerden hat man die Inconstanz der Volta'-

schen Elemente und das schnelle Aufhören des galvanischen Stromes sehr unangenehm empfunden. Die Physiker waren daher eifrig bestrebt, Ketten zu construieren, die einen lange anhaltenden, constanten Strom liefern würden. Wiewohl man die Theorie der Polarisation noch nicht hinreichend kannte, so suchte man doch die Ursache der Stromschwächung und dessen schließliches Aufhören in den Zersetzungsproducten des Elementes. Man erkannte, dass es sich hauptsächlich darum handelt, das Ansammeln von Wasserstoff an der Kathode zu verhindern. Der erste, der ein constantes Element angegeben hatte, war Becquertel, welcher schon 1829 ein solches verwendete. 1830 machte Wach ein constantes Element bekannt, doch konnten beide sich in der Praxis nicht erhalten. Erst den Bemühungen des Engländers Daniell im Jahre 1836 ist es gelungen, ein Element zu construieren, welches bis auf den heutigen Tag nicht verdrängt werden konnte. 1840 folgte Grove mit seinem Elemente und kurz darauf Bunsen mit dem seinigen. Gegenwärtig ist die Zahl der in der Praxis verwendeten Elemente mehr als ein halbes Hundert. Billigkeit, Bequemlichkeit, Reinlichkeit und Unschädlichkeit der in Gebrauch kommenden Stoffe, so wie die Stärke des erzielten Stromes, sind bei ihrer Herstellung maßgebend. Ein allen Anforderungen entsprechendes Element ist noch immer nicht bekannt. So haben die constanten Ketten im praktischen Leben vielfach Verwendung gefunden, wiewohl ihre Theorie noch nicht bekannt war. Erst später hat Schönbein die Theorie der organischen Polarisation und Helmholtz 1847 die der galvanischen Kette gegeben. Freilich stimmt letztere mit den neueren Anschauungen über das Entstehen des galvanischen Stromes, namentlich mit Exners chemischer Theorie nicht ganz überein, und muss daher entsprechende Modificationen erfahren.

Die galvanische Polarisation gab auch den Anstoß zur Herstellung von Secundärbatterien. Der Anfang derselben reicht bis zum Beginn des gegenwärtigen Jahrhunderts. Schon Ritter hat zwischen 1802 und 1810 Batterien verfertigt, welche zuerst einige Zeit mit einer Voltabatterie in Verbindung und dem Einflusse des galvanischen Stromes derselben ausgesetzt waren.

Nachdem die Verbindung beider Batterien gelöst wurde, gab die erstere einen Strom, welcher dem der Voltabatterie entgegengesetzt war. Ritter behauptete, dass in den Secundärbatterien der Strom aufgespeichert werde. Doch konnte freilich keine Erklärung dafür gegeben werden, da um diese Zeit die elektrochemischen Theorien ihren Anfang nahmen.

Mehr als ein halbes Jahrhundert später wurde Ritters Idee wieder aufgenommen. Zwei französische Physiker, Planté und Faure, haben unabhängig von einander ihre Bemühungen darauf gerichtet, brauchbare Secundärbatterien zu construieren. Im Jahre 1860 machten sie zuerst die erzielten Resultate bekannt. Die Thatsache, welche die genannten Physiker zur nützlichen Anwendung zu bringen bestrebt waren, ist folgende: Gibt man zwei Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure, und verbindet sie mit den Polen des galvanischen Stromes, so überzieht sich die eine Platte mit Bleisuperoxyd, während die andere blank bleibt. Beseitigt man nun den galvanischen Strom und verbindet die Bleiplatten mit einander, so entsteht ein Strom von entgegengesetzter Richtung, wobei zugleich der dunkle Überzug der einen Platte schwindet. Es wird somit die chemische Wirkung, welche der ursprüngliche Strom auf der Platte bewirkte, wieder aufgehoben. Da man die beiden Platten nach beliebiger Zeit verbinden kann, so ist dadurch die Möglichkeit geboten, den aufgespeicherten Strom beliebig lange vorrätig zu halten. Daher der Name Accumulator, welcher für diese Art Elemente angenommen wurde.

Das Blei eignet sich zu dem erwähnten Zwecke desto besser, je häufiger es dazu verwendet wird. Daher muss bei Planté ein langwieriger Process, den man das Formieren nennt, vorgehen. Es besteht im wiederholten Laden und Entladen der Bleiplatten. Faure hat die Operation dadurch umgangen, dass er die eine Platte mit Mennige überzog. Doch ist bei beiden Elementen noch manche Verbesserung der Zukunft vorbehalten.

Selten kam eine Erfindung in so zielbewusster Weise zustande als die elektrische Telegraphie. Die nächste Veranlassung dazu war das Unglück des Generals Mack bei Ulm. Nur dadurch, dass Napoleons Wille mit einer damals unglaublichen

Geschwindigkeit allen seinen Armeen bekannt gemacht werden konnte, war die Überraschung Macks möglich. Diese Geschwindigkeit aber hatte Napoleon einem optischen Telegraphen, welcher in Frankreich schon längere Zeit im Gebrauche war, zu verdanken. Überall sann man darüber nach, eine ähnliche Einrichtung auch für Deutschland zu erfinden. Soemmering war der erste, welcher schon 1809 den galvanischen Strom für die Telegraphie zu verwenden suchte. Er benutzte dessen chemische Wirkung, indem er das Wasser zersetzte und das Aufsteigen von Gasblasen in einem Gefäße war das telegraphische Zeichen. Es waren so viele Gefäße als Buchstaben und dadurch eine Zusammensetzung der Worte ermöglicht. Die Umständlichkeit und Unsicherheit dieser Methode konnte zu keinem praktisch brauchbaren Resultate führen, und die weiteren Versuche blieben so lange ohne Bedeutung, als die magnetischen Wirkungen des Stromes unbekannt waren. Nach der Entdeckung Oersteds kamen jedoch bald Versuche anderer Art zum Vorschein. Die Ablenkung einer Magnetnadel nach der einen oder anderen Seite, welche wiederholt und schnell nacheinander bewirkt werden konnte, hat man benützt, um verschiedene Zeichen in die Ferne zu geben. Dazu war nur eine leitende Verbindung zwischen der elektrischen Batterie und einer oder mehreren Magnetnadeln nothwendig. Es mag hier bemerkt werden, dass schon i. J. 1838 von dem Münchner Professor der Physik Steinheil bewiesen wurde, dass die Rückleitung des Stromes durch die Erde erfolgen könne und daher ein zweiter Draht überflüssig sei. Anfangs bewegten sich fast alle Versuche in der Richtung, die Ablenkung der Nadeln weniger umständlich zu machen. Wohl das erste brauchbare Resultat erhielt der russische Staatsrath Schilling; dasselbe wurde auf der Naturforscherversammlung 1835 bekannt gemacht. Zwei Jahre vorher hatten Gauss und Weber in Göttingen einen ähnlichen Apparat zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Laboratorium eingerichtet. Doch eignete sich dieser nicht für den häufigen und schnellen Gebrauch. Auch die Schilling'sche Erfindung entsprach nur wenig den Anforderungen, welche man im praktischen Leben an sie stellen musste. Daher kam sie

nicht in Gebrauch; wohl aber war sie der Ausgangspunkt für viele Telegraphen dieser Art. Ein Engländer Cooke soll den Schilling'schen Apparat in Deutschland kennen gelernt haben und kehrte in seine Heimat mit dem Vorsatze zurück, denselben für die Praxis anwendbar zu machen. Er verband sich zu dem Zwecke mit dem durch seine zahlreichen, mitunter genialen Erfindungen bekannten Physiker Wheatstone. Diese Verbindung führte zu einem glücklichen Ende. Wheatstone verbesserte den Schilling'schen Apparat derart, dass schon 1837 der erste große Versuch stattfinden konnte. Seither kam dieser Apparat in Gebrauch und ist auch noch heute in England nicht ganz aus demselben verschwunden. Wheatstone blieb jedoch hiebei nicht stehen. Unermüdlich bedacht, einen vollkommenen Apparat, der für alle Zwecke sich eignen würde, herzustellen, kam er bald auf die Idee, die Magnetnadel durch einen Elektromagnet zu ersetzen. Derselbe zog einen Anker an oder ließ ihn frei, je nachdem er magnetisch war oder nicht. Der Anker seinerseits hat dadurch ein Zahnrad freigegeben oder arretiert. Das Zahnrad kam durch ein Uhrwerk in Bewegung, falls es der Anker freiließ. Mit dem Zahnrad war ein Zeiger in Verbindung, welcher die Bewegung des Rades mitmachte und über einem Alphabet spielte. Der Buchstabe, über welchem der Zeiger stehen blieb, war der angezeigte. Diese Art von Telegraphen, welche man Zeigertelegraphen nannte, ist auch noch gegenwärtig in England sehr verbreitet. Namentlich wurde seine Brauchbarkeit dadurch noch erhöht, dass der Zeiger auch mit der Hand in Bewegung gesetzt werden und dadurch dieselbe Bewegung auf einem zweiten gleichlaufenden Apparate hervorbringen konnte. So ist jeder Wächter, der das Alphabet kennt, im Stande, Nachrichten zu senden.

Ein zweiter Apparat, bei welchem der Elektromagnet zur Anwendung kam, ist der allgemein bekannte von Morse. Ein wesentlicher Fortschritt bei diesem Apparate bestand darin, dass die Zeichen festgehalten wurden. Es war daher nicht nothwendig, dass jemand dabei sei, wenn die Depesche ankommt, um dieselbe aufzuschreiben. Der Apparat selbst bewirkte dies. Morse soll schon 1835 einen Apparat dieser Art gehabt haben,

doch wurde erst 1837 der erste größere Versuch damit gemacht und erst 1844 die erste Telegraphenlinie von Washington nach Baltimore dem Verkehr übergeben. Bei diesem Apparat wog noch der Elektromagnet mehr als anderthalb Centner. Bald erkannte man allgemein, dass Morses System verbessert die meisten Vortheile biete. Deshalb wandten auch die meisten Mechaniker und Physiker seiner Verbesserung ihr Augenmerk zu. Page, Stöhrer, Siemens und Halske brachten denselben auf die heutige handliche Form und das Morse'sche System ist gegenwärtig wohl das verbreitetste der elektrischen Telegraphie.

Man hat oft und mit Verbitterung Morse vorgeworfen, dass er eine fremde Idee als die seinige ausgegeben und der praktischen Verwertung zugeführt habe. Steinheil in München soll der erste gewesen sein, welcher Versuche in der Richtung, welche später Morse zur Anwendung brachte, anstellte. Morse soll dieselbe bei seinem Aufenthalte in Deutschland, wo er sich der Malerei widmete, kennen gelernt haben. Es steht jedoch fest, dass Morse bereits 1835 einen Telegraphen dieser Art construiert hat, der jedoch praktisch ebensowenig Verwendung finden konnte als die Steinheilschen Versuche. Diese konnte übrigens Morse kaum gekannt haben vor der Erfindung seines Telegraphen, da sie theils gleichzeitig, theils später erfolgten als seine Erfindung. Ferner ist der Zeitraum von 1837 bis 1844, wo Morses Apparat dem Verkehr übergeben wurde, auch für Steinheil lang genug gewesen, um einen größeren praktischen Versuch mit seinem Apparat auszuführen, was jedoch nicht geschehen ist.

Ein weiterer Fortschritt in der Telegraphie war der Typendrucktelegraph von Hughes. Da nämlich bei Morses Apparat nicht jeder sondern nur der Kundige Verwendung finden konnte, da ferner die Depesche von dem Telegraphenbeamten erst abgeschrieben werden musste, wobei notorisch die meisten Verstümmelungen erfolgen, so war längst das Bestreben vorhanden, einen Apparat zu erfinden, welcher in gewöhnlicher Schrift die Depesche drucken würde, so dass ein Abschreiben überflüssig wäre. Dies leistet eben der oben erwähnte Apparat, welcher im Jahre 1860 erfunden wurde. Derselbe beruht auf synchro-

nistischer Bewegung zweier ganz gleicher Apparate. Ein Rad, auf dessen Umfange Buchstaben und einige andere in der Telegraphie anwendbare Zeichen angebracht sind, bewegt sich gleichmäßig derart, dass wenn ein Buchstabe des einen Apparates die tiefste Stelle einnimmt, dies zugleich bei dem zweiten damit verbundenen Apparate auf der anderen Station der Fall ist. Schließt man in diesem Momente den galvanischen Strom auf der ersten Station, so wird auf der zweiten ein abrollender Papierstreifen vermöge eines Mechanismus gehoben, und da der Radumfang mit einem Farbstoff fortwährend bestrichen wird, abgedruckt. Der Mechanismus dieses Apparates ist so compliciert, dass man den Vorgang nur durch Anschauung klar machen kann. Es gehört der Hughes'sche Telegraphenapparat mit den selbstregistrierenden meteorologischen Universalapparaten und den mechanischen Rechenmaschinen zu den compliciertesten Erzeugnissen der Technik. Noch eine Art von Telegraphen ist zu erwähnen, bei welcher zwar nicht ein neues Princip zur Anwendung kommt, das jedoch sehr große Kosten und die größten technischen Schwierigkeiten bietet. Es ist das der submarine Kabeltelegraph. Vielfach war schon in den 40-er Jahren der Gedanke aufgetaucht, die durch Meere getrennten Länder telegraphisch zu verbinden. Theoretisch lag kein Hindernis vor. Denn ein Draht konnte, besonders als das Gutta-percha aufgekommen ist, leicht isoliert werden und statt ihn auf Stangen fortzuführen, konnte er eben so gut am Grunde des Meeres liegen. Es handelte sich daher bloß um die Ausführung. Und diese war allerdings sehr kostspielig und der Erfolg unsicher. Versuche auf kürzere Strecken, wie durch Flüsse hinüber und zwischen Orten, die unweit von einander an der Meeresküste gelegen sind, gelangen vollkommen. Es ist nicht möglich anzugeben, wer zuerst so glücklich war, einen kleineren gelungenen Versuch aufzuweisen. Freilich war damit noch nicht bewiesen, dass auch größere Unternehmungen ebenso glücklich ablaufen werden. Gewiss ist, dass 1842 sowohl in Amerika von Morse als in England, Deutschland, Frankreich, u. s. w. in dieser Richtung gearbeitet wurde. Doch erst 1850 kam die erste größere Kabellegung zwischen Calais und Dover zustande. Der

französische Ingenieur Brett hat dieselbe bewerkstelligt. Bald darauf wurden auch Belgien, Holland, u. s. w. mit England verbunden. Ebenso folgte die Verbindung Dänemarks mit dem Festlande und Italiens mit Sicilien, aber freilich nicht ohne Schwierigkeiten und nach manchem misslungenen Versuch.

Die weitere Folge war, dass bei den Amerikanern die Idee auftauchte, die neue und die alte Welt telegraphisch zu verbinden. Der Ingenieur Gisborne soll zuerst diese Idee propagiert haben. Eine Gesellschaft übernahm die Kosten und 1858 wurden zwei Schiffe beauftragt, die Kabellegung vorzunehmen. Nach vielen Mühseligkeiten ist es endlich gelungen und am 5. August 1858 lief die erste Depesche von London ab, in welcher die englische Königin den Präsidenten von Nordamerika zu dem gelungenen Werk beglückwünschte. Leider dauerte die Freude nur kurze Zeit, denn bald versagte das Kabel, ohne dass man den Grund finden konnte. Doch es war nun einmal der Eifer nach dieser Richtung erwacht und eine neue Gesellschaft trat zusammen, um zu einer zweiten Legung die Geldmittel zu verschaffen. Im Jahre 1866 war die Legung zustande gekommen und seither besteht eine ununterbrochene Verbindung der beiden Welttheile.

Die submarinen Kabel bestehen aus mehreren Kupferdrähten, die zu einem dünnen Seil zusammengewunden und mit einer Hülle von Hanfbast und Guttapercha umgeben sind. Zum Schutze gegen allerlei Stösse sind um die erste Hülle dicke Eisendrähte gelegt, die abermals mit Hanfbast umwickelt und mit Theer überdeckt sind. Die telegraphischen Zeichen bestehen in der Ablenkung einer kleinen Magnetnadel. Diese hängt an einem feinen Drahte, welcher am Plafond befestigt ist. Die Nadel ist nach Art der Spiegelgalvanometer mit einem Spiegel verbunden. Das Licht einer Lampe fällt auf den Spiegel und wird von diesem nach einem Fernrohr geworfen. In diesem befindet sich eine Scala, auf welcher der Beamte die Ablenkung des Lichtbildes beobachtet. Aus der Zahl und Richtung der Ablenkungen setzt sich das Alphabet zusammen. Um die Beobachtung durch fremdes Licht nicht zu stören und um Ablenkungen fernzuhalten, welche die Erschütterung des Bodens

bewirken könnte, muss das Local dunkel sein und an einem vom Verkehr entlegenen Orte sich befinden.

War nun einmal die erste große Arbeit gelungen, so konnten weitere telegraphische Verbindungen durch Meere getrennter Länder nicht lange ausbleiben. Gegenwärtig sind alle Welttheile sowohl unter einander als auch mit größeren, für den Verkehr wichtigen Inseln durch submarine Kabel verbunden.

Noch bedeutender als die Telegraphie ist die Erfindung der Telephonie. Ja, es gibt viele, welche sie geradezu für die größte Erfindung der neuesten Zeit halten. Und wenn man bedenkt, dass dadurch die menschliche Stimme mit allen ihren Eigenthümlichkeiten auf weite Entfernungen übertragen wird, so ist es schwer, dieser Ansicht nicht zuzustimmen. Die Telephonie ist freilich für den Verkehr noch nicht von solcher Bedeutung wie die Telegraphie. Sie ist ferner noch nicht auf jene Stufe der Vollkommenheit gebracht worden, wie die letztere. Allein man muss bedenken, dass sie noch keine zwanzig Jahre alt ist, dass fast jedes Jahr Verbesserungen daran bringt, und es ist nicht zu zweifeln, dass in nicht ferner Zeit sie dieselbe Bedeutung und Verbreitung gewinnen wird, welche gegenwärtig der Telegraphie zukommt.

Die erste Idee ein Telephon zu construieren gieng vom Professor Reis in Erlangen aus. Es gelang ihm 1860 auf dem ersonnenen Apparate den Gesang auf größere Entfernungen hörbar zu machen. Seither verschwand dieser Gedanke nicht mehr aus der Welt. Viele haben an dem Reis'schen Apparate Verbesserungen anzubringen gesucht, bis schließlich 1876 Graham Bell, der Taubstummenlehrer in Boston, mit einem Telephon die Welt bekannt machte, welches die kühnsten Erwartungen übertraf und durch seine Einfachheit geradezu verblüffte. Ein Magnet, an dessen einem Ende ein Eisenstück, das mit Drahtwindungen umgeben ist, vor demselben eine Eisenlamelle, das ist alles. Letztere wird durch die menschliche Stimme in Schwingung versetzt. Dadurch kommt sie abwechselnd dem Eisenkerne bald näher, bald entfernt sie sich von ihm. Dadurch aber wird der Magnetismus des Eisens eine Änderung erfahren, welche wieder ihrerseits in den Drahtwindungen Inductions-

ströme hervorrufft. Dieselben pflanzen sich durch eine Drahtleitung bis zu einem zweiten ganz ähnlichen Apparate fort und verändern hier den Magnetismus des Eisens in derselben Weise wie beim ersten Apparate. Dadurch aber wird die Eisenplatte in dieselbe Schwingung versetzt wie die erste und gibt daher dieselben Laute wieder. Eine wesentliche Verbesserung erfuhr das Telephon durch die Erfindung des Mikrophons, welche von Hughes 1878 gemacht wurde. Dieses beruht auf dem Principe, dass sich der Widerstand eines in den Stromkreis eingeschalteten Körpers entsprechend den Schallschwingungen ändert, so dass ein Strom entsteht, welcher ebenso periodisch sich ändert wie der Schall. Dadurch wird die Eisenmembran eines Telephons ebenfalls in entsprechende Schwingungen versetzt. Es vereinigen sich somit zwei Ursachen, um genau gleiche Schwingungen der Telephonplatte hervorzurufen, die periodisch vorlaufenden Inductionsströme und die dieselbe Periode einhaltenden Änderungen des Widerstandes. Dadurch ist es möglich, selbst die geringsten Geräusche weiter zu übertragen und vernehmbar zu machen. Der Gang einer Fliege auf einer Telephonplatte soll, wenn die Verbindung mit einem Mikrophon hergestellt ist, in weiter Entfernung auf dem zweiten Telephon hörbar sein. Als die geeignetste Substanz zur Änderung des Widerstandes hat Hughes Kohle gefunden, welche entweder als ein Stäbchen oder als Pulver in eine Telephonverbindung eingefügt wird.

Kaum waren durch Faraday die Inductionsströme bekannt geworden, als man sich auch schon vielfach bemühte, dieselben für die Praxis zu verwerten. Und zwar war es die Magnetoinduction, welche zuerst einen Erfolg hatte. Der erste, welcher schon 1832 eine Maschine dieser Art vorweisen konnte, war der Italiener Pixii. Ein großer Lamellenmagnet konnte in Drehung versetzt werden. Dadurch kam er zwei Eisenkernen, welche mit Draht umwickelt waren, bald näher bald entfernte er sich von ihnen. Dadurch entstanden in den Drähten Inductionsströme, welche beliebig hingeleitet und verwendet werden konnten. Bald folgten Clark, Stöhrer u. a. mit anderen Maschinen, welche man allgemein Rotationsmaschinen nannte. Dal Negro war der erste, welcher schon 1834 die Ströme dieser Maschinen als

Triebkraft verwenden wollte, und Jacobi konnte den bekannten Versuch, ein Boot auf der Newa mit Hilfe einer magneto-elektrischen Rotationsmaschine in Bewegung zu setzen, 1839 ausführen.

Alle bisherigen Maschinen traf mit Recht der Vorwurf, dass die durch sie erzeugten Ströme im Verhältnisse zur aufgewandten Arbeit viel zu schwach waren und dass ihre Wirkung keine continuierliche, sondern stoßweise war. Der erste Mangel wurde durch Siemens in Berlin bedeutend verringert. Es geschah dies 1857 durch Einführung des sog. Cylinderinductors statt der von Drähten umwickelten Eisenkerne. Ein Cylinder hatte auf zwei entgegengesetzten Seiten seiner Länge nach Ausschnitte, welche von umwickelten Drähten ausgefüllt waren. Cylinder und Drähte konnten zwischen den sie der Länge nach umgebenden Magneten in Drehung versetzt werden. Dadurch erreichte Siemens, dass die Drähte möglichst nahe an den Magnetpolen vorbeigeführt wurden und dass die Stromunterbrechung, welche durch den Wechsel des Stromes beim Umdrehen des Cylinders unumgänglich ist, möglichst kurz andauert. Allein die stoßweise Wirkung war dadurch nicht beseitigt. Erst als 1860 der Florentiner Pacinotti den nach ihm benannten Ring einführte, war ein continuierlicher Strom möglich. Bald darauf hat auch der Franzose Gramme ohne von Pacinottis Erfindung etwas zu wissen, dieselbe bei seinen Maschinen eingeführt, so dass nunmehr Maschinen dieser Art continuierliche Ströme von gleicher Richtung ohne Commutator lieferten. Ein wesentlicher Fortschritt wurde auf diesem Gebiete abermals durch Siemens 1866 erreicht durch die Einführung des sog. dynamo-elektrischen Princips. Alle früheren Maschinen hatten Magnete, welche durch Induction Ströme hervorriefen. Siemens zeigte, dass auch Elektromagnete dazu geeignet sind. Man kann sich die Sache auf folgende Art vorstellen. Eine Spur von Magnetismus enthält das Eisen nach dem ersten Versuch stets. Diese induciert, wenn der Ring gedreht wird, Ströme in seinen Windungen, welche wieder ihrerseits den Magnetismus des Eisens verstärken. Dieser erzeugt stärkere Ströme und so fort bis zu einem Maximum.

Hiemit haben diese Maschinen gegenwärtig ihre höchste Stufe erreicht. Es gibt auch Maschinen, welche nicht gleichgerichtete, sondern Wechselströme liefern. Jede Art derselben hat ihre besonderen Vortheile und eine dem entsprechende Verwertung.

Die wichtigste Rolle spielen gegenwärtig diese Maschinen bei der elektrischen Beleuchtung. Seit 1812, wo Davy das elektrische Bogenlicht zum ersten Male erhielt und seit den ersten Versuchen über das Glühen von Drähten hat sich diese bis zur Beleuchtung ganzer Anstalten und Städte entwickelt.

Bald nach Davy's Versuchen wendeten manche Physiker das elektrische Bogenlicht statt des Sonnenlichtes bei Projectionen an. Das große Publicum lernte es kennen bei der Auführung der Oper „Prophet“ 1846. Deleuil, Foucault und Archeveau stellten in Paris 1842—1844 Beleuchtungsversuche an.

Da bemerkte man bald, dass die Kohlenspitzen in nicht gleicher Weise abbrennen, hat aber der Abstand derselben eine bestimmte Grenze erreicht, so wurde der Strom unterbrochen und das Glühen hörte auf. Es handelte sich also darum, die Kohlenspitzen stets in demselben Abstände zu erhalten. Man construierte deshalb sog. Regulatoren, welche jede Kohlenspitze in demselben Verhältnisse verschoben, in welchem sie abgebrannt waren. Mehrere Engländer sowohl als auch der erwähnte französische Physiker Foucault waren in dieser Richtung thätig. Der erste, welcher einen praktisch brauchbaren, äußerst sinnreichen Apparat dieser Art bekannt gab, war der Mechaniker Duboscq in Paris im Jahre 1849. Der Strom selbst bewirkte die Regulierung. Dieses Prinzip, welches von den Engländern Steite und Petrie herrührt, wurde seither bei allen Regulatoren dieser Art festgehalten. Gegenwärtig sind viele solcher Vorrichtungen bekannt. Zu den gebräuchlichsten gehören die Regulatoren von Serrain, Gülcher, Siemens u. a.

Eine andere Art von Regulierung kommt bei den 1877 und 1879 von Jabloczkoff und Jamin bekannt gemachten elektrischen Kerzen zur Anwendung. Die beiden Kohlenstäbe laufen parallel zu einander in einer bestimmten Entfernung. Wenn sie gleichmäßig abbrennen würden, so entfielen jede Nothwendigkeit einer Regulierung. Da jedoch die positive fast zweimal so schnell

brennt als die negative, so kann der gleiche Abstand der beiden Kohlenenden nur durch rasch wechselnde Ströme erhalten werden. Es werden daher bei diesen Kerzen Wechselstrommaschinen gebraucht. Dadurch ist die Frage der Beleuchtung von Straßen, Plätzen u. s. w. gelöst. Noch in einer anderen Richtung entwickelte sich die elektrische Beleuchtung, indem man das Glühen von Drähten, durch welche ein starker galvanischer Strom hindurchgeht, benützte. Es handelte sich hauptsächlich darum, das Verbrennen derselben in der Luft zu verhindern. Zu dem Zwecke wurden Glaskugeln möglichst luftleer gemacht und darin Platindrähte oder Kohlenfäden derart befestigt, dass sie mit einer Stromquelle außerhalb der Kugel in Verbindung gebracht werden konnten. Der glühende Körper strahlte ein Licht aus, dessen Stärke von der Beschaffenheit desselben und von der Stärke des Stromes abhängig ist. Bei Kohlenfäden ist die Gefahr des Schmelzens ausgeschlossen, daher denn diese bei den meisten Systemen von Glühlampen zur Anwendung kamen. Die bekanntesten sind die Lampen von dem Amerikaner Edison, bei welchen verkohlte Bambusfasern verwendet werden, und dem Engländer Swan, welcher Papierkohle benützt. Die Glühlampen eignen sich hauptsächlich zur Vertretung der bisherigen Beleuchtung in geschlossenen Localen, besonders da eine Lampe viele hundert Stunden glühen kann, bis sie schließlich erneuert werden muss. Der erste, welcher Glühlichtlampen bekannt machte, war Moleyns im Jahre 1841.

Bald folgten andere, welche jedoch ebensowenig brauchbare Resultate lieferten. Selbst die von Edison 1878 gemachten Versuche waren wenig befriedigend. Bei allen diesen Versuchen hielt man an Platindrähten, welche zuweilen mit Iridium legiert wurden, fest. Da man jedoch bei diesen einerseits die Gefahr des Schmelzens nur schwer beseitigen konnte, anderseits aber die Drähte durch den Gebrauch eine moleculare Veränderung erfahren, welche sie zum weiteren Gebrauche untauglich macht, so konnte ein brauchbarer Fortschritt auf diesem Wege nicht erreicht werden. Ein junger Amerikaner, namens Starr aus Cincinnati, war der erste, welcher Retortenkohle verwendete. Da er selbst mittellos war, so versah ihn der bekannte Philanthrop

Peabody mit Geld, um seine Idee bekannt zu machen. Starr gieng nach London und hielt hier 1846 einen Vortrag über seine Lampe. Er erhielt auch ein Patent und verband sich mit Geldmännern, um dasselbe auszubeuten. Als er sich jedoch wieder nach Amerika einschiffen sollte, fand man ihn im Bette todt. Erst 1873 kam seine Idee durch den Russen Lodygin zu Ehren. Seither bestrebte man sich die geeignetste Kohle zu finden. Wie schon erwähnt, hat sie Edison in Bambus, welcher wild in Japan in großer Menge wächst, und Swan in einem eigens zu diesem Zwecke bereiteten Papier 1880 gefunden. Andere Lampensysteme unterscheiden sich nicht wesentlich von den genannten.

In anderer Richtung entwickelten sich die Inductionsströme dadurch, dass man die Voltainduction zu verbessern suchte. Es war das dem Pariser Mechaniker Ruhmkorff vorbehalten, einen Apparat zu construieren, welcher sehr starke Ströme lieferte. Er erhielt dafür den Napoleon'schen Preis, doch ist seither kein wesentlicher Fortschritt auf diesem Gebiete zu verzeichnen. Der Ruhmkorff'sche Funkeninductor ist aus dem Laboratorium der Physiker nur selten herausgetreten. Versuchsweise hat man ihn bei Sprengungen mit Elektrizität angewendet, doch konnte er sich hier kein bleibendes Feld erobern. Seit dem Aufkommen der dynamo-elektrischen Maschinen kam auch ein anderes Problem auf die Tagesordnung, von welchem früher die Welt keine Ahnung hatte. Es ist das die Frage der Kraftübertragung. Der Gedankengang war dabei folgender: Eine Dynamomaschine liefert einen elektrischen Strom. Führt man diesen zu einer zweiten Dynamomaschine, so wird sie durch ihn in Drehung versetzt. Diese Drehung kann auf andere Maschinen übertragen und somit in nützliche Arbeit umgesetzt werden. Die erste Maschine, von wo der Strom ausgeht, kann beliebig weit von der zweiten aufgestellt sein. Die Kraft kann daher von einer Centralstellé aus nach allen Richtungen hin in beliebige Fernen abgegeben werden. Das Problem ist noch nicht derart gelöst, dass das praktische Leben schon heute einen Nutzen daraus ziehen sollte, denn es ist bis jetzt nur gelungen etwa 50—60 Procent des elektrischen Stromes der ersten Maschine an die zweite zu übermitteln. Der Rest geht in der

Leitung durch Erwärmung derselben etc. verloren. Doch es unterliegt keinem Zweifel, dass in nicht allzu ferner Zukunft eine praktisch brauchbare\* Lösung gefunden werden wird, und dann wird es nicht als ein sinnloser Gedanke erscheinen, die Fälle des Niagara zum Betriebe aller Maschinen von Amerika zu verwenden.

### XXXVII. Die Spectralanalyse.

Es gibt keine Entdeckung in der Geschichte der Wissenschaften, welche den Menschen befähigen würde, in tiefere Fernen des Weltalls mit dem Lichte seiner Erkenntnis einzudringen, als es die Spectralanalyse gestattet. Vor 40 Jahren hätte man keinen Anstand genommen, jeden für wahnsinnig zu halten, der es gewagt hätte, einen Stoff erkennen zu wollen, der in einem Gemenge von Stoffen etwa ein Milliontel eines Milligramms ausmachen würde, oder der sich erkühnt hätte, diejenigen Elemente anzugeben, aus welchen sich Sonne und Sterne zusammensetzen. Heute sind diesem Zwecke ganze Anstalten gewidmet, und in jedem chemischen Laboratorium spielt das Spectroskop eine der wichtigsten Rollen.

Die ersten Anfänge der Spectralanalyse reichen bis in das Jahr 1752 zurück. Thomas Melville war der erste, welcher Versuche über die Färbung der Flammen, besonders der Natriumflamme anstellte. Er hat jedoch noch nicht erkannt, dass die gelbe Farbe vom Natrium oder einer Verbindung desselben herrühre und dass hierin ein sehr empfindliches Mittel gefunden sei, die Natur der Stoffe zu erkennen. Erst John Herschel hat 1827 mit voller Klarheit ausgesprochen, dass „die Farben, welche verschiedene Körper der Flamme ertheilen, in vielen Fällen ein einfaches und leichtes Mittel darbieten, außerordentlich kleine Mengen davon zu entdecken.“ Die Versuche Herschels datieren schon seit dem Jahre 1822. Noch deutlicher hat Fox Talbot diesen Gedanken ausgedrückt, indem er jedoch nicht die Flammenfärbung allein, sondern hauptsächlich deren Spectrum untersuchte. Er fand nämlich, dass im Spectrum der gefärbten Flamme bestimmte helle Linien auftreten, welche sich durch ihre Intensi-

tät deutlich von dem übrigen Theile des Spectrums abheben. Bei den älteren Versuchen war stets das ganze Spectrum vorhanden, da man mit dunklen Flammen zu experimentieren noch nicht verstanden hatte.

Diese wurden erst durch Kirchhoff und Bunsen zur Anwendung gebracht. Umso größer ist das Verdienst Talbots, dass er dennoch die hellen Linien herausfand und sogar die Eigenthümlichkeit derselben bei verschiedenen Körpern erkannte. Er sagte auf Grund seiner Untersuchungen schon 1826, „dass gewisse Körper bestimmte, eigenthümliche Linien geben.“ Weiter führte er aus: „Wenn diese Ansicht sich als richtig herausstellen und sich anwendbar auf andere bestimmte Linien zeigen sollte, so würde ein Blick auf das prismatische Spectrum einer Flamme genügend sein, um darzuthun, dass Substanzen vorhanden sind, welche sonst nur durch mühsame chemische Analyse nachzuweisen wären.“ Trotzdem hat weder Herschel noch Talbot diejenigen Körper genauer anzugeben gewusst, welche durch ein bestimmtes Spectrum charakterisiert werden. Selbst die allbekannte gelbe Linie, welche alle Experimentatoren immer gesehen haben, wurde nicht dem Natrium, sondern dem Wasserdampf zugeschrieben. Eben ihre Häufigkeit hat die Physiker irregeführt, da sie nicht glauben mochten, dass Natrium überall vorhanden sei. Erst Professor Swan hat 1857 festgestellt, dass die gelbe Linie den Natriumverbindungen eigenthümlich sei. Derselbe bemerkt auch, dass eine außerordentlich geringe Menge einer Natriumverbindung, z. B. von Kochsalz hinreichend sei, um diese Linie hervorzurufen, und schließt aus der Häufigkeit ihres Vorkommens auf die große Verbreitung des Natriums. Kirchhoff und Bunsen konnten später nachweisen, dass  $\frac{1}{3000000}$  Milligramm genügt, um die Natriumlinie sichtbar zu machen.

Im Jahre 1845 beschäftigte sich auch Professor Miller mit Versuchen über Flammenspectra. Durch ihn ist insofern ein bedeutender Fortschritt auf diesem Gebiete eingeleitet worden, dass er Zeichnungen von den Spectren, welche er beobachtete, anfertigte und dadurch eine Vergleichung derselben ermöglichte. Freilich waren seine Zeichnungen so wenig gelungen, dass aus

denselben niemand diejenigen Stoffe erkennen konnte, deren Spectra sie darstellen sollten. Auch der erfindungsreiche Wheatstone beschäftigte sich mit Untersuchungen über die Spectra und ihm gebürt das Verdienst, zuerst den elektrischen Funken zur Verflüchtigung der Metalle behufs spectroscopischer Untersuchung angewendet zu haben. Und zwar war es anfangs der Funke einer Leydner Flasche, später kamen Funkeninductoren zur Anwendung. Wheatstone hat schon in seiner diesbezüglichen Abhandlung 1835 gesagt: „die Unterschiede in der Farbe des Funkens sind so auffällig, dass man leicht ein Metall von einem anderen durch das Aussehen des Funkens unterscheiden kann, und wir haben so eine Methode, durch die wir metallische Körper leichter erkennen können, als durch die chemische Untersuchung, und welche wohl später einmal noch eine zweckdienliche Anwendung finden wird.“

Kein Physiker vor Kirchhoff und Bunsen hat daran gedacht, Messungen im Spectrum vorzunehmen, um den Abstand der Spectrallinien zu bestimmen, sowie unbekannte Spectra mit bekannten zu vergleichen. Es ist daher selbstverständlich, dass verschiedene Linien identificiert wurden, wenn sie im Spectrum nahezu denselben Ort einnahmen. Erst genaue Messungen konnten die nothwendige Sicherheit geben. Ebenso war es von der größten Wichtigkeit, durch unmittelbaren Anblick zweier Spectra ihre Identität oder ihre Verschiedenheit zu constatieren. Beides erreicht zu haben, ist das Verdienst der genannten Forscher. Die Messung wurde ermöglicht durch Einführung einer Scala, auf welcher sich das Spectrum projecierte. Die Vergleichung konnte durchgeführt werden, wenn zwei verschiedene Spectra über einander zu liegen kamen. Letzteres haben Kirchhoff und Bunsen dadurch erreicht, dass sie vor die eine Hälfte der Spalte ein gleichseitiges Glasprisma angebracht haben, welches infolge der totalen Reflexion die Strahlen einer seitlich aufgestellten Vergleichsflamme in den Spalt sendet.

Wie groß das Vertrauen Bunsens in diese Methode war, beweist folgender Umstand. Er erhielt durch Verdampfen des Dürkheimer Mineralwassers einen Rückstand, den er spectroscopisch hinsichtlich seines Gehaltes in Bezug auf die Alkali-

salze untersuchte. Er bemerkte im Spectrum desselben einige Linien, welche er vorher in den Spectren des Kaliums, Natriums und Lithiums niemals beobachtet hatte. Er schloss sofort, dass diese Linien einem noch unbekanntem Metalle angehören. Um dieses näher zu untersuchen, dampfte er 44000 Kilogramm des genannten Wassers ein, um eine größere Menge dieses Rückstandes zu erhalten. Nach Ausscheidung der drei bekannten Alkalimetalle, gelang es ihm aus dem Reste zwei neue Metalle, Caesium und Rubidium zu gewinnen. Seither hat man dieselben in mehreren anderen Quellen, wie z. B. in denen von Gastein, Baden-Baden u. dgl. gefunden. Der Chemiker Plattner hat 1846 das Mineral Pollux analysirt und bei der schließlichen Berechnung der Resultate einen bedeutenden Verlust constatirt, den er sich nicht erklären konnte. Nach der Entdeckung des Caesiums konnte sofort festgestellt werden, dass der Verlust von diesem Metall herrühre, welches Plattner vom Kalium nicht unterschieden hatte. Der scheinbare Verlust entstand dadurch, dass Kalium 39.1, Caesium aber 133 zum Verbindungsgewichte hat. Das Mineral aber enthielt bei 32 Procent des letzteren Metalls. Bald waren auch andere Chemiker in der Lage, die Erfolge der spectralanalytischen Methode zu constatieren. Crookes hat ein Jahr später, als Bunsen die beiden Metalle entdeckte, nämlich 1861, ein drittes Metall, Thallium, das in seinen Eigenschaften theilweise an die Alkalimetalle erinnert, theilweise aber die Eigenschaften des Bleies zeigt, entdeckt. Deshalb nannte es später der französische Chemiker Dumas das Schnabelthier unter den Metallen. Crookes entdeckte es zufällig während einer Vorlesung. Bei der objectiven Darstellung des Spectrums vom Schlamme einer Schwefelsäure-Fabrik bemerkte er eine grüne Linie in demselben, welche er keinem der bekannten Elemente zuschreiben konnte. Bei weiterer Untersuchung fand er das vorhin erwähnte Metall. Im Jahre 1864 haben ferner die Professoren Reich und Richter an der Bergschule in Freiberg ein viertes Metall, Indium, mit Hilfe der Spectralanalyse entdeckt. Es kommt in geringen Mengen in manchen Zinkerzen vor.

Allein noch in einer anderen Richtung soll die Spectralanalyse von epochemachender Bedeutung sein. Wollaston bemerkte

im Jahre 1802 im Spectrum der Sonne dunkle Linien. Newton, welcher zuerst die Zusammensetzung des Sonnenlichtes zeigte, sah sie nicht und konnte sie nicht sehen, weil er das Sonnenlicht durch eine runde Öffnung einließ. Infolge dessen fielen die einzelnen Kreise auf dem Schirme zum Theile übereinander und verhinderten das Sichtbarwerden der Fraunhofer'schen Linien. Wollaston bediente sich aber einer engen Spalte, deren einzelne Bilder nebeneinander fielen, und die Linien konnten ungehindert entstehen. Doch beschäftigte er sich weiter mit ihnen nicht. Erst der Münchner Optiker Fraunhofer untersuchte sie näher. Die Resultate seiner Untersuchung sind in den Berichten der Münchner Akademie der Wissenschaften in den Jahren 1814 und 1815 niedergelegt worden. Ihm zu Ehren wurden die Linien Fraunhofer'sche genannt. Das Ergebnis seiner Untersuchung bestand hauptsächlich in der Messung der Linienabstände. Dadurch hat Fraunhofer die Lage von 576 Linien festgestellt. Er hat ferner Zeichnungen derselben entworfen und die stärksten Linien zur leichteren Orientierung mit den Buchstaben des Alphabets bezeichnet. Er zeigte auch, dass diese Linien stets im Sonnenlichte vorhanden sind, mag man directes oder vom Monde und Venus reflectiertes Licht analysieren. Er bestimmte ihre Brechungsexponenten und bewies, dass ihre relative Entfernung constant sei. Ihm war auch die Coincidenz der Natriumlinie, welche er als Doppellinie erkannte, mit der Doppellinie im Sonnenspectrum bekannt. Er untersuchte auch die Spectra mancher Fixsterne und schloss aus der Verschiedenheit derselben mit dem Spectrum des Sonnenlichtes, dass die Ursache der Sonnenlinien sowohl, wie die der Fixsterne außerhalb unserer Atmosphäre liege. Freilich war ihm diese Ursache unbekannt und musste jedem unbekannt bleiben, so lange die Beziehung zwischen dem Emissions- und Absorptionsvermögen des Lichtes für verschiedene Körper nicht aufgedeckt war.

Kirchhoff und Bunsen waren es, welche diese Beziehung fanden. Die erste diesbezügliche Abhandlung erschien 1859 in den Berichten der Berliner Akademie der Wissenschaften unter dem Titel: „Die Fraunhofer'schen Linien.“

Kirchhoff Gustav Robert, geb. 1824 in Königsberg, habilitierte sich als Privatdocent in Berlin 1847. Im Jahre 1850 wurde er außerordentlicher Professor in Breslau und 1854 ordentlicher Professor der Physik in Heidelberg. In derselben Eigenschaft wurde er 1874 nach Berlin berufen und starb daselbst 1887. Seine vielen Abhandlungen sind in verschiedenen Zeitschriften erschienen, wurden jedoch in den „Gesammelten Abhandlungen Leipzig 1882“ in einem Bande herausgegeben.

Schon in der ersten, oben citierten Abhandlung hat Kirchhoff die große Wichtigkeit der Fraunhofer'schen Linien für die Untersuchung der Natur der Himmelskörper hervorgehoben. In derselben ist auch bereits das Absorptionsgesetz ausgedrückt, wenn auch nicht in der Allgemeinheit, welche Kirchhoff später dem Gesetze gegeben hat. Er beschreibt zunächst daselbst die entsprechenden Versuche, besonders die Umkehrung des Spectrums. Der epochemachende Versuch Kirchhoffs war folgender: „Um die mehrfach behauptete Coincidenz der Natriumlinie D des Sonnenspectrums auf die directeste Weise zu prüfen, entwarf ich ein mäßig helles Sonnenspectrum und brachte dann vor den Spalt des Apparates eine Natriumflamme. Ich sah dabei die dunklen Linien D sich in helle verwandeln. Die Bunsensche Lampe zeigte die Natriumlinie auf dem Sonnenspectrum mit einer nicht erwarteten Helligkeit. Um zu finden, wie weit die Lichtstärke der Sonne sich steigern ließe, ohne dass die Natriumlinien dem Auge verschwänden, ließ ich den vollen Sonnenschein durch die Natriumflamme auf den Spalt fallen und sah zu meiner Verwunderung die dunklen Linien D in außerordentlicher Stärke hervortreten.“ Kirchhoff ersetzte noch das Sonnenlicht durch das Drummondsche. Dasselbe durch eine Kochsalzflamme geleitet gab an derselben Stelle, wo früher die Natriumlinie war, dunkle Absorptionslinien.

Dann sagt Kirchhoff: „Ich schließe aus diesen Beobachtungen, dass farbige Flammen, in deren Spectren helle scharfe Linien vorkommen, Strahlen von der Farbe dieser Linien, wenn dieselben durch sie hindurchgehen, so schwächen, dass an Stellen der hellen Linien dunkle auftreten, sobald hinter der Flamme eine Lichtquelle von hinreichender Intensität

angebracht wird, in deren Spectrum die Linien sonst fehlen. Ich schließe weiter, dass die dunklen Linien des Sonnenspectrums, welche nicht durch die Erdatmosphäre hervorgerufen werden, durch die Anwesenheit derjenigen Stoffe in der glühenden Sonnenatmosphäre entstehen, welche in dem Spectrum einer Flamme helle Linien an demselben Orte erzeugen.“

In einer späteren Abhandlung desselben Jahres stellte er schon allgemein das Verhältnis zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme auf. Es lautet: „Für Strahlen derselben Wellenlänge ist bei derselben Temperatur das Verhältnis des Emissionsvermögens zum Absorptionsvermögen bei allen Körpern dasselbe.“ Das Gesetz wurde von Kirchhoff auch mathematisch begründet und hiemit war sowohl der praktischen als der theoretischen Forschung ein weites Feld eröffnet. Es war zunächst festzustellen nothwendig, einerseits ob ein Gaspectrum unter allen Umständen ein Linienspectrum sei, andererseits, ob das Spectrum eines einfachen Gases aus mehr als einer Linie bestehen könne. In der ersten Richtung konnten nur Versuche Aufschluss ertheilen. Plücker, später Wüllner u. a. fanden, dass Gase unter gewissen Umständen ein continuierliches Spectrum geben. Damit war gezeigt, dass dieses nicht allein von der Natur des Gases, sondern auch vom Druck und Temperatur abhängig ist. Dadurch ist keineswegs Kirchhoffs Methode in Frage gestellt. Es galt dieselbe nach wie vor, aber die Untersuchung war schwieriger. Es mussten erst die Grenzen festgestellt werden, bei welchen Gase ein Linienspectrum geben. Die Forscher sind hierüber noch zu keinem entscheidenden Resultate gelangt. In der anderen Richtung machte Stokes, der Entdecker der Fluorescenz, darauf aufmerksam, dass sowie beim Schalle die Tonhöhe von den Dimensionen des Körpers und nicht von der Stärke des Anschlags abhängt, so auch die Schwingung des Lichtes und somit das davon abhängige Spectrum von der Größe der Molecüle abhängig sein muss. Ein Linienspectrum kann nur ein Gas geben, weil nur beim Gase die Molecüle frei sind, d. h. unabhängig von der Schwingung anderer Molecüle. Lockyer hat schon 1872 nachzuweisen gesucht, dass das Spectrum desto einfacher ist, je einfacher die Zusammensetzung des

Körpers. Ein wirkliches Element kann seiner Ansicht nach nur eine einzige Linie im Spectrum haben, weil alle Atome dieselbe Schwingung haben.

Experimentelle Bestätigungen dieser Theorie sind bisher jedoch noch nicht vorhanden. Nach dem Bekanntwerden der Kirchhoff'schen Methode suchte man dieselbe nicht nur für Gase, sondern auch für Flüssigkeiten anzuwenden. Es war zunächst Stokes, ihm folgten andere, welche ihre Untersuchung auf die sogenannten Absorptionsspectra ausdehnten. So nannte man nämlich besonders diejenigen Spectra, welche durch Absorption von mancherlei Lichtstrahlen in den Flüssigkeiten entstanden, obwohl auch die Gasspectra, wobei das Licht Gasschichten passiert, Absorptionsspectra sind. Man liess nämlich das Licht einer starken Lichtquelle durch verschiedene Flüssigkeiten hindurch. Das entstandene Spectrum zeigte dunkle Streifen und Bänder, welche von der Natur der Flüssigkeit abhingen. Auf diese Art ist man ebenfalls imstande, manche Flüssigkeiten zu erkennen. Doch ist diese Art Flüssigkeiten zu entdecken weder so ausgebildet, als es bei den Gasen der Fall ist, noch scheint sie hier so genaue Resultate zu versprechen.

### XXXVIII. Die Astrophysik.

Kirchhoff bediente sich bei seinen spectroscopischen Arbeiten der Fraunhofer'schen Linien als Vergleichsscala für die Spectra der irdischen Stoffe. Bei der Erzeugung des Eisenspectrums fiel es ihm auf, dass an den Orten, wo helle Eisenlinien entstanden waren, in deren Verlängerung dunkle Fraunhofer'sche Linien gesehen werden. Kirchhoff hat bei 460, Angström später 490 Eisenlinien mit eben so vielen dunklen Sonnenlinien coincidierend beobachtet. Kirchhoff schloss, dass dies unmöglich ein Werk des Zufalls sein könne, es musste vielmehr ein ursächlicher Zusammenhang zwischen den Linien beider Arten bestehen. Um jedoch alle Willkür auszuschließen, nahm Kirchhoff bloß 60 der am besten zusammenfallenden Linien und berechnete daraus die Wahrscheinlichkeit, welche dafür spricht, dass das Zusammenfallen derselben zufällig sei. Er fand einen

Bruch, dessen Zähler Eins und dessen Nenner Eins mit 18 Nullen ist. Diese Wahrscheinlichkeit ist so gering, dass man jeden Zufall ausschließen muss. Der causale Zusammenhang ist so nach eine Gewissheit. Diese Art Naturgesetze zu begründen darf nicht als eine unsichere betrachtet werden. Fast alle uns gegenwärtig bekannten Naturgesetze sind mehr oder weniger wahrscheinlich, absolute Gewissheit hat vielleicht keines derselben. Das hindert jedoch nicht, dass wir diese Gesetze mit voller Beruhigung in der Praxis anwenden, ohne einen Misserfolg zu fürchten oder zu erfahren. Auch P. Secchi, der berühmte Director der Sternwarte am Collegium Romanum, welcher vor einigen Jahren gestorben ist, sagt darüber: „Die genaue Coincidenz so vieler heller Spectrallinien eines und desselben irdischen Stoffes mit eben so vielen dunklen Linien des Sonnenspectrums schließt die Annahme, dass dieses alles nur ein Spiel des Zufalls sein könne, aus; es ist hieran umsoweniger zu denken, als alle Änderungen in der Zahl und in der Breite der Linien, welche durch eine Vergrößerung der Dispersionskraft der angewandten Prismen in dem Spectrum der irdischen Stoffe eintreten, auch gleichzeitig sich an den entsprechenden dunklen Linien des Sonnenspectrums zeigen.“ Kirchhoff zögerte nicht, sofort zu erklären, dass in der Sonnenatmosphäre sich Eisen im dampfförmigen Zustande befindet. Er sagt darüber: „Die Beobachtungen des Sonnenspectrums scheinen mir hiernach die Gegenwart von Eisendämpfen in der Sonnenatmosphäre mit einer so großen Sicherheit zu beweisen als sie bei Naturwissenschaften überhaupt erreichbar ist.“

Es war nun selbstverständlich, dass Kirchhoff, nachdem einmal die Anwesenheit eines irdischen Stoffes auf der Sonne constatirt war, nach weiteren suchte, durch welche andere Fraunhofer'sche Linien ihre Erklärung fanden. Es gelang das sowohl ihm, als auch anderen Forschern, welche sich mit diesen Untersuchungen beschäftigten. Es wurde unzweifelhaft die Existenz noch vieler anderer Elemente, welche sich auf der Erde befinden, auch auf der Sonne nachgewiesen und damit ein neuer Beweis für die Kant-Laplace'sche Hypothese erbracht. Doch sind die Untersuchungen darüber noch lange nicht abgeschlossen.

Kirchhoff hat nun bezüglich der Fraunhofer'schen Linien, nachdem ihm die in dem vorhergehenden Capitel angeführte Umkehrung des Spectrums gelungen war, folgende Erklärung gegeben: „Um die dunklen Linien des Sonnenspectrums zu erklären, muss man annehmen, dass die Sonnenatmosphäre einen leuchtenden Körper umhüllt; der für sich allein ein continuirliches Spectrum von einer Lichtstärke gibt, die eine gewisse Grenze übersteigt. Die wahrscheinlichste Annahme, die man machen kann, ist die, dass die Sonne aus einem festen oder tropfbar flüssigen, in der höchsten Glühhitze befindlichen Kern besteht, der umgeben ist von einer Atmosphäre von etwas niedrigerer Temperatur.“ Von einigen anderen Forschern, wie z. B. von Secchi wird der Kern der Sonne als gasförmig betrachtet. Da die Spectra der Gase bei einem bestimmten größeren Druck, wie schon erwähnt wurde, continuirlich sind, so steht insofern dieser Annahme kein gegenwärtig bekanntes prinzipielles Hindernis entgegen. Doch gehört diese Frage zu den schwierigsten der Astrophysik, da ja mit der Annahme auch die Erklärung der Sonnenflecke und Fackeln, der Protuberanzen u. s. w. zusammenhängt. Es ist daher nicht zu verwundern, wenn diesbezüglich eine Entscheidung noch nicht gefallen ist. War die Erklärung Kirchhoffs im allgemeinen richtig, dann müsste man bei einer totalen Sonnenfinsternis, wo der Kern der Sonne verdeckt ist und über den Mondrand nur die glühende Atmosphäre derselben hervorragt, statt der dunklen helle Linien an derselben Stelle sehen. Die Astronomen haben daher mit großer Spannung die nächste totale Sonnenfinsternis erwartet, um entweder Kirchhoffs Theorie zu bestätigen oder zu widerlegen. Überdies hatte man schon lange bei totalen Sonnenfinsternissen manche räthselhafte Erscheinungen bemerkt, über deren Wesen man von den spectroscopischen Beobachtungen Aufschluss erwarten konnte. Besonders hat die Finsternis vom Jahre 1842 Räthsel aufgeworfen, deren Lösung nach Kirchhoffs Methode möglich war. Der englische Astronom Baily, einer der Beobachter derselben, schreibt darüber: „Ich hatte nach den Beschreibungen, die ich darüber gelesen hatte, wohl erwartet, um die Sonne noch ein gewisses, aber ein schwaches und dämmer-

haftes Licht wahrzunehmen, statt dessen sah ich eine helle Strahlenkrone, deren Glanz dicht am Rande der Mondscheibe sehr lebhaft war, dann immer mehr abnahm und in einer Entfernung von ungefähr dem Durchmesser des Mondes verschwand. Nichts derartiges hatte ich vorher vermuthet. Ich hatte mich indessen von meinem Erstaunen bald erholt und legte das Auge wieder an das Fernrohr, als eine neue Überraschung mich erfasste. Die Strahlenkrone, welche die Mondscheibe umgab, war an drei Stellen durch ungeheure purpurfarbene Flammen unterbrochen. Sie schienen still zu stehen und sahen aus wie die von den Strahlen der untergehenden Sonne beleuchteten Gipfel der schneeigen Alpen. Es war nicht möglich zu unterscheiden, ob diese Flammen Wolken oder Berge waren.“ Sowohl über die Strahlenkrone als über die Flammen (Protuberanzen) hat das Spectroskop Antwort gegeben. Die nächste totale Sonnenfinsternis nach Kirchhoffs Entdeckung war im Jahre 1860. Aber man hatte weder die nothwendigen Apparate, noch waren die Beobachter hinreichend eingeübt, um die Beobachtungen so erfolgreich zu machen, als es wünschenswert war. Dagegen war bis zur zweitnächsten Finsternis, welche 1868 stattfinden sollte, hinreichend Zeit zur Vorbereitung. Die Astronomen rüsteten sich daher zu ihrer Beobachtung. Fast in allen Culturstaaten hatten die Regierungen die Mittel zur Verfügung gestellt. Das Ergebnis der Beobachtung war: In dem Momente der Totalität verschwanden sämmtliche dunkle Linien, und man bemerkte ein schwaches, continuirliches Spectrum, in welchem sich einzelne helle Linien hervorhoben. Hiemit war Kirchhoffs Theorie glänzend bestätigt. Das Spectrum und die hellen Linien rührten von der den Mondrand umgebenden glänzenden Helle, der sog. Corona her. Es handelte sich zunächst darum, festzustellen, welche Stoffe ihre Gegenwart in derselben durch helle Linien verrathen würden. Bedenkt man jedoch, dass die Totalität nur wenige Minuten andauerte, so kann es nicht auffallen, wenn in dieser Hinsicht die Untersuchungen noch nicht zum Abschlusse gekommen sind. Auch über die Protuberanzen hat Kirchhoffs Methode Aufklärung gegeben. Von den vielen Beobachtungen, welche 1868 gemacht wurden, gelangen sie am

besten den Franzosen Janssen und Rayet, den Engländern Herschel und Tennant und dem gegenwärtigen Director der Sternwarte in Wien, Weiss. Als sie nämlich ihre Spectroskope beim Eintritte der Totalität auf die Protuberanzen richteten, erhielten sie ein discontinuirliches Spectrum aus nur wenigen farbigen Linien bestehend. Die Protuberanzen waren also Gasmassen, in welchen ein geringer Druck herrschte. Janssen hat, nachdem die Sonne wieder erschienen war und die weitere Beobachtung unmöglich machte, mit Zuversicht ausgerufen: „Je reverrai ces lignes la.“ Und er hielt Wort. Schon am nächsten Morgen gelang es ihm das Spectrum der Protuberanzen bei vollem Sonnenlichte zu beobachten. Allein auch in diesem Falle wie in so vielen anderen war es nicht Janssen allein, welcher Erfolg hatte. Auch der englische Astrophysiker Lockyer beschäftigte sich schon längere Zeit damit, Protuberanzen bei Sonnenlicht zu untersuchen. Beide haben die Resultate ihrer Überlegung und Beobachtung, u. z. Janssen am 26. October 1868 der Akademie in Paris, Lockyer am 21. October desselben Jahres der Royal Society übergeben. Die Idee, das Spectrum der Protuberanzen bei vollem Lichte der Sonne zu beobachten, beruht bei beiden Forschern darauf, das Licht der letzteren durch sehr viele Prismen zu leiten. Dadurch wird das Spectrum der Sonne sehr in die Länge gezogen und daher derart geschwächt, dass das manochromatische Licht der Protuberanzen, welches eben deshalb nur wenig von seiner Intensität verliert, deutlich gesehen werden kann. Allein beide Forscher begnügten sich nicht mit dem Spectrum allein, sie wollten auch die ganze Gestalt der Protuberanz bei vollem Sonnenlichte sichtbar machen. Doch erzielten ihre Bestrebungen kein praktisches Resultat. Wohl aber gelang es sowohl 1869 dem berühmten Astrophysiker Zöllner in Leipzig, als auch dem Engländer Huggins. Die Idee welche dieses ermöglicht ist folgende: Das Spectrum der Protuberanzen besteht aus nur wenigen hellen Linien von bestimmter Farbe. Bringt man nun vor den Spalt farbige durchsichtige Körper, welche alles andere Licht absorbieren und nur das der Protuberanz durchlassen, so wird dann die Protuberanz selbst sichtbar. Zöllner erreichte dasselbe auch durch

eine oscillierende Spalte. Gegenwärtig sind einige Sternwarten mit Absicht darauf eingerichtet, die Sonne täglich hinsichtlich der Protuberanzen zu untersuchen. Auch sind diesem Zwecke wie der spectroscopischen Beobachtung anderer Himmelskörper astrophysische Observatorien eingerichtet worden. Es ist selbstverständlich, dass so interessante Gebilde, wie die Protuberanzen von allen Forschern auf diesem Gebiete sorgfältig studiert wurden. Es herrscht auch in dieser Frage eine weit geringere Divergenz der Ansichten als bezüglich mancher anderen Vorgänge auf der Sonne. Was zunächst ihre Constitution betrifft, so ist man einstimmig zu dem Resultate gekommen, dass dieselbe hauptsächlich aus Wasserstoff bestehe. Das ergibt sich daraus, dass man im Spectrum der Protuberanzen fast ausschließlich nur die hellen Linien des Wasserstoffgases findet. Sie haben noch bei keiner Beobachtung gefehlt. Dagegen findet man ab und zu Beimengungen anderer Stoffe in größerer oder geringerer Menge. Bezüglich ihres Entstehens herrscht allgemein die Ansicht, dass sie durch gewaltige Eruptionen auf der Sonne zustande kommen, etwa wie solche auf der Erde in den feuer-speienden Bergen ein schwaches Analogon finden. Dass häufig Protuberanzen in der Höhe von hunderttausend Meilen über der Sonne gesehen wurden, beweist nur die ungeheure Kraft, mit welcher das Emporschleudern stattfindet.

Professor Mach in Prag hat noch im Jahre 1860 in einem Berichte der Akademie der Wissenschaften in Wien darauf aufmerksam gemacht, dass aus der Verschiebung der Linien im Spectrum der Fixsterne die Bewegung derselben von oder zur Erde bestimmt werden könne. Er basierte diese Ansicht auf das Doppler'sche Princip, welches in der Akustik unzweifelhaft nachgewiesen wurde. Es müsste diesem zufolge, wenn der Stern sich entfernte, eine geringere Anzahl von Wellen das Auge treffen und umgekehrt mehr, wenn sie sich näherten. Freilich musste die Entfernung oder Annäherung mit entsprechender Geschwindigkeit stattfinden, wenn die Wellenänderung bemerkbar sein sollte. Es war daher dieses Princip nur für diejenigen Sterne anwendbar, bei welchen die Geschwindigkeitscomponente zu oder von der Erde einen gewissen Betrag erreicht. Im Spec-

troskope sollte man alsdann im ersten Falle eine Vorrückung der Linie gegen das rothe, im letzten gegen das violette Ende des Spectrums wahrnehmen. Zu der Zeit, als Mach diese Ansicht bekannt machte, konnte mit den vorhandenen Spectralapparaten die Beobachtung nicht gemacht werden. Sie waren nicht hinreichend fein, um so geringfügige Messungen bestimmen zu können. Es gelang erst Lockyer im Jahre 1870 zum erstenmale eine Verschiebung der Spectrallinien im Spectrum eines Fixsterns zu constatieren. Seither war das Bestreben darauf gerichtet, nicht nur die Bewegung der Fixsterne, sondern auch die der Sonne, der Sonnenflecken, der Protuberanzen u. s. w. zu bestimmen. Leider konnte diese Aufgabe, deren Bedeutung für die Astronomie eine sehr wichtige ist, nur mit Schwierigkeiten gelöst werden, da die Resultate der Messung wenig befriedigten. Erst als Zöllner das Reversionsspectroskop erfand, konnte an die Lösung dieser Frage mit Aussicht auf Erfolg geschritten werden. Zöllner machte dasselbe 1869 bekannt, 1871 folgten seine Beobachtungen damit über die Rotation der Sonne. Ebenso wurden von Vogel und Lohse auf der Sternwarte des Herrn von Bülow zu Bothkamp in demselben Jahre Beobachtungen über die Verschiebung der Spectrallinien der Sonne veröffentlicht. Die aus denselben berechnete Rotationsdauer der Sonne ist etwas größer als die aus der Bewegung der Sonnenflecken erhaltene. Allein bei so feinen Messungen, als sie hier zur Anwendung kommen, und so rasch nach dem Bekanntwerden der Methode muss man zufrieden sein, dass man überhaupt ein mögliches Resultat erhält. Ohne Zweifel werden in Zukunft vollkommenere Apparate denjenigen Grad von Genauigkeit erreichen, welcher nothwendig ist, um aus den Beobachtungen sichere Schlüsse ziehen zu können.

Das Zöllner'sche Reversionsspectroskop besteht darin, dass es das Spectrum desselben leuchtenden Körpers doppelt gibt. Die beiden Spectra kann man entweder über oder neben einander projecieren. Es wird dann der Abstand derselben zwei Fraunhofer'schen Linien gemessen. Es wird dadurch somit jede Verschiebung der Linie verdoppelt, da in jedem Spectrum die Linien nach entgegengesetzten Richtungen verrückt werden.

Nicht nur die Sonne allein, sondern auch andere Himmelskörper wurden mit dem Spectralapparat untersucht. Alle unsere Kenntnisse über die Natur derselben verdanken wir dieser Methode. Es waren besonders Huggins, Miller, Secchi, Janssen und andere, welche sich mit der Beobachtung der Sterne befassten. Bei den Planeten und Monden handelte es sich darum, festzustellen, ob sie eigenes Licht haben, ob sie von Atmosphären, ähnlich der unsrigen umgeben sind u. dgl. Diese Fragen wurden bei vielen unzweifelhaft entschieden.

Mit der Beobachtung der Kometen hat sich besonders Huggins seit dem Jahre 1866 an befasst. Er constatirte in denselben das Vorkommen von Kohlenstoffverbindungen. Alle Beobachter nach ihm haben dieses Resultat bestätigt. Doch können noch die letzten Schlüsse über die Beschaffenheit der Kometen aus den bisherigen Beobachtungen nicht gezogen werden.

Der Beobachtung der Fixsterne wandten viele Forscher ihre Aufmerksamkeit zu. Huggins machte die ersten Resultate 1865 bekannt. P. Secchi hat eine Eintheilung aller Fixsterne nach der Beschaffenheit der Spectra in vier Classen vorgenommen. Auch die Eigenbewegung des Sirius hat Huggins aus der Verschiebung der Spectrallinien berechnet. Derselbe entfernte sich von der Erde in dem Momente der Beobachtung um 29 Meilen in der Secunde.

Schließlich mag noch erwähnt werden, dass es demselben Forscher gelungen ist, schon 1864 Spectra der Nebelflecke zu erhalten und die gasige Natur derselben festzustellen. So hat diese Methode schon in kurzer Zeit weittragende Aufschlüsse gegeben.

### XXXIX. Das Princip von der Erhaltung der Energie.

Unser Jahrhundert hat keinen Satz aufgestellt, welcher die Erkenntnis der Menschen mächtiger gefördert hätte, als der Satz von der Erhaltung der Energie. Es lässt sich damit nur der analoge Satz vergleichen, welcher seit Anfang unseres Jahrhunderts an der Spitze der chemischen Forschung steht, der Satz von der Erhaltung der Materie. Es muss der Zukunft vor-

bekommen bleiben, festzustellen, ob die beiden Sätze nicht identisch sind und nur wegen der mangelhaften menschlichen Erkenntnis als zwei verschiedene Sätze aufgefasst werden.

Eine dunkle Ahnung von der Giltigkeit dieses Satzes war einzelnen Männern schon zu Beginn dieses Jahrhunderts aufgestiegen. Daher die Gegnerschaft derselben gegen die Contacttheorie Voltas. Die Schöpfer der chemischen Theorien überlegten ganz richtig, dass es ungereimt ist, durch blossen Contact, also aus Nichts eine Kraft entstehen zu lassen, welche zur Ausübung von allerlei mechanischen Wirkungen benützt werden kann. Niemand hat deutlicher als der englische Arzt Roger zehn Jahre noch vor Faraday diesem Gedanken Ausdruck gegeben. Freilich als bloßen philosophischen Satz ohne auf irgend welche Versuche sich stützen zu können. Erst Faraday brachte ihn durch seine vielfachen Versuche, Kräfte auf andere Formen zu bringen, dem allgemeinen Verständnisse näher.

Noch deutlicher trat dieser Gedanke hervor nach dem Bekanntwerden der Theorie der Dampfmaschine von dem berühmten Sadi Carnot 1824. Clapeyron hat 1834 die Principien in Carnot's Arbeit klarer gefasst und Seguin auf Grund dieser Auseinandersetzungen gezeigt, dass bei Maschinen, welche Arbeit leisten, stets Wärme verloren geht.

Die Versuche Faradays konnten der Ausgangspunkt sein, um das Princip von der Erhaltung der Kraft festzustellen, und es wurde auch dieser Weg eingeschlagen von einem der Begründer dieses Satzes. Allein nicht diese Versuche waren der unmittelbare Anstoss und sie führten auch nicht zuerst zur Aufstellung des genannten Princips. Es waren das vielmehr diejenigen Versuche, welche schließlich über das Wesen der Wärme entschieden.

Der erste war Thompson, bekannter unter dem Namen Graf Rumford, welcher die Unmöglichkeit nachwies, die Wärme als Stoff anzusehen. Thompson Benjamin, geboren 1753 zu Rumford in Amerika, besuchte das Collegium in Cambridge in seiner Heimat und kämpfte beim Ausbruche des Unabhängigkeitskrieges auf der Seite der Engländer. Nach dem Friedensschlusse kam Thompson nach England und von hier nach Deutsch-

land, wo er in die Dienste des Kurfürsten von Bayern trat. Hier war er auf verschiedenen Gebieten, auf allen zum Segen des Landes thätig. Dafür wurde er vom Kurfürsten zum Grafen von Rumford ernannt. Später kam er nach Paris und starb in der Nähe desselben 1817. Thompson bemerkte beim Kanonenbohren in München 1798, dass die Temperatur des Metalls bei 960 Umdrehungen des Bohrers von  $60^{\circ}$  auf  $130^{\circ}$  Fahrenheit stieg. Nach der damaligen Ansicht über das Wesen der Wärme konnte diese Erscheinung nur dadurch erklärt werden, dass der Wärmestoff aus den Metallspähnen herausgepresst wurde. Dann aber musste die specifische Wärme derselben eine andere geworden sein. Thompson fand aber, dass sie dieselbe war wie bei einem ungebohrten Metallstück. Von da konnte also die Wärme nicht kommen, welche die Temperatur des Metalls erhöhte. Um festzustellen, ob sie nicht aus der Luft stamme, wurde ein zweiter Versuch so angeordnet, dass die Luft vollständig abgesperrt und das Rohr vom Wasser umgeben war. Nachdem  $2\frac{1}{2}$  Stunden gebohrt wurde, war die Temperatur des Wassers auf  $212^{\circ}$  Fahrenheit gestiegen und es begann zum Erstaunen aller Anwesenden zu sieden. Es war unmöglich, nach diesen Versuchen noch weiter der Stofftheorie der Wärme zu huldigen. Die Versuche konnten vielmehr nur erklärt werden, wenn man die Wärme als eine Bewegungserscheinung ansah, indem durch die Bewegung des Bohrens zunächst die Moleküle des Rohrs und durch diese die Moleküle des Wassers in Bewegung kommen. Thompson hat daher auch als der erste diese Ansicht aufgestellt. Denn wenn auch Baco von Verulam und andere schon früher gegen die Stofftheorie der Wärme auftraten, so war es doch nur eine in der Erfahrung unbegründete Vermuthung. Erst Thompson lieferte einen experimentellen Beweis dafür. 1812 hat Davy seinen bekannten Eisversuch ausgeführt. Es geschah dies eben, um Thompsons Ansicht zu prüfen. Da die Eisstücke im luftleeren Raume gerieben wurden, so konnte auch hier die zum Schmelzen nothwendige Wärme nicht aus der Luft stammen. Da ferner diejenigen Körper, welche mit dem Eise in Verbindung waren, keine höhere Temperatur hatten als das Eis selbst, so konnte auch von da die Wärme nicht

kommen. Sie entstand somit durch das Reiben. Davy zögerte nicht, daraus den Schluss zu ziehen, dass die mechanische Bewegung des Reibens sich unmöglich in einen Stoff verwandeln könne, es sei vielmehr nur möglich, dass eine andere Bewegung an ihre Stelle trete. Daher sei die Wärme eine Bewegung der Moleküle. Doch haben sich weder Davy noch Thompson über die Art der Bewegung, wie sie im Capitel 26 dargelegt wurde, ausgesprochen. Dies geschah erst viel später durch Clausius in seiner Darstellung der Aggregatzustände.

Durch die Versuche Thompsons und Davys war ein imponderabler Stoff aus der Welt geschafft. Durch Young und Fresnel geschah dasselbe mit dem Lichtstoff. Bald folgten die Versuche Melonis und Knoblauchs, durch welche die strahlende Wärme mit dem Lichte identificiert wurde, indem alle Gesetze, welche für das Licht galten, auch für diese nachgewiesen wurden. Die Versuche Faradays, bei welchen durch Bewegung eines Magnetes galvanische Ströme entstanden, ferner die Polarisationssebene des Lichtes gedreht wurde u. s. w. zeigten eine Beziehung zwischen Elektrizität und Magnetismus einerseits, zwischen dem letztern und dem Lichte andererseits. Durch alle diese That-sachen befestigte sich immermehr die Ansicht von der Verwandelbarkeit der Naturkräfte ineinander, so dass sie nun einen unverlierbaren Theil der menschlichen Erkenntnis bildet. Damit war aber der Satz von der Erhaltung der Kraft noch nicht gegeben, denn es fehlte der Beweis, dass ebenso viel von der einen Kraft verschwindet als von der andern zum Vorschein kommt. Erst wenn diese Äquivalenz bewiesen war, konnte der Satz mit voller Klarheit erkannt werden.

Es waren zwei Männer, in deren Bewusstsein nahezu gleichzeitig der Gedanke Raum fasste, dass diejenigen Beträge der Kräfte, welche ineinander verwandelbar seien, einander äquivalent sind. Der erste von ihnen, welcher diesen Gedanken bekannt machte, war Julius Robert Mayer. Derselbe kam als der Sohn eines Apothekers 1814 in Heilbronn zur Welt. Er studierte zu Tübingen, München und Wien die Medicin und trat nach Vollendung der Studien in holländische Dienste. Nach Heilbronn zurückgekehrt, beschäftigte er sich mit der Ausübung

seiner ärztlichen Thätigkeit und mit den Wissenschaften. Er starb daselbst 1878.

Seine erste Arbeit über das in Frage stehende Prinzip veröffentlichte Mayer 1842 in den Annalen der Chemie und Pharmacie, da Poggendorff die Aufnahme derselben in seine Zeitschrift verweigerte. Sie führt den Titel „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel.“ In dieser Abhandlung betrachtet Mayer besonders die Umwandelbarkeit der Wärme in Bewegung und berechnet auch den numerischen Wert des mechanischen Äquivalentes der Wärme aus den damals bekannten Versuchen. Seine Arbeit war um so verdienstvoller, da er aus der Bewegung der Menschen und Thiere und der im Innern aus der Nahrung entstehenden Wärme seine Beziehung fand. Später benützte er auch die Bewegung der sog. Holländer in den Papierfabriken, um das mechanische Äquivalent zu finden. Die Arbeit blieb ganz unbeachtet, und man wollte Mayers Verdienste auch dann nicht anerkennen, als er 1845 denselben Gedanken mit voller Klarheit und mit größerem Nachdrucke wiederholte. Wohl aber war die Welt in Erstaunen gesetzt und zögerte nicht einen Augenblick, ihre Aufmerksamkeit der neuen Wahrheit zuzuwenden, als sie von England aus nach Deutschland gelangte. Dort war es Joule, welcher die Bedeutung des Satzes nicht nur vollständig erkannte, sondern auch durch vielfache Versuche die Äquivalenz zu finden bestrebt war. Joule Prescott, geb. 1818 zu Salford bei Manchester, war daselbst Brauereibesitzer, beschäftigte sich aber auch vielfach mit physikalischen Wissenschaften. Besonders suchte er den Elektromagnetismus als bewegende Kraft in Anwendung zu bringen und stellte zu diesem Zwecke Versuche an. Schon 1840 war er in der Lage, der Royal Society über die Beziehung zwischen der Wärme und den galvanischen Strömen zu berichten. Das war das bekannte nach ihm benannte Gesetz, welches die Wärmemenge im Schließungskreise in Abhängigkeit von der Stärke des Stromes und dem Widerstande angibt. Da er Inductionsströme benützte, welche durch Rotation von Magneten erzeugt wurden, so kam er auf den Gedanken, einen numerischen Wert zwischen der mechanischen Arbeit und der dadurch erzeugten Wärme

ausfindig zu machen. Schon 1843 konnte er der British Association „Über Wärmewirkungen von Magnetelektricität und über den mechanischen Wert der Wärme“ vorlesen. So war der Satz von der Erhaltung der Kraft hier abermals zum Ausdruck gekommen und bildet seither ein bleibendes Eigenthum der Wissenschaft. Auf zwei verschiedenen Wegen wurde derselbe erschlossen. Mayer gieng von ihm als Obersatz aus und untersuchte, ob die einzelnen Erscheinungen damit übereinstimmen. Joule aber suchte in jedem einzelnen Falle, den numerischen Wert festzustellen und gelangte so zum obersten Princip. Es haben wohl auch die verschiedenen Wege dazu beigetragen, dass Mayers Verdienste nicht die gerechte Anerkennung gefunden haben. Denn die deductive Methode, welche Mayer anwendete, war bei den Physikern infolge der Verirrungen der Philosophie, die sich ebenfalls dieser Methode bediente, unbeliebt, während der inductive Weg Joules ihren Beifall fand. Es mag auch der Umstand für Mayer ungünstig gewesen sein, dass er während einer Krankheit im Delirium sich aus dem Fenster des zweiten Stockes stürzte. Als Folge des Sturzes blieb ihm eine hochgradige Nervosität zurück, welche ihn vielfach in den Ruf brachte, dass er wahnsinnig sei. Gleichwohl scheint mir, dass Mayers Verdienste auch noch heute nicht hinreichend gewürdigt werden.

Joule hat auf Wunsch der britischen Naturforschergesellschaft seine vielfach variirten Versuche und Messungen wiederholt, um einen endgiltigen Wert für das mechanische Äquivalent der Wärme festzustellen. Das ist derjenige, welcher gegenwärtig in allen Lehrbüchern angeführt wird. Joule starb 1889.

Wie alle großen Wahrheiten hat auch das Gesetz von der Erhaltung der Kraft nicht bald Anerkennung gefunden. Ja, es fehlt auch heute nicht an Gegnern desselben. Der Hauptgrund dessen dürfte hauptsächlich darin zu suchen sein, dass es noch nicht auf allen Gebieten der Physik erwiesen ist. Einige haben die Giltigkeit desselben deshalb bestritten, weil es als ein allgemeines Gesetz für das Weltall aufgestellt wurde.

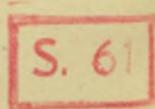
1847 hat Helmholtz es unternommen in seiner Abhandlung „Über die Erhaltung der Kraft“ den Satz mathematisch zu be-

arbeiten. Von Helmholtz Hermann Ludwig Ferdinand, geboren 1821 zu Potsdam als Sohn eines Gymnasiallehrers, studierte Medicin in Berlin und wurde 1842 Assistenzarzt an der Charité. 1848 erhielt er an der Kunstakademie in Berlin die Professur der Anatomie. Vom Jahre 1849 bis 1871 war er Professor der Physiologie in Königsberg, Bonn und Heidelberg. 1871 wurde er zum Professor der Physik in Berlin ernannt. Gegenwärtig ist er Director der physikalisch-technischen Reichsanstalt. Seine kürzeren Arbeiten sind in den „Wissenschaftlichen Abhandlungen“ erschienen. Seine bedeutendsten physiologischen Werke sind „Die Lehre von den Tonempfindungen“ und „Die physiologische Optik.“ Helmholtz hat auf Grund seiner mathematischen Deductionen dem Satze „von der Erhaltung der Kraft“ folgende Fassung gegeben: „In allen Fällen der Bewegung freier materieller Punkte unter dem Einflusse ihrer anziehenden und abstoßenden Kräfte, deren Intensitäten nur von der Entfernung abhängig sind, ist der Verlust an Quantität der Spannkraft stets gleich dem Gewinn an lebendiger Kraft, der Gewinn der ersteren dem Verlust der letzteren. Es ist also stets die Summe der vorhandenen lebendigen und Spannkraft constant.“ Die Benennung „lebendige Kraft“ rührt von Leibnitz her. Später wurde statt Kraft das Wort „Energie“ eingeführt. Es hat nämlich Young schon viel früher den Vorschlag gemacht, dass eine bestimmte Arbeitsfähigkeit Energie genannt werde. Da man bei der Umwandlung der Kräfte eigentlich niemals mit Kräften, sondern mit deren Wirkungen, also einer Arbeit zu thun hat, da ferner das Wort Kraft stets eine doppelte Bedeutung zulässt, überdiess als *primum movens* außerhalb der menschlichen Erkenntnis liegt, da schließlich nach der modernen Anschauung nirgends Kraft, sondern bloss Bewegung gegeben ist, so erhielt unser Satz allgemein die Fassung „das Princip von der Erhaltung der Energie.“ Die neueren Forschungen, besonders auf dem Gebiete der Wärme, bewegten sich fast ausschließlich innerhalb dieses Satzes. Namentlich war die Aufstellung der kinetischen Gastheorie von bedeutendem Einflusse sowohl für die Wärmelehre, als auch für die Verallgemeinerung und Erweiterung der Anerkennung unseres Principes. Joule hat schon

1851 die Grundzüge dieser Theorie aufgestellt, doch wurde sie erst von dem Gymnasialprofessor in Berlin Krönig systematisch dargelegt und in ihren Folgerungen entwickelt. Krönigs Theorie zufolge befinden sich die Gasatome in fortwährender progressiver Bewegung mit bestimmter Geschwindigkeit. Diese hängt zunächst von der Natur des Gases ab. Die lebendige Kraft der Bewegung,  $\frac{mv^2}{2}$ , wo  $m$  die Masse des Gases,  $v$  die mittlere Geschwindigkeit seiner Atome bedeutet, drückt die Wärmemenge aus, welche wir dem Gase zuschreiben. Ist  $v$  gleich Null, so heißt das nichts anderes, als dass es keine Wärme mehr hat. Dies tritt ein beim absoluten Nullpunkt, wo das Gas sich wie ein starrer Körper verhält. Das Zuführen von Wärme einer Gasmenge bedeutet nach dieser Theorie eine Vergrößerung der mittleren Geschwindigkeit der Atome und hiemit der lebendigen Kraft des Gases. Die Bewegung der Atome geschieht nicht ohne Hindernis, denn ein Atom kann entweder gegen ein anderes oder gegen eine feste Wand anprallen. Dann verhält es sich ganz wie eine elastische Kugel. Das Anstoßen gegen die Gefäßwände bildet den Druck, welcher von der Geschwindigkeit und von der Zahl der anstoßenden Atome, also von der Temperatur und der Dichte abhängig ist. Die Bewegung der Atome kann an feste Körper abgegeben werden, sich also in Bewegung von Massen umwandeln. Darin eben besteht die Transformation von Wärme in Arbeit.

Krönigs Theorie fand bald allgemeine Aufnahme, besonders waren es Clausius und Maxwell, welche dieselbe weiter entwickelten. Der erstere gab auf Grund derselben die schon früher erwähnte Theorie der Aggregatzustände.

Clausius (1822. — 1888) hat im weiteren Verlaufe seiner Arbeiten, welche in dem Werke „Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen“ erschienen, den Satz von der Erhaltung der Energie verallgemeinert, indem er dieselbe Anschauung, welche durch Joules Versuche für mehrere unserer irdischen Energieformen bewiesen wurde, auf das Weltall übertrug. Der Satz erhielt von ihm den Wortlaut: die Energie des Weltalls ist constant.



# Inhalt.

	Seite
I. Allgemeines Bild des Zustandes der Physik im Alterthume . . . . .	1
II. Die Mechanik der alten Griechen . . . . .	4
III. Die Kindheit der Optik . . . . .	9
IV. Über die ältesten Bestrebungen in der Akustik . . . . .	17
V. Was die Alten vom Magnete wussten . . . . .	22
VI. Die ersten Beobachtungen elektrischer Erscheinungen . . . . .	25
VII. Die kosmische Physik im Alterthume . . . . .	29
VIII. Der Anfang der Chemie . . . . .	36
IX. Allgemeines Bild des Zustandes der Physik im Mittelalter . . . . .	40
X. Fortschritte der Optik im 13. Jahrh.: Erfindung der Brillen . . . . .	43
XI. Erfindung des Compasses . . . . .	47
XII. Erweiterung der Kenntnisse des Magnetismus und der Elek- tricität durch Gilbert . . . . .	51
XIII. Das Wiederaufleben der Mechanik im Mittelalter . . . . .	55
XIV. Der arabische Chemiker Geber . . . . .	60
XV. Die Alchemie im christlichen Abendlande . . . . .	62
XVI. Das Zeitalter der medicinischen Chemie . . . . .	65
XVII. Optiker des 14. bis Ende des 16. Jahrhunderts . . . . .	69
XVIII. Copernicus und Tycho Brahe . . . . .	72
XIX. Allgemeines Bild des Zustandes der Physik in der Periode des Fortschrittes . . . . .	79
XX. Galilei . . . . .	85
XXI. Johannes Kepler . . . . .	103
XXII. Isaak Newton . . . . .	114
XXIII. Christian Huyghens . . . . .	130
XXIV. Evangelista Torricelli und die Erfindung des Barometers . . . . .	142
XXV. Otto von Guericke und die Erfindung der Luftpumpe . . . . .	147
XXVI. Geschichte der Wärmelehre . . . . .	154
XXVII. Die Erfindung des Thermometers . . . . .	161
XXVIII. Die Erfindung der Dampfmaschine und James Watt . . . . .	166

	Seite
XXIX. Du Fay . . . . .	173
XXX. Benjamin Franklin und die Erfindung der Blitzableiter . .	176
<u>XXXI. Allgemeines Bild der Periode der Neuzeit . . . . .</u>	<u>180</u>
XXXII. Wilke und Aepinus . . . . .	185
XXXIII. Galvani und Volta . . . . .	191
XXXIV. Young und Fresnel . . . . .	203
XXXV. Faraday . . . . .	209
XXXVI. Die Elektrizität in der Praxis . . . . .	222
XXXVII. Die Spectralanalyse . . . . .	237
XXXVIII. Die Astrophysik . . . . .	244
XXXIX. Das Princip von der Erhaltung der Energie . . . . .	251

## Namen-Register.

- Aelian 28.  
 Aepinus Franz Ulrich  
   Theodor 181, 182, 185,  
   186, 187, 189.  
 Airy 119.  
 Albert v. Bollstädt 63.  
 Albertus Magnus 63.  
 Aldini 210.  
 d'Alembert 129.  
 Alkhazini 154.  
 Ampère Andre Marie  
   182, 202, 211.  
 Anaxagoras 37.  
 Anaximenes 30.  
 Andersohn Aurel 127.  
 Angström 244.  
 Arago 182, 206.  
 Archimedes 3, 6, 13.  
 Aristoteles 1, 4, 11, 12,  
   20, 23, 27, 28, 37,  
   56, 70, 154.  
 Bacon von Verulam 80,  
   155, 253.  
 Bartolin 81, 123.  
 Barrow 115.  
 Becquerel 224.  
 Bell Graham 182, 184,  
   231.  
 Benedetti J. Baptista 59.  
 Benzenberg 77, 129.  
 Berzelius Jakob 185,  
   201.  
 Biot 211, 212.  
 Black 184.  
 Boëthius 40.  
 Bose 84.  
 Böttcher 223.  
 Boyle Robert 82, 121,  
   149, 153, 155.  
 Branco Giovanni 167.  
 Brett 230.  
 Brewster 205.  
 Brougham Henry 205.  
 Bulton Matthew 173.  
 Bunsen 182, 183.  
 Caccini 101.  
 Cagniard de lä Tour  
   183.  
 Cauchy 81, 119.  
 Canton Jolin 180, 186,  
   187.  
 Cardanus Hieronymus  
   57.  
 Carlisle 181, 199.  
 Carnot Sadi 252.  
 Cassegrain 120.  
 Cäsar Julius 28, 35.  
 Caus Salomon de 167.  
 Cavendish 184.  
 Cawley John 169.  
 Celsius Anders 166.  
 Chladni 18, 183.  
 Clairant 129.  
 Clapeyron 252.  
 Claudianus 25.  
 Clausius 194, 200, 258.  
 Cooke 227.  
 Columbus Christoph 49,  
   50.  
 Coulomb Charles Au-  
   gustin 181, 192.  
 Crookes 220, 240.  
 Cunäus 84.  
 Daguerre 182.  
 Dalton 185.  
 Daniell 182, 223, 224.  
 David 18.  
 Davy 182, 185, 199,  
   200, 201, 234, 253.  
 Delarive 182.  
 Deluc 156.  
 Demokrit 10, 37.  
 Descartes 25, 112, 121,  
   155.  
 Dioskorides 39.  
 Divisch Prokop 180.  
 Dolland 120, 182.  
 Drebell Cornelius 83,  
   162.  
 Duboscq 234.  
 Dufay 84, 173, 177, 186.  
 Edison 184, 235.  
 Ekphantus 34.  
 Empedokles 11, 137.  
 Epikur 10, 20, 24, 154.  
 Eratosthenes 31.  
 Eristarch v. Samos 32.  
 Eudoxus 32.  
 Euklides 13.  
 Euler 81, 118, 139, 141.  
 Exner 201.  
 Fahrenheit Daniel Ga-  
   briel 83, 164.  
 Faraday Michael 182,  
   185, 193, 201, 215,  
   232, 252.  
 Faure 225.  
 Flavio Gioja 49.  
 Flode Are 47.  
 Fourier 214.  
 Franklin Benjamin 84,  
   176, 189.  
 Fraunhofer 183, 241.  
 Fresnel Augustin Jean  
   81, 119, 123, 141,  
   206, 254.  
 Fugger 66.  
 Fulton Robert 183.  
 Galilei Galileo 22, 60,  
   79, 85, 114, 132, 162.  
 Galvani 181, 194.  
 Gassendi 155.  
 Gauss 194, 210, 226.  
 Gay-Lussac 185.  
 Geber 40, 60.  
 Gellibrand 50.  
 Giarfar 40.  
 Gilbert 28, 51, 52, 83.  
 Gisborne 230.  
 Glauber Johann Rudolf  
   68.  
 Govi 100.  
 Graecius Marcus 63.  
 Gramme 233.  
 Gray Stefan 83, 174, 186.

- Green 194.  
 Gregory James 119.  
 Grimaldi 81, 122, 137, 209.  
 Grothuss 199.  
 Grove 182, 224.  
 Guericke v. Otto 82, 144, 148, 162.  
 Gölcher 234.  
 Halley 146.  
 Hamilton 119.  
 Hartmann Georg 50.  
 Hausen 84.  
 Hawksber 150.  
 Hazen Al 43, 46.  
 Helmholtz 184, 224, 256.  
 Helmont Johann Baptist van 67.  
 Heraklides v. Pontus 34.  
 Heron 9.  
 Herschel John 237, 248.  
 Hertz 219.  
 Hipparch aus Nicaea 32, 76.  
 Hooke 137, 145, 149.  
 Hudson 52.  
 Huggins 248, 251.  
 Hughes 182, 228, 232, 238.  
 Humboldt Alexander von 182.  
 Huyghens Christian 81, 99, 123, 130.  
 Ingenhaus 84.  
 Israeliten 18.  
 Jabloczkoff 224.  
 Jacobi 182, 223.  
 Jamin 234.  
 Janssen 248.  
 Jansen Zacharias 97.  
 Joule Prescott 202, 255.  
 Jubal 17.  
 Kepler Johann 79, 88, 103.  
 Kirchhoff 183, 238, 242.  
 Kleist v. 84.  
 Kleomenes 11.  
 Knoblauch 183, 254.  
 Kohlrausch 200.  
 Kopp 201.  
 Kopernicus Nicolaus 43, 72.  
 Krönig 258.  
 Ktesibios 9, 26.  
 Lagrange 124, 194.  
 Laplace 156, 194.  
 Lavoisier 156, 184.  
 Leibnitz 80, 130.  
 Lenz 214.  
 Leukipp 37.  
 Lichtenberg 174, 190.  
 Liebig 185.  
 Lippershey Gans 97.  
 Livius 28.  
 Lockyer 243, 248, 250.  
 Lodygin 236.  
 Lucretius 23, 24.  
 Lully Raimund 65.  
 Mabilion 45.  
 Mach 249.  
 Malus 124, 183.  
 Manzi Mauris 121.  
 Mariotte 82, 146.  
 Mästlin Michael 104.  
 Maurolykus Franciscus 69.  
 Maxwell Clark 211, 219, 258.  
 Mayer Julius Robert 183, 254.  
 Meloni 254.  
 Melville Thomas 237.  
 Mersenne 81, 84, 103, 119.  
 Metius Jacob 97.  
 Miller 238.  
 Moleyns 235.  
 Morse 227.  
 Moses 17.  
 Negro Dal 232.  
 Newcomen 169.  
 Newton 77, 85, 134, 155, 194, 209.  
 Nicholson 202.  
 Nikander 23.  
 Nobili 210.  
 Nollet 189.  
 Normann Robert 50, 51.  
 Novara Domenico Maria 72.  
 Oerstedt Frau Christian 182, 210.  
 Ohm Georg Simon 182, 214.  
 Osterwald 180.  
 Pacinotti 233.  
 Page 228.  
 Paolo Marco 49.  
 Papin Denis 82, 150, 167.  
 Papst Gregor 36.  
 Paracelsus Philippus Teophrastus 66.  
 Paravay 27.  
 Parrot 201.  
 Pascal 145.  
 Peltier 214.  
 Perier 145.  
 Pixii 232.  
 Plantè 225.  
 Plattner 240.  
 Platon 11, 23, 24, 27.  
 Plinius d. Ältere 15, 16, 23, 27, 28, 39.  
 Plutarch 24, 27.  
 Poincot 206.  
 Poisson 194.  
 Porta 71, 166.  
 Posidonius 32, 33.  
 Potter Humphry 180, 201.  
 Priestley 184.  
 Ptolomäus Claudius 16, 21, 33.  
 Pytheas 34.  
 Pythagoras 11, 19, 30.  
 Rayet 248.  
 Réaumur René Antoine de 165.  
 Reich 240.  
 Reis 231.  
 Renaldini Carbo 164.  
 Richer Jean 133.  
 Richter 185, 240.  
 Ritter 224, 225.  
 Rive De la 223.  
 Roger Bacon 41, 44, 45, 64.  
 Roger 201, 252.  
 Romagnosi 210.  
 Römer Olaf 81.  
 Ross James 182.  
 Ross John 182.  
 Rumford 161, 252.  
 Ruhmkorff 236.  
 Salviano degli Armati 46.  
 Savart 183, 211.  
 Savery Thomas 168.  
 Scheele 182, 184.  
 Schelling 119.  
 Scheibler 184.  
 Scheiner 113.  
 Schilling 226.

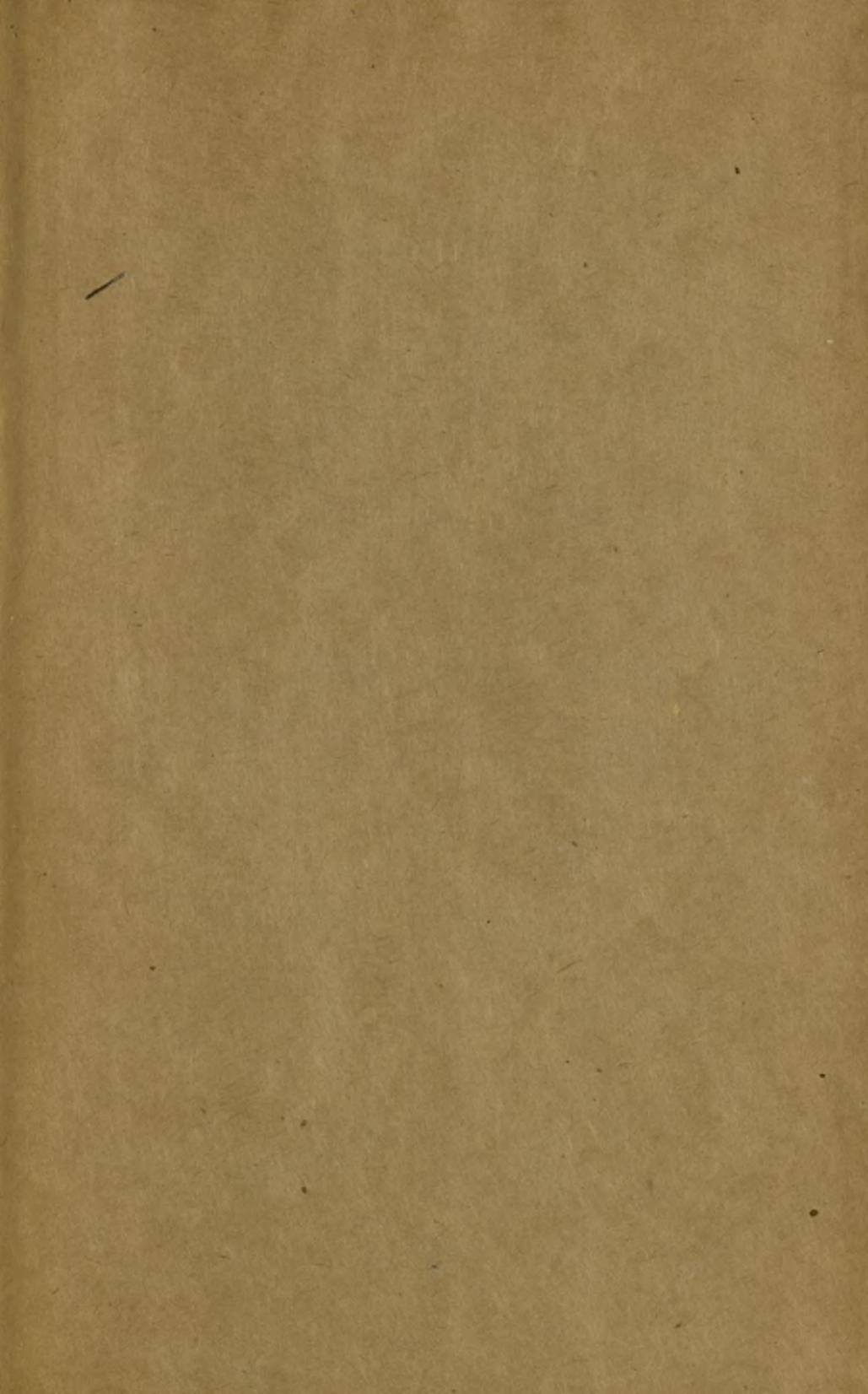
- Schönbein 185, 224.  
 Schweigger 210.  
 Seebeck 182, 214.  
 Secchi P 245, 246, 251.  
 Seguin 252.  
 Seneca 13, 14, 27, 28, 34.  
 Senguerd 150.  
 Serrain 234.  
 Siemens & Halske 228.  
 Siemens 233, 234.  
 Skribonius Largus 28.  
 Snell Willebrord (Snellius) 81, 112.  
 Soemmering 226.  
 Sosigenes 35.  
 Spencer 182, 223.  
 Spina Alexander de 46.  
 Steinheil 226, 228.  
 Stephenson 183.  
 Stevin Simon 57.  
 Stöhrer 228.  
 Stokes 244.  
 Strabo 35.
- Swan 235, 238.  
 Sylvius Franz 68.  
 Symmer Robert 181, 189.  
 Talbot Fox 183, 237.  
 Tartaglia Nicola 56.  
 Taylor 85.  
 Tennaut 248.  
 Thales 24, 25.  
 Theodorich 69.  
 Theophrast 25, 39.  
 Thompson Benjamin 252.  
 Toricelli Evangelista 82, 103, 142.  
 Trithemius 66.  
 Tycho Brahe 43, 75, 76, 106, 128.  
 Tyndall 215.  
 Ubaldi Guido 57.  
 Ubaldo del Monte 86, 87.  
 Vinci Leonardo da 55, 72.  
 Vitellio 44.  
 Vitruvius 20.  
 Viviani 103, 144.
- Volta Alexander 181, 191, 196, 213.  
 Wach 223.  
 Walsh 181, 194.  
 Watt James 82, 171.  
 Watson 84, 180.  
 Weber 184, 218, 226.  
 Weiss 248.  
 Wenzel 185.  
 Wheatstone 227, 239.  
 Wheeler 84.  
 Whewell 201.  
 Wilke, John, Carl, 181, 185, 187, 189, 190.  
 Winkler 84.  
 Wolf Christian Freiherr von 155.  
 Wollaston 240.  
 Worcester Marquis v. 167  
 Young Thomas 81, 118, 122, 141, 203, 254.  
 Zöllner 248, 250.  
 Zucchi 81, 119.



6-8

0









BIBLIOTEKA GŁÓWNA  
Politechniki Krakowskiej

I 25192

PL Stan. 1200/73 - 100000 egz.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296960