

Die gegenseitige Massenanziehung bei Newton und bei seinen Nachfolgern.

Von

H. Fritsch.

Beilage zum Bericht über das städtische Realgymnasium zu Königs-
berg i. Pr. Ostern 1909.



Königsberg i. Pr.

Hartungsche Buchdruckerei.
1909.

1909. Progr. Nr. 19.

9/40
29 (1909)

1909



Inhalt.

	Seite
1. Newton in Lange's Geschichte des Materialismus	3
2. Newton als Schüler des Baco von Verulam	4
3. Die Zerlegung des weissen Lichts	5
4. Die Aufstellung des Begriffes von der Massenanziehung	9
5. Anwendung auf die Betrachtung der Flutwelle	13
6. Gegensatz zwischen Newton und seinen englischen Mitarbeitern	15
7. Mißglückte Versuche zu einer Ableitung der Gravitation	20
8. Die Auffassung der Gravitation im übrigen Europa	25
9. Die Lehre von der Elastizität	27
10. Die kleinsten Teilchen des Weltäthers	32

1.

In seiner „Geschichte des Materialismus“ (Iserlohn, Bädeker, 3. Aufl. 1876, 77) bespricht Lange ausführlich die auffallende Änderung, die an Newtons Auffassung der Massenanziehung durch seine Nachfolger durchgeführt worden ist; er sagt dazu — Buch I S. 263 Zeile 16 — „so verwechselt man wieder dasjenige, was uns seit Kant und Voltaire als die Lehre Newtons geläufig ist, mit Newtons wirklicher Ansicht von diesen Dingen.“ Von dieser Verwechslung stellt Lange dann fest, dass durch sie für die seitdem verflossenen zwei Jahrhunderte jeder Fortschritt in der Frage der Massenanziehung unmöglich gemacht worden ist; auch deutet er — Buch II S. 202 Zeile 4 und 13 — richtig auf die Frage nach der Elastizität der Atome als die Schwierigkeit hin, durch die Newton verhindert wurde, sich nachdrücklich gegen jene Verwechslung zu wehren; im Gegensatze hierzu geben aber andere Stellen bei Lange — Buch I S. 259 Zeile 11 von unten, S. 274 Zeile 17, S. 288 Zeile 18 — den Eindruck, als sei es bei Newton ein Zeichen seines schon eingetretenen geistigen Verfalles, dass er nicht mit voller Kraft gegen jene Verwechslung eingeschritten ist. Nun haben doch Newtons Principia Mathematica für die heutige Physik tatsächlich die überall verwendete Grundlage geliefert; entstehen also über die Zuverlässigkeit der in ihnen durchgeführten Überlegungen irgend welche Bedenken, dann wird damit gleichzeitig auch der ganze Boden unserer jetzigen Physik unsicher; nicht abzuweisen ist deshalb die Frage: Was hat Newton mit Bezug auf die gegenseitige Massenanziehung tatsächlich festgestellt, in welchen wesentlichen Überlegungen weichen seine Nachfolger von ihm ab?

2.

Durch welche Anregungen Newton zu seinen physikalischen Arbeiten veranlasst worden ist, dafür liegt der Nachweis geschichtlich vor. Im Jahre 1620 hatte Baco von Verulam in seinem *Novum Organum* der menschlichen Wissenschaft die neue Aufgabe gestellt, die Herrschaft über die Welt zu gewinnen durch Erwerbung vollständiger Kenntnis ihres Wesens in allen Einzelheiten. Eine solche Kenntnis ist nur zu erreichen durch Beobachtung der Wirklichkeit in allen ihren Erscheinungen und in planmässig angestellten Versuchen. Wie diese Beobachtungen und Versuche einzurichten sind, wie man durch Zusammenfassen ihrer Ergebnisse allgemein gültige Sätze finden kann, dafür hatte Baco eine Reihe von Vorschlägen gemacht und für einzelne Fragen — z. B. über das Wesen der Wärme — die wirkliche Ausführung so weit gefördert, wie die vorhandenen Hilfsmittel es ihm erlaubten. Freilich verlangt die für das unendliche Gebiet der ganzen Welt gestellte Aufgabe die Mitarbeit unendlich vieler Helfer; Baco hat sich daher auch niemals eingebildet als Erster und Einzelner für die von ihm angeregte Arbeit schon ein merkliches Ergebnis liefern zu können; mit vollem Vertrauen erwartet er vielmehr die wirkliche Ausführung seiner Vorschläge erst von dem auf ihn folgenden Geschlechte; in diesem Vertrauen hat er bekanntlich sich nicht getäuscht. Baco stirbt am Ostersonntage 1626; im folgenden Januar wird Boyle geboren, der sein ganzes Leben der neuen Baconischen Wissenschaft widmet; mit ihm wetteifert der um acht Jahre jüngere Robert Hooke; ihre glänzendste Erfüllung finden endlich die Erwartungen Bacos in den Arbeiten des 1643 geborenen Newton.

Schon bei seinem ersten Auftreten auf dem Gebiete der Physik erscheint Newton als überzeugter Anhänger der neuen Wissenschaft; zwar nennt er nirgends den Namen Bacos, die neue Lehre setzt er aber so sehr als völlig bekannt und anerkannt voraus, dass er z. B. den in ihr zuerst vorgeschlagenen Kunstaussdruck *experimentum crucis* ohne irgend welche Erklärung als allgemein bekannt verwendet; auch schliesst er seine neuen Überlegungen unmittelbar an die im *Novum Organum* angefangenen Betrachtungen an. Im Apho-

rismus 22 Buch II werden die *instantiae solitariae*, „eigenartige Beispiele“, behandelt; hier werden für die Frage nach dem Wesen der Farben die Prismen angeführt, die mit den die dauernden Farben zeigenden anderen Körpern nichts weiter gemeinsam haben, als eben nur die durch sie hervorgerufenen Farben. Hier wird gefolgert, dass die Farbe nur eine Veränderung des aufgefallenen und eingedrungenen Lichtes sein kann, die durch die Verschiedenheit der Einfallswinkel veranlasst wird; weiter kann Baco hier nicht vordringen. An dieser Stelle nun setzt Newton mit seinen Beobachtungen und Folgerungen ein. Er begnügt sich nicht mit der Beobachtung der verschiedenen Einfallswinkel; er misst vielmehr auch den zu jedem Einfallswinkel gehörenden Brechungswinkel; er stellt dadurch fest, dass die verschiedenfarbigen Strahlen bei genau gleichen Einfallswinkeln immer verschiedene Brechungswinkel haben; er folgert hieraus, dass die Wesensverschiedenheit der Farben einen inneren Zusammenhang haben muss — nicht, wie Baco meinte, mit der Verschiedenheit der Einfallswinkel sondern — mit der Verschiedenheit ihrer Brechungskoeffizienten. Diese einfache Tatsache ist der ganze Inhalt dessen, was Newton als erstes Ergebnis seiner Untersuchungen über das Wesen der Farben in den Verhandlungen der Königlichen Gesellschaft zu London im Februar 1672 veröffentlicht hat; und doch bildet diese Veröffentlichung den Grenzstein einer neuen Zeit in der Geschichte der Physik.

3.

Newton hat seine Untersuchungen zur Farbenlehre zwar unternommen im Anschlusse an die im *Novum Organum* gegebenen Anregungen und als eifriger Schüler der dort entwickelten Lehre; so wie es aber zur wirklichen Ausführung kommt, da zeigt sich sofort, wie weit der Schüler Newton seinen Lehrer Baco überragt an Sachkenntnis und Herrschaft über die Hilfsmittel. Baco muss aus der unendlichen Fülle der Einzelerrscheinungen z. B. für seine Wärmelehre sich mühsam lange Reihen zusammenstellen, um aus ihnen mit Hilfe seines ausschliessenden Verfahrens sehr umständlich seine Folgerungen zu ziehn, Newton dagegen nimmt für seine Farbenlehre aus allen ihm geistig vorschweben-

den Einzelheiten mit sicherem Griffe nur jene sich auszeichnenden Tatsachen heraus, die es ihm ermöglichen, den zu behandelnden Gegenstand so von allen Seiten her zu begrenzen, dass er hier auf dem Gebiete der Beobachtungstatsachen zu eben so strengen und allgemeingültigen Schlüssen kommt, wie auf dem Gebiete der Mathematik. Von Baco wird ferner die Anstellung neuer Versuche zwar immer wieder empfohlen, er selbst lässt sich aber auf die Ausführung nicht gerne ein, denn dafür ist er durchaus nicht genug Fachmann. Newton dagegen verwendet zwar zu seinen Versuchen für die Farbenlehre nur die schon im *Novum Organum* empfohlenen Prismen, er bringt es aber bei seinen Beobachtungen an dieser einfachen Vorrichtung zu einem so hohen bis dahin nie erreichten Grade der Genauigkeit und Zuverlässigkeit, dass für alle Sachverständigen die Frage nach der Wesensverschiedenheit der Farben in dem von Newton behandelten Umfange damit endgültig abgetan ist. So kommt denn auch Baco bei seiner ersten „Erndte“ (Buch II aph. 20) über das Wesen der Wärme zwar zu dem wichtigen Schlusse, dass das Wesen der Wärme in einer Bewegung der kleinsten Massenteilchen bestehe; wie viel aber diesem Ergebnisse noch an Sicherheit fehlt, das zeigt sich deutlich in dem wiederholt ausgesprochenen Verlangen nach weiteren Versuchen. Für Newton ist dagegen bei seiner ersten Erndte über das Wesen der Farben keine Rede mehr von weiteren Versuchen; die von ihm gegebenen Tatsachen entscheiden so zweifellos für die verschiedene Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Strahlen, dass seine Farbenlehre ebenso strenge abgeleitet erscheint, wie etwa der Euklidische Beweis des Pythagoreischen Lehrsatzes; das von Baco in weitschweifiger Gedankenarbeit mühsam ausgekünstelte Verfahren der vollständigen Induktion findet eine in dieser Vollendung kaum von Baco selbst gehoffte Durchführung in der Ableitung Newtons.

Gerade aber diese in ihrer Art vollendete Ableitung Newtons hat nach zwei Richtungen hin sehr auffallende und schädliche Folgen gehabt.

Erstens führt Newton seine Überlegungen mit dem sicheren Selbstbewusstsein durch, dass er auf seine Ableitungen sich in jedem Punkte verlassen kann; er ist

in seiner gründlichen Kenntnis des neuen Induktionsverfahrens fest davon überzeugt, dass er für jeden einzelnen Gedanken, ja sogar für jedes Wort seiner Darstellung die Bürgschaft übernehmen kann; freilich setzt er bei seinen Lesern dieselbe genaue Kenntnis des neuen Baconischen Verfahrens voraus, wie sie ihm selbst innewohnt. Wo demnach diese Voraussetzung nicht erfüllt war — wie z. B. bei den gleichzeitigen Physikern Frankreichs — da musste die Newtonsche Darstellung unverständlich erscheinen; wenn dann einer dieser Ausländer einen Punkt der Newtonschen Ableitung angreift oder um genauere Auskunft bittet, dann verweist Newton entweder auf die Zuverlässigkeit des neuen Verfahrens oder er fordert zu genauer Wiederholung der von ihm angestellten Grundversuche auf. So gewinnt zwar Newton für seine Farbenlehre die Zustimmung seiner englischen Zeitgenossen, die wohl alle als Kenner und Anhänger der neuen Lehre gelten wollten, von seiten dagegen der französischen Zeitgenossen erfährt Newton fast einstimmige Ablehnung, an der zur Zeit des „Sonnenkönigs“ das Selbstbewusstsein des ruhmreichen Staatsbürgers merklichen Anteil gehabt haben mag. Diese verschiedenen Auffassungen der Farbenlehre erhalten sich neben einander etwa 20 Jahre hindurch; da tritt aber Newton mit einer neuen viel glänzenderen Leistung, mit seiner allgemeinen Gravitation überwältigend vor die wissenschaftliche Welt, und von jetzt ab ist auch in Frankreich kein weiterer Widerstand gegen seine Farbenlehre mehr möglich; jetzt aber tritt für ihre Auffassung eine zweite viel bedenklichere Erscheinung ein.

Man hatte in Frankreich so lange die Newtonsche Farbenlehre abgewiesen, weil man ihre auf das Baconische Verfahren begründete Ableitung nicht verstand. Jetzt war man bereit die neue Farbenlehre anzunehmen, weil es nicht mehr möglich schien dem überwältigenden Ansehen Newtons zu widerstehn; man war aber durchaus nicht geneigt dieser einen Farbenlehre wegen auch das langweilige und dabei anspruchsvolle *Novum Organum* des längst verstorbenen Kanzlers nur deshalb genau durchzuarbeiten, weil nach der Behauptung der Engländer dieses *Novum Organum* die unentbehrliche Grundlage jener Farbenlehre sei. Newton selbst schien

doch nicht mehr so vollständig von Baco abhängig sich zu fühlen; seine neueste grosse Arbeit, die Principia Mathematica, lieferte im Buch I Seite XIV eine Ableitung für Spiegelung, Brechung und Beugung des Lichts, die strenge mathematisch aus der einen Annahme sich ergab, dass je zwei Massenteilchen immer auf einander eine Anziehung ausüben. Hier war von Baconischer Induktion keine Spur mehr zu erkennen, hier wurden nur streng mathematisch aus scheinbar zulässigen Annahmen die notwendigen Folgerungen gezogen; diese Folgerungen lieferten genau dieselben Gesetze, die man bisher aus der Beobachtung gefunden hatte, und man meinte deshalb mit Newton in dieser Übereinstimmung die Richtigkeit der vorher gemachten Annahmen bewiesen zu haben. Dass spätere Beobachtungen für die Brechung des Lichts die Unzulässigkeit der Newtonschen Ableitung ergeben würden, das konnte man damals noch nicht voraussehen, und so entschloss man sich denn nicht nur die Newtonsche Ableitung der Farbenzerstreuung als richtig anzuerkennen, sondern man überliess sich, wo es sich um die Lehre vom Lichte handelte, bedingungslos der sachkundigen Führung Newtons für alle auf diesem Gebiete noch zweifelhaften Fragen.

Newton selbst hat sich, wie er nur konnte, gegen diese blinde Nachfolge gewehrt. Er hat fünfzig Jahre lang sich mit den verschiedensten das Licht betreffenden Fragen beschäftigt; er hat sich auch nicht gescheut über ihm wichtig erscheinende Punkte seine Ansicht auszusprechen, auch wenn er noch nicht es bis zu einem abschliessenden Urteile gebracht hatte; immer hat er aber in solchen Fällen jede Vermutung auch nur als eine solche ausgesprochen; nie ist es ihm eingefallen irgend etwas als richtig auszugeben, während er es nur für wahrscheinlich hält. Die Mehrzahl seiner Nachfolger hat solche Bedenken nicht gekannt. Sie haben z. B. als Lehre Newtons unter anderem auch die Emanation in alle Welt hinaus verkündet, und doch erwähnt Newton diese Emanation nur als eine neben andern mögliche Art der Vorstellung, die ihm persönlich freilich die bequemste ist. Für Newton ist seine Arbeit über die Farbenzerstreuung nur eine auf diesem Gebiete gewonnene „erste Erndte“, genau in

dem Sinne, den Baco Buch II aph. 20 diesem Worte beilegt; er hat dann sein ganzes Leben hindurch zwar an der weiteren Behandlung desselben Gegenstandes gearbeitet, zu einer neuen „Erndte“ auf diesem Felde ist er aber nicht mehr gelangt; trotz der eifrigsten dauernden Anspannung — z. B. für Farben dünner Blättchen, Beugungserscheinungen usw. — hat er keinen wirklichen Erfolg mehr gehabt; dieselben Hindernisse, die er für die Frage der Gravitation immer wieder vorfindet und erwähnt, sie haben ihn auch bei seinen Untersuchungen über das Wesen des Lichts aufgehalten, und erst Young hat nach Verlauf eines Jahrhunderts für seine Arbeiten die Fortsetzung geliefert.

4.

Zu unvergleichlich bedeutenderen Ergebnissen als bei der Farbenlehre gelangt Newton auf seinem zweiten Arbeitsgebiete, bei dessen Behandlung er sich wieder unmittelbar an das *Novum Organum* anschliesst.

Bei Behandlung seiner „Wegweiserbeispiele“ — *instantiae crucis*, Buch II aph. 36 — behandelt Baco unter 3 die Frage nach dem Wesen der Schwere und schlägt folgenden Versuch vor: Man nehme eine durch Gewichte betriebene Uhr und dazu eine zweite, die durch eine gespannte Feder bewegt wird; man gleiche sie so mit einander aus, dass sie genau gleich schnell gehen. Dann bringe man die durch Gewichte bewegte Uhr auf das Dach eines hohen Hauses, die andere lasse man unten; man beobachte nun genau, ob die oben stehende Uhr wegen einer Verminderung der Schwere langsamer gehe; denselben Versuch stelle man in einem tiefen Bergwerk an; durch diese Versuche wird man feststellen können, ob die Ursache der Schwere in einer Anziehung durch die Masse der Erde begründet ist. Hätte Baco diesen Versuch wirklich angestellt, dann würde er die erwartete Erscheinung kaum beobachtet haben. Die durch Federn betriebenen Uhren mögen damals für eine so feine Messung schon genau genug gewesen sein; die anderen dagegen, die durch fallende Gewichte betriebenen, konnten unmöglich die für einen solchen Vergleich erforderliche Genauigkeit schon haben, da bei ihnen die Hemmung nur durch Reibung oder durch Luftwiderstand von Flügeln

rädern wie bei den Schlagwerken unserer Wanduhren erzielt wurde. Der so geistreich und tatsächlich entscheidend ausgedachte Versuch ist vielmehr erst möglich geworden 45 Jahre nach dem *Novum Organum*, durch die Einhängung eines Pendels in eine genau gearbeitete Uhr; diese konnte dann freilich ebenso gut durch Federn wie durch Gewichte betrieben werden, denn der vermutete Einfluss der Veränderung der Schwere macht sich ja dann sicher schon am Pendel geltend. Dieser Versuch ist bekanntlich nach Erfindung der Pendeluhr auch wirklich mit dem von Baco vermuteten Erfolge ausgeführt, und Newton verwendet das Ergebnis in der Definition VII am Anfange seiner *Principia Mathematica*.

An anderen Stellen behandelt Baco die Erscheinung der Ebbe und Flut; ausser einer eingehenden Aufzählung der Tatsachen findet sich in aph. 45 der Hinweis darauf, dass diese Erscheinung wohl durch eine Anziehung hervorgerufen werden könne, die der Mond auf das Wasser der Meere ausübe; diese selbe Anziehung wird auch in aph. 48, Abschn. 9 behandelt; wenn endlich an dieser letzten Stelle auf die Anziehung hingewiesen wird, die durch die Sonne auf die Planeten Venus und Merkur ausgeübt wird, so ist klar, dass Newton den Begriff der anziehenden Kräfte, den er am Anfange der *Principia* in den Definitionen V bis VIII behandelt, aus keiner andern Quelle zu schöpfen nötig hatte, als aus dem ihm ganz vertrauten *Novum Organum*. Auch hier aber zeigt sich deutlich, wie hoch der Schüler Newton seinen Lehrer Baco überragt. Freilich ist dieser auch nur ein Freund der gelehrten Forschung, ohne irgend welche eigentliche Fachkenntnis; hat er doch noch nicht einmal zum Verständnisse der Kopernikanischen Weltanschauung sich durchgearbeitet. Jener dagegen steht in allen hierher gehörenden Gebieten als erster da an Kenntnis und Leistungsfähigkeit; was Tycho Brahe, Kepler, Galilei, Descartes, Huygens und alle die andern hervorragenden Geister für die Wissenschaft gewonnen haben, das alles hat Newton für sich zu festem Besitze und geschickter Verwendung erworben; und soeben hat er gar ein neues Werkzeug von wunderbarer Leistungsfähigkeit zu alleinigem Gebrauch sich hergestellt; die neu erdachte Rechnung mit verschwindend kleinen Grössen befähigt ihn,

alle Erscheinungen durch ihre kleinsten nicht mehr selbst wahrnehmbaren Veränderungen hindurch genau zu verfolgen; jetzt kann er auch durch den schnellsten Wechsel der Entwicklungen hindurch aus den wahrnehmbaren Veränderungen auf die nicht mehr unmittelbar wahrnehmbaren wirkenden Ursachen schliessen; er kann z. B. bei einer von der geraden Linie abweichenden Bewegung die Grösse der diese Abweichung veranlassenden Ursache berechnen. Mit Hilfe der neuen Rechnungsart vergleicht er jetzt die im Weltenraume durch beliebig lange Zeiten erfolgenden Bewegungen unseres Mondes mit der im engen Raume eines Zimmers beobachteten Bahn einer geworfenen Kugel und erkennt bei beiden Bewegungen die gleiche Ursache für die Abweichung von der geraden Linie; die Ergebnisse einer soeben in Frankreich beendeten Gradmessung setzt er in eine seit Jahren fertig berechnete Formel ein und findet, dass dieselbe Ursache, die den Mond um unsere Erde herumführt, auch hier auf der Erde jeden frei beweglichen Körper zur Erde hinunter zwingt; jetzt sind alle Grenzen verschwunden, die bisher der menschlichen Wissenschaft durch die Beschränktheit unseres Denkens und durch die Unvollkommenheit unserer Sinne gesteckt schienen.

Der Gang der Newtonschen Überlegungen lässt sich leicht verfolgen.

Newton stellt zunächst nach dem Vorgange Galileis fest, dass für eine vorhandene Bewegung eine Erklärung nicht verlangt werden darf, so lange an ihr sich weder Richtung noch Geschwindigkeit ändert; die Behandlung einer solchen Bewegung gehört in das Gebiet der Geschichte, nicht in das der Physik. Das Bedürfnis für eine Erklärung einer Bewegung ist erst dann vorhanden, wenn an ihr eine Veränderung irgend welcher Art beobachtet wird. In der Beschleunigung eines frei fallenden Körpers hatte schon Galilei eine solche Veränderung erkannt, für die er eine ausreichende Ursache suchte und in der Wirkung der Schwere auch sicher durch genaue Beobachtung und Rechnung feststellte. Dass diese Wirkung der Schwere auf der Erde in verschiedenen Höhen verschieden gross ist, das folgt für Newton nach Definition VII der Principia aus Pendelversuchen. Diese Pendelversuche sind aber nicht genau genug, um den strengen Zusammenhang zwischen Grösse

der Schwere eines Körpers und Grösse seines Abstandes von der Erde zu zeigen; dazu muss die Beobachtung eines von der Erde weiter entfernten Körpers helfen, des Mondes. Der Mond wird aus der geraden Linie, die er vermöge seiner Geschwindigkeit in einem beliebigen Zeitpunkte beschreiben würde, dauernd zur Erde hin abgelenkt durch eine Ursache, die Newton mit der ihm jetzt schon gut bekannten Schwere vergleicht. Die Kraft der Schwere entsteht durch die Anziehung der Erde und ändert sich mit dem Abstände von dieser. Aus der Huygensschen Behandlung der kreisförmigen Bewegung weiss Newton, wie gross eine Kraft sein muss, die einen Körper aus der Tangente eines Kreises in die Kreislinie selbst hineinzwingt. Der Mond fällt unter der Einwirkung dieser Kraft auf die Erde hin in jeder Minute um genau dieselbe Strecke, die ein an der Erdoberfläche frei fallender Körper ohne Luftwiderstand in der ersten Sekunde seiner Bewegung zurücklegen würde; der Abstand des Mondes vom Erdmittelpunkte beträgt sechzig Erdhalbmesser; die auf den Mond wirkende anziehende Kraft unserer Erde ist nach den Formeln des freien Falles nur der 3600^{te} Teil der an der Erdoberfläche wirkenden Schwere; in diesem einen tatsächlich zu verfolgenden Beispiele ist demnach die anziehende Kraft der Erde umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung. Um weitere Beispiele aufzufinden geht Newton zu den vier Monden des Planeten Jupiter, die sich um ihren Hauptkörper in konzentrischen Kreisen bewegen; sie alle werden aus den geraden Linien, die sie vermöge ihrer augenblicklichen Geschwindigkeiten beschreiben würden, herausgerissen durch Kräfte, die alle dauernd auf den Hauptplaneten hin gerichtet sind; die Grösse dieser anziehenden Kräfte ist zu berechnen aus den Keplerschen Gesetzen und den Huygensschen Formeln für die Kreisbewegung; die Rechnung ergibt, dass die vier Monde des Jupiter zu diesem hingezogen werden durch Kräfte, deren Grössen umgekehrt proportional sind den Quadraten der Abstände und direkt proportional der Grösse der einzelnen Massen. Zum Abschlusse dieser Überlegungen gelangt endlich Newton, indem er die Bewegungen der Hauptplaneten unseres Sonnensystems in ihren Bahnen um die Sonne verfolgt. Dass diese Bahnen Ellipsengestalt

haben, das war durch Kepler festgestellt und seitdem durch alle Beobachtungen bestätigt. Für die Bewegungen in diesen Bahnen galten einerseits die Keplerschen Gesetze, für die Grösse der dabei entstehenden Zentrifugalkräfte gaben andererseits die Huygensschen Betrachtungen den genauen Wert. Auf diese sich stetig ändernden Bewegungen und Kräfte wendet jetzt Newton seine Rechnung mit den verschwindend kleinen Grössen an, er findet als Ergebnis: Die Planeten können ihre Bahnen nur dann in Übereinstimmung mit der Beobachtung beschreiben, wenn sie alle zur Sonne hingezogen werden durch Kräfte, deren Grössen direkt proportional sind den Grössen der Planetenmassen und umgekehrt proportional den Quadraten ihrer Abstände von der Sonne.

Einzelne Teile dieser Sätze waren, soweit sie unser Planetensystem betrafen, schon vor Newton von anderen ausgesprochen worden. Robert Hooke behauptete schon im Jahre 1674, also 13 Jahre vor dem Erscheinen der Principia, in den Verhandlungen der Königlichen Gesellschaft zu London, dass die von der Sonne auf die Planeten ausgeübten Anziehungen um so stärker sein müssten, je näher die Planeten der Sonne kämen; Halley hat sogar die Abhängigkeit der anziehenden Kraft von dem Abstände genau in der von Newton bewiesenen Gestalt schon vor diesem öffentlich behandelt. Von einem strengen Nachweise oder einer genauen Ableitung ist aber vor Newton nirgends die Rede; den Ruhm also, das Gesetz von der gegenseitigen Massenanziehung strenge aus den vorliegenden Tatsachen abgeleitet zu haben, den kann niemand mit Newton teilen, niemand ihm streitig machen, und so spricht man denn auch mit Recht von der Newtonschen Gravitation.

5.

Man beachte, dass Newton seine Überlegungen begründet hat auf die Beobachtungen der ihm bekannten Himmelskörper; diese waren ausser der Sonne die Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn; hierzu kamen als Nebenplaneten unser Erdmond und die vier Monde des Jupiter; von den Monden des Saturn wird, so viel ich weiss, nur einer bei Newton

erwähnt. Unser Planetensystem ist seitdem durch die Entdeckung des Uranus und des Neptun auf den dreifachen Durchmesser gebracht; durch die Hunderte von kleinen Planeten und durch die seitdem aufgefundenen neuen Monde ist die Zahl der Himmelskörper, an denen wir die Gültigkeit des Newtonschen Gesetzes prüfen können, auf das Hundertfache gestiegen. Am Fixsternhimmel endlich beobachten wir heute unzählig viele Gebilde, die aus mehreren Sternen bestehend trotz schneller Bewegung der Einzelkörper zusammengehalten werden durch Kräfte, die zwischen je zweien dieser Massen anziehend wirken. Bis jetzt ist aber in keinem einzigen Falle eine Erscheinung der Art beobachtet worden, dass man in ihr einen Widerspruch gegen die Gültigkeit des Newtonschen Gesetzes hätte erkennen können; man muss vielmehr heute, nachdem seit dem Erscheinen der Principia Mathematica 220 Jahre vergangen sind, das Newtonsche Gesetz der gegenseitigen Massenanziehung als durch die Erfahrung bestätigt ansehen. Für Newton war dagegen nur die verhältnismässig kleine Anzahl von Planeten und Monden für die Ableitung seines Gesetzes vorhanden; ihm lag es daher nahe, für die Richtigkeit des gefundenen Gesetzes eine Bestätigung darin zu suchen, dass er die Gravitation als wirksam annahm, aus ihrem Vorhandensein Folgerungen zog und dann diese Folgerungen mit der Wirklichkeit verglich. Er führt diesen Gedankengang aus in seiner Behandlung der Ebbe und Flut. Er nimmt dazu die schon von Baco behauptete Anziehung vor, die der Mond auf das Wasser unserer grossen Meere ausüben soll. Newton nimmt diese Anziehung als tatsächlich vorhanden an; dann behauptet er, dass ebenso gut wie der Mond auch die Sonne an der Bildung einer Flutwelle beteiligt sein muss; er weist dann nach, wie man die für jeden Seehafen wichtige Erscheinung der Ebbe und Flut in leicht verständlichen Zusammenhang bringen kann mit den längst bekannten Bewegungen von Sonne und Mond; was diese Tatsache für England mit seinen jeder Flut zugänglichen vielen Häfen bedeutet, das zeigt am besten die eine in den Principia vorkommende Bemerkung — Buch III Prop. 37 — dass an der Mündung des Avon unterhalb von Bristol die Fluthöhen im Frühjahr und Herbst auf 45 Fuss

steigen, wenn Sonne und Mond zusammenwirken, dagegen nur 25 Fuss erreichen, wenn Sonne und Mond einander entgegenwirken. Die Beobachtung dieser sich täglich zweimal wiederholenden Erscheinungen stimmt nun so genau mit dem überein, was Newton aus der als richtig angenommenen Tatsache der Gravitation folgert, dass er in dieser Übereinstimmung eine wertvolle Bestätigung des aus ganz andern Erscheinungen abgeleiteten Gesetzes sieht; von irgend welchen Bedenken über die Allgemeingültigkeit des Gravitationsgesetzes ist dann bei Newton nicht mehr die Rede.

6.

In allen bisher besprochenen Fällen der gegenseitigen Massenanziehung war doch der eine der wirkenden Körper immer einer der grossen Himmelskörper, wie die Sonne, der Mond, der Jupiter oder auch unsere Erde; immer war deshalb der Abstand der aufeinander wirkenden Massen sehr gross verglichen mit den Abmessungen des einzelnen angezogenen kleinen Teilchens. Man kann doch aber auch die Massenanziehung für den anderen Fall untersuchen, wenn der Abstand zwischen zwei kleinen aufeinander anziehend wirkenden Massen von derselben Grössenordnung ist, wie die Abmessungen der einzelnen Teilchen selbst und man kann fragen: Ist auch in diesem Falle die anziehende Wirkung umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung, direkt proportional der Grösse der Massen und unabhängig von allen Nebenumständen? Die Beobachtung verneint diese Frage endgültig; die Kraft der Kohäsion oder Adhäsion, die zwischen zwei Massenteilchen dann wirksam wird, wenn der Abstand desselben genügend klein geworden ist, entspricht durchaus nicht dem Gravitationsgesetze, sie ist nicht mehr proportional den Massen, — denn ein Eisendraht ist fester als ein gleich dicker Bleidraht, und doch hat der letztere grössere Masse —, ja aus der Anziehung wird sogar eine Abstossung, wenn zwei Massen durch äusseren Druck gegeneinander gepresst werden. Dass demnach aus der scheinbar so gut bekannten Gravitation allein durch Verkleinerung des Abstandes zwischen zwei Massen die neue fast unbekannte Kraft der Adhäsion oder Kohäsion wird, das ist doch wohl ein deutlicher Hinweis darauf, dass wir auch

von der Gravitation noch nicht viel wissen, dass wir sie vielmehr erst dann als genau bekannt ansehen dürften, wenn wir ihren Ursprung in irgend welchen einfachen Ursachen gefunden hätten. Diesen Ursprung hat denn auch Newton immer wieder festzustellen sich bemüht; wenn er in seiner Vorrede zu den Principia — am Schlusse des ersten Absatzes — nur ganz allgemein von der Zukunft eine fruchtbare Behandlung der Ursachen der „noch unbekanntten Kräfte“ hofft, die zwischen je zwei Massenteilchen nach seiner Meinung wirksam sein müssen, so hat er später die Ursache der Gravitation in einem Drucke des Weltäthers gesucht. Von Huygens ist es bekannt, dass er in den Wellen desselben Weltäthers eine Erklärung der Schwere zu sehn meinte, beide Versuche sind nur Ausführungen der Gedanken des Descartes, der die Wirbel seines Weltäthers zur Erklärung aller Bewegungen im Sonnensysteme verwenden wollte. Von allen diesen Verwendungen des Weltäthers ist keine erfolgreich durchgeführt, und auch Newton hat es nicht zu einer verständlichen Erklärung der Gravitation gebracht; in gewissem Sinne war also seine ganze Arbeit nur ein Bruchstück. Dieser Vorwurf lässt sich aber jeder auf Beobachtungen begründeten Untersuchung machen; mit einem doch immer begrenzten Beobachtungstoffe kann man den Gang der Untersuchung immer nur auf eine bestimmte Strecke weiterführen; so wie der zu verarbeitende Vorrat an neuen Beobachtungen aufgebraucht ist, kommt sofort die Untersuchung zu einem vorläufigen Stocken. Als nun bei Newton ein solches Stocken sich einstellte, da hat er nicht an seiner ursprünglichen Absicht festgehalten, seine Arbeiten bis zur vollständigen Ableitung einer Ursache für die Gravitation durchzuführen, er hat vielmehr dem Verlangen seiner Zeitgenossen nachgegeben und alle Ergebnisse seiner bisherigen Arbeiten mit den naheliegenden Anwendungen veröffentlicht. Die Principia Mathematica sind aber leider nicht etwa nach einem sorgfältig überlegten Plane des Verfassers entstanden, sie sind vielmehr das Ergebnis des dauernden Druckes, den der jüngere Mitarbeiter Halley auf den älteren Freund ausübte; die Spuren dieses Ursprunges sind an dem Werke deutlich zu erkennen. Keine der entscheidenden Ueberlegungen ist so dargestellt, wie sie zuerst

in Newtons Kopf sich entwickelt hat; alle sind vielmehr in die hergebrachte Gestalt der schulmässigen Beweise umgeformt. Das neue Hilfsmittel der Rechnung mit verschwindend kleinen Grössen wird zwar an zwei Stellen vorgeführt, sehr viel werden aber die Leser kaum daran gelernt haben, denn für die zweite dieser Stellen erscheint als Hauptabsicht die Zurückweisung der Vorstellung, als könnte der lästige Zeitgenosse Leibniz auch einen Anteil an der neuen Erfindung beanspruchen. Von der wichtigen Tatsache endlich, dass Newton immer noch nach einer Ursache der Gravitation suche, davon enthalten die Principia kein Wort, wenn man von der kurzen Erwähnung „der noch nicht bekannten Ursache der Kräfte“ in der Vorrede absieht. Die nachdrücklich abgegebene Erklärung, dass die zwischen je zwei Massen festgestellte Anziehung „nur mathematice“, „nicht physice“ zu verstehen sei, konnte für solche Leser genügen, die mit dem *Novum Organum* genau vertraut waren; sie wird also vielleicht in England von Boyle, Hooke und Halley richtig verstanden worden sein; für alle übrigen Leser war dieser Hinweis nutzlos; sie fanden als wertvolles Ergebnis der Principia nur die auffallende ganz neue Tatsache festgestellt, dass jedes kleinste Massenteilchen jedes andere anzieht mit einer Kraft, die mit der Vergrösserung des Abstandes genau so abnimmt, wie schon Halley mit einem „genialen Gedanken“ — s. Lange, *Gesch. d. Mat.* I S. 290 Z. 24 — es aus den Eigenschaften des Raumes abgeleitet hatte. Huygens war doch gewiss für dieses Gebiet sachverständig, auch hat er sicher die Principia mit angespannter Aufmerksamkeit gelesen; und doch erkennt er zwar in seinem *Traité de la Lumière* die soeben veröffentlichte Lehre von der Gravitation als eine nicht zu bezweifelnde Tatsache an, er meint aber, dagegen sich wehren zu müssen, dass man von jetzt ab mit Newton die Schwere als eine wesentliche Eigenschaft der Masse ansehen müsse; er hat folglich die Meinung Newtons, dass man nach einer Erklärung der gefundenen Anziehung noch suchen müsse, durchaus nicht erkannt. Jene englischen Physiker aber, die mit Newton übereinstimmten in seiner Wertschätzung der Baconischen Induktion — so besonders Boyle —, sie waren von ihm getrennt durch ihre

grundsätzlich verschiedene Weltauffassung, an der festzuhalten sie sich verpflichtet fühlten, wenn sie auch Newtons überwältigende Leistungen anerkennen mussten. Ein Widerstreben gegen die Beweiskraft der Principia wurde daher nirgends versucht; alle Physiker Englands erkannten die neue Tatsache der Gravitation als durch die Erfahrung streng bewiesen an und gingen nun in vollem Bewusstsein ihres — von Newton nicht geteilten — Standpunktes über Newton hinaus einen wesentlichen Schritt weiter vor. Sein Bestreben, für die Gravitation eine Ursache festzustellen, erschien ihnen bedenklich, fast anstössig; sie brauchten auf ihrem Standpunkte keine Erklärung mehr, sie hatten schon längst für die neue Gravitation eine altbewährte Vorstellung fertig. Kepler hatte i. J. 1596 für die damals bekannten fünf Planeten ihre Abstände von der Sonne in Beziehung zu bringen gesucht mit den Abmessungen der fünf regelmässigen Körper der Raumlehre. Hinter dieser Beziehung hatte er nicht etwa irgend eine physikalische Tatsache als Erklärung vermutet, seine Meinung war vielmehr nur gewesen, der allmächtige Schöpfer der Welt werde bei seiner willkürlichen Anordnung der fünf Planetenbahnen die nach ihrer Anzahl so gut passenden fünf regelmässigen Körper irgendwie verwendet haben; die wissenschaftliche Untersuchung des Astronomen könne nur das Ziel haben, die wirkliche Art jener Verwendung richtig zu erkennen. In dem folgenden Jahrhundert hatten dann Galilei, Descartes, Huygens und besonders Newton eine andere Auffassung von der Aufgabe der Wissenschaft entwickelt; für die englischen Mitarbeiter Newtons war aber genau so wie Kepler es ausspricht, das einzige Ziel ihres Strebens, den Plan zu erkennen, nach dem Gott bei der Erschaffung der vorhandenen Welt gehandelt hat; wie Robert Boyle mit regstem Eifer und bleibendem Erfolge für die Erfahrungswissenschaften arbeitete und daneben immer als Ziel seines Lebens eine möglichst weitgehende Förderung kirchlicher Anschauungen ansah, so meinten auch seine englischen Mitarbeiter ihre streng gläubige Gesinnung mit eifriger wissenschaftlicher Arbeit vereinigen zu können. Die Principia Mathematica Newtons zeigen einen ganz andern Standpunkt; hier wird an keiner Stelle nach

dem Eingreifen eines freien Willens gesucht; alle behandelten Erscheinungen werden vielmehr als notwendige Folgen verständlicher Ursachen begreiflich dargestellt; für die Betätigung gläubiger Gesinnung ist nirgends Platz gelassen. Gegen die von diesen heidnischen Vorstellungen drohende Gefahr suchte die kirchlich gläubige Gelehrtenwelt Englands einen Halt und fand ihn in den Ergebnissen der Newtonschen Arbeit selbst. Soeben war doch zweifellos festgestellt, dass jede beliebige Masse trotz aller sonst möglichen Verschiedenheiten die wunderbare und bisher unbekannte Kraft besass, jede andere Masse in beliebiger Entfernung an sich zu ziehn entsprechend ihrem Abstände und ihrer Grösse. Newton hatte diese geheimnisvolle Kraft durch langwierige und mühevollen Untersuchungen entdeckt; er hatte dazu aber erklärt, dass er eine physikalische Ursache für die Kraft nicht anzugeben vermöge. An dieser Stelle nun setzen die Zeitgenossen ihre Überlegung ein; sie sagen: Newton hat für seine Gravitation trotz eifrigem Suchens eine physikalische Ursache nicht gefunden, weil eine solche Ursache nicht vorhanden ist. Dieselbe göttliche Allmacht, die jede vorhandene Masse schuf, konnte ihr auch jede beliebige Eigenschaft willkürlich verleihen; es hat der göttlichen Allmacht gefallen, allen Massen bei ihrer Erschaffung dieselbe Eigenschaft der Gravitation mitzugeben, und damit ist für uns Menschen, die wir die Allmacht Gottes anerkennen, die Frage nach einer Ursache der Gravitation erledigt. Diese Vorstellung, dass man nach einer Ursache der Gravitation nicht mehr zu suchen habe, erhielt eine kräftige Unterstützung durch die Entwicklung einer anderen Wissenschaft, der Mathematik.

Newton und nach ihm Leibniz hatten die aus der Entwicklung des letzten Jahrhunderts von selbst entstandene Betrachtung unendlich kleiner Grössen soeben in bestimmte Formen gebracht; Newton hatte die von ihm erdachte Fluxionsrechnung nur für den eigenen Gebrauch entwickelt, Leibniz dagegen trat mit seiner Differentialrechnung sofort vor die Öffentlichkeit, als er ihre Verwendbarkeit erkannte und bei seiner vielseitigen Beschäftigung mit anderen Dingen die Unmöglichkeit einsah, ohne Mitarbeit anderer ein so vielverprechendes Arbeitsgebiet richtig zu fördern. Die be-

queme sinngemässe Bezeichnung der Leibnizschen Rechnungsart verschaffte ihr bald das Übergewicht über die Newtonsche, und die gesamte Wissenschaft ausserhalb Englands benutzte nur die Differentialrechnung, nie die Fluxionen. Für die neue Differentialrechnung und noch mehr für die aus ihr durch Umkehrung des Verfahrens entstandene Integralrechnung lieferte nun die durch Newton in die Wissenschaft eingeführte Anziehung der Massen eine unbegrenzte Zahl von wichtigen Aufgaben und Anwendungen. Die Principia hatten in Buch I Abschn. XII die dort behandelten Anziehungen gegebener einfacher Körper noch nach dem dort gewählten schulmässigen Verfahren berechnet; wie verlockend war es jetzt für die Mathematiker, jede beliebige in der Physik vorkommende Aufgabe dieser Art nach dem bequemeren Verfahren der neuen Differentialrechnung aufzustellen und dann durch Integration zu lösen; und so entstand denn auch ein wahrer Wetteifer in der Behandlung der Anziehungskräfte, die von irgendwie gestalteten oder verteilten Massen ausgeübt werden sollten. Dass alle diese Anziehungen nach dem Newtonschen Gesetze wirken mussten, das wurde als selbstverständlich angenommen; dass aber alle diese Kräfte auch noch eine Erklärung aus physikalischen Ursachen verlangten, daran dachte von allen Mathematikern keiner; und von den Mathematikern aus verbreitete sich auf die ganze Wissenschaft die Gewöhnung an die Tatsache, dass die gegenseitige Anziehung der Gravitation als ohne jeden Beweis selbstverständliche Eigenschaft der Masse anzunehmen sei, denn sie sei ja durch Newton in aller Strenge abgeleitet worden.

7.

Im Gegensatz zu der rein mathematischen Behandlung der Anziehungslehre war Newton immer noch dauernd damit beschäftigt, seine grosse Arbeit über die Gravitation durch Feststellung ihrer Ursache zum Abschlusse zu bringen. Zunächst musste er, da es sich doch um eine an vorhandenen Massen beobachtete Erscheinung handelte, sich Klarheit verschaffen über Verteilung und Bewegung der Massen im Raume; er hatte also sich auseinander zu setzen mit den bisher über diesen Gegenstand entwickelten Auffassungen.

Nach Demokrit sollte alle Masse, zu Atomen gestaltet, durch den leeren Raum hindurch ihre Bewegungen vollführen; Epikur und Lukrez hatten diese Vorstellung zwar nicht weiter entwickelt, aber doch erhalten, Baco von Verulam und Gassendi hatten sie eifrig verteidigt. Descartes hatte dann in seiner rein mathematischen Darstellung der Natur die Verschiedenheit von Raum und Körper geleugnet; für ihn gab es keinen leeren Raum; die den ganzen Raum ohne irgend welche Lücken ausfüllende Masse liess Ortsveränderungen nur als Bewegung ringförmig in sich geschlossene Gebilde, in seinen bekannten Wirbeln, möglich erscheinen. Huygens und Newton gehn wieder auf die Vorstellung eines leeren Raumes zurück; in ihm bewegt sich ausser der sinnlich wahrnehmbaren schweren Masse auch noch der gewichtslose Äther mit unbekanntem Eigenschaften in unbekannter Verteilung und Bewegung. Nur in dem Drucke dieses Äthers meint Newton die Ursache für die Schwere der sinnlich wahrnehmbaren Masse suchen zu müssen; er bespricht diese Frage in seiner zweiten Ausgabe der Optik vom Jahre 1717 in der Vorrede und in den am Schlusse angehängten Fragen 18 bis 31; wie er durch die Unvollkommenheit seiner Hilfsmittel hier in seiner Untersuchung gehemmt worden ist, das lässt sich deutlich an zwei Stellen der Frage 31 angeben. Schon am Schlusse des zweiten Buches der Principia hatte er nachgewiesen, dass die Vorstellung der Bewegungen in den Cartesischen Wirbeln in Widerspruch steht mit den Beobachtungen unseres Planetensystems. Hier, am Schlusse der Frage 31, berichtet er über von ihm selbst angestellte Beobachtungen, nach denen solche Wirbelbewegungen auch in den am leichtesten beweglichen Flüssigkeiten nach kurzer Zeit durch innere Reibung vollständig zur Ruhe gebracht werden; er beobachtet also, dass in jedem irgendwo vorhandenen Flüssigkeitswirbel die irgendwoher stammende Bewegung nach kurzer Zeit vollständig in sich zerstört wird. Hierzu stelle man folgende nur zwei Seiten vorher besprochene Tatsache: „Wenn zwei durch einen Stab fest miteinander verbundene Kugeln mit gleichmässiger Geschwindigkeit sich um ihren gemeinsamen Schwerpunkt drehn, während dieser Schwerpunkt mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf einer

Geraden fortschreitet, die in der Ebene der Kreisbewegungen liegt, dann ist die Summe der Bewegungen der beiden Kugeln jedesmal, wenn die Kugeln sich auf der durch ihren gemeinsamen Schwerpunkt beschriebenen Geraden befinden, grösser, als in den Zeitpunkten, wenn die Verbindungslinie der beiden Kugeln senkrecht auf der vorher angegebenen Linie steht. In diesem Beispiele zeigt sich, dass Bewegung vergehen und entstehen kann.“ Aus diesen beiden beobachteten Tatsachen, die ihm in ihrer Einfachheit und Zuverlässigkeit entscheidend erscheinen, zieht Newton nun folgende Schlüsse: Wir beobachten um uns herum unzählig viele Erscheinungen, bei denen die Grösse der vorhandenen Bewegung entweder ganz verloren geht, wie bei der innern Reibung des Flüssigkeitswirbels oder einen nach den Umständen verschieden grossen Teil einbüsst, wie bei dem Stosse von Massen, von denen wir doch keine mit vollkommener Elastizität kennen. Diese Zerstörung von Bewegung ist nicht etwa eine nur zufällige Erscheinung der Zeit, in der wir leben, sie ist vielmehr mit dem Wesen aller uns bekannten Massen untrennbar verbunden; sie ist daher auch eingetreten in allen längst vergangenen Zeiträumen, in denen unsere Welt bestand. Wäre in der ganzen Zeit, in der diese Zerstörung von Bewegung eingetreten ist, kein Ersatz für die verschwundene Bewegung geliefert worden, dann müsste schon längst alle jemals vorhandene Bewegung durch Reibung und Stoss zerstört worden sein. Wir können aber aus der Geschichte der letzten Jahrtausende feststellen, dass in ihnen trotz aller Zerstörungen von Bewegung durch Stoss und Reibung der Gesamtbetrag der vorhandenen Bewegung nicht merklich vermindert ist, es muss also für alle in diesen Jahrtausenden durchgeführten Zerstörungen von Bewegung auf irgend eine Weise ein Ersatz geschaffen sein. Die Möglichkeit eines solchen Ersatzes sehen wir in dem oben angeführten Beispiele der sich drehenden Kugeln. Wir sehen, wie bei passender Anordnung bewegter Massen diese ihren Bewegungsvorrat vergrössern können, ohne dass zu diesem Hergange irgend etwas verbraucht würde; der Zuwachs an Bewegung ist aus dem Nichts hervorgerufen; unentbehrlich zu diesem Vorgehen ist nur ein unbekanntes Etwas, das für das Eintreten jener besonderen künstlichen Anordnung sorgt,

durch die immer wieder der vorhandene Bewegungsvorrat vergrößert wird. Um uns herum tritt fortdauernd durch Reibung und Stoss eine Zerstörung von Bewegung ein; tatsächlich ändert sich trotzdem der Gesamtbetrag der vorhandenen Bewegung nicht; es muss folglich für alle eingetretenen Zerstörungen auch ein voller Ersatz von Bewegungen hervorgerufen werden, es muss demnach dauernd jenes unbekannte Etwas vorhanden sein, das durch passende Anordnung der bewegten Massen diesen die Möglichkeit gibt neue Bewegung aus dem Nichts hervorzurufen. In diesem unbekanntem Etwas, dessen tatsächliches Vorhandensein unzweifelhaft aus meinen Beobachtungen sich ergibt, erkenne ich das die vorhandene Welt erhaltende Wesen und vermute in ihm auch den Schöpfer dieser Welt.

Der so gefundene Beweis für das Dasein Gottes folgt für Newton strenge aus für ihn zweifellos zuverlässigen Beobachtungen; sein Ergebnis passte genau zu dem, was die Erziehung im elterlichen Hause und in der kirchlichen Gemeinschaft bisher gelehrt hatte; und doch gab die damit gefundene Wahrheit dem wissenschaftlichen Streben Newtons eine ganz neue Richtung. Die bisher überlieferte und von Newton selbst mit glänzendem Erfolge weiter entwickelte Wissenschaft der Physik hatte für jede an einer Bewegung beobachtete Veränderung eine Ursache festzustellen sich bemüht; jetzt war doch neu gefunden, dass Bewegung auch aus dem Nichts hervorgerufen werden könne nach dem Willen des alle vorhandenen bewegten Massen ordnenden Wesens; die alte Wissenschaft war damit als wertlos erkannt; als einzige Aufgabe einer neuen Wissenschaft ergab es sich, in der uns vorliegenden Geschichte der Welt alle irgend erkennbaren Spuren von dem Eingreifen jenes unbekanntem Ordners aufzufinden, der allein die an sich toten Massen vor dem Zusammensturze zu bewegungslosen Klumpen so lange bewahrt hat. Diese Spuren meint nun Newton in den Offenbarungsschriften der verschiedenen Religionen suchen zu müssen; und auf diesem Wege ist er zu seinen Arbeiten über altjüdische Zeitrechnung, über die Offenbarungen usw. gekommen, für die man sonst den Zusammenhang mit seinen früheren wissenschaftlichen Arbeiten kaum erkennen könnte. Auch auf diesem ihm neuen Gebiete hat Newton nach

dem Urteile von Sachverständigen seine glänzende geistige Kraft bewährt, und als ganz unbegründet abzuweisen ist demnach die von Lange a. a. O. ausgesprochene Anschauung, als ob an irgend einer Stelle im geistigen Leben Newtons ein Verfall sich merklich mache; bei ganz unverminderter geistiger Kraft ist vielmehr Newton nur dadurch in seinem wissenschaftlichen Fortschritte aufgehalten, dass er durch für ihn nicht erkennbare Fehler seiner Hilfsmittel in falsche Bahn gedrängt worden ist; der Nachweis dafür ist leicht zu führen.

Nach Newtons Beobachtungen geht bei jeder in einem Gefäss herumwirbelnden Flüssigkeit die gesamte vorhandene Bewegung allmählich durch innere Reibung verloren; bei dem Stosse irgend welcher Massen erleidet ihre Bewegung immer einen Verlust, da es tatsächlich keinen vollkommen elastischen Körper gibt. Genau dieselben Behauptungen galten als zweifellos richtig auch noch das ganze folgende Jahrhundert hindurch; erst Robert Mayer und Joule konnten nach 1840 zu dieser auch noch zu ihrer Zeit allgemein anerkannten Wahrheit den Zusatz wagen: Die Bewegung geht durch Reibung zwar als äusserlich sichtbarer Vorgang verloren, für sie tritt aber als Ersatz eine ganz bestimmte Wärmemenge auf; diese Wärmemenge kann in einer Dampfmaschine wieder in Bewegung verwandelt werden, deren Betrag dann genau gleich dem der zur Erzeugung der Wärme verbrauchten Bewegungsmenge gefunden wird; bei der Reibung und beim Stosse wird demnach keine Bewegung wirklich zerstört — wie Newton es annahm —; bei diesen Vorgängen tritt vielmehr nur eine Verwandlung von sichtbarer Bewegung in Wärme ein, so dass diese letztere in ihrem Betrage der scheinbar zerstörten Bewegung genau gleichwertig ist. Joule konnte bei seinen Reibungsversuchen den Betrag der neu entstandenen Wärme genügend genau messen, weil er an seinen Farenheidthermometern noch die Hundertstel eines Grades genau ablesen konnte; Newton dagegen hatte zwar auch schon Thermometer und hat sie als wertvolle Hilfsmittel gern verwendet, die Genauigkeit der Ablesung an ihnen war aber erklärlicherweise noch lange nicht gross genug, um ihn auf die Vermutung zu bringen, dass bei seinen Reibungsversuchen

beim Verschwinden der Bewegung irgend etwas wie z. B. Wärme aufgetreten sei. Dass hier Newton das Verschwinden von Bewegung ohne irgend welchen Ersatz zu erkennen meint, das ist demnach ein Vorwurf nicht für die geistige Kraft Newtons, sondern nur für die bis dahin erreichte Genauigkeit der von ihm verwendeten Hilfsmittel.

Bestimmen wir ferner die Bewegungsgrösse für zwei durch einen Stab fest miteinander verbundene Kugeln, die sich umeinander bewegen, während ihr gemeinsamer Schwerpunkt auf einer geraden Linie fortschreitét, die in der Ebene jener Kreisbewegungen liegt, so beziehen wir heute alle Angaben auf eine Koordinatenebene, die durch die Richtungen der vorhandenen Bewegungen bestimmt ist; wir berechnen die Bewegung nicht nur einzeln für jede der Kugeln, sondern auch für die ganze bewegte Masse; wir finden dann, dass zwar für jede einzelne Kugel ihre Bewegung Schwankungen innerhalb gewisser Grenzen zeigt, dass aber für die ganze bewegte Masse die Bewegung ihren Betrag unverändert beibehält. Den Grund dafür, dass die Bewegungsgrösse jeder einzelnen Kugel sich stetig ändert, finden wir nicht wie Newton im Eingreifen eines unsichtbaren ordnenden Wesens, wir sehn ihn vielmehr vor uns in der Festigkeit des beide Kugeln verbindenden Stabes; wir erkennen, dass Newton bei seiner Behandlung dieser einfachen Bewegung sich selbst Schwierigkeiten dadurch schuf, dass er entsprechend dem damals noch üblichen Verfahren jeden der vorhandenen Körper einzeln vornahm, während wir durch die Kartesischen Koordinaten daran gewöhnt sind, alle vorhandenen bewegten Massen zu einem Ganzen zusammenzufassen; der hier von Newton tatsächlich begangene Fehler hat seinen Grund nicht etwa in einem Mangel an geistiger Kraft, sondern nur in dem erklärlichen Mangel an Übung in der Anwendung derselben Bewegungslehre, die soeben erst von Newton selbst geschaffen worden war.

8.

Als der englische Mathematiker Cotes im Vorworte zu der von ihm besorgten zweiten Ausgabe der *Principia Mathematica* v. J. 1713 die Schwere zur Grund-

eigenschaft aller Masse machte, um damit jeden Versuch einer Erklärung der Gravitation als wertlos abzuweisen, da erklärte zwar Newton 1717 in seiner Vorrede zur zweiten Ausgabe seiner Optik, „dass er durchaus nicht die Schwere als eine wesentliche Eigenschaft der Körper ansehe;“ zu irgend welcher Begründung dieser seiner Erklärung ist er aber nicht mehr gekommen, denn gerade in den zum Schlusse dieser Ausgabe angehängten Fragen führt er in Frage 31 die vorher unter 7 angegebenen Betrachtungen durch und scheidet damit für die weitere Bearbeitung der Physik aus. An seine Stelle tritt als Verkündiger der allgemeinen Massenanziehung sein eifriger Anhänger und Schüler Clarke, freilich mit der Auffassung der Gravitation, die schon Cotes entwickelt hatte; diese selbe Auffassung ist dann auf Voltaire übergegangen, der bei seinem Aufenthalte in England 1726 bis 1729 die dort im Laufe des letzten Jahrhunderts entstandene neue Lehre in sich aufzunehmen sich bemühte, und nur diese Cotessesche oder Clarkesche Darstellung der Gravitation ist dann durch Voltaire in ganz Europa zur Anerkennung gebracht. Wie vollständig dabei die Anschauung Newtons vom Wesen seiner Gravitation vergessen war, das wird man an der Tatsache erkennen, dass in England, der Heimat Newtons, im 20. Jahrhunderte Versuche gemacht werden konnten, aus der als selbstverständlich angenommenen Tatsache der gegenseitigen Anziehung die Begriffe der Trägheit und Undurchdringlichkeit abzuleiten — Oliver Lodge, Nature 12. März 1903 und Kelvin, Philos. Transact. März 1902 —! Eine Folge dieses Abwendens von Newton scheint es mir zu sein, dass Lord Kelvin, der anerkannte Führer der englischen Physiker, gelegentlich sein Bedauern ausgesprochen hat darüber, dass er in seinem an wissenschaftlichen Erfolgen so reichen Leben in der Entwicklung seiner Wissenschaft mit Bezug auf die Sicherheit ihrer Grundlagen keinen wirklichen Fortschritt erkennen kann. Auch scheint die heutige Physik die Fähigkeit verloren zu haben, die von allen Seiten herandringenden Beobachtungen zu einem Ganzen zu verarbeiten. Freilich ist ein solches Verbinden alles vorliegenden Stoffes zu einem einheitlichen Bau dann ausgeschlossen, wenn man aus irgend einer Laune einen wesentlichen Teil der Baustoffe von

der Verarbeitung ausschliesst; gerade dies hat man aber seit Cotes und Clarke mit den Tatsachen der Massenanziehung getan; da man die durch Beobachtung festgestellten Tatsachen der Gravitation von jeder weiteren Behandlung zum Zwecke einer Erklärung ausschloss, hat man gleichzeitig das ganze grosse damit zusammenhängende Gebiet der Molekularwirkungen, also Festigkeit, Kohäsion, Adhäsion usw. für jede Verarbeitung zu einem Ganzen unzugänglich gemacht. Ein Fortschritt wird hier erst möglich werden, wenn man sich entschliesst, die Arbeit Newtons an der Stelle wieder aufzunehmen, wo er sie wegen des Versagens seiner Hilfsmittel liegen lassen musste; das Verfahren, das ihm die Zerlegung des weissen Lichtes in seine farbigen Strahlen und das ihm dann die gegenseitige Anziehung der Massen lieferte, ist uns ebenso zur Hand, wie ihm, dem Erfinder; unsere Sache ist es, das alte Verfahren zum Sammeln neuer Erndten zu verwenden.

9.

Der erste Schritt über Newton hinaus trifft auf eine Schwierigkeit, die Lange — a. a. O. Buch II S. 202 — richtig in der bisher allein herrschenden Auffassung der Elastizität erkennt.

Seit Robert Mayer und Joule wird nicht mehr bezweifelt, dass einer gegebenen Bewegungsmenge eine bestimmte Wärmemenge gleichwertig ist; der schon von Descartes ohne Beweis und in unklarer Fassung ausgesprochene Satz, dass Bewegung nicht zerstört, sondern nur in ihrer Form verändert werden kann, ist heute durch unbegrenzt grossen Beobachtungsstoff als zweifellos richtig bewiesen; gegen die Anerkennung dieses Beweises wehrt sich aber die Physik heute noch ebenso wie vor fast 300 Jahren. Im Jahre 1620 stellt das *Novum Organum* — Buch II, aph. 20 — aus unwiderleglichen Beobachtungen fest, dass das Wesen der Wärme in einer Bewegung der kleinsten Massenteilchen beruhe; wo sichtbare Bewegung wahrnehmbarer Massen verschwinden, da trete an ihrer Stelle unsichtbare Bewegung der kleinsten Teilchen als Wärme auf. Gegen die Beweiskraft der aus den Beobachtungen gezogenen Folgerungen konnte nichts vorgebracht werden, und doch wurde diese neue Anschauung vom Wesen der Wärme

durch die herrschende Physik als unmöglich zurückgedrängt. Im Jahre 1798 berichtet Rumford der Londoner Gesellschaft der Wissenschaften, dass er als Ergebnis der Arbeitsleistung zweier Pferde in einem beliebig langen Zeitraume nur eine genau messbare Wärmemenge erhalten habe, deren Grösse ganz allein von der verbrauchten Arbeitsmenge abhing. Auch hier konnte gegen die Strenge des gewählten Verfahrens nichts vorgebracht werden, trotzdem wurde der einzig mögliche Schluss, dass das Wesen der Wärme in einer Bewegung der kleinsten Massenteilchen beruhe, von Erman als für die Lehre der herrschenden Wissenschaft unannehmbar zurückgewiesen. I. J. 1842 berechnet Robert Mayer aus vorliegenden Zahlenwerten für die beiden spezifischen Wärmen der Luft zum ersten Male das mechanische Äquivalent der Wärme; i. J. 1843 veröffentlicht Joule seine eigenen Beobachtungen, bei denen er durch Reibung eine beliebig grosse Bewegungsmenge in Wärme verwandelt und berechnet seinerseits das Wärmeäquivalent; jetzt kommt endlich die schon 1620 gefundene Anschauung vom Wesen der Wärme zur Anerkennung, ohne irgend welchen Widerspruch; leider muss aber jetzt die herrschende Wissenschaft öffentlich ihre Unfähigkeit aussprechen, sich mit dieser nicht mehr abzuleugnenden Tatsache des mechanischen Wärmeäquivalents abzufinden. Dass Lange a. a. O. diese Unfähigkeit aufrichtig ausspricht, das ist ihm besonders deshalb hoch anzurechnen, weil nach seiner ganzen Darstellung bei ihm nicht nur ein ignoramus, sondern das viel schlimmere ignorabimus seinen Standpunkt darzustellen scheint; um so wertvoller ist es deshalb aber auch, dass ein genaues Eingehn in den Wortlaut Langes einen Ausweg aus den von ihm dargestellten Schwierigkeiten zeigt.

Lange sagt — Buch II S. 202, Zeile 4 — von den alten Atomistikern: „Da nun ihre Atome absolut unveränderlich waren, so konnten dieselben auch nicht elastisch sein.“ Nun hat sich z. B. Lucrez seine Atome — wie der Wortlaut seiner Darstellung es zeigt — unveränderlich und doch elastisch gedacht; dass in diesen beiden Annahmen irgend ein Widerspruch stecken könne, darauf ist er nach dem Umfange seines Wissens nicht gekommen; für uns ist aber zu beantworten die

Frage, wie nach dem Umfange unseres heutigen Wissens zwei gegen einander stossende starre Körper sich verhalten müssen. Als Beispiel zweier solcher Körper nehme man zwei gleich grosse regelmässige Tetraeder an, die stetig mit undurchdringlicher Masse von derselben Dichte angefüllt sind; diese beiden Tetraeder sollen mit entgegengesetzt gleichen Geschwindigkeiten ohne irgend welche Drehung so gegeneinander laufen, dass im Zeitpunkte ihres Zusammentreffens zwei ihrer Grenzflächen in paralleler Lage und senkrechtem Stosse gegeneinander schlagen und dabei einander decken; was muss das Ergebnis des Stosses sein, wenn wir an den Massen nur die Eigenschaften der Ausdehnung, Undurchdringlichkeit und Trägheit voraussetzen? Befrage ich, um ganz sicher zu gehn, einen für dieses Gebiet massgebenden Schriftsteller, so finde ich bei Poisson, *Traité de Mécanique* (Brüssel 1838) unter Nr. 127 die Antwort: Die beiden stossenden Körper müssen ihre Bewegungen an einander zerstören und einander zu vollkommener Ruhe bringen. Sollte Poisson vielleicht schon veraltet erscheinen, dann mag man sich bei neueren Schriftstellern Auskunft holen; man wird überall dieselbe Antwort erhalten, denn nach der bis in die neueste Zeit hinein anerkannten Erklärung von Massengrössen sind zwei Massen nur dann einander gleich, wenn sie mit entgegengesetzt gleichen Geschwindigkeiten gegeneinander stossend einander zur Ruhe bringen. Wie müssen wir aber über denselben Stoss der beiden gleichen Massen aussagen, wenn wir an Rob. Mayer und Joule denken? Nach diesen Physikern ist eine Zerstörung von Bewegung unmöglich; vielleicht könnte statt der sichtbaren Bewegung grosser Massen unsichtbare Bewegung ihrer kleinsten Teilchen als Wärme auftreten; dies ist aber durch die Anordnung des Versuches ausgeschlossen. Jedes kleinste Massenteilchen trifft hier genau im selben Zeitpunkte gegen ein eben so grosses anderes Teilchen; in genau gleichem Masse ändert folglich jedes Massenteilchen seine eigene Geschwindigkeit und auch die des entgegenkommenden Widerstand leistenden anderen Teilchens, die beiden gegen Tetraeder müssen folglich — nach Rob. Mayer und Joule — nach dem Stosse sich mit genau derselben Geschwindigkeit voneinander entfernen, mit

der sie vorher sich einander genähert haben; die beiden Massen müssen demnach den Stoss elastisch vollführt haben. Welche Auffassung des Stosses mit der Wirklichkeit übereinstimmt, die von Poisson oder die von Rob. Mayer-Joule, darüber hat die Erfahrung heute endgültig entschieden; Lange hat mit dem oben angeführten Ausspruche, dass starre Atome unelastisch sein müssen, sich geirrt; damit zeigt sich als ebenso falsch die an derselben Stelle S. 202 Z. 13 ausgesprochene Behauptung: „Gegenwärtig wissen wir, dass keine Elastizität denkbar ist ohne Verschiebung der relativen Lage der Teilchen des elastischen Körper.s“ Die beiden Tetraeder erweisen sich im Stosse gegen einander als elastisch, und doch tritt in ihnen keine Verschiebung der Teilchen ein. Freilich konnten wir diese ganze Auffassung vom Stosse zweier solcher Massen nur gewinnen aus der Kenntnis der Überlegungen von Rob. Mayer und Joule. Nun leiten aber diese beiden Physiker die von ihnen neu gefundenen Sätze nur aus der Erfahrung, der Beobachtung ab, nicht aus irgend welchen anderswoher genommenen zweifellosen Tatsachen; es könnte demnach das Bedenken entstehen, als ob eine weiter ausgedehnte Erfahrung mit neuen unvermuteten Beobachtungsergebnissen die Zuverlässigkeit der von Joule und Rob. Mayer gefundenen Erfahrungssätze erschüttern könnte; dann wäre auch damit die hier gewonnene Auffassung von dem Stosse der beiden gleichen Massen zweifelhaft geworden. Da ist es denn eine wesentliche Verstärkung der hier dargestellten Ableitung, dass auf ganz anderem Wege nur aus der Undurchdringlichkeit der Masse sich ihre Elastizität im Stosse ableiten lässt. Im Jahresberichte des Realgymnasiums zu Königsberg v. J. 1901 5—7 ist der Stoss zweier Massen als der Grenzfall der Bewegung einer Masse auf vorgeschriebener Bahn dargestellt; während als Eigenschaften der Massen nur Trägheit und Undurchdringlichkeit vorausgesetzt waren, liess sich nachweisen, dass der Stoss zweier Massen immer elastisch erfolgen muss. Wir dürfen dennoch die von Lange a. a. O. vorgebrachten Schwierigkeiten als endgültig beseitigt ansehen; wir haben nicht mehr wie Huygens das Bedürfnis, die aus der Beobachtung zweifellos folgende Elastizität der kleinsten Teilchen

auf die willkürlich angenommene Elastizität noch kleinerer Teilchen zurückzuführen; für uns ist die Elastizität der Masse — in ihren kleinsten Teilchen — die jetzt als selbstverständlich erkannte Regel, nur das Vorkommen von unelastischen Massen erfordert als Ausnahme eine besondere Erklärung. Ja wir können sogar noch weiter gehn. Von den uns umgebenden sinnlich wahrnehmbaren Massen ist keine einzige vollkommen elastisch; von den kleinsten Teilchen aller Massen ist im Gegensatze kein einziges unelastisch, und trotzdem dürfen wir durchaus nicht diese kleinsten Teilchen uns starr denken; innerhalb des in kleinen Teilchen schwingenden Äthers werden die kleinsten Teilchen der schweren Masse zwar ihre Grösse, aber nicht auch ihre Gestalt unverändert beibehalten. Der Masse an sich fehlt die Eigenschaft der Festigkeit; durch jeden einzelnen Stoss eines der vielen kleinen Ätherteilchen erleidet jedes getroffene schwere Massenteilchen eine kleine Gestaltsveränderung; alle diese aufeinander folgenden Gestaltsveränderungen heben aber einander auf, und das schwere Massenteilchen erhält tatsächlich sich deshalb als Atom. Diese so gefundene tatsächliche Starrheit der kleinsten schweren Massenteilchen ist demnach die verständliche Folge ihrer Ausdehnung, ihrer Undurchdringlichkeit und ihrer merklichen Grösse im Gegensatze zu der geringen Grösse der unzählig vielen sie von allen Seiten her mit sehr grossen Geschwindigkeiten in elastischen Stössen treffenden Ätherteilchen.

Das von Lange a. a. O. auf dem Gebiete der Elastizitätslehre bemerkte Hindernis ist somit endgültig durch die Erkenntnis beseitigt, dass die Masse an sich elastisch ist, weil sie undurchdringlich ist; an dieser Stelle ist es endlich gelungen, mit Hilfe ausreichenden Beobachtungstoffes, über Newton hinaus ein merkliches Stück vorzudringen; dieselben Vorstellungen von den Bewegungen elastischer fein zerteilter Äthermassen haben es auch ermöglicht, die Newtonschen Versuche zu einer Ableitung seiner Gravitation in seinem Sinne weiterzuführen. Am Schlusse seiner zweiten Ausgabe der Optik wird in Frage 21 die Ursache der Gravitation in einem Drucke des Lichtäthers vermutet; eine weitere Ausführung dieses Gedankens wird gegeben im Jahresberichte des Städt. Realgymnasiums Königsberg i. Pr.

Ostern 1905, wo eine Ableitung der Newtonschen Zentralkräfte aus Bewegungen undurchdringlicher Massen durchgeführt wird; das Folgende liefert dazu nur einen kleinen Beitrag.

10.

Auf Seite 8, Spalte 1, Absatz 2 sage ich dort von den einzelnen Ätherteilchen: „ich sehe keine Möglichkeit, da ja in ihnen jede Festigkeit fehlt, für die weitergehende Zerteilung eine Grenze zu finden.“ Deshalb spreche ich auch auf S. 10, Sp. 2, Abs. 2 von dem „unendlich fein zerteilten Äther.“ Diese letzte Bezeichnung für den Äther erscheint mir jetzt nicht mehr zutreffend; es ist mir vielmehr gelungen, für seine immer weitergehende Zerteilung eine Grenze zu finden.

Stossen im leeren Raume zwei Massen mit irgendwelchen Geschwindigkeiten gegeneinander, dann müssen sie, da ihnen die Eigenschaft der Festigkeit fehlt, einander in kleinere Teile zerschlagen. Im unendlichen Raume sind unendlich viele Ätherteilchen vorhanden, immer wieder wird es also zwischen solchen Äthermassen zu Zusammenstößen und zu einem Zerschlagen in kleinere Teile kommen. Wie irgendwelche zwei Ätherteilchen mit ihren zufälligen Massen und Geschwindigkeiten im Stosse aufeinander einwirken werden, dafür lässt sich erklärlicherweise ohne genaue Kenntnis des einzelnen Falles nichts angeben; wie dagegen zwei zu verschiedenen Zeiten von einem bestimmten Ätherteilchen ausgeführte Stöße voneinander sich unterscheiden müssen, darüber lassen sich zuverlässige Aussagen machen. Durch den Stoss zweier Massen gegeneinander wird nicht verändert ihre gesamte lebendige Kraft, auch nicht ihre nach beliebiger Richtung gerechnete Bewegungsgrösse; wesentlich verändert wird aber im allgemeinen die Verteilung der Massen, denn im allgemeinen wird jede der stossenden Massen im Zusammentreffen in mehrere Teile zerschlagen. Zu bequemerer Betrachtung der im unendlichen Raume sich vollziehenden Stöße begrenze ich mir jetzt innerhalb des unendlichen Raumes ein bestimmtes rings umschlossenes Gebiet, etwa eine Kugel mit dem Durchmesser von einer Billion Kilometer, gelegen halbwegs zwischen unserer Sonne und dem ihr nächsten Fixsterne; da der Abstand von

unserer Sonne bis zu jenem Fixsterne auf etwa 30 Billionen Kilometer angegeben wird, so befinden sich in der von mir angenommenen Kugel keine Planeten, höchstens verirren sich in sie hinein einige Kometen; wieder nur der bequemeren Betrachtung wegen nehme ich ausdrücklich an, diese grosse Kugel enthalte durchaus keine schwere Masse, die in ihr vorhandene Masse gehöre nur zum fein zerteilten Äther; ich nehme ferner noch an, die grosse Kugel sei durch eine feste Wand von dem Aussenraume abgeschlossen. Diese grosse Kugel stelle ich mir jetzt in einem längst vergangenen Zeitpunkte vor, da der in ihr vorhandene Äther zwar schon durch die früher vollzogenen Stösse sehr fein verteilt, aber noch nicht zu unendlich feiner Zerteilung gelangt war; ich nehme also die durchschnittlichen Abmessungen der einzelnen Ätherteilchen zwar sehr klein, aber immer noch endlich messbar an. Von dem angenommenen Zeitpunkte ab erfolgen nun innerhalb der grossen Kugel unzählig viele Stösse zwischen den unzählig vielen Ätherteilchen; welche Veränderungen werden sich dabei vollziehen? Bei jedem Stosse zwischen zwei Ätherteilchen wird jedes derselben — wegen ihrer im allgemeinen unregelmässigen Gestalt — in mehrere Teile zerschlagen; die durchschnittliche Grösse aller vorhandenen Ätherteilchen muss demnach im Laufe der Zeit abnehmen. Ich greife als einen zweiten willkürlichen Zeitpunkt den heraus, da die Längenabmessung aller vorhandenen Ätherteilchen durchschnittlich genau $\frac{1}{n}$ der im ersten Zeitpunkte vorhandenen Grösse erreicht hat. Dann muss der durchschnittliche Abstand zweier Ätherteilchen voneinander jetzt — da ja die betrachteten Vorgänge sich innerhalb einer rings fest umschlossenen Kugel vollziehen — ebenfalls genau $\frac{1}{n}$ des durchschnittlichen Abstandes im früheren Zeitpunkte sein; betrachte ich also nur die Grösse der Ätherteilchen und ihre Abstände voneinander, dann ist die Anordnung des Äthers im zweiten Zeitpunkte durchschnittlich genau dieselbe wie im ersten Zeitpunkte; nur sind im zweiten Zeitpunkte alle Längen $\frac{1}{n}$ der entsprechenden Längen im ersten Zeitpunkte. Nicht aber ändert sich

während der ganzen verflossenen Zeit die durchschnittliche Geschwindigkeit der bewegten Massen. Nach den Formeln des elastischen Stosses bleibt in ihm die lebendige Kraft der bewegten Massen unverändert; die Gesamtmenge der vorhandenen Masse kann nach unserer Annahme sich ebenfalls nicht ändern; durch alle die unzähligen Stösse hindurch muss folglich auch die durchschnittliche Geschwindigkeit der bewegten Massen unverändert bleiben. Bei allen im zweiten Zeitpunkte vorhandenen Massengrössen ist also die Anordnung durchschnittlich genau dieselbe wie im ersten; ihre Abmessungen und ihre Abstände sind auf $\frac{1}{n}$ der früheren Werte gesunken, ihre Geschwindigkeiten sind dagegen unverändert geblieben. Die rechnerische Behandlung aller Vorgänge kann ich mir deshalb dadurch erleichtern, dass ich vom zweiten Zeitpunkt ab entsprechend dem Kleinerwerden aller einzelnen Massen und ihrer Abstände auch die Längeneinheit entsprechend auf $\frac{1}{n}$ der vorher verwendeten Grösse verkleinere. Dann habe ich für die rechnerische Behandlung vom zweiten Zeitpunkte ab alle vorhandenen Längen bei Massen und Abständen, von genau derselben Zahlengrösse wie vorher im ersten Zeitraume; verändert ist bei allen Massen nur ihre durchschnittliche Geschwindigkeit, diese ist n mal so gross geworden. Schliesse ich nun an die Betrachtung des zwischen den angenommenen Zeitpunkten verflossenen Zeitraumes die entsprechende Betrachtung eines zweiten Zeitraumes der Art, dass in diesem zweiten Zeitraume die Längenabmessungen aller Ätherteilchen wieder durchschnittlich auf $\frac{1}{n}$ der vorher vorhandenen Grösse sinken, dann kann ich durch Verkleinerung der Längeneinheit es rechnerisch wieder so darstellen, als ob zum Schlusse bei unveränderten Massen und Abständen nur alle Geschwindigkeiten durchschnittlich n mal so gross geworden sind. Aus diesem Ergebnisse kann ich aber eine wichtige Folgerung ziehn. Ein Ätherteilchen A kann durch den Stoss eines zweiten Teilchens B nur dann zerschlagen werden, wenn die durch den Stoss von B gegen A in diesem Teilchen veranlasste Formveränderung sich ungehindert

vollziehn kann; wird aber A, nachdem es durch B eine kleine Formveränderung erlitten hat, nach Verlauf eines nur sehr kurzen Zeitraumes von einem neuen Teilchen C getroffen und in seiner Form weiter verändert, dann wieder nach einem nur kurzen Zeitraume durch ein weiteres Teilchen D getroffen, verändert usw., dann wird ein endgültiges Zerfallen von A in getrennte Teile um so schwerer eintreten, je kürzer die Zeiträume sind, die zwischen den Schlägen der Teilchen B, C, D usw. gegen A verfließen; werden diese Zeiträume verschwindend klein, dann fehlt jeder einzelnen in A durch den Schlag eines anderen Teilchens angeregten Formveränderung die Zeit zur Entwicklung, dann kann A nicht mehr in getrennte Teile zerfallen. Nach unserer rechnerischen Darstellung bleiben für jeden der angenommenen aufeinander folgenden Zeiträume die Grössen und Abstände der Ätherteilchen den Zahlenwerten nach unverändert — da wir ja immer wieder die Längeneinheit auf $\frac{1}{n}$ des vorigen Wertes verkleinert haben —, die durchschnittlichen Geschwindigkeiten steigen aber in jedem folgenden Zeitraume auf die n fache Grösse; in jedem folgenden Zeitraume wird demnach das Zerfallen eines Massenteilchens in getrennte Teile immer seltener sich vollziehn. Wenn also auch bewegte Massen von endlicher Grösse durch ihre Stösse gegeneinander zwar im allgemeinen einander in getrennte Teile zerschlagen werden, so nimmt doch zwar mit diesem Zerschlagen die Häufigkeit weiterer Zusammenstösse immer noch zu, gleichzeitig nimmt aber die Wahrscheinlichkeit für ein endgültiges Zerfallen in getrennte Massen um so mehr ab, je kleiner die einzelnen Teilchen schon geworden sind, je grösser nämlich nach unserer rechnerischen Darstellung die durchschnittliche Geschwindigkeit der Ätherteilchen geworden ist. Schon längst muss folglich die durch ihre Zusammenstösse veranlasste Verkleinerung der Ätherteilchen so weit vorgeschritten sein, dass ein weiteres Zerschlagen in noch kleinere Teile bei keinem Zusammenstosse mehr eintritt; der heute vorhandene Äther hat bei seinen einzelnen hin und her schwingenden Teilchen zwar nicht unveränderliche Gestalt, wohl aber unveränderliche Grösse; das, was wir den Lichtäther oder den Weltäther nennen, ist also

während
 Geschwi
 des elas
 Kraft d
 menge
 nahme s
 zähligen
 durchsch
 unveränd
 vorhande
 durchsch
 messung
 Werte ge
 unveränd
 aller Vor
 dass ich
 Kleinerw
 stände a
 vorher v
 für die
 punkte
 Abstände
 her im e
 nur ihre
 n mal so
 Betrachtu
 punkten
 trachtung
 diesem z
 Ätherteil
 vorhande
 kleinerun
 darstellen
 Massen
 durchsch
 diesem E
 rung zieh
 eines zwe
 wenn die
 Teilchen

© The Tiffen Company, 2007

TIFFEN® Gray Scale



hschnittliche
 den Formeln
 ie lebendige
 die Gesamt-
 unserer An-
 alle die un-
 auch die
 gten Massen
 Zeitpunkte
 Anordnung
 n; ihre Ab-
 er früheren
 nd dagegen
 Behandlung
 erleichtern,
 ehend dem
 ihrer Ab-
 t auf $\frac{1}{n}$ der
 n habe ich
 weiten Zeit-
 Massen und
 esse wie vor-
 llen Massen
 , diese ist
 nun an die
 enen Zeit-
 ehende Be-
 t, dass in
 ungen aller
 der vorher
 durch Ver-
 n wieder so
 veränderten
 indigkeiten
 sind. Aus
 tige Folge-
 h den Stoss
 gen werden,
 in diesem
 ungehindert

in seinen einzelnen getrennten Massen noch nicht bis zu unendlich feiner Zerteilung gelangt; die einzelnen Teilchen sind zwar sicher sehr klein, aber nicht unendlich klein.

Folgerungen aus diesem Ergebnisse für die Geschwindigkeit der Ätherteilchen und für wichtige andere Anwendungen liegen recht nahe, und doch schliesse ich mit Rücksicht auf den mir zugestandenen Raum hiermit meine Betrachtungen.

