

IV. *Erklärung des atomistischen Wesens des tropfbar-flüssigen Körperzustandes, und Bestätigung desselben durch die sogenannten Molecularbewegungen; von Chr. Wiener.*

Im Folgenden beabsichtige ich eine Erklärung des atomistischen Wesens des tropfbar-flüssigen Körperzustandes zu geben, und die mikroskopischen Beobachtungen der sogenannten Molecularbewegungen darzustellen, die ich zur Prüfung jener Erklärung ausführte. Es bildet dieselbe einen Theil der atomistischen Wärmetheorie, welche ich in einer größeren Arbeit versucht habe, die demnächst erscheinen wird. Ehe ich auf den hier darzustellenden Hauptgegenstand eingehe, muß ich des Verständnisses halber einige Sätze dieser Theorie anführen und kurz erläutern.

1. *Der Stoff zerfällt in Körperatome, welche sich gegenseitig anziehen, und in die Aetheratome, welche sich abstoßen. Die Körper- und die Aetheratome stoßen sich ab.* Die letzteren befinden sich in den leeren Räumen zwischen den Körperatomen, oder den von ihnen durch Gruppierung gebildeten Molecülen, und bewirken durch ihre abstoßende Kräfte, daß sich diese weder unter einander noch mit den Aetheratomen berühren, und daß sie auch selbst unter einander nicht in Berührung kommen. Die gewöhnliche Annahme der Anziehung der Körper- und Aetheratome hat zur Folge, daß sich dieselben bis zur Berührung nähern und daß letztere gleichsam eine Rinde von bestimmter Dicke um erstere bilden. Dadurch ist aber Gemeinsamkeit der Bewegung des Körperatoms und des umgebenden Aethers bedingt, während die zu gebende Erklärung des Flüssigkeitszustandes Unabhängigkeit der Bewegungen beider fordert; diese wird aber durch die Annahme der Abstoßung der Körper- und Aetheratome gegeben. Es wird sich in diesem Falle aller Aether ebenso wenig von dem körperlichen Stoffe ganz trennen, wie er sich im ersten Falle auf ihm

verdichten würde. Der Aether im Weltraume gestattet dem zwischen den Körpermoleculen befindlichen Aether, der von geringerer Dichte als er selbst ist, nicht den Austritt.

2. *Die Wärme eines Körpers besteht in einem Schwingungszustande seiner Aetheratome und Körpermolecüle.* Die große Masse der letzteren ist kein Hinderniß ihrer Theilnahme an den Schwingungen. Denn wenn ein Körpermolecul, von gleicher Masse wie ein Aetheratom, durch die wechselnden Kräfte, welche durch die Schwingungen der umgebenden Aetheratome erzeugt werden, Schwingungen von gleichem Wechsel oder gleicher Dauer machen müßte, so gilt dies ebenso von einem Molecul von größerer Masse, weil mit der Masse auch die wirkenden Kräfte in gleichem Verhältnisse zunehmen. Nur ist eine größere Arbeit zur Erzeugung des Schwingungszustandes nöthig.

3. *Mit der Zunahme der Schwingungsweite ist verbunden:*

a) *eine Zunahme der lebendigen Kraft in der Gleichgewichtslage;*

b) *eine Abnahme der Schwingungsdauer.* So lange die Schwingungen sehr klein sind, steht die in die Gleichgewichtslage zurücktreibende Kraft mit der Ausweichung in Verhältniß, und dann haben die Schwingungen von verschiedener Weite doch die gleiche Dauer. Wenn aber, wie bei dem Wärmezustand eines Körpers angenommen werden muß, die Schwingungsweiten größer sind, nimmt die zurücktreibende Kraft rascher als die Ausweichung zu, wodurch eine Abnahme der Dauer hervorgebracht wird.

c) *Eine Ausdehnung des Körpers.* Denn wenn, nachdem die Gleichgewichtslage bestanden hat, Schwingungen um dieselbe erzeugt werden, so ist das Mittel der wechselnden Abstände zweier Atome zwar wieder der Abstand der Gleichgewichtslagen; aber das Mittel der wechselnden Kräfte ist größer als die Kraft in der Gleichgewichtslage, weil sich die Kräfte in irgend einem umgekehrten Verhältnisse mit den Abständen ändern. So entsteht also eine Zunahme der mittleren Kraft, welche mit der Schwingungs-

weite wächst, und dadurch muß eine Vergrößerung der Abstände der Gleichgewichtslagen, d. i. eine Ausdehnung des Körpers, erfolgen.

4. *Die Temperaturen zweier Körper sind gleich, wenn die Schwingungsdauer der Atome in ihnen gleich sind.* Denn man sagt in der Physik, daß zwei Körper gleiche Temperatur haben, wenn bei Berührung derselben jeder seinen Rauminhalt nicht ändert. Dazu ist aber nöthig, daß jeder die Schwingungsdauer seiner Atome nicht ändert. Dieselbe kann aber an den Berührungsstellen nur dann ungeändert bleiben, wenn sie in beiden dieselbe ist, weil sonst eine Ausgleichung, also eine Veränderung derselben eintreten würde.

5. *Die auf einen Körper übertragene Wärmemenge ist die Zunahme der lebendigen Kraft der schwingenden Atome und die durch die Stellungsveränderung der Atome geleistete Arbeit* (die lebendige Kraft ist dabei durch $\frac{1}{2}mv^2$ und nicht durch mv^2 definirt).

Wir kommen nun zu der Frage: *worin besteht der Flüssigkeitszustand der Körper?* Bei dem Schmelzen wird eine große Wärmemenge gebunden, latent gemacht; die Arbeitsgröße, welche sie ausmacht, wird — ohne die Temperatur zu erhöhen — allein zur Ueberführung in den Flüssigkeitszustand verwendet. Diese Arbeit muß nun entweder zur Ueberwindung von inneren Kräften bei einer Aenderung der Lagerung der Atome, oder zur Vermehrung der lebendigen Kraft verbraucht und in einer dieser Formen im Körper angesammelt werden. Der erste Fall kann aber nicht stattfinden. Denn eine durchgehende Entfernung der Körpermolecüle von einander tritt häufig gar nicht ein; viele Körper, wie z. B. Eis, vermindern vielmehr beim Schmelzen ihren Raum. Eine Verbindung mehrerer Molecüle zu einer Gruppe, oder ein Zerreißen solcher Gruppen, kann aber auch nicht eintreten; das erstere nicht, weil dabei Arbeit nicht verbraucht, sondern erzeugt würde, das zweite nicht, weil die vereinzeltten Molecüle durch die Vereinzelung näher zusammenrücken und somit unverschiebbarer

werden würden, während sie im flüssigen Körper verschiebbar sind. *Es muß also die verbrauchte Arbeit zur Vermehrung der lebendigen Kraft der schwingenden Atome verwendet werden.* Aber auch hiegegen scheint sich die Erwägung zu erheben, daß eine Steigerung der lebendigen Kraft durch eine Verminderung der Schwingungsdauer hervorgebracht wird, und daß damit eine Erhöhung der Temperatur verbunden wäre, die aber bei dem Schmelzen nicht eintritt.

Hier faßte ich nun den Gedanken, ob nicht vielleicht *zweierlei Richtungen der Schwingungen der Molecüle*, einmal gleich- und ein andermal entgegengesetzt gerichtet, mit denen der Aetheratome möglich wären, und ob nicht darin der Unterschied beider Körperzustände liegen könne. Vergleichen wir zwei solche Schwingungen mit übereinstimmender lebendigen Kraft in der Gleichgewichtslage. Die in diese Lage zurücktreibenden Kräfte werden durch die Abstandsveränderungen der benachbarten Atome hervorgebracht. Bei gleicher Schwingungsrichtung werden die Abstandsveränderungen durch die Unterschiede der gleichzeitigen Ausweichungen — welche auch bei gleicher Schwingungsweite durch die jedenfalls vorhandenen Phasenunterschiede erzeugt werden — hervorgebracht, bei entgegengesetzter Schwingungsrichtung dagegen durch die Summe der gleichzeitigen Ausweichungen. Bei letzteren sind daher die Abstandsunterschiede und deswegen auch die zurücktreibenden Kräfte bei gleicher Ausweichung des Körpermolecüls größer, als bei ersteren; und hieraus folgt, daß eine mit denen der Aetheratome gleichgerichtete Schwingung der Körpermolecüle, bei gleicher lebendiger Kraft in der Gleichgewichtslage, eine größere Dauer hat, als eine entgegengesetzt gerichtete, und daß sie daher an lebendiger Kraft und Weite wachsen muß, damit die Dauer auf dieselbe heruntersinke. Somit ergäbe sich zunächst: *In den festen Körpern ist die Schwingungsrichtung der Molecüle mit denen der Aetheratome entgegengesetzt, in den flüssigen gleichgerichtet; die Schmelzwärme wird zur Erhöhung der le-*

bendigen Kraft verwendet, welche bei der Umkehrung der Schwingungsrichtung nothwendig ist, um die Schwingungsdauer oder Temperatur ungeändert zu erhalten.

Wird aber auch durch die Umkehrung der Schwingungsrichtung die der Flüssigkeit zukommende *Verschiebbarkeit der Theilchen* hergestellt? Fassen wir zuerst den Uebergang der einen Schwingungsrichtung in die andere ins Auge. Wenn ein fester Körper erwärmt wird, so nimmt die Schwingungsdauer ab, während Weite und lebendige Kraft zunehmen. Wenn man die zunächst einer beliebigen geraden Linie gelegenen Molecüle betrachtet und ihre Schwingungen auf diese gerade projicirt, so wollen wir — obwohl keine Strahlung, aber doch ein Phasenunterschied stattfindet — die Wellenlänge diejenige Länge nennen, welche zwischen zwei aufeinanderfolgenden Molecülen von derselben Phase liegt. Dazwischen befinden sich Molecüle in den übrigen gleichzeitigen Phasen. Man sieht nun leicht, daß bei Steigerung der Schwingungsweite sich auch die Veränderung des Abstandes zweier aufeinanderfolgenden Molecüle steigert. Die Abweichung ihres Abstandes von dessen Mittel ist offenbar am größten, wenn ein Molecül durch seine Gleichgewichtslage geht, und diese Abweichung ist ein Ueberschufs, wenn es sich hier in der Richtung nach dem Molecüle hin bewegt, welches ihm in der Phase voraus ist, also die Gleichgewichtslage schon überschritten hat. An diesen Stellen kann nun durch fortwährende Steigerung der Temperatur der Abstand zweier Molecüle so groß werden, daß der Bereich des festen Gleichgewichts überschritten wird, so daß die wirkende Kraft nicht mehr nach der früheren Gleichgewichtslage hingekehrt ist, sondern ihre Richtung umgekehrt hat. Dieses und der Reihe nach die anderen Molecüle schwingen daher nicht mehr in jene Lage zurück, sondern bewegen sich jetzt in der Richtung der Aetheratome. Es wäre also der Flüssigkeitszustand hergestellt, und die erreichte Temperatur wäre die des Schmelzpunktes. Nach dieser Umkehrung der Schwingungsrichtung und der damit nothwendiger Weise verbundenen beträcht-

lichen Zunahme der Schwingungsweite kann sich aber neuerdings kein dauerndes festes Gleichgewicht herstellen. Mit der Schwingungsweite haben auch die linearen Phasennunterschiede zugenommen, und es müssen daher auch neuerdings fortwährend die Lagen des schwankenden Gleichgewichts in höherem Grade als vorher überschritten werden, und zwar nicht nur an den vorhin bezeichneten Stellen des größten Abstandes zweier Moleküle, sondern von da nach beiden Seiten hin auf einen gewissen Bruchtheil der Wellenlänge. Was ist aber davon die Folge? Wenn nach der Umkehrung der Schwingungsrichtung zwei benachbarte Moleküle sich über die Lage des schwankenden Gleichgewichts von einander entfernen, getrieben von zunehmenden Kräften, so nimmt die Dichte des zwischenliegenden Aethers augenblicklich ab, und die Kräfte, welche von der zwischenliegenden Stelle abstoßend auf den zur Seite befindlichen Aether wirken, werden kleiner. So lange solche Kraftveränderungen nur durch Schwingungen hervorgebracht werden, wird auch der benachbarte Aether nur in jenen Raum herein- und herausschwingen. Sobald aber durch das Überschreiten der schwankenden Gleichgewichtslage der Zwischenraum zwischen den Körpermolekülen sehr rasch und sehr erheblich vergrößert wird, wird der benachbarte Aether gleichsam in denselben hineinstürzen. Das weiter zur Seite liegende Körpermolekül und weitere Aetheratom und Moleküle müssen dieser Bewegung folgen, und stürzen in den Raum zwischen den über die Lage des schwankenden Gleichgewichtes aus einander entfernten Molekülen herein. Da nun die Ursache solcher Verschiebungen, d. i. die große Schwingungsweite, stets fortwirkt, so muß ein beständiges Verschieben der Theilchen gegen einander eintreten. Auf irgend einer geraden Linie bilden die Stellen dieser Verschiebung einen Bruchtheil der Wellenlänge, während an dem übrigen Bruchtheil augenblicklich die Moleküle innerhalb der Grenzen des festen Gleichgewichtes sind. Sie widerstehen hier jeder Kraft, die sie aus einander zu entfernen strebt, d. h. sie haben in diesen Räumen *Cohäsion*.

Ehe wir aus diesen Ergebnissen noch die letzten Schlüsse ziehen, daß sie die den Flüssigkeiten zukommende Verschiebbarkeit und Cohäsion in sich fassen, wollen wir eine Erscheinung betrachten, welche das eben dargestellte beständige Verschieben der Flüssigkeitstheilchen gegen einander aufs Bestimmteste bestätigt, nämlich die sogenannten *Molecularbewegungen*.

Der englische Botaniker R. Brown entdeckte im Jahre 1827, daß in Flüssigkeiten schwimmende kleine, von belebten oder unbelebten Körpern herrührende Theilchen eine selbstständige zitternde Bewegung haben. Er glaubte, daß sich hierin auch bei den Theilchen unbelebter Körper eine Vorstufe der beständigen Lebensbewegungen in belebten Körpern zeige. Doch hat man diese Erklärung aufgegeben und nimmt jetzt an, daß die Bewegung von Strömungen herrühre, welche die nie vollkommene Gleichheit der Temperatur der benachbarten Theile der Flüssigkeit, sowie die beständige Verdunstung, hervorrufen. Ich habe nun Beobachtungen dieser Bewegungen unter dem Mikroskope angestellt, und bin dabei zu der Ueberzeugung gekommen, daß sie ihren Grund in den beständigen Bewegungen haben, welche den Flüssigkeiten vermöge ihres Körperzustandes zukommen.

Ich habe die Beobachtung in folgender Weise angestellt. An ein kleines hohles Glas, ein gewöhnliches Brillenglas, liefs ich auf der einen Seite einen ebenen ringförmigen Rand anschleifen, der mit Fett bestrichen wurde. In die flache Höhlung brachte ich einen kleinen Wassertropfen, welcher einen festen Körper in fein vertheiltem Zustande und sehr verdünnt schwimmend enthielt. Darauf wurde ein Deckgläschen aufgesetzt, welches bei einigem Andrücken einen gut luftdichten Verschluss herstellte. Der Tropfen benetzte dann auch das Deckgläschen. Ein solcher Tropfen, anfangs von 3 Mllm. Durchmesser und 0,33 Mllm. Höhe, blieb 12 Tage hindurch flüssig und zeigte fortwährend die zitternde Bewegung der festen Körpertheilchen in unveränderter Weise. Als festen Körper nahm ich Quarz

in gepulverter Form oder als chemisch niedergeschlagene Kieselsäure, Bleiweiß, Schweinfurter Grün und hauptsächlich Gummigutt. Alle zeigten dieselbe zitternde Bewegung, aber beinahe alle fielen auch bald zu Boden, worauf dann die Erscheinung aufhörte; nur Gummigutt erhielt sich in dem eben erwähnten Versuche auf die lange Zeit schwimmend. Es hat nämlich dieses Pflanzenharz ein nur sehr wenig größeres Eigengewicht als Wasser. Die zitternde Bewegung ist eine unregelmäßige, unstete, die Bahn eine zickzackförmige; die Richtung ändert sich dabei in kürzesten Zeittheilchen. Man kann sie viel eher mit der willkürlichen Bewegung eines Thierchens, als mit irgend einer schwingenden oder strömenden Bewegung, von welcher letzteren sie nicht die geringste Aehnlichkeit hat, vergleichen. Ich will nun nachweisen, daß diese Bewegung keinen anderen Grund haben kann, als den eben aufgestellten, und dabei die weiteren Einzelheiten der Beobachtung angeben.

1. Es sind *nicht Infusorien*, die in den unbelebten Stoff des Quarzes und der anderen festen Körper hereingekommen seyn könnten und dann die Bewegung zeigten. Denn

- a) der Quarz war geglüht, konnte also nichts Lebendes enthalten;
- b) nicht nur einige, sondern alle schwimmende Theilchen zeigten dieselbe Bewegung.

2. *Die Bewegung ist nicht die der Flüssigkeit bei dem Aufsetzen des Tropfens mechanisch mitgetheilte.* Denn

- a) derartige Bewegungen sind Schwingungen, und es hat noch Niemand eine solche unregelmäßige und abgebrochene zitternde Bewegung in Flüssigkeiten in Folge von mitgetheilten Erschütterungen beobachtet;

- b) eine derartige Bewegung müßte mit der Zeit abnehmen, während sich bei den durch 12 Tage angestellten annähernden Messungen derselben, wovon ich sogleich weiter sprechen werde, gar keine Abnahme bemerkbar gemacht hat. Eine kleine Rechnung ergiebt, daß die Bewegung durch die Reibungswiderstände schon nach mehreren Sekunden unmerklich geworden seyn müßte.

3. *Die zitternde Bewegung kann nicht von etwaigen wechselnden Anziehungen und Abstosungen der verschiedenen schwingenden Körpertheilchen unter einander herrühren.* Denn

a) wenn man die Flüssigkeit so verdünnt, daß nur mehrere Theilchen gleichzeitig im Gesichtsfelde erscheinen, und diese verhältnißmäßig sehr große Abstände von einander haben, so gehen die Bewegungen doch in derselben zitternden Art vor sich, was man findet, wenn man sie an einer in dem Brennpunkte eingeschalteten Glastheilung beobachtet.

b) Wenn die Flüssigkeit weniger verdünnt ist, so nähern sich zwei Theilchen bald, bald gehen sie aus einander, und dieser Wechsel hängt durchaus nicht von der Entfernung derselben ab. Sie gehen ungehindert ihre Bahn fort, und nur wenn sie sich sehr nahe kommen kann man einen Einfluß derselben auf einander beobachten; es hängt sich manchmal eins an das andere und trennt sich nach längerer oder kürzerer Zeit wieder von ihm. Meist jedoch bleiben die Gummiguttteilchen getrennt. — Man sieht also, daß die Theilchen in großer Nähe auf einander einwirken können, daß aber diese ausnahmsweise Einwirkung die fragliche Bewegung nicht bedingt.

4. *Die Bewegung kann nicht von Wärmeunterschieden herrühren.* Denn

a) diese Unterschiede müßten sich entweder endlich ganz ausgleichen, oder sich doch nach dem Einbringen des Flüssigkeitstropfens vermindern, während die zitternde Bewegung der Theilchen sich in Wirklichkeit nicht ändert.

b) Das Ausgleichen eines Wärmeunterschiedes müßte Strömungen von der Oberfläche nach dem Innern, oder zwischen denjenigen Stellen der Oberfläche, an welchen von außen eine höhere Temperatur erzeugt wird, und denen, an welchen eine niedere herrscht, oder umgekehrt, hervorrufen. Statt solcher Strömungen findet man aber jenes Zittern und Zucken, dessen Richtung in den kleinen Räumen von dem Durchmesser eines Theilchens wechselt. Man erkennt letzteres an sehr nahe neben einander liegenden oder

an zusammenhängenden Theilchen, welche später wieder auseinandergerissen werden. Es ist nun gar nicht einzusehen, wie in so außerordentlich kleinen Räumen verschiedene Temperaturen sich dauernd erhalten oder entstehen sollten. Solche Strömungen, die von außen herrührten, von Erschütterungen oder Erwärmungen, hatte ich vorher Gelegenheit zu beobachten. Ich hatte anfangs kleine gefüllte und dann zugeschmolzene Glaskugeln von 15 Mllm. Durchmesser und eine Gasflamme zur Beleuchtung benutzt. Dabei beobachtete ich Strömungen der ganzen Wassermasse mit allen schwimmenden Theilchen, soweit sie im Sehfeld war, nach einer gemeinschaftlichen Richtung, also eine von der fraglichen durchaus verschiedene Bewegung.

c) Wenn die Unterschiede der Temperatur die Ursache der zitternden Bewegung seyn sollten, so müßten diese zunehmen, wenn man die Temperatur der Umgebung plötzlich ändert. Um nun ein wenigstens annäherndes Maas der Bewegung zu erhalten, maß ich den zickzackförmigen Weg, welchen ein Theilchen in einer gewissen Zeit zurücklegte, und bekam daraus den mittleren Weg für eine Sekunde. Zu dem Ende setzte ich in den Brennpunkt eine feine getheilte Glasplatte, welche außer den Theilungsstrichen zwei schwach auseinandergehende Querstriche enthielt. Dadurch entstanden kleine, mehr oder weniger gleichseitige, viereckige Räume, in denen man nach zwei auf einander senkrechten Richtungen Längen messen und nach allen anderen Richtungen schätzen konnte. Indem ich nun bei einer 450fachen Vergrößerung die Bewegung eines Theilchens auf dem Liniennetze verfolgte, die ganz kleinen, nicht zu schätzenden Schwankungen unbeachtet liefs, von den deutlich bemerkbaren aber jedes Wegstückchen bis zu einem Richtungswechsel schätzte, und alle diese Stücke zusammenfügte, und zwar dadurch, daß ich in den Zeitpunkten, in welchen eine volle Theilungseinheit zurückgelegt war, zählte, so erhielt ich den ganzen Weg in der gleichzeitig von einem Gehülften gemessenen Beobachtungszeit. Ich bekam so bei den Theilchen von etwa 0,01 Mllm. Durch-

messer einen mittleren Weg in der Sekunde der zwischen 0,001 und 0,002 Mllm. schwankte und im Mittel 0,0016 Mllm. betrug. Ich nahm diese Messungen in einem Zimmer bei 17° C. der Luft vor, darauf brachte ich das Mikroskop mit dem Beobachtungsgegenstande plötzlich vor das Fenster, wo das Thermometer in der Luft 1° zeigte, von da aus setzte ich später den Gegenstand der strahlenden Wärme eines Ofens aus, oder liefs die Sonnenstrahlen durch den beleuchtenden Hohlspiegel auf ihn fallen. Bei allen diesen plötzlichen Veränderungen der Temperatur der Umgebung, wobei besonders bei der umgebenden kalten Luft eine rasche Abkühlung von aussen, also eine ungleichförmige Temperatur, eintreten mußte, konnte ich keine Abnahme oder Zunahme der Bewegung bemerken. Sie schwankten immer zwischen denselben Gränzen, und die Mittel einzelner Beobachtungsreihen waren nicht mehr verschieden, als die Mittel von im Zimmer angestellten Beobachtungsreihen.

5. *Die Bewegung kann nicht von der Verdunstung herühren.* Denn

a) wenn auch ein Verdampfen mit vom Boden aufsteigenden Blasen eine Bewegung im Inneren erzeugt, so ist doch nicht einzusehen, wie das Gleiche durch eine Verdunstung, die nur an der Oberfläche stattfindet, hervorgeufen würde. Die fragliche Bewegung findet aber im Inneren statt, was man findet, wenn man das Mikroskop auf verschiedene Schichten des Inneren einstellt.

b) Ich habe einen Tropfen unter dem beschriebenen Verschlusse beobachtet, wobei die Verdunstung fast vollständig aufgehoben war, aufserdem aber auch einen ganz unbedeckten Tropfen, der in einigen Minuten verdunstete. Die Bewegung war nun beidesmal dieselbe; also kann die Verdunstung nicht die Ursache seyn, da sie in einem Falle aufserordentlich viel schneller vor sich ging, ohne dafs ihre angebliche Wirkung bemerkbar zugenommen hätte.

Somit ist bewiesen, dafs die zitternde Bewegung der Theilchen nicht in den einzelnen Theilchen ihren Grund hat, da sie keine belebte Wesen, selbst nicht Theilchen von

solchen sind, noch auch in ihrer gegenseitigen Aufeinanderwirkung; ferner ist bewiesen, daß die Bewegung nicht in einer außer der Flüssigkeit liegenden Ursache ihre Entstehung findet, da weder Erschütterungen, noch ungleichförmige Erwärmung, noch Entziehung von Flüssigkeitstheilchen durch Verdunstung die Veranlassung seyn können; es bleibt uns daher Nichts übrig, als die Ursache in der Flüssigkeit an und für sich zu suchen, und sie *inneren, dem Flüssigkeitszustande eigenthümlichen Bewegungen* zuzuschreiben.

Diese Erklärung erhält noch eine unmittelbare Bestätigung in der Beobachtung, daß die Größe der Bewegung in einer gewissen Weise von der Größe der Theilchen selbst abhängt. Bei Theilchen, deren Durchmesser zwischen 0,0006 und 0,0014 Millm. lag, fand ich keinen durchgehenden wiederkehrenden Unterschied in der Größe der Bewegung; diese war im Mittel in 1 Sek. 0,0016 Millm. Bei Theilchen von größerem Durchmesser war die Bewegung durchgehend geringer und betrug bei 0,0023 Millm. Durchmesser im Mittel in 1 Sek. nur 0,0005 Millm., war also etwa dreimal so klein, wie bei den kleineren Theilchen. Bei einem Durchmesser zwischen 0,0014 und 0,0023 Millm. waren die Wege sehr schwankend, meist aber beträchtlich größer als 0,0005 Millm. Bei einem größeren Durchmesser als 0,0023 Millm. war die Bewegung noch geringer. Daraus geht nun hervor, daß die im Wasser vorgehenden Bewegungen eine übereinstimmende Richtung in einem Raume haben, der jedenfalls weniger als 0,0023 Millm. Durchmesser hat, daß dagegen in einem Raume von 0,0023 Millm. Durchmesser mehrere entgegengesetzte Bewegungen stattfinden, welche, indem sie zugleich auf das feste Theilchen wirken, sich an diesem theilweise aufheben. Ja es folgt weiter daraus, daß der Durchmesser einer gleichförmig bewegten Wassermenge etwa halb so groß als 0,0023 Millm., also etwa 0,0012 Millm. seyn wird; denn nur dadurch, daß ein Körpertheilchen doppelt so groß ist als eine Wassermenge von überall übereinstimmender Bewegung, kann jene Bestimmtheit und Nothwendigkeit eintreten, daß mehrere von einander verschie-

dene Bewegungen in ziemlich gleicher Ausdehnung gleichzeitig auf es gerichtet sind, wie es nach den angeführten Beobachtungen bei einem Theilchen von einem Durchmesser von 0,0023 Mllm. und mehr der Fall seyn muß. Dazu kommt noch, daß die Größe 0,0012 Mllm. für die Ausdehnung der übereinstimmenden Bewegung mit der obigen Angabe nahe zusammenfällt, daß bei Theilchen bis zu 0,0014 Mllm. Durchmesser eine Abnahme der Bewegung nicht bemerkt wurde. Wenn man nun andererseits bedenkt, daß die Wellenlänge des rothen Lichtes in der Luft 0,00068 und im Wasser 0,00051 Mllm. ist, daß man den Wärmestrahlen, weil ihre Brechbarkeit noch geringer, auch eine größere Wellenlänge zuschreibt; so müßte mit dieser die Länge der stehenden Wellen in einem warmen Körper in einer nahen Beziehung stehen. Nach unserer Erklärung ist aber die Länge einer solchen stehenden Welle zugleich von der Länge der zusammenhängenden Masse in einer Flüssigkeit, oder von 0,0012 Mllm., nicht sehr verschieden. Diese Zahl soll nun der Wellenlänge der strahlenden Wärme, die größer als 0,00051 Mllm. ist, nahe stehen, und man sieht, daß dies die etwa doppelt so große Zahl 0,0012 leistet. Dadurch ist noch ein sehr bestimmter Beweis für die Richtigkeit unserer Erklärung des Wesens der Flüssigkeiten gegeben. Das Gewicht der vorhergehenden Beweise, daß man die zitternde Bewegung keiner äußeren Ursache zuschreiben kann, wird also sehr verstärkt durch das Ergebniss, daß der Durchmesser der gleichartig bewegten Wassermengen von so kleiner Ausdehnung ist, daß er mit der Wellenlänge des rothen Lichtes und noch mehr mit der der strahlenden Wärme nahe übereinstimmt.

Kehren wir jetzt zu der Untersuchung der Eigenschaften unseres Körpers mit gleichgerichteten Schwingungen der Körpermoleküle und Aetheratome zurück, und zeigen, daß er die den Flüssigkeiten zukommende Eigenschaften der Verschiebbarkeit und der Cohäsion hat. Zuerst wollen wir einsehen, daß er neben der beständigen Verschiebung auch

die Verschiebbarkeit der Theilchen durch äufere Kräfte besitzt.

Wird an irgend einer Stelle ein äufserer Druck gegen seine Theilchen ausgeübt, so wird ein solches nicht augenblicklich ausweichen, was schon wegen des Widerstandes seiner Trägheit unmöglich ist; aber innerhalb der außerordentlich kleinen Zeit einer Schwingungsdauer werden sich in den verschiedensten Richtungen von ihm Stellen ergeben haben, in welche es ausweichen kann, und es wird diefs nach derjenigen Seite hin geschehen, nach welcher die Mittlere der inneren und der äufseren Kräfte zuerst die genügende Gröfse zur gänzlichen Verschiebung erhält. Haben wir es mit einem in der Flüssigkeit sich bewegenden Körper zu thun, so wird zu seiner Bewegung — wenn diese so langsam ist, dafs man von einer Beschleunigung der Massen absehen kann — eine Kraft hinreichen, welche die Mittlere der, von den sich stets verschiebenden Körper- und Aetheratomen der Flüssigkeit herrührenden, stets veränderlichen Kräfte überwinden kann. In der Hydrostatik nimmt man diese mittlere auf jedes Flächentheilchen wirkende Kraft gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, deren senkrechter Schnitt gleich jener Fläche, und deren Höhe gleich der Tiefe derselben unter der Oberfläche, also unveränderlich ist, während diese Kraft doch stets um jenen mittleren Werth schwankt. Die Schwankungen sind in Vergleich mit dem ganzen Drucke um so geringer, je gröfser die Fläche ist. Soll ein in Flüssigkeit eingetauchter Körper stetig, ohne Schwankung, einer äufseren Kraft folgen, so mufs diese in jedem Augenblicke gröfser seyn, als die gleichzeitige Mittelkraft aller jener schwankenden Kräfte. Soll z. B. ein Körper durch sein Gewicht stetig in der Flüssigkeit sinken, so mufs das Gewicht die eben bezeichnete Gröfse haben. Bei so kleinen Körperchen, wie sie in unserem vorhin beschriebenen Versuche gebraucht wurden, waren selbst Theilchen von beträchtlichem Eigengewichte, wie von Bleiweifs, nicht schwer genug zu der stetig sinkenden Bewegung, sondern sie folgten den wechselnden Richtungen

der Mittleren der von der Flüssigkeit herrührenden wechselnden Kraft und ihres Gewichtes. Im Mittel aber sanken sie doch, wenn auch langsam. Bei einem großen Körper heben sich die Schwankungen fast alle auf, und die übrig bleibende Schwankung des Druckes der Flüssigkeit wird wohl nicht größer seyn, als bei einem kleinen Körperchen; aber das Gewicht des Körpers ist so groß, daß er stetig sinken, sich überhaupt stetig bewegen kann. Man sieht also, daß die *Verschiebbarkeit der Flüssigkeiten keine vollkommene*, d. i. durch beliebig kleine Kräfte zu bewährende ist. Sie ist aber eine *sehr große*, da sie durch sehr kleine Kräfte, die nur wenig größer als die Gewichte jener kleinen Körperchen sind, bewährt werden kann.

Die *Cohäsion*, welche man bei flüssigen Körpern durch die Tropfenbildung und durch die Erscheinung beobachtet, daß es eine beträchtliche Kraft erfordert, um eine auf eine Flüssigkeit aufgesetzte benetzt werdende Platte von derselben abzureißen, ist auch eine Eigenschaft unseres soeben untersuchten Körperzustandes. Denn wir haben gesehen, daß in sehr kleinen Abständen im Inneren des Körpers sich die Stellen von einiger Ausdehnung wiederholen, an welchen die Moleküle einer trennenden Kraft widerstehen. Innerhalb jedes sehr kleinen Raumes befinden sich sowohl Stellen des Zusammenhanges, als solche der Verschiebung, so daß die Cohäsion auf einer ganzen Fläche nur stellenweise wirksam und deswegen nicht so groß wie in dem festen Körperzustande ist.

Daß ferner die *mittlere Dichtigkeit im flüssigen Körper* nahezu gleich der des festen seyn kann, ist aus den obigen Ergebnissen erklärlich. An den Stellen des Zusammenhanges müssen die Abstände der Moleküle so groß, oder kleiner seyn, als in dem festen Körper vor dem Schmelzen, weil ja sonst kein Zusammenhang stattfinden könnte; an den Stellen der Verschiebung dagegen sind sie größer, werden aber rasch ausgefüllt, so daß sie nicht viel über jene steigen werden. Die mittlere Dichtigkeit wird also der des festen Körpers nahezu gleich seyn.

Die gegebene Erklärung des atomistischen Wesens der tropfbaren Flüssigkeiten genügt daher, wie ich glaube, allen zu stellenden Anforderungen. Sie erklärt die durch das Schmelzen gebunden werdende Wärme, die Verschiebbarkeit der Theilchen und die Cohäsion, und wird durch die Beobachtungen der Molecularbewegung aufs entschiedenste unterstützt, während sie selbst wieder für diese die allein befriedigende Erklärung liefert.

V. *Zur Geschichte der Spectral-Analyse und der Analyse der Sonnenatmosphäre;*
von G. Kirchhoff.

In meinen »*Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente* 1)« habe ich einige kurze historische Bemerkungen über ältere Arbeiten gemacht, die sich auf die in denselben behandelten Gegenstände beziehen. Ich habe dabei gewisse Veröffentlichungen mit Stillschweigen übergangen; einige, weil ich sie nicht kannte, andere, weil sie mir von keinem erheblichen Interesse für die Geschichte der in Rede stehenden Entdeckungen zu seyn schienen. Nachdem ich *jene* kennen gelernt und mich überzeugt habe, daß *diesen* von anderen Seiten mehr Gewicht beigelegt wird, als ich ihnen zuschrieb, will ich jene historischen Bemerkungen hier zu vervollständigen suchen.

1. Ich habe vor Allem unter denjenigen, die sich mit der Beobachtung der Spectren farbiger Flammen beschäftigt haben, Herschel und Talbot zu erwähnen, deren Namen hier um so weniger mit Stillschweigen übergangen werden dürfen, als sie bereits mit Bestimmtheit den Nutzen bezeichnet haben, den diese Beobachtung dem Chemiker zu

1) Abhandl. der Berl. Akademie 1861.