in Verbindung setzen mit einem Behälter, der eine etwas beträchtliche Menge von der flüchtigen Flüssigkeit enthielte und fortwährend die kleine Menge des Verdampften ersetzte.

VII. *Theorie der Cohäsion und Trennung der materiellen Theilchen oder Molecüle der Körper;*
von Hrn. Séguin, d. A.

(Auf Wunsch des Hrn. Moigno, aus dessen Cosmos, Vol. 1. p. 692.)

Physiker, welche versucht haben, die Cohäsion, oder jene Contactwirkung zu erklären, durch welche die Molecüle der Körper einander adhäriren, wurden daran durch zwei unübersteigbare Schwierigkeiten verhindert.

Die erste bestand darin, zu begreifen, wie zwei benachbarte Molecüle eines festen Körpers gegenseitig eine größere Wirkung auf einander auszuüben vermögen, als die Anziehungskraft der Erde auf jedes derselben; und gewöhnlich hat man, um diese Thatsache zu erklären, angenommen, daß die Anziehung mit der Entfernung sich ändere oder nach einem anderen Gesetze erfolge, in dem Maasse als die Molecüle sich einander mehr nähern.

Aber nach Beseitigung dieser ersten Schwierigkeit war noch zu erklären, warum die Molecüle, durch ihre gegenseitige Einwirkung der Erde entzogen und ihrer gegenseitigen Anziehung zu gehorchen freigegeben, nicht unbestimmt bestrebt seyen, sich in dem gemeinsamen Schwerpunkte zu concentriren. Diese Molecüle finden sich in der That bei den Körpern des Planetensystems niemals gleichzeitig zweien, sich das Gleichgewicht haltenden Kräften, der Schwere und der Centrifugalkraft, ausgesetzt, und sie verbleiben daher in bestimmten, zwischen festen Gränzen eingeschlossenen Entfernungen, welche sie nicht überschreiten können. Diese zweite Thatsache, von welcher man sich

sich durch das Gesetz der allgemeinen Anziehung keine Rechenschaft versprach, zu erklären, hat man oft angenommen, daß die Molecularanziehung, bei allzu großer Annäherung der beiden Molecüle, in Abstofsung übergehe; nicht selten auch hat man vorausgesetzt, daß der zwischen die Molecüle der Körper gelagerte Wärmestoff dieselben entfernt zu halten sich bestrebe, indem er diesen gegenüber die Rolle übernehme, welche die Centrifugalkraft in der Gesamtheit der Bewegungen der Weltkörper spielt.

Sehen wir, wie Séguin auf glückliche Weise dieselben beiden Thatsachen erklärt, und jene beiden großen Schwierigkeiten beseitigt durch die einfache Betrachtung des unendlich kleinen Volumens der materiellen Molecüle in Verbindung mit dem Gesetze der allgemeinen Anziehung.

Die Wirkung, welche ein Agregat von Molecülen oder eine bestimmte materielle Masse auf eine andere mit ihr in Berührung gebrachte Masse ausübt, kann von zwei Gesichtspunkten aus aufgefaßt werden: erstens, indem man die beiden Gesamtheiten von Molecülen gesondert betrachtet, als condensirt oder concentrirt in ihrem respectiven Schwerpunkte und als auf einander einwirkend in directem Verhältnisse der Massen und in umgekehrtem Verhältnisse des Quadrates der Entfernungen; zweitens, indem man unterstellt, dieselben seyen durch die Vereinigung äußerst dichter und äußerst kleiner Molecüle gebildet, die durch leere Zwischenräume von weit größerer Ausdehnung, als die von jenen eingenommenen vollen Räume, von einander getrennt sind.

Bezeichnet man durch die Einheit die Masse der Gesamtheiten von Molecülen, welche Gesamtheiten wir einfachheitshalber als kugelig, gleich und in der Einheit der Entfernung von einander befindlich annehmen, so wird in ersterem Falle ihre gegenseitige Anziehung ausgedrückt durch 1, getheilt durch das Quadrat von 1, d. h. durch 1.

Im zweiten Falle verhält sich die Sache ganz anders. Nehmen wir, um die Begriffe festzustellen, an, daß die

beiden Kugeln durch die Vereinigung von zwölf Reihen, zu 60 Molecülen jede, gebildet und, in Form von Radien im Inneren derselben angeordnet, um 60° gegenseitig gegen einander geneigt und durch andere Reihen, jede gleichfalls von 60 Elementen, verbunden sind. Dieses so erhaltene und einzig in seiner Art dastehende Polyëder, welches auf natürliche Weise durch die Nebeneinanderlagerung von kugeligen Molecülen hervorgeht, ist das Cubo-Octaëder der Mineralogen; es ist gleichsam regelmäfsig und kann in eine Kugel eingeschrieben werden, die es in zwölf Punkten berührt.

Sieht man ab von den Molecülen, welche sich in den Winkeln über einander lagern, so ist die Zahl der Kügelchen, welche die Bildung der zwei beträchtlichen Kugeln eingehen, gleich 2160 und die Masse jedes Molecüles, oder jeder kleinen Kugel ist der 2160ste Theil der Einheit. Ferner wird, da sich 120 Molecüle zwischen den Centren der beiden grofsen Kugeln oder zwischen der zweimal die Einheit betragenden Entfernung ihrer Schwerpunkte befinden, die Entfernung der Centren zweier kleinen Kugeln, oder benachbarter Molecüle gleich $\frac{1}{120}$ stel seyn, und folglich drückt sich die Anziehung einer dieser kleinen Kugeln, oder Molecüle, auf die ihr benachbarte aus durch:

$$\frac{1}{2160} : \left(\frac{1}{120}\right)^2 = \frac{14400}{2160} = 6,66 \dots,$$

d. h. die kleinen Kugeln üben in Anbetracht ihrer Dünne und ihrer gröfseren Annäherung eine gegenseitige Anziehung auf einander aus, welche 6mal beträchtlicher ist, als die der beiden ganzen Kugeln auf einander.

Nähmen wir in jeder Reihe statt 60 Molecüle deren 600 000 an, so würde jede kleine Kugel, oder jedes Molecül auf sein benachbartes eine Anziehung ausüben gleich $(1200\,000)^2$ zum Quadrate erhoben und getheilt durch 21 600 000, d. h. gleich 66666; diels zeigt, dafs, was auch leicht vorauszusehen war, die Anziehung zwischen den Mo-

lecülen, im Vergleiche zu der der beiden Körper unter sich, in directem Verhältnisse ihrer Theilung wächst.

Und da man außerdem unterstellen kann, daß die Reihen aus einer beliebig großen Anzahl Molecüle zusammengesetzt sind, so folgt, daß man einem Körper eine solche constitutive Form beilegen darf, daß jedes Molecül auf sein benachbartes eine größere Anziehung ausübt als die, welche jeder andere von derselben Masse gebildete Körper auf dieses Molecül ausüben würde, was auch außerdem das Volumen oder die Masse seyn möge, welches man diesem Körper beilegen könnte.

Séguin blieb nicht bei diesem allgemeinen Resultate stehen, er hat auch untersucht, welche Beschaffenheit der Masse, Dichtigkeit, Entfernung und Anordnung man den Molecülen, die durch ihre Vereinigung die mit Cohäsion begabten Körper bilden, beilegen müsse, damit diese Körper ungeändert bleiben, wenn sie sich unter dem Einflusse einer kräftig wirkenden Masse, wie die Erde, befinden, und der Calcül ergibt, daß die Anziehung dieser Masse auf die verschiedenen Theile dieser Körper größer ist als die Anziehung dieser selben Theile unter sich, sie gegenseitig als in ihrem respectiven Schwerpunkte concentrirt betrachtend.

Dieses gerade ist die Art, wie man das Problem formuliren muß. Denn vermag man die Erklärung der Cohäsion auf das einfache Gesetz der Attraction zurückzuführen, so muß, wenn ein Körper, dessen Zähheit groß genug ist, der Wirkung seines eigenen Gewichtes zu widerstehen, will man sein Zerreißen bewerkstelligen, er frei aufgehängt und bloß an seinem äußersten Ende befestigt seyn, damit die Kraft, die gegenseitig durch seine eigenen Molecüle in seinem Aufhängepunkte ausgeübt wird, an Größe die der Erde auf die ganze Masse der Molecüle, welche sich zwischen diesen und dem Aufhängepunkte selbst befinden, übertreffe.

Wählen wir als Beispiel den sehr einfachen Fall eines an einem seiner Enden senkrecht aufgehängten Eisenstabes.

Der Calcül ergibt, daß die Cohäsion des Metalles gleich ist der Kraftwirkung, welche durch eine Säule von 6000 Meter Länge ausgeübt wird, und daß bei Ueberschreitung dieser Gränze das Gewicht des unteren Theiles ein Zerreißen bewirken würde. Denkt man sich daher eine Molecülreihe in dem Sinne der Länge des Stabes abgesondert, oder betrachtet man diesen als einfach zusammengesetzt aus einer Reihe aufeinander folgender Molecüle, so ist nothwendig in dem Punkte, wo das Zerreißen erfolgt, die Anziehung der Molecüle, welche jeder der sich auf der einen und anderen Seite dieses Punktes befindlichen Reihen zukommt, gleich der Anziehung, welche die Erde auf die Gesamtmasse der Molecüle ausübt, die zwischen der Erde und eben diesem Punkte befindlich sind.

Diese Wirkung zu bestimmen, wollen wir untersuchen, auf welche Weise in diesem Falle die Attraction auf die Molecüle wirkt, dabei unterstellend, daß zwei Körper *A* und *B*, die von kugelförmiger Form sind, und von denen jeder ein Volumen besitzt, gleich und gleich dicht dem der Erde, an einem Punkte ihrer Oberfläche, sich berühren, und daß die Summe ihrer Massen und die Entfernung ihrer Centren durch die Einheit ausgedrückt werde. Ihre gegenseitige Kraftwirkung drückt sich dann ersichtlich aus durch $\frac{1}{1^2} = 1$.

Unterstellt man nun, diese Körper seyen in Kugeln von 1 Meter Durchmesser getheilt von derselben Dichtigkeit, so wird, da der Durchmesser der Erde in runder Zahl 12 000 000 Meter beträgt, die Zahl der Kugeln einer jeden dieser Massen $(12\,000\,000)^3$ seyn, und es drückt sich die Anziehung jeder dieser Kugeln auf die mit ihr in Berührung stehende aus durch:

$$\left(\frac{1}{12\,000\,000}\right)^3 : \left(\frac{1}{12\,000\,000}\right)^2 = \frac{1}{12\,000\,000}.$$

Hieraus folgt, daß, nimmt man die Dichtigkeit dieser Kugeln als 12 000 000 mal größer, oder, in anderen Worten, ihre Anzahl als 12 000 000 mal kleiner an, jede derselben die Eigenschaft besitzt, auf die Oberfläche eine Anziehung

auszuüben gleich der der beiden großen Körper auf einander. Da jedoch die Anziehung der sich berührenden Kugeln groß genug seyn muß, wie wir dies bestimmt haben, um eine Reihe von 6000 Kugeln zu tragen, so muß ihre Kraftwirkung in diesem Punkte auch 6000mal beträchtlicher seyn; und dies erhält man nun, wenn man ihre Dichtigkeit vermehrt, oder ihre Anzahl verringert in demselben Verhältnisse von 1 zu 6000, so daß diese sich vermindert auf:

$$\frac{(12\,000\,000)^3}{12\,000\,000 \times 6000} = 24 \times 10^9.$$

Unabhängig von der Wirkung, welche die beiden Kugeln, oder benachbarten Molecüle einzeln auf einander ausüben, wirkt jedes derselben auf alle anderen derselben Reihe, welche Wirkung gemessen wird durch ihre Masse, getheilt durch das Quadrat der Entfernung zwischen denselben. Bezeichnen wir mit $a, a', a'' \dots b, b', b'' \dots$ die Kugeln, oder Molecüle, welche respective der auf der einen und anderen Seite des Berührungspunktes befindlichen Reihe zugehören, und rechnen wir ihre Abstände von diesem Punkte an, so finden wir, daß die Summe der gegenseitigen Anziehung beider Reihen umfaßt: 1) die Anziehung von a auf b , gleich $\frac{1}{1^2} = 1$; 2) die Anziehungen von a auf b' und von a'' auf b , jede gleich $\frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$, und zusammen gleich $\frac{1}{2}$; 3) die Anziehungen von a auf b'' , von a' auf b' , von a'' auf b , jede gleich $\frac{1}{3^2} = \frac{1}{9}$, und zusammen gleich $\frac{1}{3}$; u. s. f. Das Gesetz der Progression offenbart sich schon in den ersten Gliedern, und die Summe der Anziehungen, oder die totale Anziehung der einen Moleculärreihe auf die andere ist folglich gegeben durch die Summe der 6000 ersten Glieder der Reihe $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \text{etc.}$ Fügt man die 9 ersten Glieder zusammen, so erhält man 2,83. Nimmt man die 90 folgenden Glieder und sucht deren Summe, so wird man zu demselben Werthe kommen, weil man 10mal mehr Glieder hat, von denen jedes im Mittel

einen 10mal kleineren Werth hat; und theilt man alle anderen Glieder in Gruppen, deren Gliederzahlen successive 10mal gröfser sind, d. h. von 900 bis 9000, von 9000 bis 90000, so wird deren Werth für jede Gruppe derselbe seyn. Folglich wird die Summe der Glieder der Reihe, gleich der Summe der Werthe der Gruppen, durch das Product, welches man durch Multiplication des Logarithmen der Zahl der Glieder mit dem gemeinsamen Werthe der Gruppen erhält, ausgedrückt werden können, weil die Anzahl der Gruppen der Logarithmus der Zahl der Glieder ist. In vorliegendem Falle ist die Gliederzahl 6000, ihre Summe also:

$$2,83 \times \log. 6000 = 2,83 \times 3,778 = 10,79,$$

oder in runder Zahl 10. Man kann daher in Folge dieser zweiten Quelle der Attraction in Verbindung mit der ersten die Molecüle 10mal weniger dicht und ihre Anzahl 10mal beträchtlicher, d. h. gleich $24 \times 10^{10} = 240\,000\,000\,000$ annehmen. Diese Betrachtungen thuen dar, dafs die durch die Kugeln oder Molecüle gegenseitig ausgeübte Wirkung zwei deutlich unterschiedenen Ursachen entspringt, und es ist daher von Wichtigkeit, diese im Einzelnen zu betrachten. Die erste ist die Thätigkeit der Molecüle auf benachbarte, und ihre Wirkung vermehrt weder, noch vermindert sie die Gesamtlänge, welche die Molecüle bilden würden, wenn man sie einzelnen aneinander gereiht sich dächte. In der That, in dem uns beschäftigenden Falle ist diese Länge $\frac{(12\,000\,000)^3}{12\,000\,000 \times 6000} = 24\,000\,000\,000$ Meter, wenn jede Kugel 1 Meter Durchmesser hat; für Kugeln von 1 Millimeter Durchmesser erhielte man nun z. B. auf gleiche Weise $\frac{(12\,000\,000\,000)^2}{12\,000\,000\,000} = 24\,000\,000\,000$ Kugeln von einem 1000mal kleineren Durchmesser, was dieselbe Länge von 24 000 Millionen Metern ergibt. Die zweite Quelle der Cohäsion ist die Thätigkeit, ausgeübt durch die nicht benachbarten Molecüle; nun ist gezeigt worden, dafs diese zweite Kraftwirkung wächst proportional dem Loga-

rithmen der Zahl der Molecüle, und dafs sie eigentlicher noch abhängt von dem Grade der Theilung und Dichte, auf welchen man die Molecüle gebracht hat.

So sind wir zu dem Fundamentalschlusse gelangt, dafs, um die Phänomene der Cohäsion zu erklären, ohne auf andere Ursachen als die Newton'sche Attraction zurückzugehen, es vollständig hinreicht, anzunehmen: 1) die Molecüle der Körper gruppiren sich in Reihen, die um so länger sind, je gröfser die Cohäsion ist; 2) die Dimensionen der in Reihen gruppirten Molecüle sind so klein, dafs sie alle Vorstellungen übertreffen, welche wir uns von unendlich kleinen Quantitäten machen können. Man sieht in der That alsdann ein, dafs der Logarithme der Zahl, welche die Quantität der in einer Reihe von endlicher und beliebig kleiner Länge enthaltenen Molecüle ausdrückt, selbst grofs genug seyn kann, um ins Unbestimmte die Anziehung zu vermehren, welche die verschiedenen Theile des Systemes unter sich verbindet; daher kann man auch voraussetzen, dafs die Dichtigkeit jedes Molecüls und folglich die von ihm einzeln auf sein benachbartes ausgeübte Anziehung um so geringer sey, je gröfser der Logarithmus der Zahl der die Reihe bildenden Molecüle.

Diese Schlüsse Séguin's in Bezug auf die ungeheuer grofse Anzahl und unendliche Kleinheit der Molecüle der Körper stimmt ganz mit der gewöhnlichen Ansicht der Physiker überein. Schon Musschenbroeck hatte als erwiesen, selbst experimentell erwiesen, folgende Sätze ausgesprochen: 1) Wie grofs auch das Volumen eines Körpers seyn mag: die zwischen seinen Molecülen befindlichen leeren Räume sind doch bedeutend genug, um begreiflich zu machen, dafs dieser Körper ohne irgend einen Verlust seiner Substanz auf ein unendlich kleines Volumen reducirt werden kann, ähnlich einem Sandkorne oder dem kleinsten Atome sichtbarer Materie; 2) in dem kleinsten Sandkorne, in dem kleinsten Atome sichtbaren Staubes, giebt es Theile genug, welche man abtrennen kann, oder welche wirklich abgetrennt sind, um daraus eine Kugel von beliebiger

Größe zu formen, in welcher zwei benachbarte oder angränzende Atome in einer Entfernung sich befinden, kleiner als jede angebbare Länge. Séguin drückt sich, ohne diese Sätze des gelehrten holländischen Physikers im Geringsten zu ändern, anders aus: Von welcher Dichte auch die Körper seyn mögen, sagt er, die letzten Atome sind in Bezug auf ihr Volumen eben so weit von einander entfernt, als die Himmelskörper im Raume es sind.

Es erübrigt noch, auseinander zu setzen, wie Séguin die Intensität der anziehenden Kräfte der Materie im Zustande der äußersten Theilung experimentell zu constatiren versucht hat. Er hat als Beispiel den Fall gewählt, wo in Folge chemischer Reaction, welche zwischen Substanzen verschiedener Natur bei ihrer Auflösung in Wasser vor sich geht, ein fester Körper sich bildet und mitten in der Flüssigkeit erscheint. Er selbst hat einen optischen Apparat construirt, bestimmt, den durch die Molecüle in dem Momente, wo sie in festem Zustande erscheinen, durchlaufenen Raum zu messen, einen Raum, den sie zurücklegen, um von dem Punkte, wo die Anziehung jedes der wirk-samen Mittelpunkte aufhört, bis zu dem zu gelangen, wo sie einen der flockenartigen Kerne bilden, deren Vereinigung den Niederschlag bildet. Indem er dann jeden der Gruppierungsmittelpunkte wie eine Masse auf die entferntesten Molecüle anziehend einwirkend betrachtet, hat er den Raum, den diese kleine Masse in einer gegebenen Zeit die angezogenen Molecüle zu durchlaufen zwingt, verglichen mit dem, welchen die Erde in derselben Zeit einen auf ihrer Oberfläche befindlichen Körper hätte durchlaufen lassen.

Es war von Wichtigkeit, mit einem Niederschlage zu operiren, dessen Bildung nicht allzu schnell geschah. Séguin wählte demzufolge den, welcher sich bei der Auflösung von Seife in Wasser bildet, worin schwefelsaurer Kalk sich in Lösung befindet; einen Theil dieses Wassers goss er in einen kleinen Trog, der am Grunde durchscheinend war, stellte ihn in den Brennpunkt von Strahlen, welche

einem Systeme von Linsen parallel waren, und tauchte ein Stückchen feuchter Seife in denselben; es bildete sich augenblicklich, in weniger als einer Sekunde, ein flockenartiger Niederschlag, zusammengesetzt aus abwechselnd dunkeln und hellen Theilen und gebildet durch äußerst dünne Fäden, deren respective Lagen, Formen und Dimensionen nicht merklich während der Dauer der Beobachtung sich änderten. Er maß mittelst eines in das Ocular des Apparates eingesetzten Mikrometers die Entfernung der Centren der hellen und dunkeln benachbarten Theile; ein Mittel aus mehreren Beobachtungen ergab für diese Entfernung $0^{\text{mm}},36$, welche Größe die Kante des kleinen Würfels ausdrückt, der die im Wirkungsmittelpunkte gruppirte feste Masse umfaßt, und beinahe dem Volumen einer Kugel von 3 Millimeter Durchmesser gleichkommt.

Das Volumen dieser kleinen Masse gleich 1 gesetzt, findet man durch Rechnung, daß das der Erde durch 7641×10^{25} ausgedrückt wird; aber da das Wasser nur ein Tausendtel seines Gewichtes feste Masse aufgelöst enthielt, deren Dichte nur der Hälfte der der Erde gleich ist, so muß obige Zahl noch mit 2000 multiplicirt werden; sie wird so 15282×10^{28} und drückt die Beziehung der Masse der Erde zur Masse des Flockens, dessen Volumen 1 ist, aus.

Dies unterstellt, erhält man endlich das Verhältniß der Anziehungen in der Entfernung dadurch, daß man obige Zahl durch das Quadrat des Verhältnisses der Radien der kleinen Masse und der Erde, oder durch 18×10^{18} theilt; so ergibt sich 8487×10^9 ; und da die Erde die auf ihrer Oberfläche befindlichen Körper einen Raum von ungefähr 5 Meter in der ersten Sekunde ihres Falles durchlaufen läßt, so folgt, daß die kleine Masse, bei einer nach denselben Gesetzen vor sich gehenden Wirkung auf das Molecül, dieses in derselben Zeit nur einen Raum von 5 Meter getheilt durch vorhergehende Zahl, oder $\frac{1}{16974 \times 18^3}$ Meter hätte durchlaufen lassen müssen, oder als Decimalzahl, die

Zahl 6029 mit vorausgehenden zwölf Nullen. Aber der in einer Sekunde durchlaufene Raum ist ersichtlich gleich der Hälfte des Raumes, welchen das durchscheinende, die beiden kleinen Materiananhäufungen trennende Wasser einnahm; und Séguin hat durch ein Mittel aus mehreren Beobachtungen gefunden, daß dieser Raum $0^{\text{mm}},6$ betrug, d. h. siebenhundert Milliarden mal größer war, als wenn die Anziehung der kleinen Masse auf das Molecül nur das Resultat der Anziehung aller es zusammensetzenden Theile, betrachtet als concentrirt in ihrem Schwerpunkte, gewesen wäre. Daher mußten nothwendig der Zustand der äußersten Theilung und die unendliche Kleinheit ins Mittel treten, um in ungeheurem Verhältnisse die Anziehung, welche die Gruppierung bewirkt hat, zu vermehren.

Diese Experimente Séguin's sind nur ein erster Versuch, aber ein sehr glücklicher, welcher neue Wege öffnet und welchen man vergleichen kann mit der ersten Rechnung, in Folge deren Newton, die beobachtete Fallgröße des Mondes mit der Fallgröße der auf der Erdoberfläche befindlichen Körper vergleichend, zu dem Schlusse gelangte, daß den Bewegungen des Mondes als einzige Ursache die Anziehung der Erde in umgekehrtem Verhältnisse des Quadrates der Entfernung zu Grunde liege.

VIII. *Tangentenbussole nach einem neuen elektrodynamischen Princip; von Hrn. Gauguin.*

(Ein Schreiben an Hrn. Despretz. *Compt. rend. T. XXXVI. p. 191.*)

Neulich haben Sie der Academie eine ausgedehnte Arbeit über die Tangentenbussole des Hrn. Pouillet mitgetheilt und darin gezeigt, daß die Tangenten der Ablenkungen der Nadel dieses Instruments nicht genau den Intensitäten der elektrischen Ströme proportional sind, wenigstens so-