

X.

Rückblick: die Umwandlungen der einzelnen Bewegungsformen in einander; die theoretische Erklärung des Wesens der Transformationen.

Wir haben uns in den letzten Stunden bemüht, das Gesetz von der Erhaltung der Kraft seinem eigentlichen Sinne nach zu erfassen und verständlich zu machen. Ich glaube, dass uns dies gelungen sein dürfte, und ich halte es nun für angemessen, einen eingehenden Rückblick auf den von uns durchlaufenen Weg zu werfen, sodann das Gesetz im Sinne der mechanischen Naturauffassung zu beleuchten, um dann endlich die Wichtigkeit und Bedeutung seiner Anwendung auf die gesammten Naturerscheinungen — auch auf die sogenannten organischen oder Lebensvorgänge — darzulegen, womit das Thema dieser Vorträge zum Abschluss gelangt.

Getreu den nüchternen Principien der exacten Naturforschung haben wir damit begonnen, uns auf dem Wege der Beobachtung und des Experiments mit allen den verschiedenen Naturkräften und ihrer Wirkungs- und Erscheinungsweise bekannt zu machen, welche im Stande sind, Arbeit zu leisten, d. h. irgend welche Vorgänge und Veränderungen in der Natur zu verursachen.

Wir lernten zunächst an einigen einfachen concreten Beispielen aus dem Gebiete der grob-mechanischen Erscheinungen den Begriff der mechanischen Triebkraft und den Begriff der mechanischen Arbeit kennen. Die Naturkräfte, welche wir als mechanische Triebkräfte kennen lernten, fanden wir erfahrungsgemäss unter zweierlei Umständen vor, welche uns nöthigten, den allgemeinen Begriff der Triebkraft näher zu definiren: als Triebkraft in Form von Spannkraft oder potentieller Energie, und als Triebkraft in Form von lebendiger Kraft oder actueller Energie. Der Begriff der mechanischen Arbeit führte uns zur numerischen Auswerthung einer bestimmten Quantität

geleisteter Arbeit in Fusspfunden oder Kilogrammetern, und wir erkannten, dass wir damit zugleich ein exactes und ganz allgemeines Maass für ein bestimmtes Quantum mechanischer Triebkraft erhalten hatten, welches irgendwo und irgendwie in Form von Spannkraft oder lebendiger Kraft, als Gesamtvorrath von Triebkraft oder totale Energie vorhanden oder disponibel ist. — Für das Spannkraftsquantum ergab sich die Formel: $P \cdot h = Mg \cdot h$; für dasselbe Quantum in Form von lebendiger Kraft hingegen die Formel: $\frac{Mv^2}{2}$; und der eigentliche Sinn des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft erschloss sich uns dahin, dass nach demselben die Summe von Spannkraft und lebendiger Kraft, oder die totale Energie eine durch das ganze Universum constante und sich gleichbleibende Grösse sein sollte, indem für jedes Quantum von Spannkraft, das verschwindet, ein genau äquivalentes Quantum lebendiger Kraft entsteht und umgekehrt, dass mit einem Worte nicht nur die Kraft wie der Stoff, sondern auch die Krafterleistung oder das Quantum der geleisteten Arbeit unerschaffbar und unvernichtbar sei und somit in unveränderter Quantität im Naturganzen erhalten bleibe.

Die von uns untersuchten concreten Fälle aus dem Gebiete der grobmechanischen Erscheinungen schienen jedoch der strengen und allgemeinen Gültigkeit und Herrschaft des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft zu widersprechen, und ich musste Sie mit der Aussicht auf eine spätere befriedigende Lösung dieser scheinbaren Widersprüche verweisen. Sie wissen bereits, dass diese Aussicht keine trügerische war! —

Indem wir die Wärme als eine Art der mechanischen Triebkraft, nämlich als lebendige Kraft, d. h. als erlangte Geschwindigkeit der kleinsten Massentheilehen, kennen lernten, und als sich uns im Zusammenhange hiermit das Verständniss der mechanischen oder dynamischen Wärmetheorie und die Einsicht in das eigentliche Wesen und die Natur der Wärme als einer Art der Bewegung erschloss — da ging uns mit einem Male die grossartige Erkenntniss auf, dass der Begriff und das Maass der mechanischen Arbeit, der Begriff und das Maass der mechanischen Trieb- oder Arbeitskraft in Form von potentieller und actualer Energie oder von Spannkraft und lebendiger Kraft, auf alle Naturprocesse und arbeitsfähigen Naturkräfte anwendbar ist, und das Gesetz von der Erhaltung der Kraft trat in seiner Bedeutung und strengen Allgemeingültigkeit immer deutlicher und schärfer hervor.

Auch das Licht und die chemischen Prozesse konnten wir nun in den Kreis der mechanischen Naturanschauung ziehen und mit der Maasseinheit der Calorie und des Kilogrammmeters messen. — Ja, selbst die elektrischen und magnetischen Erscheinungen, deren Natur und eigentliches Wesen vorläufig noch in ein undurchdringliches Dunkel gehüllt bleibt, fügten sich als arbeitsfähige Naturkräfte dem grossen Gesetze der Transformation, Aequivalenz und Erhaltung der Kraft.

Es wird nunmehr lehrreich und angenehm sein, die von uns auf dem skizzirten Wege der Untersuchung gesammelten Erfahrungen über die Formen der Trieb- oder Arbeitskraft rasch zu recapituliren.

Ein bestimmtes Quantum von Trieb- oder Arbeitskraft lernten wir in folgenden Formen oder Modalitäten kennen:

1) ein gehobenes Gewicht, indem es fällt oder fallen kann. Hier ist es die Schwere oder Gravitation, d. h. die allgemeine Anziehung der ponderablen Massen oder Molen, welche ins Spiel kommt;

2) ein gespannter elastischer Körper, indem er sich entspannt oder entspannen kann. Hier wirkt die Cohäsion, d. h. die Anziehungs- und Abstossungskraft, welche zwischen den Molecülen der festen und flüssigen Aggregate thätig ist:

3) getrennte chemische Atome, indem sie sich durch die Affinität oder Verwandtschaftskraft fest verbinden.

Die genannten drei Formen der Triebkraft sind im Gesamtkraftvorrath der Natur als Spannkkräfte vorhanden.

4) Die erlangte Geschwindigkeit bewegter, ponderabler Massen, indem sich dieselbe verzögert:

5) Wärme, d. h. die erlangte Geschwindigkeit der unregelmässig bewegten, unmessbar kleinen Molecüle und Atome, indem die Wärme als solche, d. h. die Wärmebewegung verschwindet:

6) Licht, d. h. die erlangte Geschwindigkeit der in regelmässig fortschreitender Wellenbewegung begriffenen Aetheratome, indem das Licht oder die regelmässige Aetherwelle als solche verschwindet.

Die drei zuletzt genannten Formen von disponibler Triebkraft finden sich im Gesamtvorrath der Natur als die unmittelbare Wirkung der in lebendige Kraft oder actuelle Energie »umgesetzten« äquivalenten Spannkraftsmengen von Schwere, Cohäsion oder Affinität.

7) Endlich sind noch elektrische Ströme und elektromagnetische Wirkungen Erscheinungsformen bestimmter Quantitäten der Triebkraft, insofern als unter ihrer Vermittelung äquivalente Arbeitsmengen geleistet und zu ihrer Unterhaltung mechanische, chemische oder thermische Kräfte verbraucht werden. Wir wissen zwar

nicht, was eine gewisse Menge Elektrizität ist, und haben daher auch keinen Ausdruck für ihr directes Aequivalenzverhältniss zu den anderen Kräften, allein es gilt, wie ich im jüngsten Vortrage gezeigt habe, nichtsdestoweniger in aller Strenge das Gesetz von der Erhaltung der Kraft auch für alle Wirkungen und Arbeitsleistungen, die unter der räthselhaften Vermittelung des elektrischen Stromes zu Stande kommen.

Die eben gegebene Uebersicht über die Erscheinungsformen der im Naturganzen thätigen Kräfte erinnert uns daran:

1) dass sich die wirkungsfähige Trieb- oder Arbeitskraft in allen Fällen erschöpft — und zwar genau in dem Maasse, als sie die Arbeit wirklich leistet; und

2) dass sie wieder hergestellt werden kann, aber immer nur unter der Bedingung, dass eine bestimmte Menge einer anderen Triebkraft dazu aufgewendet wird, gleichgültig welcher Art und Natur diese andere fremde Triebkraft auch sein mag.

Diese Möglichkeit der Wiederherstellung einer verloren gegangenen Triebkraft durch Aufwendung einer anderen beruht auf der sogenannten Transformation der Naturkräfte, auf dem Vermögen derselben, gegenseitig in einander überzugehen. — Sie lernten bereits der Erfahrungen viele für diese Thatsache kennen, ich will sie Ihnen jetzt durch noch eine Reihe von Beispielen ad oculos demonstriren.

Ich habe hier ein gehobenes Gewicht, das fallen kann, also ein Quantum disponibler mechanischer Triebkraft in Form von Spannkraft. Fällt das Gewicht, wirkt die Schwere als lebendige Kraft, so entsteht Bewegung, und das Gewicht hat am Ende des Fallraumes eine bestimmte Geschwindigkeit, ein bestimmtes Quantum lebendiger Kraft, erlangt. Lasse ich eine Feder gegen die Rolle drücken, so kommt das Gewicht am Ende des Fallraumes ohne merkliche Geschwindigkeit an; dagegen hat sich in Folge der Reibung eine äquivalente Wärmemenge entwickelt. —

Benütze ich die Triebkraft des fallenden Gewichtes, um diese magneto-elektrische Maschine zu treiben, so erhalte ich elektrische Ströme unter Vermittelung des Magnetismus.

Genau dieselben wirkungsfähigen Kraftformen der Wärme und der elektrischen Ströme kann ich auch durch Aufwendung eines Quantum irgend einer anderen mechanischen Triebkraft, z. B. einer gespannten Feder oder der erlangten Geschwindigkeit bewegter Massen, disponibel machen. Kurz, mechanische Kraft gibt Geschwindigkeit bewegter Massen, Wärme und elektrische Ströme.

Die Wärme wieder kann sich in mechanische Kraft (Dampf-

mashinen), in Licht (Glühen), in elektrische Ströme (Thermosäule) und in chemische Spannkraft (Dissociation) verwandeln.

Ein Quantum chemischer Spannkraft oder Affinität gibt Wärme (Verbrennung) oder elektrische Ströme (Batterie).

Unter Vermittelung der elektrischen Ströme aber erzeugt sich Wärme, entstehen Inductionsströme, Magnetismus, mechanische Arbeit (durch Induction Elektromagnetismus, Elektrodifffusion), chemische Spannkraft und Licht. —

Licht endlich setzt sich in Wärme oder chemische Spannkraft um.

Sie sehen, jede Erscheinungsform wirkungsfähiger Kraft lässt sich in jede andere überführen oder transformiren, und zwar kann dies durch die verschiedenartigsten Zwischenglieder und auf den mannigfaltigsten Wegen geschehen. Allein welchen Weg die Natur beim Ablauf der in der Welt zu Stande kommenden Vorgänge und Veränderungen, oder wir selbst zur Erreichung unserer Zwecke auch einschlagen mögen, niemals und unter keinerlei Umständen ist ein Neugewinn an wirkungsfähiger Kraft möglich; denn so oft auch, nachdem ein Quantum Triebkraft in der einen Form durch die wirklich geleistete Arbeit erschöpft worden ist, eine oder gleichzeitig mehrere andere Formen der Triebkraft als Spannkraft oder lebendige Kraft zum Vorschein kommen, ihre Summe ist immer dem aufgewendeten Triebkraftsquantum absolut gleichwerthig oder äquivalent.

Diese grosse und fundamentale Wahrheit verdankt die Wissenschaft der Entdeckung des mechanischen Aequivalents der Wärme: denn da sich jede Erscheinungsform der Triebkraft in eine bestimmte Wärmemenge umsetzen lässt, so können die Aequivalente aller übrigen Naturkräfte auf das Maass der mechanischen Arbeit zurückgeführt werden. — Und wie zwischen Wärme und mechanischer Arbeit, so zeigt sich zwischen allen Naturkräften ein bestimmtes und unveränderliches Aequivalenzverhältniss, d. h. wenn ein gewisses Quantum Kraft in einer der verschiedenen Erscheinungsformen verschwindet, so tritt sie in genau äquivalenter Menge in einer anderen Form wieder auf, so dass die Triebkraft, genau so wie der Stoff, weder vermehrt noch vermindert, weder neu erzeugt noch vernichtet werden kann, sondern im ganzen Universum in gleichbleibender Menge sich erhält.

Dies ist nun das sogenannte Gesetz von der Erhaltung der Kraft oder Arbeit, dessen Sinn Ihnen nach allen diesen Erörterungen wohl vollkommen verständlich geworden sein wird.

So weit bis heute die Thatsachen geprüft sind, gilt das Gesetz von der Unveränderlichkeit des Stoffs und von der Erhaltung der Kraft —

wie dies a priori nicht anders erwartet werden konnte — auch für die Vorgänge in der organischen Natur. Was den Stoff betrifft, hat mein früherer Vortrag über den Kreislauf desselben in den drei Naturreichen Sie wohl genügend von seiner Unveränderlichkeit überzeugt; von der Kraft und ihrem Gesetze der Erhaltung sei von mir heute nur im Allgemeinen der unter den Physiologen zur Zeit herrschenden Anschauung erwähnt.

Die Pflanzen, wird allgemein gelehrt, entnehmen die Triebkraft in Form von lebendiger Kraft der Sonnenstrahlung; ohne äussere Arbeit zu leisten, verschlucken sie die Sonnenstrahlen, leisten vorzugsweise innere Arbeit, indem sie in den grünen Pflanzentheilen chemische Zersetzung herbeiführen, wobei die lebendige Kraft in Spannkraft umgewandelt wird; die Thiere ihrerseits nehmen in den verbrennlichen organischen Substanzen Spannkraft auf und verwandeln sie in lebendige Kraft in der Modalität der Wärme, Contractilität und Neurilität.

In unseren Organismen insgesamt haben wir somit keine Kraft-erzeuger, sondern blos Transformationsapparate.

Ich darf Sie nunmehr wohl daran erinnern, dass wir schon in einer der ersten Vorlesungen an die nachgewiesene Unveränderlichkeit und Unzerstörbarkeit des elementaren Stoffes eine Reihe von raschen Schlussfolgerungen geknüpft hatten, welche in dem Satze gipfelten, dass es das Endziel der modernen mechanischen Naturauffassung sei: die allem Geschehen in der Natur zu Grunde liegenden Bewegungen und deren Triebkräfte zu finden und die gesammte Naturwissenschaft als ein Problem der analytischen Mechanik zu behandeln.

Damals musste Sie diese ganze Auffassungsweise und Gedankenkette äusserst fremdartig anmuthen und wie ein wüster, unverständlicher, zusammenhangloser Traum in eine Art Verwirrung versetzen. Heute hoffe ich Sie genügend vorbereitet zu finden, die damaligen Schlussfolgerungen mit verständnissvollem Bewusstsein zu begleiten und deren bindende Kraft anzuerkennen.

Wir haben uns mit der Vorstellung vertraut gemacht, dass allen Naturerscheinungen nur Veränderungen der Vertheilung der Uratome im Raume zu Grunde liegen, dass somit alle Vorgänge in der Natur, so verschieden und mannigfaltig dieselben auch immer sein mögen, in letzter Instanz durch mechanische Bewegung zu Stande kommen. Ich brauche Sie nicht daran zu erinnern, dass wir die Veränderung der Aggregatzustände, den Wechsel der chemischen Verbindungen, die Wärme und Lichtentwicklung in anschaulichster Weise

als mechanische Bewegungsvorgänge der Molecüle, der chemischen Atome und der Uratome auffassen lernten. Auch die elektrischen und magnetischen Erscheinungen, obschon sie ihrer eigentlichen Wesenheit und Natur nach noch dunkel sind, fügen sich insofern in den Rahmen der mechanischen Naturauffassung, als sie sich an dem Zustandekommen der Bewegungsvorgänge in der Natur in einer solchen Weise theiligen, dass wir berechtigt sind, den Satz auszusprechen, dass alle die verschiedenen Kräfte, welche man früher als die Ursachen der verschiedenen Naturerscheinungen postuliren zu müssen glaubte, wesentlich gleichartig und nur verschiedene Erscheinungsformen einer und derselben mechanischen Kraft sind, die als Anziehung in den Körperatomen, als Abstossung in den Aetheratomen ihren Sitz hat.

Es ist lehrreich sich hier klar zu machen, wie man zur Aufstellung so verschiedener Naturkräfte kommen musste. Die Forderung, die Naturerscheinungen zu begreifen, heisst so viel, als ihre Gesetze zu finden. In der That ist ein Naturgesetz, nach HELMHOLTZ' Definition der allgemeine Begriff, unter den sich eine Reihe gleichartig ablaufender Vorgänge zusammenfassen lässt, d. h. es ist der Ausdruck dessen, was allen Einzelfällen einer gleichartigen Erscheinungsweise gemeinsam ist und was wir in allen diesen Fällen ausnahmslos regelmässig wiederkehrend finden. Die Ausnahmslosigkeit ist das Kennzeichen der Wahrheit und Wirklichkeit des Gesetzes. So tritt uns das Gesetz mit zwingender Nothwendigkeit und Gewalt als fremde reale Macht entgegen, und demgemäss objectiviren wir es als besondere Naturkraft, und so kommen wir zur Statuirung von einer besonderen chemischen Verwandtschaftskraft oder Affinität, einer besonderen Cohäsionskraft, einer besonderen Schwerkraft oder Gravitation, von Wärme, Licht, Elektrizität, Magnetismus und endlich einer besonderen Lebenskraft u. s. w. In diesem Sinne bezeichnet das Wort »Kraft« ein Etwas, das nicht an sich und in seiner Wesenheit bekannt und erkennbar ist, sondern nur durch und in seiner gesetzmässigen Wirkungsweise und mannigfaltigen Erscheinungsform. Nach der mechanischen Hypothese der modernen Naturwissenschaft sind aber alle diese besonderen und verschiedenen Naturkräfte, welche man als die Ursachen der Naturerscheinungen postulirt, letzten Endes auf eine und dieselbe mechanische Bewegungskraft zurückzuführen, welche als einfache anziehende Centrakraft in jedem Körperatom, als einfache abstossende Centrakraft in jedem Aetheratom ihren Sitz hat.

Wir haben ja gesehen, dass in der That alle die verschiedenen Naturkräfte, insofern sie Veränderungen hervorrufen, d. h. Arbeit

leisten, mit dem Maasse der mechanischen Kraft sich messen lassen und nach ganz bestimmten, in diesem Maasse ausdrückbaren Aequivalenten sich gegenseitig Wirksamkeit verleihen, oder, wie der bildliche Ausdruck lautet, in einander sich transformiren. Aber sehen wir zu, was wir unter diesem bildlichen Ausdruck, der sich allerdings durch seine Kürze und Bequemlichkeit empfiehlt und eingebürgert hat, eigentlich meinen, d. h. was denn im Sinne unsrer mechanischen Naturauffassung wirklich und eigentlich vorgeht, wenn sich, wie wir sagten, eine Kraft in die andere transformirt, was ja ein logischer Widerspruch ist. Ich werde in meiner Erörterung so Manches wiederholen müssen, was ich Ihnen bereits bei einem früheren Anlasse über das Wesen all dieser Vorgänge und verschiedenen Erscheinungsformen mitgetheilt habe; aber scheuen Sie die Mühe nicht, mir von Neuem aufmerksam zu folgen, die Wichtigkeit des Gegenstandes verdient es vollkommen.

Nach der modernen naturwissenschaftlichen Anschauung besteht, wie Sie wissen, die Materie aus unzählbaren, discreten, d. h. durch Zwischenräume getrennten, unmessbar kleinen Theilchen, den sogenannten Körperatomen und Aetheratomen: die ersteren sind die Sitze der Anziehungskraft, die letzteren die Sitze der Abstossungskraft. Diese Anziehungs- und Abstossungskräfte sind sogenannte Centralkräfte, d. h. sie wirken gleichmässig von einem Centralpunkte aus in geraden Linien nach allen Richtungen des Raumes hin, und die Intensität ihrer Wirkung ist nur eine Function der Entfernung. Alle Bewegungskräfte, die uns in den Naturerscheinungen entgegen treten, sind nichts als verschiedene Aeusserungsformen der eben genannten beiden Urkräfte. So ist die Affinität nicht etwa eine neue Kraft, sondern einfach die Combination oder Resultante der Anziehungs- und Abstossungskräfte der zu unmessbar kleinen Ganzen — den chemischen Atomen — verknüpften Körper- und Aetheratome. — Dasselbe gilt von der Anziehungskraft oder Cohäsion zwischen den Molecülen der Körper, welche aus der Zusammenordnung einer bestimmten Anzahl von chemisch gleichartigen oder chemisch ungleichartigen Atomen als kleine Ganze von höherer Ordnung, aber noch immer von unmessbarer Kleinheit hervorgehen. Auch die Cohäsion ist also keine neue Kraft, sondern letzten Endes nur eine Combination oder Resultante der den Aether- und Körperatomen innewohnenden Anziehungs- und Abstossungskräfte. — Endlich ist die Schwere oder Gravitation, welche auf messbare, ja ungeheure Entfernungen die Massen oder Molen, die aus Aggregaten von Molecülen bestehen, gegen einander zieht, gleichfalls keine neue Kraft, sondern zuletzt immer nur die Summe der Anziehungs- und Abstossungskräfte, welche den in bestimmter

Weise zusammengeordneten Stoffelementen oder Uratomen inwohnen. —

Und so haben wir es denn immer und unter allen Umständen eigentlich mit einer einzigen Kraft, der mechanischen, zu thun, welche in zwei gleichartigen, aber entgegengesetzten, und nach verschiedenen Gesetzen der Zu- und Abnahme der Intensität mit der Entfernung functionirenden Formen — als Anziehungskraft in den Körperatomen, als Abstossungskraft in den Aetheratomen — auftritt.

Alle Verschiedenheiten der Eigenschaften der so mannigfaltigen Stoffe beruhen demzufolge nur auf einer verschiedenen Vertheilung und Gruppierung der Uratome im Raume; allen Veränderungen und Vorgängen in der Natur, so verschieden und mannigfaltig dieselben auch sein und erscheinen mögen, liegen in letzter Instanz immer nur Veränderungen in der räumlichen Vertheilung und Gruppierung der Uratome zu Grunde, — Veränderungen, welche selbstverständlich nur durch Bewegungen von bestimmter Richtung und Geschwindigkeit zu Stande kommen können. Es gibt also überhaupt nur zwei Zustände, in welchen sich ein einzelnes Aether- oder Körperatom, oder ein ganzer Complex von solchen, die wir als chemische Atome, Molecüle und Molecüllaggregate oder Molen bezeichnet haben, befindet; sie sind nämlich immer entweder in Ruhe oder in Bewegung, und daher kann sich in letzter Analyse überhaupt nur zweierlei im materiellen Universum, welchem in einem gegebenen Augenblick eine bestimmte Vertheilung und Anordnung der Atome zu Grunde liegt, ereignen: eine Veränderung des Ruhe- oder des Bewegungszustandes, in dem die Atome sich eben befinden.

Es lassen sich demnach drei specielle Fälle unterscheiden: es geht die Ruhe des Atoms oder Atomcomplexes in Bewegung über, — es nimmt die Bewegung, mit oder ohne gleichzeitige Aenderung ihrer Richtung, an Geschwindigkeit zu, — es findet endlich das Entgegengesetzte, nämlich eine Verzögerung der Geschwindigkeit statt, und dann kann die Bewegung mit oder ohne Richtungsänderung allmählich oder plötzlich ganz zur Ruhe kommen. —

Hier erachte ich es für zweckmässig, Sie an eine allen Körpern zukommende Eigenschaft zu erinnern, an die Trägheit oder das Beharrungsvermögen nämlich, welches macht, dass ebensowenig wie ein vorhandener Ruhezustand in Bewegung übergehen kann, ebensowenig die Richtung oder Geschwindigkeit einer einmal vorhandenen Bewegung sich verändern kann, ohne die Dazwischenkunft irgend einer neuen Kraftäusserung. Eine einmal erzeugte Bewegung, d. h. die in einer bestimmten Richtung erlangte Geschwindigkeit eines

Atoms oder Atomcomplexes, würde sich in infinitum ebenso unverändert erhalten, wie der Ruhezustand eines Atoms oder Atomcomplexes, wenn nicht eben durch die Bewegung selbst Stellung und Lage der Atome und Atomcomplexes gegen einander sich änderten und in Folge dessen neue Kraftcombinationen entstünden. Ich habe Ihnen früher an der Atwood'schen Maschine diese Fortdauer der erlangten Geschwindigkeit auf's Klarste vorgeführt: Sie überzeugten sich damals, dass auch nach entferntem Uebergewicht die Bewegung des überlastet gewesenen Gewichtes eine Zeit lang fort dauerte. Die in irgend einem Momente erlangte Geschwindigkeit der fallenden Massen ist nämlich die Summe oder Gesamtwirkung der während der ganzen Fallzeit als lebendige Kraft thätigen Anziehung zwischen dem Uebergewicht und der Erde — jedoch minus der Widerstandsäusserungen jener Kräfte, welche in entgegengesetzter Richtung thätig sind. Bei unserem Versuche mit der genannten Maschine rührten diese nicht blos von der Schwerkraft des aufsteigenden Gegengewichtes, sondern auch von den Molecular- und Atomkräften der Massen her, welche sich bei der Drehung der Rolle, bei der Abwicklung und Biegung des Fadens und bei der Verschiebung der Theile durch die Luft an einander reiben oder sonst in ihrer Gleichgewichtslage stören, wobei neben der grobmechanischen Bewegung Wärme entsteht, deren Menge genau äquivalent ist dem Minus an erlangter Geschwindigkeit — in Folge dessen denn auch nach einiger Zeit das früher belastete Gewicht zur Ruhe kam. — Doch kehren wir zu unserer allgemeinen Beweisführung zurück.

Jede Kraft, einerlei ob Anziehungs- oder Abstossungskraft, kann sich nur auf zweierlei Art äussern, entweder als Widerstand, d. h. Bewegung hemmend, — oder als Triebkraft, d. h. potentiell oder actuell Bewegung erzeugend. Die wirkliche Leistung oder die Wirkung, die eine Kraft hervorbringt, besteht immer nur entweder in der Aufrechterhaltung oder Veränderung des Ruhezustandes, oder aber in der Aufrechterhaltung oder Veränderung des Bewegungszustandes der einzelnen Atome oder der ganzen Atomcomplexes, je nachdem sie dem Widerstande anderer entgegengesetzt gerichteter Kräfte das Gleichgewicht hält, oder denselben überwindet, oder endlich selbst in ihrer Widerstandsäusserung gegen die ihr entgegenwirkenden Kräfte überwunden wird. Die Quantitäten der Leistungen oder Wirkungen, welche aus dem Widerspiel der Bewegung erzeugenden und Bewegung hemmenden Kraftäusserungen hervorgehen, mögen sie nun in der Aufrechterhaltung oder in der Veränderung eines Ruhezustandes — in der Aufrechterhaltung oder in der Veränderung eines Bewegungszustandes

der Atome und Atomcomplexe bestehen, sind, dem Gesetze der Erhaltung der Kraft zufolge, ebenso unvernichtbar und unzerstörbar wie die Atomkräfte selbst. — Es kann zwar ein bestimmter Ruhezustand, eine bestimmte Bewegung längere oder kürzere Zeit unverändert sich erhalten oder aber sich verändern, neu entstehen und wieder verschwinden, also scheinbar vernichtet werden, die Vertheilung und Gruppierung der Atome und Atomcomplexe im Raume, welche hierdurch besteht oder herbeigeführt wird und also überhaupt die Vorgänge und Zustände in der Natur, welche in irgend einem Augenblicke vorhanden sind, sind aber immer und unter allen Umständen das Resultat einer constanten und unveränderlichen Summe von Bewegung hemmenden und Bewegung erzeugenden Kraftäusserungen. Die Quantitäten der Kraftäusserungen in der einen Form (Widerstand, Bewegungshemmung) können zwar zunehmen oder abnehmen; allein indem hierdurch jedesmal die Quantitäten der Kraftäusserungen in der andern Form (lebendige Kraft, Bewegungserzeugung) in genau äquivalenten Mengen in entgegengesetztem Sinne sich verändern, so bleibt die Summe der Kraftäusserungen und Wirkungen absolut constant.

Mit anderen Worten: die elementaren Naturkräfte gehören so zu sagen zum Fundus instructus der Materie — und nicht nur kann die Naturkraft an sich, was schon a priori feststeht, ebenso wenig zerstört als geschaffen werden: sondern es kann auch die durch ein gewisses Quantum derselben hervorgebrachte Wirkung, abgesehen von der Form ihrer Erscheinung, niemals ganz oder auch nur theilweise vernichtet werden: denn jede Wirkung, oder, was dasselbe ist, jede Veränderung, welche durch ein gewisses Quantum Kraft bewirkt wird, ist eine doppelte, d. h. hat zwei Seiten, und besteht darin, dass einerseits jene Anordnung des Stoffs, d. h. jene Vertheilung der Materie im Raume verschwindet, unter welcher ein äquivalentes Quantum Kraft in Form von Spannkraft vorhanden war; dass aber andererseits zugleich an einem andern Orte Bewegungen entstehen, welche einem gleichen Quantum Kraft in Form von lebendiger Kraft genau entsprechen. Bei jeder Arbeitsleistung, bei jedem Vorgang in der Natur, als einer durch ein bestimmtes Quantum Kraft bewirkten Veränderung der Anordnung der Ruhe und Bewegungszustände der einzelnen Atome und ganzen Atomcomplexe ist das Verschwinden des dazu aufgewendeten Kraftquantums nur scheinbar: denn dieses Quantum bleibt unter allen Umständen unverändert erhalten; dasjenige was allein verschwindet, was allein wechselt und sich verändert, das sind nur die Zustände und Erscheinungsformen der Kraft. Die ersteren bezeichnen wir als

actuelle und potentielle Energie, die letztere als Schwere, Cohäsion, Affinität u. s. w. Die genaue physikalische Analyse eines jeden Vorganges in der Natur lässt uns also erkennen, dass dabei weder Stoff noch Kraft erzeugt oder vernichtet wird: in jenem ändert sich nur die Vertheilung und Anordnung seiner Atome und Atomcomplexe im Raume, bei dieser setzt sich nur die potentielle Energie in actuelle oder vice versa um, und es wird eine ihrer Erscheinungsformen in ein genau äquivalentes Quantum einer anderen transformirt.

Wir haben diese grosse Thatsache so ausgedrückt, dass wir sagten: Alles Geschehen beruhe auf der Transformation der Naturkräfte nach strenger Aequivalenz und der Gesamtvorrath an Naturkraft oder die totale Energie im Universum sei somit eine constante, unveränderliche Summe von Spannkraft und lebendiger Kraft oder potentieller und actualer Energie. — Wir meinten damit genau dasselbe, was wir soeben im Lichte der atomistischen Theorie in seinem eigentlichsten Wesen durchschaut haben: denn was ist Spannkraft anders als die Quantität der Kraftäusserung, welche als überwundener Widerstand, d. h. als Bewegungshemmung, die ganz bestimmte, in einem gegebenen Augenblick vorhandene Vertheilung und Anordnung der Atome und Atomcomplexe im Raume herbeiführen half, — was ist ferner lebendige Kraft anders, als die Bewegung erzeugende Aeusserungsform, welche in einem gegebenen Augenblicke als erlangte Geschwindigkeit der in bestimmter Richtung in Bewegung befindlichen Atome und Atomcomplexe, nach Ueberwindung der entgegenstehenden Widerstände übrig geblieben ist, — und was heisst endlich Transformation der Naturkräfte in einander anders, als jene Veränderung der Vertheilung und Gruppierung der Atome und Atomcomplexe im Raume, welche die in jedem Augenblicke vorhandene räumliche Gruppierung und Vertheilung der Atome und Atomcomplexe im nächstfolgenden Augenblicke durch den äquivalenten Wechsel der Bewegung hemmenden und Bewegung erzeugenden Kraftäusserungen bedingt und herbeiführt.
