

so stärker, je weiter die Metalle in dieser Reihe voneinander entfernt sind. (Die elektromotorische Kraft eines aus Neusilber und einer Zink-Antimon-Legierung hergestellten Elementes beträgt etwa 0,1 Daniell.)

Die Stärke der Thermostrome ist abhängig 1) von der Natur der Metalle, 2) von der Anzahl der Elemente und 3) von dem Temperaturunterschiede der Berührungsstellen.

Auf das thermoelektrische Verhalten der Metalle übt der Grad der Reinheit und Härte, sowie die Struktur derselben einen Einfluss aus. Ein sehr empfindlicher Multiplikator zeigt schon einen Thermostrom an, wenn der eingeschaltete Draht an einer Stelle etwa durch Hämmern, durch Bildung eines Knotens oder dergl. in seiner Dichtigkeit verändert worden ist und diese Stelle darauf erhitzt wird. — Thermomultiplikatoren lassen sich zu sehr empfindlichen Versuchen über strahlende Wärme anwenden (§ 125).

Die Thermoelektrizität wurde 1821 von *Seebeck* entdeckt, während die umgekehrte Verwandlung von Elektrizität in Wärme schon lange vorher bekannt war. Später zeigte *Peltier* (1834), daß eine Wärmewirkung entsteht, wenn der Strom eines galv. Elementes durch die Berührungsstelle der Metalle geleitet wird; geht der Strom in der Richtung von Wismut zum Antimon, so kühlt sich die Lötstelle ab.

Auch in den Muskeln und Nerven des menschlichen und tierischen Körpers hat man el. Strömungen nachgewiesen, die in engem Zusammenhang mit der Lebensthätigkeit stehen (Untersuchungen von *Du Bois-Reymond*). Einige Fische aus der Familie der Rochen (der Zitterrochen) und aus der Familie der Aale (der Zitteraal) besitzen sogar besondere elektrische Organe, durch welche sie bei bloßer Berührung sehr empfindliche el. Schläge erteilen können.

Übungsstoff. 1. Wie wird sich die Magnetnadel (Fig. 527) verhalten, a. wenn man beide Lötstellen zugleich erwärmt, b. wenn man sie zugleich abkühlt? — 2. Wie hat man zu verfahren, um einen möglichst starken Strom zu erhalten? — 3. Leite aus der Spannungsreihe ab, warum Eisen und Nickel, namentlich aber Antimon und Wismut zu Thermoelementen besser geeignet sind, als z. B. Eisen und Kupfer. — 4. Führe nach der Spannungsreihe mehrere Metallverbindungen an und ordne sie nach der Stärke des Stromes, den sie bei gleicher Temperaturveränderung liefern würden. — 5. Welche Richtung hat der + Strom in Fig. 527 und 528 bei einer Erwärmung a. der links, b. der rechts gelegenen Lötstellen an diesen Lötstellen selbst? — 6. Desgl. im Schließungsbogen der Thermosäule (Fig. 528)? — 7. Wie läßt sich bei der angeführten Reihe, wenn man die Anfangsbuchstaben des ersten und letzten Gliedes berücksichtigt, leicht behalten, welche Richtung der + Strom im Schließungsbogen hat? (Vergl. dies mit der auf eine galv. Batterie anwendbaren Regel über die Stromrichtung.) — 8. Neusilber hat einen bedeutend höheren Schmelzpunkt als Wismut oder Antimon. Wismut schmilzt bei +270°, Antimon bei +425° C. Warum ist dies bei der Herstellung einer zur Erzeugung von starken Strömen bestimmten Thermosäule zu berücksichtigen? — 9. Welchen Zweck hat es, die Thermosäulen so einzurichten, daß die ungeradzahigen Lötstellen den geradzahigen gegenüberliegen?

VIII. Abschnitt.

Rückblick.

§ 145. **Lebendige Kraft. Spannkraft.** Wird ein Körper in Bewegung versetzt, etwa eine Kugel abgeschossen, ein Eisenbahnzug

fortgezogen, ein Stein gehoben, eine Feder gespannt, ein Bohrer gedreht u. s. w., so verrichtet die Kraft, welche die Bewegung hervorruft, eine mechanische Arbeit, indem sie den vom Körper geleisteten Widerstand auf einer gewissen Strecke überwindet (§ 60). Sobald die Kraft zu wirken aufhört, verhalten sich die in Bewegung gesetzten Körper verschieden. Während Kugel und Wagen ihre angenommene Bewegung noch kürzere oder längere Zeit fortsetzen, scheint es, als ob die zur Bewegung des Steines, der Feder u. s. w. aufgewandte Arbeit vollständig vernichtet sei. Wir betrachten zunächst den ersten Fall.

a. Lebendige Kraft. Setzt der bewegte Körper nach dem Aufhören der Krafteinwirkung seine Bewegung noch weiter fort, so vermag er auf seinem Wege Widerstände zu überwinden. Indem z. B. die abgeschossene Kugel fortfliegt, hat sie den Widerstand der Luft zu überwinden. Durchbohrt sie auf ihrem Wege einen festen Körper, so wird von ihr der noch größere Widerstand der Kohäsion der Körperteilchen überwunden. Dabei nimmt die Geschwindigkeit der Bewegung ab und zwar um so mehr, je größer die Widerstände sind. Eine ähnliche Wirkungsfähigkeit zeigen auch die Wagen des fahrenden Eisenbahnzuges, nachdem die Dampfkraft zu wirken aufgehört hat. Kugel und Wagen sind demnach durch die Arbeit, welche die bewegende Kraft an ihnen verrichtete, selbst arbeitsfähig geworden.

Die einem bewegten Körper innewohnende Fähigkeit, Arbeit zu leisten, wird lebendige Kraft (Energie der Bewegung oder Wucht der bewegten Masse) genannt. *Kinetische Energie!*

Die lebendige Kraft ist hiernach nicht etwa als eine besondere Kraft in dem in § 3 angeführten Sinne aufzufassen, der (von Leibnitz herrührende) Ausdruck bedeutet vielmehr soviel wie Arbeitsfähigkeit. — Man verwechsle ferner die Wirkung, welche ein bewegter Körper durch seine lebendige Kraft auszuüben vermag, nicht mit der Druckwirkung eines ruhenden Körpers. Eine ruhende Büchsenkugel von 20 g Gewicht kann nur einen ihrem Gewicht entsprechenden Druck ausüben. Wird sie abgeschossen, so vermag sie, wie aus den nachfolgenden Betrachtungen hervorgeht, bei einer Geschwindigkeit von 500 m eine Arbeit von $\frac{1}{2} \cdot \frac{0,02}{10} \cdot 500^2 = 250 \text{ mkg}$ zu verrichten, d. h. sie kann einen Druck von 250 kg auf einer 1 m langen Strecke oder auch einen Druck von 25 000 kg auf einer Strecke von 1 cm überwinden. In einen Körper z. B., dessen Widerstand 250 kg beträgt, vermag sie 1 m tief einzudringen.

Somit kann eine bewegte Masse die Arbeit, die eine Kraft an ihr verrichtet, indem sie ihr eine gewisse Geschwindigkeit erteilt, gleichsam in sich ansammeln. Dadurch wird die Masse zu gleicher Arbeitsleistung befähigt.

Beispiel: Wenn z. B. ein Stein von 2 kg Gewicht 125 m hoch herabfällt, so verrichtet die Schwerkraft $2 \times 125 \text{ mkg}$ Arbeit, denn auf dem ganzen Wege hat sie den Widerstand zu überwinden, mit welchem die träge Masse des Körpers der Beschleunigung widerstrebt. Nach § 73 erlangt nun ein aus 125 m Höhe herabfallender Körper eine Endgeschw. von 50 m. Unten angekommen, schlägt der Stein mit einer bestimmten Wucht auf. Stiege der Stein mit derselben Geschw. senkrecht aufwärts, so würde er umgekehrt eine Höhe von 125 m erreichen und auf dieser Strecke ebenfalls einen Widerstand von 2 kg überwinden, da die Erde den Stein mit dieser Kraft anzieht. Dies ergibt wiederum eine Arbeitsleistung von $2 \times 125 \text{ mkg}$.

Jedochmal, wenn eine Masse gegen einen Widerstand Arbeit leistet, verliert sie eine Abnahme ihrer lebendigen Kraft ein, und zwar ist die von dem Widerstand verrichtete Arbeit gleich der Abnahme der lebendigen Kraft.

Allgemein: Fällt ein Körper, dessen Gewicht Q beträgt, von der Höhe h herab, so ist die von der Schwerkraft an ihm geleistete Arbeit gleich $Q \cdot h$. Hierdurch erlangt er eine Geschwindigkeit (v), welche umgekehrt ausreichen würde, ihn bis zu derselben Höhe wieder emporzutreiben (§ 73), folglich ihn auch befähigen würde, eine gleiche Arbeit wieder zu verrichten. Um die Gröfse dieser Arbeit durch die Masse und Geschwindigkeit des Körpers auszudrücken, setzt man $v = \sqrt{2gh}$ (S. 171). Da nach dieser Gleichung $h = \frac{v^2}{2g}$ ist, so ergibt sich für die lebendige Kraft des Körpers

$$Q \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ oder, wenn man in diesem Ausdrucke statt } \frac{Q}{g}$$

als Zeichen für die Masseneinheit m setzt (Seite 137),

$\frac{1}{2}mv^2$, d. h. man erhält die Gröfse der Arbeit, welche der bewegte Körper zu leisten vermag, wenn man die Hälfte seiner Masse mit dem Quadrat seiner Geschwindigkeit multipliziert.

Was in Bezug auf die Arbeitsfähigkeit von dem senkrecht aufsteigenden Körper gilt, mufs auch für jeden anderen in Bewegung befindlichen Körper Geltung haben, da weder die Art, wie die Geschwindigkeit erlangt wird, noch die Beschaffenheit der Widerstände, noch die Richtung, in welcher die Bewegung erfolgt, einen Einflufs auf die Gröfse der lebendigen Kraft ausübt. Es gilt daher ganz allgemein der Satz:

Die lebendige Kraft eines bewegten Körpers ist gleich dem halben Produkte aus seiner Masse und dem Quadrat seiner Geschwindigkeit.

b. Spannkraft. Im zweiten Falle setzt der bewegte Körper nach dem Aufhören der Krafteinwirkung seine angenommene Bewegung nicht fort. Die Veränderung der Lage oder die Verschiebung der Teile des Körpers erfolgt dann ähnlich wie beim gehobenen Steine oder der gespannten Feder. In diesem Falle läfst sich ebenfalls nachweisen, dafs die vom Körper verbrauchte Arbeit ebenso wenig wie bei der abgeschossenen Kugel oder dem Wagen des fahrenden Zuges vernichtet ist. Wird nämlich ein Stein auf eine gewisse Höhe gehoben, so kann er zwar lange im Ruhezustande verharren; er kann aber auch, sobald ihm seine Unterlage entzogen wird, ebenso tief fallen, als er gehoben wurde, und bei dieser Bewegung ebenso viel Arbeit leisten, als die bewegende Kraft an ihm verrichtet hatte. Ähnlich verhält es sich mit einer gespannten Feder. Sobald sie ausgelöst wird, vermag sie in jedem Punkte ihres Weges einen ebenso grofsen Widerstand zu überwinden, als sie vorher der Kraft entgegengesetzte, durch welche sie gespannt wurde.

Die Fähigkeit eines Körpers, verbrauchte Arbeit zu irgend welcher Zeit wieder in lebendige Kraft zu verwandeln, wird Spannkraft (Spannungs-Energie oder Energie der Lage) genannt.

Das letzte der oben angeführten Beispiele (Bohrer) zeigt, dafs die an einem Körper verrichtete Arbeit durch Bewegungshindernisse (Reibung oder dgl.) auch in

(Fortsetzung Reiser 206.)

der Weise verbraucht werden kann, daß der bewegte Körper nach dem Aufhören der Kräfteinwirkung weder fähig ist, seine Bewegung fortzusetzen und vermöge seiner lebendigen Kraft mechanische Arbeit zu verrichten, noch Spannkraft besitzt, welche ihn zu späterer Leistung mechanischer Arbeit befähigt. Auch in diesem Falle ist die Vernichtung der Kraftarbeit nur eine scheinbare, denn überall, wo durch Bewegungshindernisse Arbeit verbraucht wird, entsteht Wärme (§ 126).

Ändert der Körper, indem er mechanische Arbeit verbraucht, seinen Aggregatzustand, wird z. B. Eis ohne Zuführung von Wärme durch Reibung flüssig, so findet zwar während der Änderung des Aggregatzustandes keine Temperaturerhöhung statt, die Wirkungsfähigkeit oder Energie geht aber dennoch nicht verloren. Der Körper erlangt nämlich durch die an ihm verrichtete Arbeit die Fähigkeit, Wärme zu erzeugen, wenn er in seinen früheren Aggregatzustand zurückkehrt; er giebt dann ebenso viele Wärmeeinheiten ab, als er verbraucht haben würde, wenn er durch Wärme in den jetzigen Aggregatzustand übergeführt worden wäre (§§ 119 und 120).

Hieraus geht hervor, daß ruhende Körper große Vorräte von Arbeit in Form von Spannungsenergie enthalten können. Solche Arbeitsvorräte finden sich in großer Menge in der Natur, namentlich in den Wassermassen der Erde, und werden auf die mannigfaltigste Art zur Arbeitsleistung angewandt. Die durch die Wärme der Sonnenstrahlen täglich gebildeten und emporsteigenden Wasserdämpfe sind reich an Spannkraften. Indem die aus den Dämpfen entstehenden Wolken als Regen oder Schnee niederfallen, verwandelt sich ein Teil dieser Spannkraften in lebendige Kraft. Die Verwandlung setzt sich fort, indem das Wasser der Bäche, Flüsse und Ströme dem Meere wieder zufließt. Findet irgendwo auf der Erdoberfläche eine Ansammlung von Wasser oder Schnee statt, so erleidet jene Verwandlung solange eine Unterbrechung, bis ein Abfließen erfolgt. Ist das Wasser in Bewegung, so können die Arbeitsvorräte in der verschiedensten Weise nutzbar gemacht werden.

Übungsstoff. 1. Wie verhält sich die leb. Kr. einer Bleikugel zu der einer ebenso großen Kugel von Kork, wenn beide sich mit gleicher Geschw. bewegen? — 2. Wie ändert sich bei beiden die leb. Kr., wenn die Geschw. 2-, 3-, 4... mal so groß wird? — 3. Wie verhalten sich die zerstörenden Wirkungen zusammenstoßender Eisenbahnzüge zu einander, wenn a. bei gleicher Geschw. die bewegte Masse, b. bei gleicher Masse die Geschw. des einen Zuges doppelt so groß ist als die des anderen, c. wenn Masse und Geschw. bei dem einen doppelt so groß ist als beim anderen? — 4. Ein Schwungrad läßt sich mit einem Behälter vergleichen, welcher W. aufnimmt und nach Erfordernis wieder abfließen läßt; inwiefern? — 5. Erläutere an einem Beispiel (Gewichtstück einer Uhr, Rammbar oder dergl.) die Entstehung von Spannungsenergie. — 6. Inwiefern kann man von einem schwingenden Pendel sagen, daß bei demselben fortwährend eine Umsetzung von leb. Kr. in Spannkraft und umgekehrt stattfindet? — 7. Welcher K. der Erde ist für die Ansammlung von Spannkraft, wie für die Verwandlung derselben in leb. Kr. von größter Bedeutung; inwiefern? (Nutzbarmachung der in den Wasser- und Schneemassen der Gebirge vorhandenen Arbeitsvorräte, verglichen mit den in den Felsmassen aufgespeicherten.) — 8. Wodurch wird diese Ansammlung von Spannkraft bewirkt, und wann ist der Arbeitsvorrat erschöpft? (Kreislauf des W.) — 9. Wv. mkg Arbeit kann eine 5 m hoch herabfallende Wassermasse von 1600 kg verrichten? — 10. Wie groß ist der gesamte Arbeitsvorrat eines 720 m über dem Meeresspiegel gelegenen Teiches, wenn derselbe 600 cbm W. enthält? — 11. Inwiefern kann die Heizkraft der Steinkohle oder die Blutwärme und Muskelkraft des Menschen auf die Energie der Sonne zurückgeführt werden? — 12. Wie tief ungefähr kann eine Kugel von 400 m Geschw. in einen Baumstamm eindringen, wenn eine Kugel von gleichem Gew. und 200 m Geschw. 10 cm tief eindringt? — 13. Wv. mkg Arbeit kann eine Kanonenkugel von 10 kg Gew. und 400 m Geschw. leisten? — 14. Gesetzt, eine solche Kugel habe auf ihrem Wege die Hälfte ihrer Geschw. ver-

mechan. Arbeit
 Abänderung
 them

loren; wie tief würde sie dann noch in einen Festungswall einschlagen können, der einen Widerstand von 5000 kg bietet?

§ 146. Äquivalenz von Wärme und Arbeit. Wärme und Licht als Arten der Bewegung.

a. **Mechanisches Wärme-Äquivalent.** Die Erfahrung lehrt, daß nicht nur durch mechanische Arbeit Wärme erzeugt, sondern daß auch umgekehrt durch Wärme mechanische Arbeit verrichtet werden kann. Die Dampfmaschinen liefern hiervon den augenfälligsten Beweis.

Versuche, welche nach verschiedenen Methoden mit größter Sorgfalt ausgeführt worden sind, haben ergeben, daß zur Erzeugung einer bestimmten Wärmemenge stets eine gleichgroße Arbeit erforderlich ist, während umgekehrt zur Leistung einer bestimmten Arbeit eine unveränderliche Wärmemenge ausreicht.

Soll z. B. in einem Stück Blei durch Hämmern eine Wärmeeinheit erzeugt werden, so müssen 424 Hammerschläge mit einer Wucht von 1 mkg auf das Blei ausgeübt werden, oder es muß von dem Blei überhaupt soviel Arbeit verbraucht werden, als jener Arbeit entspricht.

Wenn durch Dampf eine Maschine bewegt wird, so verschwindet (von Wärmeverlusten abgesehen) so oftmal eine Wärmeeinheit, als 424 mkg Arbeit verrichtet werden.

Um durch mechanische Arbeit eine Wärmeeinheit zu erzeugen, sind 424 Meterkilogramm Arbeit erforderlich; umgekehrt können durch eine Wärmeeinheit 424 Meterkilogramm Arbeit verrichtet werden:

mechanisches Äquivalent der Wärmeeinheit.

Das mechanische Äquivalent der Wärme ist von *Robert Mayer in Heilbronn* (1842) zuerst gefunden und gleichzeitig von *Joule in Manchester* durch eine Reihe von Versuchen (Reibung von Gusseisen mit Wasser und Quecksilber) genau bestimmt worden. *Hirn* hat später durch Versuche an Dampfmaschinen nachgewiesen, daß für je 424 Meterkilogramm geleistete Arbeit eine Wärmeeinheit verschwindet.

b. **Wesen der Wärme und des Lichtes.** Die Thatsache, daß durch bloße Aufhebung einer Körperbewegung Wärme erzeugt werden kann, hat zu folgender Vorstellung über das Wesen der Wärme geführt: Wie sich die Bewegung des Hammers, welcher an eine Glocke schlägt, auf die Glocke überträgt und in ein Erzittern derselben verwandelt, so findet überall, wo die Bewegung eines Körpers durch Bewegungshindernisse teilweise oder ganz aufgehoben wird, eine Übertragung der Bewegung statt, indem sich die sichtbare Bewegung der Masse in eine unsichtbare Bewegung der Moleküle verwandelt. Diese Bewegung der Moleküle empfinden wir als Wärme. Wichtige Gründe haben zu der weiteren Annahme geführt, daß die Moleküle aller Körper in steter Bewegung sind, und daß diese Bewegungen bei einem Körper um so schneller erfolgen, je wärmer uns der Körper erscheint, ähnlich wie ein Tonerreger um so schneller schwingt, je höher der Ton ist, den wir von ihm hören. Da alle bekannten Wärmeerscheinungen sich durch diese Annahme

vollständig erklären lassen, so gewinnt folgender Satz einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit:

Die Wärme eines Körpers ist Bewegung seiner Moleküle.

Da die Körper nach genügender Erhöhung ihrer Temperatur anfangen zu leuchten, so liegt der Gedanke nahe, daß auch die Lichterscheinungen durch äußerst schnelle Bewegungen kleinster Teilchen hervorgerufen werden, daß diese Bewegungen aber mit größerer Geschwindigkeit erfolgen, als bei den Wärmeerscheinungen. Die Fortpflanzung von Licht und strahlender Wärme würde man sich hiernach ähnlich wie die Fortpflanzung des Schalles als ein schnelles Fortschreiten einer derartigen Bewegung vorzustellen haben. Diese Vorstellung kann um so mehr als richtig angesehen werden, als selbst die auffälligsten Lichterscheinungen (Beugung, Interferenz, Polarisation) sich danach erklären lassen.

Das Fortpflanzungsmittel kann jedoch nicht wie beim Schalle die Luft sein; denn Licht und strahlende Wärme pflanzen sich auch durch den Weltenraum hindurch fort. Man hält es daher für höchst wahrscheinlich, daß der ganze Weltenraum von einem äußerst feinen unwägbaren Stoffe, den man *Äther* nennt, erfüllt sei; man nimmt ferner an, daß dieser Stoff nicht nur im freien Raume zwischen den Weltkörpern, sondern auch in den unmeßbar kleinen Zwischenräumen zwischen den Molekülen aller Körper vorhanden, und daß seine Dichtigkeit und Elasticität im Innern der Körper je nach der Einwirkung, welche seine Teilchen durch die Körpermoleküle erleiden, verschieden ist. Wichtige Gründe sprechen dafür, daß die Schwingungen der Teilchen dieses Stoffes, indem sie Licht und Wärme fortpflanzen, nicht (wie bei der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft) in der Richtung des Strahles selbst erfolgen (Longitudinalwellen); sie finden vielmehr rechtwinklig zum Strahle statt (Transversalwellen).

Licht und strahlende Wärme sind ihrem Wesen nach eins, nämlich eine Wellenbewegung des Lichtäthers; sie unterscheiden sich nur durch die Schnelligkeit, mit der die Ätherteilchen schwingen.

Ein Körper strahlt hiernach Licht oder aber dunkle Wärme aus, indem die zitternde Bewegung seiner Moleküle sich dem umgebenden Äther mitteilt und durch diesen im Raume fortpflanzt. Die Farbe des Lichtes ist durch die Schnelligkeit bedingt, mit der die Schwingungen der Teilchen erfolgen; die Farbeindrücke des Spektrums vom Rot bis zum Violett werden durch eine Stufenfolge von immer schnelleren Schwingungen hervorgerufen, sodaß man die Farbenfolge geradezu als Lichttonleiter bezeichnet hat. (Die Anzahl der Schwingungen beläuft sich auf 500–700 Billionen in 1 Sek.)

Licht- oder Wärmestrahlen werden von einem Körper absorbiert, heißt hiernach: die Geschwindigkeit, mit der die Körpermoleküle bereits schwingen, wird durch die in den Körper eindringenden Strahlen vergrößert. Ein Körper ist vollkommen durchsichtig oder durchwärmig (diatherman), wenn alle Licht- oder Wärmestrahlen durch ihn hindurchgehen, ohne seine Moleküle zu schnellerem Schwingen anzuregen. Hat die Mitteilung der Ätherbewegung nicht nur ein rascheres Schwingen, sondern auch eine Auflockerung oder Trennung der die Körpermoleküle zusammensetzenden Atome zur Folge, so treten zugleich chemische Erscheinungen auf (Assi-

milation in den grünen Zellen der Pflanzen unter der Einwirkung des Lichtes, d. h. Umwandlung von Kohlensäure und Wasser in organische Substanz bei Ausscheidung von Sauerstoff; Zersetzung der Silbersalze beim Photographieren). Je nachdem die Schwingungen der Ätherteilchen beim Zusammentreffen zweier Strahlen einander gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind, findet eine Verstärkung oder Aufhebung der Bewegung statt (Interferenz). Dadurch, daß sich die Schwingungen der zwischen den Rändern eines schmalen Spaltes befindlichen Ätherteilchen nach den Seiten hin auf benachbarte Ätherteilchen übertragen, entsteht die als Beugung bezeichnete Lichterscheinung. Bei einem gewöhnlichen Lichtstrahl schwingen die Ätherteilchen in allen möglichen, zur Fortpflanzungsrichtung senkrechten Ebenen; wird durch Reflexion, durch Brechung oder Absorption der Strahl derart verändert, daß die Schwingungen der Ätherteilchen nur noch in einer Ebene stattfinden, so nennt man diese Veränderung Polarisation der Lichtstrahlen.

Die Annahme, daß Licht und Wärme eine Art der Bewegung sind (Undulations- oder Wellentheorie), wird wie jede andere zur Erklärung von Naturerscheinungen dienende Annahme eine Hypothese genannt.

Hypothesen gewinnen um so mehr an Wahrscheinlichkeit, je vollständiger und ungezwungener sich die bezüglichen Erscheinungen danach erklären lassen. Eine Hypothese muß verworfen werden, sobald sich neu entdeckte Erscheinungen mit ihr nicht in Einklang bringen lassen.*) Die Hypothese z. B., nach welcher man sich das Licht als einen feinen, von den leuchtenden Körpern ausgesendeten Stoff vorstellte (*Emissionstheorie*), konnte nur so lange aufrecht erhalten werden, als die Erscheinungen ihr nicht widersprachen (vergl. S. 397).

Übungsstoff. 1. Bei vollkommen elastischen Körpern ist die leb. Kr. der Masse vor und nach dem Stöße dieselbe, nicht aber bei unel. K.; w.? — 2. Inwiefern ist bei letzteren die verlorene leb. Kr. nicht vernichtet? — 3. Welche Verwandlung muß beim elastischen Stöße stattfinden, indem der elastische K. sich abplattet; welche hingegen, indem er beim Zurückprallen seine ursprüngliche Gestalt wieder annimmt? — 4. Man bezeichnet die Wärme auch als leb. Kr. der Moleküle. Was läßt sich hier nach von der Größe der leb. Kräfte elastischer und unelast. K. vor und nach dem Stöße behaupten? — 5. Wovon hängt es ab, ob bei nicht vollkommen elastischen Körpern, nach dem Stöße die leb. Kr. der Masse oder diejenige der Moleküle größer ist? — 6. Eine Kanonenkugel von 10 kg Gew. schlage mit 400 m Geschw. gegen einen Schiffspanzer und verliere dadurch ihre Bewegung vollständig. Wv. Wärmeeinheiten entstehen dabei? (Berechne zunächst die lebendige Kraft.) — 7. Warum kann die Temp. des W. durch den Verbrauch von mech. Arbeit nicht so schnell steigen als die irgend eines anderen festen oder flüssigen K.? — 8. Welchen Einfluß muß es auf die Temp. des Dampfes ausüben, wenn der Dampf den Kolben einer Dampfmaschine noch bewegt, nachdem die Verbindung zwischen Cylinder und Dampfkessel bereits aufgehoben ist? (Expansionsmaschine.) — 9. Wv. mechanische Arbeit müßte an 2 Stücken Eis geleistet werden, wenn von denselben 100 g durch bloße Reibung geschmolzen werden sollten? (§ 119.) — 10. Die Verbrennungswärme von 1 kg Steinkohle beträgt 7000 Wärmeeinheiten. Wv. mkg Arbeit könnte dadurch geleistet werden, wenn sich die ganze Wärme nutzbar machen ließe?

§ 147. Verwandlung der Energie. Nach den beiden vorigen Paragraphen kann sich mechanische Arbeit in lebendige Kraft oder in Spannkraft der *Masse* des bewegten Körpers, oder auch in lebendige Kraft oder in Spannkraft der *Moleküle*

*) Die Hypothese, daß die elektrischen Erscheinungen mit den Lichterscheinungen dem Wesen nach eins sind (*Maxwells* elektromagnetische Lichttheorie), ist durch die neueren Untersuchungen von *Hertz* bestätigt worden, sodaß sie jetzt an Anspruch auf Sicherheit der Undulationstheorie des Lichtes nahezu gleichkommt. Die „Strahlen elektrischer Kraft unterliegen denselben Gesetzen der Fortpflanzung, Reflexion und Brechung wie die Lichtstrahlen.“

desselben verwandeln und umgekehrt. Wie nun von jenen beiden sichtbaren Formen der Wirkungsfähigkeit die eine in die andere umgewandelt werden kann, so läßt sich auch von den beiden unsichtbaren Formen, nämlich von der lebendigen Kraft und von der Spannkraft der Moleküle, die eine in die andere verwandeln.

Indem z. B. ein Körper durch Aufnahme von Wärme, ohne daß sich seine Temperatur erhöht, schmilzt oder verdampft, wird durch die Vergrößerung des Abstandes der Moleküle ein Widerstand überwunden, und zwar beim Verdampfen auf einem weit größeren Wege als beim Verflüssigen. Da nun die Moleküle des Körpers sowohl beim Erstarren als bei der Kondensation ihre ursprüngliche Lage gegeneinander wieder einnehmen und dabei dieselbe Wärmemenge wieder entsteht, welche beim Schmelzen und Verdampfen verschwand, so findet durch diese Vorgänge offenbar nur ein *Wechsel in der Form der Energie* statt: die Energie der molekularen Bewegung oder die lebendige Kraft der Moleküle verwandelt sich in Energie der Lage oder in Spannkraft der Moleküle oder es findet der umgekehrte Vorgang statt.

Wie folgende Beispiele zeigen, kann die mechanische Arbeit außer der Umwandlung in Wärme noch mancherlei andere Umwandlungen erfahren. Durch mechanische Arbeit entsteht z. B. ein Schall, wenn eine Glocke durch einen Schlag in Schwingungen versetzt wird, Licht, wenn ein Körper durch Reibung sich entzündet, Magnetismus, wenn Stahl mit einem Magnetpol gestrichen wird, el. Spannung, wenn zwei ungleichartige Körper aneinander gerieben werden (Elektriermaschine), ein el. Strom, wenn eine magnet- oder dynamo-elektrische Maschine in Bewegung gesetzt wird, ein chemischer Vorgang, wenn der durch mechanische Arbeit erzeugte Strom chemische Verbindungen zersetzt u. s. w. — Einzelne der angeführten Beispiele zeigen zugleich, daß die aus der mechanischen Arbeit unmittelbar hervorgegangene Form der Energie wieder einer weiteren Umwandlung fähig ist. Andere früher erwähnte Beispiele dieser Art sind die Verwandlung von Wärme in Elektrizität beim Erwärmen der Lötstellen zweier Metalle (Thermoelektrizität), die Verwandlung von Elektrizität in Wärme, wenn entgegengesetzte Elektrizitäten sich ausgleichen (Entzündung durch den el. Funken, galv. Glühen von Drähten), ferner die Verwandlung von Licht in Wärme, wenn ein Körper Lichtstrahlen absorbiert u. s. w.

Bezeichnet man ganz allgemein *jede Wirkungsfähigkeit einer Kraft* als *Energie*, so sind Schall, Wärme, Licht, Elektrizität, Magnetismus, mechanische Energie und chemische Verwandtschaft nur als verschiedene Formen der Energie aufzufassen (Einheit der Naturkräfte).

Es liegt nun die Frage nahe, ob in den Fällen, in denen eine Umwandlung von Energie stattfindet, diese Umwandlung ohne Gewinn oder Verlust an Energie erfolgt. Da die verschiedensten Formen der Energie sich in Wärme verwandeln lassen und da man im Wärme-Äquivalent ein Maß besitzt, mittelst dessen Arbeitseinheiten und Wärme-einheiten ausgedrückt werden können, so ist man auf Grund genauer Versuche zu dem Grundgesetz aller Naturerscheinungen gelangt:

Die in der Natur vorhandene Energie oder Wirkungsfähigkeit der Kräfte wird durch die Verwandlungsvorgänge weder vergrößert noch verkleinert: Prinzip der Erhaltung der Energie (Erhaltung der Kraft).

Geschichtliche Übersicht.

Archimedes, († 212 v. Chr. in Syrakus) begründet die Lehre vom Gleichgewicht der festen und flüssigen Körper.

Hebelgesetz, Schraube ohne Ende, Flaschenzug; Archimedisches Prinzip.

Claudius Ptolemäus (um 120 n. Chr. (?) in Alexandrien), neben **Hipparch** von Nicaea der bedeutendste Astronom des Altertums, begründet das nach ihm benannte Weltsystem in seinem „Almagest“ (*Μεγίστη σύνταξις* [Megiste syntaxis], d. h. „Größte Zusammenstellung“, von den Arabern „el Megiste“ genannt).

Optische Untersuchungen (das Sehen, Reflexion und Brechung des Lichtes, Spiegelung); Trigonometrie; Geographie.

Heron von Alexandrien (um 120 v. Chr.) erfindet den Heronsball und verwendet die Spannkraft des Dampfes als bewegende Kraft.

William Gilbert († 1603 in London) legt den Grund zu einer wissenschaftlichen Untersuchung der magnetischen und elektrischen Erscheinungen.

Simon Stevinus († 1620 in Leyden) entdeckt das Gesetz der schiefen Ebene und den Satz vom Boden- und Seitendruck der Flüssigkeiten, ergänzt das archimedische Prinzip.

Nikolaus Kopernikus (geb. 1473 in Thorn, † 1543 in Frauenburg), begründet das nach ihm benannte Weltsystem in seinem Werke: „De revolutionibus (orbium coelestium)“.

Galileo Galilei (geb. 1564 in Pisa, † 1642 in Florenz), verteidigt das Kopernikanische System; begründet die Mechanik (Beharrungsgesetz, Fallgesetze, Lehre vom Wurf, Pendel, Parallelogramm der Kräfte); konstruiert ein Fernrohr (Mondberge, Jupitermonde, Phasen der Venus, Sonnenflecken) und versucht eine Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit (Olaf Römer 1676).

Johannes Kepler (geb. 1571 im Württembergischen, † 1630 in Regensburg), Begründer der Mechanik des Himmels (das 1. und 2. Gesetz der Planetenbewegung fand er — durch Berechnung der von Tycho Brahe am Mars angestellten Beobachtungen — 1609 in Prag, das 3. 1618 in Linz). Optische Untersuchungen (Spiegelung und Brechung der Lichtstrahlen — das Brechungsgesetz entdeckt Snellius 1621 —, Einrichtung des Auges, das Sehen; astronomisches Fernrohr).

Christian Huyghens (geb. 1629, † 1695 in Leyden), Schöpfer der Wellentheorie des Lichtes (Ätherschwingungen). Astronomische Forschungen (Saturnring) und Fortschritte auf dem Gebiete der Mechanik (Pendel, Schwingkraft, Gestalt der Erde, Lehre vom Stofs).

Isaak Newton (geb. 1643, † 1727), Entdecker des Gravitationsgesetzes, mittelst dessen er die Bewegungen der Weltkörper, sowie die Erscheinungen von Ebbe und Flut erklärt. Untersuchungen auf dem Gebiete der Optik: farbige Zerlegung des weißen Lichtes, natürliche Farben der Körper, Farben dünner Blättchen, Spiegelteleskope; Emissionstheorie des Lichtes. Akustische und elektrische Forschungen.

Evangelista **Torricelli** († 1647 in Florenz) entdeckt den Luftdruck und erfindet das Quecksilberbarometer.

Erste bar. Höhenmessung 1648 am Puy de Dôme auf Veranlassung von **Pascal**.

Otto von **Guericke** († 1668) wendet sein Wasserbarometer als „Windanzeiger“ an, erfindet die Luftpumpe (1650) und eine einfache Elektrisiermaschine.

Robert **Boyle** entdeckt 1660 das 1679 von **Mariotte** bestätigte und nach letzterem benannte Gesetz und erfindet die Verdichtungspumpe.

Denis **Papin** († 1742) untersucht die Abhängigkeit des Siedens vom Luftdruck und benutzt die Spannkraft des Dampfes zur Bewegung eines Kolbens (1687).

James **Watt** (geb. 1736, † 1819) beschäftigt sich mit Untersuchung der Elasticität des Dampfes und erfindet die doppelwirkende Niederdruckmaschine (vergl. S. 311).

Im 18. Jahrhundert wurde durch eine Reihe von Forschern die Lehre von der *Elektricität* wesentlich gefördert. Es sind dies besonders:

Gray, der den Unterschied der Leiter und Nichtleiter entdeckt (1729),

Du Fay, der Glas- und Harz-Elektricität unterscheidet (1733);

Symmer, der die Zwei-Fluida-Theorie aufstellt und

Franklin, der die elektrische Natur des Gewitters nachweist und den Blitzableiter erfindet (1760).

Coulomb endlich zeigt, wie man magnetische und elektrische Kräfte messen kann und führt die Lehre von der Reibungselektricität zu einem vorläufigen Abschluss (1789).

Allessandro Volta (geb. 1745, † 1827 zu Como) erfindet den Elektrophor (1775), den Kondensator (1782), die Voltasche Säule (1800) und erklärt die Erscheinungen des Galvanismus durch seine Kontakttheorie.

André Marie Ampère (geb. 1775, † 1836 in Marseille) erforscht die elektrodynamischen Wirkungen des galvanischen Stromes (angeregt durch Oersted's Entdeckung der Einwirkung desselben auf die Magnethadel, 1820) und stellt die nach ihm benannte Theorie über das Wesen des Magnetismus auf. (Maxwell nannte Ampère den „Newton der Elektricität.“)

Georg Simon **Ohm** (geb. 1789, † 1854 in München) entdeckt das Gesetz über den Zusammenhang zwischen Stromstärke, elektromotorischer Kraft und Widerstand. Akustische Untersuchungen (Klangfarbe).

Michael Faraday (geb. 1791, † 1867 in London), „der erste aller Experimentatoren“ (nach Tyndall), entdeckt die Induktionselektricität (1831), die Gesetze der Elektrolyse und des Diamagnetismus; begründet die elektrochemische Theorie, führt den Begriff der magnetischen Kraftlinien ein und erfafst das Wesen der Elektricität unter dem Gesichtspunkt der Einheit der Naturkräfte. In dieser Hinsicht sind Faradays Untersuchungen für die gesamte Physik von besonderer Wichtigkeit geworden, und bilden den Ausgangspunkt für eine Reihe von er-

folgreichen Forschungen über den Zusammenhang zwischen Magnetismus, Elektrizität und Licht (Versuche von Professor Hertz in Bonn 1887).

Auch in anderer Beziehung sind Faradays Entdeckungen von grundlegender Bedeutung, da auf ihnen der gewaltige Aufschwung beruht, den die *Elektrotechnik* in den letzten drei Jahrzehnten genommen hat.

Werner von **Siemens** (geb. 1816, † 1892 in Berlin), der „James Watt des Elektromagnetismus“, wie ihn Du Bois-Reymond nannte. (Telegraphie, unterseeische Kabel, Telephon, Dynamomaschine, galv. Messungen, Widerstandseinheit).

In der *Optik* behauptete länger als ein Jahrhundert die von Newton zu großer Vollendung ausgebildete Emissionstheorie den Vorrang vor der Wellentheorie, die zunächst weniger einfach erschien, weil sie die Annahme eines Mittels der Wellenbewegung, des Äthers, notwendig machte. Erst zu Anfang des 19. Jahrhunderts wurde der Streit zwischen beiden Theorien zu Gunsten der Wellentheorie entschieden.

Thomas **Young** († 1829 in London) erklärt die Farbenercheinungen dünner Blättchen durch die Interferenz der Lichtwellen.

Aug. Jean **Fresnel** († 1827 bei Paris) vervollständigt die Untersuchungen des vorigen durch seine Erklärung der Beugungserscheinungen.

Joseph von **Fraunhofer** († 1826 in München) untersucht die dunklen Linien im Sonnenspektrum und bringt die achromatischen Fernrohre zu hoher Vollkommenheit. (Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreungsvermögens verschiedener Glassorten).

Kirchhoff († 1887 in Berlin) und **Bunsen** in Heidelberg begründen die Spektralanalyse (1859) und wenden sie zur Untersuchung der Himmelskörper an (*Astrophysik*).

Die *Akustik* wurde durch **Chladni** (Klangfiguren, Schallgeschwindigkeit), durch die Gebrüder **Weber** in Göttingen (Wellenlehre, 1825) und durch **Helmholtz** („Lehre von den Tonempfindungen“, 1862) wesentlich ausgebildet.

In der *Wärmelehre* hat Robert **Mayer** (geb. 1814, † 1878 in Heilbronn) durch die Begründung der mechanischen Wärmetheorie (1842) einen Fortschritt von größter Bedeutung herbeigeführt, nachdem schon **Thompson** (Graf **Rumford**) die Beziehung zwischen mechanischer Arbeit und Wärme erkannt hatte (1798).

Joule ermittelte (von 1842 bis 1849) durch genaue Versuche das Verhältnis zwischen Arbeitsgröße und Wärmemenge (mechanisches Wärmeäquivalent) und

Hermann von Helmholtz (Direktor der physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg) bewies mathematisch den bereits von Mayer aufgestellten Satz von der „Erhaltung der Kraft“ (1847). Aus diesem Gesetz folgt zugleich der Grundgedanke der neueren Naturbetrachtung: der Satz von der „Einheit der Kraft.“