Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

130. Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie

urn:nbn:de:hbz:466:1-83789

peratur in gleichen Raumteilen verschiedener Gase immer die gleiche Anzahl von Molekülen enthalten ist. Die Molekulargewichte gasförmiger Körper verhalten sich demnach wie die Gewichte gleicher Raumteile oder, was dasselbe heißt, wie ihre spezifischen Gewichte. Bei der genaueren Durchführung dieser Vorstellung hat man zu berücksichtigen, daß die Moleküle eines Gases bei einer bestimmten Temperatur nicht sämtlich eine und dieselbe Geschwindigkeit haben werden; es werden alle möglichen Geschwindigkeiten vorkommen; aber die Summe aller dieser lebendigen Kräfte, oder die durchschnittliche Wucht dieser Molekularbewegung wird für jede Temperatur einen bestimmten Wert haben.

Wo sich den Gasmolekülen die Wand des umschließenden Gefäßes entgegenstellt, üben sie vermöge der Wucht, mit welcher sie gegen die Wand prallen, einen Druck auf sie aus; wo sie eine Öffnung finden, fahren sie durch dieselbe hinaus. Die Geschwindigkeit des Ausströmens oder der Effusion durch eine enge Öffnung ist daher nichts anderes als die Geschwindigkeit der dahinschießenden Moleküle. Die Wucht der molekularen Bewegung, welche den Druck des Gases auf die Gefäßwand bedingt, ist aber proportional dem Produkt der Masse des Moleküls oder des Molekulargewichts mit dem Quadrate seiner Geschwindigkeit. Üben daher zwei Gase gleichen Druck aus, so müssen die Produkte aus ihren Molekulargewichten oder, was nach dem Avogadroschen Gesetz dasselbe ist, aus ihren spezifischen Gewichten mit den Quadraten ihrer Geschwindigkeiten einander gleich sein. Wenn daher verschiedene Gase unter gleichem Druck ausströmen, so verhalten sich die Quadrate ihrer Ausströmungsgeschwindigkeiten umgekehrt wie ihre spezifischen Gewichte (vgl. 94).

Erwärmen wir ein Gas, ohne ihm eine Raumänderung zu gestatten, d. h. während es in einem Gefäß von unveränderlichem Inhalt eingeschlossen bleibt, so hat die zugeführte Wärme weder äußere noch innere Arbeit zu vollbringen, weil ja weder die Überwindung eines äußeren Drucks noch diejenige widerstrebender Molekularkräfte stattfindet. In diesem Fall wird also alle zugeführte Wärme einzig und allein zur Erwärmung, d. h. zur Vermehrung der molekularen Wucht verwendet. Wird aber dem zu erwärmenden Gas gestattet, sich auszudehnen und sich dadurch stets mit dem äußeren unverändert bleibenden Druck ins Gleichgewicht zu setzen, so wird zwar ebensowenig wie im vorigen Fall innere Arbeit zu leisten sein; dagegen muß ein Teil der zugeführten Wärme zu äußerer Arbeit, nämlich zur Überwindung des äußeren Drucks verbraucht werden. Die zur Erwärmung eines Kilogramm Gas unter diesen Umständen verbrauchte Wärmemenge oder die spezifische Wärme bei unverändertem (konstantem) Druck muß demnach größer sein als diejenige bei unverändertem Rauminhalt.

130. **Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie.** Die Dampfmaschine leistet mechanische Arbeit, indem dabei gleichzeitig Wärme aus dem auf höherer Temperatur befindlichen Kessel,

zusammen mit dem Dampf, auf einen Körper von niedrigerer Temperatur, nämlich das Kühlwasser des Kondensators, übergeht. Sadi Carnot (1824) verglich deshalb die mechanische Leistung der Wärme mit derjenigen des Wassers, welches ebenfalls nur Arbeit leistet, wenn es von einem höheren zu einem tieferen Niveau herabsinkt, nahm aber an, daß die Wärme ebenso wie das Wasser unvermindert zu dem tieferen Niveau hinabgelange. Diese Betrachtungsweise war nicht mehr aufrecht zu erhalten, nachdem man erkannt hatte, daß die von einer Dampfmaschine geleistete Arbeit auf Kosten der Wärme geleistet wird. Von der Wärme, die der Dampf aus dem Kessel mit sich führt, geht nur ein Teil auf den kälteren Körper über, während der andere Teil in den ihm äquivalenten Betrag von Arbeit verwandelt wird. Aber der Gedanke Carnots, daß die Bedingung für eine Umwandlung von Wärme in Arbeit in dem Übergang der Wärme von höherer zu tieferer Temperatur zu suchen sei, bleibt nach aller Erfahrung zu Recht bestehen und ist von Clausius (1850) in die moderne Lehre von den Beziehungen zwischen Wärme und Arbeit hinübergenommen worden. Clausius hat dem Satze die umgekehrte Fassung gegeben. Der Wärmeübergang vom wärmeren zum kälteren Körper kann sich auch ohne Arbeitsgewinn vollziehen, z. B. bei dem Vorgange der Wärmeleitung. Der entgegengesetzte Vorgang aber, der Übergang einer Wärmemenge von einem kälteren auf einen wärmeren Körper vollzieht sich niemals von selbst. Wir können einen solchen Vorgang herbeiführen unter Aufwendung von Arbeit; das geschieht z. B. in den zur Eiserzeugung dienenden, sog. Kältemaschinen, die den umgekehrten Prozeß des Dampfmaschinenprozesses darstellen. In ihnen wird einer bei tiefer Temperatur siedenden Flüssigkeit (z. B. Ammoniak) Dampf entzogen. Dieser Dampf wird unter Aufwand von Arbeit zusammengedrückt, dadurch erwärmt und in diesem Zustande einem Reservoir von höherer Temperatur zugeführt. In diesem Falle wird die Arbeit, die zur Zusammendrückung des Dampfes verwandt wurde, in Wärme verwandelt und zusammen mit der Wärme, die der Dampf dem kälteren Flüssigkeitsreservoir entzogen hatte, dem wärmeren Reservoire zugeführt. Auf diese Weise wird durch andauernden Aufwand von Arbeit Wärme von dem kälteren Reservoir auf das wärmere übergeführt, und dadurch das erstere auf konstanter tiefer Temperatur erhalten.

Wie hierbei, so kann in allen Fällen die Wärme von dem kälteren auf den wärmeren Körper nur unter Aufwand von anderweitiger Energie, aber niemals von selbst übergehen. Diesen Satz hat Clausius als allgemeinen Grundsatz aufgestellt und hat aus ihm, durch Betrachtungen, die sich an die Untersuchungsmethode Carnots anschließen, eine Größenbeziehung für den bei einem Wärmeübergang von höherer auf niedrigere Temperatur erzielbaren Arbeitsbetrag entwickelt. Man nennt diesen Satz und die daraus gezogenen Folgerungen den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie.

Jene Größenbeziehung ist allerdings keine feststehende Zahl. Das geht schon daraus hervor, daß der Wärmeübergang ja auch ohne Arbeitsgewinn verlaufen kann, z. B. bei der Wärmeleitung. Wenn man aber einen Vorgang hat, bei dem die übergehende Wärme zum Teil in Arbeit verwandelt wird, so läßt sich zeigen, daß dieser Arbeitsgewinn nicht über einen gewissen Höchstbetrag hinauszugehen vermag, und daß dieser Höchstbetrag ausschließlich bedingt ist durch die Anfangs- und die Endtemperatur, zwischen denen der Wärmeübergang stattfindet. Ist nämlich Q_1 die Wärmemenge, die von der absoluten Temperatur T_1 aus heruntersinkt auf die absolute Temperatur T_2, ist q der Anteil dieser Wärme, der dabei in Arbeit verwandelt wird und Q_2 derjenige Teil, der bei der Temperatur T_2 noch als Wärme übrig ist, d. h. $q = Q_1 - Q_2$, so gilt der Satz, daß q höchstens $= \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot Q_1$ ist. Das Verhältnis der in Arbeit umgewandelten zu der ganzen Wärmemenge $\frac{q}{Q_1}$ nennt man den **Nutzeffekt** des Prozesses. Wie man aus der Formel ersieht, würde er gleich 1 sein können, d. h. die ganze Wärme würde ohne Rest in Arbeit verwandelt werden können nur dann, wenn $T_2 = 0$ wäre, d. h. wenn die Wärmemenge bis auf die Temperatur des absoluten Nullpunktes heruntersänke. Der durch die Clausiussche Formel bestimmte Höchstbetrag des Nutzeffektes $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ist aber auch nur unter einer ganz bestimmten Bedingung erreichbar, nämlich bei einem Vorgange, der ebensogut in dem einen Sinne wie in dem entgegengesetzten Sinne ausgeführt werden kann. Man nennt solche Prozesse **umkehrbare Prozesse**. Die meisten Prozesse sind keine oder nur unvollständig umkehrbare Prozesse. Daher ist der erzielbare Nutzeffekt im allgemeinen stets kleiner als der angegebene Höchstbetrag.

Die Folge der unvollkommenen Rückverwandlung von Wärme in Arbeit ist, daß die im ganzen Weltall enthaltene mechanische Energie von Tag zu Tag immer mehr in Wärme übergeht, welche sich nach allen Seiten hin verbreitet und die vorhandenen Temperaturunterschiede nach und nach ausgleicht. W. Thomson (1851) nannte diesen Vorgang „Zerstreuung“ (Dissipation) oder auch „Herabsetzung“ (Degradation) der Energie. Darnach würde das Weltall allmählich und in unabsehbar langer Zeit einem Zustande entgegenstreben, in dem zwar von der ursprünglich vorhandenen Energie nichts verloren gegangen, dieselbe aber in Form von Wärme überall gleichmäßig verbreitet sein würde. Temperaturunterschiede, diese Grundbedingung für die Zurückverwandlung der Wärme in andere Energieformen, gäbe es nicht mehr, alle mechanische Bewegung müßte aufhören und der Weltprozeß wäre damit beendet.

131. **Dampfmaschine.** Die Anwendung des zweiten Hauptsatzes auf diejenigen Maschinen, die Arbeit auf Kosten von Wärme