

so, wie früher an dem Eisendrahtbündel, nur natürlich etwas schwächer, weil kein Eisenkern vorhanden war. Die Magnete äufserten also nicht *als Magnete* elektrische Erscheinungen, sondern nur als elektrische Leiter überhaupt. — Wollte man einen besonderen Namen haben für die, außerhalb der (geöffneten) Schließungskreise zweier Inductionspiralen von einer zur andern stattfindende Bewegung der Elektrizität, so dürfte sich hierfür vielleicht die Benennung Tangentialstrom eignen.

---

#### IV. *Untersuchung über die Wärmestrahlung; von den HH. F. de la Provostaye und P. Desains.*

(Schluß der im Bd. 68, S. 271, abgebrochenen Abhandlung.)

---

##### Zweiter Theil.

Einfluß der Gröfse der Hüllen auf die Erkaltungsgesetze.

Da die Erkaltung eines nackten Thermometers in einem geschwärzten Ballon von 24 Centimeter Durchmesser unter jedem Druck über 6 bis 7 Millimeter nach den Gesetzen geschieht, die Dulong und Petit beim Experimentiren mit einem Ballon von 30 Centimeter gefunden haben, so war stark zu vermuthen, daß man, bei Vergrößerung der Dimensionen des Ballons, immer zu denselben Resultaten gelangen würde. Wir wurden also veranlaßt drei Hüllen von verschiedener Gröfse zu nehmen, nämlich: 1) den schon erwähnten Ballon, 2) einen Ballon von 15 Centim. Durchmesser, und 3) eine cylindrische Hülle von 6 Centimeter Durchmesser und 20 Centim. Höhe. Die Geräumigkeit der ersten war etwa die vierfache der zweiten, und die 13fache der dritten.

Zunächst mußte man sehen, ob die Erkaltung eines selben Thermometers dieselbe seyn würde in diesen verschiedenen Hüllen; ein einfacher Blick auf die Versuche lehrt

hierüber Folgendes. Bei Drucken unter etwa 20 Millimeter herrscht beinahe Identität zwischen den mit dem grofsen und dem mittleren Ballon erhaltenen Resultaten. Indefs sind die bei dem letzteren beobachteten Geschwindigkeiten etwas geringer, und zwar bei jeglichem Zustand der Oberfläche des Thermometers.

So gebrauchte das nackte Thermometer unter dem Druck 0<sup>m</sup>,765 zum Sinken vom Strich 860 auf Strich 400:

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| im Ballon von 24 Centimet. | 19' 19" |
| im Ballon von 15 - -       | 19 30.  |

Unter dem Druck 0<sup>m</sup>,58 gebrauchte es zum Sinken vom Strich 640 auf Strich 460:

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| im grofsen Ballon          | 12' 18" |
| im Ballon von 15 Centimet. | 12 21.  |

Das vergoldete Thermometer gebrauchte unter dem Druck 0<sup>m</sup>,756 zum Sinken vom Strich 860 auf Strich 400:

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| im Ballon von 24 Centimet. | 32' 43" |
| im Ballon von 15 - -       | 33 4,   |

unter dem Druck 0<sup>m</sup>,216 zum Sinken vom Strich 750 auf Strich 450:

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| im Ballon von 24 Centimet. | 32' 4" |
| im Ballon von 15 - -       | 32 16, |

unter dem Druck von 0<sup>m</sup>,088 zum Sinken vom Strich 830 auf Strich 550:

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| im Ballon von 24 Centimet. | 26' 47" |
| im Ballon von 15 - -       | 27 8,   |

unter dem Druck von 0<sup>m</sup>,024 zum Sinken vom Strich 840 auf Strich 470:

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| im Ballon von 24 Centimet. | 62' 30" |
| im Ballon von 15 - -       | 62 32.  |

Unter geringeren Drucken ist dagegen die Erkaltung im mittleren Ballon viel rascher als im grofsen.

Das vergoldete Thermometer erforderte unter dem Druck 0<sup>m</sup>,0099 zum Sinken vom Strich 830 auf Strich 540:

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| im Ballon von 24 Centimet. | 49' 34" |
| im Ballon von 15 - -       | 43 36,  |

unter dem Druck 0<sup>m</sup>,0062 zum Sinken vom Strich 820 auf Strich 580:

im Ballon von 24 Centimet. 40' 10",5

im Ballon von 15 - - 33 56

endlich gebrauchte dasselbe Thermometer unter dem sehr schwachen Druck von 0<sup>m</sup>,0025 zum Durchsinken desselben Intervalls:

im Ballon von 15 Centimet. 35' 46".

Im Cylinder ist die Erkaltung, vom Druck 0<sup>m</sup>,760 bis zu dem von etwa 0<sup>m</sup>,045, langsamer als im großen Ballon. Bei schwächeren Drucken ist dagegen die Schnelligkeit bedeutend größer in der kleinen Hülle.

| Durchlaufenes Intervall, in Strichen. | Druck. | Z e i t.         |                     |
|---------------------------------------|--------|------------------|---------------------|
|                                       |        | Ballon v. 24 Ctm | Cylindrische Hülle. |

Nacktes Thermometer.

|             |                     |        |          |
|-------------|---------------------|--------|----------|
| 840 bis 400 | 0 <sup>m</sup> ,765 | 19' 1" | 19' 56"  |
| 730 - 420   | 0 ,215              | 18 34  | 20 49    |
| 730 - 400   | 0 ,006              | 29 48  | 26 22 ,8 |

Versilbertes Thermometer mit versilbertem Stiel.

|             |                     |          |           |
|-------------|---------------------|----------|-----------|
| 700 bis 490 | 0 <sup>m</sup> ,762 | 13' 43", | 14' 29",5 |
| 790 - 400   | 0 ,216              | 50 17 ,5 | 62 2      |
| 620 - 470   | 0 ,088              | 26 27    | 29 45     |
| 810 - 600   | 0 ,069              | 21 6     | 23 40 ,5  |
| 800 - 640   | 0 ,015              | 22 17 ,8 | 17 14 ,5  |
| 850 - 620   | 0 ,006              | 39 28    | 24 47     |
| 700 - 570   | 0 ,0028             | 29 47 ,5 | 23 32 ,5  |

Eine andere Thatsache hat uns sehr überrascht. Wir wußten durch unsere Vorgänger, daß im Allgemeinen eine geringe Variation im Druck hinreiche, um die Erkaltungszeit merklich zu ändern, und daß die Wirkung der Luft sich verdopple, wenn man von 15 zu 70 Millimeter übergehe. Nun dauerte es nicht lange, um uns wahrnehmen zu lassen, daß im Cylinder die Erkaltungszeiten streng gleich blieben zwischen diesen beiden Punkten. Um diese Gleichheit aufser Zweifel zu setzen, nahmen wir unsere Hülfe zu dem oben beschriebenen Verfahren: wir beobachteten anfangs die vollständige Erkaltung des Thermometers

unter dem Druck  $0^m,070$ , und fingen dann den Versuch wieder unter demselben Druck an.

Wenn uns eine 10 bis 12 Minuten lang verbliebene Uebereinstimmung gezeigt hatte, daß die strahlende Oberfläche keine Veränderung erlitten, so verringerten wir, ohne das Thermometer zu verrücken, die Elasticität des inneren Gases auf  $0^m,015$ . Der Gang der Erkaltung fand sich dadurch um nichts geändert; er blieb identisch derselbe, der er beim ersten Versuch gewesen war.

Diese Methode wurde bei den erwähnten Drucken und bei dazwischenliegenden oftmals angewandt, und immer mit demselben Erfolg.

| Durchlaufenes Intervall<br>in Strichen <sup>1)</sup> .          | Drucke.  | Zeiten.   |
|---|--|---|
| Nacktes Thermometer.  |  |   |
| Von 780 bis 580   | $\left\{ \begin{array}{l} 0^m,024 \\ 0,0695 \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} 8' 40'' \\ 8 39 \end{array} \right.$                            |
| - 750 - 410   | $\left\{ \begin{array}{l} 0,014 \\ 0,068 \end{array} \right.$    | $\left\{ \begin{array}{l} 21 22 \\ 21 15 \end{array} \right.$                             |
| Versilbertes Thermometer mit versilbertem Stiel <sup>2)</sup> . |  |   |
| Von 610 bis 570   | $\left\{ \begin{array}{l} 0^m,0153 \\ 0,068 \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} 10' 43'' \text{ (I)} \\ 10 40 \text{ (II)} \end{array} \right.$ |
| - 790 - 600   | $\left\{ \begin{array}{l} 0,0153 \\ 0,069 \end{array} \right.$   | $\left\{ \begin{array}{l} 22 0 \text{ (III)} \\ 21 58 \text{ (IV)} \end{array} \right.$   |

Diese Tafeln gelten für das cylindrische Thermometer; bei dem kugelförmigen, dessen Volum geringer ist, liegen die Druckgränzen, zwischen denen das Erkaltungsvermögen der Luft unveränderlich ist, näher zusammen. Diese Beobachtungen haben uns veranlaßt zu untersuchen, ob sich bei größeren Hüllen eine Thatsache gleicher Art zeigen

- 1) Die diesen Strichen hier und an anderen Stellen entsprechenden Temperaturen findet man im ersten Zusatz zu dieser Abhandlung angegeben.
- 2) Bei Fortsetzung des Versuchs I von Strich 540 bis zum Strich 480 fand man für die verstrichene Zeit 13' 54". Nachdem im Versuch II der Druck auf  $0^m,015$  verringert worden, beobachtete man die Erkaltungszeit zwischen denselben Gränzen, und fand sie gleich 13' 55". Auf dieselbe Weise versicherte man sich bei den Versuchen III und IV der Identität der Oberfläche des Thermometers.

würde, und wirklich haben wir beim Ballon von 24 Centimeter die Identität der Erkaltungszeit unter den Drucken  $0^m,006$  und  $0^m,0028$  bestätigt gefunden.

Wir haben gleichfalls erkannt, daß in dem mittleren Ballon die Erkaltungszeiten zwischen etwa 20 und 4 Millimeter sehr nahe dieselben bleiben.

| Durchlaufenes Intervall, in Strichen. | Zeiten unter den Drucken: |                         |                       |                      |                       |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Von 800 bis 600                       | $0^m,024$<br>29' 2",5     | $0^m,0097$<br>30' 38",5 | $0^m,0063$<br>30' 46" | $0^m,004$<br>30' 57" | $0^m,0024$<br>32' 46" |

Also von einem Drucke an, dessen Werth mit den relativen Dimensionen der Hülle und des Thermometers variiert, kann man, ohne etwas an den Erkaltungsgeschwindigkeiten zu ändern, die Luft eintreten lassen oder fortnehmen, in desto beträchtlicherer Menge als die Größe der Hülle geringer ist. Es ist also einleuchtend, daß man bei jeder Operation, die unter Drucken in diesem gewissermaßen bedeutungslosen Intervall gemacht ist, vollkommen sicher gestellt ist gegen Fehler der Ablesung und selbst gegen Schwankungen des Drucks beim Versuch. Diese Bemerkung kann nicht ohne Wichtigkeit seyn.

Die vorstehenden Resultate werden anschaulich durch eine graphische Darstellung der Erkaltungsgeschwindigkeiten, die einem gleichen Temperaturüberschuß entsprechen und unter verschiedenen Drucken in dem größten und dem kleinsten der von uns gebrauchten Hüllen beobachtet worden sind. Man sehe die Fig. 3, Taf. III, des Bandes 68.

Die Curven zeigen deutlich <sup>1)</sup>, daß, vom Drucke  $0^m,006$

- 1) Jede dieser Curven wurde auf folgende Weise construirt. Auf die Axe  $OA$  trug man Längen proportional den Drucken. In dem, einem bestimmten Druck entsprechenden Punkt zog man, parallel der Axe  $OB$ , eine Ordinate proportional der Zahl, welche die unter diesem Druck bei der Temperatur  $93^{\circ},88$  beobachtete Gesamtgeschwindigkeit vorstellt. Die so bestimmten Punkte wurden durch einen continuirlichen Strich verbunden. Die Curve  $\alpha\beta\gamma$  repräsentirt die im Ballon von 24 Centimetern gemachten Beobachtungen, die Curve  $\alpha'\beta'\gamma'$  die in der cylindrischen Hülle angestellten.

an, die Geschwindigkeit in dem kleinen Cylinder mit ungemainer Schnelligkeit abnimmt. Dersungeachtet übertrifft sie, bei  $0^{\text{m}},0028$ , noch bedeutend die, welche man unter demselben Druck im großen Ballon beobachtet. Hängt diese Verschiedenheit alleinig ab von den starken Modificationen, welche die erkaltende Wirkung der Luft in den kleinen Hüllen erleidet, oder wird die Strahlung selbst verändert? Um diese Frage zu beantworten, müßte man in den gesammten Geschwindigkeiten die beiden verschiedenen Effecte, von denen sie die Summen sind, wieder finden. Ist nun schon das Problem nicht ohne Schwierigkeit, wenn die Curve, welche die Wirkungen der Luft unter verschiedenen Drucken darstellt, in fast ihrer ganzen Erstreckung einen vollkommen regelmäßigen Gang besitzt, so begreift man, daß es fast unlöslich werden muß, wenn diese Curve eine bedeutende Einbiegung darbietet und ihre Richtung sich sehr rasch ändert in dem Theil ihres Laufs, wo es unmöglich ist, die Ordinaten direct zu bestimmen. Wir glauben jedoch, daß man auf eine sichere Weise zu zuverlässigen Resultaten und auf eine sehr wahrscheinliche zu einigen anderen gelangen kann.

Zuvörderst ist leicht nachzuweisen, daß die geringe Ungleichheit in den erkaltenden Wirkungen der Luft auf Glas und auf Metalle verbleibt, und vielleicht gar sich vergrößert, wenn die Dimensionen der Hülle abnehmen. Wenn man, wie schon erläutert worden, die Erkaltung eines versilberten Thermometers in dem kleinen Cylinder unter verschiedenen Drucken beobachtet, und die eine der irgend zweien dieser Drucke und einer selben Temperatur entsprechenden Geschwindigkeiten von der anderen abzieht, so bekommt man wenigstens einen größeren Rest, als wenn das Thermometer seine gläserne Oberfläche behalten hätte; und überdies ist der Ueberschufs des ersten dieser Reste über den zweiten insgemein etwas größer als der, welchen man erhält, wenn man die im Ballon von 24 Centimeter gemachten Versuche auf dieselbe Weise combinirt.

Unterschiede der Erkaltungsgeschwindigkeiten des versilberten Thermometers mit versilbertem Stiel unter den Drucken 0<sup>m</sup>,765 und 0<sup>m</sup>,006.

Temperaturüberschüsse.

121°,884 | 107°,184 | 93°,90 | 82°,16 | 60°,4

Unterschiede der beobachteten Geschwindigkeiten.

0°,0728 | 0°,0614 | 0°,0524 | 0°,0442 | 0°,0294

Unterschiede der Erkaltungsgeschwindigkeiten des nackten Thermometers unter den Drucken 0<sup>m</sup>,765 und 0<sup>m</sup>,006.

Temperaturüberschüsse.

121°,884 | 107°,184 | 93°,90 | 82°,16 | 60°,4

Unterschiede der beobachteten Geschwindigkeiten.

0°,0691 | 0°,0589 | 0°,0509 | 0°,0434 | 0°,0279

Das Gesetz, welches die Erkaltungsfähigkeiten der Luft mit den Temperaturüberschüssen und den Drucken verknüpft, wird bei einem selben Thermometer verwickelt und geändert, sobald die Dimensionen der Hülle abnehmen. So lange diese letzteren nicht bedeutend verkleinert worden sind, ist die Abänderung des Gesetzes nur bei den unter ziemlich starken Drucken angestellten Versuchen merklich; sie geht aber nach und nach auf die ganze Reihe über, sobald die Hülle kleiner wird.

So fand sich, wie schon gesagt, der Gang der Erkaltung des einen der von uns gebrauchten Thermometer fast gleich bei dem Ballon von 24 Centim. und dem von 15 Centim. Durchmesser, so lange der Druck über 0<sup>m</sup>,20 war; unterhalb dieser Gränze aber konnte der Unterschied der Gesamt-Geschwindigkeiten, die bei gleicher Temperatur und unter ungleichen Drucken im letzteren Ballon beobachtet wurden, auf keine Weise mehr durch die Dulong-Petit'sche Formel dargestellt werden.

Was die Versuche mit der kleinen cylindrischen Hülle betrifft, so haben sie uns beständig Erkaltungszeiten gegeben, die von den mit dem Ballon von 0<sup>m</sup>,24 beobachteten sehr abwichen. Es war dadurch sogar sehr wahrscheinlich

dafs die erkaltende Wirkung der Luft bei diesen Versuchen nicht mehr durch die Formel

$$n p^{0,45} t^{1,233}$$

vorgestellt würde. Ein directer Calcul hat uns in dieser Meinung bestärkt. Er hat uns sogar gezeigt, dafs man sich vergebens bemühen würde, diese Formel durch Vertauschung der Zahlen 0,45 und 1,233 gegen zwei andere Constante anwendbar zu machen. Denn, wenn man nach oben gegebener Weise diese Constanten direct bestimmt, findet man für den Exponenten des Drucks Quotienten, die mit der Temperatur variiren, und für den Exponenten der Temperatur Quotienten, die mit dem Druck veränderlich sind.

Da diese Variationen regelmäfsig sind, und sich so gut beim versilberten wie beim nackten Thermometer einstellen, so kann man sie nicht als zufällig betrachten. Die Function, welche für kleine Hüllen die Wirkung der Luft vorstellt, scheint also sehr verwickelter Natur zu seyn. Nach vielen unnützen Proben zur directen Bestimmung derselben haben wir diesen Weg verlassen und einen anderen eingeschlagen, der vielleicht weniger natürlich und weniger einwurfsfrei, dennoch aber, wie wir hoffen, eben so erlaubt ist. Wir haben zuvörderst untersucht, ob die Erkaltungsgeschwindigkeit im Vacuo unabhängig sey von der Gröfse der Hülle.

Um das Folgende ganz verständlich zu machen, wollen wir annehmen, dafs in zwei Hüllen von verschiedener Gröfse die Wirkung der Luft unabhängig sey von der Oberfläche des erkaltenden Körpers. Einleuchtend ist, dafs wenn man, die in einer von ihnen unter demselben Druck angestellten Versuche vergleichend, die Geschwindigkeiten des versilberten Thermometers von denen des nackten Thermometers, die denselben Temperaturüberschüssen entsprechen, abzieht, die Wirkung der Luft in den Unterschieden verschwinden wird; dafs diefs auch der Fall seyn wird, wenn man mit den in der anderen Hülle beobachteten Geschwindigkeiten eben so verfährt; und dafs endlich, wenn sich die Strahlung von einer Hülle zur anderen nicht ändert, die



entsprechenden Reste in beiden Reihen einander gleich seyn werden. Umgekehrt ist es zwar nicht gewiß, aber sehr wahrscheinlich, daß wenn diese Unterschiede gleich sind, die Strahlungen keine Veränderung in ihrer absoluten Gröfse erlitten haben.

Die Ungleichheit der erkaltenden Wirkung der Luft auf die verschiedenen Oberflächen schwächt diese Schlüsse in nichts, sobald die Wirkung entweder streng oder sehr nahe gleich bleibt in Hüllen von verschiedener Gröfse. Nur werden, da die Wirkung der Luft in beiden Fällen nicht strenge verschwindet, die Unterschiede der Strahlungen ein wenig geändert seyn, und man wird, bei Herleitung derselben aus Versuchen unter verschiedenen Drucken, nicht genau denselben Werth finden.

Folgende Tafel scheint also festzustellen, daß die Erkaltungsgeschwindigkeit im Vacuo für einen gleichen Temperaturüberschuß, wenigstens sehr annähernd, gleich ist im kleinen Cylinder und im Ballon von 24 Centimet. Durchmesser.

**Geschwindigkeitsunterschiede eines selben Thermometers, nackt und versilbert, unter demselben Druck 0<sup>m</sup>,765 und bei derselben Temperatur.**

|                         | Temperaturüberschüsse.                           |          |         |         |
|-------------------------|--|----------|---------|---------|
|                         | 121°,884   | 107°,184 | 93°,9   | 60°,4   |
|                         | Unterschiede der beobachteten Geschwindigkeiten. |          |         |         |
| Ballon von 24 Centimet. | 0°,0957  | 0°,0807  | 0°,0675 | 0°,0367 |
| Cylindrische Hülle      | 0,0951   | 0,0783   | 0,0649  | 0,0350  |

**Geschwindigkeitsunterschiede eines selben Thermometers, nackt und versilbert, unter demselben Druck 0<sup>m</sup>,006 und bei derselben Temperatur.**

|                         | Temperaturüberschüsse.                           |          |          |         |
|-------------------------|--|----------|----------|---------|
|                         | 121°,884   | 107°,184 | 93°,9    | 60°,04  |
|                         | Unterschiede der beobachteten Geschwindigkeiten. |          |          |         |
| Ballon von 24 Centimet. | 0°,1012  | 0°,08297 | 0°,06828 | 0°,0376 |
| Cylindrische Hülle      | 0,0984   | 0,08075  | 0,06633  | 0,0364  |

Den constanten Unterschied, den man hier in den beiden Reihen wahrnimmt, erklären wir uns durch die Annahme, daß der Oberflächenzustand der beiden Hüllen nicht strenge gleich war. Diese Hypothese ist keineswegs willkürlich, denn wir haben eine andere Reihe Beobachtungen angestellt, bei welcher der Unterschied drei Mal stärker war. Die neuen Resultate wurden mit dem frisch geschwärzten Cylinder erhalten; und weil man hiedurch drei Viertel des Unterschiedes verschwinden machen konnte, so scheint uns, daß man berechtigt ist anzunehmen, er würde völlig verschwinden, wenn man den Oberflächenzustand ganz identisch machen könnte, was übrigens vom physikalischen Gesichtspunkt aus sehr schwierig ist.

Im dritten Theile dieser Abhandlung, der vom Einfluß des Oberflächenzustandes der Hülle auf die Erkaltung handelt, werden wir überdieß sehen, daß eine Veränderung in diesem Zustand keinen anderen Effect hat als die Strahlung des nackten Thermometers zu ändern, daß die des versilberten Thermometers unverändert bleibt. Dadurch sind wir veranlaßt worden, die Gesamt-Geschwindigkeiten des versilberten Thermometers in dem Cylinder zu betrachten als die Summe zweier Geschwindigkeiten, deren eine genau gegeben ist durch die Strahlung, wie man sie in dem großen Ballon beobachtet, die andere aber von der Wirkung der Luft abhängt, sich nun isoliren läßt, und ihrem Gesetze nach zu bestimmen ist.

Wenn man nun sucht, wie bei einem selben Versuch das Erkaltungsvermögen der Luft sich mit dem Temperatur-Ueberschuß verändere, so findet man, daß es proportional ist einer gewissen Potenz dieses Ueberschusses, welche man ohne Zweideutigkeit bestimmen kann. Zu ähnlichen Resultaten gelangt man, wenn man mit den unter einem anderen Drucke beobachteten Geschwindigkeiten eben so verfährt; allein in diesem Fall findet man, mit nicht geringerer Gewißheit, einen neuen Werth für den Exponenten. So kann die Erkaltungsgeschwindigkeit im kleinen Cylinder vorgestellt werden durch einen Ausdruck von der Form:

$$ma^{\frac{1}{2}} (\alpha^t - 1) + k t^{\alpha}.$$

Der Werth von  $\alpha$  variirt mit dem Druck, der von  $k$  hängt auch davon ab; beide müssen für jeden Versuch bestimmt werden (siehe die nächstfolgende Tafel). Offenbar kann der Coëfficient  $k$  in zwei andere zerlegt werden, und nichts hindert  $k=np^x$  zu setzen, d. h. anzunehmen, der Effect der Luft sey proportional einer gewissen Potenz des Drucks. Nur wird der Werth von  $x$  nicht constant seyn für alle Versuche. Die Rechnung zeigt nämlich, dafs überall, wo der Effect der Luft mit dem Druck variirt, der Exponent des Drucks mit dem der Temperatur zu- und abnimmt, und dafs beide zu gleicher Zeit denselben Werth annehmen.

| Drucke              | Exponent des Temperatur-<br>überschusses. | Exponent des Drucks |
|---------------------|---|---------------------|
| 0 <sup>m</sup> ,763 | 1 <sup>o</sup> ,25                        | 0 <sup>m</sup> ,626 |
| 0 ,433              | 1 ,27                                     | 0 ,695              |
| 0 ,215              | 1 ,25                                     | 0 ,625              |
| 0 ,015              | 1 ,075                                    | 0 ,129              |
| 0 ,006              | 1 ,11                                     | 0 ,149              |
| 0 ,0028             | 1 ,15                                     | 0 ,225              |

Man erhält die Werthe von  $k$ , die einem jeden Druck entsprechen, wenn man  $\log n = 0,4727 - 4$  setzt, und für  $p$  und  $x$  die entsprechenden Werthe aus der ersten und dritten Spalte dieser Tafel nimmt.

Die beiden folgenden Tafeln enthalten die im Cylinder mit dem versilberten und dem nackten Thermometer gemachten Beobachtungen. In der ersten wurden die berechneten Geschwindigkeiten bestimmt, indem man für die Strahlung im Vacuo die im grossen Ballon beobachteten Geschwindigkeiten desselben versilberten Thermometers annahm und mit den obigen Exponenten  $\log n = 0,4727 - 4$  setzte. In der zweiten hat man diesen Werth von  $n$  um etwa  $\frac{1}{5}$  verringert und  $\log m = 0,825000 - 2$  genommen.

Erhaltungsgeschwindigkeiten des versilberten cylindrischen Thermometers mit versilbertem Stiel, beobachtet in der cylindrischen geschwärtzten Hülle, bei  $14^{\circ},7$  C., berichtigt für den Rücktritt des kalten Quecksilbers, aber nicht für Veränderung der Masse und Wärmecapacität des Quecksilbers.

| Drucke.             | Temperaturüberschüsse.         |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
|---------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
|                     | 121°,884                       | 107°,184 | 93°,9    | 82°,16   | 60°,4    | 51°,782  | 44°,565  | 37°,345  | 30°,112  |  |
|                     | Beobachtete Geschwindigkeiten. |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
| 0 <sup>m</sup> ,763 | 0°,11761                       | 0°,10000 | 0°,08569 | 0°,07249 | 0°,04970 | 0°,04070 | 0°,03375 | 0°,02746 | 0°,02104 |  |
| 0,433               | 0,09000                        | 0,07660  | 0,0654   | 0,05553  | 0,03771  | 0,03094  |          |          |          |  |
| 0,215               | 0,06182                        | 0,05260  | 0,04519  | 0,03826  | 0,02629  | 0,02181  | 0,01805  | 0,01483  | 0°,01149 |  |
| 0,015               | 0,04687                        | 0,04009  | 0,03478  | 0,02133  | 0,02133  | 0,01802  |          |          |          |  |
| 0,006               | 0,04479                        | 0,03859  | 0,03333  | 0,02876  | 0,02035  |          |          |          |          |  |
| 0,0028              | 0,03599                        | 0,03076  | 0,02644  | 0,02292  | 0,01628  |          |          |          |          |  |

Dieselben Geschwindigkeiten berechnet nach der Formel  $ma^{\frac{1}{2}}(a'-1) + k \cdot t^{\frac{1}{2}}$ . Werthe von  $a$  und  $k$  für verschiedene Drucke:

|          |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                      |         |  |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------|--|
| Druck:   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                      |         |  |
| $\alpha$ | 0 <sup>m</sup> ,763 | 0 <sup>m</sup> ,433 | 0 <sup>m</sup> ,215 | 0 <sup>m</sup> ,125 | 0 <sup>m</sup> ,075 | 0 <sup>m</sup> ,015 | 0 <sup>m</sup> ,006 | 0 <sup>m</sup> ,0028 |         |  |
| $\log k$ | 1,25                | 1,27                | 1,25                | 1,25                | 1,075               | 4,2379              | 1,11                | 1,15                 |         |  |
|          | 4,399160            | 4,22000             | 4,0548              | 4,0548              | 4,2379              | 4,1416145           | 4,1416145           | 5,89800              |         |  |
|          | 121°,884            | 107°,184            | 93°,9               | 82°,16              | 60°,4               | 51°,782             | 44°,565             | 37°,345              | 30°,112 |  |

Temperaturüberschüsse.

| Drucke. | Berechnete Geschwindigkeiten. |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|---------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|         | 0°,763                        | 0°,11767 | 0°,10008 | 0°,08529 | 0°,07234 | 0°,04946 | 0°,04081 | 0°,03388 | 0°,02748 | 0°,02116  |
| 0°,433  | 0°,09013                      | 0°,07647 | 0°,06511 | 0°,05511 | 0°,0518  | 0°,03756 | 0°,03093 |          |          |           |
| 0°,215  | 0°,06208                      | 0°,05274 | 0°,04513 | 0°,03840 | 0°,03840 | 0°,02631 | 0°,02174 | 0,01812  | 0,01481  | 0°,011487 |
| 0°,015  | 0°,04636                      | 0°,06994 | 0°,03478 | 0°,03478 |          | 0°,02140 | 0°,01803 |          |          |           |
| 0°,006  | 0°,04478                      | 0°,03846 | 0°,03339 | 0°,03339 | 0°,02883 | 0°,02034 |          |          |          |           |
| 0°,0028 | 0°,03595                      | 0°,03071 | 0°,02662 | 0°,02662 | 0°,02287 | 0°,01603 |          |          |          |           |

Erkaltungsgeschwindigkeiten des nackten cylindrischen Thermometers in der geschwärmten cylindrischen Hülle, berichtigt für den Rücktritt des kalten Quecksilbers, aber nicht für die Aenderung der Masse und Wärmecapacität des Quecksilbers.

| Drucke. | Temperaturüberschüsse. |          |          |          |          |          |           |          |          |  |
|---------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|--|
|         | 121°,884               | 107°,184 | 93°,9    | 82°,16   | 60°,4    | 51°,782  | 44°,565   | 37°,345  | 30°,112  |  |
| 0°,765  | 0°,21275               | 0°,17828 | 0°,15057 | 0°,12664 | 0°,08471 | 0°,07003 | 0°,05761  | 0°,04703 | 0°,03597 |  |
| 0°,006  | 0°,1436                | 0°,11934 | 0°,09966 | 0°,08318 | 0°,05675 | 0°,04726 | 0°,038798 | 0,03255  | 0,025298 |  |

Dieselben Geschwindigkeiten berechnet nach der Formel  $m a^{\frac{1}{2}} (a^t - 1) + k t^{\frac{1}{2}}$ .

Unter dem Druck 0°,765 genommen  $\alpha = 1,25$ ,  $\log k = 4,38147$

- - - 0,006 - -  $\alpha = 1,11$ ,  $\log k = 4,1416145$ ,

Dabei immer  $\log m = 2,925$ .

| Temperaturüberschlüsse. |         |                               |          |         |          |           |          |          |          |         |
|-------------------------|---------|-------------------------------|----------|---------|----------|-----------|----------|----------|----------|---------|
|                         |         | 121°,884                      | 107°,181 | 93°,9   | 82°,16   | 60°,4     | 51°,782  | 44°,565  | 37°,345  | 30°,112 |
| Drucke                  |         | Berechnete Geschwindigkeiten. |          |         |          |           |          |          |          |         |
| 0 <sup>m</sup> ,765     | 0° 2132 | 0°,1784                       | 0°,1494  | 0°,1254 | 0°,08473 | 0°,069916 | 0°,05820 | 0°,04703 | 0°,03641 |         |
| 0 06                    | 0 1432  | 0 11925                       | 0 09961  | 0 08361 | 0 05677  | 0 04711   | 0 0394   | 0 03221  | 0 02526  |         |

Versuche, unter schwachen Drucken in der sphärischen Hülle von 15 Centim. angestellt, haben uns gleichfalls erkennen lassen, daß die Exponenten der Formel, welche die Wirkung der Luft ausdrückt, veränderlich sind. Weiterhin in dieser Abhandlung, S. 197, werden wir eine Tafel geben, welche zeigt, daß man, um die in dieser Hülle unter dem Druck 0<sup>m</sup>,003 beobachteten Geschwindigkeiten des nackten Thermometers auszudrücken, den Exponenten 0,33, statt des 0,45, annehmen müsse.

Sucht man eben so die in diesem Ballon unter den Drucken 0<sup>m</sup>,0098 und 0<sup>m</sup>,003 beobachteten Erkaltungsgeschwindigkeiten, welche in der Tafel am Ende des ersten Theils dieser Abhandlung (S. 270 des Bandes LXVIII) gegeben sind, durch den Calcul zu repräsentiren, so ergibt sich, daß man, um die Wirkung der Luft auszudrücken, nehmen muß, im ersten Fall:

$$v = n p^{0,29} t^{1,12}$$

und im zweiten Fall:

$$v = n p^{0,34} t^{1,233}$$

Somit erhält man, überdies:

$$\log m = 0,8859526 - 2, \quad \log n = 0,5647500 - 4$$

beibehaltend, die folgende Resultate:

## Temperaturüberschüsse.

|                      |                               |          |          |           |          |
|----------------------|-------------------------------|----------|----------|-----------|----------|
|                      | 107°,64                       | 99°,289  | 83°,91   | 44°,1     | 32°,0    |
| Drucke.              | Berechnete Geschwindigkeiten. |          |          |           |          |
| 0 <sup>m</sup> ,0098 | 0°,1205                       | 0°,10765 | 0°,08579 | 0°,038786 |          |
| 0 ,003               |                               | 0 ,10592 | 0 ,08412 | 0 ,03756  | 0°,02587 |

## Dieselben Geschwindigkeiten beobachtet.

## Temperaturüberschüsse.

|                      |                                |          |          |         |          |
|----------------------|--------------------------------|----------|----------|---------|----------|
|                      | 107°,64                        | 99°,289  | 83°,91   | 44°,1   | 32°,0    |
| Drucke.              | Beobachtete Geschwindigkeiten. |          |          |         |          |
| 0 <sup>m</sup> ,0098 | 0°,1210                        | 0°,10724 | 0°,08596 | 0°,3864 |          |
| 0 ,003               |                                | 0 ,10593 | 0 ,08398 | 0 ,3754 | 0°,02607 |

Aus dem Vorhergehenden läßt sich also folgern, daß die erkaltende Wirkung der Luft in irgend einer Hülle bei jedem Versuche proportional geht einer gewissen Potenz des Drucks und des Temperaturüberschusses, daß aber in kleinen Hüllen die Exponenten des Drucks und der Temperatur mit dem Druck variiren, während, wenn die Dimensionen der Hülle sehr beträchtlich werden gegen die des Thermometers, die beiden Exponenten sich den festen Grenzen 0,45 und 1,233 nähern.

## Dritter Theil.

## Einfluß des Oberflächenzustandes der Hülle.

Um die Modificationen zu studiren, welche eine Veränderung des Ausstrahlungsvermögens der Hüllen in der Erkaltung herbeiführen kann, muß man diese Hüllen so einrichten, daß man eine Schicht von jeglicher Substanz auf ihre Innenfläche anbringen kann. Zu diesem Zweck haben wir sie, wie schon erwähnt, aus zwei Stücken mit Zinn zusammenlöthen lassen, die man folglich nach Belieben trennen und vereinigen kann. Diese Verbindungsweise durch Löthung erfordert zwar eine etwas lange Manipulation; allein dafür sichert sie auch absolut gegen Verluste, und deshalb haben wir sie angewandt. Die Oberflächen sind überdiß nicht sehr oft erneut worden. Da Blattsilber und Kien-

rufs sehr ungleiche Ausstrahlungs- und Reflexionsvermögen besitzen, so haben wir geglaubt, daß sie vor allen andern Substanzen den Vorzug verdienten. Diese Wahl war indeß, wie man weiterhin sehen wird, nicht ausschließend.

Wir wollen nun, ohne uns bei überflüssigen Einzelheiten aufzuhalten, das Gesammte der aus unseren Versuchen und Rechnungen abgeleiteten Resultate auseinandersetzen.

Eine Abänderung im Oberflächenzustand der Hülle ändert nicht das Gesetz, nach welchem das Erkaltungsvermögen eines Gases im Allgemeinen mit dem Druck und dem Temperaturüberschuß des Thermometers variirt. Ueberdies zeigt sich dieß Vermögen zwischen  $0^{\circ},0028$  und  $0^{\circ},006$  im großen Ballon, und zwischen  $0^{\circ},015$  und  $0^{\circ},070$  im Cylinder als unabhängig vom Druck. Nur haben wir bei diesen Hüllen nicht mehr gefunden, daß die Wirkung der Luft auf das Silber beständig größer wäre als auf das Glas.

Wie es sich auch mit diesem geringen Unterschied verhalten möge, so sieht man doch, daß das Gesetz der Erkaltung durch die Luft unabhängig ist vom Ausstrahlungsvermögen der Hülle. Ist es bei der eigentlichen Strahlung eben so? Dieß müssen wir zunächst untersuchen.

Wenn ein Körper erkaltet, ist der Verlust, den er erleidet, der Unterschied zwischen der von ihm ausgesandten und in derselben Zeit absorbirten Wärme. Besitzt die Hülle ein nullgleiches Reflexionsvermögen, so entspringt die absorbirte Wärme lediglich aus der Strahlung der Wände. Dem ist nicht mehr so, wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist. Die theils ausgesandte, theils reflectirte und dann zum Thermometer zurückkehrende Wärme würde dann nicht mehr gleich seyn der, welche es im Falle des Gleichgewichts erhielte. Offenbar ist sie hier größer. Dasselbe kann man von der absorbirten Wärme sagen; und folglich scheint eine Abnahme der Erkaltungsgeschwindigkeit nothwendig einen Anwuchs des Reflexionsvermögens der Hülle begleiten zu müssen.

Die Erfahrung bestätigt diese Inductionen für ein nack-



tes Thermometer. Die Verluste durch Strahlung reduciren sich fast auf die Hälfte; deßungeachtet bleibt die Form des Gesetzes immer bestehen.

Die erste der beiden folgenden Tafeln enthält die Erkaltungsgeschwindigkeiten des nackten cylindrischen Thermometers, beobachtet in der versilberten Hülle bei  $14^{\circ},7$ .

Die zweite giebt die berechneten Geschwindigkeiten, angenommen dabei 0,45 als Exponenten des Drucks und 1,233 als den der Temperatur, und:

$$\log n = 4,5090000 \quad , \quad \log m = 2,5330000.$$

Zieht man diesen  $\log m$  von dem ab, der zur Berechnung der Erkaltungsgeschwindigkeiten im geschwärzten Ballon diente, so findet man einen Rest, der nicht merklich vom  $\log. 2$  abweicht.

Erkaltungsgeschwindigkeiten des nackten cylindrischen Thermometers, in der versilberten Hülle von 24 Centim., bei  $19^{\circ},7$  C.

|         |  | Temperaturüberschüsse.         |          |          |          |          |                      |
|---------|--|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------------------|
|         |  | 116°,757                       | 102°,075 | 88°,88   | 77°,163  | 65°,527  | 55°,411   46°,739    |
| Drucke. |  | Beobachtete Geschwindigkeiten. |          |          |          |          |                      |
| 0m,313  |  | 0°,1272                        | 0°,1046  | 0°,08719 | 0°,07259 | 0°,05923 | 0°,04818   0°,03926  |
| 0 ,088  |  | 0 ,09517                       | 0 ,0797  | 0 ,06589 | 0 ,0525  | 0 ,04461 | 0 ,03651             |
| 0 ,0215 |  | 0 ,07779                       | 0 ,0642  | 0 ,05368 | 0 ,04469 | 0 ,03583 | 0 ,02932   0 ,023847 |

Dieselben Geschwindigkeiten berechnet nach der Formel  $ma^{\frac{2}{3}}(a^t - 1) + np^{0,15}t^{1,233}$  mit  $\log m = 2,53300$  und  $\log n = 4,509$ .

|         |  | Temperaturüberschüsse.        |          |         |          |         |                   |
|---------|--|-------------------------------|----------|---------|----------|---------|-------------------|
|         |  | 116°,757                      | 102°,075 | 88°,88  | 77°,163  | 65°,527 | 55°,411   46°,739 |
| Drucke. |  | Berechnete Geschwindigkeiten. |          |         |          |         |                   |
| 0m,313  |  | 0°,1251                       | 0°,1044  | 0°,0869 | 0°,07262 | 0°,0591 | 0°,0480   0°,0390 |
| 0 ,088  |  | 0 ,09571                      | 0 ,0795  | 0 ,0659 | 0 ,05498 | 0 ,0447 | 0 ,0363           |
| 0 ,0215 |  | 0 ,07781                      | 0 ,0644  | 0 ,0531 | 0 ,0442  | 0 ,0359 | 0 ,0291   0 ,0239 |

Die Beobachtung der Erkaltung des geschwärzten Thermometers führt zu denselben Resultaten; nur sieht man den Werth von  $m$  ein wenig mit der Temperatur schwanken. Auch bemerkt man, daß in einer versilberten Hülle die Strahlungen des Glases und des Kienrufs fast identisch werden.

Erkaltungsgeschwindigkeiten des cylindrischen, auf dem Glase mit Kienrufs bekleideten Thermometers, beobachtet im versilberten grossen Ballon bei 19°.7. Die Geschwindigkeiten berichtigt für den Rücktritt des Quecksilbers.

| Temperaturüberschüsse.         |          |          |          |          |          |          |          |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                | 116°,757 | 102°,075 | 88°,88   | 77°,163  | 65°,527  | 55°,411  | 46°,739  |
| Beobachtete Geschwindigkeiten. |          |          |          |          |          |          |          |
| Drucke.                        |          |          |          |          |          |          |          |
| 0 <sup>m</sup> ,313            | 0°,1252  | 1°,0050  | 0°,08716 | 0°,07348 | 0°,05906 | 0°,04858 | 0°,03949 |
| 0 ,088                         | 0 ,09577 | 0 ,07999 | 0 ,06681 | 0 ,05605 | 0 ,04528 | 0 ,03709 | 0 ,03019 |
| 0 ,0205                        | 0 ,07713 | 0 ,06403 | 0 ,05379 | 0 ,04451 |          |          |          |

Dieselben Geschwindigkeiten berechnet nach:

$$ma^2(a^t - 1) + np^{0,43} t^{1,233}.$$

| Temperaturüberschüsse.                      |                               |          |          |          |          |          |          |
|---|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|   | 116°,757                      | 102°,075 | 88°,88   | 77°,163  | 65°,527  | 55°,411  | 46°,739  |
| Man nimmt $\log n = 4,50360$ und $\log m =$ |                               |          |          |          |          |          |          |
|   | 2,53613                       | 2,53809  | 2,54252  | 2,54766  | 2,54242  | 2,55163  | 2,55196  |
| Drucke.                                     | Berechnete Geschwindigkeiten. |          |          |          |          |          |          |
| 0 <sup>m</sup> ,313                         | 0°,1248                       | 0°,1044  | 0°,08744 | 0°,0733  | 0°,05931 | 0°,04863 | 0°,03955 |
| 0 ,088                                      | 0 ,09571                      | 0 ,07973 | 0 ,06665 | 0 ,05583 | 0 ,04503 | 0 ,03702 | 0 ,03013 |
| 0 ,0205                                     | 0 ,07753                      | 0 ,06433 | 0 ,05366 | 0 ,04492 |          |          |          |

Wenn dagegen das Thermometer mit Blattmetall bekleidet ist, scheint es durchaus unempfindlich gegen eine Veränderung des Oberflächenzustandes der Hülle zu seyn.

Folgende Tafeln enthalten den Vergleich der Erkaltungszeiten eines versilberten Thermometers in einer versilberten, geschwärzten und kupfernen Hülle.

Cylindrisches Thermometer versilbert.

| Durchlaufenes Intervall,<br>in Strichen. | Druck.              | Großer Ballon |             |
|--|---------------------|---------------|-------------|
|  |                     | geschwärzt.   | versilbert. |
| Von 850 bis 660                          | 0 <sup>m</sup> ,006 | 30' 32"       | 30' 30"     |
| - 620 - 560                              | 0 ,006              | 16 8          | 16 2        |
| - 800 - 640                              | 0 ,088              | 14 10         | 14 6 ,5     |
| - 600 - 400                              | 0 ,088              | 49 18         | 49 18       |
| - 770 - 560                              | 0 ,216              | 16 47         | 16 45       |

## Kugelförmiges Thermometer versilbert.

| Durchlaufenes Intervall,<br>in Strichen. | Druck.              | Großer Ballon |             |
|--|---------------------|---------------|-------------|
|  |                     | geschwärzt.   | versilbert. |
| Von 910 bis 510                          | 0 <sup>m</sup> ,076 | 55' 45"       | 55' 44"     |
| - 720 - 680                              | 0 ,314              | 3 3 ,7        | 3 3 ,5      |

## Cylindrisches Thermometer versilbert.

| Durchlaufenes Intervall,<br>in Strichen. | Druck.              | Cylindrische Hülle |             |
|--|---------------------|--------------------|-------------|
|  |                     | geschwärzt.        | versilbert. |
| Von 820 bis 450                          | 0 <sup>m</sup> ,764 | 24' 6"             | 24' 12"     |
| - 790 - 650                              | 0 ,433              | 7 42               | 7 41 ,5     |
| - 630 - 530                              | 0 ,0028             | 22 15              | 22 26       |

## Kugelförmiges Thermometer versilbert.

| Durchlaufenes Intervall,<br>in Strichen. | Druck.              | Cylindrische Hülle |                   |
|--|---------------------|--------------------|-------------------|
|  |                     | geschwärzt.        | natürl. Kupferfl. |
| Von 840 bis 650                          | 0 <sup>m</sup> ,005 | 19' 52"            | 19' 44"           |
| - 600 - 540                              | 0 ,015              | 10 37              | 10 36             |

Die Strahlung eines mit Blattmetall bekleideten Thermometers ist also, wenigstens in einer großen Zahl von Fällen, unabhängig vom Ausstrahlungsvermögen der Hülle, in welcher es erkaltet. Dagegen haben die geringsten Aenderungen dieses Vermögens einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Erkaltung einer Glasfläche. Oftmals haben wir im Laufe unserer Versuche Gelegenheit gehabt uns davon zu überzeugen; auch glauben wir, dass, um die Erkaltungen nackter Thermometer in geschwärzten Hüllen unter sich vergleichbar zu machen, große Sorgfalt darauf verwandt werden müsse, ihre Oberfläche in einen identischen und constanten Zustand zu versetzen.

Ohne Zweifel kann man dieses, sobald man mit einem selben Thermometer in Hüllen von gleicher Geräumigkeit arbeitet; allein wir sehen nicht ein, wie man sich bei verschiedenen Apparaten versichern könne, dass man die Oberflächen in genau gleichem Zustande habe.

Man wird dadurch verleitet, zu fragen, ob verschiedene Beobachter, welche das Verhältniß der Ausstrahlungsver-

mögen zweier Substanzen durch die Erkaltungsmethode suchen, immer dasselbe Resultat finden werden. Ueberdies gibt es über die Anwendung dieser Methode noch einige andere Bemerkungen zu machen. Es setzt voraus, das Verhältniß der Ausstrahlungsvermögen sey das der Werthe von  $m$ , gefunden bei einem selben Thermometer, das successiv mit den zu untersuchenden Substanzen bekleidet worden. Das ist nun wohl ohne Zweifel richtig, sobald das Reflexionsvermögen der Hülle absolut Null ist; allein das Vorhergehende zeigt, daß diese Annahme unzulässig ist, sobald es einen von Null verschiedenen Werth hat. Zweitens haben wir gezeigt, daß jede Veränderung an dem Theil, welchen der Stiel an der Erkaltung nimmt, sich äußert durch eine entsprechende Veränderung im Werthe von  $m$ . Wie soll man nun aber diesen Einfluß des Stiels in Rechnung nehmen? Endlich gehört die Bestimmung von  $m$  für ein gegebenes Thermometer nicht zu denen, die eine unbegrenzte Genauigkeit verstatten; und es ist leicht sich zu überzeugen, daß wenn man, um eine Reihe Versuche auszudrücken, zur Annahme gewisser Werthe von  $m$  und  $n$  geführt worden ist, man entsprechende geringe Aenderungen an ihnen anbringen kann, ohne daß die gesammten Geschwindigkeiten aufhören durch die Formel

$$V = m a^{\frac{2}{3}} (a^t - 1) + n p^{0,45} t^{1,233}$$

genügend vorgestellt zu werden.

In den beiden folgenden Tafeln haben wir die Erkaltungsgeschwindigkeiten des nackten Thermometers reproducirt, angenommen dabei

in der einen <sup>1)</sup>

$$\log n = \overline{4},4758868 \text{ und } \log m = \overline{2},8367420$$

und in der anderen

$$\log n = \overline{4},4950793 \text{ und } \log m = \overline{2},828000.$$

---

1) Man wird bemerken, daß die in der dritten Tafel angegebenen Geschwindigkeiten unter Berücksichtigung des Rücktritts des Quecksilbers und der Aenderung seiner Masse bestimmt worden sind. Ausser dem Zweck, für welchen diese Tafeln construirt worden, können sie auch dazu dienen, eine schon aufgestellte Thatsache zu erweisen: „daß die Form des Gesetzes, welches die Geschwindigkeiten mit einander verknüpft, unabhängig ist von den Berichtigungen, welche man an ihnen anbringt.“

Erkaltungs-Geschwindigkeiten des nackten cylindrischen Thermometers, berechnet nach der Formel:

$$m a^{\frac{2}{3}} (a^t - 1) + n p^{0,45} t^{1,233}$$

mit  $\log n = 4,4758868$  und  $\log m = 2,836742$ .

| Drucke.              | Temperaturüberschüsse.        |          |          |          |
|----------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|
|                      | 90°,9                         | 73°,451  | 50°,067  | 40°,185  |
|                      | Berechnete Geschwindigkeiten. |          |          |          |
| 0 <sup>m</sup> ,2145 | 0°,11649                      | 0°,08807 | 0°,06274 | 0°,04197 |
| 0,088                | 0,10358                       | 0,07815  | 0,05563  | 0,03725  |
| 0,0237               | 0,09198                       | 0,06921  | 0,04924  | 0,03301  |

Dieselben Geschwindigkeiten berechnet mit

$$\log n = 4,495001 \quad \log m = 2,8280000.$$

| Drucke.              | Temperaturüberschüsse.        |          |          |          |
|----------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|
|                      | 90°,9                         | 73°,451  | 50°,067  | 40°,185  |
|                      | Berechnete Geschwindigkeiten. |          |          |          |
| 0 <sup>m</sup> ,2145 | 0°,1166                       | 0°,08829 | 0°,06291 | 0°,04207 |
| 0,088                | 0,10326                       | 0,07793  | 0,05548  | 0,03715  |
| 0,0237               | 0,09114                       | 0,06860  | 0,04879  | 0,03271  |

Beobachtete Geschwindigkeiten, berichtigt für den Rücktritt des Quecksilbers und die Massenänderung.

| Drucke.              | Temperaturüberschüsse.         |          |          |          |
|----------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|
|                      | 90°,9                          | 73°,451  | 56°,067  | 40°,185  |
|                      | Beobachtete Geschwindigkeiten. |          |          |          |
| 0 <sup>m</sup> ,2145 | 0°,11669                       | 0°,08793 | 0°,06309 | 0°,04197 |
| 0,088                | 0,1036                         | 0,07798  | 0,05569  | 0,03715  |
| 0,0237               | 0,09157                        | 0,06866  | 0,04892  | 0,03273  |

Die Uebereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Gesamt-Geschwindigkeiten ist demnach kein absoluter Beweis, daß ein Werth von  $m$ , den man unter all den sich natürlich darbietenden gewählt hat, das wahre Maafs der Strahlung gebe.

Ueberdies giebt es eine andere Thatsache, die bis jetzt noch nicht scheint bemerkt worden zu seyn, und die doch bei allen Bestimmungen der Ausstrahlungsvermögen in Betracht gezogen werden muß. Wenn man ein Thermometer, nachdem es versilbert worden, mit Kienrufs bekleidet,

so erkaltet es im Vacuo mit einer beträchtlich geringeren Geschwindigkeit, als wenn die Kienrufs-schicht unmittelbar auf dem Glase angebracht worden wäre. Bei den Versuchen, durch welche wir diese Ungleichheit nachgewiesen haben, gaben wir der Kienrufs-schicht sorgfältig eine solche Dicke, daß eine geringe Verstärkung derselben die Erkaltungs-geschwindigkeit nicht mehr abänderte.

In der nächsten Tafel geben wir die Zeiten, welche das cylindrische, erst auf Glas, dann auf Silber geschwärzte Thermometer gebrauchte, um unter den Drucken 0<sup>m</sup>,0053, 0<sup>m</sup>,088, 0<sup>m</sup>,214 vom Strich 730 auf Strich 400 zu sinken.

|                     | 0 <sup>m</sup> ,0053 | 0 <sup>m</sup> ,088 | 0 <sup>m</sup> ,214 |
|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Geschwärzt auf Glas | 28' 8"               | 22' 47"             | 20' 25"             |
| - - - Silber        | 32 16                | 23 28               | 20 58               |

Folgende Tafel giebt eben so die Zeiten, welche das sphärische Thermometer gebrauchte, um unter den Drucken 0<sup>m</sup>,076 und 0<sup>m</sup>,015, vom Strich 1000 auf Strich 500 zu sin-ken, wenn es successiv auf Glas und auf Silber geschwärzt worden.

|                     | 0 <sup>m</sup> ,015 | 0 <sup>m</sup> ,076 |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| Geschwärzt auf Glas | 43' 1"              | 34' 37"             |
| - - - Silber        | 44 26               | 35 31"              |

Die Thatsache, welche aus diesen beiden Tafeln her-vorgeht, wurde durch directe Beobachtungen mit dem Mel-lonischen Apparat bestätigt. Die Wärmequelle war ein mit Quecksilber gefüllter Glasballon, der über einer Weingeist-lampe erhitzt worden. Ein Theil dieses Ballons war ver-silbert, und darauf die ganze Oberfläche mit einer Kien-rufsschicht bekleidet. Man drehte gegen die Säule succes-siv die Seite, wo der Kienrufs auf Glas saß, und diejeni-gen, wo Silber darunter war; und man erhielt im ersten Falle stets etwas größere Ablenkungen als im letzteren.

Wir variirten unsere Versuche, um uns vor zufälligen Variationen zu schützen, die unsere Wärmequelle erlitten haben konnte; auch haben wir sie oftmals wiederholt, ohne eine constante Fehlerquelle darin entdecken zu können.

Zwei erste Reihen von Versuchen gaben als mittlere Ablenkungen:

| mit geschwärztem Glase | mit geschwärztem Silber |
|------------------------|-------------------------|
| 13,9                   | 13,3                    |
| 19,7                   | 19,1.                   |

Vier andere Reihen, mit einem anderen Apparat ange-  
stellt, gaben als mittlere Ablenkungen:

| mit geschwärztem Glase | mit geschwärztem Silber |
|------------------------|-------------------------|
| 37,50                  | 35,60                   |
| 38,20                  | 36,40                   |
| 19,85                  | 19,15                   |
| 21,60                  | 19,60.                  |

Es wäre unnöthig, bei diesen Beobachtungen zu verweilen; offenbar werfen sie eine neue Unsicherheit auf die Bestimmung der Ausstrahlungsvermögen. Wie dem auch sey, wir geben hier für Kienrufs, Glas und Silber die Verhältnisse der Werthe von  $m$ , hergeleitet aus Versuchen mit unseren beiden Thermometern in der geschwärzten Hülle von 24 Centimeter.

Zahlen gefunden mit dem cylindrischen Thermometer.

|   | Thermometer                                   | Verhältniß der<br>Werthe von $m$ |                  |
|---|---|----------------------------------|------------------|
| Die diesen Zahlen zum Grunde liegenden Versuche wurden nach der Dulong-Petit'schen Methode berechnet.                                     | nackt, dann geschwärzt                        | bei jeder Temper.<br>0,909       |                  |
|   | versilbert mit versilbertem Stiel, dann nackt | bei 150°<br>0,128                | bei 63°<br>0,162 |
|   | vergoldet mit nacktem Stiel, dann nackt       | bei 150°<br>0,160                | bei 63°<br>0,195 |
|   |   |                                  |                  |
| Bei Berichtigung dieser Zahlen wurden die Veränderungen der Masse und der Capacität des Quecksilbers möglichst vollständig berücksichtigt | versilbert mit versilbertem Stiel, dann nackt | bei 150°<br>0,132                | bei 63°<br>0,171 |

Zahlen erhalten mit dem sphärischen Thermometer.

|  | Thermometer                                   | Verhältniß der<br>Werthe von $m$ |                   |
|--|---|----------------------------------|-------------------|
| Berichtigt wegen Aenderung der Masse, nicht wegen der der Capacität des Quecksilbers | versilbert mit versilbertem Stiel, dann nackt | bei 105°<br>0,150                | bei 48°<br>0,1876 |
| Eben so berichtigt   | versilbert mit versilbertem Stiel, dann nackt | bei 105°<br>0,170                | bei 48°<br>0,199  |
|  | versilbert mit nacktem Stiel, dann nackt      | bei 105°<br>0,22                 | bei 48°<br>0,256  |

#### Vierter Theil.

##### E r w ä r m u n g.

Ueber die Erwärmung kennen wir nur einen Versuch, und der stammt von Rumford her. Nachdem dieser Physiker in der Luft die Erkaltung zweier kleinen Messinggefäße, eines glänzenden und eines anderen zum Theil mit feinem Zeuge überzogenen, beobachtet hatte, brachte er sie beide in ein Zimmer, dessen Temperatur  $+17^{\circ}$  C. war. Er beobachtete die Erwärmung von  $+6^{\circ}$  bis  $+12^{\circ}$ . Hr. Biot hat die beiden Versuche berechnet, und gezeigt, daß die Erwärmung sich wie die Erkaltung für eine kleine Strecke durch das Newton'sche Gesetz vorstellen läßt <sup>1)</sup>. Für Temperaturen von gleichem Abstände von der Temperatur der Hülle schien ihm die Erwärmung langsamer zu gehen als die Erkaltung; allein da die Versuche in verschiedenen Zimmern ausgeführt worden, so war es ihm unmöglich irgend eine Folgerung daraus zu ziehen. Offenbar läßt sich nur eine Lösung der Aufgabe erwarten, wenn man mit den Versuchen eine größere Strecke der Thermometerskala umfaßt, sie unter verschiedenen Drucken und unter mehr identischen äußeren Umständen anstellt.

Wir experimentirten beständig mit einem geschwärzten Ballon von 15 Centim. Durchmesser, der durch Dampf von siedendem Wasser in einer constanten, vom Barometer an-

1) *Physique*, T. IV, p. 624.



gezeigten Temperatur erhalten wurde. Nicht ohne einige Mühe ist es uns gelungen, den Ballon bei dieser Temperatur luftleer zu halten. Der Stiel des Thermometers steckte in dem den Apparat verschließenden Pfropfen mit einer immer ziemlich schwachen Reibung, gehalten überdies durch fette Körper und durch Wachs, welche bei etwas erhöhter Temperatur mit Leichtigkeit schmelzen. Man mußte also diese Schmelzung verhindern, ohne die Temperatur der Hülle an irgend einer Stelle zu erniedrigen. Um dahin zu gelangen, haben wir dem Ballon einen langen Hals gegeben, dessen oberer, durch den Pfropf verschlossener Theil von kaltem Wasser umgeben war; eine von aussen anschraubbare Schale diente zur Aufnahme des Wassers, und eine untere Oeffnung erlaubte, es oft zu erneuen. Unten tauchte der Hals in den Dampf, und theilte seine Wärme einer kreisrunden Scheibe mit, die, im Innern befindlich, zur Ergänzung der Hülle diente.

Unglücklicherweise war es uns unmöglich, die Erwärmung auf eine sehr große Strecke zu beobachten. Das Thermometer wurde bei der Temperatur der umgebenden Körper hineingesteckt. Es erwärmte sich, während man auspumpte und die übrigen Vorbereitungen des Versuchs vollzog. Um überdies den Einfluß der Fehler, die bei Bestimmung der Temperaturen des Thermometers oder des Bades möglich waren, zu verringern, haben wir die Beobachtungen bis zu Temperaturen nahe an  $100^{\circ}$  getrieben.

Aus allen diesen Gründen umfassen unsere Tafeln nur ein Intervall von etwa 40 Grad.

Die Untersuchung der Erwärmungsgeschwindigkeiten hat uns bald gelehrt:

1) Dafs das Erwärmungsvermögen der Luft sich mit dem Druck und dem Temperaturüberschuß des Thermometers ändert, sehr nahe nach demselben Gesetz wie das Erkältungsvermögen. In der Hülle, in welcher wir es beobachteten, kann sein Werth immer durch die Formel

$$v = n p^c t^{1,233}$$

vorgestellt werden, nur dafs der Werth des Exponenten

von  $p$  sich für Glas zu 0,40 und für Silber zu 0,42 ergab <sup>1)</sup>).

Diese Resultate beziehen sich auf Drucke zwischen 0<sup>m</sup>,760 und 0<sup>m</sup>,020. Fällt die Elasticität des Gases unter diese Gränze, so zeigt das Erwärmungsvermögen der Luft in der von uns gebrauchten Hülle von 15 Centim. ähnliche Schwankungen, wie man beim Beobachten der Erkaltung in derselben Hülle findet.

Zugleich wie der Exponent von  $p$  seinen Werth ändert, thut es auch die Constante  $n$  in merklicher Weise. Wir begnügen uns, das Daseyn dieser Unterschiede anzugeben, ohne ihre Gröfse streng bestimmen zu wollen. Sie ändern sich ohne Zweifel mit den Dimensionen der angewandten Apparate. Jedenfalls müfste man, um sie sicherer zu bestimmen, neue Versuche machen in Hüllen von gröfserer Geräumigkeit und unter geringeren Drucken als die, welche wir bei unseren Rechnungen beibehalten könnten.

2) Das Gesetz, nach welchem auf dem Wege der Strahlung die Wärme-Austausche zwischen dem Thermometer und der Hülle geschehen, läfst sich auch ausdrücken durch die Formel:

$$V = m a^{\frac{2}{t}} (a^t - 1),$$

sobald man dem Ueberschuß  $t$  das gehörige Zeichen giebt, d. h. ihn negativ nimmt. Bezeichnet man demnach durch  $t$  den absoluten Werth des Unterschiedes zwischen der Temperatur der Hülle und der des Thermometers, so hat man für die Erwärmung im Vacuo:

$$V = m a^{\frac{2}{a^t}} \left( \frac{a^t - 1}{a^t} \right).$$

Der Coëfficient  $m$  schien uns für Glas unabhängig von der Temperatur des Thermometers zu seyn.

Wenn für Metall wirklich eine Variation vorhanden ist, so liegt sie in dem von den Erkaltungsversuchen angedeuteten Sinn; sie besteht in einer schwachen Abnahme beim Steigen der Temperatur. Die Ausdehnung unserer

1) In beiden Fällen hätte man ohne Nachtheil den mittleren Werth 0,41 annehmen können.

Versuche ist jedoch zu beschränkt, um sie recht deutlich zu machen, und dieß besonders, weil die geringsten Unsicherheiten in Betreff der Wirkung der Luft die Variationen, um deren Bestimmung es sich handelt, bedeutend abändern können.

Mit einem Wort, wenn man die mögliche Variation von  $m$  beachtet, kann man sagen, daß das allgemeine Gesetz der Erkaltung und der Erwärmung im Vacuo begriffen ist in der Formel:

$$V = m a^T - m a^{T'}.$$

Für die Erkaltung bezeichnet  $T$  die Temperatur des Thermometers und  $T'$  die der Hülle; bei der Erwärmung ist es umgekehrt.

Zuletzt bietet sich noch die Frage dar: bleibt der Coefficient  $m$ , bei gleicher absoluter Temperatur, derselbe für ein selbes Thermometer und eine selbe Hülle, wenn man von der Erkaltung zur Erwärmung übergeht?

Unsere Versuche berechtigen uns nicht, dieß zu behaupten; im Gegentheil scheinen sie anzudeuten, daß im zweiten Fall ein bedeutend niedrigerer Werth stattfindet als im ersten.

Die folgenden Tafeln werden zur Rechtfertigung obiger Behauptungen dienen. Sie zerfallen in zwei Gruppen, deren eine sich auf das nackte Thermometer bezieht, die andere auf das vergoldete.

Die erste Tafel jeder Gruppe enthält die direct beobachteten Geschwindigkeiten. Die zweite dient zum Erweise des Gesetzes der Erwärmung durch die Luft. Sie enthält die beobachteten und berechneten Werthe der Unterschiede in den Wirkungen dieser Flüssigkeit unter verschiedenen Drücken und bei irgend einer Temperatur.

Die dritte endlich enthält die berechneten Gesamt-Geschwindigkeiten; sie setzt die zweite voraus, und dient zur Aufstellung des Gesetzes der Erwärmung im Vacuo.

**Erwärmungsgeschwindigkeiten des nackten cylindrischen Thermometers, beobachtet im geschwärzten Ballon von 15 Centim. Durchmesser.**

| Drucke.             | Negative Temperaturüberschüsse <sup>1)</sup> . |          |          |          |         |
|---------------------|--|----------|----------|----------|---------|
|                     | 58°,24   | 46°,82   | 35°,35   | 23°,9    | 13°,407 |
|                     | Beobachtete Geschwindigkeiten.                 |          |          |          |         |
| 0 <sup>m</sup> ,765 | 0°,09005                                       | 0°,07291 | 0°,05484 | 0°,03638 |         |
| 0,154               | 0,07170  | 0,05879  | 0,04503  | 0,03064  | 0,01735 |
| 0,108               | 0,06905  | 0,05635  | 0,04360  | 0,02969  | 0,01687 |
| 0,003               | 0,06036  | 0,04979  | 0,03893  | 0,02683  | 0,01562 |

**Beobachtete und berechnete Unterschiede in den Wirkungen der Luft auf ein selbes Thermometer.**

| Unterschiede der Geschwindigkeiten                           |  | Negative Temperaturüberschüsse. |          |          |          |
|--|--|---------------------------------|----------|----------|----------|
|  |  | 58°,24                          | 46°,82   | 35°,35   | 23°,9    |
| beobachtet unter 0 <sup>m</sup> ,765 und 0 <sup>m</sup> ,108 |  | 0°,0210                         | 0°,01636 | 0°,01124 | 0°,00669 |
| derselbe Unterschied berechnet                               |  | 0,02086                         | 0,01594  | 0,01127  | 0,00696  |
| beobachtet unter 0 <sup>m</sup> ,765 und 0 <sup>m</sup> ,154 |  | 0,01835                         | 0,01412  | 0,00984  | 0,00574  |
| derselbe Unterschied berechnet                               |  | 0,01819                         | 0,0139   | 0,00982  | 0,00606  |

**Erwärmungsgeschwindigkeiten des nackten cylindrischen Thermometers, berechnet nach der Formel:**

$$m a^{\frac{a^t - 1}{a^t}} + n p^{0,40} t^{1,233}$$

mit  $\log n = 4,4546000$  und  $\log m = 2,8224600$ .

| Drucke.             | Temperaturüberschüsse.        |         |          |          |          |
|---------------------|-------------------------------|---------|----------|----------|----------|
|                     | 58°,24                        | 46°,82  | 35°,35   | 23°,9    | 13°,407  |
|                     | Berechnete Geschwindigkeiten. |         |          |          |          |
| 0 <sup>m</sup> ,765 | 0°,089997                     | 0°,0725 | 0°,05474 | 0°,03677 |          |
| 0,154               | 0,07181                       | 0,05863 | 0,04494  | 0,03071  | 0°,01729 |
| 0,108               | 0,06913                       | 0,05658 | 0,04347  | 0,02981  | 0,016853 |
| 0,003 <sup>2)</sup> | 0,06048                       | 0,04997 | 0,03880  | 0,02693  | 0,01544  |

- 1) Unter negativem Temperaturüberschuss hat man den Unterschied zwischen der Temperatur des Thermometers und der der Hülle zu verstehen.
- 2) Bei Berechnung der Geschwindigkeiten, die dem Drucke 0<sup>m</sup>,003 entsprechen, hat man 0,27 für den Exponenten des Drucks angenommen.

Erwärmungsgeschwindigkeiten des vergoldeten Thermometers mit nacktem Stiel, beobachtet im geschwärzten Ballon von 15 Centimeter Durchmesser.

| Drucke.             | Negative Temperaturüberschüsse. |          |          |          |          |          |
|---------------------|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                     | 60°,2                           | 53°,1    | 45°,2    | 36°,6    | 27°,98   | 19°,83   |
|                     | Beobachtete Geschwindigkeiten.  |          |          |          |          |          |
| 0 <sup>m</sup> ,772 | 0°,05087                        | 0°,04402 | 0°,03643 | 0°,02838 | 0°,02045 | 0°,01326 |
| 0,220               | 0,03278                         | 0,02850  | 0,02375  | 0,01875  | 0,01365  | 0,0088   |
| 0,085               | 0,02443                         | 0,02117  | 0,01770  | 0,01404  |          |          |
| 0,014               | 0,01845                         | 0,01619  | 0,01379  | 0,01115  | 0,00837  |          |
| 0,003               | 0,01529                         | 0,01342  | 0,01156  | 0,00952  | 0,00733  |          |

Beobachtete und berechnete Unterschiede in den Wirkungen der Luft auf ein selbes vergoldetes Thermometer.

| Geschwindigkeitsunterschied.                          | Negative Temperaturüberschüsse. |         |         |          |          |
|---|---------------------------------|---------|---------|----------|----------|
|   | 60°,2                           | 53°,1   | 45°,2   | 36°,6    | 27°,98   |
| beob. unt. 0 <sup>m</sup> ,772 u. 0 <sup>m</sup> ,085 | 0°,02643                        | 0°,0228 | 0°,0187 | 0°,01426 |          |
| derselbe berechnet                                    | 0,02636                         | 0,0225  | 0,0185  | 0,01434  |          |
| beob. unt. 0 <sup>m</sup> ,772 u. 0 <sup>m</sup> ,220 | 0,01809                         | 0,01551 | 0,01268 | 0,00963  | 0°,00680 |
| derselbe berechnet                                    | 0,01788                         | 0,01532 | 0,01256 | 0,00968  | 0,00690  |

Erwärmungsgeschwindigkeiten des vergoldeten cylindrischen Thermometers mit nacktem Stiel, nach der Formel:

$$m a^{\frac{1}{2}} \left( \frac{a^{\frac{1}{2}} - 1}{a^{\frac{1}{2}}} \right) + n p^{0,42} t^{1,233}.$$

| Drucke                                      | Temperaturüberschüsse.        |          |          |          |          |         |
|---|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|
|   | 60°,2                         | 53°,1    | 45°,2    | 36°,6    | 27°,98   | 19°,83  |
| Man nimmt $\log n = 4,49200$ und $\log m =$ |                               |          |          |          |          |         |
|   | 3,954                         | 3,953    | 3,953    | 3,952    | 3,932    | 3,866   |
|   | Berechnete Geschwindigkeiten. |          |          |          |          |         |
| 0 <sup>m</sup> ,722                         | 0°,05081                      | 0°,04386 | 0°,03631 | 0°,02835 | 0°,02052 | 0°,0133 |
| 0,220                                       | 0,03293                       | 0,02854  | 0,02376  | 0,01867  | 0,01357  | 0,00876 |
| 0,085                                       | 0,02445                       | 0,02128  | 0,01780  | 0,01408  | 0        |         |

Die Geschwindigkeiten unter 0<sup>m</sup>,014 wurden berechnet mit  $n p^{0,25} t^{1,14}$  und demselben Werth von  $n$ .

$$0^m,014 | 0°,01843 | 0°,01623 | 0°,01379 | 0°,01113 | 0°,00825$$

Ueber die mittlere Tafel jeder der zwei vorstehenden Gruppen haben wir die wichtige Bemerkung zu machen, daß man nicht immer hoffen darf eine absolute Uebereinstimmung

zwischen den berechneten und beobachteten Resultaten zu finden, weil fast bedeutungslose Unsicherheiten in den Gesamtgeschwindigkeiten einen ungeheuren Einfluß auf die Unterschiede ausüben. So findet man in der Tafel für das nackte Thermometer die beobachteten Geschwindigkeiten 0,00669 und 0,00574 als entsprechend den berechneten Zahlen 0,00696 und 0,00606.

Um die hier auftretende Unregelmäßigkeit verschwinden zu machen, würde es genügen, bloß bei der beobachteten Geschwindigkeit 0,03638 einen Fehler von kaum  $\frac{1}{175}$  ihres gesammten Werthes vorzusetzen.

Eine wichtige Folgerung aus den eben angeführten Gesetzen und Zahlen ist: daß ein Körper, bei gleichem Abstand über oder unter der Temperatur der Hülle, in der er sich befindet, sich mit sehr ungleicher Geschwindigkeit erkaltet und erwärmt. Die Geschwindigkeit der Erwärmung ist geringer als die der Erkaltung.

Um es recht sichtbar zu machen, wollen wir annehmen, der Werth von  $m$  bleibe derselbe in beiden Fällen, und sey unabhängig von der Temperatur. Die Erkaltungsgeschwindigkeit eines Körpers mitten in einer luftleeren Hülle bei der Temperatur  $\vartheta$  hat zum Ausdruck:

$$V = m a^{\vartheta} (a^t - 1),$$

wenn seine Temperatur  $t + \vartheta$  ist. Ist diese Temperatur  $\vartheta - t$ , so wird seine Erwärmungsgeschwindigkeit:

$$V' = m a^{\vartheta} \left( \frac{a^t - 1}{a^t} \right).$$

Das Verhältniß  $a^t$  von  $V$  zu  $V'$  ist:

|              |        |
|--------------|--------|
| wenn $t = 5$ | 1,039  |
| - $t = 10$   | 1,0797 |
| - $t = 500$  | 2,153. |

Geschieht die Erwärmung in der Luft, so kann die Wirkung dieser Flüssigkeit den Unterschied abändern; oft ist er nicht mehr merklich; der Versuch läßt hierüber keinen Zweifel. Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur die Augen auf folgende Tafeln zu werfen, wo die Geschwindigkeiten der Erwärmung und der Erkaltung des nackten

Thermometers in einer Hülle von 100° C. für verschiedene Temperaturüberschüsse und verschiedene Drucke mit einander verglichen sind.

Nacktes cylindrisches Thermometer in der Hülle von 100°.

| Erkaltung           |            |            | Erwärmung.          |            |           |
|---------------------|------------|------------|---------------------|------------|-----------|
| Drucke.             |            |            | Drucke.             |            |           |
|                     |            | 35°,35     |                     |            | 35°,35    |
| 0 <sup>m</sup> ,003 | Ueberschuß | 0°,049331  | 0 <sup>m</sup> ,003 | Ueberschuß | 0°,038928 |
| 0 ,154              |            | 0 ,056443  | 0 ,154              |            | 0 ,04503  |
| 0 ,765              |            | 0 ,066658  | 0 ,765              |            | 0 ,05484  |
|                     | Ueberschuß | 13°,407    |                     | Ueberschuß | 13°,407   |
| 0 <sup>m</sup> ,003 |            | 0°,016981  | 0 <sup>m</sup> ,003 |            | 0°,015619 |
| 0 ,154              |            | 0 ,0191317 | 0 ,154              |            | 0 ,017348 |

Die in dieser Tafel enthaltenen Erwärmungsgeschwindigkeiten sind direct beobachtet; die Erkaltungsgeschwindigkeiten dagegen sind berechnet nach der allgemeinen Formel, welche die Erkaltung des nackten Thermometers in einer geschwärtzten Hülle ausdrückt. Zwar, wird man sich erinnern, giebt diese Formel nicht die Erkaltung durch die Luft unter 3 Millim. Druck; allein wir haben uns versichert, daß sie noch anwendbar ist, wenn man nur den Exponenten des Drucks ändert; wir haben ihn zu 0,33 angenommen, und dadurch befriedigende Resultate erlangt wie aus folgenden Zahlen hervorgeht.

Erkaltungsgeschwindigkeiten beobachtet im Ballon von 15 Centim.  
in der Hülle von 14°,7.

| Druck.              | Temperaturüberschüsse.         |          |          |          |
|---------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|
|                     | 107°,357                       | 94°,162  | 60°,70   | 37°,60   |
|                     | Beobachtete Geschwindigkeiten. |          |          |          |
| 0 <sup>m</sup> ,003 | 0°,11164                       | 0°,09273 | 0°,05225 | 0°,02958 |

Dieselben berechnet nach der Formel  $m a^{\frac{1}{n}} (a^t - 1) + n p^{0,33} t^{1,233}$  mit  
 $\log n = 4,488$  und  $\log m = 2,833$ .

| Druck.              | Berechnete Geschwindigkeiten. |           |          |          |
|---------------------|-------------------------------|-----------|----------|----------|
| 0 <sup>m</sup> ,003 | 0°,11165                      | 0°,092850 | 0°,05225 | 0°,02939 |

Wenn also zwei identische Thermometer, das eine bei 0°, das andere bei 200°, successiv in eine und dieselbe

Hülle von  $100^{\circ}$  gebracht werden, so erwärmen und erkälten sich dieselben mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten.

Eine andere Bemerkung ist: daß ein Thermometer, welches bei  $0^{\circ}$  in eine Hülle von  $100^{\circ}$  gebracht worden, zu seiner Erwärmung eine ganz andere Zeit gebraucht, als es gebrauchen würde, um sich um dieselbe Zahl von Graden zu erkälten, wenn es bei  $100^{\circ}$  in eine Hülle von  $0^{\circ}$  gebracht wäre. Zwar sind anfangs die Gradbrüche, welche während einer unendlich kurzen Zeit verloren oder gewonnen werden, dieselben, weil die Formel

$$M(a^T - a^{T'}) = V$$

bis auf das Zeichen dieselbe bleibt, wenn  $T$  in  $T'$  übergeht; allein die Gleichheit hat nur während dieses einzigen Augenblicks statt. Aus dem Obigen ersieht man leicht, unter welche Umstände man sich versetzen müßte, um annehmen zu können, die Gleichheit oder Ungleichheit gewisser verglichenen Erwärmungs- oder Erkaltungsgeschwindigkeiten stelle die Gleichheit oder Ungleichheit der numerischen Ausdrücke für die Emissions- und Absorptionsvermögen auf eine sichere Weise fest <sup>1)</sup>.

Man müßte z. B. ein Thermometer bei  $15^{\circ}$  in eine Hülle von  $0^{\circ}$  bringen, seine Erkaltung beobachten, und den Werth ihrer Geschwindigkeit bei  $10^{\circ}$  bestimmen, dann dasselbe Thermometer bei  $-10^{\circ}$  in die Hülle von  $+10^{\circ}$  versetzen, seine Erwärmung beobachten und die Geschwindigkeit derselben für  $0^{\circ}$  bestimmen.

Vergliche man hierauf die Erwärmungs- und Erkaltungsgeschwindigkeiten für wenig verschiedene absolute Temperaturen, so würde man den Einfluß der immer unsicheren Berichtigungen, die man an den Geschwindigkeiten anzu bringen genöthigt ist, sehr gering machen.

Aus der dem Erkaltungsgesetz beigelegten Form entspringt die Erklärung einer Eigenthümlichkeit, die sich bei

1) Diese numerischen Ausdrücke sind bekanntlich die Werthe der Verhältnisse der Emissions- und Absorptionsvermögen der betrachteten Substanz zu denen des Kienrusses, welchen man gewöhnlich zum Vergleichpunkt wählt.



Berechnung der Geschwindigkeiten darbietet. Die angewandte Interpolationsformel war immer das Newton'sche Gesetz. Man repräsentirte die Geschwindigkeit zwischen zwei wenig verschiedenen Temperaturüberschüssen durch einen Ausdruck von der Form  $V = t l \mu$ , wo  $l \mu$  in jedem Fall durch Beobachtung bestimmt ward, wie oben erläutert worden. Da das Newton'sche Gesetz keine große Strecke der Skale umfassen kann, so findet man für jeden Ueberschufs  $t$  andere Werthe von  $l \mu$ . Diese Werthe nehmen im Falle der Erkaltung beständig ab mit der Temperatur; dieß ist leicht einzusehen, denn da die Geschwindigkeit wirklich durch die Formel

$$m a^{\frac{2}{3}} (a^t - 1) + n p^{0,45} t^{1,233}$$

oder

$$m a^{\frac{2}{3}} \left( t l a + \frac{t^2 l a^2}{1 \cdot 2} + \dots \right) + n p^{0,45} t^{0,233},$$

gegeben ist, so setze man:

$$m a^{\frac{2}{3}} \left( l a + \frac{t l a^2}{1} + \dots \right) + n p^{0,45} t^{0,233} = l \mu$$

und folglich ist die Variable  $l \mu$  desto kleiner als der Ueberschufs  $t$  selber kleiner ist.

Verfährt man eben so mit den Zahlen, die der Versuch zur Bestimmung der Erwärmungsgeschwindigkeiten gegeben hat, so findet man, daß die Werthe von  $l \mu$ , in dem Maafse als der Temperaturüberschufs abnimmt, anfangs zunehmen, ein Maximum erreichen und darauf abnehmen. Man findet überdieß, daß das Maximum von  $l \mu$  desto höheren Temperaturüberschüssen entspricht, als der Druck größer und das Emissionsvermögen schwächer ist. Alles dieß muß so seyn nach der obigen Formel, denn wenn die Geschwindigkeit wirklich durch

$$m a^{\frac{2}{3}} (1 - a^{-t}) + n p^{0,45} t^{1,233}$$

vorgestellt wird, bestimmt sich  $l \mu$  durch die Gleichung:

$$m a \left( \frac{1 - a^{-t}}{t} \right) + n p^{0,45} t^{0,233} = l \mu.$$

Die Temperatur, welche dem Maximum von  $l \mu$  entspricht, ist gegeben durch die Gleichung:

$$\frac{1 - a^t (1 + t/a)}{t^{1,233}} = \frac{0,233 \, n p^{0,45}}{m a^2}.$$

Das zweite Glied wächst, wenn der Druck stärker und das Ausstrahlungsvermögen schwächer wird. Eben so verhält es sich mit dem ersten, und folglich auch mit dem Werth von  $t$ ; denn man überzeugt sich leicht, daß das erste Glied wächst mit  $t$  bis zu einer weit höheren Gränze ( $169^\circ$ ), als die, auf welche unsere Versuche nothwendig beschränkt seyn mußten.

#### Allgemeine Folgerungen.

In dieser Abhandlung hatten wir uns vorgenommen:

1) Zu prüfen die allgemeine Formel, welche Dulong und Petit gegeben haben als Ausdruck für die Erkaltung eines Körpers von vollkommener Leitungsfähigkeit in einer Hülle von absolutem Ausstrahlungsvermögen, sey sie leer oder unter irgend einem Druck mit Gas erfüllt.

2) Zu suchen, wie diese Formel abgeändert werden müsse, wenn man die Dimensionen der Hülle oder den Zustand ihrer Oberfläche abändert.

3) Experimentell zu studiren die Erwärmung im Vacuo oder in Luft.

Man sieht gegenwärtig zu welchen Schlüssen wir hinsichtlich jeder dieser Punkte gelangt sind.

Wie wir schon gesagt, repräsentirt das Dulong-Petit'sche Gesetz die Erkaltung eines nackten oder geschwärzten Thermometers in einer geschwärzten Hülle von großen Dimensionen sehr gut.

Sobald aber die Oberfläche des Thermometers metallent ist, ändert sich der Coëfficient  $m$ , der das Ausstrahlungsvermögen mißt, mit der Temperatur, wächst wenn diese sinkt. Ueberdies scheint die absolute Größe der erkaltenden Wirkung der Luft einen leichten Anwuchs zu erfahren.

Verkleinert man die Dimensionen der Hülle, so wird das Gesetz der Erkaltung durch die Luft verwickelt und geändert. Die, anfangs bei schwachen Drucken, unmerkliche

che Aenderung dehnt sich allmählig auf alle aus, die man betrachtet; und eine der sonderbarsten Aeußerungen dieser Aenderung des Gesetzes besteht darin, daß, innerhalb gewisser Gränzen, eine Art von Unabhängigkeit zwischen dem Erkaltungsvermögen der Luft und dem Druck eintritt. Diese Gränzen variiren mit den relativen Dimensionen der Hülle und des Thermometers. Uebrigens, scheint es, varriert das erkaltende Vermögen der Luft, unter jedem Druck, immer proportional einer gewissen Potenz des Ueberschusses der Temperatur des Thermometers über die der Hülle, aber der Exponent dieser Potenz ändert sich mit dem Druck.

Um zu dieser letzten Folgerung zu gelangen, haben wir angenommen, was übrigens unsere Versuche sehr wahrscheinlich machen, daß die Erkaltung durch Strahlung beinahe unabhängig ist von der Gröfse der Hüllen.

Eine Veränderung im Ausstrahlungsvermögen der Hülle ändert nicht die Form des Erkaltungsgesetzes; nur erleidet, bei gleicher Temperatur, der numerische Werth des Coëfficienten  $m$  in gewissen Fällen grofse Abänderungen, während er in anderen unverändert bleibt. Daraus folgt, daß, bei gleicher Temperatur, im Vacuo das Verhältniß der Erkaltungsgeschwindigkeiten eines selben Thermometers, das mit zwei verschiedenen Substanzen bekleidet ist, sich mit dem Ausstrahlungsvermögen der Hülle ändert.

Das Gesetz der Erwärmung eines Thermometers in der Luft unter irgend einem Druck oder im Vacuo kann immer durch eine ganz ähnliche Formel wie die der Erkaltung dargestellt werden, wohlverstanden jedoch vorausgesetzt, daß man Rücksicht nehme auf die Zeichenänderung, welche dann der Temperaturüberschuß des Thermometers erfährt.

Nur die absolute Gröfse der meisten Constanten ändert sich bei einem und demselben Thermometer, wenn man von der Erkaltung zur Erwärmung übergeht.

Aus diesem Gesetze folgt, daß, bei gleichem Abstände, unterhalb oder oberhalb der Temperatur der Hülle, ein und dasselbe Thermometer sich mit sehr ungleichen Geschwindigkeiten erwärmt oder erkaltet.

Alle diese Resultate sind unabhängig von den Unsicherheiten hinsichtlich des wahren Werths der Berichtigungen, welche man an den direct beobachteten Geschwindigkeiten anzubringen hat. Sie scheinen es auch zu seyn von dem oft sehr beträchtlichen Einfluß, welchen der Stiel bei der Erkaltung eines Thermometers haben kann; und dann sind sie anwendbar auf den Fall der Erkaltung oder Erwärmung eines absolut isolirten Körpers mitten in einer leeren oder unter irgend einem Druck mit Luft erfüllten Hülle.

#### Erster Zusatz.

Mehrmals haben wir im Laufe dieser Abhandlung der Striche auf dem größten unserer Thermometer erwähnt. Wir geben hier eine Tafel der Temperaturen, welche diesen Strichen während des größten Theils der Dauer unserer Versuche entsprachen. Daneben stehen die Werthe derselben Temperaturen, berichtigt für den Einfluß des Stiels, unter Voraussetzung, daß das Quecksilber bei 15° zum Behälter heraustrete.

Cylindrisches Thermometer.

| Striche.          | Temperatur. | Berichtigte Temperatur. | Striche. | Temperatur. | Berichtigte Temperatur. |
|-------------------|-------------|-------------------------|----------|-------------|-------------------------|
| 850 <sup>1)</sup> | 168°,368    | 173°,473                | 590      | 95°,149     | 96°,863                 |
| 800               | 154,313     | 158,629                 | 570      | 89,491      | 91,016                  |
| 750               | 140,225     | 143,815                 | 530      | 78,258      | 79,439                  |
| 700               | 126,167     | 129,10                  | 500      | 69,833      | 70,783                  |
| 690               | 123,351     | 126,450                 | 470      | 61,354      | 62,095                  |
| 650               | 112,110     | 114,45                  | 450      | 55,705      | 59,366                  |
| 610               | 100,798     | 102,71                  | 420      | 47,231      | 47,675                  |

#### Zweiter Zusatz.

Die beiden Paare von Tafeln, welche folgen, zeigen, wie wir im Text, S. 367, angekündigt haben, daß die Gesamt-Geschwindigkeiten der Erkaltung unseres cylindrischen Thermometers in der Hülle von 15 Centim. immer durch die Dulong-Petit'sche Formel vorgestellt werden

1) Berichtigt wegen Verschiebung des Nullpunkts.

können, wenigstens unter etwas starken Drucken. Um überdies zu zeigen, dafs hier, wie immer, die Resultate unabhängig sind von der Berichtigungsweise, die man befolgt, um die beobachteten Resultate zu erhalten, haben wir die Geschwindigkeiten des vergoldeten Thermometers mit Rücksicht auf die Massenveränderung, und die des nackten Thermometers ohne Rücksicht darauf bestimmt.

Erkaltungsgeschwindigkeiten des nackten cylindrischen Thermometers in der Hülle von 15 Centim. bei 14°,7, blofs berichtigt für den Rücktritt des kalten Quecksilbers.

| Drucke.             | Temperaturüberschüsse.         |         |         |         |
|---------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|
|                     | 107°,36                        | 94°,16  | 60°,70  | 37°,60  |
|                     | Beobachtete Geschwindigkeiten. |         |         |         |
| 0 <sup>m</sup> ,765 | 0°,1847                        | 0°,1535 | 0°,0883 | 0°,0488 |
| 0,432               | 0,1637                         | 0,1379  | 0,0781  |         |
| 0,251               | 0,1508                         | 0,1242  |         | 0,0398  |
| 0,003               | 0,1116                         | 0,0927  | 0,0522  | 0,02958 |

Dieselben Geschwindigkeiten berechnet nach der Formel

$$m a^{\frac{1}{n}} (a^t - 1) + n p^{0,45} t^{1,233}$$

mit  $\log n = 4,488$  und  $\log m = 2,833$ .

| Drucke.             | Temperaturüberschüsse.        |         |         |         |
|---------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|
|                     | 107°,36                       | 94°,16  | 60°,70  | 37°,60  |
|                     | Berechnete Geschwindigkeiten. |         |         |         |
| 0 <sup>m</sup> ,765 | 0°,1832                       | 0°,1538 | 0°,0877 | 0°,9490 |
| 0,432               | 0,1637                        | 0,1373  | 0,0780  |         |
| 0,251               | 0,1494                        | 0,1249  |         | 0,0398  |

Geschwindigkeiten bei 0<sup>m</sup>,003 berechnet mit den Exponenten 0,33.

|                     |         |          |         |         |
|---------------------|---------|----------|---------|---------|
| 0 <sup>m</sup> ,003 | 0°,1116 | 0°,09285 | 0°,0522 | 0°,0294 |
|---------------------|---------|----------|---------|---------|

Erkaltungsgeschwindigkeiten des vergoldeten cylindrischen Thermometers, in der Hülle von 15 Centim. und 14°,7, berichtigt für den Rücktritt des Quecksilbers und die Massenveränderung.

| Drucke.             | Temperaturüberschüsse.         |         |          |          |          |
|---------------------|--------------------------------|---------|----------|----------|----------|
|                     | 147°,19                        | 130°,88 | 116°,08  | 99°,9    | 75°,17   |
|                     | Beobachtete Geschwindigkeiten. |         |          |          |          |
| 0 <sup>m</sup> ,756 | 0°,1551                        | 0°,1337 | 0°,11631 | 0°,09621 | 0°,06847 |
| 0,217               |                                | 0,08582 |          | 0,06091  |          |
| 0,089               | 0,07392                        | 0,0640  | 0,05514  | 0,04539  | 0,03239  |
| 0,006               | 0,04771                        | 0,04141 | 0,03583  | 0,02981  |          |

Dieselben Geschwindigkeiten berechnet nach der Formel

$$m a^2 (a^t - 1) + n p^{0,45} t^{1,233}.$$

| Temperaturüberschüsse.                        |                               |          |          |          |          |
|---|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|   | 147°,19                       | 130°,88  | 116°,08  | 99°,9    | 75°,17   |
| Man nimmt $\log n = 4,5014994$ und $\log m =$ |                               |          |          |          |          |
|   | 2,00029                       | 2,02231  | 2,03892  | 2,04823  | 2,08203  |
| Drucke.                                       | Berechnete Geschwindigkeiten. |          |          |          |          |
| 0 <sup>m</sup> ,756                           | 0°,1552                       | 0°,1344  | 0°,1159  | 0°,0962  | 0°,0681  |
| 0 ,217  |                               | 0 ,08533 |          | 0 ,06116 |          |
| 0 ,089  | 0 ,07377                      | 0 ,06392 | 0 ,05514 | 0 ,04565 | 0 ,03252 |
| 0 ,006  | 0 ,03875                      | 0 ,03362 | 0 ,0290  | 0 ,02392 |          |

Die für den Druck 0<sup>m</sup>,006 mit den Exponenten 0,45 berechnete Geschwindigkeiten stimmen nicht mit den beobachteten, wohl aber wenn man den Exponenten zu 0,35 oder 0,36 annimmt.

$$0^m,006 \mid 0°,04759 \mid 0°,04127 \mid 0°,0356 \mid 0°,02941$$

# V. Ueber die Linien im Spectrum des durch farbige Dämpfe und Gase gegangenen Lichts und in dem gewisser farbiger Flammen;

von W. A. Miller.

Professor der Chemie am Kings College in London.

(*Philosoph. Magazine, Ser. III, Vol. XXVII, p. 81.* Mit einigen Abkürzungen.)

Bei Untersuchung des prismatischen Spectrums, welches durch die tief rothen Dämpfe der Untersalpetersäure (NO<sub>4</sub>) geleitet worden, machte Sir D. Brewster die merkwürdige Entdeckung, daß die Absorption der Strahlen durch dieses Medium verschieden ist von der durch flüssige und starre Körper überhaupt, indem sie eine Menge von Linien erzeugt, welche, wie die von Fraunhofer beobachteten, quer durch das Spectrum gehen; diese Linien waren gegen das brechbarere Ende des Spectrums hin am breitesten, dunkelsten und zahlreichsten. Sie zeigten sich sowohl bei Sonnenlicht als bei künstlichem Licht. Kurz darauf erwei-