

✓ MB
gedruckt

II. Naturwissenschaftlicher Kurs.

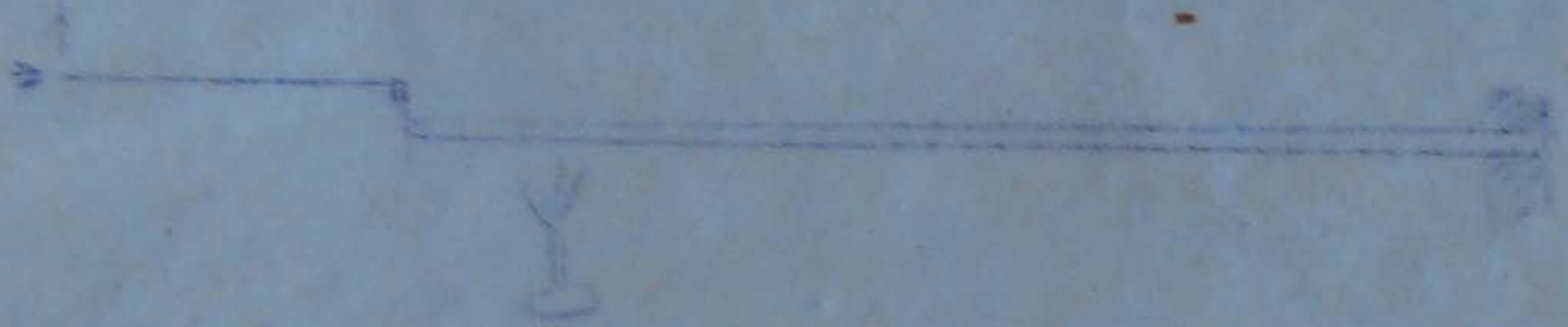
(Wärmelehre, März 1920.)

II. Vortrag.

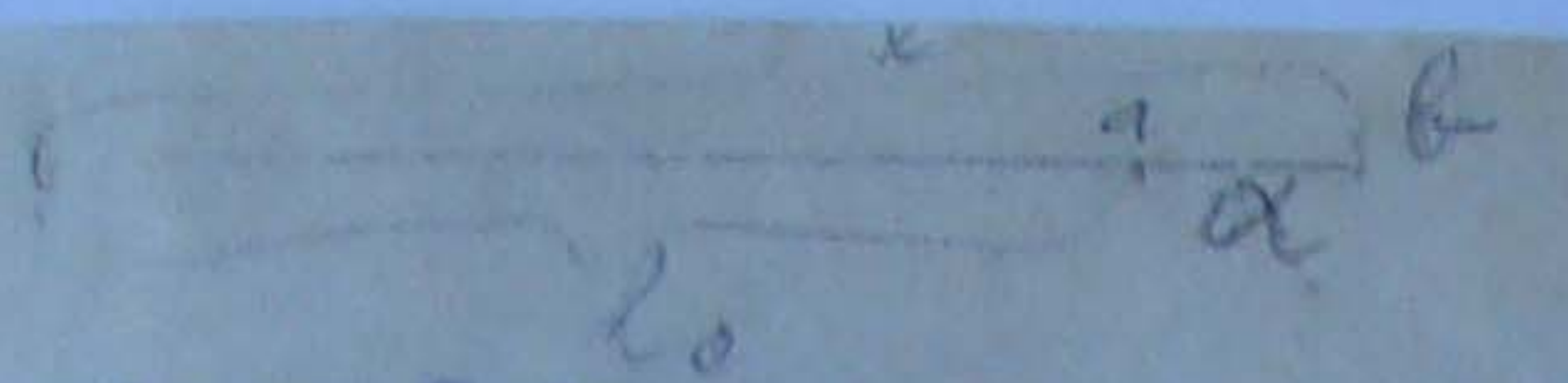
Stuttgart, den 2. März 1920. (a)

Meine lieben Freunde!

Schon gestern wurde berührt, dass unter dem Einfluss des Wärmewesens sich dasjenige, was wir im gewöhnlichen Leben Körper nennen, ausdehnt. Wir wollen heute zunächst davon ausgehen, wie sich feste Körper, sogenannte feste Körper, unter dem Einfluss des Wärmewesens ausdehnen. Wir haben zu diesem Zwecke hier, damit wir uns die Dinge auch einprägen, und sie dann auch in entsprechender Weise im Unterricht verwerten können, - es ist ja einfach und elementar zunächst - wir haben uns hier eine Eisenstange verfertigt. Diese Eisenstange wollen wir erhitzen und ihre Ausdehnung anschaulich machen dadurch, dass hier an dieser Marke der Reibelarm, der hier angebracht ist, abgehen wird. Wenn ich hier mit dem Finger drücke,

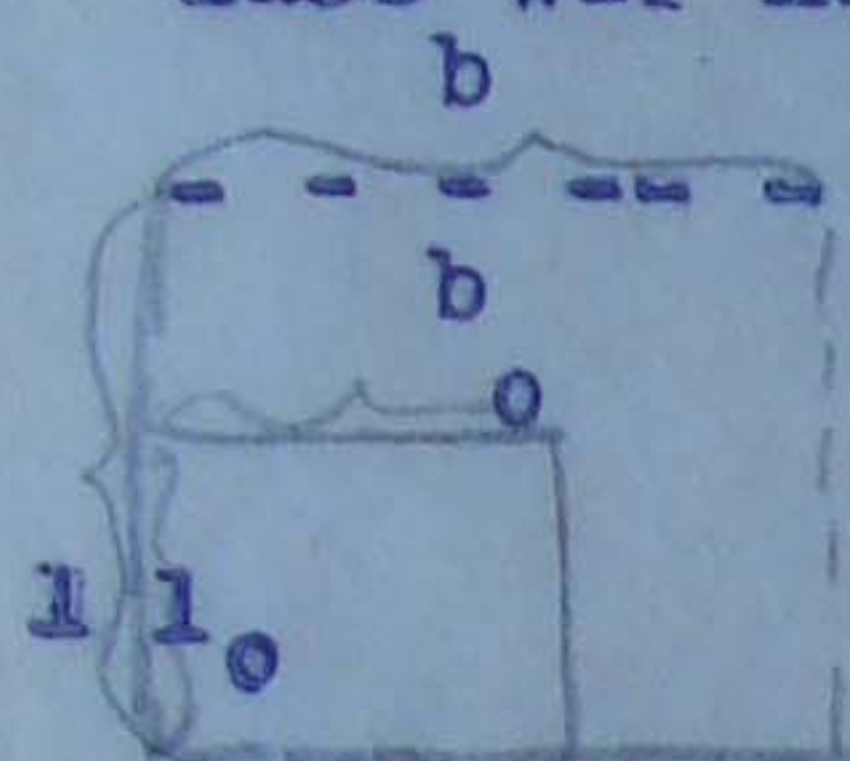


so bewegt sich dieser Zeiger nach aufwärts. Sie werden sehen, dass, wenn wir diesen Stab ^{hier} ~~hier~~ erhitzen, sich dieser Zeiger ebenfalls aufwärts bewegen wird, was Ihnen ein Beweis sein wird, dass der Stab sich ausdehnt. Sie sehen schon, wie der Zeiger nach aufwärts rückt. Und Sie sehen, dass mit der fortgehenden Erwärmung der Zeiger mehr und mehr nach aufwärts rückt, was Ihnen ein Beweis ist, dass die Ausdehnung mit der Temperatur wächst. Würde ich statt der Substanz dieses Körpers irgendein anderes Metall verwendet haben, und wir würden dann genau messen, so würden wir eine andere Ausdehnung bekommen. Wir würden finden, dass verschiedene solche Körper sich in verschiedener Weise stark ausdehnen. Sodass wir zunächst zu konstatieren hätten, dass die Ausdehnungsfähigkeit, die Stärke der Ausdehnung von der Substanz abhängt. Wir sehen zunächst hier ab davon, dass wir eigentlich



 einen Zylinder vor uns haben. Wir stellen uns zunächst vor, dass wir einfach einen Körper von einer bestimmten Länge ohne Dicke und Breite vor uns haben, Und wir beobachten zunächst die Ausdehnung nur nach einer Dimension. Wenn wir uns das veranschaulichen, so bekommen wir folgendes: Wenn hier festgehalten wird ein Stab, und wir ihn nur eigentlich als eine Länge betrachten, wollen wir zunächst für die Temperatur, von der wir ausgehen, den Wärmeegrad, von dem wir ausgehen, die Länge dieses Stabes mit l_0 bezeichnen. Und wir bezeichnen dann die Länge des Stabes, die er bekommt, wenn wir ihn auf die Temperatur t erhitzen, mit l . Nun sage ich, dass die Stäbe sich verschieden stark ausdehnen, je nachdem sie von der einen oder anderen Substanz sind. Wir können nun immer die Länge der Ausdehnung, also von hier, von a nach b , uns angeben durch einen Bruch, der das Verhältnis der Ausdehnung zu der ursprünglichen Stablänge bezeichnet. Wir wollen das, also diese verhältnismässige Stärke der Ausdehnung, sagen wir, mit α bezeichnen. Dann haben wir die Länge, die der Stab hat, nachdem er sich ausgedehnt hat. Also die Länge l , die der Stab hat, die haben wir uns zusammengesetzt zu denken aus seiner ursprünglichen Länge l_0 und aus dem Stückchen, das er in seiner Länge hinzubekommen hat durch die Ausdehnung. Dieses müssen wir berechnen. Dadurch dass ich α als Bruch bezeichnet habe, der das Verhältnis angibt zwischen der Ausdehnung und der ursprünglichen Länge, dadurch bekomme ich, indem ich l_0 mit α multipliziere, die Tendenz der Ausdehnung für eine gewisse Substanz, und ich habe, weil je die Ausdehnung umso bedeutender wird, je höher die Temperatur wird, das zu multiplizieren mit der Temperatur t . Sodass ich sagen kann: Die Stablänge l nach der Ausdehnung $= l_0 + l_0 \alpha t \dots = l_0 (1 + \alpha t)$. Das heisst: Will ich feststellen die Länge eines Stabes, der sich durch Erwärmung ausgedehnt hat, so muss ich seine ursprüngliche Länge mit einem Faktor multiplizieren, der hier angegeben wird durch $1 +$ die Temperatur, multipliziert mit der verhältnismässigen Ausdehnungsfähigkeit der betreffenden Substanz. Die Physiker sind gewohnt worden, das α für die betreffende Substanz den Ausdehnungs-coefficient zu nennen. Nun habe ich hier einen

Stab betrachtet. Stäbe von keiner Breite und keiner Höhe haben wir in Wirklichkeit nicht. Wir haben in Wirklichkeit ja Körper von drei Dimensionen. Wir können, wenn wir nun übergehen von dieser Längenausdehnung zunächst wiederum zur nur gedachten Flächenausdehnung, diese Formel



in der folgenden Weise umwandeln: Nehmen wir an, wir betrachten, statt dass wir hier die Längenausdehnung nur betrachtet haben, die Flächenausdehnung. Wir hätten also hier eine Fläche. So müssten wir uns klar sein, dass die Fläche sich ausdehnt nach zwei Dimensionen, also nach der Erwärmung diese Grösse etwa

hätte. Wir hätten dann nicht nur die Längenausdehnung nach l , sondern auch die Breitenausdehnung nach b . Und wenn wir die Längenausdehnung zuerst betrachten, hier l_0 , so würden wir haben wiederum die Ausdehnung nach dieser Richtung, die ich jetzt angegeben habe, nach l . Und wir haben

$$l = l_0 (1 + \alpha t) \quad (1.)$$

Betrachten wir jetzt auch die Breitenausdehnung b_0 , was sich ausgedehnt hat zu b , so müsste ich jetzt schreiben (es ist ja selbstverständlich, dass das Ausdehnungsgesetz dasselbe bleibt)

$$b = b_0 (1 + \alpha t) \quad (2)$$

Nun wissen Sie, dass die Fläche sich ergibt, indem ich die Länge mit der Breite multipliziere. Ich bekomme also den ganzen Inhalt der Fläche, der hier der ursprüngliche ist, und hier denjenigen nach der Ausdehnung, indem ich auch nun

$l_0 (1 + \alpha t)$ multipliziere mit $b_0 (1 + \alpha t)$.

$$l b = l_0 (1 + \alpha t) b_0 (1 + \alpha t) \quad (3)$$

Das heisst, ich bekomme: $l b = l_0 b_0 (1 + \alpha t)^2$. (4)

Das heisst aber geschrieben: $l b = l_0 b_0 (1 + 2\alpha t + \alpha^2 t^2)$. (5.)

Damit würde ich die Formel haben für die Ausdehnung einer Fläche.

Wenn Sie sich nun zu der Fläche noch hinzudenken eine Dicke, so habe ich diese Dicke in derselben Weise zu behandeln. Ich würde dann noch hinzuzufügen haben:

$$l b d = l_0 b_0 d_0 (1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3) \quad (6.)$$

Und wenn Sie diese Formel anschauen, dann bitte ich Sie besonders im Auge

zu behalten das folgende: Wenn wir hier die ersten zwei Glieder dieser Formel (6) betrachten, dann werden Sie finden, ~~xxxxxxx~~ das t in der ersten Potenz, wenn Sie das dritte Glied betrachten, finden Sie das t in der zweiten Potenz, und das letzte t in der dritten Potenz. Diese beiden letzten Glieder der Formel für ~~die~~ ^{eine} Ausdehnung bitte ich Sie ganz besonders zu berücksichtigen. Merken Sie sich, dass, wenn wir die Ausdehnung eines dreidimensionalen Körpers haben, so bekommen wir für dieses eine Ausdehnung, einen Formelausdruck, der enthält die ^{dritte} ~~zwei~~ Potenz der Temperatur. Ich will etwas absehen von der zweiten Potenz der Temperatur. Er enthält also die dritte Potenz der Temperatur. Es ist ausserordentlich wichtig, dass gerade festgehalten werden an diesen Umständen, dass wir hier bekommen die dritte Potenz der Temperatur.

Da ich immer Rücksicht darauf nehmen muss, dass wir ja hier in der Welterfachule sind, und alles auch auf das Pädagogische hin orientiert sein muss, ist es nötig, Sie darauf aufmerksam zu machen, dass, wenn Sie nun dieselbe Herleitung, die ich hier gemacht habe, in den gebräuchlichen Handbüchern der Physik studieren, so werden Sie ~~etw~~ der Art, wie ich hier die Sache dargestellt habe, zu der Schilderung in den gebräuchlichen Handbüchern der Physik einen beträchtlichen Unterschied finden. Ich will Ihnen jetzt mitteilen, wie die Darstellung in den gebräuchlichen Handbüchern der Physik gegeben wird. Da wird gesagt:

α ist eine Verhältnisszahl. Es ist ja in der Regel ein Bruch. Die Ausdehnung hier ist verhältnissmässig sehr klein zu der ursprünglichen Länge des Stabes. Wenn ich einen Bruch habe, der im Nenner eine grössere Zahl hat als im Zähler, dann bekomme ich, wenn ich quadriere oder kubiere, eine viel kleinere Zahl. Wenn, quadriere ich ein Drittel, so bekomme ich schon ein Neuntel und kubiere ich gar ein Drittel, so bekomme ich ein Siebenundzwanzigstel. Das heisst: die dritte Potenz ist schon ein sehr, sehr kleiner Bruch. α ist ein Bruch, der einen sehr grossen Nenner hat in der Regel. Deshalb sagen die gebräuchlichen Handbücher der Physik: wenn ich nun das Quadrat bilde, α^2 oder gar α^3 , mit dem ich zu multi-

plizieren habe das t^3 , so sind das sehr kleine Brüche, die kann man einfach weglassen. Sodass also die gebräuchlichen Handbücher der Physik sagen: Wir lassen diese letzten Glieder der Ausdehnungsformel einfach weg und schreiben $1 + \beta \cdot \Delta t$. Das ist ja das Volumen, (ich will also V schreiben,) das sich ausdehnt der Körper durch eine bestimmte Temperatur annimmt.

$$V = V_0 (1 + \beta \Delta t) \quad (7.)$$

In dieser Art wird die Formel geschrieben für die Ausdehnung eines festen Körpers, indem man sich einfach darauf beruft, dass der Bruch $\propto$ quadriert und namentlich kubiert so kleine Zahlen gibt, dass man die sechs weglassen kann. Sie wissen, so ist es dargestellt in den gebräuchlichen Physikbüchern. Nun, meine lieben Freunde, damit streicht man weg das Allerwichtigste, worauf es ankommt, wenn man nun wirklich nachgemessene Wärmelehre treiben will. Das wird sich uns zeigen, indem wir weiter vorrücken. Ausdehnung durch das Wärmewesen haben ja nicht nur die festen Körper, sondern Ausdehnung durch das Wärmewesen haben auch die Flüssigkeiten. Sie haben hier, damit Sie es sehen können, eine gefärbte Flüssigkeit. Wir werden diese gefärbte Flüssigkeit erwärmen. (Siehe letzte Seite Fig. 1.) Sie werden nun sehen, dass nach einiger Zeit die gefärbte Flüssigkeitssäule in die Höhe steigt, und daraus werden Sie entnehmen, dass Flüssigkeiten sich ebenso ausdehnen, wie feste Körper. Sie sehen, die gefärbte Flüssigkeit steigt, also die Flüssigkeit dehnt sich aus durch Erwärmung.

Nun, ebenso können wir untersuchen die Ausdehnung eines luftförmigen Körpers. Dazu haben wir hier in dem Kolben Luft, die einfach von aussen hineinkommt (s. letzte Seite Fig. 2). Wir schliessen nun die im Kolben befindliche Luft ab und erwärmen diese Luft. Sie werden dann sehen: Wir haben hier ein kommunizierendes Gefäss. Die Eigenschaft der kommunizierenden Gefässe ist ja, dass das Niveau der Flüssigkeit, die darin ist, auf beiden Seiten gleich ist, also beide Höhen umfasst. Sie werden nun sehen, was geschieht, wenn wir einfach die hier drinnen befindliche Luft, also einen luftförmigen Körper, erhitzen. Wir werden es dadurch erreichen, dass in dem Gefäss erwärmtes Wasser ist von einer Temperatur von 40° . Sie

sehen, schon rückt hier die Quecksilbersäule hinauf. Warum rückt sie hinauf? Weil der luftförmige Körper, der in diesem Gefäße hier ist, sich ausdehnt. Die Luft strömt hier heraus, drückt auf dieses Quecksilber, die Quecksilbersäule wird durch den Druck auf der anderen Seite gehoben, und Sie sehen daraus, dass dieser luftförmige Körper sich ausgedehnt hat. Sodass wir also sagen können: Sowohl feste, wie flüssige, wie luftförmige Körper dehnen sich durch Einwirkung des uns noch unbekannten Wärmewesens aus.

Nun aber tritt uns hier sogleich, wenn wir vorrücken von dem Studium der Ausdehnung auf feste Körper, durch das Studium der Ausdehnung bei Flüssigkeiten zu dem Studium der Ausdehnung bei luftförmigen Körpern, etwas sehr bedeutssames entgegen. Ich habe früher gesagt, dass das α hier die Verhältniszahl der Ausdehnung zur ursprünglichen Länge des Stabes für verschiedene Substanzen verschieden ist. Wenn wir, was ja weitere Experimente in Anspruch nehmen würde, die wir hier nicht ausführen können, - wenn wir nun auch das α untersuchen würden für verschiedene Flüssigkeiten, wir würden noch für das α bekommen verschiedene Werte für verschiedene Flüssigkeitssubstanzen. Wenn wir aber das α untersuchen für luftförmige Körper, namentlich für Gase, so zeigt sich das Eigentümliche, dass nun das α nicht mehr für verschiedene luftförmige Körper verschieden ist, sondern dass das α der Ausdehnungs-Coefficient, wie man es nennt, für die verschiedenen Gase derselbe ist, nämlich annähernd $\frac{1}{273}$. Diese Tatsache ist von einer ganz eminenten Wichtigkeit. Wir sehen daraus, dass, indem wir vorrücken von den festen Körpern zu den luftförmigen Körpern eigentlich neue Verhältnisse unter dem Einfluss des Wärmewesens eintreten. Wir sehen daraus, dass sich die verschiedenen Gase nicht verhalten nach ihrer verschiedenen Substanzialität, sondern dass sie sich verhalten dem Wärmewesen gegenüber einfach nach ihrer Eigenschaft, Gase zu sein, dass das Gaswerden etwas ist, was gewissermaßen als eine gemeinschaftliche Eigenschaft über alle Körper kommen kann. Ja, wir sehen daraus, dass das Gaswerden etwas ist, was alle Gase, die uns im irdischen Umkreis bekannt werden können, wenigstens in bezug auf diese Eigenschaft ihrer Ausdehnungs-

fähigkeit zu einer Einheit zusammenfasst. Halten Sie fest, dass wir einfach an der Ausdehnungsfähigkeit durch die Wärme dazu kommen, sagen zu müssen, dass sich, indem man sich nähert von den festen Körpern zu den Gasen, die differenzierte Ausdehnungsfähigkeit, die wir bei festen Körpern finden, in eine Art Einheit, in eine einheitliche Ausdehnungsfähigkeit sich umwandelt, dass also mit dem festen Zustand verknüpft ist in unserem irdischen Bereich eine Differenzierung der Körperlichkeiten, - wenn ich mich vorsichtig ausdrücke. Ich könnte auch sagen, dass verknüpft ist $\int$ mit dem Festwerden eine Individualisierung der Körperlichkeit. Auf diesen Umstand wird sehr wenig hingewiesen in der neueren Physik. Es wird nicht darauf hingewiesen, weil man wichtigste Dinge einfach dadurch cachiert, dass man gewisse Grössen wegstreicht, mit denen man nichts rechtes anfangen kann.

Sehen Sie, tiefer hineinschauen in dasjenige, um was es sich da handelt, kann man nur dann, wenn man ein wenig zu Hilfe ruft die Geschichte der physikalischen Entwicklung.

Alle die Vorstellungen, die heute in Physikbüchern, überhaupt in der Behandlung der Physik herrschend sind, sind ja im Grunde genommen noch nicht alt. Sie rühren im Wesentlichen aus dem 17. Jahrhundert her. Und zwar haben sie ihren Grundcharakter bekommen durch alles dasjenige, was man im 17. Jahrhundert unter dem Neuaufleben eines gewissen wissenschaftlichen Geistes in Europa veranstaltet hat durch die Accademia del Cimento in Florenz, die 1657 gegründet worden ist, und in der ausserordentlich viele Experimente auf den verschiedensten Gebieten gemacht worden sind, namentlich ^{aber} auf dem Gebiete des Wärmewesens, auf dem Gebiete der Akustik, des Tonwesens usw. Wie jung unsere gebräuchlichen Vorstellungen sind auf diesem Gebiete, das zeigt sich ja, wenn man ein wenig eingeht auf gewisse spezielle Veranstaltungen der Accademia del Cimento. Da wurde z. B. zuerst eigentlich die Grundlage gelegt für unsere moderne Thermometrie. Da wurde zuerst bemerkt, wie in einer Glasröhre, die unten mit einem Zylinder abgeschlossen ist, was Sie ja an jedem Thermometer

sehen können, wie da die Erwärmung auf Quecksilber, mit dem die Glasröhre gefüllt ist, wirkt. Da wurde man z. B. erst aufmerksam - in der Accademia del Cimento - darauf, dass ein scheinbarer Widerspruch besteht zwischen der Anschauung, die man sonst gewonnen hat, also z. B. durch ein solches Experiment, wo eine Flüssigkeit sich einfach ausdehnt, und dem, was sich besonders stark zeigte, indem man einen Versuch, der belehrend sein sollte, machte. Man kam so im allgemeinen zu der Anschauung: Flüssigkeiten dehnen sich auch aus. Aber indem man den Versuch zunächst anstellte mit Quecksilber, fiel es zunächst unter der Erwärmung, und dann erst stieg es. Man musste dafür erst eine Erklärung im 17. Jahrhundert finden, die man ja leicht dafür finden konnte, dass man sich sagte: Wenn ich erhitze, so erhitze ich zunächst das äussere Glas, das dehnt sich aus. Der Raum, den das Quecksilber ausfüllt, wird grösser. Es sinkt zuerst, und es beginnt erst der innere Körper etwas zu steigen, wenn die Erwärmung nach dem Innern vorgedrungen ist. - Solche Begriffe bekam man überhaupt erst seit dem 17. Jahrhundert. Aber mit diesem 17. Jahrhundert war man auch gegenüber allen Ideen, durch die man das Physikalische zu begreifen versuchen sollte, dadurch gar sehr im Rückstand gekommen, das ja bis zu dieser Zeit, zur eigentlichen Renaissance Europas so wenig gekümmert hat: um wissenschaftliche Begriffe dieser Art. Es war die Zeit, in der sich hat ausbreiten müssen das Christentum, das in einer gewissen Weise verhindert hat, dass Begriffe sich festlegen konnten, sich ausbilden konnten über physikalische Erscheinungen. Denn, als die Renaissance kam, als man bekannt wurde mit den Vorstellungen, die im alten Griechenland schon waren, war man etwa in der folgenden Lage:

Auf der einen Seite, aufgemunter durch allerlei bereitwillige Unterstützungen bildeten sich solche Institutionen wie die Accademia del Cimento, und da konnte man nun experimentieren. Man konnte unmittelbar anschaulich machen, wie die physikalischen Erscheinungen verlaufen. Auf der andern Seite aber wurde man entwöhnt, sich Begriffe zu machen über die Dinge. Man wurde entwöhnt, die Erscheinungen wirklich denkend zu verfolgen.

Man nahm vielfach die alten griechischen Vorstellungen, die jetzt wieder aufgefangen werden, ^{auf} aber man versteht sie nicht mehr. Und so nahm man auch die Vorstellung von Feuer oder Wärme, ohne irgendwie das unter diesem Begriff verstehen zu können, was man im alten Griechenland darunter verstanden hat. Und es bildet sich jetzt jene tiefe Kluft zwischen dem Denken und dem, was für die Anschauung durch das Experiment gegeben werden kann. Diese Kluft tut sich immer mehr und mehr auf gerade seit dem 17. Jahrhundert. Die Experimentierkunst wurde dann besonders im 19. Jahrhundert vervollkommen, aber, klare deutliche Begriffe gingen nicht parallel dieser Vervollkommenheit der Experimentierkunst. Und heute stehen wir, indem uns solche klare, deutliche, anschauliche Begriffe fehlen, vielfach vor jenen Erscheinungen ratlos, die das gedankenlose Experimentieren im Lauf der Zeit hervorgebracht hat, und die im weiteren sich nur fruchtlos der menschlichen Geistesentwicklung einverleiben ^{können} ~~kann~~, wenn wiederum der Weg gefunden wird, nicht nur zu experimentieren, und den Verlauf des Experimentes äußerlich anzuschauen, sondern in den inneren Gang des Naturgeschehens wirklich einzutreten.

Sehen Sie, beim Eindringen in den inneren Gang des Naturgeschehens kommt dann so etwas außerordentlich stark in Betracht, dass in Bezug auf die Ausdehnungsfähigkeit vollständig neue Verhältnisse ein-
treten, wenn wir von den festen Körpern zu den Gasen ^{hin} eindringen. Aber man wird niemals ohne die Erweiterung unseres ganzen physikalischen Vorstellungsbereichs solche Dinge, wie sie heute eigentlich den Tatsachen nach schon vorliegen, wirklich bewältigen können. Zu diesen Tatsachen, die wir schon angeführt haben, kommt ja noch eine andere, die außerordentlich bedeutsam ist.

Nicht wahr, wie eine allgemeine Regel kann man sich bilden aus dem, was wir jetzt schon hier dargestellt haben, den Satz - sagen wir - & Erwärmen wir Körper, so dehnen sie sich aus. Erkalten wir

sie dann wiederum, so ziehen sie sich wiederum ^{zusammen}, so dass der allgemeine Satz gebildet werden könnte: Durch Erwärmung dehnen sich Körper aus, durch Erkaltung ziehen sich Körper zusammen.

Nun wissen Sie aber aus der elementaren Physik, dass es von diesem Satz Ausnahmen gibt, vor allen Dingen eine Kardinalausnahme: Die bezüglich des Wassers selber. Wenn man Wasser zur Ausdehnung bringt und zum Wiederezusammenziehen, so zeigt sich das merkwürdige, dass, - sagen wir - wenn man Wasser hat von einer Temperatur von 8 Grad und man erkaltet es dann, dann zieht es sich zusammen. Das ist selbstverständlich, möchte ich sagen. Aber wenn man dann weiter abkühlt, zieht es sich nicht zusammen, sondern dehnt sich wieder aus. So dass Eis, das entsteht aus dem Wasser, (wir werden über diese Entstehung noch zu sprechen haben), auf dem Wasser, weil es ausgedehnter und damit weniger dicht ist als das Wasser, auf dem Wasser schwimmen kann. Eine eigentümliche Erscheinung, dass Eis auf dem Wasser schwimmen kann. Sie rührt davon her, dass dieses allgemeine Gesetz der Ausdehnbarkeit und Zusammenziehbarkeit eben für das Wasser eine Unregelmässigkeit aufweist; dass das Wasser im allgemeinen diesem Gesetz nicht so ohne weiteres folgt. Es wäre ja auch mit unserer ganzen Natureinrichtung eigentümlich bestellt, wenn das anders wäre, wenn diese Ausnahme nicht bestünde. Wenn Sie ein~~ig~~ Bassin einen Teich usw. beobachten, so werden Sie sehen, dass selbst bei strengem Winter nur eine Eisedecke da ist, und das Wasser nicht bis unten gefriert; dass unten das Wasser ungefroren bleibt. das geschieht aus dem Grunde, weil das sich oben zunächst bildende Eis schwimmt und dadurch eine Decke bildet, und dass dadurch das darunter befindliche Wasser vor der weiteren ~~Abkühlung~~ Abkühlung bewahrt bleibt. Sie haben immer oben eine Eisedecke und unten ein geschütztes Wasser. Diese Unregelmässigkeit, die hier auftritt, hängt also mit etwas zusammen, was eigentlich - wenn ich den etwas spießbürgerlichen Ausdruck gebrauchen darf - mit dem Haushalt unserer Natur ausserordentlich viel zu tun

Nun sehen Sie, die physikalische Betrachtungsweise, zu der wir hier unsere Zuflucht suchen wollen, die muss durchaus so sein, wie ich es beim letzten Kursus schon angedeutet habe. Wir müssen es vermeiden, den Weg zu dem Achilleschluss mit dem Schildkröteanschluss hin zu machen. Wir müssen es vermeiden, abzusehen von dem Anschaulichen, wir müssen durchaus den Versuch machen, im Anschaulichen, d. h. in dem mit der Anschauung Konstatierbaren zu verbleiben. Daher werden wir uns immer streng an das Anschauliche halten, und versuchen, aus dem Anschaulichen χ heraus eine Erklärung für die Erscheinungen zu finden. Wir werden solche Dinge, die einfach in der Anschauung sich ergeben, wie die Ausdehnung, und wie eine solche Unregelmässigkeit in der Ausdehnung, wie sie uns beim Wasser, also bei einer Flüssigkeit entgegentritt, - solche tatsächlichen Dinge wollen wir uns vor Augen stellen, und innerhalb der Tatsachenwelt verbleiben. Das ist auf dem physikalischen Gebiet wirklicher Goethenismus.

Halten wir also dasjenige, was nun nicht eine Theorie ist, sondern was eine in der Aussenwelt konstatierbare Tatsache ist, fest: mit dem Uebergang in den gasigen Zustand tritt eine Vereinheitlichung sämtlicher Substanzen auf der Erde ein. Und mit dem Uebergang in den festen Zustand nach unten tritt ein Individualisieren, eine Differenzierung nach Individuen ein.

Sehen Sie, wenn wir uns nun fragen: Wie kann das eigentlich sein, was kann da zu Grunde liegen, dass mit dem Uebergang aus dem Festen in den gasförmigen Zustand durch den flüssigen hindurch eine Vereinheitlichung eintritt, dann kommen wir heute aus unseren gangbaren Begriffen überhaupt heraus ausserordentlich schwer zu einem Ausweg. Wir müssen da schon, um im Anschaulichen stehenbleiben zu können, schwerwiegende Fragen aufstellen zu stellen. Wir müssen zunächst fragen: Woher haben wir denn überhaupt die Möglichkeit, Körper zum Ausdehnen zu bringen, und damit allmählich zur Vergasung und zu der charakterisierten Vereinheitlichung zu bringen?

Sehen Sie, Sie brauchen nur eine Umschau zu halten über all

dasjenige, was Sie wissen können über die physikalischen Vorgänge der Erde, so würden Sie sich sagen müssen: Ohne dass Sonnenwirkung da wäre, könnten wir all diese Erscheinungen, die auch unter dem Einfluss des Wärmewesens stattfinden, auf der Erde überhaupt nicht haben. Sie müssen den Blick darauf wenden, welche ungeheure Bedeutung die Sonne in ihrem ganzen Wesen für die irdischen Erscheinungen hat. Und wenn Sie dies, was also wiederum ins Gebiet des Tatsächlichen gehört, ins Auge fassen, so werden Sie sich sagen müssen: Gerade jene Vereinheitlichung, die da auftritt bei dem Uebergang von dem festen durch den flüssigen in den gasförmigen Zustand -
s
/ie könnte nicht eintreten, wenn die Erde nur sich selbst überlassen wäre. Wir können nur Anhaltspunkte gewinnen zu Vorstellungen über diese Sache, wenn wir über die irdischen Verhältnisse hinausgehen. Damit ist aber etwas ausserordentlich Schwerwiegendes gesagt. Denn mit diesem Uebergang des physikalischen Denkens durch die Denkweise der Accademia del Cimento, und alles dessen, was damit zusammenhängt, wurden die alten Vorstellungen, die durchaus in Griechenland noch üblich waren, entkleidet alles Ausserirdischen. Und Sie werden schon sehen, dass wir in den nächsten Tagen ohne historische Hilfe, rein aus der Sache heraus, zu demselben kommen werden. Aber ich werde vielleicht leichter zu Ihrem Verständnis den Zugang gewinnen, wenn ich diesen kleinen historischen Exkurs noch einschalte, den ich jetzt machen will.

Ich sagte schon: die eigentliche Bedeutung derjenigen Begriffe und Ideen, durch die man noch im alten Griechenland die physikalischen Erscheinungen hat begreifen wollen, ist verloren gegangen. Man hat begonnen, zu experimentieren, und hat - ich möchte sagen - wortwörtlich, ohne den inneren Gedankenweg, der in Griechenland noch gemacht worden ist, die Vorstellungen, die Ideen aufgenommen. Dadurch vergass die Menschheit gewissermaßen alles dasjenige, was mit diesen physikalischen Vorstellungen im alten Griechenland noch verbunden war. Das alte Griechenland hat noch nicht gesagt: "Fest, flüssig, gasförmig", sondern dasjenige, was das alte Griechenland gesagt hat, können wir in unserer Sprache übersetzen damit,

dass wir sagen:

Was fest war, bezeichnete das alte Griechenland mit E r d e..

Was flüssig war, bezeichnete das alte Griechenland mit W a s s e r .

Was gasförmig war, bezeichnete das alte Griechenland mit L u f t .

Und es ist ganz unrichtig, zu glauben, dass, wenn wir unsere Wortbedeutungen Erde, Wasser, Luft haben, und dann irgendwo in älteren Schriften, die noch von der griechischen physikalischen Anschauung beeinflusst sind, die entsprechenden Worte wiederfinden, dass sie dann dasselbe bedeuten. Wir müssten, wenn wir irgendwo in alten Schriften den Ausdruck W a s s e r sehen, ihn übersetzen mit F l ü s s i g k e i t , wenn wir den Ausdruck E r d e sehen mit f e s t e n K ö r p e r n . Nur dadurch würden wir richtig die alten Schriften übersetzen. Aber darin liegt etwas sehr Bedeutsames. Dadurch, dass der feste Zustand, (wie gesagt, wir wollen das in den nächsten Tagen aus der Sache selbst heraus finden, ich will heute durch diesen historischen Exkurs zu Ihrem Verständnis den Zugang gewinnen) dadurch, dass der feste Zustand mit Erde bezeichnet würde, drückte man das besonders aus, dass dieser feste Zustand allein gebunden ist an die Gesetzmässigkeit unseres irdischen Planeten. Man bezeichnete das Feste deshalb als Erde, weil man dadurch ausdrücken wollte: wenn ein Körper fest wird, so gerät er ganz und gar unter den Einfluss der irdischen Gesetzmässigkeit. Dagegen wenn ein Körper Wasser wird, dann steht er nicht mehr bloss unter dem Einfluss der irdischen Gesetzmässigkeit, sondern unter dem Einfluss des ganzen Planetensystems. Die Kräfte, die sich geltend machen in einem flüssigen Körper, in dem Wasser, die sind nicht bloss von der Erde herrührend, sondern von dem Planetensystem. Da wirken hinein die Kräfte von Merkur, Mars usw., in dem was flüssig ist. Aber sie wirken so, dass sie gewissermassen von den Richtungen her, in denen diese Planeten stehen, oben wirken, und eine Art ^R resultierende in jeder Flüssigkeit werden.

Man hatte also das Gefühl, indem man nur die festen Körper als Erde bezeichnete, dass nur diese unter dem Einfluss der irdischen Gesetzmässigkeit stehen; dass, indem ein Körper schmilzt, er unter Gesetzmässigkeit

14
gerät
keiten), die ausserirdische sind. Und indem man gar ~~laxt~~ die gasförmigen Körper Luft nennt, da hatte man (wie gesagt, ich stelle es Ihnen jetzt historisch dar) da hatte man die Empfindung: ein solcher Körper steht unter dem Einfluss des ^{ver}einheitlichen ^{den}Sonnenwesens. Er wird hinausgehoben aus dem Irdischen und aus dem bloss Planetarischen, und steht unter dem Einfluss des vereinheitlichenden Sonnenwesens. Und man hatte von dem irdischen Luftwesen auch die Anschauung, dass an seiner Konfiguration, seiner inneren Beschaffenheit und Substantialität, die Kräfte der Sonne im Wesentlichen tätig sind.

Sie sehen, die alte Physik hatte einen kosmischen Charakter. Die alte Physik war geneigt, zu rechnen mit Kräften, welche dem Gebiete des Tatsächlichen angehörten. Denn der Mond, der Merkur, der Mars usw. sind Tatsachen. Aber indem man verloren hatte die Quelle zu dieser Anschauung, und zunächst nicht entwickeln konnte das Bedürfnis nach neuen Quellen, verlor man vollständig die Möglichkeit, andere Vorstellungen zu gewinnen als diese, dass, wie die festen Körper, selbst in ihrer Ausdehnungsfähigkeit, in ihrer ganzen Konfiguration und Gestaltung abhängig sind von der Erde, so auch die flüssigen und luftförmigen. Sie werden zwar sagen, es fällt keinem Physiker ein, abzusuchen davon, dass die Sonne die Luft erwärmt, usw. Das tut er zwar nicht, aber, indem er dabei von Vorstellungen ausgeht, wie ich es gestern charakterisiert habe, indem er sich die Sonne in ihrer Erwärmefähigkeit nur nach dem Muster der aus dem Irdischen gewonnenen Begriffe vorstellt, ~~er~~ ^{er}verirdischt die Sonne, statt dass Terrestrische durch das Solare zu erklären.

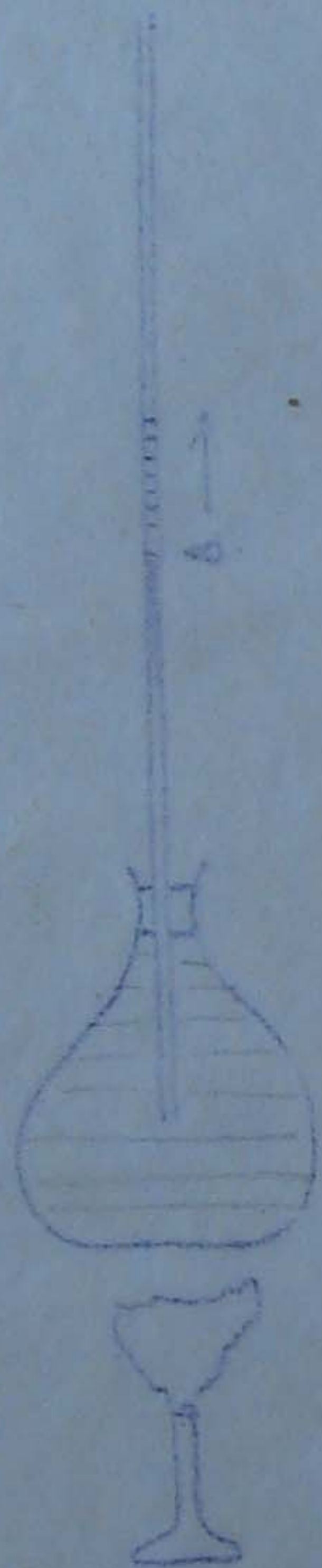
Das ist nun das Wesentliche, dass in der Zeit vom 15. bis 17. Jahrhundert vollständig verloren gegangen ist ~~vollständig~~ das Bewusstsein, dass unsere Erde ein Körper im ganzen Sonnensystem ist; dass dann auch ~~j~~ jedes Einzelne auf der Erde zu tun haben muss mit dem ganzen Sonnensystem; und dass das Festwerden der Körper geradezu darauf beruht, dass sich gewissermassen das Irdische emanzipiert von dem Kosmischen, dass es sich herausreißt, sich selbstständige Gesetze gibt, während z. B. das

Gesförmige, die Luft, bleibt in seiner Gesetzmässigkeit unter dem Einfluss des für die ganze Erde einheitlichen Sonnenwesens. Das ist es, was denn dazu geführt hat, dass man genötigt worden ist, für die Dinge, die früher aus dem Kosmischen erklärt worden sind, irdische Erklärungen zu finden. Da man abgesehen hat davon, die Kräfte zu suchen, die vom Planetensystem ausgehen müssen, wenn ein fester Körper, z.B. Eis, flüssig wird, zu Wasser wird, - indem man abgesehen hat, sie im Planetensystem zu suchen, musste man sie hineinverlegen in das Innere des Körpers selber. Man musste nachdenken, nachspintisieren darüber, wie ein solcher Körper aus Molekülen und Atomen zusammengesetzt ist. Und man musste diesen unglückseligen Molekülen und Atomen die Fähigkeiten zuschreiben, die von innen heraus nun bewirken sollten, dass ein Festes in Flüssiges, ein Flüssiges in Gasförmiges übergeführt wird; ^a Die Fähigkeiten, die man früher hergeleitet hatte von dem, was tatsächlich im Raum gegeben war, aber allerdings im ausserirdischen Kosmos. So muss man verstehen den Uebergang der physikalischen Vorstellungen, wie er sich insbesondere gezeigt hat im krassem Materialismus oder Abhandlungen der Academia del Cimento, die etwas 10 Jahre geblüht hat, von 1657 - 1667. Man muss sich vorstellen, dass dieser krasse Materialismus dadurch entstanden ist, dass man allmählich verloren hat Ideen, die veranschaulichen den Anschluss unseres Irdischen an das Kosmische, das Ausserirdische. Heute stehen wir vor der Notwendigkeit, hier wiederum Umkehr zu schaffen. Man wird aus dem Materialismus nicht herauskommen, meine lieben Freunde, wenn man sich nicht wiederum in die Lage versetzt, weniger philiströs zu sein gerade auf dem Gebiete der Physik. Das Philiströse liegt nämlich darin, dass man von konkreten zu abstrakten Begriffen übergeht, denn niemand liebt die abstrakten Begriffe mehr als der Philister. Er möchte alles mit ein paar Formeln, mit ein paar abstrakten Begriffen umfassen. Aber auch die Physik selber wird nicht weiterkommen, wenn sie fortspinnt in solchen Anschauungen, - ich will nicht einmal bloss die Theorien umfassen -, ~~xxxxxx~~ in solchen Anschauungen, wie sie seit dem Materialismus der Academia del Cimento gang und gäbe ge-

worden sind. Vorworte kommen mir gerade dadurch, dass wir gerade in einem solchen Gebiet, wie die Wärmelehre, den Anschluss wiederum zu gewinnen versuchen zu unserer anderen, weiter ausgreifendere Ideen, als die neuere, materialistische Physik gehabt hat.

~ ~ ~ ~ ~

FIGUR 1



FIGUR 2

