

gedruckt

Meine lieben Freunde!

Wir werden heute, um auf das Ziel zuzusteuern, dem wir in den ersten Tagen unserer Betrachtungen schon ~~nah~~^{nahe} kommen müssen, noch einige Erscheinungen uns ansehen, welche die Beziehung des Wärmewesens zum sogenannten Aggregatzustand betreffen, also zu dem, was, wie ich Ihnen gestern gesagt habe, in der alten physikalischen Weltanschauung bezeichnet wurde als Erde, Wasser, Luft. Sie wissen ja, dass Erde, Wasser, Luft, oder, wie wir es heute nennen, feste, flüssige und gasförmige Körper in andere überzuführen sind. Dabei zeigt sich aber mit Bezug auf das Wärmewesen eine ganz besondere Erscheinung. Ich will die Erscheinung zunächst beschreiben, und wir wollen sie dann einfach konstatieren: Nehmen wir irgendeinen festen Körper und erwärmen wir ihn, so wird er eben immer wärmer und wärmer, bis er zu einem Punkte kommt, an dem er übergeht aus dem festen in den flüssigen Zustand. Wir können nun, wenn wir ein Thermometer zu Hilfe nehmen, konstatieren, wie, während der Körper immer wärmer und wärmer wird, das Thermometer steigt. In dem Augenblick, in dem der Körper beginnt, flüssig zu werden, also zu schmelzen, hört das Thermometer auf zu steigen; es wartet bis der ganze Körper flüssig geworden ist, wenn wir das Thermometer an den Körper halten; und es steigt erst wieder innerhalb der Flüssigkeit, die aus dem Körper geworden ist. Sodass wir sagen können: während des Vorganges des Schmelzens zeigt sich an dem Thermometer kein Ansteigen der Temperatur. Dabei darf man aber nicht glauben, dass das Wärmewesen selber unbeteiligt ist. Wenn wir nun (wir werden auch über solche Vorgänge noch sprechen) wenn wir nun keine Wärme zuführen würden, so würde das Schmelzen aufhören. Wir müssen also Wärme zuführen, um das Schmelzen bewirken zu können, aber diese Wärme zeigt sich nicht am Thermometer, sondern es fängt erst an, dass sich wiederum Wärme am Thermometer zeigt, wenn das Schmelzen vollzogen ist, und nun

weiter erwärmt wird die Flüssigkeit, die aus dem festen Körper entstanden ist. Diese Erscheinungen müssen zunächst einmal genau ins Auge gefasst werden. Denn Sie sehen, dass durch diese Erscheinungen in dem Fortgang des Aufsteigens der Temperatur eine Unterbrechung eintritt. Wir wollen eine Anzahl solcher Erscheinungen zusammenstellen, die uns dann, ohne dass wir übergehen zu irgendwelchen ausgedachten Theorien, zu einer Anschauung über das Wärmewesen werden führen können. Wir haben hier vorbereitet zunächst diesen festen Körper, Natriumthiosulfat. Wir werden diesen Körper zum Schmelzen bringen. Sie sehen hier eine Temperatur von etwa 25° . Nun handelt es sich darum, dass wir diesem Körper Wärme zuführen, und ich bitte irgend jemand als Delegierten sich hierher zu begeben, um zu sehen, wie während des Schmelzens dieses Körpers die Temperatur tatsächlich nicht steigt. (Anm.: Inzwischen ist das Thermometer auf 48° , das ist der Schmelzpunkt des Natriumthiosulfats, gestiegen, ~~und~~ und dasselbe ist geschmolzen.) Jetzt steigt das Thermometer rasch, weil das Schmelzen vollzogen ist, während es früher stehenblieb während des ganzen Schmelzvorganges.

Nun wollen wir einmal diesen Vorgang uns einfach versinnlichen. Wir können das auf folgende Weise tun. Das ^{an} ~~auf~~steigen der Temperatur wollen wir auffassen als eine Linie, die in dieser Weise ^{an} ~~auf~~steigt (Fig. 1.). Nehmen wir an, wir seien mit der ansteigenden Temperatur bis zum sogenannten Schmelzpunkt gekommen. Hier beginnt der Körper zu schmelzen. Die Temperatur bleibt, soweit sie durch das Thermometer gezeigt wird, stehen. Wenn ich jetzt weiter erhitze, steigt die Temperatur wieder an. Man würde sehen, dass sich dadurch, durch das Ansteigen der Temperatur, d.h. durch das Zuführen weiterer Wärme, die betreffende Flüssigkeit ausdehnt. Nun handelt es sich darum, dass wir einen solchen flüssiggewordenen Körper nun weiter erhitzen, dann steigt die Temperatur wiederum und zwar von demselben Punkte aus, an dem sie war beim Schmelzen. (Punktierte Linie). Sie steigt, solange der Körper nun flüssig bleibt.

Wir können kommen zu einem zweiten Punkt, in dem die Flüssigkeit

- 3 -

beginnt zu sieden, zu verdampfen. Wir haben wieder dieselbe Erscheinung: Das Thermometer hört auf, die Temperatur anzuzeigen, solange bis die Flüssigkeit verdampft ist. In dem Augenblick, wo die Flüssigkeit verdampft ist, würden wir, wenn wir in den Dampf hineinhalten könnten das Thermometer, wiederum sehen, wie das Thermometer ansteigt. (strichpunktierte Linie) Sie können hier wiederum beobachten, dass während des Verdampfens das Thermometer nicht ansteigt. Ich habe also hier eine zweite Grenze, an der die Thermometererhöhung stehenbleibt. (Anm. Das Thermometer steigt auf 100° im Wassergefäß ~~xxxxxxwird es bei weiterem Erhitzen verdampfen.~~)

Nun, zu dieser Erscheinung, die ich Ihnen eben vorgeführt habe, bitte ich Sie, einen anderen hinzuzunehmen, die Ihnen aus dem gewöhnlichen Leben sehr gut bekannt sein kann: Wenn wir den festen Körper nehmen, der unseren Ausgangspunkt bildete, so ist dieser, wie Sie wissen, so, dass er seine Form durch sich selbst beibehält; seine Form, die er einmal hat. (Fig.2) Wenn ich irgendeinen festen Körper hier herlege, so bleibt er wie er ist. Wenn Sie eine Flüssigkeit nehmen, also dasjenige, was durch den Schmelzpunkt hindurchgegangen ist bei der Erwärmung, so wissen Sie, dass ich eine Flüssigkeit nicht hinlegen kann stückweise, sondern ich habe nötig, sie in einem Gefäß zu halten, und sie bleibt in der Form des Gefäßes und bildet oben eine horizontale Niveaufläche. (Fig.3). Wenn ich ein Gas nehme, Dampf, der durchgegangen ist durch den Siedepunkt, so kann ich den nicht behalten in einem solchen Gefäß; da geht er mir fort. Einen solchen Dampf kann ich nur aufbehalten in einem Gefäß, das allseitig geschlossen ist, sonst geht mir der Dampf nach allen Seiten hin fort. (Fig.4). Das gilt wenigstens zunächst für den oberflächlichen Anblick, und wir wollen von diesem oberflächlichen Anblick zunächst einmal ausgehen.

Und jetzt bitte ich Sie, folgende Erwägung mit mir zu machen. Diese Erwägungen stellen wir an, um durch ihr Zusammenbringen zuletzt uns wirklich zu einer Art Erfassung des Wärmewesens hinbegeben zu können. Wodurch habe ich denn überhaupt die ansteigende Temperatur konstatiert? Ich habe sie konstatiert durch die Ausdehnung des Quecksilbers. Diese

Ausdehnung des Quecksilbers hat sich vollzogen im Raum. Und wenn auch das Quecksilber bei unserer mittleren Temperatur eine Flüssigkeit ist, so müssen wir uns doch klar sein, dass, wenn es auch zusammengehalten wird in dem Gefäß, so summieren sich doch die Ausdehnungen nach den drei Dimensionen, und wir bekommen sie als Ausdehnung nach der einen Seite heraus. Wir haben doch bei der Ausdehnung des Quecksilbers nach den drei Dimensionen nur reduziert auf die eine Dimension hin, sodass wir also das Ansteigen der Temperatur konstatieren durch die Ausdehnung eines Körpers.

Gehen wir von dieser Betrachtung, die wir zu Grunde gelegt haben, ^{aus,} und sehen wir uns das folgende an: Nehmen wir einmal eine Linie, (Fig.5.)
- ^m ~~man~~ kann eine Linie natürlich nur denken - und sagen Sie sich, auf dieser Linie lägen eine Anzahl Punkte, a, b, c, d, usw. Wenn Sie zu diesen Punkten kommen wollen, so können Sie durchaus in dieser Linie bleiben. Wenn Sie z. B. hier stehen (a), können Sie zu dem Punkt c gelangen, indem Sie die Linie durchlaufen. Sie können zurücklaufen und wiederum den Punkt a erreichen. Kurz, wenn ich die Punkte a, b, c, d erreichen will, kann ich ⁱ durchaus ~~an~~ der Linie bleiben. Anders liegt das, wenn wir den Punkt e oder den Punkt f ins Auge fassen. Sie können nicht bei der Linie verbleiben, wenn Sie zu dem Punkt e und zu dem Punkt f gelangen wollen. Sie müssen aus der Linie herausgehen, ~~und~~ ^e um zu dem Punkt und zu dem Punkt f zu gelangen. Sie müssen also irgendwie auf der Linie laufen und dann aus der Linie heraustreten, um zu diesen Punkten zu gelangen.

Jetzt nehmen Sie an, Sie betrachten eine Fläche, sagen wir die Fläche der Tafel, und ich registriere wiederum auf der Fläche der Tafel eine Anzahl Punkte, a, b, c. (Fig.6.) Um diese Punkte zu erreichen, können Sie durchaus in der Fläche der Tafel bleiben. Wenn Sie hier sind (X), können Sie den Weg machen, der gar nicht aus der Tafel herausgeht, zu jedem dieser Punkte. Sie können aber nicht, wenn Sie in der Tafel verbleiben wollen, zu dieser Spitze, die hier ist, (vor der Tafel) gelangen, die einen weiteren Punkt darstellt. Da müssen Sie aus der Tafel herausgehen. Auf diese

Weise ist es möglich, sich eine Anschauung über die Dimensionalität des Raumes zu machen, indem man sich sagt: Für Punkte, die in der ersten Dimension liegen, ist es möglich, durch diese eine Dimension auch zu ihnen zu gelangen. Für Punkte, die in der zweiten Dimension liegen, ist es ~~es~~ auch möglich, zu ihnen zu gelangen. Für Punkte aber, die ausserhalb der einen Dimension liegen, kann man nicht, ohne aus dieser Dimension zu gehen, zu diesen Punkten gelangen; ^{kann man} ebenso/nicht zu Punkten, die in der dritten Dimension liegen, durch ein Durchlaufen der Fläche gelangen.

Was tritt ein, wenn ich rede nur von den Punkten e und f mit Bezug auf die eine Dimension, ^{diese} in der die Punkte a, b, c, d liegen? Denken Sie sich einmal ein Wesen, welches nur in der Lage wäre, eine einzige Dimension zu beobachten, welches keine Vorstellung hätte von einer zweiten und dritten Dimension. Ein solches Wesen würde, gerade so wie Sie im dreidimensionalen Raume sich bewegen, sich nur in der einen Dimension bewegen. In dem Augenblick, wo dieses Wesen den Punkt a mitnimmt (Fig.5) bis hierher (b) und der Punkt dann abweicht und nach e geht, in dem Augenblick würde aus der einen Dimension heraus für dieses Wesen der Inhalt dieses Punktes einfach verschwinden. Er ist nicht da für ein solches Wesen, das nur wahrnehmen könnte in einer solchen Dimension in dem Augenblick, wo er aus der einen Dimension herausgeht. Ebenso sind alle Punkte nicht da für ein Wesen, das nur in den zwei Dimensionen der Fläche wahrnehmen kann, die ausserhalb der beiden Dimensionen der Fläche liegen. Und wenn ein Punkt, der in der Fläche liegt, sich einfallen lässt, aus der Fläche herauszu-^{um} gehen, so würde dieses Wesen kein Mittel haben, ~~in~~ diesen Punkt weiter zu verfolgen. Er würde aus dem Bereich seines Raumes verschwinden. Ein solches Wesen, ein Wesen, das nur wahrnehmen könnte in einer einzigen Dimension, was würde es denn für eine Geometrie haben? Es würde nur eine eindimensionale Geometrie haben. Es würde nur innerhalb der einen Dimension von Entfernungen und dergleichen ^{sind?} in ihren Gesetzen reden können.

Ein Wesen, das nur in zwei Dimensionen wahrnehmen kann, würde nur von dem Gesetz/^{en} der ebenen Figuren sprechen können; würde nur eine zweidimen-

sionale Geometrie haben. Wir Menschen haben eine dreidimensionale Geometrie zunächst. Ein Wesen mit einer eindimensionalen Geometrie hätte gar keine Möglichkeit, irgendwie dasjenige geometrisch zu versinnlichen, was ein Punkt tut, der aus der einen Dimension hinausgeht. Ein Wesen mit einer zweidimensionalen Geometrie hätte keine Möglichkeit, das zu verfolgen, was ein Punkt tut, der aus den zwei Dimensionen herausgeht und nachher da ist (vor der Tafel). Wir Menschen - ich sage es noch einmal - haben eine dreidimensionale Geometrie. Nun denken Sie, wo ich hier genötigt bin, - ich könnte ebenso gut, weil ich es ja eigentlich zu tun habe, wie schon früher gesagt, ~~zix~~ ^{bei} der Ausdehnung des Quecksilbers mit drei Dimensionen, die nur auf eine Dimension reduziert sind - ich könnte, wie ich hier, nur durch die Tafel veranlasst, auf zwei Dimensionen eine Linie gezogen habe, auch so ziehen, dass ich sie auf ein Raumkoordinatensystem bezöge, also dass ich die Figur so ~~zeichne~~ ^{zeichne}, dass ich hier hätte (Fig. 7) eine Abszissen-Achse, eine Ordinat-Achse, und senkrecht eine dritte Achse darauf; ich würde diese Linie ~~als~~ als eine Raumlinie ziehen können. In dem Augenblick, in dem ich ankomme entweder bei dem Schmelzpunkt oder Siedepunkt, in dem Augenblick bin ich nicht in der Lage, irgendwie mit dem Ziehen dieser Linie fortzufahren. (Fig. 7.) Es gäbe, theoretisch ausgedrückt, hypothetisch ausgedrückt, keine Möglichkeit fortzufahren. Nehmen wir einmal an, ich könnte die Sache so machen, ich könnte sagen: das Ansteigen der Temperatur würde durch diese Linie dargestellt, und ich müsste dann, indem irgendwelche Faktoren ~~gleichbleiben~~ ^{gleichbleiben}, anderes hier verändern, von einem anderen Punkte oben, und könnte fortfahren, so würde ich noch einen Anhaltspunkt haben, in meiner Welt zu bleiben. Aber einen solchen Anhaltspunkt habe ich nicht. Denn ich muss einfach, wenn ich diese Temperaturkurve zeichne, von demselben Punkte ausgehen, auf dem die Temperatur steht, ^d nachdem der betreffende Körper geschmolzen oder verdampft ist (~~x~~ x, x in Fig. 8); auf demselben Punkt, auf dem sie angekommen ist, wenn das Schmelzen oder Verdampfen begonnen hat. Sie sehen daraus, dass ich hier mit Schmelzpunkt und Siedepunkt einfach zu etwas genötigt bin,

das sich mit nichts anderem vergleichen lässt, als mit der Lage, in der ein eindimensionales Wesen ist, wenn ihm ein Punkt aus seiner einen Dimension in die zweite Dimension hinaus verschwindet; oder ein zweidimensionales Wesen, wenn ihm ein Punkt in die dritte Dimension verschwindet. Wenn der Punkt wiederum hereinkommt, und von derselben Stelle aus weitergeht, wenn also der Punkt a hierher verschleppt ist (Pfeile in Fig. 5), hinausgeht, und nun gewartet wird, und der Punkt wiederum zurückkommt, so muss ich von derselben Stelle seinen Lauf weiterverfolgen in der einen Dimension drinnen. Rein erscheinungsgemäss gesprochen liegt mir ja nichts anderes vor, wenn mir die Temperatur verschwindet beim Schmelzpunkt und Siedepunkt, als dass meine Temperaturkurve unterbrochen wird und ich sie von demselben Punkte aus nach einiger Zeit fortsetzen muss. Aber dasjenige, was während der Unterbrechung mit der Wärme geschieht, das fällt ebenso aus dem Bereiche heraus, in dem ich meine Kurve ziehe, - und ich sage ausdrücklich, ich kann sie als Raumkurve ziehen, - . Es ist zunächst - ich sage z u n ä c h s t - ^A nalogie vorhanden zwischen diesem Verschwinden des Punktes a aus der ersten in die zweite Dimension hinein, und dem was da geschieht mit der durch das Thermometer angezeigten Wärme, während das Thermometer stillsteht beim Schmelzpunkt und Siedepunkt.

Nun handelt es sich darum, mit dieser Erscheinung eine andere in Zusammenhang zu bringen. Sehen Sie, auf dieses In-Zusammenhangbringen der Erscheinungen kommt nämlich alles an; nicht auf das Ausdenken irgendwelcher Theorien, sondern auf das Zusammenbringen der Erscheinungen, sodass sie sich gegenseitig beleuchten und erklären. Das ist der Unterschied der Goethe'schen Physik von der heute herrschenden, dass die Goethe'sche Physik die Erscheinungen einfach zusammenstellt, damit sie sich gegenseitig beleuchten, während die heutige Physik, wenn sie überhaupt wagt, zu Theorien überzugehen, darauf aus ist, zu den Erscheinungen hinzuzuthetheorisieren, hinzuzuphantasieren. Denn Atome und Moleküle sind ja im Wesentlichen nichts anderes, als zu den Erscheinungen hinzuerfunden, hinzuphantasiert.

So wollen wir denn eine andere Erscheinung mit dieser hier zusammenhalten, mit dem Verschwinden der durch das Thermometer konstatierbaren ^{Wärme} Temperatur während des Schmelzens. Diese andere Erscheinung tritt uns entgegen, wenn wir unsere gestrige Formel ins Auge fassen; wenn wir die Formel ins Auge fassen:

$$V = V_0 (1 + 3 \alpha t + 3 \alpha^2 t^2 + \frac{1}{2} \alpha^3 t^3)$$

Sehen Sie, diese Formel, von der sagte ich gestern, dass Sie ~~sich~~ insbesondere die zwei letzten Glieder ins Auge fassen wollen. Es ist besonders wichtig für uns heute, das t^3 einmal ins Auge zu fassen, die dritte Potenz der Temperatur. Nehmen Sie einmal eine gewöhnliche Raumdimensionalität. Bei dieser gewöhnlichen Raumdimensionalität sprechen Sie, wenn es ein mathematischer Körper ist, von Länge, Breite und Höhe. Das sind ja im Wesentlichen die drei Raumdimensionen. Nun können wir, wenn wir einen Stab erwärmen, wie wir das gestern getan haben, die Ausdehnung dieses Stabes betrachten. Wir können auch die Temperatur dieses Stabes betrachten. Aber wir können eines nicht herbeiführen: Wir können nicht herbeiführen, dass der Stab, während er sich ausdehnt, nicht Wärme in seine Umgebung abgibt, dass er nicht Wärme ausströmt, ausstrahlt. Das können wir nicht verhindern. Wir können unmöglich eine Wärmeausdehnung uns denken - bitte auf das Wort zu achten! - nur nach einer Dimension. Wir können wohl eine reine Raumausdehnung - das tut man ja immer in der Geometrie - nach einer Dimension, nämlich als Linie denken; wir können aber niemals einen Wärmezustand auch nur denken, der sich bloss längs einer Linie ausdehnt. Wir können, wenn wir dies ^ebachten, nicht sagen, dass der Fortgang der Wärme, - als Kurve jetzt gedacht, nicht im Raum - wirklich etwas anderes ist, als ~~Wersinnbildlichen~~ ^v durch diese Kurve, die ich hier aufgezeichnet habe. (Fig.1.) Ich fasse nicht den ganzen Vorgang der Wärme durch diese Kurve ins Auge. Da ist noch irgend etwas anderes im Spiel als dasjenige, was sich durch diese Kurve ins Auge fassen kann. Und das, was da im Spiel ist, das muss ändern die ganze Natur und Wesenheit desjenigen, was ich eigentlich durch diese Kurve abbilde, was ich als

Symbolum gebrauche für die Darstellung des Wärmezustandes, gleichgültig ob ^{ich} sie geometrisch oder arithmetisch fasse.

dass,
Wir haben also das Eigentümliche hier, wenn wir durch unsere landläufigen geometrischen Linien erfassen wollen den Wärmezustand, insofern er durch die ~~Quantität~~ ^{Temperatur} zum Vorschein kommt, ihn nicht voll erfassen können. Das aber hat eine andere Wirkung. Denken Sie sich einmal, Sie haben eine Linie. Diese Linie hat eine bestimmte Länge, l . (Fig. 9.) Sie erheben diese Linie zum Quadrat; so können Sie sich dieses l^2 aufzeichnen durch diese Quadratfläche. Nehmen Sie an, Sie bilden l^3 , so können Sie diese dritte Potenz aufzeichnen durch den Würfel, durch den Raumkörper. Aber nehmen Sie an, ich bilde die vierte Potenz, l^4 , was soll ich denn jetzt tun, wenn ich weiterzeichnen will. Ich kann von der Linie zur Fläche, von der Fläche zum Körper übergehen, aber was kann ich denn jetzt tun, um zur vierten Potenz überzugehen, wenn ich nach derselben Methode weiterrücken will? Ich kann da nichts machen; innerhalb unseres dreidimensionalen Raumes kann ich nichts machen. Das gilt zunächst für mathematische Raumgrößen. Aber wir haben gesehen, dass der Wärmezustand, insofern er durch die Temperatur zur Anschauung kommt, gar nicht ausdrückbar ist durch Raumgrößen. Da ist noch etwas anderes drinnen. Sonst könnte ein Wärmezustand, der längs eines Stabes ist, aufgefasst werden als bloss längs eines Stabes verlaufend. Das ist aber unmöglich. Die Folge davon ist, dass ich ~~nicht~~, wenn ich konsequent zu Werke gehe, nicht in der Lage bin, die Potenzierungen des t in derselben Weise aufzufassen, wie ich die Potenzierung der Raumgrößen auffasse. Ich bin nicht in der Lage, dasselbe zu denken über die Potenzierung des t , wie ich denke über die Potenzierung des l , oder irgend einer anderen blossen Raumgrösse. Und wenn z. B. - ich will das heute zunächst einmal nur hypothetisch behandeln - wenn ich z. B. nur die eine Potenz, die erste Potenz von dem t hätte, und diese nicht ausdrückbar wäre ~~nicht~~ als Linie, so könnte die zweite Potenz t^2 nicht ausdrückbar sein als Fläche. Und schon die dritte Potenz, t^3 , könnte nicht ausdrückbar sein durch eine Raumgrösse. Ich

würde, wie ich bei mathematischen Raumgrößen erst nachdem ich die dritte Potenz gebildet habe, aus dem Raum herauskomme, vielleicht schon auf der zweiten Potenz aus unserem Raum herauskommen, und bei der dritten nicht mehr drinnen sein.

Also denken Sie sich, Sie ^{sich} müssten das t in ganz anderer Natur vorstellen, als Raumgrößen. Sie müssten das gewöhnliche t schon als etwas quadriertes auffassen, als eine zweite Potenz, und Sie müssten das quadrierte t schon als dritte Potenz ~~und~~ auffassen und das kubierte t als vierte Potenz, wobei Sie aus unserem gewöhnlichen Raum herauskommen. Denken Sie, dann würde diese Formel ein ganz besonderes Gesicht bekommen. ~~Wirklich~~ das letzte Glied. Denn würde ~~mir das nicht~~, das in diesem Raum drinnen ist, mich zwingen, aus dem dreidimensionalen Raum herauszugehen. Ich würde dann, indem ich einfach rechne, genötigt sein, mit dem ~~nicht~~ letzten Glied meiner Formel aus dem dreidimensionalen Raum herauszurücken. Das habe ich jetzt rein hypothetisch, also als Möglichkeit, wie man das ja tut bei mathematischen ^{Formeln} Figuren.

Nicht wahr, wenn Sie ein Dreieck betrachten und konstatieren, ^{das} ~~das~~ Dreieck drei Winkel hat, so haben Sie zunächst ein gedachtes Dreieck. Weil das Denken zu bequem ist, ~~wirklich~~ dass Sie es sich versinnlichen, zeichnen Sie es sich auf; aber die Zeichnung hat damit nichts zu tun. Sie haben gegeben: die Summe der Winkel ist 180° , oder in einem rechtwinkligen Dreieck ist das Quadrat über der Hypothenuse = der Summe der ^{Quadrate} Katheten. Das ist etwas, was man zunächst eben behandelt, wie ich jetzt ^{den beiden} das t in seiner Potenz behandelt habe.

Jetzt gehen wir zurück und sehen uns dasjenige an, was wir als Erscheinung konstatiert haben. So macht man es ja in der Geometrie. Überhaupt, wenn ich an einer Brücke oder sonstwo nötig habe, ein Dreieck zu beobachten, so verifiziert sich das, was ich am abstrakten Dreieck gedacht habe. Was ich am abstrakten t gedacht habe, das hat zunächst (wir wollen der Wirklichkeit immer näher auf den Leib rücken, aber schrittweise), das hat zunächst gewisse Ähnlichkeit mit dem, was dargestellt ist beim

Schmelzen und Verdampfen. Das Schmelzen und Verdampfen war ich nicht imstande, in die drei Raumdimensionen hineinzukriegen. Die kann ich nur hereinkriegen, indem ich aufhöre, die Kurve zu ziehen, und wiederum sie dann fortsetze. Wenn nun die Voraussetzungen zutreffen, die ich vorhin vor Ihnen machte, dann wäre ich auch genötigt, bei der dritten Potenz, bei dem Kubus der Temperatur, aus dem dreidimensionalen Raum hinauszugehen.

Sehen Sie, da habe ich Ihnen einen Weg gezeigt, der in einer gewissen Weise eingeschlagen werden muss, wenn man versuchen will, die Erscheinungen, die sich ~~kek~~ dem Wärmewesen gegenüber zeigen, einfach zusammenzustellen, um durch diese Zusammenstellung etwas ähnliches zu gewinnen, wie im vorhergehenden Kursus für die Betrachtung des Lichtwesens.

Von ganz anderen Voraussetzungen ist der Physiker Crookes ausgegangen. Und merkwürdig ist, dass er immerhin durch seine Erwägungen zu einem ähnlichen Resultat gekommen ist wie das, was wir jetzt bloss hypothetisch hingestellt haben, dessen Wirklichkeit wir dann zu Leibe rücken werden in den nächsten Betrachtungen. Auch er kommt dazu, die Veränderungen der Temperatur überhaupt als etwas zu betrachten, was zu tun hat mit einer Art vierten Dimension des Raumes. Es ist heute wichtig, auf diese Sache hinzuweisen, aus dem Grunde, weil ja die Relativisten, Einstein an der Spitze, vor allen Dingen, indem sie über die drei Dimensionen des Raumes hinausgehen, sich genötigt sehen, zur Zeit überzugehen, und diese als vierte Dimension zu bezeichnen, sodass man in den Einstein'schen Formeln überhaupt als vierte Dimension die Zeit bezeichnet findet. Während Crookes sich genötigt fand, als die vierte Dimension die Ab- oder Zunahme des Wärmezustandes anzusehen. Das als eine historische Einschlebung.

Zu diesen Erscheinungen bitte ich Sie jetzt dasjenige zu nehmen, was ich auch früher erwähnt habe. Ich habe gesagt: Einen gewöhnlichen festen Körper kann ich hinlegen, er wird seine Form behalten (Fig. 2.);

das heisst, er hat einen bestimmten Umriss. Einen flüssigen Körper muss ich in ein Gefäss hineinlaufen lassen (Fig. 3.). Er bildet immer eine Niveaufläche und nimmt im übrigen die Form des Gefässes an. So ist es nicht beim gas-oder dampfförmigen Körper; der dehnt sich nach allen Seiten aus; ich muss, um ihn zu begrenzen, ihn in^{ein} allseitig geschlossenes Gefäss einfassen. (Fig. 4.) Dieses allseitig geschlossene Gefäss gibt ihm seine Form. Sodass ich bei einem Gas eine Form nur habe, wenn ich das Gas einschliesse in ein allseitig geschlossenes Gefäss.

Wenn ich einen festen Körper habe, so hat er seine Form eben dadurch, dass er ein fester Körper^{ist}. Er hat sie gewissermassen von selbst. Ich lasse die Flüssigkeit als Zwischenzustand jetzt aus, und will als die Gegensätze den ~~flüssigen~~ festen und den gasförmigen Körper beschreiben. Der feste Körper versorgt sich gewissermassen selbst mit dem, was ich beim gasförmigen zufügen muss, die Wendung von allen Seiten.

Nun tritt aber beim Gas etwas besonderes auf: Wenn Sie ein Gas, statt dass Sie es da drinnen haben, in ein kleineres Gefäss einschliessen (Fig. 10), dieselbe Gasmenge, dadurch dass Sie von allen Seiten die Wand zusammendrücken, so müssen Sie eben drücken. Sie müssen Druck ausüben. Das heisst nichts anderes als: Sie müssen den Druck des Gases überwinden; Sie haben es zu tun an den Wänden, die die Formung bilden, mit einem Druck. Wir können also sagen: ein Gas, welches das Bestreben hat, nach allen Seiten davonzulaufen, das wird durch den Widerstand der Wände zusammengehalten. Dieser Widerstand ist von selbst da, indem ich einen festen Körper habe. Sodass ich, indem ich garnichts theoretisiere, sondern einfach den ganz gewöhnlichen Tatbestand ins Auge fasse, einen polarischen Gegensatz von Gas und festem Körper so definieren kann, dass ich sage: Dasjenige, was ich von aussen hinzufügen muss beim Gas, ist beim festen Körper von selber da. Aber nun können Sie, indem Sie das Gas abkühlen, zurückgehend wiederum zum Siedepunkt, aus dem ~~festen~~ Dampf die Flüssigkeit gewinnen; indem Sie weiter abkühlend zurückgehen bis zum Schmelzpunkt, können Sie aus der Flüssigkeit wiederum die festen Körper

gewinnen. Das heisst, Sie können einfach durch Vorgänge, die zusammenhängen mit dem Wärmewesen, das hervorrufen, dass Sie nicht mehr nötig haben, von aussen die Formung zu bilden, sondern dass die Formung sich von innen von selbst bildet. Da ich nichts anderes getan habe, als den Wärmezustand verändert, so ist es ja selbstverständlich, dass diese Formung irgendwie mit der Änderung des Wärmezustandes zusammenhängt. Beim festen Körper ist etwas da, was beim gasförmigen Körper noch nicht da war. Wenn wir dem festen Körper entgegenhalten irgendeine Wand, drückt der feste Körper auf diese Wand zunächst nicht, wenn wir nicht selber andrücken. Wenn wir dem Gas entgegenhalten eine feste Wand, drückt das Gas immer auf die feste Wand. Sie sehen, wir kommen da zu dem Begriff des Druckes, und müssen dieses Entstehen des Druckes in Zusammenhang bringen wiederum mit dem Wärmezustand. Wir müssen also sagen: es muss aufgesucht werden eine bestimmte Beziehung zwischen der Formung des festen Körpers, zwischen dem allseitigen Zerfliessen des Gases und dem Entgegenwirken durch den Wändedruck. Wenn wir diese Beziehungen aufsuchen, können wir hoffen, in das Wesen des Zusammenhanges zwischen der Wärme und dem Körpern wirklich einzudringen.

† † † † † † †

Fig. 1.)

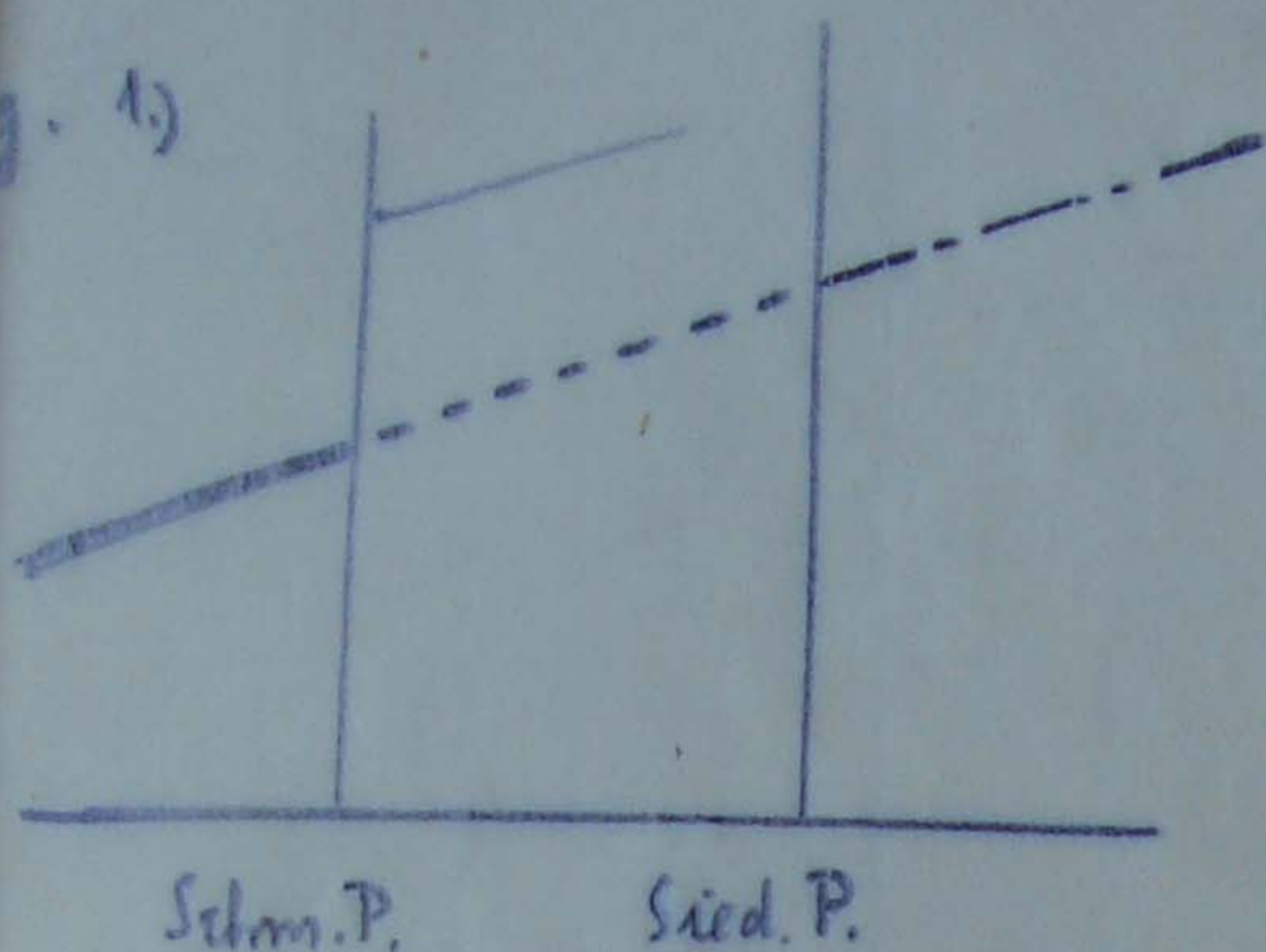


Fig. 2.)

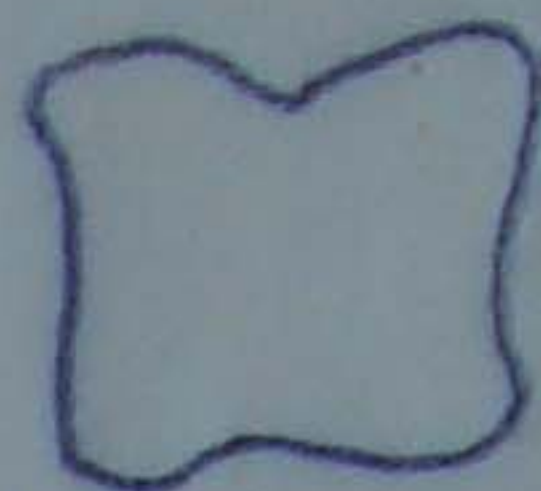


Fig. 3.)



Fig. 4.)



Fig. 5.)

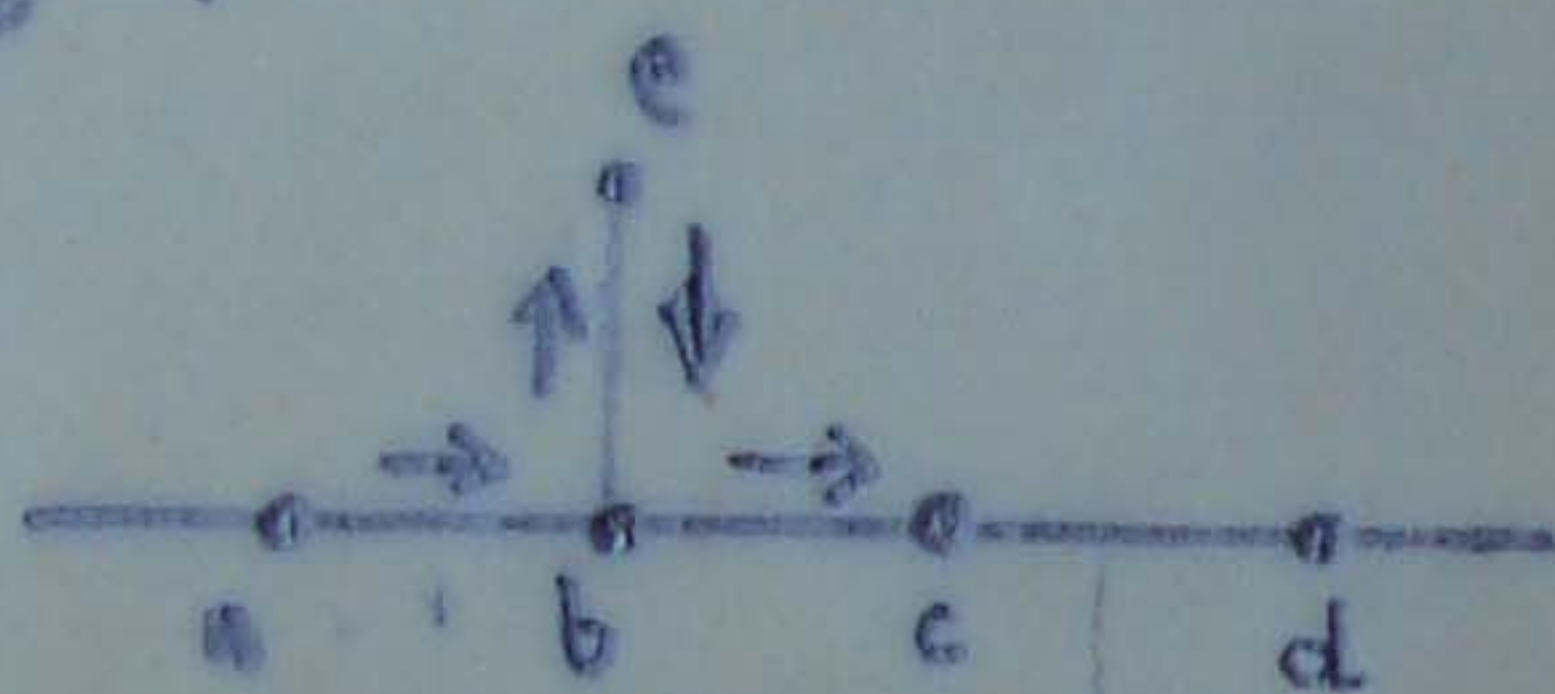


Fig. 6.)

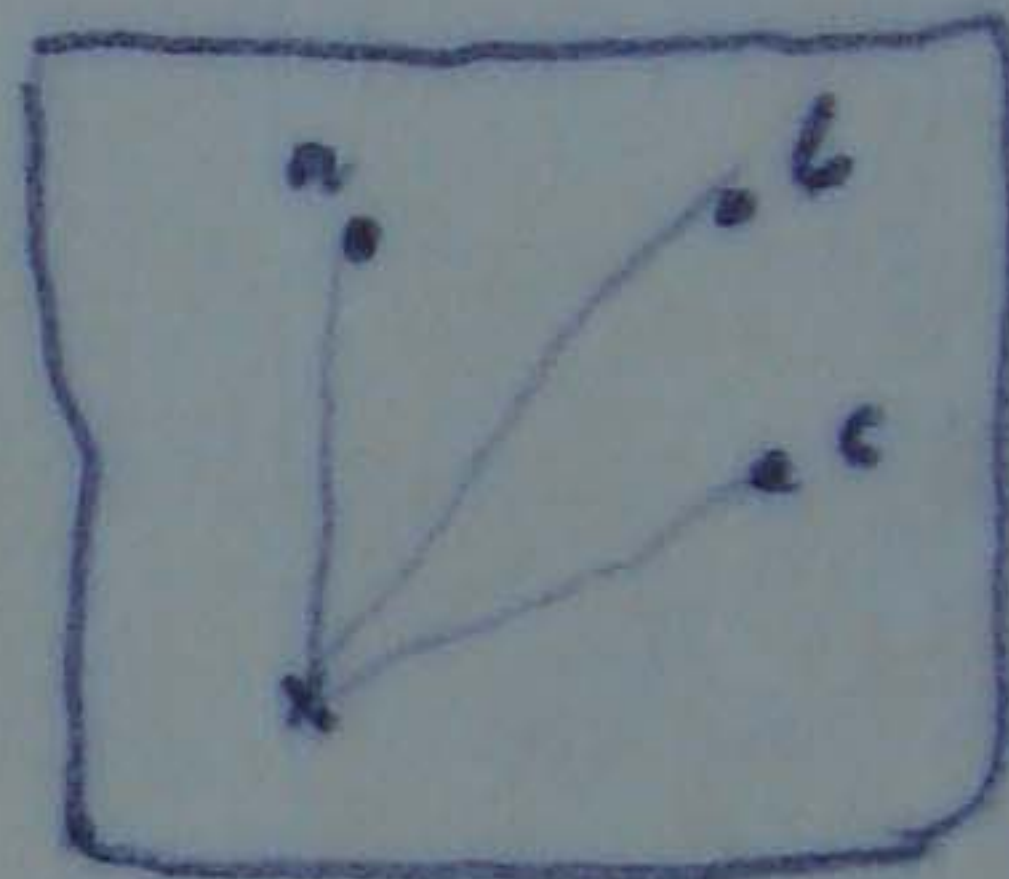


Fig. 7.)

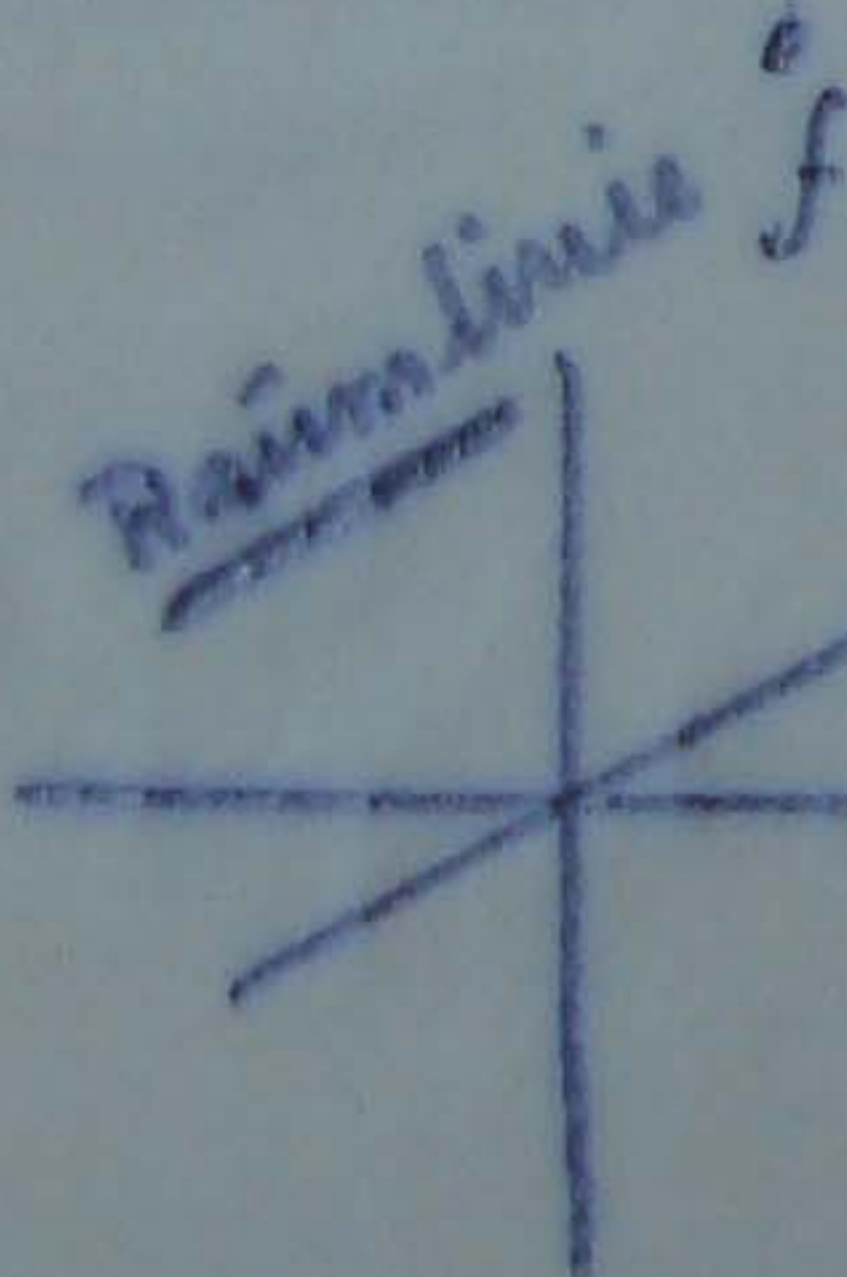


Fig. 8.)

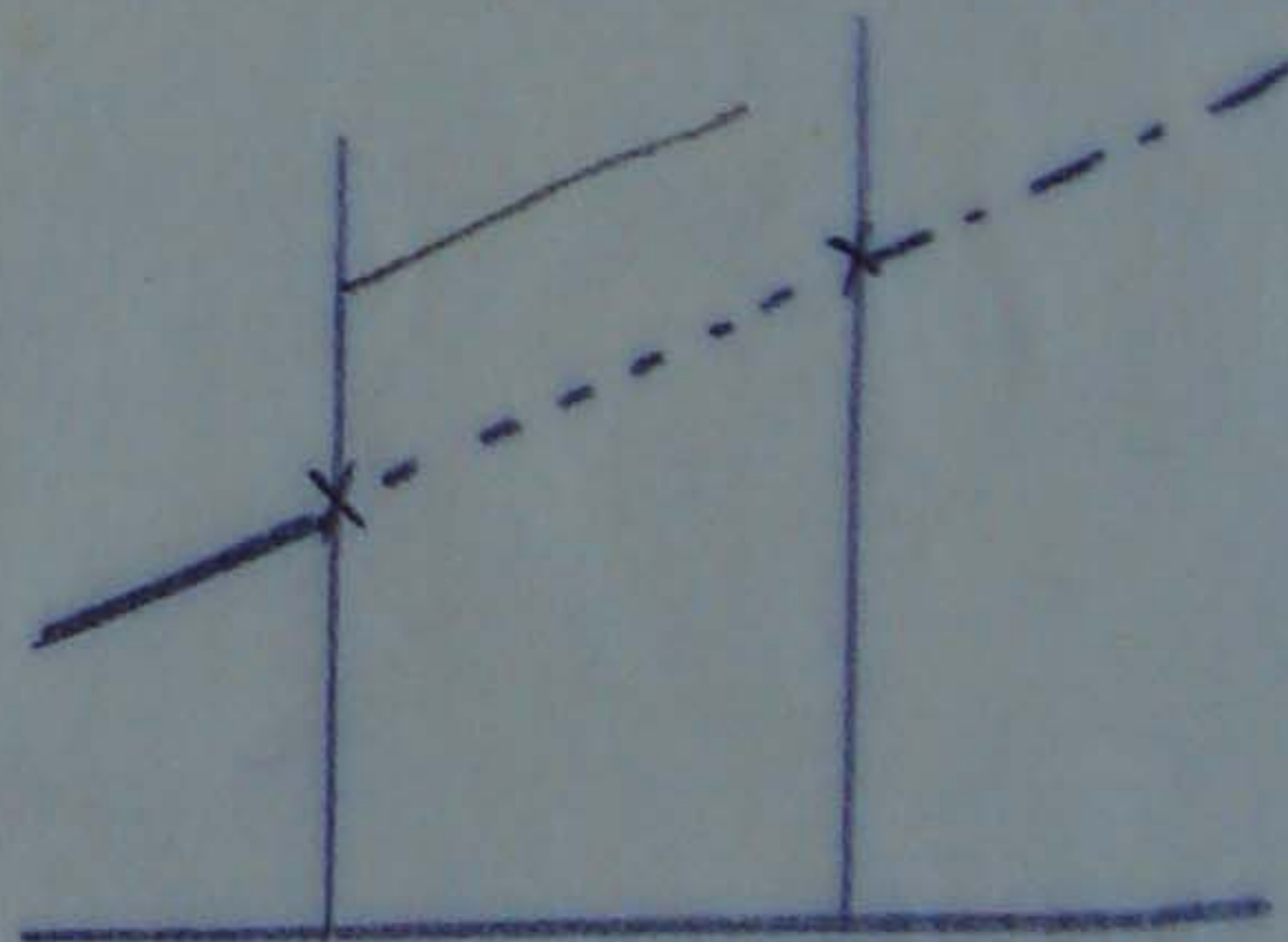


Fig. 9.)

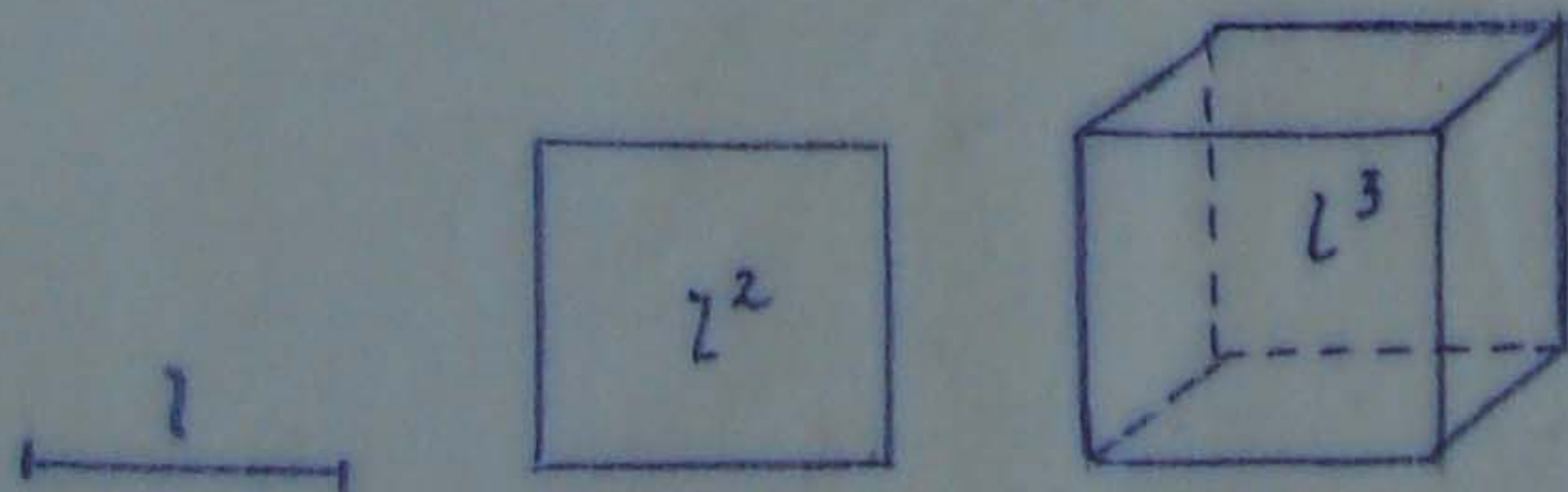


Fig. 10.)

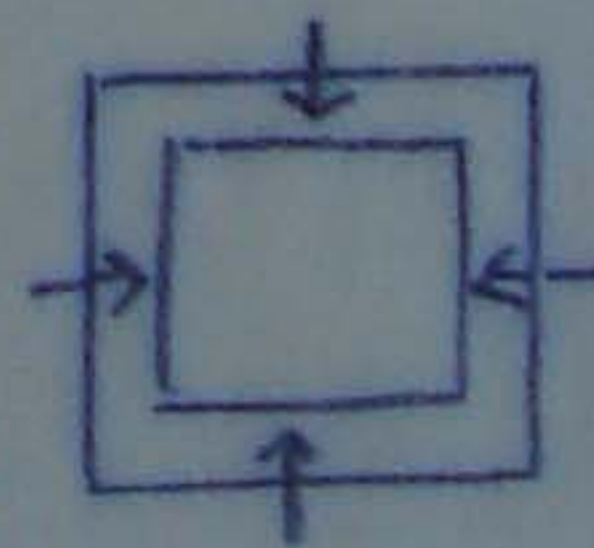


Fig. 1.)

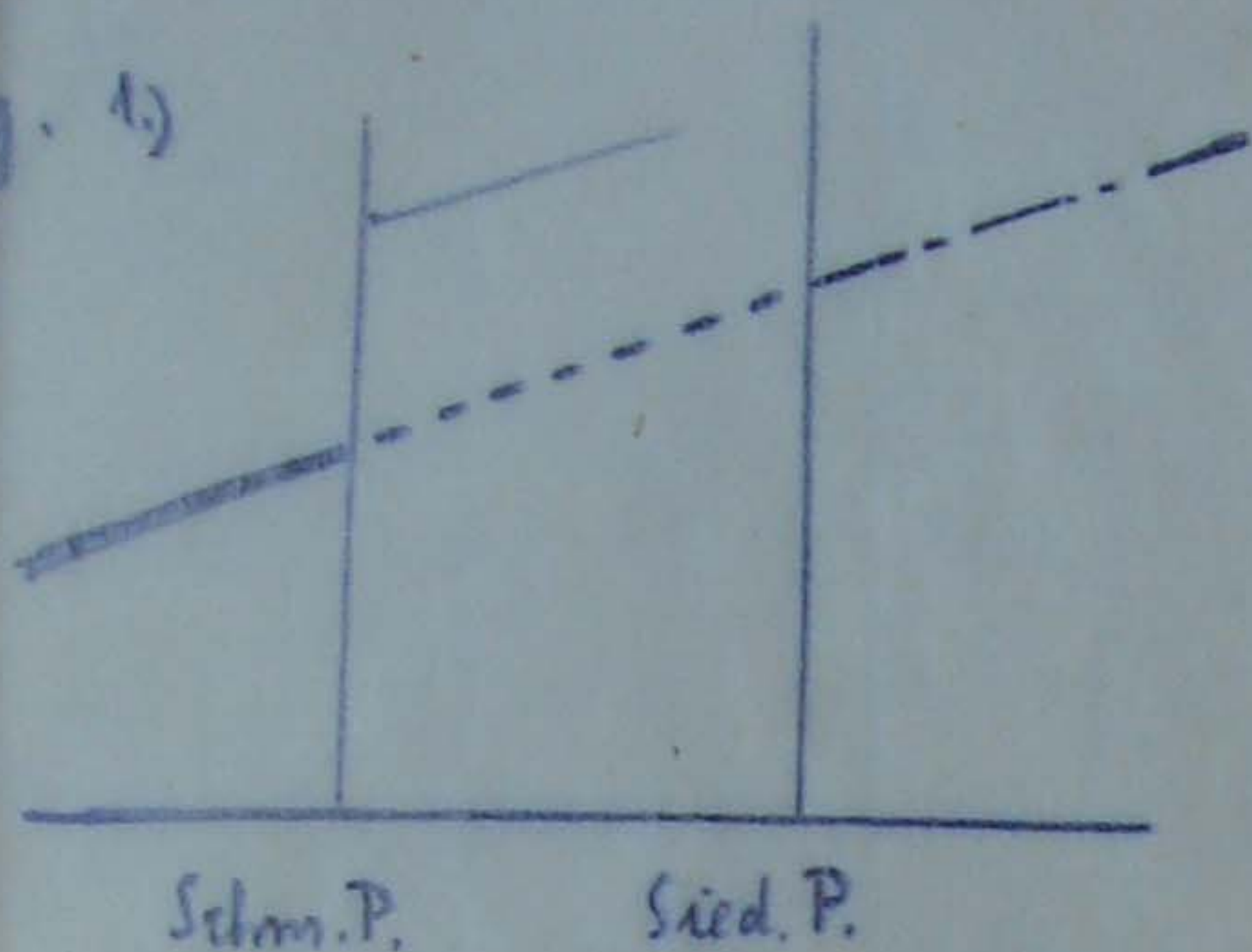


Fig. 2.)



Fig. 3.)

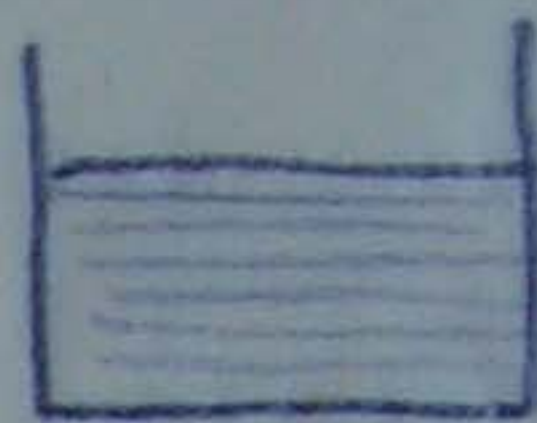


Fig. 4.)

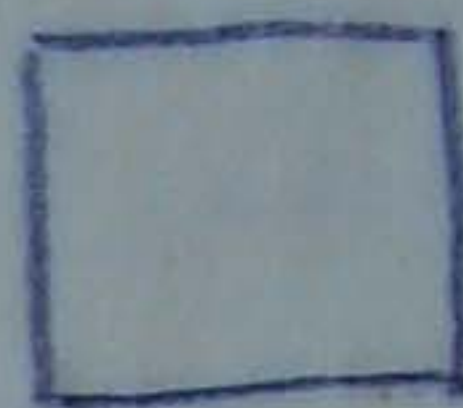


Fig. 5.)

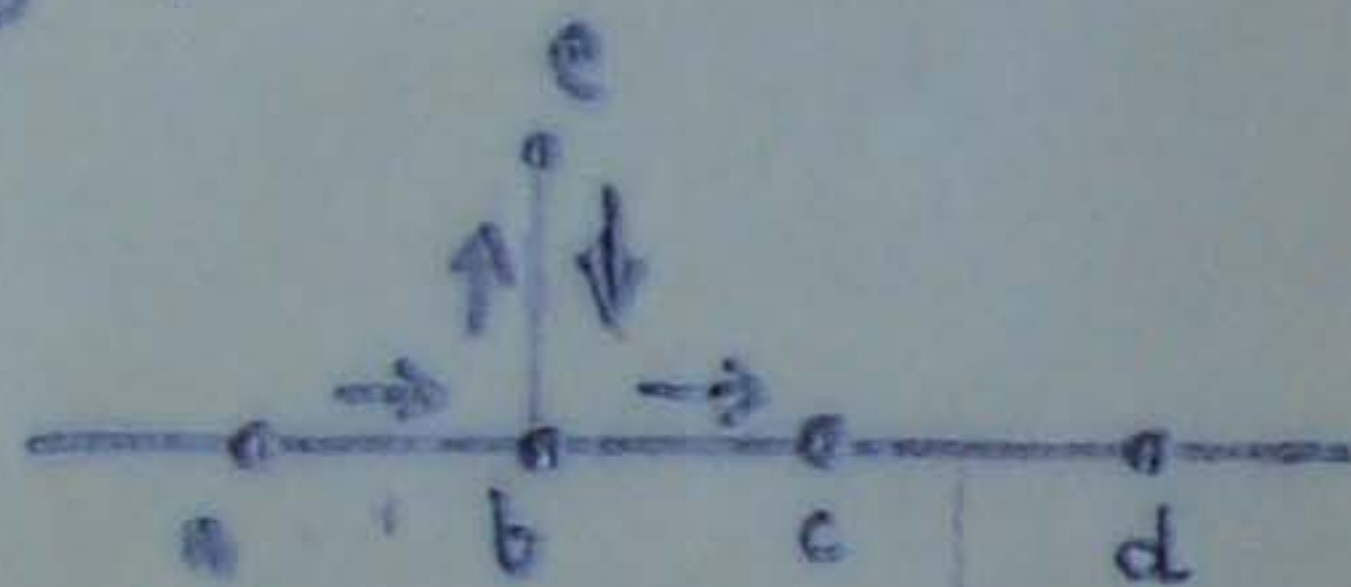


Fig. 6.)

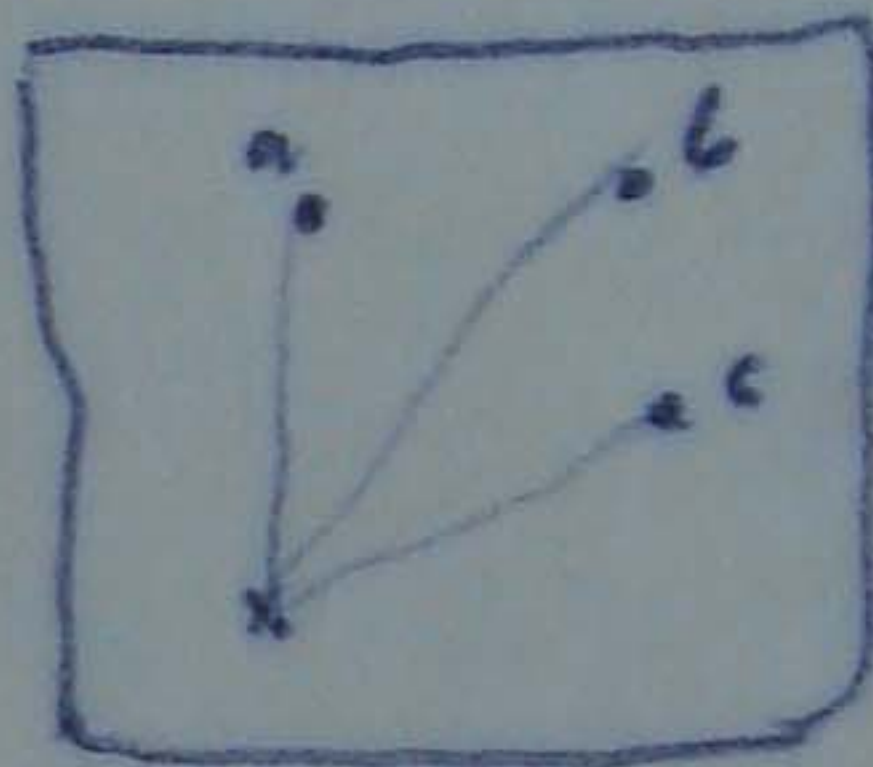


Fig. 7.)

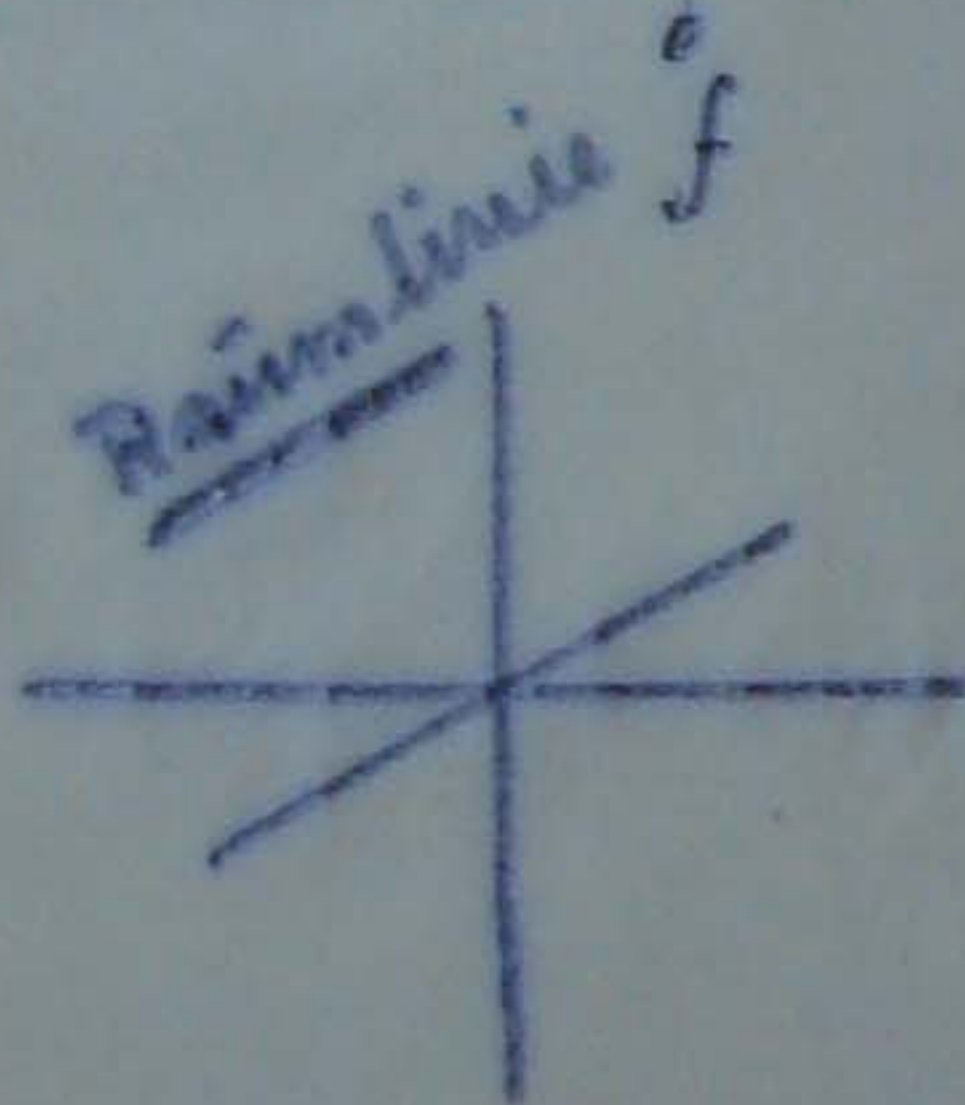


Fig. 8.)

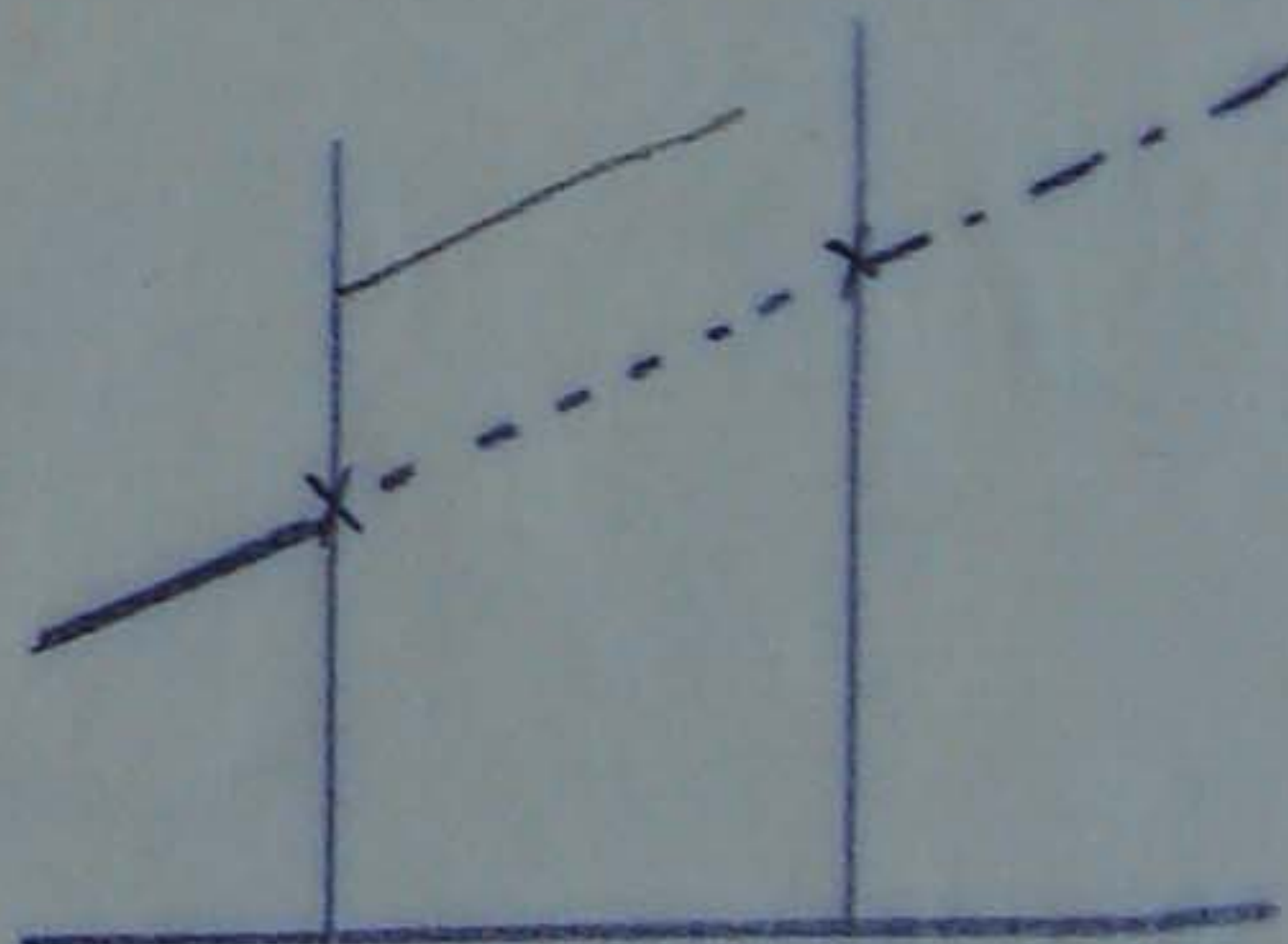


Fig. 9.)

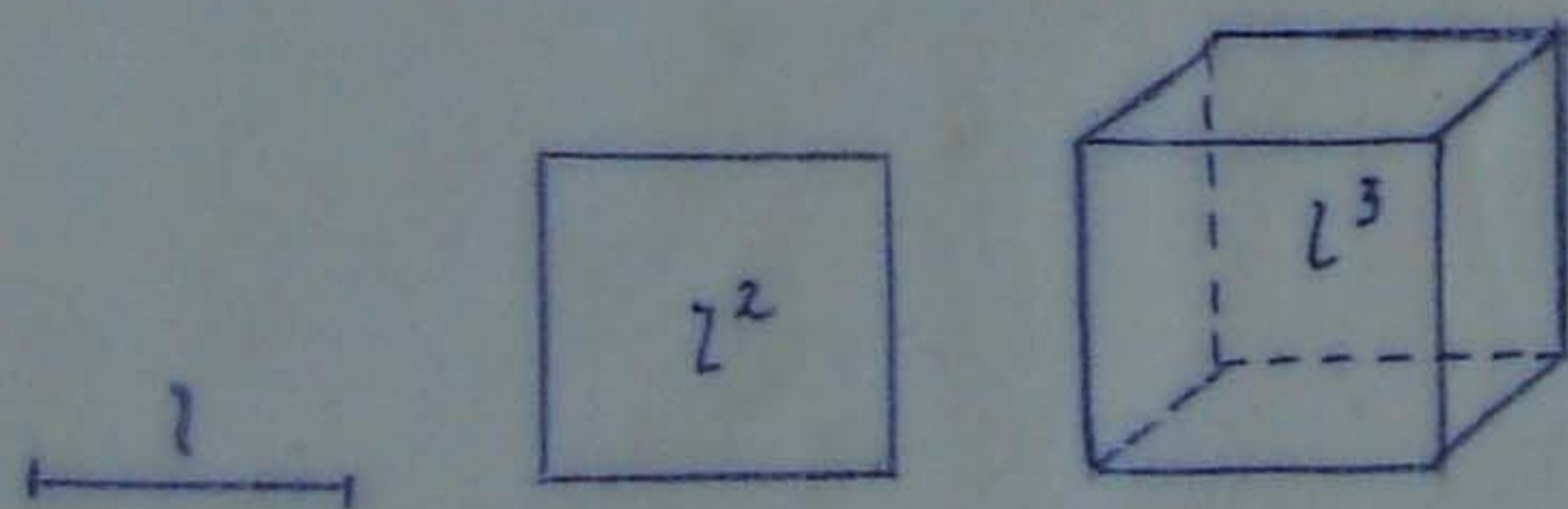


Fig. 10.)

