

Über
das Wachstum der Kristalle.

Von
Dozent Dr. St. Meyer.

Vortrag, gehalten den 7. Jänner 1903.

(Mit Experimenten.)

Mit 7 Tafeln.



Sehr geehrte Versammlung!

Unter diejenigen Fragen, welche seit jeher am tiefsten in das menschliche Gedankenleben eingegriffen haben, gehört die nach dem Werden und Vergehen aller Körperwelt. Sie ist der Ursprung aller Religionen, sie gehört zu den Endzielen aller Naturwissenschaft. Viele mögen wohl überhaupt daran verzweifeln, daß diese Rätsel jemals gelöst werden können, manche die ganze Fragestellung für unberechtigt halten. Wie dem auch sei, es liegt nahe zu glauben, daß die Beobachtungen an Wachstum und Verfall, das Studium der Weiterentwicklung und der Veränderungen an den schon vorhandenen Individuen uns auch dem Verständnisse der ersten Frage näher zu bringen vermöchten, und die moderne rasche Entwicklung aller biologischen Disziplinen zeigt deutlich das zunehmende Interesse an diesen Problemen.

Dauerndes Wachstum findet stets nur unter Nahrungsaufnahme aus der Umgebung statt. Alles Getier, auch der Mensch, nährt sich dabei hauptsächlich unter Aufnahme organischen und bereits organisierten Materiales, von Pflanzen oder anderen Tieren. Die Pflanzen nehmen ihre Nahrung hingegen direkt aus Luft, Wasser und Erde in Form anorganischer Stoffe auf und verwandeln

sie in sich zu organisierten Zellen. Hier liegt eines der bedeutsamsten Grundrätsel der Biologie.

Aber auch die sogenannten anorganischen Körper, speziell in ihrer Form als Kristalle sind imstande, wenn man ihnen entsprechende Nahrung gibt, zu wachsen, indem sie gleichartige Teilchen ihren festen Formen in gesetzmäßiger Weise angliedern, und wir können unter geeigneten Umständen es direkt beobachtend verfolgen, wie aus kleinsten Anfängen sich allmählich ein großer Kristall bildet. Wie aber aus dem ungeformten Materiale zum erstenmale der kleinste regelmäßig begrenzte Körper entsteht, das zu sehen, ist bisher noch in keiner Weise gelungen, auch nicht unter Anwendung der stärksten Vergrößerungen und indem man das Auge durch photographische Platten ersetzt. In dieser ersten Formgewinnung liegt ein weiteres Grundrätsel aller Entwicklung.

Man darf annehmen, daß die Frage nach dem Wachstume der Kristalle unter den erwähnten die relativ einfachste sei, und man könnte vermuten, daß ihr Studium besonders intensiv gepflegt und eine große Fülle von Tatsachen erkannt worden sein müsse. In Wirklichkeit ist aber leider unser Wissen von den hier in Betracht kommenden Vorgängen noch ein recht lückenhaftes und man kann es wagen, den Stand unserer diesbezüglichen Kenntnisse, ohne auf Details einzugehen, in einem kurzen Vortrage zu skizzieren.

Kristalle entstehen aus Dämpfen, Flüssigkeiten und festen Körpern. Ein schönes Beispiel für den ersten Fall bieten die gelben Schwefelkriställchen und Nadeln,

wie sie in der Nähe von Vulkanen, in der Solfatara bei Neapel und an vielen anderen Orten sich in der Natur aus den aufsteigenden Schwefeldämpfen niederschlagen.

Bei Flüssigkeiten haben wir Schmelzen und Lösungen zu unterscheiden. Für die ersteren brauche ich Sie nur an die wundervollen Eiskristalle zu erinnern, die jeder schon Gelegenheit gehabt hat, im Winter aus dem Wasser ausfrieren zu sehen. Ein anderes etwas ungewöhnlicheres Beispiel will ich Ihnen am Antimon vorführen. Schmilzt man nämlich ein kleines Stückchen dieses Metalles vor der Gebläseflamme in einem Stück Holzkohle und gießt dann den geschmolzenen Tropfen über einem flachen Zeichenpapier aus, so zerfällt er in eine größere Zahl von Tröpfchen, die aber nicht in geraden, sondern in gekrümmten Bahnen auseinanderlaufen, und diese Bahnen, da die Kügelchen recht heiß sind, in Form von Brandspuren auf dem Papier hinterlassen. Betrachtet man dann die abgekühlten Tröpfchen, so sieht man, daß sie wie kleine Igel aussehen, indem sie völlig mit spitzen grauen Nadelchen bedeckt sind. Diese bei der Abkühlung hervorschießenden Kriställchen sind es auch offenbar, welche die Rotationen der Kügelchen und damit die gekrümmten Bahnen hervorrufen.

Bei Lösungen genügt es, Sie z. B. an die Salzgewinnung aus Solen zu erinnern; wer einmal an einer Meeresküste war, wird sich übrigens gewiß auch an die glitzernden Salzwürfelchen erinnern, die, wenn die Sonne scheint, zur Ebbezeit auf den Felsen und Steinen des Ufers zurückbleiben und die einfachste Salzgewinnung

lehren. In weitaus den zahlreichsten Fällen sind die Lösungen, die wir zu betrachten Gelegenheit haben, wässerige wie hier, aber Wasser ist durchaus nicht das einzige Lösungsmittel; auch Alkohol, Äther, Benzol und viele andere Flüssigkeiten sind imstande, feste Körper aufzulösen und unter geeigneten Umständen wieder in Kristallform abzuscheiden. Auch das Quecksilber ist z. B. ein solches Lösungsmittel für andere Metalle, wie dies vielleicht schon mancher, der unachtsam mit einem goldenen Ringe in der Nähe desselben hantierte, unliebsam bemerken konnte, oder wie dies jeder weiß, der eine Amalgamplombe in seinen Zähnen hat. Nicht so ganz allgemein bekannt ist es aber, daß man aus solchen Quecksilberlösungen oder Amalgamen auch die gelösten Körper oder Metallverbindungen mit Quecksilber in Kristallform wiedererhalten kann. Ich zeige Ihnen hier ein Kupferamalgam, das schon etwa ein Jahr lang ruhig steht und in dieser Zeit ganz fest geworden ist und an dessen Oberfläche man deutliche kristallinische Struktur sehen kann. Es ist hier eine Kupfer-Quecksilberverbindung auskristallisiert und hält das übrige Quecksilber-Lösungsmittel in seinem Kristallgefüge fest. Verreibe ich dieses Amalgam, so sehen Sie, wie es allmählich wieder flüssig wird, indem die Kriställchen zerstört und wieder im Quecksilber gelöst werden.

Damit gewinnen wir auch den Übergang zu den sogenannten festen Lösungen. Ganz analog wie die Amalgame verhalten sich nämlich auch die Bronzen und Legierungen und z. B. bei unseren Bronzegeschützen hat

man manchmal Gelegenheit, sehr schöne kristallinische Zinnabscheidungen sehen zu können. Diese Legierungen verhalten sich daher ähnlich wie Lösungen und, dies hat die Veranlassung zu obigem anfangs überraschend klingenden Namen der festen Lösungen gegeben.

Aber auch sonst können aus gestaltlosen festen Körpern sich unter Umständen Kristalle bilden, wie dies z. B. bei amorphem Schwefel der Fall ist, wenn er mit Schwefelkristallen in Berührung gebracht wird.

Die Kristalle entstehen im allgemeinen in der Umgebung ihres gesättigten Lösungsmittels oder von indifferenten Gasen, Flüssigkeiten oder festen Körpern. Daß auch, wenn eine Flüssigkeit auskristallisiert, dies nicht gerade in der gewöhnlichen Umgebung stattfinden muß, zeige ich Ihnen hier an einigen photographischen Platten, die ich ausfixiert und gewaschen hatte und deren reine Gelatineschicht, z. B. mit Ammoniumbichromat- oder mit Salmiaklösung getränkt wurde. Es haben sich, von der Gelatine ungehindert, beim Auftrocknen die Kristalle ausgebildet und Sie haben nunmehr innerhalb der Gelatine sehr schöne, ganz trockene Kristallgebilde vor sich, die sich in ihrer herrlichen Zeichnung und Färbung so gut wie manches Glasgemälde als Fensterschmuck oder in ähnlicher Weise verwenden ließen (Taf. I und II).

Die Bildung von Kristallen ist an eine Temperaturgrenze gebunden, oberhalb welcher der feste Zustand der betreffenden Materie nicht bestehen kann. Unterhalb dieser Grenze, also z. B. unter dem Schmelzpunkte der Substanz, können nun Kristalle sich wohl bilden, es muß

dies jedoch nicht immer sofort eintreten, die Materie kann auch flüssig bleiben und wir haben dann eine sogenannte unterkühlte Flüssigkeit vor uns. So zeige ich Ihnen hier flüssiges Fixiernatron in mehreren Gefäßen. Sein normaler Erstarrungspunkt liegt bei ungefähr 45° Celsius, ich habe dasselbe schon vor mehreren Tagen geschmolzen und es hat jetzt sicher die Zimmertemperatur von etwa 20° , ist also um rund 25° unterkühlt. Trotzdem bleibt es flüssig, und zwar ins solange ich es nicht durch einen geeigneten Reiz dazu bringe, diese nicht stabile Form aufzugeben und auszukristallisieren. Gieße ich einige Tropfen auf eine Glasplatte, die ich mittels eines Horizontalprojektors auf einen Schirm projizieren kann, so sehen Sie, kann ich mit einem reinen ausgeglühten Platindraht darin herumrühren, ohne daß etwas geschieht. Bringe ich aber einen kleinen Kristall oder auch nur den Platindraht, der mit Kristallen in Berührung war und kaum nachweisliche Spuren festen Materiales an sich haften hat, mit der Flüssigkeit in Kontakt, so sehen Sie sich nunmehr allenthalben die Kristalle ausbilden und der ganze Tropfen erstarrt.

Die Flüssigkeit ist gleichsam mit einer Spur des Kristalles geimpft worden und es liegt die Frage nahe, wie groß denn die Menge gewählt werden muß, oder wie klein sie sein darf, damit noch eine solche Impfwirkung eintritt. Eine entsprechende Untersuchung hat W. Ostwald angestellt. Er verrieb nach Art der Homöopathen die wirksame Substanz mit einer indifferenten wie Quarzsand, und zwar zunächst 1 Gramm (*g*) mit 9 *g* Sand, dann

nahm er 1 g dieser ersten Verreibung und mischte sie abermals mit 9 g Quarzsand und so verfuhr er immer weiter bis zu sehr großen Verdünnungen und da zeigte es sich denn, daß er im allgemeinen bis zu außerordentlich beträchtlichen Verdünnungen herabgehen konnte, ehe die Infektionswirkung aufhörte. Für unser Fixiernatron stellte er so als Grenze derjenigen Menge, welche in der unterkühlten Flüssigkeit als Kristallkeim genügte, ein Milliontel eines Milligramms fest, das ist eine Quantität, die in keiner anderen Weise überhaupt mehr nachweisbar ist. Noch weitergehende Verreibungen versagten in ihrer Wirkung, es trat keine Kristallisation mehr ein, man hat es also mit einer ganz bestimmten Grenze für die Kristallkeimerregung zu tun und diese Grenze ist auffallenderweise für die meisten von Ostwald untersuchten Substanzen nahe dieselbe.

Es drängt sich hier gleich eine weitere Frage auf, nämlich die nach der Geschwindigkeit, mit welcher die Kristallisation fortschreitet, wenn sie einmal, z. B. in einem gleichmäßig gefüllten Glasrohr, wie ich es jetzt vorzeige, eingeleitet ist. Impft man nämlich an einer Seite, so sieht man die Kristallisation ganz kontinuierlich von dem einen Ende gegen das andere fortschreiten. Tumlirz, Tamann, Küster und andere haben sich eingehend mit diesem Probleme beschäftigt und gefunden, daß die Kristallisationsgeschwindigkeit in gleichen Röhren für jede bestimmte Substanz eine konstante, charakteristische Größe ist, welche unterhalb einer gewissen Temperatur auch unabhängig von der Unterkühlung wird. Hingegen ist sie in sehr merklicher Weise von Ver-

unreinigungen der Substanz abhängig, aber auch dies in gesetzmäßiger Weise. So hat E. v. Pickardt kürzlich gezeigt, daß die Kristallisationsgeschwindigkeit durch Zusatz von Fremdstoffen in ähnlicher Weise vermindert wird, wie der Gefrierpunkt von Flüssigkeiten durch die Menge des gelösten Stoffes herabgesetzt wird, von welcher letzterer Eigentümlichkeit Sie im Salzstreuen auf die Tramwayschienen bei Frostwetter ein praktisches Beispiel kennen. Äquivalente Mengen von Beimischungen, das sind Mengen in denjenigen Gewichtsverhältnissen, in welchen sie in chemische Verbindungen eingehen, vermindern die Kristallisationsgeschwindigkeit um gleich viel.

Ganz analog wie unterkühlte Flüssigkeiten verhalten sich übersättigte Lösungen.

Hat man nun den fertigen Kristall vor sich, so fallen zunächst die ebenen Begrenzungsflächen, die regelmäßige Anordnung von Spitzen und Kanten u. s. w. auf, ich brauche mich aber auf die Besprechung dieser Eigenschaften nicht einzulassen, da Prof. F. Becke in seinem Vortrag vom 3. März 1897 in anschaulichster Weise in diesem Vereine den ganzen Formenschatz besprochen und gezeigt hat, wie man gedanklich und faktisch eine Form in andere verwandte verwandeln kann. Hingegen möchte ich ganz kurz auf einige physikalische Besonderheiten der Kristalle hinweisen.

Versucht man z. B., ein Stück Steinsalz zu spalten, so sehen Sie, springen lauter Stücke ab, die wieder rechtwinklig aneinanderstoßende Begrenzungsflächen haben

wie das große Stück, und ähnlich verhält es sich bei allen Kristallen, überall treten ganz charakteristische Spaltflächen auf, die mit möglichen äußeren Begrenzungsflächen parallel verlaufen. Die Kristalle sind also in ihrem Inneren nicht homogen wie im allgemeinen die Flüssigkeiten, sondern bevorzugen für viele Eigenschaften verschiedene vorbestimmte Richtungen. Dies zeigt sich unter anderem auch bei der Auflösung. Bringen wir eine aus einem Kristall herausgeschliffene Kugel in geeigneter Weise in ein Lösungsmittel, so erhalten wir bald keine Kugel mehr, sondern einen von ebenen Flächenstücken begrenzten Körper, indem, ganz den Spaltflächen entsprechend, einzelne Partien sich rascher auflösen als andere. Stellen wir künstlich aus einem löslichen Kristall ein ebenes Schliffstück her und lassen auf denselben Punkt kontinuierlich einen Wasserstrahl auftreffen, so schreitet die Lösung nur dann in konzentrischen Ringen fort, wenn zufällig die Kristallrichtungen an dem betreffenden Exemplar gleichwertig sind wie z. B. bei der Oberfläche eines natürlichen Stückes Steinsalz, im allgemeinen aber werden sich Ellipsen oder noch kompliziertere Lösungsfiguren herstellen.

Ähnlich liegen die Dinge für die Wärmeleitung. Erwärmt man z. B. eine mit einer dünnen Schicht von Paraffin überzogene Glimmerplatte an einem Punkte durch Aufsetzen des Endes eines heißen Kupferdrahtes, so schmilzt das Paraffin in der Umgebung dieses Punktes allmählich und die Begrenzungslinien sind Ellipsen, da die Wärmeleitung nach verschiedenen Richtungen eine

verschiedene ist. Ebenso ist in vielen Kristallen das magnetische, elektrische und optische Verhalten von den einzelnen Richtungen abhängig.

Da speziell das letztere in neuerer Zeit für die Definition der Kristalle herangezogen worden ist, will ich Ihnen einige diesbezügliche Erscheinungen vorführen.

Wir stellen uns bekanntlich das Licht als eine Zitterbewegung des Weltäthers vor, die senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Strahles stattfindet. Zwingen wir durch besondere Vorrichtungen wie ein Nicholsches Prisma das Licht, in einer einzigen bestimmten Ebene diese Zitterbewegungen oder Schwingungen auszuführen, so nennen wir es polarisiert. Bringe ich nun in einen Lichtstrahl zwei Nicholsche Prismen in genau gleicher Stellung voreinander, so kann ich auf der Wand einen hellen Fleck projizieren, weil das zweite das in einer bestimmten Richtung schwingende Licht geradeso durchläßt wie das erste. Verdrehe ich aber das eine der beiden um 90° , so verschwindet das Licht an der Wand vollständig, denn das zweite Prisma würde nur mehr solches Licht durchlassen, wie es das erste nicht mehr passieren kann. Bringen wir nunmehr eine Quarzplatte zwischen die beiden Nichols, so sehen wir den Fleck an der Wand sich wieder aufhellen, das heißt, wir müssen annehmen, daß durch diese Platte die Schwingungsrichtung oder Polarisationsebene des Lichtes derart gedreht wurde, daß sie nicht mehr senkrecht auf der des zweiten Prismas steht. Bringen wir ein Stück Kalkspat, das senkrecht zur Hauptachse in zwei parallelen Flächen

angeschliffen ist, an Stelle der Quarzplatte, so sehen wir eine schöne Figur entstehen, feine konzentrische Ringe, die von einem starken dunklen Kreuz durchsetzt werden. Ersetzen wir den Kalkspat durch ein entsprechendes Stück kohlen-saures Blei, so zeigt sich eine andere hübsche Zeichnung, die durch zwei Zentren charakterisiert ist, um die sich achterartige Linien schlingen und von welchen wieder dunkle Streifen ausgehen.

Diese Figuren zeigen uns an, daß die Kristalle in ihrem Inneren die Lichtstrahlen in verschiedener Weise, ihren Axenrichtungen entsprechend, zu brechen vermögen, und sind für den Kristallzustand sehr bezeichnend. Ja, manche Forscher gehen so weit, derartige Eigenschaften als die wichtigsten Merkmale dafür aufzufassen, daß man einen Kristall vor sich habe, und auf die äußere Form weniger Gewicht zu legen. Dies tut z. B. einer der Führer auf diesem Gebiete, O. Lehmann. Er hat nun aber auch Flüssigkeiten aufgefunden, welche ebenfalls die gleichen optischen Erscheinungen und auch noch andere Eigenschaften zeigen, welche von den Richtungen abhängig sind, und er entschloß sich daher, diese Substanzen als flüssige Kristalle aufzufassen und zu bezeichnen. Ob man nun diese Bezeichnung aufnimmt oder nicht, unbedingt haben wir hier einen bedeutungsvollen Schritt zur Erkenntnis der Zwischenstufen zwischen Kristall und Flüssigkeit vor uns und können aus diesen Beobachtungen jedenfalls schließen, daß Richtungsverschiedenheiten im Inneren schon auftreten, bevor noch die äußere Form gewonnen ist.

Im allgemeinen besitzen die einzelnen Substanzen nicht nur ihre eigentümlichen Kristallformen, sondern es kommt ihnen auch ein ganz individuelles Wachstumsverhalten zu. Um Ihnen dies zu veranschaulichen, will ich vor Ihren Augen einige Kristallgebilde entstehen lassen, indem ich wässrige Lösungen auf trocknen lasse. Zu diesem Zwecke bringe ich ein kleines Tröpfchen auf ein Objektgläschen und stecke dieses in ein Mikroskop, das ich vor der Bogenlampe angebracht habe, so daß ich das stark vergrößerte Bild an der Wand entwerfen kann. Entferne ich die Wasserkühlvorlage vor der Lampe, so dient mir der Strahl gleichzeitig als Wärmequelle, das Tröpfchen trocknet relativ rasch auf und es entwickeln sich dabei vor unseren Augen die entsprechenden Kristallformen. So zeige ich Ihnen hier der Reihe nach das Wachstum von Kochsalz mit den einzeln auftretenden Würfelchen (Taf. III), von Kupfervitriol, das in immer breiter werdenden Fächern anschießt (Taf. IV), von Permanganat mit seinen schmalen Spießen (Taf. V), von Kaliumbichromat mit seinen moosartigen Gebilden (Taf. VI),¹⁾ dann noch Zinksulfat, Ammoniumbichromat, Salmiak, und ich könnte sicherlich die Zahl noch beträchtlich vermehren, ohne daß Sie müde würden, das

¹⁾ In der Reproduktion (etwa 15mal linear vergrößert) zeigt sich natürlich nur das fertige Bild, kinematographische Aufnahmen, die das Wachstum vorführen, lassen sich nicht so ohneweiters wiedergeben. Immerhin hat auch das fertige Bild des ausgetrockneten Tropfens sein charakteristisches Gepräge.

immerfort in seiner Szenerie wechselnde prächtige Schauspiel zu genießen.

Als allgemeine Erscheinung kann man dabei die Parallelverschiebung der einzelnen Flächen und Kanten hervorheben. Trifft der wachsende Kristall auf ein Hindernis, den Rand oder die Tropfenoberfläche oder ein anderes Kristallstück, so findet eine regelmäßige Brechung der Wachstumsrichtung statt.

Jedenfalls ist das Verhalten jeder einzelnen Substanz außerordentlich kennzeichnend für dieses Individuum und es liegt der Gedanke nahe und wurde auch schon wiederholt ausgesprochen, das charakteristische Wachstum geradezu zu analytischen Zwecken, zur Bestimmung der chemischen Beschaffenheit des untersuchten Körpers zu verwenden. Leider fehlt aber noch die Publikation des nötigen Beobachtungsmateriales.

Eine hochinteressante Eigenheit der Kristalle will ich auch noch vorübergehend streifen, das ist ihre Fähigkeit, Wunden, die sie erhalten haben, vernarben zu lassen. Verletzt man nämlich durch äußere Eingriffe einen Kristall, durch Abbrechen einer Spitze oder sonstwie, und bringt ihn dann in eine gesättigte Lösung des eigenen Stoffes, so ersetzen sich allmählich die abgebrochenen Teile und er heilt mehr oder minder vollkommen aus, ja, bringt man einen verletzten Kristall in sein ungesättigtes Lösungsmittel, so löst er sich teilweise auf und setzt dann wieder an den wunden Stellen an und trachtet allmählich die vollständige Form zu gewinnen.

Man dürfte wohl hoffen, in die Erkenntnis der

Wachstumsverhältnisse besser eindringen zu können, wenn man die Bedingungen genau künnte, durch welche man dieselben zu beeinflussen oder zu verändern vermöchte. Leider sind die Resultate bezüglich der Einwirkung äußerer Kräfte aber noch sehr spärliche. So vermag man durch Druckänderungen wohl Veränderungen hervorzurufen, sie sind aber teils nicht sehr erheblich, teils nicht sehr genau studiert; auch starke elektrische Felder erwiesen sich bislang als einflußlos.

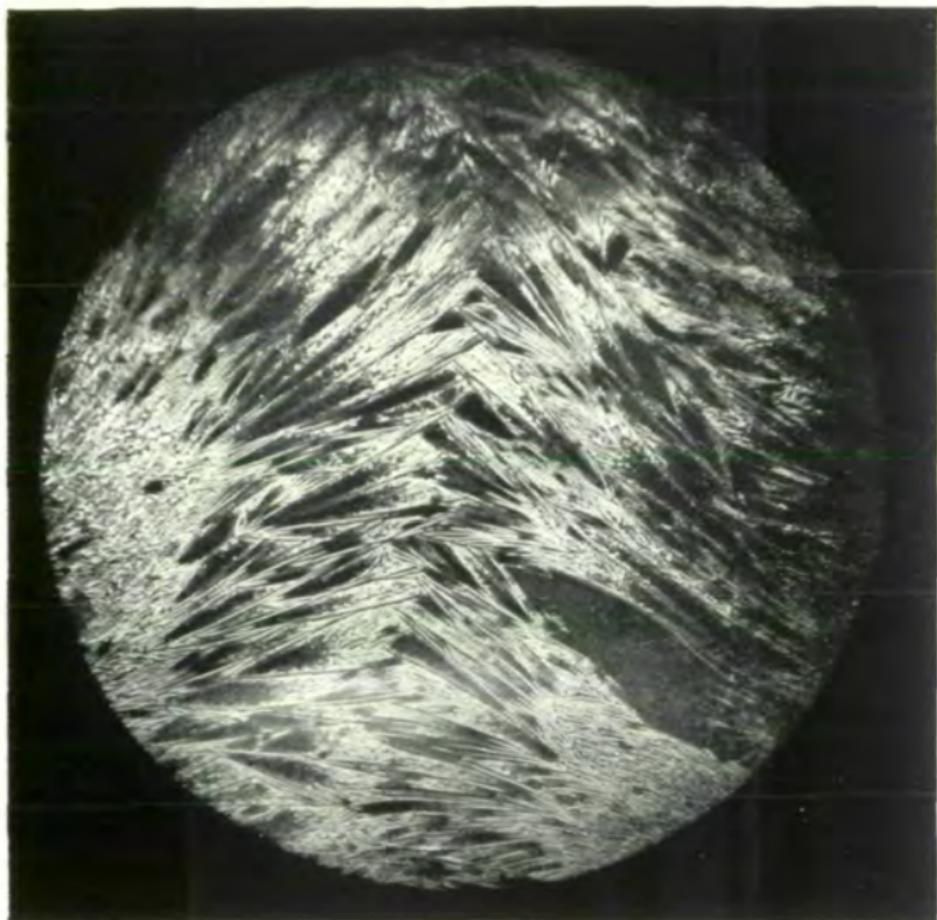
Hingegen ist mir der Nachweis gelungen, daß für einzelne Substanzen, wie z. B. Kobaltchlorid, ein starkes Magnetfeld richtende Wirkungen auszuüben imstande ist. In Tafel VII finden Sie das (etwa viermal) vergrößerte Bild eines unter solcher Einwirkung auskristallisierten Tröpfchens, wobei N—S die Richtung des Magnetfeldes angibt. Man sieht, daß die meisten Hauptkanten senkrecht und parallel zu dieser Richtung verlaufen, während ohne Feldeinwirkung die Kriställchen in einem regellosen Häufchen entstehen.

Aus der Größe der dabei ins Spiel kommenden Kräfte dürfen wir nun den Schluß ziehen, daß die im Innern der Krystalle wirksamen Binnenkräfte, welche die Anordnung der Teilchen im Kristalle bedingen, von ganz enormer Größe sein müssen und einem Druck von vielen Atmosphären entsprechen, so daß dadurch der bisherige Mißerfolg bei zahlreichen Versuchen einer Beeinflussung durch andere Kräfte verständlich erscheint.

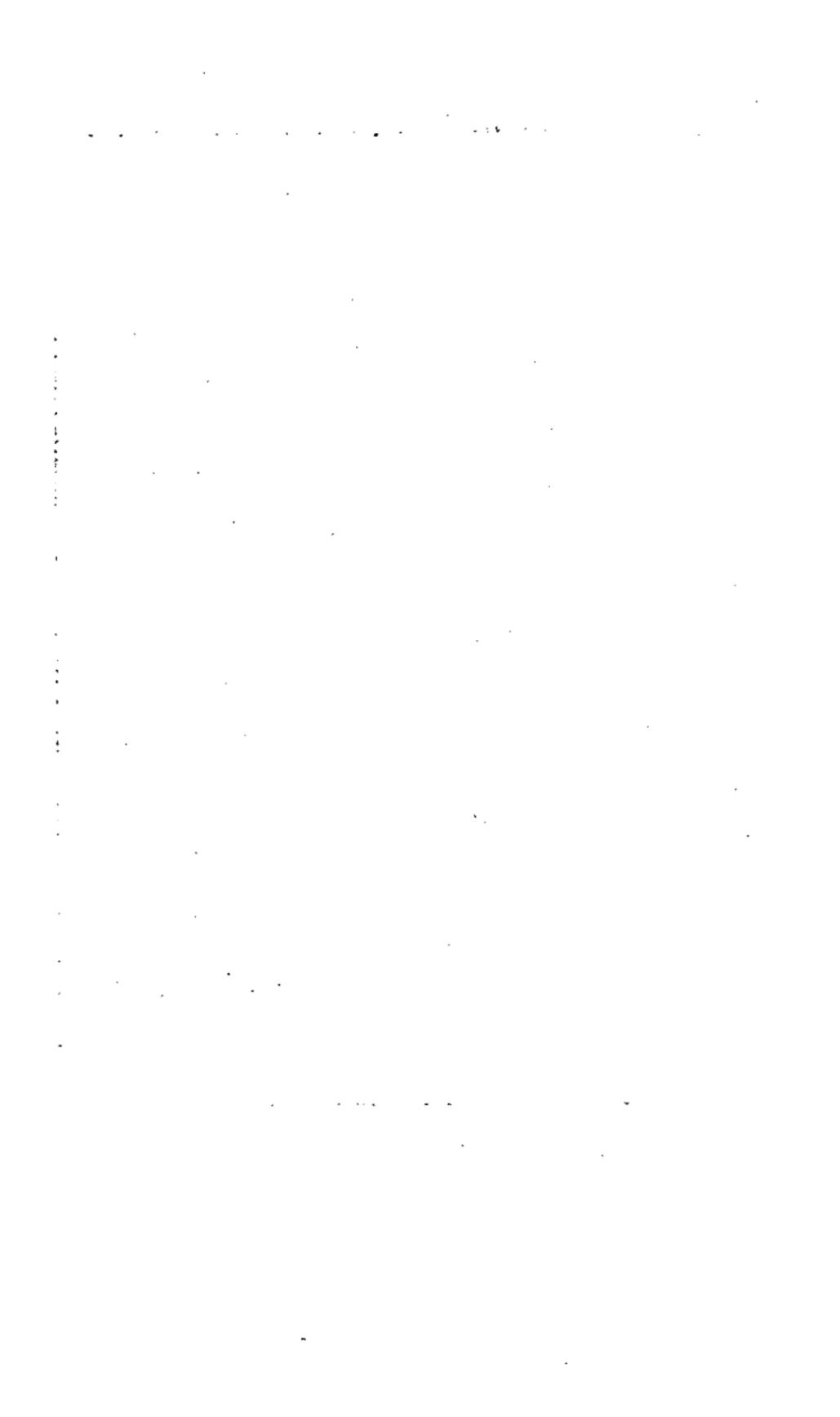
Wie Sie bemerken, wenn Sie alles das zusammenfassen, was ich vorgebracht habe, ist unser Wissen auf

dem besprochenen Gebiete noch nicht weit vorgeschritten, aber ich glaube doch, daß einige Anknüpfungspunkte bereits vorhanden sind, die uns die Möglichkeit zeigen, weiterzukommen, tiefer einzudringen; ich möchte sagen, Kristallkeime, von denen wir hoffen dürfen, daß sie Veranlassung geben mögen, zum Wachstume eines neuen, reinen, festgefügtten Erkenntniskristalles.



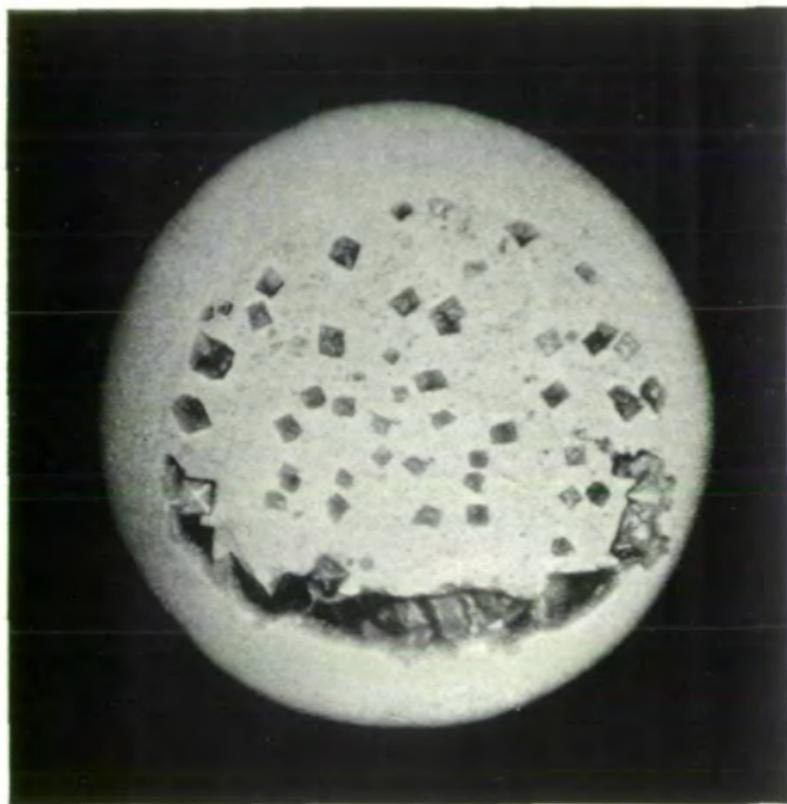


Ammoniumbichromat in Gelatine
(nat. Größe).





Salmiak in Gelatine
(nat. Größe).



Kochsalz

(etwa 15mal vergrößert).

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILOSOPHY DEPARTMENT

PHILOSOPHY 101

LECTURE NOTES

PROFESSOR [Name]

WINTER 2024

LECTURE 1

THE PHILOSOPHY OF

SCIENCE

1. INTRODUCTION

2. THE SCIENTIFIC METHOD

3. THE PHILOSOPHY OF SCIENCE

4. THE SCIENTIFIC METHOD

5. THE PHILOSOPHY OF SCIENCE

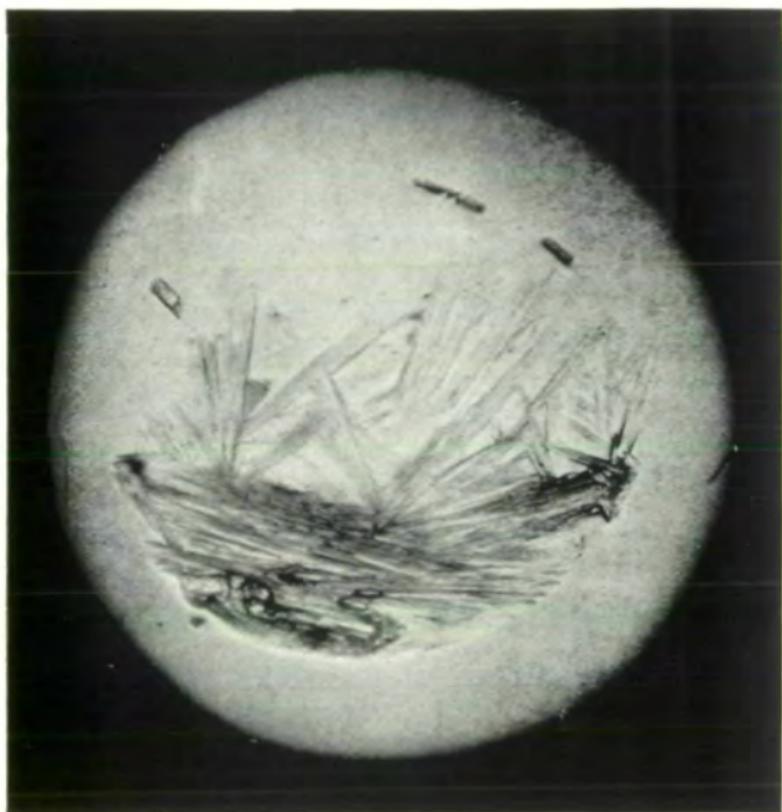
6. THE SCIENTIFIC METHOD

7. THE PHILOSOPHY OF SCIENCE

8. THE SCIENTIFIC METHOD

9. THE PHILOSOPHY OF SCIENCE

10. THE SCIENTIFIC METHOD



Kupfersulfat

(etwa 15mal vergrößert).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

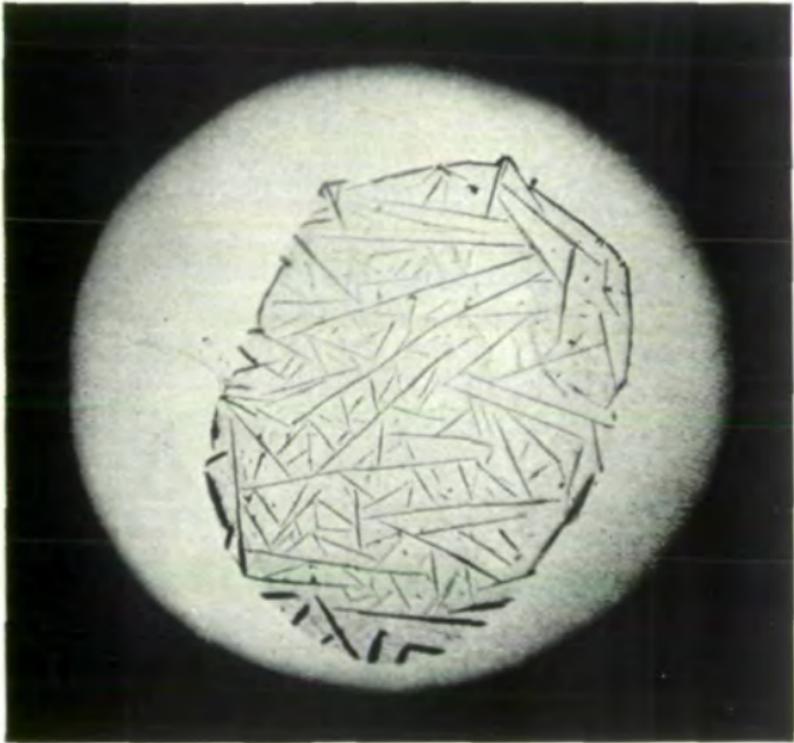
.....

.....

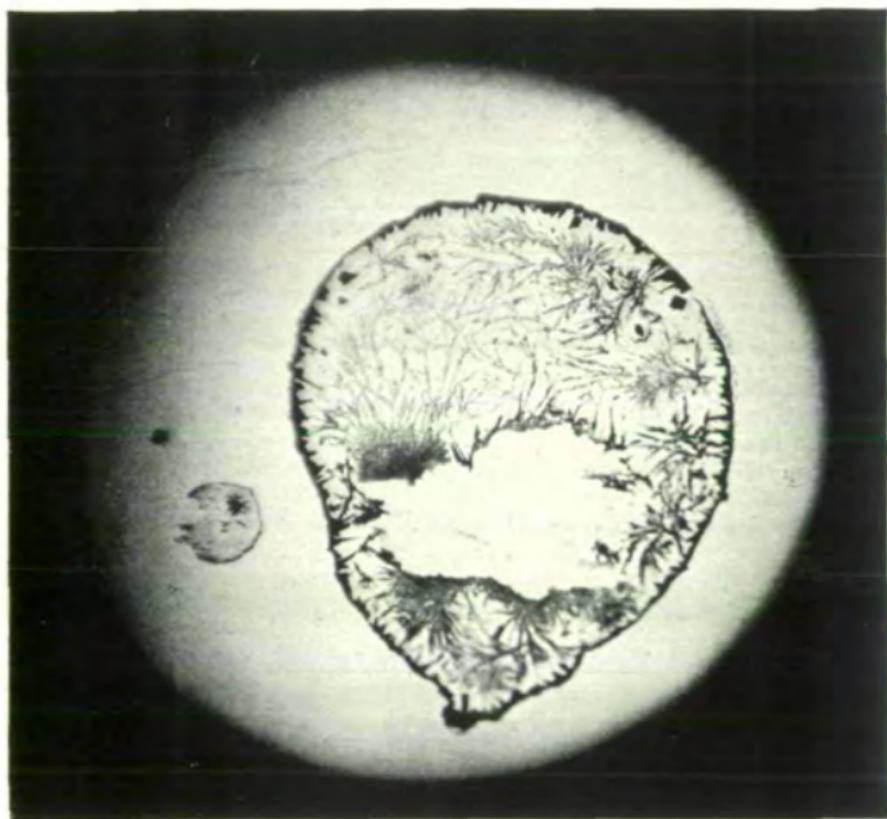
.....

.....

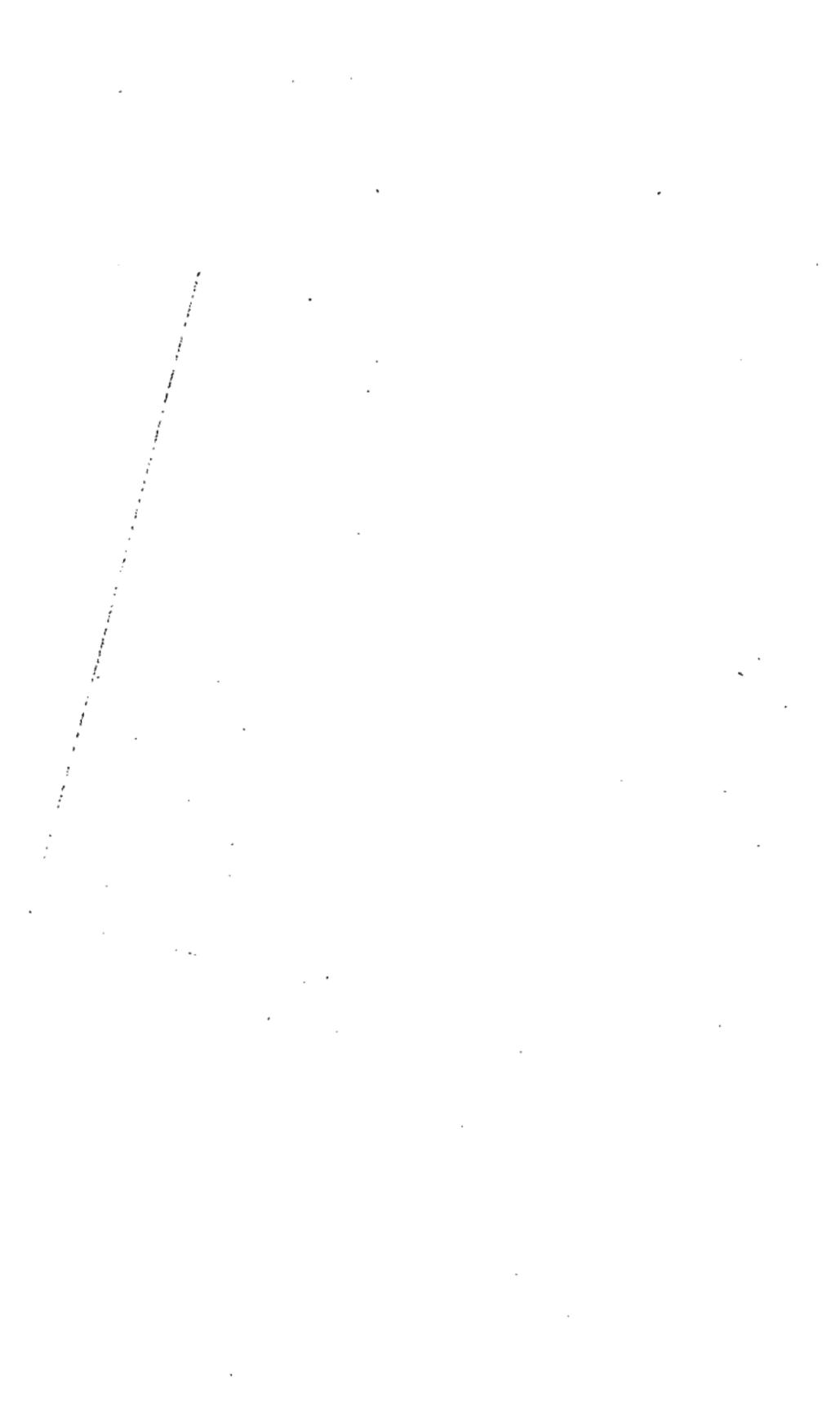
.....

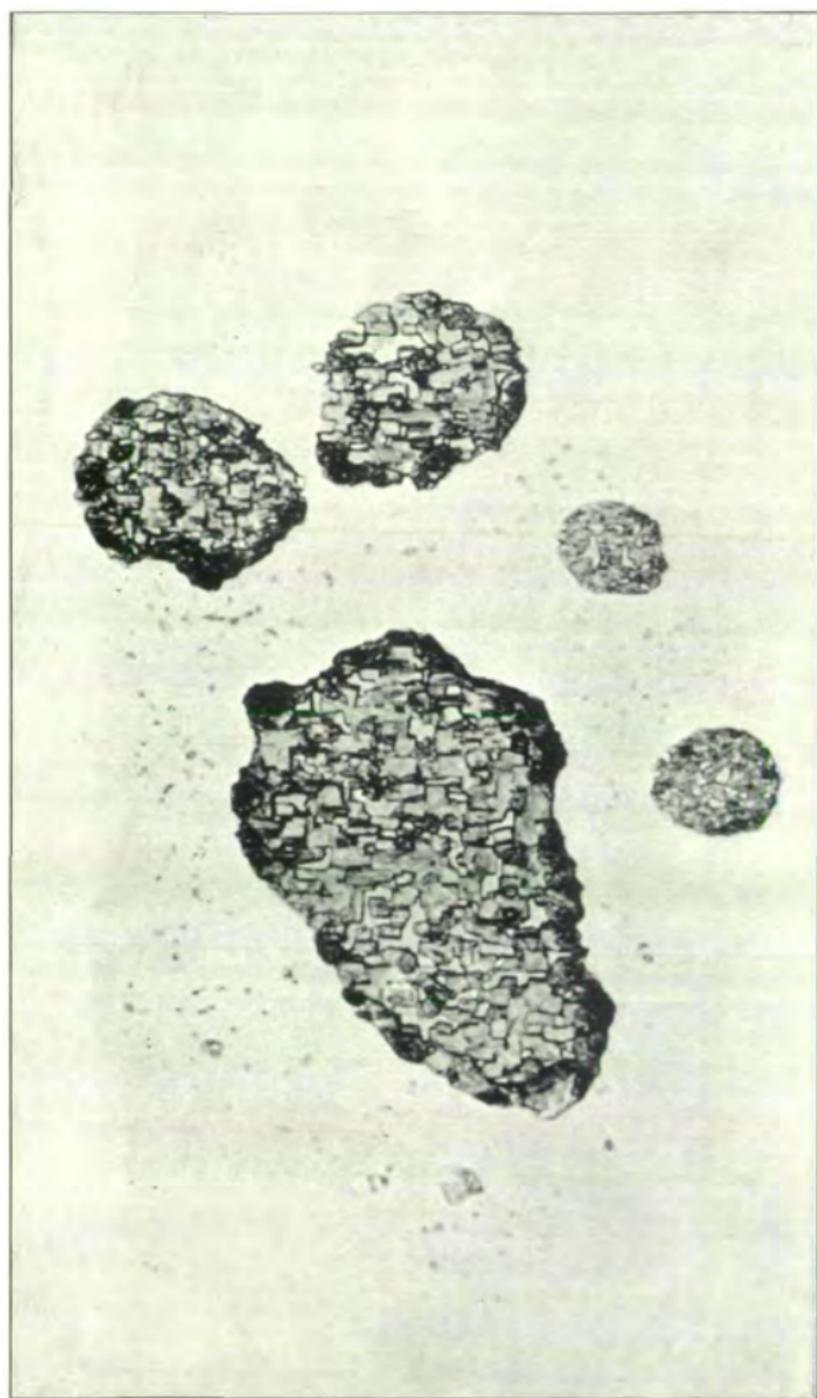


Permanganat
(etwa 15mal vergrößert).



Kalium bichromat
(etwa 15mal vergrößert).





Kobaltchlorid, im magnetischen Felde auskristallisiert.