

Form und Wachsthum der Krystalle.

Von

F. Becke.

Vortrag, gehalten den 3. März 1897.

(Mit Demonstrationen.)

Mit 19 Abbildungen im Texte.

Was sind die Krystalle? Im allgemeinen pflegen wir ein Ding am besten kennen zu lernen, wenn wir lernen, es absichtlich herzustellen, wenn wir es im Entstehen beobachten. Ich will daher zunächst die Frage beantworten: Wie bilden sich Krystalle? Das ist auf sehr verschiedenem Wege möglich.

Die einfachste Methode ist die, dass wir irgend ein in Wasser lösliches Salz, z. B. Salpeter, in warmem Wasser auflösen und die Lösung erkalten lassen. Bringen wir Salpeter und Wasser zusammen, so löst sich von dem Salz eine gewisse Portion in der angewandten Wassermenge auf, d. h. es verschwindet für unser Auge; mit anderen Sinnen können wir aber das Vorhandensein des Salpeters noch wahrnehmen: das Wasser hat salzigen Geschmack angenommen, ist schwerer geworden, wir nennen die Flüssigkeit eine Lösung; geben wir zu der Flüssigkeit immer mehr Salpeter hinzu, so wird immer mehr von dem Salpeter aufgelöst werden, bis wir an eine Grenze kommen: noch weiteres Hinzufügen von Salpeter ändert nichts mehr an der Lösung, das Salz bleibt neben der Lösung ungelöst liegen. Wir nennen die Lösung gesättigt. Die Sättigung ist ab-

hängig von der Temperatur; wenn wir die Lösung erwärmen, so vermag sie neuerdings Salpeter bis zu einer gewissen Grenze aufzunehmen. Wenn eine solche heiß gesättigte Lösung sich abkühlt, so enthält sie mehr Salpeter, als der Sättigung bei der nun vorhandenen niederen Temperatur entspricht; sie heißt dann übersättigt. Der Überschuss wird aus der Lösung austreten; dabei entstehen Krystalle von Salpeter.

Solche Krystalle haben merkwürdige Eigenschaften: vor allem ist es der spiegelnde Glanz der ebenen Flächen, die schnurgeraden Kanten, die scharfen Ecken, die jedem auffallen müssen, der diese merkwürdigen Dinge betrachtet.

Dieselben merkwürdigen Formeigenschaften beobachten wir auch an den vielen Mineralen, die sich in der Erdrinde im Gestein oder in Höhlen und Klüften desselben gebildet haben.

Man könnte nun meinen, dass es möglich wäre, die erste Entstehung eines Krystalls in einer solchen Flüssigkeit zu beobachten. Dies ist jedoch nicht der Fall. Was man beobachten kann, ist immer schon ein fertiger Krystall, der in der Gestalt, Neigung und Lage seiner Flächen ganz den größeren Krystallen gleicht, die sich nach Verlauf längerer Zeit in der Flüssigkeit ausgebildet haben. Die Anwendung des Mikroskopes schiebt nur die Grenze der Sichtbarkeit weiter hinaus, lehrt aber nichts anderes, als was die Beobachtung mit freiem Auge ergeben hat. Das winzigste Gebilde, welches wir mit dem Mikroskope eben wahrnehmen, gleicht

in allen wesentlichen Stücken den großen Krystallen und unterscheidet sich eben nur durch die kleinere Ausdehnung.

Man hat allerdings in gewissen Lösungen und in Schmelzflüssen Gebilde beobachtet, welche für eigenthümliche Jugendformen der Krystalle, gewissermaßen als Mittelding zwischen dem amorphen und krystallisierten Zustand gehalten wurden. Manche dieser mikroskopisch kleinen Gebilde sind aber nichts anderes als sehr kleine Krystalle, die nur durch ihre winzigen Dimensionen, wohl auch durch ihre abnorm verlängerte Gestalt von normalen Krystallen differieren (z. B. die Mikrolithen, die seltsam verbogenen sogenannten Trichiten im Obsidian).

Andere dagegen, die rundlichen, kugelförmigen Gebilde, die den Namen Globuliten erhalten haben, sind von den Krystallen vollkommen verschieden und stellen amorph, d. h. formlos erstarrte Flüssigkeitströpfchen dar, welche sich aus der Lösung oder der Schmelze ausgeschieden haben.

So interessant diese winzig kleinen Gebilde sind, die in glasig erstarrten Gesteinsmassen eine große Verbreitung haben, so können wir sie hier nicht weiter berücksichtigen.

Was wir an einer krystallisierenden Lösung oder Schmelze beobachten können, ist also immer nur das Vergrößern, das Wachsen des Krystalls. Dieses erfolgt in der Weise, dass die Gestalt erhalten bleibt, und zwar, wie viele Beobachtungen lehren, die man nament-

lich auch an den fertigen Krystallen der Minerale anstellen kann, durch Absatz von neuer Substanz auf der Oberfläche des Krystalls. Sehr klar zeigen uns dies die Durchschnitte durch Krystalle, welche bei der

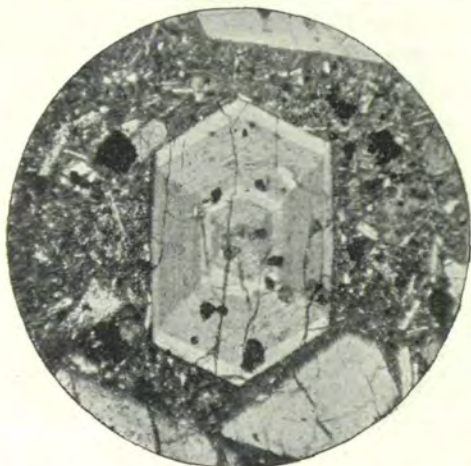


Fig. 1. Schichtenförmig gebauter Krystall von Augit in einem Dünnschliff eines basaltischen Gesteins von Schönhof, Böhmen.

mikroskopischen Untersuchung der Gesteine beobachtet werden. Zu diesem Zwecke werden durch Schleifen ganz dünne Plättchen des Gesteins hergestellt, welche dünner sind als gewöhnliches Schreibpapier. Das Gestein erscheint dann durchsichtig und kann unter dem Mikroskop untersucht werden. Die Krystalle, welche

das Gestein zusammensetzen, erscheinen in solchen sogenannten Dünnschliffen in Form polygonaler Durchschnitte, welche den schichtenförmigen Aufbau gut erkennen lassen.

In dem hier Fig. 1 wiedergegebenen Bilde tritt der schichtenmäßige Aufbau des Augitkrystalls sehr gut hervor.

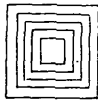


Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.

Es ist sehr lehrreich, sich klarzumachen, wie die Gestalt des fertigen Krystalls wesentlich von dem Maß dieses Schichtenwachsthums auf den verschiedenen Krystallflächen abhängt.

Soll ein würfelförmiger Krystall seine Form behalten, sich selbst ähnlich bleiben, so müssen die auf allen Würzelflächen gleichzeitig abgesetzten Schichten gleiche Dicke haben, die Wachthumsgeschwindigkeit muss auf allen Flächen die gleiche sein (Fig. 2).

Ist bei einem derartigen Krystall die Wachthumsgeschwindigkeit auf der oberen und unteren Fläche

wesentlich kleiner als auf den seitlichen Flächen, so entsteht ein tafelförmiger Krystall (Fig. 3).

Ist das Umgekehrte der Fall, so würde ein säulenförmiger Krystall entstehen (Fig. 4).

Man sieht, dass eine Fläche um so mehr in der Oberfläche des wachsenden Krystalls zurücktritt, je rascher das Wachsthum der Fläche ist. Ja es kann unter bestimmten Verhältnissen geschehen, dass die betreffende Fläche in der Oberfläche des Krystalls ganz verschwindet.

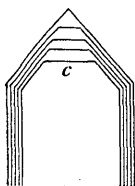


Fig. 5.

Denken wir uns einen Krystall von der Form, die beistehende Figur 5 im Durchschnitt darstellt, und nehmen wir an, dass der oberen Fläche *c* ein rascheres Wachsen zukomme als den anderen, so wird nach Verlauf einiger Zeit die Fläche *c* immer kleiner geworden und schließlich ganz verschwunden sein.

Das ist also ein sehr merkwürdiges Resultat, welches wir einzig aus der Betrachtung des Vorganges beim Wachsen der Krystalle ableiten können: der Krystall umgibt sich mit den Flächen, welchen das langsamste Wachsthum zukommt. Die Krystalle arbeiten also nach sehr strengen Principien: Streber werden nicht anerkannt, und nur die solide Arbeit findet Anwert.

Die Thatsache, dass den Richtungen senkrecht zu den vorherrschenden Krystallflächen ein langsameres

Wachsthum, allen Zwischenrichtungen ein stärkeres zukommt, wird sehr anschaulich illustriert durch das Ausheilen der Krystalle.

Bricht man einem Oktaëder von Alaun die Spitze ab (Fig. 6) und bringt den verletzten Krystall in eine übersättigte Lösung, in der er zu wachsen vermag, so werden sich auf den Krystallflächen dünne Schichten absetzen; auf der Bruchfläche erfolgt weit stärkeres

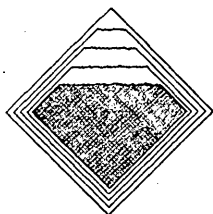


Fig. 6.



Fig. 7.

Wachsen; es entsteht eine rauhe, drusige Wundfläche, auf welcher sich dickere Schichten ablagern. Die Folge ist, dass binnen Kurzem die ursprüngliche Form des Krystalls sich wiederherstellt. Prof. Rauber in Dorpat, ein Zoologe, hat in neuerer Zeit diese den Krystallographen schon lange bekannte Erscheinung zum Gegenstand eingehender Studien gemacht.

Sehr interessant ist folgender von ihm angestellter Versuch: Anstatt des Torso des Krystalls brachte er die abgebrochene Spitze des Krystalls in eine Lösung, in der sie wachsen konnte. Das Verhalten des Fragments wird durch die obenstehende Figur 7 illustriert.

Wieder wuchert die Wundfläche stärker als die Krystallflächen, aber die auf der Wundfläche entstehende Wucherung umgibt sich auch seitlich alsbald mit langsam wachsenden Krystallflächen, so dass nach einiger Zeit die Form des Oktaëders wieder hergestellt ist. Man sieht, der Krystall verhält sich so, dass mit möglichst geringem Substanzverbrauch eine Form entsteht, die ringsum von Krystallflächen begrenzt ist. Lehrreich ist dabei auch, dass nun ein Theil, welcher ursprünglich eine äußere Schichte eines Krystalls darstellte, als Kern des neuen Krystalls fungiert. Dies zeigt uns deutlich, dass der erste Kern von den später um ihn gelagerten Schichten nicht wesentlich verschieden ist, dass alle Theile des Krystalls wesentlich gleichartig sind.

Eine andere Erscheinung, welche auf das überwiegende Wachsen des Krystalls in den Richtungen zwischen den Krystallflächen, also in den Richtungen der Kanten und Ecken des Krystalls zurückzuführen ist, sind die sogenannten Skelettbildungen.

Bei stürmischer Krystallisation oder bei zäher Beschaffenheit der Lösung liefern manche Substanzen Krystallisationen, welche dadurch von den normalen Krystallen abzuleiten sind, dass das Wachsthum der Kanten und Ecken abnorm vermehrt, das Wachsthum auf den Flächen selbst abnorm verlangsamt erscheint. Aus den Kanten und Ecken des Krystalls sprießen lange Fortsätze heraus, welche sich rasch verlängern und Seitenäste hervorzulassen, wodurch sehr zier-

liche Gebilde entstehen; die Schneesterne sind derartige Skelettbildungen, die sich auf die Grundform einer sechsseitigen Tafel zurückführen lassen. Manche Substanzen, wie der Salmiak, sind nur sehr schwer in geschlossenen Krystallen zu erhalten und liefern immer Skelettbildungen.

Nun wollen wir noch den Formverhältnissen der fertigen Krystalle einige Aufmerksamkeit widmen. Um dieselben zu illustrieren, sind hier einige Krystallbilder hergehängt, welche ja allerdings nur eine einseitige Anschauung vermitteln können, aber doch einige der wichtigsten Gesetze, welche die Krystallformen beherrschen, erkennen lassen (vgl. die Figuren 8, 9, 10, 11, 12 und 13 auf der herausschlagbaren Tafel).

Eine merkwürdige Eigenschaft ist an den Bildern sofort zu erkennen: das Auftreten ganzer Scharen paralleler Kanten. Ein Complex solcher Flächen, die sich in parallelen Kanten schneiden, wie z. B. die Flächen S, O, O, S in dem Hornblendekrystall Fig. 9 oder die Flächen $x d p d x$ in dem Beryllkrystall Fig. 13, heißt eine Zone. In diesem Zonenverband spricht sich ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen den Flächen des Krystalls aus.

Eine fernere Eigenthümlichkeit der Krystalle ist es, dass sie einen größeren oder geringeren Grad von Symmetrie zeigen. Der Grad der Symmetrie ist ein verschiedener, wie sich wohl sofort aus dem Anblick dieser Reihe von Krystallbildern ergibt.

Wenn wir der Sache nachgehen, so zeigt sich,
Verein nat. Kenntn. XXXVII. Bd. 32

dass der Eindruck der Regelmäßigkeit dadurch entsteht, dass sich gleichartige Ebenen, Kanten, Ecken nach ganz bestimmten Zahlenverhältnissen wiederholen.

Wir können hier die ganze Aufgabe nicht lösen, die darin bestände, alle möglichen Symmetriearten aufzusuchen und nachzuforschen, ob denn alle diese denkbaren Arten der Symmetrie auch bei den Krystallen vorkommen. Ich möchte Ihnen aber doch, wenn auch nur durch eine beschränkte Auswahl der Beispiele, klarmachen, dass manche Symmetriearten an Krystallen vorkommen, andere nicht.

Vergleichen Sie die Bilder, die hier in einer Reihe hängen, und sehen Sie nach, wie oft sich an ihnen im äußersten Falle gleiche Krystallflächen wiederholen.

Im ersten Bild, Fig. 8, finden Sie nur je zwei gleiche Flächen zu beiden Seiten des Mittelpunktes, im zweiten Bild, Fig. 9, gleichfalls zwei zu beiden Seiten einer von oben nach unten laufenden Linie. Die Linie theilt das Bild in zwei spiegelbildlich gleiche Hälften. Wir können den Krystall, der durch dieses Bild dargestellt wird, durch einen dieser Linie folgenden Schnitt in zwei Theile theilen, die sich symmetrisch gleichen, der eine stellt das Spiegelbild des andern dar. Wir nennen eine solche Ebene eine Symmetrieebene des Krystalls; der dargestellte Krystall hat eine Symmetrieebene.

In dem dritten Bilde, Fig. 10, ist die höchste Zahl gleicher sichtbarer Krystallflächen 4; wir können zwei

Symmetrieebenen auffinden, welche senkrecht zu einander stehen.

In dem vierten Bilde, Fig. 11, haben wir als höchste Zahl $2 \times 3 = 6$ gleiche Flächen, die Zahl der Symmetrieebenen beträgt 3.

Im fünften Bilde, Fig. 12, ist die höchste Zahl gleicher Flächen $2 \times 4 = 8$, die Zahl der Symmetrieebenen 4.

Im sechsten Bilde, Fig. 13, wäre die höchste Zahl gleicher Flächen $2 \times 6 = 12$, die Zahl der Symmetrieebenen 6.

Diese Reihe gibt zwar nur eine einseitige Einsicht in die Formenmannigfaltigkeit, die bei den Krystallen vorkommt. Aber sie genügt, um eine merkwürdige Lücke erkennen zu lassen. Die Höchstzahlen gleicher Krystallflächen sind: 2×1 , 2×2 , 2×3 , 2×4 , 2×6 .

Hier fehlt in der Reihe 2×5 . Das ist nicht etwa ein Versehen meinerseits oder ein Zufall, sondern solche Krystalle mit fünfeckigem Grundriss kommen nicht vor. Warum gibt es keine fünfzähligen Krystalle? Warum macht die Natur hier einen Sprung, da sie doch sonst vor der Fünfzahl nicht zurückschreckt, wie jeder fünfstrahlige Seestern erkennen lässt? Warum schreitet sie über die Zahl 6 überhaupt nicht hinaus?

Wenn man einmal anfängt, sich über etwas zu wundern, so ist man schon auf dem besten Wege, es zu begreifen.

Ich möchte nun in der That versuchen, Ihnen begreiflich zu machen, dass es fünfzählige Krystalle und

höher zählige Krystalle gar nicht geben kann. Dazu muss ich Sie aber mit einer anderen merkwürdigen Eigenschaft der Krystalle bekanntmachen.

Wenn ich einen Krystall von Bleiglanz auf den Tisch lege und mit dem Hammer daraufschlage, zerfällt er in lauter kleine würfelförmige, von ebenen glänzenden Flächen begrenzte Stücke. Wenn ich an ein Stück Kalkspat den Meißel ansetze, kann ich durch einen Hammerschlag ein ebenflächig begrenztes Stück abtrennen, und parallel zu der einen Spaltfläche lässt sich der Versuch beliebig oft wiederholen. Eine Tafel von Glimmer kann ich mit dem Messer leicht in dünne Blätter spalten. Diese Eigenschaft der Krystalle heißt Spaltbarkeit. Sie findet sich mehr oder weniger vollkommen entwickelt bei sehr vielen Krystallen, Spuren davon sind immer zu erkennen. Durch diese Eigenschaft der Spaltbarkeit wird ein regelmäßiger Bau des Krystalls angedeutet. Die Theilchen des Krystalls, wenn er aus solchen besteht, müssen schichtweise angeordnet sein nach Ebenen, die der Spaltbarkeit entsprechen. Da häufig mehrere Richtungen von Spaltbarkeit vorhanden sind, müssen solche Schichten nach mehreren Ebenen angeordnet sein.

Den Bleiglanzkrystall hätte man sich aufgebaut zu denken aus Theilchen, die nach den drei Ebenenpaaren des Würfels angeordnet sind.

Die Flächen des Krystalls würden Ebenen entsprechen, die in regelmäßiger Weise mit Theilchen besetzt sind (Molecularebenen); die Kanten des Krystalls

würden geradlinigen Reihen von Theilchen entsprechen (Molecularlinien).

Die Symmetrie der Form des Krystalls müsste der Symmetrie des Aufbaues entsprechen, die sogleich im Bilde hervortritt, wenn ich jetzt unter die Krystallbilder Tafeln hänge, in denen eine entsprechende Anordnung von Krystalltheilchen zur Darstellung gebracht ist (vgl. die Figuren 8a—13a der Tafel).

Und nun können wir auch zur Beantwortung der Frage gehen, welche uns beschäftigt hat: Warum gibt es keine fünfgliedrigen Krystalle?

Die Antwort lautet: Weil keine lückenlose, regelmäßige Anordnung von gleichen Theilchen nach dem Schema eines regelmäßigen Fünfecks möglich ist. Ebenso wenig sind solche Anordnungen möglich unter Zugrundelegung eines mehrzähligen regulären Polygons (Sieben-, Achtecks u. s. w.).

Vorhin wurde angedeutet, dass sich in dem Kantensparallelismus ein gewisser Zusammenhang der Krystallflächen untereinander ausspricht. Auch dieser Zusammenhang erklärt sich sehr einfach, wenn man berücksichtigt, dass die Krystallflächen den Molecularebenen, die Kanten den Molecularlinien entsprechen. Es ist nicht schwer, in jeder dieser Figuren die Molecularlinien aufzufinden, welche den verschiedenen Kantenrichtungen des Krystalls entsprechen. Vergleichen wir z. B. Figur 8 und 8a. Die Kanten zwischen den Flächen $z-n$, $z-o$ entsprechen den Linien, welche die mit 1—2, 1—3 bezeichneten Punkte ver-

binden. Die parallelen Kanten $n-o$, $o-t$ entsprechen der Linie, welche 4 und 5 in Fig. 8a verbindet.

Auch die Erscheinungen beim Wachsen der Krystalle lassen sich nun ganz gut begreifen, wenn wir uns vorstellen, dass das Wesen des Krystalls in einer solchen regelmäßigen Anordnung kleiner gleicher Theilchen besteht, die sich in parallelen Stellungen wiederholen.

Leicht verständlich ist jetzt das Größerwerden der Krystalle unter Erhaltung der Formen, welches in der Ablagerung einer Schichte solcher kleinster Theilchen nach der anderen besteht; leicht verständlich auch, dass alle Theile des Krystalls gleichwertig sind; an jedes beliebige Bruchstück des Krystalls können sich gleichartige Theilchen in gesetzmäßiger Stellung anlagern.

Sie sehen hier im Beispiel das, was man eine wissenschaftliche Hypothese nennt: die Erscheinungen der Spaltbarkeit haben dazu geführt, eine bestimmte Vorstellung über den Aufbau der kleinsten Theilchen zu fassen. Indem wir diese Vorstellung festhalten und in alle ihre Consequenzen verfolgen, sind wir im Stande auch die Thatsachen zu begreifen, welche die Symmetrie der Krystalle, den Zonenzusammenhang der Krystallflächen, das Wachsen der Krystalle beherrschen. Hieraus dürfen wir aber nicht folgern, dass unsere Vorstellungen vom Aufbau der Krystalle buchstäblich richtig seien. Wir müssen uns daran erinnern, dass diese Vorstellungen von uns selbst eronnen worden

sind, um gewisse Beobachtungen leichter zu begreifen; sobald Thatsachen bekannt werden, welche mit diesen Vorstellungen nicht harmonieren, müssen wir sie entweder so verändern, dass auch diese neuen Thatsachen ihre Erklärung finden, oder wir müssen sie ganz aufgeben.

Vorläufig sind solche Thatsachen noch nicht bekannt, und alle beobachteten Erscheinungen lassen sich durch die angedeuteten Vorstellungen erklären.

Wie immer sich unsere Vorstellungen von den Krystallen noch ändern mögen, so viel dürften Sie aus unseren Betrachtungen entnommen haben, dass eine hohe Gesetzmäßigkeit diese merkwürdigen Gebilde beherrscht.

Anmerkung zu den Figuren 8a—13a. Diese Figuren stellen die Anordnung von Krystallmolekeln dar, gesehen von einer Seite. Man hätte sich vorzustellen, dass unzählige Schichten, in der Art mit Molekeln besetzt, wie es die Figuren veranschaulichen, senkrecht übereinander lagern. In den Figuren 8a, 10a—13a liegen die Schichten senkrecht zur Blickrichtung. In Fig. 9a hätte man anzunehmen, dass die die Molekeln enthaltenden Schichten etwas gegen die Blickrichtung geneigt seien. In Fig. 11a sind drei übereinanderfolgende Schichten dargestellt, in denen die Molekeln nicht übereinander liegen. Die leeren Ringel deuten die oberste, die gestrichelten die mittlere, die schwarzen die unterste der drei Schichten an. In der nächsten (der vierten) liegen die Molekeln wieder so wie in der ersten, in der fünften so wie in der zweiten u. s. f.



Fr. Becke: Form und Wachstum der Krystalle.

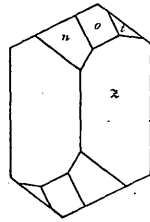


Fig. 8.

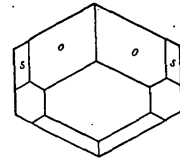


Fig. 9.

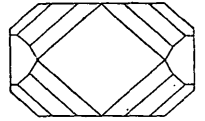


Fig. 10.

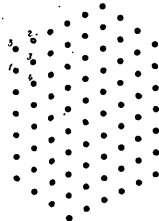


Fig. 8a.

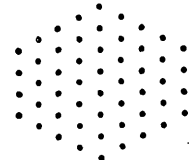


Fig. 9a.

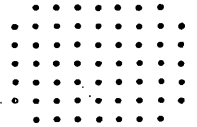


Fig. 10a.

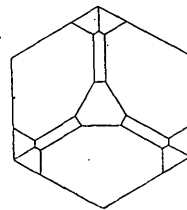


Fig. 11.

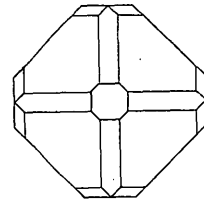


Fig. 12.

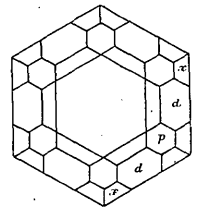


Fig. 13.

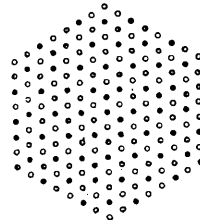


Fig. 11a.

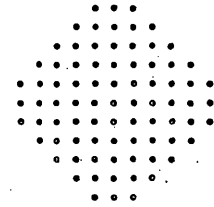


Fig. 12a.

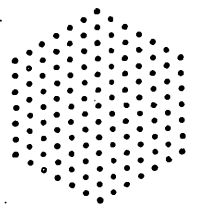


Fig. 13a.