

Graphitstriche auf der oberen Platte merkbar hervortritt. Legt man ferner am oberen Polschuh eine Metallplatte ein und die photographische Platte unten, so erhält man eine Abbildung auf der unteren Platte — auch dann, wenn an der oberen Platte eine negative Ablenkspannung angelegt worden war, die die Kanalstrahlen im Kondensator beschleunigt und kein positives Partikel auf die untere Platte gelangen läßt.

Auf diese Weise gelingt also der Nachweis von langsamen Ionen, die wegen ihrer geringen Energie der direkten photographischen Registrierung entgehen. Ferner ist in Abb. 7 deutlich zu sehen, daß die Empfindlichkeit wesentlich gesteigert ist, da ein Ion mehrere Sekundärelektronen erzeugt. Die Massen größer als 32 sind auf direktem Wege nicht beobachtbar, während sie durch diesen Sekundäreffekt deutlich hervortreten, obwohl noch dazu der Anteil an langsamen Ionen wesentlich geringer ist als der der schnellen Ionen. Auf einem ähnlichen Weg scheint eine genaue Sekundärelektronen-Emissionsbestimmung der verschiedenen Materialien leicht möglich.

Um auf der unteren Platte Eindeutigkeit für Kanalstrahlen zu erhalten, müssen wir die Gl. (1) durch folgende Bedingung einschränken:

$$(V_B/V_A^2) H^2 < 5,225 \cdot 10^3 (\pi^2/a^2 \sin^2 \alpha),$$

wo V_B Beschleunigungsspannung in Volt, V_A Ablenkspannung in Volt, H Magnetfeld in Gauß, a der Polschuhabstand in cm ist. Für unseren speziellen Fall würde die Bedingung lauten

⁶ G. Charpak u. F. Suzor, C. R. hebdomadaire Séances Acad. Sci. **231**, 1471 [1950]; **232**, 322 [1951]; **232**, 720 [1951]; **232**, 2308 [1951]; auch T. Yuasa, C. R. hebdomadaire

$$(V_B/V_A^2) H^2 < 3,905 \cdot 10^4,$$

wobei noch als Nebenbedingung, damit die untere Platte überhaupt getroffen wird, zu gelten hat

$$V_B < V_A/\sin^2 \alpha.$$

Diese Bedingungen sind sehr leicht einzuhalten. Weiter ergibt sich, daß, falls Eindeutigkeit für die untere Platte vorliegt, dies auf jeden Fall auch für die obere Platte erfüllt ist.

Der kurze Strahlenweg des beschriebenen Spektrographen würde seine Anwendung zur Bestimmung der Massen sehr kurzlebiger Isotope oder instabiler Elementarteilchen empfehlen. So könnte z. B. die von Charpak und Suzor⁶ aufgestellte Hypothese einer Annahme instabiler β -Partikel durch Versuche mit diesem Spektrographen vielleicht geklärt werden. Nach der Annahme dieser Autoren sollen die vom Kern emittierten β -Teilchen von Elektronen verschieden und schwerer als diese sein. Nach einer sehr kurzen Halbwertszeit verwandeln sie sich unter Emission von Photonen in Elektronen. Beträgt der Weg, den die ursprünglichen β -Partikel bis zu ihrem Zerfall zurücklegen können, wie angenommen wird nur wenige cm, so werden bei den Weglängen der üblichen Spektrographen stets nur mehr die Elektronen zur Registrierung gelangen. Mit dem beschriebenen Apparat jedoch und einer geeigneten β -Quelle (evt. ^{14}C oder ^{35}S) müßten beide Arten von Partikeln registriert werden und das Auflösungsvermögen des „Impuls-Massenspektrographen“ wäre zum Nachweis dieser Massendifferenz ausreichend.

Séances Acad. Sci. **232**, 1348 [1951]; T. Yuasa, u. P. Radvanyi, C. R. hebdomadaire Séances Acad. Sci. **232**, 1417 [1951].

NOTIZEN

Zum plastischen Fließen

Von Walther Kossel

Physikalisches Institut der Universität Tübingen

(Z. Naturforsch. **8a**, 211–212 [1953]; eingeg. am 13. Januar 1953)

Von den mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe sind die plastischen hoch empfindlich gegen die Feinbeschaffenheit des Materials, die elastischen sind es nicht. So betrachtet der Bautechniker den Elastizitätsmodul ($21\,000 \pm 500 \text{ kp/mm}^2$) als ersten Baustoffwert eines Stahls — die ihm praktisch wichtigen *Verschie-*

denheiten seiner Baustähle findet er völlig auf der plastischen Seite — etwa in der Zerreißfestigkeit, nach der er seine Stahlsorten geradezu zu benennen pflegt. Dieser Unterschied allein führt schon zu der Einsicht, daß die parallele Behandlung der beiden Gebiete in der klassischen Physik — eine Schubspannung etwa führt zunächst zu elastischer Scherung, dann zu plastischem Fließen, Schubwinkel und Fließgeschwindigkeit werden beide der Schubspannung proportional gesetzt, bei Gelegenheit ohne weiteres zu einer Gleichung miteinander verbunden — vor einer gründlicheren Betrachtung als vorläufig gelten muß. Wäh-



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

rend für die elastische Deformation der klassische Stetigkeitsansatz angemessen ist, beruht das plastische Fließen offenbar auf Elementarvorgängen, die in molekularen Abmessungen konzentriert sind. Dieser Einsicht liegt bereits dem Begriff der „Versetzung“ zugrunde, der sich im letzten Jahrzehnt, vor allem dank der Möglichkeit, mit ihm zusammen noch bewährte Begriffe der Elastizitätstheorie anzuwenden, als rechnerisch zugänglich und überaus brauchbar gezeigt hat. Für eine vollständige Behandlung der Erscheinungen reicht er indes offenbar nicht zu.

Auch aus anderen Gesichtspunkten heraus erscheint es zweckmäßig, weiter auszugreifen und das plastische Fließen grundsätzlich von ganz anderer Stelle aus, nämlich unter den atomistischen Gitterumlagerungen zu betrachten, deren reinsten Typ das einfache Kristallwachstum ist. Schlagwortartig kann man dann den eingangs berührten Unterschied so bezeichnen, daß „Simultanvorgängen“ „Reaktionen“ gegenübergestellt werden. Den Reaktionserscheinungen ist gemeinsam, daß ein normales, entspanntes Gitter durch Herantreten fremder Bausteine wächst. Dieses herankommende Material kann stammen:

- a) aus völlig ungeordneter Phase — Dampf, Schmelze, Lösung —: Kristallwachstum in reiner Form;
- b) aus weniger geordnetem Material — Einzelbausteine und Gitterfetzen an Korngrenzen, kleinere Kristallite — Material also, in dem Atomlagen höherer potentieller Energie häufiger sind als im großen Gitter, so daß der Austausch bevorzugt zu diesem hin gerichtet ist: Sammel-Kristallisation;
- c) aus durch Restspannungen elastisch deformiertem Material — von Kaltbearbeitung her mit erhöhter potentieller Energie „geladene“ Nachbarkörner oder Anteile des eigenen Gitters —: Rekristallisation;
- d) aus Material, das durch noch im Augenblick von außen angreifende Schubkräfte stärker elastisch deformiert ist als der wachsende Gitterteil, so daß die einzelnen Bausteine von den dortigen Lagen höherer potentieller Energie aus den entspannten Teil des Gitters aufsuchen: plastisches Fließen.

Nach dieser freieren und weitergreifenden Auffassung ordnen sich z. B. die Versetzungsvorstellungen in ihren bewährten und fruchtbaren Zügen den Erfahrungen zu, die man beim reinen Kristallwachstum über die fundamentale Rolle der längs Gittergeraden fortschreitenden Aufbauvorgänge macht. Sie betrachten davon den reversiblen Grenzfall, in dem die Überführung des Bausteins in die neue Lage dank der Halterung durch das elastische Gitter und die gegenseitige Abstützung der im Übergang einander folgenden Bausteine völlig stetig gelingt. Die unbehagliche Einschränkung auf diesen einfachsten und damit der Rechnung zugänglichen Bewegungstyp, bei dem z. B. die für das zähe Fließen schließlich doch wichtige

Energiedissipation — die innere Reibung — unbeachtet bleibt, wird indes vermieden.

Wie stark im allgemeinen mit verwickelten Einzelbewegungen und schärfer lokalisierten Spannungsfeldern zu rechnen ist, zeigt schon jede Überlegung über die Bewegungsmöglichkeiten in Kugelpackungen. Die Seifenblasenfelder auf Wasser lassen sich bei Einführung geeigneter Optik gut zu unmittelbaren Bewegungsstudien verwenden. Abb. 1* zeigt die Dehnung eines Einkristalls. Der oberen zurückweichenden Wand folgt das anliegende Material in simultaner Bewegung — oben in rein elastischer Dehnung longitudinal verschoben, tiefer unten in „Querkontraktion“ transversal hereinrückend. Die nach oben allzu groß gewordene tensorielle Spannung hat sich dort gelöst: Von der Kante des ziehenden Stempels führen längs dichtester Geraden Grenzen herein, die das Gebiet longitudinaler Bewegung von denen mit Querkomponenten trennen. Für eine summarische Beschreibung kann man durchaus sagen, daß längs dieser Geraden Versetzungen gewandert sind, kann ihre Burgers-Vektoren ablesen und sieht das Spannungsfeld vor sich. Zugleich aber ist sichtbar, wie wenig das ausreicht: schärferes Zusehen zeigt (Abb. 2) inmitten der stetig vorgenommenen Verrückung am Kernpunkt die sprunghafte, atomistische Umstellung. Die Dicke der photographischen Spur verrät den Zeitablauf. Der spontane Umlagerungsvorgang erfolgt unabhängig vom Tempo der äußeren Verlagerung von dem Augenblick an, in dem diese die Bausteine auf eine Sattellage geführt hat. Sein Charakter als Austauschreaktion wird deutlich beim schematischen Herauszeichnen des um einen Baustein stattfindenden Platzwechsels (Abb. 3). Er führt von einer gespannten (deformierten) Anordnung der für die dichtesten Packungen charakteristischen Koordinationszahl 6 zu einer entspannten gleicher Koordinationszahl, indem ein Atom den Platz im Sechseck wechselt, vor ihm ein anderes austritt, hinter ihm ein drittes von außen herankommt. Eine chemische Substitution bestimmten Typus erscheint so als Kern des plastischen Fließens. Am vereinzeltsten Vorgang wird deutlich, warum sein Ablauf gegen das Einschalten von Fremdatomen ungleich empfindlicher ist, als die elastische Deformation, bei der Fremdatome in der simultanen Bewegung aller Gitterpartner ohne weiteres mitgenommen werden. Der Ruck der Umlagerung ist als Knick in den Bahnen der gleichförmigen Verrückungen nach außen hin weithin sichtbar: die Spur des sich ausbreitenden Impulses, der den Energieverlust — die Verzettlung der aufgespeicherten Spannung als Wärme, das ist die Reibung — mit sich bringt. Analoge Beobachtungen an Mehrkristallen zeigen Typen und Ablauf der meist von den Korngrenzen aus einsetzenden Umlagerungen und führen dazu hinüber, einzusehen, daß auch in der Flüssigkeit solche innerhalb der Nahordnungen hie und da durchgreifende Spontanverlagerungen den Kern des Reibungsvorganges bilden müssen. Eine eingehendere Darstellung folgt.

* Abb. 1—3, s. Tafel S. 208 b.