

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 5 (1950)
Heft: 11

Artikel: Die geheimnisvolle Kraft : neue Versuche zum Problem der Photophorese
Autor: Schikola, Gustav
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-654265>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die geheimnisvolle Kraft

Neue Versuche zum Problem der Photophorese

Von Gustav Schikola

Als in einer Gesellschaft eine Dame den englischen Forscher Michael Faraday nach dem Nutzen seiner neuesten Entdeckung, der elektrischen Induktionsströme, fragte, erwiderte dieser ebenfalls mit einer Frage: „Was ist der Nutzen eines neugeborenen Kindes?“ Der Gelehrte wußte damals, kurz nach Entdeckung der rätselhaften Ströme, keine befriedigende Antwort zu geben und doch laufen heute Millionen von elektrischen Maschinen und Motoren, die alle nach dem Induktionsprinzip arbeiten. Über 50 Jahre mußten seit der Entdeckung vergehen, bis sie damals von der Welt anerkannt wurde und praktischen Erfolg für die Menschheit brachte. Jede neue Entdeckung bringt viele Rätsel mit sich, die erst allmählich gelüftet werden können, und es ist schwer vorzusehen, welche Ergebnisse daraus einmal resultieren werden.

Seit langer Zeit ist es ein Wunschtraum der Menschheit, die Sonnenenergie, die bisher unausgenützt auf unsere Erde gestrahlrt wird, direkt praktisch zu verwerten. Vielleicht ist nun die Entdeckung der Photophorese, die die physikalische Welt seit einiger Zeit in Atem hält und von dem Wiener Physiker Prof. Dr. Felix Ehrenhaft gemacht wurde, ein Anfang zur Erforschung und Auswertung dieser Energiequelle auf neuem Wege?

Das Problem, ob die Strahlung auf die Materie Kräfte ausübt, geht nahezu auf das Mittelalter zurück. Schon zu Keplers Zeiten schrieb man der Sonne eine „vis repulsive“, eine abstoßende Wirkung zu, weil die Kometenschweife sich stets von der Sonne abwenden.

Die sich der Sonne zuwendende Seite der Kometen übersah man damals. Viele bedeutende Physiker des 19. Jahrhunderts suchten den Lichtdruck experimentell zu erforschen. So auch der bedeutende französische theoretische Physiker Ing. Augustinus Fresnel, der die Schwierigkeiten dieses kolossalnen Problems klar erkannte. Er fällte in dieser Frage keine Entscheidung. Schon die mechanische Lichttheorie hatte auf einen Lichtdruck hingewiesen. Die geschleuderten Lichtteilchen von Newton müßten ja Druckkräfte ausüben. Ein neuer Impuls in der Frage kam vom berühmten englischen Physiker James Clark Maxwell, berühmt durch sein System der elektromagnetischen Gleichungen. Aus diesen folgerte er unter Anwendung weiterer Zusatzhypthesen die Tatsache, daß das Licht drücken müsse. Jede Strahlung transportiert Energie. Der Strahlungsdruck sei gleich der in 1 cm^3 des Raumes enthaltenen Energie, also der Strahlungsdichte. Ein Plättchen, von den Sonnenstrahlen getroffen, müßte also vom Licht abgestoßen werden. Neue Versuche begann Sir William Crookes, den der berühmte englische Physiker Michael Faraday als seinen einzigen Schüler bezeichnete, der dabei jene merkwürdigen Kräfte entdeckte, die man heute als Radiometerkräfte bezeichnet und die

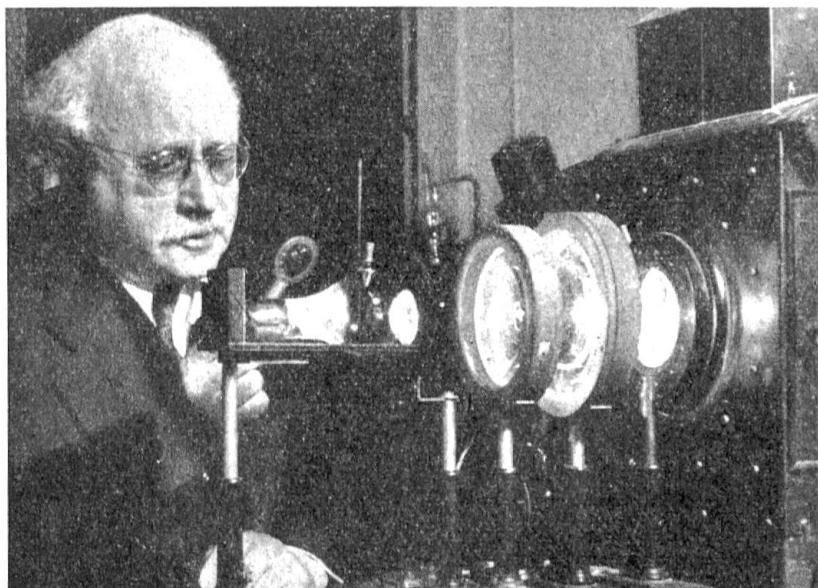
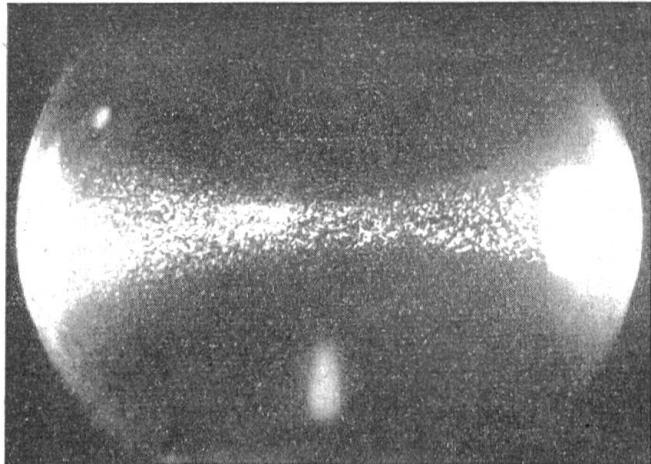


Abb. 1. Prof. Ehrenhaft, der Entdecker der Photophorese, bei Versuchen mit künstlichen Lichtquellen im Physikalischen Institut in Wien. Prof. Ehrenhaft beobachtet eine Kreisbahn mit der Lupe. Rechts im Bilde die beiden Linsen, die den Lichtstrahl konzentrieren



Glaskolbens, so rotieren die Probekörper unverändert an derselben Stelle des Lichtstrahls weiter. Es wurden Graphitteilchen

jeder Laie zu kennen glaubt, wenn er die Lichtenmühlen in den Schaufenstern eines Optikers sieht. Man erklärte die Wirkung so, daß ein Flügel auf der einen Seite heißer sei als auf seiner anderen Seite. Daß dort, wo er heißer sei, die Gasmoleküle stärker anstoßen, und daher entstehe diese Drehung. Aber auch eine Bewegung zum Licht suchte man so zu deuten, daß man annahm, daß auch unter Umständen die der Strahlung abgekehrte Seite wärmer sein kann und so auch eine Bewegung zur Strahlung eintreten könne. Allerdings war man sich der Schwierigkeit dieser Erklärung immer bewußt. Jeder Physiker hatte bei den Erörterungen der Radiometerwirkungen ein unheimliches Gefühl. Da war ein russischer Physiker, Peter Lebedew, der an einem Gehänge im Hochvakuum den Lichtdruck um 1900 bestätigt zu haben glaubte. Als er aber von seinen Fachgenossen inquiriert wurde, da sagte er,

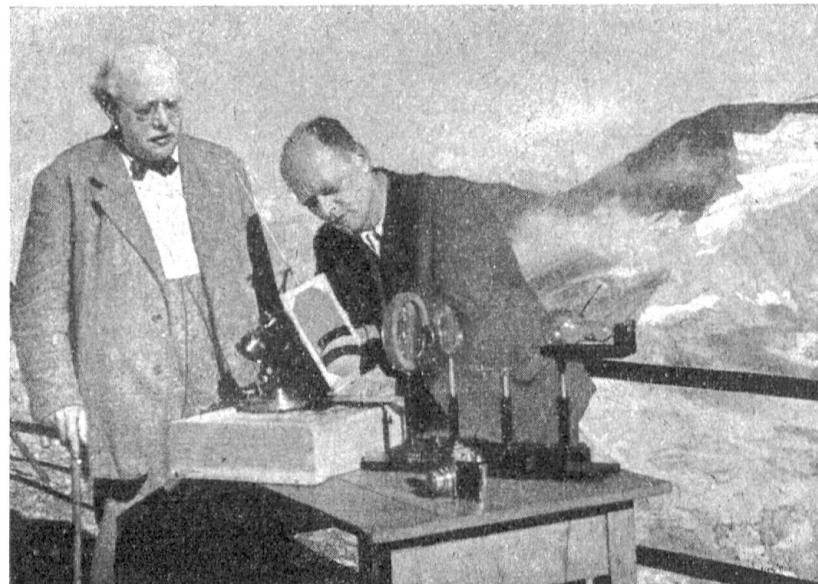


Abb. 2. Diese Aufnahme wurde kurz nach dem Aufschütteln des Graphitpulvers gemacht, bei Durchleuchtung mit einem konzentrierten Sonnenstrahl. Der größte Teil der Graphitteilchen bewegt sich in horizontalen Schraubenbahnen mit engeren oder weiteren Windungen und verläßt dann den Lichtstrahl. Von besonderem Interesse ist die Tatsache, daß sich die Probekörper nicht nur in der Richtung des Strahles bewegen, sondern auch zum Licht hin (positive und negative Photophorese). Wenn fast alle Teilchen den Lichtstrahl verlassen haben, bleiben einige noch darin schweben und kreisen oft stundenlang an derselben Stelle. Diese Kreisbahnen oder manchmal noch kompliziertere Kurven haben einen Durchmesser von 0,1 bis 10 mm und sind schon mit freiem Auge gut zu beobachten. Wenn der Lichtstrahl bewegt wird, so machen die Teilchen die Bewegung mit, verändert man die Lage des

seine Versuche seien doch nicht genau genug, um darauf diese wichtigen Hypothesen des Lichtdruckes basieren zu können. Man könnte den Lichtdruck viel eher aus dem Gesetz der schwarzen Strahlung nach Ludwig Boltzmann postulieren. Damit hatte es folgende Bewandtnis. In Wien hatte der Physiker Joseph Stefan gefunden, daß die Ausstrahlung eines Körpers bei hoher Temperatur der 4. Potenz der absoluten Temperatur proportional sei. Doch war dieses Gesetz eine Einzeltatsache. In das System der Physik wurde es erst durch Ludwig Boltzmann eingebaut. Er deduzierte, daß die Ausstrahlung eines sogenannten schwarzen Körpers der 4. Potenz der Temperatur proportional sei. Ein schwarzer Körper wird am besten symbolisiert durch einen Hohlraum, der ein kleines Loch hat und innen ganz schwarz ist, so daß alle Strahlung an den Wandungen absorbiert werden. Die aus dem kleinen Loch austretende Strahlung wäre schwarze Strahlung, die nur von der Temperatur abhängt. Dieses Gesetz der schwarzen Strahlung scheint mit der Erfahrung übereinzustimmen, woraus man schloß, daß die Voraussetzungen der Gesetzmäßigkeit der

Abb. 3. Prof. Ehrenhaft und Doz. Reeger beim Aufstellen der Photophorese-Apparatur am Gipfel des 3105 m hohen Sonniblicks. Links der Heliostat mit dem Spiegel, der das Sonnenlicht reflektiert, in der Mitte die beiden Linsen zur Konzentration des Strahles und ganz rechts der evakuierte Glaskolben, in dem sich das Wunder der Photophorese abspielt

schwarzen Strahlung erfüllt sein müssen. Voraussetzung der Boltzmannschen Theorie war aber wiederum der Strahlungsdruck, die Maxwell'sche Theorie, und der zweite Hauptsatz der Wärmelehre, die Unmöglichkeit eines thermischen Perpetuum mobiles. Boltzmann selbst hat aber in seinen Überlegungen zugeben müssen, daß er sein Gesetz auch durch andere Hypothesen ohne Benützung des Strahlungsgesetzes hätte herleiten können. Auf experimentellem Wege suchten nun die amerikanischen Physiker Hull und Nichols die eingangs erwähnten Kräfte, die sogenannten Radiometerkräfte, welche von Gasen auf die feste Materie übertragen werden, vom Strahlungsdruck abzutrennen, denn der Strahlungsdruck wirkt sofort. Die Radiometerkräfte brauchen aber Zeit, bis sie wirken. Die sehr schwierigen Versuche haben aber keine diskussionslose Klarheit in dieser fundamentalen Frage gebracht.

Die Frage ist und bleibt, was macht die Strahlung mit der Materie in hochentgasten Räumen und im höchsten Vakuum. Gibt es da eine direkte Einwirkung der Strahlung auf die Materie oder nicht? Zu diesem fundamentalen Problem beginnen nun die Ehrenhaftschen Versuche über die Photophorese Klarheit zu bringen. Ehrenhaft hatte vor mehr als einem Vierteljahrhundert entdeckt, daß physikalisch und chemisch gleichartige Materiateilchen im Lichtstrahl auch in evakuierten Räumen sich entweder zum Licht oder vom Licht weg bewegen. Der größte Teil der aufgeschüttelten Materiateilchen fliegt mit ziemlicher Geschwindigkeit in schraubenförmigen Bahnen und dreht sich dabei außerdem noch bis zu 4000mal um die eigene Achse. Die Geräte, die bei den Versuchen Verwendung finden, sind verhältnismäßig sehr einfach. Ein Glaskolben in der Form und Größe einer Glühbirne, der für die Untersuchungen

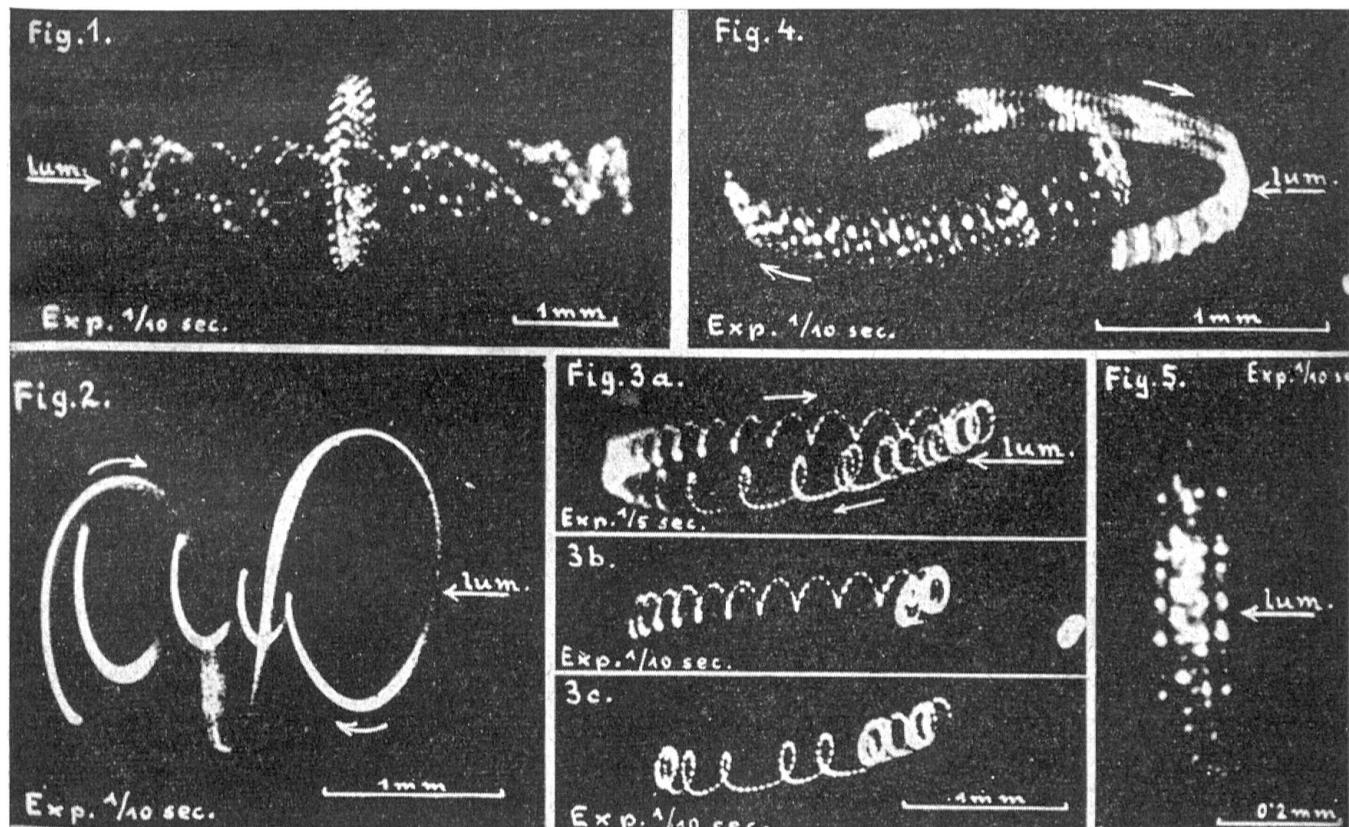


Abb. 4. Die obenstehenden Bilder geben einen Überblick über die Mannigfaltigkeit der Bewegungsformen, die bei der Photophorese auftreten. — Fig. 1. Ein Teilchen bewegt sich auf einem Kreis, der geradlinig in Strahlrichtung zwischen zwei Grenzlagen hin und her pendelt. Außerdem zeigt das Bild die stabile Kreisbahn eines zweiten Teilchens, die die Bahn des ersten umschließt. — Fig. 2. Dieses Graphitteilchen beschreibt eine seltene periodische Schraubenbahn und wurde durch das Mikroskop photographiert. — Fig. 3 a. Kombinierte Kreisbahn in horizontaler Lage. Belichtungszeit $\frac{1}{5}$ Sekunde. Ganze geschlossene Bahn. 3b. Belichtungszeit $\frac{1}{10}$ Sekunde. Obere Bahnhälfte. 3c. Belichtungszeit $\frac{1}{10}$ Sekunde. Untere Bahnhälfte. — Fig. 4. Zwei Teilchen, die eine kombinierte Kreisbahn beschreiben. Kleiner Kreis sehr schnell, großer zirka drei Umläufe pro Sekunde. Belichtungszeit kürzer als Umlaufzeit, daher Kreisbahn nicht geschlossen. — Fig. 5. Vordere Kante einer einfachen Kreisbahn, senkrecht zum Lichtstrahl photographiert. Besonders starke Vergrößerung, da die Aufnahme durch das Mikroskop erfolgte

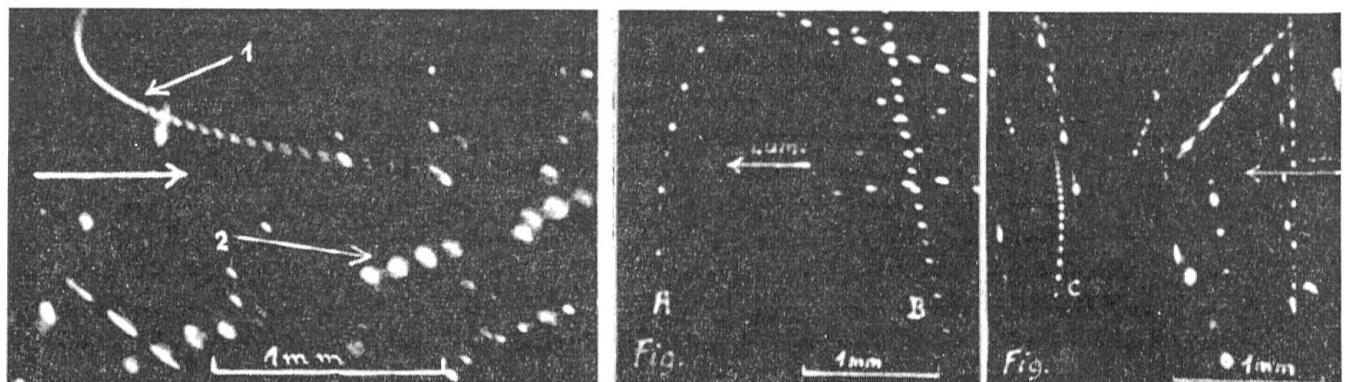


Abb. 5. Diese drei Aufnahmen sind besonders für den Fachmann von Interesse, da sie im höchsten Vakuum bei $1/1000$ Milliardstel des normalen Luftdruckes gemacht wurden und sowohl positive als auch negative Photophorese erkennen lassen. (Die Bahnen sind konkav oder konvex gekrümmt.) Außerdem zeigen die entgasten Probekörper auch eine Rotationsbewegung mit Frequenzen bis zu 3000 Umdrehungen pro Sekunde. Die Lichtknoten, die durch die Drehung um die eigene Achse entstehen, sind besonders deutlich erkennbar

evakuiert wird, enthält das feine Pulver, das bei den Versuchen aufgeschüttelt wird. Gut bewährt hat sich z. B. das Präparat „Graphite Powder, Azid purified“ von Eimer und Amend, New York, das eine Korngröße von zirka $1/1000$ mm besitzt.

Dieser Kolben wird, nach Aufschütteln des Graphitpulvers, von einem Sonnenstrahl direkt durchleuchtet oder mittels eines Spiegels, der an einem Heliostaten montiert ist, reflektiert. In beiden Fällen wird der Sonnenstrahl durch eine oder mehrere Linsen, die zwischen Lichtquelle

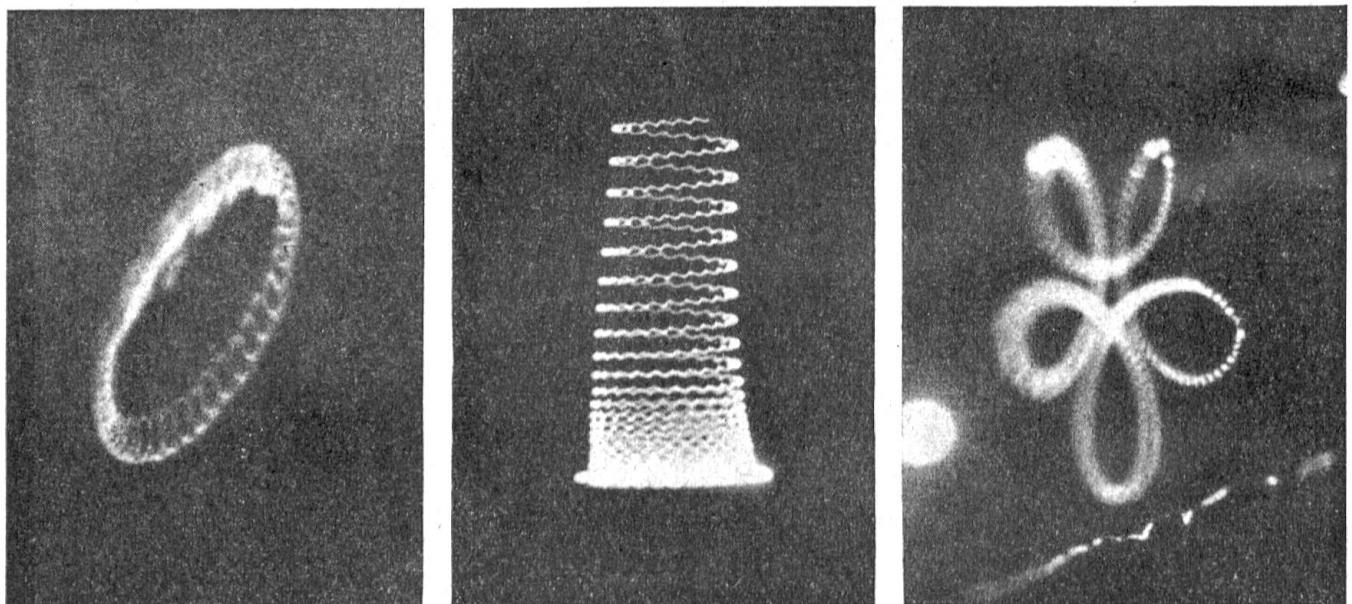


Abb. 6. Links: Eine der häufigen Schraubenbahnen, die aus der Kombination zweier Kreisbahnen entstehen. Der Durchmesser schwankt zwischen 0,1 mm und 10 mm, die Umlauffrequenz zwischen 3 pro Sekunde und mehr als 100 pro Sekunde. Verschiebt man den Kolben, so bleibt das Teilchen an seiner Stelle im Lichtstrahl schweben und zirkuliert ungehindert weiter. — Mitte: Wird die Intensität des Lichtstrahles geändert (z. B. durch teilweises Abdecken des Lichtstrahles mit der Hand), so wandert die Kreisbahn aus ihrer Ruhelage und bleibt dann an einer anderen Stelle des Lichtstrahles schweben. Wird die ursprüngliche Lichtstärke wiederhergestellt, so kehrt das Teilchen an seinen alten Platz zurück und kreist dort wieder weiter. Wählt man für die photographische Aufnahme eine längere Belichtungszeit (z. B. $1/5$ Sekunde oder $1/10$ Sekunde), so erhält man eine Schraubenbahn, und zwar aus dem Zusammenwirken der beiden Bewegungen — Kreisbahn und Abwandern aus der Ruhelage. Im vorliegenden Fall zeigt die große Schraubenbahn außerdem noch eine kleinere Schraubenstruktur. — Rechts: Außer den häufigen, einfachen Kreisbahnen beschreiben die Graphitteilchen auch kompliziertere Bahnen, so wie diese periodische, epizyklistische Bahn. Die Belichtungszeit von $1/5$ Sekunde reichte genau aus, um die gesamte Bahn auf die Platte zu bannen. Sehr deutlich sind die Lichtknoten, die durch Rotation der Teilchen um die eigene Achse entstehen, zu erkennen

und Kolben liegen, konzentriert. Die Beobachtung kann schon mit freiem Auge erfolgen oder besser mit einer Lupe. Die photographischen Aufnahmen werden sehr häufig durch das Mikroskop gemacht. Der Kolben wird bei den meisten Versuchen auf ein Hundertstel des normalen Luftdruckes evakuiert, und nur für Spezialuntersuchungen wird ein Hochvakuum von ein Milliardstel des normalen Luftdruckes erzeugt. Das Phänomen ist also auch im Prinzip im höchst erreichbaren Vakuum, wo kein Einfluß der Gase vorhanden ist, zu beobachten.

Außer den Schraubenbahnen, die bei jedem Versuch zu beobachten sind, interessieren besonders die Kreisbahnen und kombinierte Bewegungsformen, die in dem Glaskolben sichtbar werden. Die Graphitteilchen rotieren stundenlang an derselben Stelle des Lichtstrahls und wandern mit diesem mit, wenn er aus seiner Lage gebracht wird, so, wie wenn die Teilchen an den Lichtstrahl angebunden wären. Fast bei jedem Versuch kann man Kreisbahnen feststellen, die einen Durchmesser von 0,1 bis 10 mm haben und pro Sekunde bis zu 650 Umläufe machen. Außerdem drehen sich die Teilchen noch maximal bis zu 4000mal in der Sekunde um die eigene Achse. Die rätselhafte Kraft, die

das Teilchen in solche Kreisbahnen zwingt, muß sehr erheblich sein und wurde als 70mal so groß wie die Schwerkraft berechnet. Prof. Ehrenhaft und seine Mitarbeiter arbeiteten in letzter Zeit besonders intensiv an den Versuchen im Wiener Institut und erhielten immer neue Bewegungsformen und Resultate. Im Sommer vorigen Jahres faßte der Gelehrte den Entschluß, die Versuche auf dem 3105 m hohen Sonnblick durchzuführen.

Bei diesen Versuchen konnte nun tatsächlich festgestellt werden, daß die Photophorese-Erscheinungen in dieser Höhe wesentlich kräftiger auftreten und daß besonders die Anzahl der Graphitteilchen, die im Lichtstrahl schweben bleiben, im Vergleich zu den Wiener Versuchen eine viel größere ist. Es wurden auch zahlreiche photographische Aufnahmen gemacht, deren Auswertung noch im Gange ist. Aber schon jetzt kann gesagt werden, daß diese Versuche des Wiener Gelehrten einen Fortschritt zur Erforschung der rätselhaften Photophorese-Erscheinungen bringen werden. Die endgültigen Ergebnisse des Sonnblickunternehmens sollen, wie Prof. Ehrenhaft mitteilte, so wie bisher, an die Akademie der Wissenschaften in Paris gesandt werden.

Ein klein wenig Mathematik

Von F. Harold

Wenn man Zahlen mit sich selbst multipliziert, d. h. quadriert, so sieht man, daß die Unterschiede der Quadrate der Zahlenreihe gleich sind der arithmetischen Reihe der ungeraden Zahlen:

$$0^2 = 0; 1^2 = 1; 2^2 = 4; 3^2 = 9; 4^2 = 16; 5^2 = 25; \\ 6^2 = 36, 7^2 = 49 \text{ usw.}$$

Unterschied 1 3 5 7 9 11 13 usw.

Aus diesem Ergebnis ziehe ich weiter unten noch Folgerungen.

Betrachtet man den Unterschied zweier aufeinanderfolgender Zahlen, so sieht man, daß er das Doppelte der kleineren Zahl plus 1 (oder der größeren minus 1 beträgt). Nennt man die kleinere Zahl a , so ist die größere $a + 1$. Quadriert man diesen Ausdruck, so ergibt sich folgendes Bild: $(a + 1)^2 = a^2 + 2a + 1$.

Habe ich nun eine arithmetische Reihe zu quadrieren, so kann ich mir nach Ermittlung des Quadrates der kleinsten Zahl der Reihe das etwas mühselige Quadrieren der folgenden Zahlen (besonders drei- und mehrstelliger) ersparen, indem ich zum Quadrat der kleineren Zahl sein doppeltes Produkt plus 1 dazuzähle und so das Quadrat der folgenden Zahl erhalte:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Z. B. } 51^2 = 50^2 + 2 \times 50 + 1 & = & 2500 + 100 + 1 = 2601 \\
 \begin{array}{c} 2 \times 50 = 100 \\ 1^2 = 1 \end{array} & , & \begin{array}{l} 10 = \text{das doppelte} \\ \text{Produkt beider} \\ \text{Teile } 2 \ 1 \ 50 \end{array} \\
 \hline
 & 2601 & 2601 \\
 52^2 = 2601 + 2 \times 51 + 1 & = & 2601 + 102 + 1 = 2704 \\
 \text{Probe } 52^2 = 25 & & \\
 & 204 \text{ usw.} & \\
 \hline
 & 2704 &
 \end{array}$$

2704 Wenn die arithmetische Reihe der ungeraden Zahlen gleich ist den Unterschieden der Quadrate aufeinanderfolgender Zahlen, so müssen auch umgekehrt aus jeder ungeraden Zahl die Wurzelwerte zweier Quadrate solcher Zahlen gefunden werden:

Nehme ich die Zahl 721, so muß nach der Formel $2a + 1$, wenn ich von 721 1 abziehe und den Rest halbiere, der kleinere Wurzelwert gefunden werden: $\frac{1}{2}(721-1) = 360$, der größere daher 361:

$$\begin{array}{r}
 \text{Probe } 360^2 = 9 \quad 361^2 = 9 \\
 \begin{array}{r} 36 \\ 3600 \\ \hline 129600 \end{array} \quad \begin{array}{r} 36 \\ 36 \\ \hline 721 \\ \hline 130321 - 129600 = 721 \end{array}
 \end{array}$$

was zu beweisen war. Dasselbe gilt für jede ungerade Zahl.