

9 Zweidimensionaler „Kristall“ auf dem Luftkissentisch

Thema

Wenn man den Aufbau der Materie aus Atomen und Ionen im Unterricht behandelt, ist man auf Bilder und Modelle angewiesen. So kann man sich die Bausteine der Materie als kleine Kugeln vorstellen. Im Modell für ein Gas fliegen diese ungeordnet umher; simuliert man einen kristallinen Festkörper, so sind sie regelmäßig angeordnet und liegen dicht an dicht. Diese Vorstellung kann man mit makroskopischen, zweidimensionalen Modellen veranschaulichen. Ein Luftkissentisch eignet sich dazu besonders gut.

Die Darstellung eines Gases durch frei bewegliche Gleiter ist recht realistisch, da beim Modell, wie beim wirklichen Gas, die Wechselwirkung der „Atome“ nur während einer Zeit stattfindet, die kurz gegenüber der mittleren freien Flugzeit ist.

Die Simulation eines Festkörpers ist schwieriger. Freie Gleiter sind dazu nicht geeignet, da zwischen ihnen keine anziehende Wechselwirkung besteht. Manchmal werden die Gleiter durch Federn untereinander und mit dem Rand des Tisches verbunden, sodass sie ein regelmäßiges Gitter bilden. Mit einem solchen Modell kann man Gitterschwingungen veranschaulichen. Verschiedene einfache Fragen kann dieses Modell aber nicht beantworten.

Das Gerät

Wir haben einfache und billige Gleiter aus käuflichen Ferrit-Magneten hergestellt. Die gewünschte Wechselwirkung wird durch Kombination von Magnetscheibchen erreicht. Da ein Ionenkristall aufgebaut werden soll, muss es zwei Arten von Gleitern geben, die „Anionen“ und die „Kationen“. Beide sollen ein radialsymmetrisches Potenzial haben. Die Wechselwirkung zwischen einem „Anion“ und einem „Kation“ soll qualitativ die in Abb. 1 dargestellte Form haben, also starke Abstoßung für kleine und Anziehung für größere Abstände. Zwei Gleiter gleichen Typs, also 2 Anionen oder 2 Kationen, sollen sich bei allen Abständen gegenseitig abstoßen.

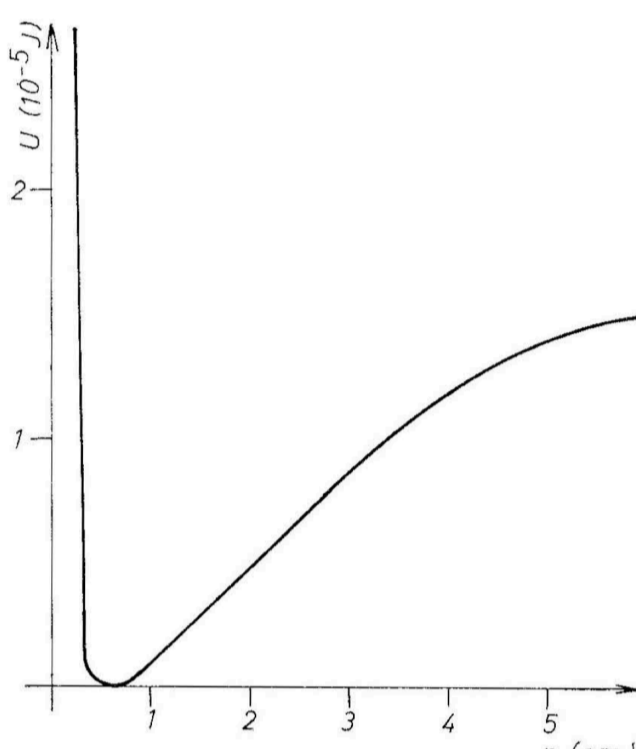


Abb. 1. Potential der Wechselwirkung zwischen einem Anionen- und einem Kationen-Gleiter

Diese Forderung an das Wechselwirkungspotenzials ist aber noch nicht hinreichend dafür, dass ein Kristall entstehen kann. Es muss außerdem gewährleistet sein, dass das Potenzial zwischen zwei Anionen für Abstände, die größer als der Gleichgewichtsabstand sind, etwa den gleichen Verlauf hat, wie das zwischen zwei Kationen, d.h. zwei Anionen müssen sich genauso stark abstoßen wie zwei Kationen. Ist diese Forderung nicht erfüllt, so kann sich keine Struktur bilden, bei der Anionen und Kationen in gleichartigen Gittern angeordnet sind. Im allgemeinen würde sogar überhaupt keine periodische Struktur entstehen.

Es ist leicht, Gleiterpaare zu bauen, die die Forderung „Abstoßung für kleine r , Anziehung für große r “ erfüllen. Ein solches Paar ist ein gutes Modell eines zweiatomigen Moleküls. Schwieriger ist es, vorauszusagen, was für Magnetanordnungen die Forderung „Abstoßung zwischen zwei Anionen = Abstoßung zwischen zwei Kationen“ erfüllen, denn dies stellt eine quantitative Bedingung dar. Darum wurde eine entsprechende Magnetanordnung einfach durch Probieren ermittelt. Das Ergebnis zeigt Abb. 2. Die Abmessungen der Magnete sind in der Tabelle zusammengestellt.

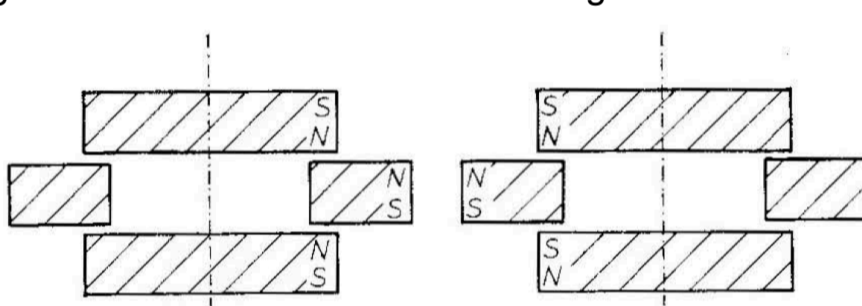


Abb. 2. Aufbau der beiden Gleitertypen

Der verwendete Luftkissentisch hat 30 cm Kantenlänge, die Luftlöcher haben einen Durchmesser von 0,6 mm und einen Abstand von 7 mm.

	Scheiben	Ringe
Außendurchmesser	22 mm	27 mm
Innendurchmesser	-	20 mm
Höhe	3 mm	3,5 mm

Der Versuch

Setzt man die Gleiter – in unserem Fall waren es 36 – ungeordnet auf den Tisch und schaltet das Gebläse ein, so bildet sich von selbst ein „kubisch-flächenzentrierter Kristall“ (Abb. 3). Man kann ihn wachsen lassen, indem man bei eingeschaltetem Gebläse abwechselnd einen Anionen- und einen Kationengleiter auf den Tisch setzt.

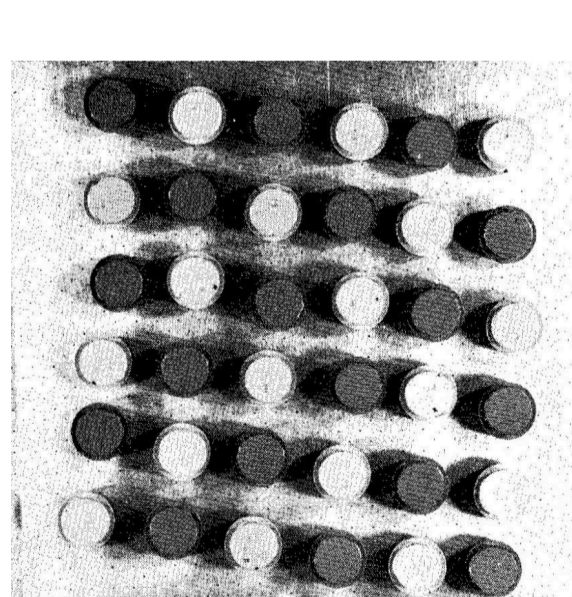


Abb. 3. Zweidimensionaler „kubisch-flächenzentrierter Kristall“ aus magnetischen Gleitern

Was man daraus lernen kann

Man kann Eigenschaften von Molekülen und Festkörpern demonstrieren. Zunächst baut man ein „zwei-atomiges Molekül“. Man erkennt qualitativ die Form des Wechselwirkungspotenzials. Man sieht auch schön die Schwingungen eines solchen Moleküls. Man setzt dann mehrere Gleiter auf den Tisch – abwechselnd Anionen und Kationen – und stellt fest, dass sich von selbst eine regelmäßige Struktur bildet. Es gibt nichts, das die Ionen an festen Plätzen in Bezug auf die Tischfläche hält, sie finden ihre Plätze allein durch die Wechselwirkung untereinander. Das erkennt man daran, dass man den Kristall als Ganzes frei auf dem Luftkissentisch verschieben kann.

Man schließt auch, dass zur Bildung einer solchen Struktur keine gerichteten Bindungen, keine „Arme“, nötig sind.

Nimmt man einen Gleiter aus der Mitte des Kristalls heraus, so erhält man das Modell einer Fehlstelle. Man sieht, dass eine solche Fehlstelle stabil ist und dass sich das Gitter in ihrer Umgebung verformt.

Man könnte auch Versetzungen einbauen, brauchte dazu aber einen größeren Tisch und mehr Gleiter. Den Effekt der Erwärmung eines Festkörpers zeigt man, indem man den Kristall an einer Seite mit einem Lineal unregelmäßig anstößt: alle Gitterbausteine führen unregelmäßige Schwingungen aus.

Schließlich ist es auch interessant, die Verformung eines Festkörpers bei Kompression zu demonstrieren, indem man den Kristall von zwei gegenüberliegenden Seiten aus zusammendrückt. Bei geringer Kompression stellt man eine elastische Verformung fest, bei höherem „Druck“ findet eine irreversible Umordnung des Kristalls statt: Die Zahl der Gitterebenen parallel zu den drückenden Wänden nimmt ab, quer dazu nimmt sie zu. Außerdem entstehen bei dieser Umordnung Gitterfehler.