

Bemerkungen über Umwandlungstemperaturen

Autor(en): **Peierls, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **7 (1934)**

PDF erstellt am: **05.11.2014**

Persistenter Link: <http://dx.doi.org/10.5169/seals-110415>

Nutzungsbedingungen

Mit dem Zugriff auf den vorliegenden Inhalt gelten die Nutzungsbedingungen als akzeptiert. Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die angebotenen Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungshinweisen und unter deren Einhaltung weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Bemerkungen über Umwandlungstemperaturen

von R. Peierls (Manchester).

In vielen, physikalisch voneinander sehr verschiedenen, aber formal analogen Erscheinungen findet man empirisch, dass sich bei einer bestimmten Temperatur ein Übergang von einem geordneten zu einem ungeordneten Zustand vollzieht¹⁾. Typische Fälle hierfür sind der Schmelzpunkt fester Körper und der Curiepunkt des Ferromagnetismus.

Es sind viele mathematische Methoden bekannt, um das Verhalten fester Körper für Temperaturen zu untersuchen, die entweder sehr hoch oder sehr niedrig sind, gemessen an der Umwandlungstemperatur. Dagegen versagen diese Methoden gewöhnlich für die Behandlung der Erscheinungen am Übergangspunkt selbst. Die Weiss'sche Theorie des Ferromagnetismus und ihr analoge Theorien anderer Erscheinungen sind zwar auch in diesem Gebiet näherungsweise richtig, jedoch wird dort der Typus des Verhaltens am Übergangspunkt im wesentlichen durch die Näherungsannahmen bestimmt, die man zur Vereinfachung der Theorie gemacht hat. Solche Verfahren sind daher sehr nützlich zur Beschreibung von Systemen, deren qualitatives Verhalten am Übergangspunkt man schon empirisch kennt, nicht aber zu einer theoretischen Untersuchung des Übergangspunktes selbst.

Man kann aber immerhin beweisen, dass eine definierte Übergangstemperatur existieren muss, und dass sich der Übergang nicht in jeder Beziehung kontinuierlich vollzieht, obwohl diese Überlegung nichts über die Art der Singularität aussagt (insbesondere nicht, ob eine Umwandlungswärme, ein Sprung oder ein Knick in der spezifischen Wärme auftritt).

Die — an sich wohl nicht neue — Überlegung²⁾ beruht darauf, dass in einem geordneten Zustand durch kleine Abweichungen von der idealen Ordnung die Kohärenz der geordneten Gebiete nicht gestört wird.

Ein Beispiel soll dies erläutern: Zwischen einem Kristall und einer Flüssigkeit besteht ja bekanntlich der qualitative Unter-

¹⁾ Vgl. den vorstehenden Vortrag von R. H. FOWLER.

²⁾ Die mitgeteilte Überlegung wurde in Diskussionen mit H. BETHE entwickelt. L. LANDAU ist unabhängig zu sehr ähnlichen Resultaten gekommen.

schied, dass im Kristall die Achsrichtungen (d. h. die Richtungen der Verbindungslinien zwischen Nachbaratomen) zwar wegen der Wärmeschwingungen von Ort zu Ort schwanken, dass aber diese Schwankungen mit der Entfernung nicht anwachsen, sodass auch im Falle makroskopischer Dimensionen kristallographische Richtungen durch den ganzen Kristall hindurch definiert sind. Die Abweichungen von der Parallelität der Achsen an zwei verschiedenen Enden des Kristalls bleibt immer klein. Andererseits ist dies in einer Flüssigkeit offenbar nicht mehr der Fall.

Ein solches Verhalten des Kristalls ist durchaus nicht trivial, ein eindimensionales Modell würde z. B. ein derartiges Verhalten nicht zeigen. Betrachten wir dort nämlich die Lage eines Atoms Nummer 1 relativ zu seinem Nachbarn Nummer 0, so wird der Abstand infolge der Wärmebewegung um einen Mittelwert schwanken. Atom Nummer 2 wird dieselben Schwankungen bezüglich Nummer 1 zeigen, wobei jedoch praktisch keine direkte Wechselwirkung zwischen 0 und 2 besteht. Die Schwankungen des Abstands 0—2 ergibt sich also durch Zusammensetzung unabhängiger Schwankungen, und man sieht, dass die Schwankungen der Distanz $0 - n$ proportional zu \sqrt{n} sind. Wie tief daher auch die Temperatur sei, d. h. wie klein die Schwankungen im Abstand von Nachbaratomen, stets wird über hinreichend grosse Distanzen die Kohärenz verloren gehen.

Betrachtet man dasselbe Problem in drei Dimensionen, so sieht man, dass die Kopplung viel stärker ist, weil z. B. die „Kenntnis“ von der Lage des 0-ten Atoms an das Atom 2 nicht nur durch ein Atom, sondern durch mehrere (1 und 1' in Fig. 1) vermittelt

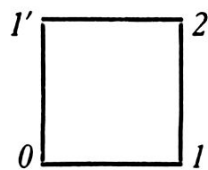


Fig. 1.

wird. Damit also eine anomal grosse Abweichung des Atoms 2 von der Mittellage möglich wird, müssen alle diese Atome grosse und gleichsinnige Schwankungen haben, was die Wahrscheinlichkeit stark herabsetzt. Je weiter die betrachteten Atome auseinanderliegen, um so grösser ist die Anzahl gleichlanger Wege zwischen ihnen. Diese Tatsache wirkt dem oben diskutierten Anwachsen der Schwankungen entgegen, mit dem Resultat, dass die Schwankung sich für grosse Distanzen einem endlichen Wert

nähert, der von der gleichen Grössenordnung ist, wie für zwei Nachbaratome¹⁾.

Hieraus folgt nun, dass die beiden Phasen sich qualitativ unterscheiden, und dass daher eine Temperatur existieren muss, unterhalb deren die Kohärenz noch besteht, und oberhalb deren die Schwankungen von relativer Position und Orientierung mit der Entfernung zunehmen. Diese Temperatur ist der Schmelzpunkt. Es folgt also aus rein theoretischen Betrachtungen, dass sich dort irgendwelche Zustandsgrössen unstetig verhalten müssen.

Analoges gilt für die anderen Probleme vom gleichen Typus. Stets lässt sich zeigen, dass für sehr tiefe Temperaturen Kohärenz besteht und für hinreichend hohe nicht mehr²⁾.

In allen diesen Fällen folgt also die Existenz einer scharf definierten ausgezeichneten Temperatur, und es ist ihnen auch allen gemeinsam, dass ein ein- oder zweidimensionales Modell diesen Zug nicht zeigen würde.

¹⁾ Die sehr einfache Durchrechnung mit Hilfe der elastischen Eigenschwingungen des Gitters ist z. B. bei R. PEIERLS, Annales de l'Institut HENRI POINCARÉ, im Erscheinen, wiedergegeben.

²⁾ Nur beim Problem des Ferromagnetismus liegen die Verhältnisse ein wenig komplizierter, weil dort infolge der magnetischen Wechselwirkungen nicht evident ist, dass die völlige Ordnung dem Zustand kleinster Energie entspricht.
