

Ostersonntag, 10. April 1955

Lieber Max,

Sehr lange habe ich nicht von Dir gehört. - Ich möchte Dir ein Problem vortragen, welches wert wäre, daß der Weltspezialist für Gitter- und Molekülschwingungen es sich durch den Kopf gehen lasse. Es betrifft die Supraleitung. Aus Laues vortrefflicher Monographie entnehme ich (p. 91f der 2. Auflage), daß Keesom und van Laer schon 1938 über den Verlauf der Atomwärme des Sn (Zinn) folgendes gefunden haben. Die Sprungtemperatur ist 3.7° . Die Atomw. des Normalleiters wurde bis herab zu etwa 1°K. verfolgt (mittels schwachen Magnetfelds, das den Übergang in die Supraphase verhindert). Neben dem Debyeschen T^3 -term ist ein linearer Sommerfeld-term vorhanden, wie er von den "Leitungselektronen" zu erwarten ist, d.h. von der aufgelockerten oberen Grenze der Fermiverteilung. Der Supraleiter (der ja nur unterhalb 3.7° existiert) zeigt dort sehr genau eine reine T^3 -Abhängigkeit der AW., der lineare Term geht bei Abkühlung unter 3.7° plötzlich verloren. Aber die AW. der Supraphase ist nicht etwa kleiner, sondern beträchtlich (40 bis 50%) größer als die der Normalphase, weil jene eine um etwa 25% kleinere Debyetemperatur hat.

Man weiß nicht, wo man zu staunen anfangen soll. Beim normalen Sprungpunkt ist die Übergangswärme Null, keine Volumänderung, kein Magnetfeld, also keine Energie-änderung. Die augenscheinlich ausscheidende, also verfügbare, Energie der Leitungselektronen deckt also genau den Mehrbedarf der Ionengitterschwingungen wegen verminderter Debyetemperatur (Rechnung, mit Vorsicht, folgt unten). Zweitens, der Supraleiter hat auch noch normalen nichtverschwindenden Widerstand, wie MacLennans Hochfrequenzmessungen zeigen; auch wächst in gewissem Sinn der Supra-charakter bei Abkühlung unter den Sprungpunkt doch nur allmählich an, weil die Londonsche Eindringungstiefe (Dicke der "Schutzschicht") zwar schnell, aber nicht unstetig von "unendlich" (beim Sprungpunkt) auf den sehr kleinen Wert bei tieferer Temperatur abnimmt (ein experimentell gut gesichertes Ergebnis, welches nach London so auszulegen sei, daß die "Zahl der Supraelektronen" bei Abkühlung unter den Sprungpunkt von Null an anwächst).

Die zwei Debyetemperaturen (d.h. der Sprung) deuten doch wohl auf eine unstetige Änderung der Wechselwirkung zwischen Ionengitter und "Elektronenbrei" und daraus folgende Änderung der elastischen Konstanten. Eine solche Änderung der Wechselwirkung stimmt ja gut zum Hauptphänomen der Supraleitung. Phantastisch ist es aber, daß sie von keiner Volumsänderung und von keiner Veränderung der Gitterstruktur begleitet sein soll: das mechanische Gleichgewicht der Ionen bleibt erhalten in genau denselben Lagen, aber die bei einer Deformation geweckten rücktreibenden Kräfte ändern sich um ihre eigene Größenordnung! Das läßt sich sehr schwer, höchstens etwa so verstehen: es sind an sich zwei Wechselwirkungs-Mechanismen möglich, die an sich, bei irgendeiner Temperatur, verschiedene Gitterabstände herbeiführen würden; die normale Sprungtemperatur ist dadurch bestimmt, daß diese Gitterabstände gleich werden.

Aber das Letztere ist wenig befriedigend, denn bloße Temperaturänderung ändert ja bei diesen tiefen Temperaturen den Gitterabstand sehr wenig, und zwei fast horizontal verlaufende Kurven haben keinen scharfen Schnittpunkt.

Dagegen kann man wohl sagen, daß der Sprungpunkt bestimmt ist durch die oben betonte Gleichheit der zwei Energiebeträge, des durch den Verlust des linearen Sommerfeldterms der AW. zur Verfügung gestellten und des von den Ionenschwingungen wegen der verminderten Debyetemperatur benötigten. Dabei muß man aber aufpassen, weil beim absoluten Nullpunkt, obwohl auch dort keine Übergangswärme, doch eine Energiedifferenz besteht, da die Normalphase aus der Supraphase nur unter dem "Querdruk" $H^2/2$ eines gewissen Magnetfelds herstellbar ist. Am einfachsten verwendet man dies, daß sowohl beim Nullpunkt wie beim Sprungpunkt die Übergangswärme Null ist, also

Das A ist universell, ein numerisches Vielfaches der Gaskonstante. Das α hängt nach Sommerfeld nur von der Elektronendichte des Normalleiters ab. Durch diese und die zwei Debyetemperaturen wäre also die Übergangstemperatur T_0 bestimmt, wenn man sich denkt, daß die zwei θ 's durch zwei mögliche Wechselwirkungsmechanismen bestimmt sind. Mit dem Vorzeichen steht es so, daß oberhalb des Sprungpunktes die Fermi-Sommerfeldenergie noch nicht Energiebedarf zu decken. Er setzt beim abkühlen ein, sobald sie ausreicht.

Was ist der S-Mechanismus? Du hast doch seinerzeit die Schwingungen von Molekülen sehr befriedigend so aufgefaßt: Für jede Konfiguration der Kerne gibt es einen niedrigsten Eigenwert des Elektronensystems, der von jener Konfiguration abhängt und in dieser Abhängigkeit als potentielle Energie der Kernschwingungen

fungiert (die dann freilich ihrerseits zu quanteln sind). Dabei wundert man sich gar nicht, daß die "Elektronenbewegung" ewig weiterbesteht, ungestört von der Wärmebewegung der Kernschwingungen, unter deren Einfluß sich die Elektroneneigenfunktion bloß langsam-periodisch adiabatisch abändert. Natürlich, was soll das arme Luder auch machen, da es ohnehin komplet Fermi-degeneriert ist und die Kernbewegungsquanten viel zu schwach sind, um es in ein höheres Niveau zu erheben. - Ferner wundert man sich auch nicht, daß in manchen Fällen diese niederste Elektroneneigenfunktion permanente magnetische Eigenschaften hat, z.B. beim O₂-Molekül.

Darf man sich denken, daß es im supraleitenden Kristall als Großmolekül ähnlich zugeht?

Das Merkwürdige ist nur, daß ein ringförmiger Supraleiter viele anscheinend völlig stabile Zustände hat, auch wenn er ganz allein auf der Welt ist, eine ganze lineare Reihe, je nach der Zahl der Induktionslinien, die er einschließt, oder, was dasselbe ist, nach dem ~~Ringintegral~~ ^{Flußquant} der Stromstärke, mit völligem Übergangsverbot zwischen diesen Zuständen.

Aber verzeih, diese letzten Absätze sind Geschwätz, das ist alles schon hundertmal mit diesen oder anderen Worten gesagt worden.

Ich wollte Deine Aufmerksamkeit hauptsächlich auf die zwei Debyetemperaturen lenken und auf den sonderbaren Energieübergang zwischen Elektronenterm und Gitterschwingung.

Erst gestern hörte ich, daß Erich Regener sehr plötzlich gestorben ist. Über Richard Becker erhielt ich die Anzeige. Und London. Und Fermi. Ein starker Zoll in etwa Jahresfrist.

Viele liebe Grüße von Haus zu Haus

Dein alter

J. von

Nachtrag: Man kann versuchen, aus Glg. (2) den Isotopeneffekt zu verstehen, wonach das leichtere Isotop etwas leichter supraleitend wird, d.h. schon bei etwas höherer Temperatur und unterhalb des Sprungpunkts ein etwas stärkeres Magnetfeld verträgt.

Wenn man Elektronendichte und Elastizität als rein elektromagnetische Angelegenheiten und als unabhängig von der Masse ansehen darf, dann müßten die beiden thetas, weil mit der Frequenz direkt, mit der Wurzel aus der Masse umgekehrt proportional sein. Das ergäbe für T_c, daß es mit der minusdreiviertelten Potenz der Masse des Isotops variiert; angegeben finde ich die minuseinhalbte; aber die Effekte sind klein, und die letztere Vermutung ist vielleicht näherliegend.