

## VERSAMMLUNGSBERICHTE

Physikalisches Colloquium Hamburg  
am 9. Februar 1939.

Geheimrat Prof. Dr. A. Sommerfeld, München: „Über Elektronentheorie der Metalle.“

Vortr. berichtet in mehreren Abschnitten über einige Fortschritte in der Elektronentheorie der Metalle, deren quantentheoretische Fassung von ihm selbst im Jahre 1928<sup>1)</sup> gegeben wurde und an deren weiterer Entwicklung er einen bedeutenden Anteil hatte.

1. *Spezifische Wärmen.* Der erste Erfolg der Theorie lag in der Aufklärung, warum das Elektronengas nur einen verschwindend kleinen Beitrag zur spezifischen Wärme lieferte. Die Leitungselektronen nämlich — die sich gemäß dem Pauli-Prinzip als praktisch völlig entartetes Elektronengas beschreiben lassen — besitzen eine so hohe Nullpunktsenergie, daß daneben die thermische Energie nicht ins Gewicht fällt, jedenfalls bei Temperaturen unter  $10^4$  Grad. Die genaue Behandlung des Problems ergab, daß die Leitungselektronen einen zur Temperatur proportionalen Beitrag zur spezifischen Wärme liefern,  $c = \gamma T$ , freilich mit einem so kleinen Proportionalitätsfaktor  $\gamma$ , daß er erst im Bereich tiefer Temperaturen, etwa  $5^\circ$  abs., faßbar ist, wo der Anteil der Gitterschwingungen an der spezifischen Wärme, welcher nach *Debye* proportional zu  $T^3/\Theta^3$  verläuft, bereits ganz abgeklungen ist.

Neue Messungen in Leiden bestätigen nun ganz ausgezeichnet den linearen Gang bis zu extrem tiefen Temperaturen hinunter; der Faktor  $\gamma$  ist in Übereinstimmung mit den theoretischen Abschätzungen. Damit läßt sich jetzt auch bei etwas höheren Temperaturen der Anteil des Elektronengases von den gemessenen spezifischen Wärmen abspalten, und das bringt die Möglichkeit einer sehr genauen Bestimmung der charakteristischen Temperatur  $\Theta$  der Gitterschwingungen mit sich.

*Aussprache:* Harteck: Früher wurde gelegentlich von theoretischer Seite geäußert, daß man möglicherweise Abweichungen von der strengen Temperaturproportionalität erhielte, wenn man das Modell des freien Elektronengases verfeinerte und die Bindung der Elektronen berücksichtigte; bestand diese Vermutung zu Unrecht? — Vortr.: Zunächst zeigen die eben berichteten Experimente ja tatsächlich eine äußerst strenge Proportionalität. Aber auch die theoretische Berücksichtigung der Bindung der Elektronen durch *Brillouin*, *Bloch* u. A. ergab, daß die Temperaturproportionalität in Strenge erhalten bleibt und nur der Faktor  $\gamma$  sich ändert.

2. *Supraleitung.* Eines der schwierigsten, aber auch reizvollsten noch offenen Probleme der Elektronentheorie bildet die Supraleitung, die nach Auffassung des Vortr. in sehr vernünftiger Weise phänomenologisch durch die *Londonschen* (Gleichungen<sup>2)</sup>) beschrieben wird. *Welker* berichtete auf dem Physikertag in Baden-Baden<sup>3)</sup> über einen Versuch, diese phänomenologische Theorie *Londons* elektronentheoretisch zu interpretieren durch folgende Annahme: In dem nicht voll besetzten Bereich der möglichen Energiezustände der Metallelektronen gibt es — anschließend an das besetzte Gebiet — einen schmalen Bereich von Energiewerten, welche von den Elektronen nicht angenommen werden können. Die Breite dieses verbotenen Bereichs ist  $kT_c$  ( $k$  = Boltzmann-Konstante,  $T_c$  = Sprungtemperatur, unterhalb welcher Supraleitung möglich ist).

Dieses schmale Gebiet müßte sich nun auch in den spezifischen Wärmen bemerkbar machen in folgender Weise: Bei  $T > T_c$  gibt es infolge thermischer Anregung Elektronen oberhalb des verbotenen Bereiches, deren Energieaufnahme bei der Erwärmung für den Betrag  $\gamma T$  verantwortlich ist. Bei  $T < T_c$  dagegen müssen die Elektronen erst über den Bereich  $kT_c$  hinausgehoben werden, was eine entsprechend größere Energiezufuhr erfordert, d. h. größere spezifische Wärme im Gefolge hat. Neue Messungen von *Keesom* gaben genau am Sprungpunkt eine Anomalie, die ganz den Erwartungen nach *Welkers* Modell entspricht.

Legt man ein äußeres Magnetfeld an, so verschiebt sich der Sprungpunkt zu kleineren Werten von  $T$ , wie sich auch bei *Welker* ergibt, und eine gleiche Verschiebung zeigen auch die *Keesomschen* Anomaliepunkte der spezifischen Wärmen,

zugleich nimmt ihr Betrag ab. Diese Ergebnisse möchte Vortr. als neuen Hinweis werten, daß die *Welkersche* Annahme wirklich einen physikalischen Sachverhalt trifft, dagegen sieht Vortr. die kürzlich von *Papapetrou*<sup>4)</sup> versuchte wellenmechanische Begründung der *Welkerschen* Hypothese als unzureichend an.

*Aussprache:* Lenz: Läßt sich nach *Welkers* Modell, das die magnetischen und calorischen Eigenschaften der Supraleiter offenbar in interessanter Weise interpretiert, auch der Dauerstrom in einem ringförmigen Leiter verstehen? — Vortr.: Bei der Behandlung mehrfach zusammenhängender Bereiche, also etwa eines Stromringes, stieß *Welker* zunächst auf Schwierigkeiten mehr mathematischer Natur; die Behandlung dieser Frage ist noch nicht abgeschlossen.

3. *Wiedemann-Franzsches Gesetz.* Eines der eindrucksvollsten Ergebnisse der alten *Lorentzschen* Metalltheorie (deren Grundlagen sich später als unzulänglich erwiesen) war die Herleitung des *Wiedemann-Franzschen* Gesetzes über den Zusammenhang der elektrischen Leitfähigkeit  $\sigma$  und des Wärmeleitungsvermögens  $\kappa$ . In den ersten Arbeiten *Sommerfelds* gelang es aber, auch auf quantentheoretischer Grundlage dieses Gesetz herzuleiten, obwohl sich zeigte, daß die Wärmeleitung in erster Näherung Null ist und erst einen Effekt zweiter Ordnung darstellt. Die Rechnung ergab dieselbe Temperaturabhängigkeit wie die klassische *Lorentzsche* Theorie, nur mit einem Faktor  $\pi^2/3$  an Stelle von 3, was auch mit der Erfahrung besser übereinstimmt. Diese Formel war zunächst nur mit dem speziellen Modell freier Elektronen gewonnen, von verschiedenen Autoren wurde sie später auch für viele weitere Fälle — freilich jedesmal unter speziellen einschränkenden Bedingungen — hergeleitet, so daß man ihre Allgemeingültigkeit vermuten durfte. Nunmehr ist es *Meixner*<sup>5)</sup> mittels einer sehr eleganten Methode gelungen, das Gesetz ohne jegliche Einschränkungen in bezug auf Gittersymmetrie, äußere Felder u. dgl. herzuleiten. — Aus Messungen über die Beeinflussung des elektrischen Leitvermögens durch magnetische Felder lassen sich nun z. B. auch Rückschlüsse ziehen auf die Wärmeleitung in denselben Feldern.

*Aussprache:* Jensen: Die empirischen Werte der Konstanten im *Wiedemann-Franzschen* Gesetz zeigen immer noch Schwankungen um den theoretischen Wert  $\pi^2/3$ ; muß man nach *Meixners* Ergebnis diese Abweichungen als Meßfehler ansehen, oder würden evtl. höhere Näherungen, die bei *Meixner* vernachlässigt wurden, dafür verantwortlich zu machen sein? — Vortr.: Die von *Meixner* vernachlässigten Terme lassen sich als unmeßbar klein abschätzen. Außerdem würden sie, wenn sie noch meßbar wären, die Temperaturabhängigkeit ändern, was experimentell nicht der Fall ist. Man muß wohl deshalb die *Wiedemann-Franzsche* Konstante als universell ansehen, und es wäre wünschenswert, daß die derzeit noch vorliegenden Abweichungen erneut experimentell überprüft würden.

4. *Elektrischer Widerstand.* Zum Schluß berichtet Vortr. über eine neue von *Sauter*<sup>6)</sup> entwickelte Methode zur Berechnung des elektrischen Widerstandes in Metallen, die sich an die von *Houston*<sup>7)</sup> während seines Münchener Aufenthalts durchgeführte Behandlung des Falles hoher Temperaturen anschließt. Die *Sautersche* Behandlung des Problems hat der bisherigen, vor allen von *Bloch* entwickelten Theorie gegenüber den Vorzug größerer Anschaulichkeit und praktischer Anwendbarkeit; darüber hinaus gestattet sie aber auch eine exakte Behandlung des ganzen Zwischengebietes zwischen den bisher allein behandelten Grenzfällen extrem tiefer Temperatur (Widerstand proportional zu  $T^5$ ) und hoher Temperaturen (Widerstand proportional zu  $T$ ). Bei *Sauter* wird die — für den elektrischen Widerstand verantwortliche — Streuung der Elektronenwellen an den Gitterschwingungen behandelt als „Spiegelung“ an den Wärmewellen (= Schallwellen) des Gitters gemäß der *Braggschen* Beziehung, unter Berücksichtigung des dabei auftretenden *Raman-Effekts* (Aufnahme bzw. Abgabe von Schallquanten an das Gitter). Die Verhältnisse sind ganz dieselben wie bei der Beugung von Licht an Ultraschallwellen. Eine zunächst verbleibende Unbestimmtheit wird beseitigt durch die aus dem Korrespondenzprinzip folgende Bedingung, daß für hohe Temperaturen — wo die Energie der Schallquanten klein gegen  $kT$  ist — sich das *Houstonsche* Widerstandsgesetz (s. o.) ergeben muß.

<sup>1)</sup> Sommerfeld, *Houston* u. *Eckart*, Z. Physik 47, 1 [1928].

<sup>2)</sup> F. London: Une conception nouvelle de la Supraconductibilité, Paris 1937.

<sup>3)</sup> Diese Ztschr. 52, 118 [1939]. <sup>4)</sup> Z. Physik 111, 318 [1939].

<sup>5)</sup> Ann. Physik [5] 88, Heft 7 [1938]; Sommerfeld-Festschrift.

<sup>6)</sup> Naturwiss., im Erscheinen; Ann. Physik, im Erscheinen.

<sup>7)</sup> Houston, Z. Physik 48, 449 [1928].