

Abb. 4. Das Schwingungsspektrum von Na für verschiedene Symmetrierichtungen. —: berechnete Kurve,  $\times \times \times$ ,  $\circ \circ \circ$ : experimentelle Punkte nach Woods et al.

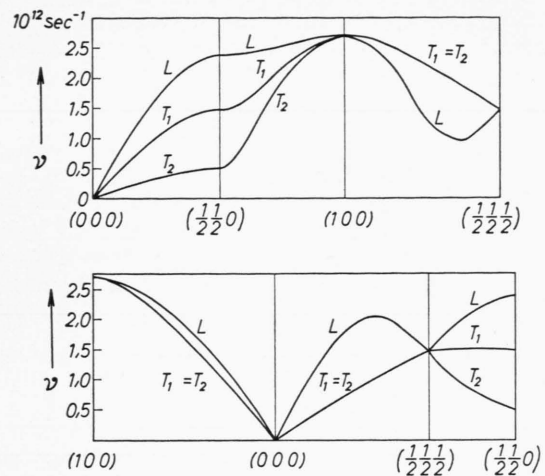


Abb. 5. Das Schwingungsspektrum von K für verschiedene Symmetrierichtungen.

Kopplungsparameter für Li, Na und K angegeben und mit den entsprechenden Werten von Woods et al.<sup>6</sup> und BRENIG<sup>4</sup> im Fall von Na verglichen. Die mit diesen Kopplungsparametern berechneten Gitterschwingungsspektren für Symmetrierichtungen sind in Abb. 3–5 dargestellt. Die zugehörigen Polarisationsvektoren lassen sich durch gruppentheoretische Überlegungen gewinnen. Im Fall von Na (Abb. 3) haben wir außerdem noch die Dispersionskurven angegeben, die von Woods

et al. mit Hilfe der Streuung von Neutronen bestimmt worden sind. Selbst im Gebiet kurzer Wellen, wo nur eine pauschale Anpassung über die spezifische Wärme durchgeführt worden ist, ist die Übereinstimmung in Anbetracht unseres einfachen Modells befriedigend. Es stellt deshalb eine gute Näherung für alle jene Erscheinungen dar, die nur über das Schwingungsspektrum von den Kopplungsparametern abhängig sind.

## Änderung des elektrischen Widerstandes von Kalium bei 4,2 °K in gepulsten magnetischen Longitudinalfeldern bis 110 kG

Von EDUARD JUSTI und KARL AUCH

Institut für Technische Physik der T. H. Braunschweig  
(Z. Naturforsch. 18 a, 767–768 [1963]; eingegangen am 30. April 1963)

Über die galvanomagnetische Widerstandsänderung von polykristallinen Metallproben in hohen gepulsten Magnetfeldern wurde in jüngster Zeit mehrfach berichtet<sup>1, 2</sup>. Messungen an Alkalimetallen (mit Ausnahme des Lithiums) wurden bisher nur in stationären Magnetfeldern bei relativ niedrigen Feldstärken durchgeführt<sup>3, 4</sup>, wenn man von den nur orientierenden Messungen KAPITZAS<sup>5</sup> an Alkalimetallen absieht. Da die Alkalimetalle als die idealsten Elektronenleiter auch vom theoretischen Standpunkte besonderes Interesse besitzen, schien es sinnvoll, die Arbeiten von JUSTI<sup>3</sup> fortzusetzen.

Bei galvanomagnetischen Messungen an sehr reinen Metallen in gepulsten Feldern ist die Gefahr einer

Wirbelstromaufheizung der Proben und damit einer Überlagerung von magnetischer und thermischer Widerstandszunahme sehr groß. Diese Störquelle wäre für Messungen bei Zimmertemperatur vernachlässigbar, bei 4,2 °K wird sie durch die große Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit und die gleichzeitige Abnahme der spezifischen Wärme von großer Wichtigkeit. Die Verminderung der Probendurchmesser zur Ausschaltung der Wirbelstromaufheizung erreicht eine Grenze durch das Einsetzen des Weglängeneffekts. Für Kalium-Proben mit einem Restwiderstandsverhältnis von  $10^{-3}$  findet man eine freie Weglänge der Elektronen von etwa  $4 \cdot 10^{-2}$  mm<sup>6</sup>. Die Durchmesser der Proben sollten daher möglichst um etwa einen Faktor 10 größer sein. Eine Berechnung der Wirbelstromaufheizung unter der Annahme fehlender Wärmeabfuhrung — das Kalium befindet sich in Glaskapillaren — ergab folgende Forderung:

Für Kalium-Proben von 0,3 mm  $\phi$  und maximalen Magnetfeldern von 110 kG sollte die Anstiegszeit des Magnetfeldes (bis zum Erreichen des Maximums) 30 ms betragen.

<sup>1</sup> B. LÜTHI, Helv. Phys. Acta 33, 161 [1960].

<sup>2</sup> P. CORTI, Z. Angew. Math. Phys. 11, 17 [1960].

<sup>3</sup> E. JUSTI, Ann. Phys., Lpz. (6) 3, 183 [1948].

<sup>4</sup> D. K. C. McDONALD, Proc. Phys. Soc., Lond. A 63, 290 [1950].

<sup>5</sup> P. KAPITZA, Proc. Roy. Soc., Lond. A 123, 292 [1929].

<sup>6</sup> H. JONES im Handbuch d. Physik (Flügge), Bd. 14, 155.



Die entwickelte technische Lösung entsprach diesen Forderungen. Eine Kondensatorenbatterie von 2000  $\mu\text{F}$  und 2,5 kV Ladespannung wird über eine mit flüssigem Stickstoff gekühlte Feldspule entladen, dabei werden Magnetfelder von 110 kG und 29,5 ms Anstiegszeit erzeugt. Als Schalter dient ein Ignitron.

Handelsübliches Kalium wurde im Hochvakuum mehrfach destilliert und gereinigt und anschließend in Kapillaren aus Glas gefüllt, die an den Enden Platineinschmelzungen für Strom- und Potentialzuführungen hatten. Die Längen der Kapillaren betrugen 15 mm (zum Vergleich: die Feldspule war 70 mm lang), die Durchmesser schwankten zwischen 0,2 und 0,3 mm bei den verschiedenen Proben. Die reinsten, so hergestellten Proben erreichten ein Restwiderstandsverhältnis von 0,5%.

Die Widerstände der Proben lagen in der Größenordnung von  $10^{-5} \Omega$ . Die Widerstandsänderung als eigentliche Meßgröße steht nur impulsmäßig zur Verfügung. Mittels eines Elektronenstrahloszillographen und Vorverstärkers konnte der Widerstand der Proben auf etwa 5% genau gemessen werden. — Die zur Widerstandsmessung notwendigen Meßströme bis 4 A wurden nur während des Magnetimpulses eingeschaltet, um

eine Aufheizung der Proben durch den Meßstrom zu vermeiden. Wegen des zeitlich veränderlichen Magnetfeldes treten im Widerstandsmeßkreis induzierte Spannungen auf, die nach Größe und Phase kompensiert werden müssen. Außerdem können als Folge von Erschütterungen nicht-kompensierbare Störspannungen induziert werden, sie wurden durch möglichst starren Aufbau des Kryostaten unterdrückt.

Die Meßergebnisse sind in der Abbildung 1 in Form eines JUSTI-KOHLER-Diagramms enthalten. Drei Punkte sind hervorzuheben:

1. Die im hohen longitudinalen Magnetfeld gefundenen Widerstandsänderungen bilden eine direkte Fortsetzung der Meßpunkte von JUSTI<sup>3</sup>, die im transversalen stationären Magnetfeld gemessen wurden. Der Longitudinaleffekt erreicht beim Kalium den Quereffekt, was bereits von JUSTI bemerkt wurde.

2. Der Anstieg der relativen Widerstandsänderung im JUSTI-KOHLER-Diagramm ist verhältnismäßig steil, verglichen mit den Ergebnissen entsprechender Messungen<sup>1</sup> an Metallen der 1. Nebengruppe (Cu, Ag, Au). Außerdem ist die Widerstandszunahme unerwartet groß; Kalium-Proben von 0,5% Restwiderstand verdoppeln ihren Widerstand in einem Magnetfeld von 110 kG. Das theoretisch zu erwartende Sättigungsverhalten der Widerstandsänderung im Grenzfall hoher Feldstärken scheint sich anzudeuten, konnte jedoch nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden.

Aus diesen Ergebnissen auf eine relativ große Anisotropie der FERMI-Fläche bei Kalium schließen zu wollen, scheint unrealistisch<sup>7</sup>. Einleuchtender erscheint die Annahme, einen anisotropen Streumechanismus für die große Widerstandszunahme verantwortlich zu machen; wie er z. B. durch Versetzungen<sup>8</sup> hervorgerufen wird, deren Entstehen durch die erheblichen plastischen Verformungen des Kaliums beim Abkühlen vom Schmelzpunkt (336,5 °K) auf 4,2 °K begünstigt wird.

3. Ein anisotroper Streumechanismus dürfte auch für die Nicht-Erfüllung der KOHLERSchen Regel verantwortlich sein, daß also die Meßpunkte verschiedener Präparate im JUSTI-KOHLER-Diagramm auf getrennten Kurven liegen. Ein entsprechendes Verhalten wurde von JONGENBURGER<sup>9</sup> an gereckten Drähten von Cu und Ag nachgewiesen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für wertvolle Leihgaben. Eine ausführliche Darstellung dieser Arbeit erscheint demnächst<sup>10</sup>.

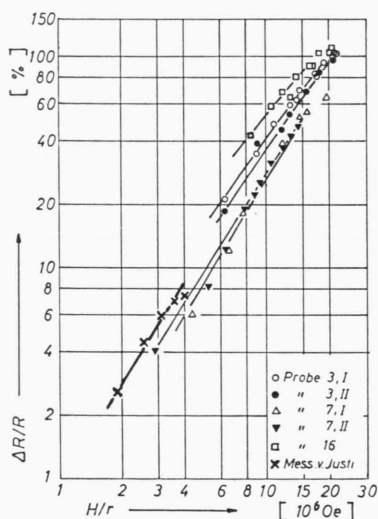


Abb. 1. Relative Widerstandsänderung  $\Delta R/R$  als Funktion von  $H/r$ ;  $H$ =magnetische Feldstärke,  $r$ =Restwiderstandsverhältnis.

<sup>7</sup> R. G. CHAMBERS, The Fermi Surface, Proc. Int. Conf., Aug. 1960.

<sup>8</sup> A. SEEGER u. H. STEHLE, Z. Phys. **146**, 242 [1956].

<sup>9</sup> P. JONGENBURGER, Acta Met. **9**, 985 [1961].

<sup>10</sup> K. AUCH, Dissertation, Braunschweig 1963.