

Zeitschrift: Helvetica Physica Acta

Band: 41 (1968)

Heft: 6-7

Artikel: Untersuchung der kondensierten Materie mittels Neutronenstreuung

Autor: Hälg, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-113941>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

- [7] H. COTTET, P. DONZÉ, J. ORTELLI, E. WALKET and M. PETER, *Helv. phys. Acta* **41**, 755 (1968).
- [8] E. BUCHER, W. F. BRINKMAN, J. P. MAITA and H. J. WILLIAMS, *Phys. Rev. Lett.* **18**, 1125 (1967). See also *J. appl. Phys.* **39**, 547 (1968).
- [9] G. L. GUTHRIE, S. A. FRIEDBERG and J. E. GOLDMAN, *Phys. Rev.* **113**, 45 (1959).
- [10] M. DIXON, F. E. HOARE and T. M. HOLDEN, *Proc. Roy. Soc. A* **303**, 339 (1968).
- [11] K. P. GUPTA, C. H. CHENG and P. A. BECK, *Phys. Rev.* **133**, A203 (1964).
- [12] K. P. GUPTA, C. H. CHENG and P. A. BECK, *J. Phys. Chem. Solids* **25**, 73 (1964).
- [13] C. H. CHENG, C. T. WEI and P. A. BECK, *Phys. Rev.* **120**, 426 (1960).
- [14] K. SCHRÖDER and C. H. CHENG, *J. appl. Phys.* **31**, 2154 (1960).
- [15] C. H. CHENG, K. P. GUPTA, C. T. WEI and P. A. BECK, *J. Phys. Chem. Solids* **25**, 759 (1964).
- [16] N. PESSALL, K. P. GUPTA, C. H. CHENG and P. A. BECK, *J. Phys. Chem. Solids* **25**, 993 (1964).
- [17] H. MONTGOMERY, G. P. PELLIS and E. M. WRAY, *Proc. Roy. Soc. A* **301**, 261 (1967).
- [18] E. A. STARKE, C. H. CHENG and P. A. BECK, *Phys. Rev.* **126**, 1746 (1962).
- [19] A. I. SCHINDLER and C. A. MACKLIET, *Phys. Rev. Lett.* **20**, 15 (1968).
- [20] G. CHOUTEAU, R. FOURNEAUX, K. GOBRECHT and R. TOURNIER, *Phys. Rev. Lett.* **20**, 193 (1968).
- [21] P. LEDERER and D. L. MILLS; *Phys. Rev. Lett.* **20**, 1036 (1968); see, however, S. ENGELSBURG, W. F. BRINKMAN and S. DONIACH, *Phys. Rev. Lett.* **20**, 1040 (1968).
- [22] C. HERRING, *Magnetism* **4** (1966).
- [23] A. I. SCHINDLER and M. J. RICE, *Phys. Rev.* **164**, 759 (1967).
- [24] P. FULDE and A. LUTHER, *Phys. Rev.* **170**, 570 (1968).
- [25] P. LEDERER and D. L. MILLS, *Phys. Rev.* **165**, 837 (1968).
- [26] J. MATHON, *Proc. Roy. Soc.* (1968), to be published.
- [27] L. HODGES, H. EHRENREICH and N. D. LANG, *Phys. Rev.* **152**, 505 (1966).
- [28] J. E. GOLDMAN, *Phys. Rev.* **82**, 339 (1951); *Rev. Mod. Phys.* **25**, 108 (1953).
- [29] I. S. JACOBS and C. P. BEAN, *Magnetism* **3**, 271 (1963).
- [30] E. KNELLER, *Handb. Phys.* **18/2**, 438 (1966).
- [31] J. KANAMORI, *Magnetism* **1**, 127 (1963).
- [32] H. C. VAN ELST, B. LUBACH and G. J. VAN DEN BERG, *Physica* **28**, 1297 (1962).
- [33] F. M. RYAN, E. W. PUGH and R. SMOLUCHOWSKI, *Phys. Rev.* **116**, 1106 (1959).
- [34] M. V. NEVITT, *J. appl. Phys.* **31**, 155 (1960).
- [35] J. S. KOUVEL and C. D. GRAHAM, *J. Phys. Chem. Solids* **11**, 220 (1959).
- [36] L. NÉEL, *C. r. Acad. Sci. Paris* **237**, 1468 (1953); *J. Phys. Radium* **15**, 225 (1954).

Untersuchung der kondensierten Materie mittels Neutronenstreuung

von W. Hälg

ETH Zürich

(10. V. 68)

Die Beobachtung der Streuung langsamer Neutronen an Festkörpern und an Flüssigkeiten stellt heute eine bedeutende Methode dar, um die Struktur und die Dynamik kondensierter Materie zu erforschen. Das Phänomen erweist sich in vielen Fällen klassischen Streuexperimenten mit elektromagnetischer Strahlung überlegen, weil bei letzterer die relativen Energieänderungen nur gering sind, was insbesondere Untersuchungen von Bewegungsvorgängen beschränkt. Aber auch bei den rein

elastischen Streuprozessen, die den Strukturbestimmungen zu Grunde liegen, können Neutronen Vorteile bieten oder Erkenntnisse liefern, welche mit anderen Sonden nicht erhältlich wären. So lassen sich etwa in einem Kristall die Positionen leichter Kerne in Gegenwart von schweren feststellen, was besonders bei der Bestimmung der Struktur organischer Substanzen augenfällig wird, oder es können die Lagen von Atomen mit benachbarter Ladung ermittelt werden. Ferner bieten Neutronen wegen der isotropen nuklearen Streuung und der Mittelung über grosse Probenvolumina auch Vorteile zur Untersuchung von Flüssigkeiten, vor allem zur Messung von Strukturparametern. Diese Grösse steht in direktem Zusammenhang mit den elektronischen Eigenschaften flüssiger Metalle.

Eine der wohl wichtigsten Klassen von elastischen Streuexperimenten liefert die Beobachtung der Wechselwirkung des magnetischen Momentes des Neutrons mit atomaren magnetischen Momenten, weil sich damit magnetische Strukturen ermitteln lassen.

Die wesentlichsten Erfolge der unelastischen Neutronenstreuung stellen die direkten Bestimmungen von Phononen- und Magnonen-Dispersionen im gesamten Wellenvektorbereich der Brillouin-Zone dar.

Als weitere Anwendung sei schliesslich die paramagnetische Neutronenstreuung erwähnt. Damit lassen sich zum Beispiel bei seltenen Erdverbindungen Aussagen machen über den Einfluss des Kristallfeldes sowie über die Austauschwechselwirkungen auf die Energieniveaus der $4f$ -Ionen.

Prof. Busch hat sich seit langem mit der Erforschung der magnetischen Eigenschaften der Festkörper beschäftigt, und es ist deshalb naheliegend, dass er grosses Interesse an den durch die Neutronenstreuung eröffneten neuen Möglichkeiten bekundete und mit verschiedenen Instituten, welche sich dieser Forschungsrichtung zugewandt hatten, eine enge Zusammenarbeit anstrebte.

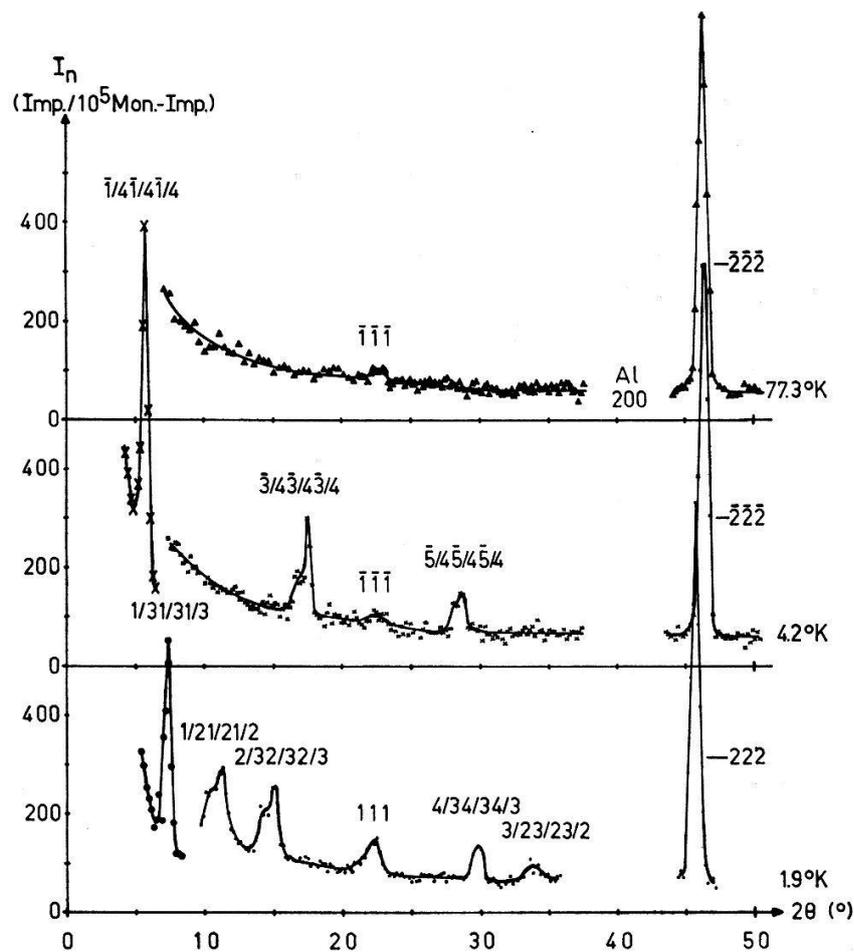
Mit grosser Freude können wir heute feststellen, wie auch die Neutronenstreuuntersuchungen in der Schweiz immer wieder vom Institut für Festkörperphysik der ETH inspiriert werden und wie wertvoll die gebotenen Gelegenheiten zur gemeinsamen Bearbeitung von Problemen für uns sind. Neutronendiffraktionsexperimente dürfen, schon des beachtlichen Aufwandes wegen, den sie erfordern, nicht zum Selbstzweck unternommen werden und erweisen sich damit erst sinnvoll, wenn sie mit den Forschungen eines grossen Festkörperinstitutes koordiniert werden können.

Als ein Beispiel für derartige gemeinsame Anstrengungen wird in der Folge über einige Untersuchungsergebnisse zur magnetischen Struktur von EuSe, eines magnetischen Halbleiters, welcher am Institut von G. Busch grundlegend bearbeitet worden ist, berichtet. Ferner soll für das flüssige Zink der Zusammenhang zwischen Strukturparameter, Phonondispersion und elektrischem Widerstand kurz diskutiert werden.

Magnetischer Phasenübergang bei EuSe

Im Gegensatz zu den Pulveruntersuchungen von PICKART und ALPERIN [1] bestätigen die vorliegenden Neutronendiffraktionsmessungen an einem im Institut für Festkörperphysik der ETH hergestellten Europiumselenid-Einkristall den aus Messungen der magnetischen Suszeptibilität durch SCHWOB und VOGT [2] bekannten magnetischen Phasenübergang. Nach unseren Neutronenbeugungsmessungen ist EuSe ohne äusseres Magnetfeld bei $4,2^\circ\text{K}$ antiferromagnetisch, in Übereinstimmung

EuSe
(H=0)



Figur 1

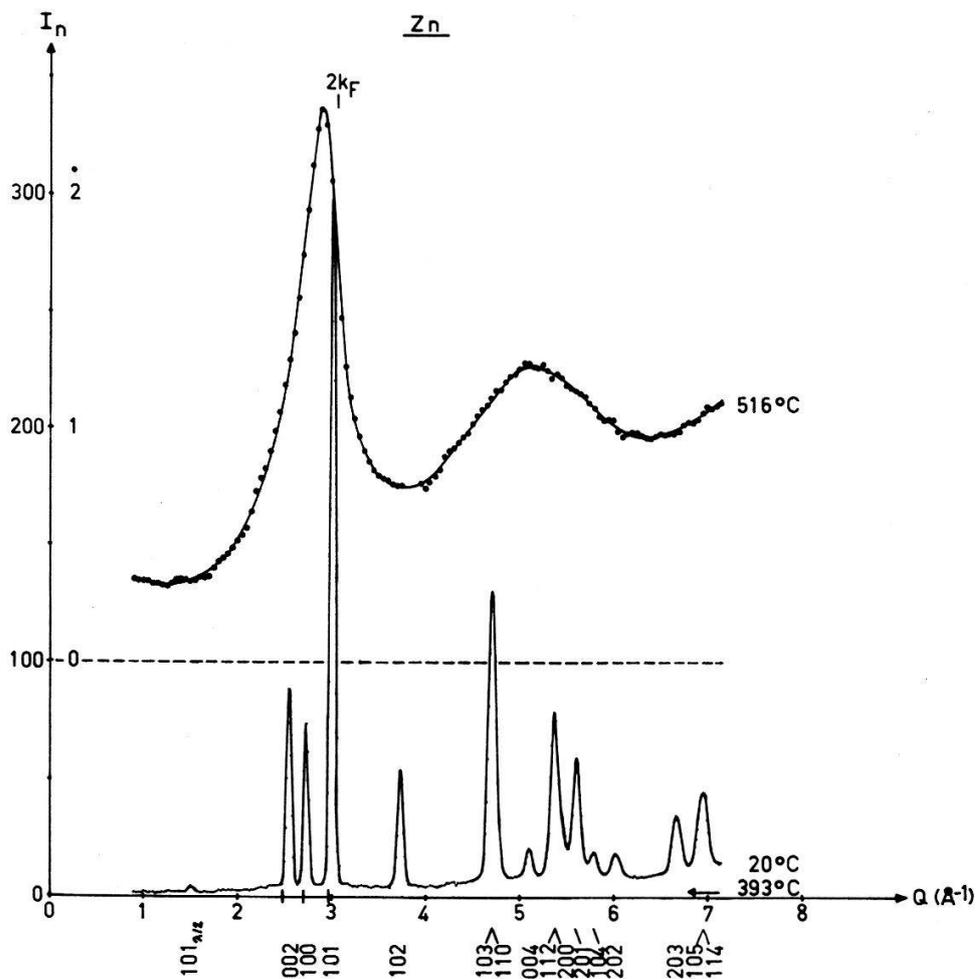
Neutronendiffraktogramme (Wellenlänge 1,39 Å) von einem EuSe-Einkristall ($1 \times 1 \times 3 \text{ mm}^3$) in $[111]$ -Richtungen bei verschiedenen Temperaturen und ohne äusseres Magnetfeld. Die Reflexe $(\bar{1}/4\bar{1}/4\bar{1}/4)$ und $(1/31/31/3)$ wurden mit einem Kollimator gemessen.

mit [1] und [2]. Allerdings traten magnetisch nur $1/4 \tau \{111\}$ -Satellitenreflexe auf, so dass hier die NEWS-Struktur [3] als Modell ausgeschlossen werden kann. Die beobachteten Intensitäten werden durch Kosinus- bzw. Rechteckwellen entlang den $\langle 111 \rangle$ -Richtungen (NNSS, $S_{nj} = \sqrt{2} S \cos(1/4 \tau_{111} r_{nj} - \pi/4)$) im Rahmen der Messfehler besser als durch Spiralkonfigurationen (NWSE, NESW) erklärt. Wie der deutliche ferromagnetische Intensitätsbeitrag zum nuklearen (111)-Reflex (in Fig. 1) zeigt, ist ohne äusseres Magnetfeld bei 1,9°K eine beträchtliche spontane Magnetisierung vorhanden. Ferner wurden antiferromagnetische Satellitenreflexe entsprechend $1/3 \tau \{111\}$ und $1/2 \tau \{111\}$ beobachtet. Wir nehmen an, dass die Reinheit und Perfektion der Einkristallprobe den Grund für die Unterschiede zu den Ergebnissen von Pickart und Alperin bilden.

Elektrischer Widerstand von flüssigem Zink

Der elektrische Widerstand eines flüssigen Metalls lässt sich nach den Theorien von Ziman und Bradley berechnen, sofern man Angaben über die Elektron-Ion-Wechselwirkung machen kann und den statischen atomaren Strukturfaktor kennt.

Beim flüssigen Zink wird die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes, wie BUSCH und GÜNTHERODT in [4] bemerken, durch die Temperaturabhängigkeit des Struktur-faktors bedingt. Da diese Grösse aus Röntgenbeugungsmessungen nur mangelhaft bekannt ist, haben wir eine Neubestimmung mit Neutronen durchgeführt. Figur 2 zeigt das Beugungsdiagramm von flüssigem Zink bei 516 °C und zum Vergleich auch dasjenige einer polykristallinen Probe. Kombiniert man diesen Strukturfaktor mit einem von SCHNEIDER und STOLL [5] aus Phononendispersionen ermittelten Modellpotential für die Elektron-Ion-Wechselwirkung, so ergibt sich für den spezifischen elektrischen Widerstand $43,8 \mu\Omega \text{ cm}$, was ermutigend gut mit dem experimentellen Wert von $36,7 \mu\Omega \text{ cm}$ [6] übereinstimmt.



Figur 2

Vergleich der Neutronendiffraktogramme von flüssigem (516 °C) und polykristallinem (20 °C, 393 °C) Zink. $Q = \text{Impulsübertrag} = (4\pi/\lambda) \sin\theta$; $2\theta = \text{Streuwinkel}$; Wellenlänge $\lambda = 0,90 \text{ \AA}$; $2k_F = \text{Durchmesser der Fermi-Kugel}$.

Literaturverzeichnis

- [1] S. J. PICKART und H. A. ALPERIN, J. Phys. Chem. Sol. 29, 414 (1968).
- [2] P. SCHWOB und O. VOGT, Phys. L. 22, 374 (1966).
- [3] R. J. JOENIK, Bull. Am. Phys. Soc. 11, 109 (1966).
- [4] G. BUSCH und H. J. GÜNTHERODT, Phys. Kond. Mat. 6, 325 (1967).
- [5] T. SCHNEIDER und E. STOLL, Phys. Kond. Mat. 5, 331, 364 (1966).
- [6] A. ROLL und H. MOTZ, Z. Metallkunde 48, 272 (1957).