Spin-Korrelationen in EuS

Autor(en): Quattropani, A. / Enz, C.P.

Objekttyp: Article

Zeitschrift: Helvetica Physica Acta

Band (Jahr): 41 (1968)

Heft 6-7

PDF erstellt am: 24.05.2024

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-113977

Nutzungsbedingungen

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 auf der Plattform e-periodica veröffentlichten 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 Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische 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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek* ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

- [19] E. Scheil, H. Baach, Z. Metallk. 50, 386 (1959).
- [20] R.C. Schoonmaker, A. R. Venkitaraman, P. K. Lee, J. Phys. Chem. 71, 2676 (1967).
- [21] H. SELTZ, B. J. DE WITT, J. Am. chem. Soc. 60, 1305 (1938).
- [22] S. A. SEMENKOVITCH, Dokl. Akad. Nauk SSSR 158, 442 (1964).
- [23] N. SEXER, Phys. Status Sol. 21, 225 (1967).
- [24] K.A. Shafirov, Dokl. Akad. Nauk aserb. SSR, 19, 23 (1963); C.A. 59, 10872g.
- [25] S. A. Shchukarev, S. M. Ariya, A. I. Lokhtin, Westn. Leningr. Gos. Univ. No. 2, 121 (1953).
- [26] S. A. Shchukarev, M. P. Morozova, Yu. P. Sapozhnikov, Zh. obshch. Khim. 26, 304 (1956).
- [27] S. A. Shchukarev, M. P. Morozova, Kho-Yn Kan, Zh. obshch. Khim. 27, 289 (1957).
- [28] S. A. Shchukarev, M. P. Morozova, M. M. Bortnikova, Zh. obshch. Khim. 28, 3289 (1958).
- [29] S. A. Shchukarev, M. P. Morozova, Myao-Syn Li, Zh. obshch. Khim. 29, 3142 (1959).
- [30] G. A. SILVEY, V. J. LYONS, V. J. SILVESTRI, J. Electrochem. Soc. 108, 653 (1961).
- [31] E.M. SMOLYARENKO, Dissertation (Minsk, 1967).
- [32] W. Trzebiatowski, W. Zdanowicz, Bull. Acad. Polon. Sci., Sér. sci. chim. 8, 511 (1960).
- [33] YA. A. UGAI, V. L. GORDIN, Zh. neorg. Khim. 7, 703 (1962).
- [34] YA. A. UGAI, N. V. KOLOSONOV, R. L. FOGELSON, G. S. TKACHEVA, Zh. neorg. Khim. 7, 930 (1962).
- [35] YA. A. UGAI, E. P. DOMASHEVSKAYA, T. A. MARSHAKOVA, Zh. strukt. Khim. 4, 250 (1963).
- [36] YA. A. UGAI, V. L. GORDIN, V. Z. ANOKHIN, Zh. neorg. Khim. 9, 219 (1964).
- [37] YA. A. UGAI, E. M. AVERBAKH, V. V. LAVROV, Khim. Svyaz v Poluprov. i Tverd. Telakh, Inst. Fiz. Tverd. Tela i Poluprov. Akad. Nauk Belorusk. SSR, 1965, 288; C. A. 64, 4394a.
- [38] F. Weibke, O. Kubaschewski, Thermochemie der Legierungen (Springer, Berlin 1943).
- [39] J.B. Westmore, K.H. Mann, A.W. Tickner, J. Phys. Chem. 68, 606 (1964).
- [40] W. ZDANOWICZ, Z. HENKIE, Bull. Acad. Polon. Sci., Sér. sci. chim. 12, 729 (1964).
- [41] W. Zdanowicz, A. Wojakowski, Phys. Status Sol. 8, 569 (1965).
- [42] E. ZINTL, HUSEMANN, Z. phys. Chem. B21, 138 (1933).
- [43] T. A. ZYUBINA, Sb. Nauch. Rab. Aspir. Voronezh. Gos. Univ. No. 2, 73 (1965); C. A. 64, 89307.

Spin-Korrelationen in EuS¹)

von A. Quattropani und C. P. Enz

Institut de Physique Théorique, Université de Genève

(30. IV. 68)

Die Spin-Korrelationen $\langle S_i S_l \rangle_T$ eines Ferromagneten im kritischen Gebiet sind theoretisch sehr schwierig zu bestimmen. Von der experimentellen Seite ist es jedoch möglich, gewisse Informationen darüber zu erhalten, was wir in der vorliegenden Mitteilung demonstrieren wollen.

Wir interessieren uns hier für den Fall eines Heisenberg-Modells, wie es z.B. in den Europiumchalkogeniden gut realisiert ist.

Rys et al. [1] haben gezeigt, dass der Busch-Wachter-Effekt [2] für $T > T_c$ sich direkt durch die Spin-Korrelationen $\langle S_i S_l \rangle_T$ ausdrücken lässt. In diesem Temperatur-

¹⁾ Mit Unterstützung des schweizerischen Nationalfonds.

bereich ist die Abnahme der Energielücke, $\Delta(T) \leq 0$, in einem ferromagnetischen Halbleiter gegeben durch [1]:

$$\Delta(T) = \frac{\Omega}{4(2\pi)^3} \int d^3q \, \frac{|J_q|^2 \, \Gamma(\mathbf{q})}{\Delta(T) - \varepsilon_0(q)} \,. \tag{1}$$

Dabei ist Ω das Volumen pro magnetischem Ion,

$$arepsilon_{m{0}}\!(q) = rac{\hbar^2 \; q^2}{2 \; m}$$
 , $\Gamma(m{q}) = rac{1}{N} \sum_l \exp\left[i \; m{q} \; (m{R}_l - m{R}_0)
ight] \left< m{S}_0 \; m{S}_l
ight>_T$,

und J_q das fouriertransformierte Austauschintegral zwischen magnetischen Ionen und Elektronen.

Für J_q wählen wir den folgenden analytischen Ausdruck [3]

$$J_q = J_0 \sin \alpha \, q / \alpha \, q \tag{2}$$

mit $\alpha = 1.57$ Å und $J_0 = 3 \times 10^{-20}$ Joule.

Gleichung (1) wird im komplexen integriert, und wir erhalten für die positive Grösse $x(T) = -2m/\hbar^2 \Delta(T)$ den folgenden Ausdruck:

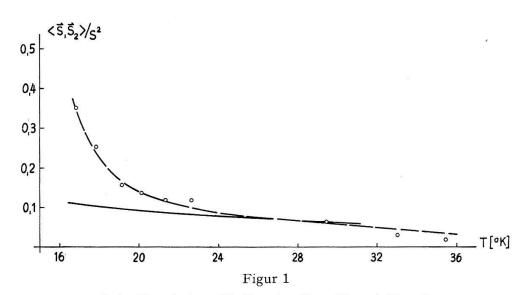
$$x = A_0 \left(1 - \alpha \, x^{1/2} \right) + A_1 \, \frac{z_{01}}{R_{01}} \exp \left[- \, R_{01} \, x^{1/2} \right] \langle \boldsymbol{S}_0 \, \boldsymbol{S}_1 \rangle_T^* \,. \tag{3}$$

Hier ist

$$\langle \boldsymbol{S_0} \, \boldsymbol{S_1} \rangle_T^* \equiv \sum_{l=0}^{\infty} \frac{z_{0l} \, R_{0l}}{z_{0l} \, R_{0l}} \exp \left[- \, x^{1/2} \, \left(R_{0l} - \, R_{0l} \right) \right] \, \langle \boldsymbol{S_0} \, \boldsymbol{S_l} \rangle_T$$
 (4)

eine effektive Korrelation zwischen nächsten Nachbarn, z_{0l} die Anzahl der magnetischen Ionen im Abstand $R_{0l}=|{\pmb R}_0-{\pmb R}_l|$ vom Punkt ${\pmb R}_0$, $A_0=3.24\times 10^{-2}\,{\rm \AA}^{-2}$ und $A_1=3.96\times 10^{-2}\,{\rm \AA}^{-1}$.

 $\langle S_0 S_1 \rangle_T^*$ ist in Gleichung (3) als Mittelwert über alle Korrelationen $\langle S_0 S_l \rangle_T$, l > 0, mit exponentiell abfallenden Gewichtsfaktoren definiert. Daher ist zu erwarten, dass $\langle S_0 S_1 \rangle_T^*$ eine gute Näherung für die wahre Korrelation $\langle S_0 S_1 \rangle_T$ zwischen nächsten Nachbarn darstellt. Gleichung (3) gestattet, aus den Experimenten [2] die



Spin-Korrelation $\langle \mathbf{S_0} \mathbf{S_1} \rangle_T$ für $T > T_c$ und H = 0.

Gestrichelte Kurve: effektive Spin-Korrelation $\langle \hat{S}_0 S_1 \rangle_T^*$ berechnet aus dem Busch-Wachter-Effekt. Ausgezogene Kurve: Spin-Korrelation $\langle S_0 S_1 \rangle_T^{KK}$ in der Näherung der konstanten Kopplung [4].

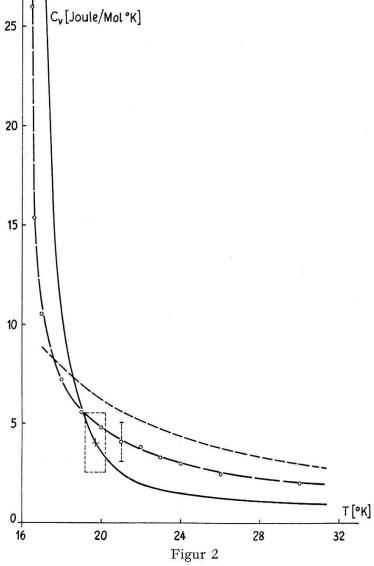
effektive Korrelation $\langle \boldsymbol{S_0} \ \boldsymbol{S_1} \rangle_T^*$ zu bestimmen. Diese wird in Figur 1 mit den Resultaten der Näherung der konstanten Kopplung [4], $\langle \boldsymbol{S_0} \ \boldsymbol{S_1} \rangle_T^{KK}$ verglichen. Während die beiden Kurven für $T/T_c > 1.5$ befriedigend übereinstimmen, weist $\langle \boldsymbol{S_0} \ \boldsymbol{S_1} \rangle_T^{KK}$ für $T/T_c < 1.5$ eine wesentlich zu schwache Krümmung auf.

Der Busch-Wachter-Effekt liefert daher sehr direkte Information über diese Spin-Korrelationen.

Um dies zu demonstrieren, benützen wir die gewonnene Korrelation zur Bestimmung der magnetischen spezifischen Wärme von EuS im überkritischen Temperaturbereich. Diese ist gegeben durch den folgenden Ausdruck [4], [5]:

$$C_{V}(T) = N z_{01} I \frac{\partial}{\partial T} \langle S_{0} S_{1} \rangle_{T}.$$
 (5)

Dabei ist N die Anzahl magnetischer Ionen pro Mol und I das Austauschintegral des Heisenberg-Modells.



Magnetische spezifische Wärme von EuS als Funktion der Temperatur $T>T_c$. Ausgezogene Kurve: C_V bestimmt aus dem Busch-Wachter-Effekt. Gestrichelte Kurve: Messungen von Moruzzi et al. [6]. Punktierte Kurve: C_V berechnet in der Näherung der konstanten Kopplung. Aus [6] entnommen,

Aus der Curie-Temperatur [6] für Eu
S $T_c=16.427\,^{\circ}\mathrm{K}\,$ folgt $I\cong1.99\times10^{-24}\,$ Joule.

Setzt man für $\langle S_0 S_1 \rangle_T$ die aus dem Busch-Wachter-Effekt gewonnene effektive Korrelation in (5) ein, dann erhält man eine Kurve, die innerhalb der Fehlergrenzen mit der experimentellen Kurve [6] für $C_V(T)$ gut übereinstimmt (Figur 2).

Zur Konstruktion unserer Kurve in Figur 2 war keine weitere Anpassung nötig. Das angegebene Fehlerviereck ist in Abzissenrichtung durch die von Busch und Wachter [2] angegebene Temperaturbestimmtheit und in der Ordinatenrichtung durch die Unbestimmtheit der Tangentenbildung in Figur 1 bestimmt.

Es ist befriedigend, dass sich im theoretisch schwer zugänglichen Gebiet nahe T_c der qualitativ richtige Verlauf ergibt, während die Näherung der konstanten Kopplung gerade in diesem Gebiet versagt [6].

Mit diesem Resultat wollten wir die Wichtigkeit des Busch-Wachter-Effektes für das Problem der Spin-Korrelationen im Heisenberg-Ferromagneten demonstrieren. Eine eingehende Untersuchung dieser Probleme ist geplant.

Zum Schluss möchten wir Herrn Professor W. Baltensperger für wertvolle Diskussionen unsern Dank aussprechen. Herrn Dr. P. Wachter danken wir für die Bereitstellung der experimentellen Daten zum EuS.

Literaturverzeichnis

- [1] F. Rys, J. S. Helman und W. Baltensperger, Phys. kondens. Mat. 6, 105 (1967).
- [2] G. Busch und P. Wachter, Phys. kondens. Mat. 5, 232 (1966); G. Busch, J. appl. Phys. 38, 1386 (1967).
- [3] R. E. Watson und A. J. Freman, Phys. Rev. 152, 566 (1966).
- [4] P. W. KASTELEIJN und J. VAN KRANENDONK, Physica 22, 317 (1956); B. STRIEB, H. B. CALLEN und G. HORWITZ, Phys. Rev. 130, 1798 (1963); H. B. CALLEN und E. CALLEN, Phys. Rev. 136, A1675 (1964).
- [5] R. J. Elliott, J. Phys. Chem. Solids 16, 165 (1960).
- [6] V. L. Moruzzi und D. T. Teaney, Solid St. Comm. 1, 127 (1963); B. J. C. van der Hoeven, D. T. Teaney und V. L. Moruzzi, Phys. Rev. Lett. 20, 719 (1968).

Energy Losses of Electrons and its Comparison with Optical Data

by H. Raether

Institut für angewandte Physik der Universität Hamburg

(26. IV. 68)

The interaction of light with a solid is described by the optical constants (refractive index n and absorption coefficient \varkappa) or the dielectric constant $(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$, connected with each other by $(n + i \varkappa)^2 = \varepsilon_1 + i \varepsilon_2$. By measuring the reflectance R of light of a surface or the transmission coefficient of a thin slide as function of the photon