

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 41 (1968)  
**Heft:** 6-7

**Artikel:** Spin-Korrelationen in EuS  
**Autor:** Quattropani, A. / Enz, C.P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-113977>

#### **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:** 31.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.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. ŻDANOWICZ, *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. ŻDANOWICZ, Z. HENKIE, *Bull. Acad. Polon. Sci., Sér. sci. chim.* **12**, 729 (1964).
- [41] W. ŻDANOWICZ, A. WOJAKOWSKI, *Phys. Status Sol.* **8**, 569 (1965).
- [42] E. ZINTL, HUSEMANN, *Z. phys. Chem. B* **21**, 138 (1933).
- [43] T. A. ZYUBINA, *Sb. Nauch. Rab. Aspir. Voronezh. Gos. Univ. No. 2*, 73 (1965); *C. A.* **64**, 89307.

## Spin-Korrelationen in EuS<sup>1)</sup>

von A. Quattropani und C. P. Enz

Institut de Physique Théorique, Université de Genève

(30. IV. 68)

Die Spin-Korrelationen  $\langle \mathbf{S}_i \mathbf{S}_l \rangle_T$  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  $\langle \mathbf{S}_i \mathbf{S}_l \rangle_T$  ausdrücken lässt. In diesem Temperatur-

<sup>1)</sup> Mit Unterstützung des schweizerischen Nationalfonds.

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

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

Dabei ist  $\Omega$  das Volumen pro magnetischem Ion,

$$\varepsilon_0(q) = \frac{\hbar^2 q^2}{2m}, \quad \Gamma(\mathbf{q}) = \frac{1}{N} \sum_l \exp[i\mathbf{q}(\mathbf{R}_l - \mathbf{R}_0)] \langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_l \rangle_T,$$

und  $J_q$  das fouriertransformierte Austauschintegral zwischen magnetischen Ionen und Elektronen.

Für  $J_q$  wählen wir den folgenden analytischen Ausdruck [3]

$$J_q = J_0 \sin \alpha q / \alpha q \quad (2)$$

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

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

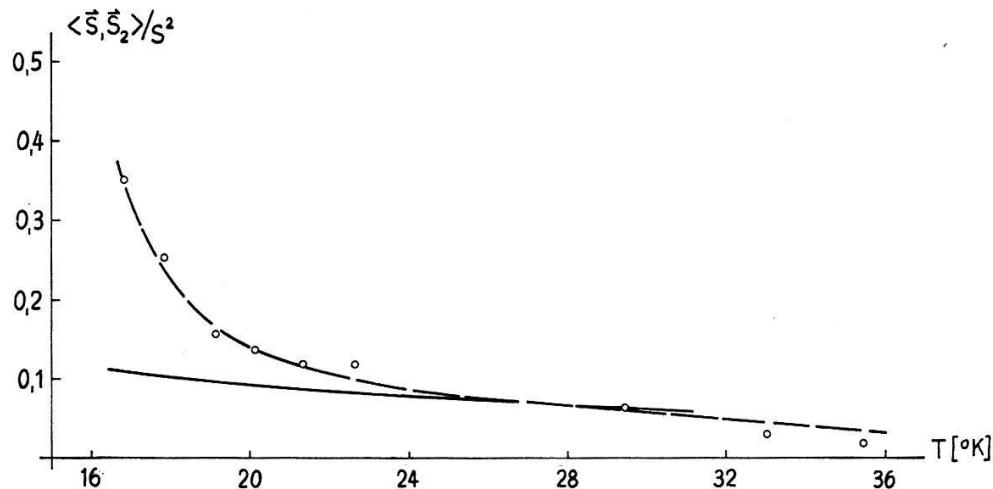
$$x = A_0 (1 - \alpha x^{1/2}) + A_1 \frac{z_{01}}{R_{01}} \exp[-R_{01} x^{1/2}] \langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T^*. \quad (3)$$

Hier ist

$$\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T^* \equiv \sum_{l \neq 0} \frac{z_{0l} R_{01}}{z_{01} R_{0l}} \exp[-x^{1/2} (R_{0l} - R_{01})] \langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_l \rangle_T \quad (4)$$

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

$\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T^*$  ist in Gleichung (3) als Mittelwert über alle Korrelationen  $\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_l \rangle_T$ ,  $l > 0$ , mit exponentiell abfallenden Gewichtsfaktoren definiert. Daher ist zu erwarten, dass  $\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T^*$  eine gute Näherung für die wahre Korrelation  $\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T$  zwischen nächsten Nachbarn darstellt. Gleichung (3) gestattet, aus den Experimenten [2] die



Figur 1

Spin-Korrelation  $\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T$  für  $T > T_c$  und  $H = 0$ .

Gestrichelte Kurve: effektive Spin-Korrelation  $\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T^*$  berechnet aus dem Busch-Wachter-Effekt. Ausgezogene Kurve: Spin-Korrelation  $\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T^K$  in der Näherung der konstanten Kopplung [4].

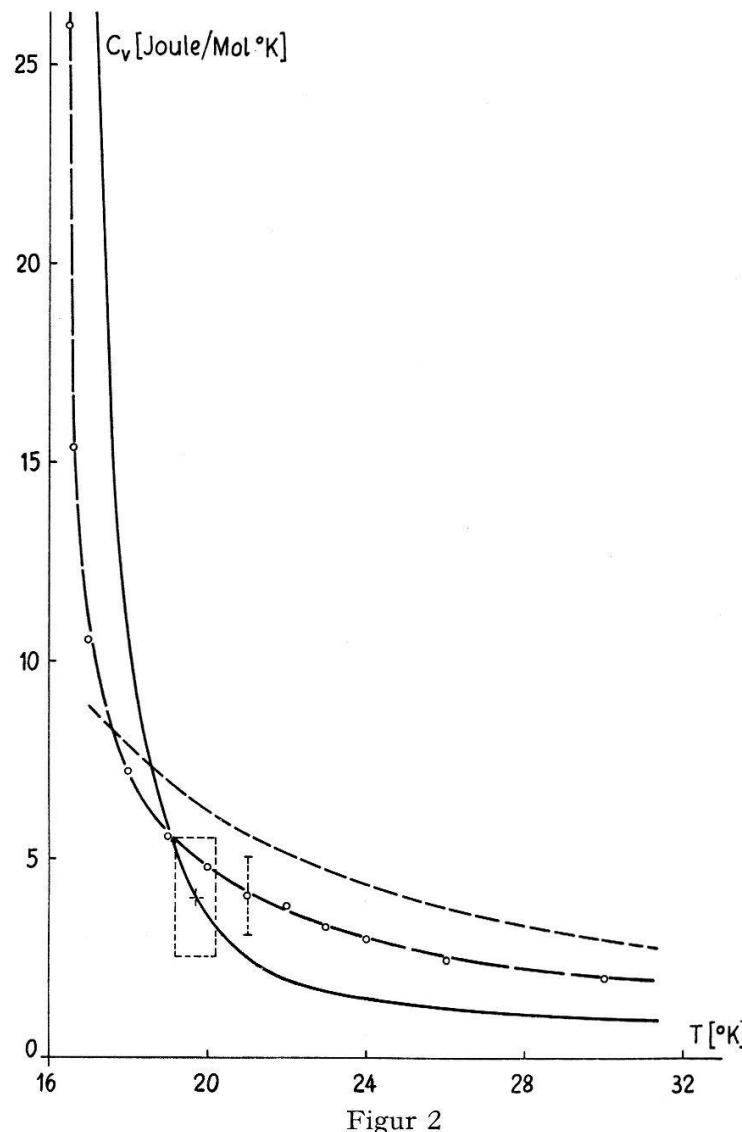
effektive Korrelation  $\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T^*$  zu bestimmen. Diese wird in Figur 1 mit den Resultaten der Näherung der konstanten Kopplung [4],  $\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T^{KK}$  verglichen. Während die beiden Kurven für  $T/T_c > 1.5$  befriedigend übereinstimmen, weist  $\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T^{KK}$  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]:

$$C_V(T) = N z_{01} I \frac{\partial}{\partial T} \langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T . \quad (5)$$

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



Figur 2

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]. Punktierter Kurve:  $C_V$  berechnet in der Näherung der konstanten Kopplung.

Aus [6] entnommen.

Aus der Curie-Temperatur [6] für EuS  $T_c = 16.427^\circ\text{K}$  folgt  $I \cong 1.99 \times 10^{-24}$  Joule.

Setzt man für  $\langle \mathbf{S}_0 \mathbf{S}_1 \rangle_T$  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 Koppelung 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 unsren 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 KRAENENDONK, 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, A 1675 (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  $\alpha$ ) or the dielectric constant  $(\epsilon_1, \epsilon_2)$ , connected with each other by  $(n + i\alpha)^2 = \epsilon_1 + i\epsilon_2$ . By measuring the reflectance  $R$  of light of a surface or the transmission coefficient of a thin slide as function of the photon