

We therefore have approximately the same weighting of different frequencies as in the high temperature electrical resistivity.

## References

- GRÜNEISEN, E.: *Verhandl. Deut. Phys. Ges.* 15, 186 (1913).
- KROLL, W.: *Z. Phys.* 85, 398 (1933).
- MOTT, N. F.: *Proc. Phys. Soc.* 46, 680 (1934).
- LESSEN, M. H., and A. MICHELS: *Physica* 2, 1091 (1935).
- FRANK, M. H.: *Phys. Rev.* 47, 282 (1935).
- GRÜNEISEN, E.: *Ann. Physik* 40, 543 (1941).
- LAWSON, A. W.: *Progr. Metal Phys.* 6, 1 (1956).
- DUGDALE, J. S.: *Science* 134, 77 (1961).
- and D. GUGAN: *Proc. Roy. Soc.* 270, 186 (1962).
- PAUL, W.: *High Pressure Physics and Chemistry*. Ed. by R. S. BRADLEY, Vol. 1, Chap. 5. New York: Academic Press 1963.
- HASEGAWA, A.: *J. Phys. Soc. Japan* 19, 504 (1964).
- ZIMAN, J. M.: *Electrons and Phonons*. Oxford: Clarendon Press 1960.
- GRIMVALL, G.: *Phys. kondens. Materie* 8, 202 (1968).
- COLLINS, J. G., and G. K. WHITE: *Progress in low temperature physics* 4, 450 (1964).
- MUNN, R. W.: *Phys. Rev.* (1969) (in press).
- MCMILLAN, W. L., and J. M. ROWELL: A chapter in *Superconductivity*. Ed. by R. D. PARKS (to be published).
- BRIDGMAN, P. W.: *Proc. Amer. Acad.* 72, 157 (1938).
- FISCHER, U.: *Z. Physik Chem.* 8, 207 (1930).
- GSCHNEIDER, K. A.: *Solid state physics* 16, 275 (1964).
- SHAM, L. J., and J. M. ZIMAN: *Solid state physics* 15, 221 (1963).
- PYTTE, E.: *J. Phys. Chem. Solids* 28, 93 (1967).
- BROSS, H., and G. BOHN: *Phys. stat. sol.* 20, 277 (1967).
- DYNES, R. C., and J. P. CARBOTTE: *Phys. Rev.* 175, 913 (1968).
- ANDERSON, J. R., W. J. O'SULLIVAN, and J. E. SCHIRBER: *Phys. Rev.* 153, 721 (1967).
- SHAM, L. J., and J. M. ZIMAN: *Solid state physics* 15, 221 (1963).
- LEADBETTER, A. J., D. M. T. NEWSHAM, and N. H. PICTON: *Phil. Mag.* 13, 371 (1966).
- HOLBORN, L.: *Ann. Phys.* 59, 145 (1919).
- POCHAPSKY, T. E.: *Acta Met.* 1, 747 (1953).
- STEDMAN, R., L. ALMQVIST, G. NILSSON, and G. RAUNIO: *Phys. Rev.* 162, 545 (1967).
- BROCKHOESE, B. N.: In: *Phonons in perfect lattices and in lattices with point imperfections*. Ed. by R. W. H. STEVENSON. Edinburg: Oliver and Boyd 1966.
- LEADBETTER, A. J.: *J. Phys. C (Proc. Phys. Soc.)* 1, 1489 (1968).
- QUITTNER, G., and R. LECHNER: *Phys. Rev. Letters* 17, 1259 (1966).
- ZAVARITSKII, N. V., E. S. ITSKEVICH, and A. N. VORONOVSKII: *JETP letters* 7, 211 (1968).
- FRANK, J. P., and W. J. KEELE: *Phys. Letters* 25 A, 624 (1967).
- SANDSTRÖM, R., T. HÖGGER, and U. BOHLIS: Private communication.
- COWLEY, E. R., and R. A. COWLEY: *Proc. Roy. Soc. A* 292, 209 (1966).

G. GRIMVALL and C. LYDÉN  
Institute of Theoretical Physics, Fack  
S-402 20 Göteborg 5, Sweden

Specific Heat of  $Tb_2Y_{1-x}Sb$  Mixed Crystals

W. STRTIUS

Laboratorium für Festkörperphysik ETH, Zürich, Switzerland

Received June 6, 1969

The specific heat of  $Tb_2Y_{1-x}Sb$  mixed crystals ( $x = 0, 0.103, 0.383, 0.428, 0.467, 0.635, 0.928$  and  $1.0$ ) has been measured between  $1.6$  and  $20^\circ K$  using an adiabatic calorimeter. The crystal field potential is described well taking into account only 4th order terms, and the overall splitting of the ground multiplet  ${}^7F_6$  of the  $Tb^{3+}$  ion has been found to be  $115^\circ K$  independent of the concentration  $x$ . For  $x > 0.46$  the specific heat curves exhibit a behaviour typical for a second order phase transition. For lower concentrations a normal Schottky anomaly is found and no evidence for magnetic order was detected. The experimental results which are in agreement with magnetic measurements are compared with molecular field calculations including crystal field and exchange interaction.

La chaleur spécifique des composés mixtes  $Tb_2Y_{1-x}Sb$  ( $x = 0, 0.103, 0.383, 0.428, 0.467, 0.635, 0.928$  et  $1.0$ ) a été mesurée entre  $1.6$  et  $20^\circ K$  dans un calorimètre adiabatique. Le potentiel du champ cristallin peut être décrit en ne tenant compte que des termes du quatrième ordre et la décomposition totale du multiplet fondamental vaut  $115^\circ K$ , indépendamment de la concentration  $x$ . Pour  $x > 0.46$ , les courbes de la chaleur spécifique ont la forme caractéristique d'un changement de phase de deuxième espèce. Pour des concentrations plus petites, on mesure l'anomalie de Schottky normale, sans qu'aucun ordre magnétique se manifeste. Les résultats expérimentaux, compatibles avec les mesures magnétiques sont comparés aux courbes calculées dans l'approximation du champ moléculaire, en tenant compte du champ cristallin et de l'interaction d'échange.

Die spezifische Wärme von  $Tb_2Y_{1-x}Sb$  Mischkristallen ( $x = 0, 0.103, 0.383, 0.428, 0.467, 0.635, 0.928$  und  $1.0$ ) wurde zwischen  $1.6$  und  $20^\circ K$  mit einem adiabatischen Kalorimeter gemessen. Das Kristallfeldpotential läßt sich allein durch Terme 4. Ordnung beschreiben, und die Gesamtaufspaltung des Grundmultiplets  ${}^7F_6$  des  $Tb^{3+}$  Ions wurde zu  $115^\circ K$  unabhängig von der Konzentration  $x$  bestimmt. Für  $x > 0.46$  zeigen die Kurven der spezifischen Wärme das für einen Phasenübergang 2. Ordnung typische Verhalten. Für kleinere Konzentrationen findet man eine gewöhnliche Schottky-Anomalie ohne Anzeichen für eine magnetische Ordnung. Die experimentellen Ergebnisse, die mit magnetischen Messungen übereinstimmen, werden mit Kurven verglichen, die in Molekularfeldnäherung unter Einschluß des Kristallfeldes und der Austauschwechselwirkung berechnet wurden.

## 1. Introduction

The magnetic and caloric properties of compounds containing rare earth ions are strongly influenced by the symmetry and the strength of the crystal field [1]. Rare earth ions having an even number of  $f$ -electrons may have a singlet ground state in a crystal field. Recently the properties of the singlet ground state have been examined by several authors [1-3]. BLEANEY [9] and TRAMMELL [1] have shown that the ground state moment is zero until the exchange interaction exceeds a critical value. Specific heat measurements of rare earth nitrides have demonstrated that the condition given by TRAMMELL is fulfilled [4].

A singlet ground state is expected in the compounds of the type RE-X (RE = rare earth ion, X = N, P, As, Sb and Bi). These compounds crystallize in the