

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1970

09.70.21

CAB/1970/9

"ESTUDIO DE RESISTENCIAS DE CARBON PARA
TERMOMETRIA A BAJAS TEMPERATURAS"

C.A. Luengo, O.J. Bressan, J.G. Sereni

Centro Atómico Bariloche
Comisión Nacional de Energía Atómica
Instituto de Física "Dr. José A. Balseiro"
Universidad Nacional de Cuyo

Abstract

La función $T = A / ((\ln R) - B)^C$ se usa para describir los datos experimentales de la resistencia AB 15 1/10 watt, usada en termometría de alta precisión en el rango de 1,3°K a 4°K.

Del análisis de datos experimentales, surge que la función propuesta describe mejor la dependencia con la temperatura, que otras funciones con mayor número de constantes y que requieren métodos de cálculo más complicados.

La misma función se aplica a la resistencia Speer 470 1/2 watt, en un rango de temperatura más extenso que el usado anteriormente (1) (0.4°K a 4°K) y con un alto grado de precisión.

La última de las calibraciones, se usa para calcular un experimento de calor específico del cobre en el rango 0.4°K a 4°K, obteniéndose la expresión $C_v = \gamma T + \beta T^3$ en la cual los coeficientes resultantes del análisis de cuadrados mínimos de los puntos experimentales están en buen acuerdo con el valor standard.

San Carlos de Bariloche - Argentina

A - Introducción

Algunas propiedades de las resistencias de carbón las hacen particularmente útiles como termómetros secundarios a bajas temperaturas, debido a su alta sensibilidad, su bajo calor específico y reducidas dimensiones

Las resistencias de carbón, son semiconductores que a bajas temperaturas presentan un comportamiento aproximadamente exponencial de la forma

$$R(T) \sim \exp(A/T) \quad (a)$$

Lamentablemente, cuando se requiere una termometría de gran precisión, no es posible usar una fórmula de interpolación tan simple como (a), sino que se recurre a expresiones empíricas más complicadas, que en general son válidas para un determinado tipo de resistencia y para un determinado rango de temperatura.

La función:

$$R(T) = R_0 \exp(A/T)^{1/c} \quad (b)$$

ha sido propuesta por R. Balcome (1), para resistencias speer de 470 Ω en el rango de 0.6°K a 4°K. Este trabajo pretende extender este intervalo hasta 0.4°K y probar que la misma función puede utilizarse con un grado de ajuste semejante en resistencias diferentes como la AB 15 Ω 1/10 watt, que son o fueron utilizadas como termómetros en experimentos de calor específico realizados anteriormente (2) (8) y para las que se necesitaba una función de interpolación que describe su comportamiento con la precisión necesaria.

B - Detalles Experimentales

La calibración de las resistencias de carbón, se efectúa tomando como termómetro absoluto la presión de vapor de He⁴ entre 1,3°K y 4°K, medida con un manómetro automático Texas Instrument con una precisión absoluta de 10⁻² Torr.

En este rango de temperaturas, la resistencia y el baño de He⁴ se ponen en contacto térmico inundando con gas de intercambio el calorímetro (2). A fin de minimizar las correcciones por presión hidrostática, la presión de vapor se mide sobre un pequeño recipiente que contiene He⁴ líquido y que

está cerca de la resistencia y en contacto térmico a través del gas de intercambio y del cobre metálico.

Para temperaturas menores a 1.3°K , se usa un termómetro de CMN que es una sal paramagnética cuya susceptibilidad varía como $1/T$, hasta temperaturas de 0.006°K ⁽³⁾. Sin embargo este no es un termómetro absoluto y debe calibrarse previamente en el rango de He ⁴. Posteriormente se extra-pola dicha calibración con la ley $1/T$ y la resistencia de carbón a su vez se calibra tomando temperatura absoluta la indicada por el termómetro de CMN.

Las resistencias de carbón presentan una sensibilidad creciente a medida que disminuye la temperatura que permite detectar variaciones inferiores a 10^{-3}°K .

En la figura 2 se comparan las dos resistencias con la sensibilidad definida como

$$- \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = f(T):.$$

Puede apreciarse que la resistencia $AB\ 15\ \Omega$ presenta mayor sensibilidad en el intervalo 1.3°K a 4°K ; sin embargo su utilización no puede extenderse a temperaturas suficientemente bajas porque cerca de 0.3°K la resistencia crece hasta $400\ \text{K}\ \Omega$, según puede verse en la figura 1.

Otra característica importante es la repetibilidad; esta es función de la estructura íntima del semiconductor, que en general varía cuando es ciclado entre temperatura ambiente y 4°K .

En la tabla I, se muestra un cuadro comparativo de la repetibilidad para las resistencias $AB\ 15\ \Omega$ y Speer $470\ \Omega$. En general se ha observado un mejor comportamiento en la resistencia Speer. Se trató que las condiciones experimentales se mantuviesen idénticas.

Resultados

En lo que sigue se comparan los grados de aproximación obtenidos usando fundamentalmente dos tipos de funciones:

$$1/T = \sum_{i=-j}^K a_i (\log R)^i \quad (c)$$

$$T = \frac{A}{((\ln R) - B)^C} \quad (d)$$

La fórmula (c) es una extensión de la propuesta por Clement-Quinell (4) y ha sido probada en varios experimentos posteriores (5), (6) para varias resistencias y diferente número de términos.

La expresión (d) es una modificación de la función

$$T = A \log R / (\log R - B)^2$$

propuesta originalmente por Pearce (7), que ha sido usada por Balcombe (1) con resistencias de carbón Speer 470 Ω , 1/2 watt.

En la tabla II y figuras 3 y 4, se presenta un estudio comparativo de los comportamientos de las diferentes funciones utilizadas en el rango 1.2°K a 4.2°K, para la resistencia AB 15 Ω .

Interesa la dispersión relativa $(T_M - T_C) / T_M$, donde T_M es la temperatura medida y T_C la calculada. El otro parámetro de comparación es la desviación media cuadrática definida como

$$M = \sqrt{\frac{\sum (T_M - T_C)^2}{N}} ; \text{siendo: } N = \text{Número de puntos experimentales.}$$

Se observa que el valor de M es menor para la fórmula (d) cuando es parecido el número de constantes; únicamente se obtiene un mejor ajuste cuando el número de constantes utilizadas para la fórmula (a) crece hasta siete.

En la figura 5 se comparan las curvas de ajuste en diversos experimentos para la resistencia Speer 470 Ω con la fórmula (d). Las dos primeras curvas abarcan el rango 1.3°K a 4.2°K, mientras que la tercera se extiende hasta 0.4°K.

Cabe notar que el apartamiento máximo es del 0.2%. Balcombe (1) señala un grado de aproximación semejante, pero el rango de temperatura es menos extenso, debiendo incluso dividirlo en dos zonas para aumentar la precisión en el ajuste.

La última curva de ajuste, se ha usado en un experimento de calibración de un calorímetro de He en el cual se midió una muestra standard de cobre.

El análisis de los datos por el método de cuadrados mínimos, indican para el cobre, que el calor específico muestra la dependencia usual con la temperatura:

$$C_V = \gamma T + \beta T^3$$

En la tabla III se dan los valores obtenidos para los coeficientes y la diferencia con el valor standard. La precisión obtenida indica que el método de calibración es bueno, ya que es origen de la mayor parte de los errores en experimentos de este tipo.

Métodos de Cálculo

Para calcular los coeficientes en las funciones del tipo c) se usó el método standard de cuadrados mínimos, y los datos de las calibraciones usadas para medir el calor específico de una aleación equiatómica de AgZn (8).

Los cálculos numéricos se hicieron con una computadora de la misma manera que la indicada anteriormente (2).

En el caso de la función d) es posible lograr una alta aproximación usando un método rápido y simple sugerido por Balcome (1), que consiste en determinar el juego de tres coeficientes usando tres puntos de la curva de calibración elegidos al azar, luego se calcula la curva error: $T_M - T_C$, si no se logra la aproximación requerida se toma otro juego de puntos y rápidamente se logra un buen resultado.

Es interesante notar que también es posible aplicar parcialmente el método de cuadrados mínimos en esta función, para determinar los coeficientes A y C; el valor de B se fija a priori, sin embargo esta manera de operar no indica una mejora sensible en la aproximación lograda con el otro método.

Conclusiones

De los resultados presentados, se deduce que la función $T = A / ((1n R) - B)^C$ puede usarse para describir el comportamiento de la resistencia AB 15 Ω , 1/10 watt entre 1.5° K y 4.2°K con una aproximación relativa superior a la lograda por funciones más complicadas de incluso mayor número de coeficientes. La aproximación absoluta lograda en los experimentos realizados supera el 0.2 %.

La misma función es válida para la resistencia Speer 470 Ω , 1/2 watt en el rango 0.4°K a 4°K, obteniéndose un grado de aproximación comparable, con un método de cálculo extremadamente simple, apto para un calculador de mesa.

La desviación media cuadrática, de aproximadamente 3m°K, puede mejorarse introduciendo algunas modificaciones en el método experimental. El mayor inconveniente en este tipo de mediciones proviene de la baja conductividad térmica del He^4 para temperaturas superiores al punto λ , lo que hace que el equilibrio térmico en el seno del líquido sea difícilmente alcanzable sin contar con medios más o menos sofisticados de estabilización de la temperatura del baño de He^4 líquido.

REFERENCIAS

- 1) R.J. Balcombe, D.J. Emerson y R.J. Potton - Journal of Sci. Inst. 3, 43, 1970
- 2) C.A. Luengo, O.J. Bressan, D. Thoulouze y J. Abriata - Reunión Extraordinaria 25° Aniversario de AFA (Agosto 1969).
- 3) A. Cooke, J.D. Forrester, D.H. Templeton - Jourm Chem. Phys. 39, 2881 (1963) .
- 4) J. Clemment y E. Quinnet, Rev. Sci. Inst. 23, 213, 1952.
- 5) D.E. Moody y P. Rhodes - Cryogenics, 3, 77, 1963.
- 6) J. Ferreira Da Silva, N.W. Van Duyker y Z. Dokoupil - Physica 33, 1253 (1966).
- 7) D.C. Pearce, A.M. Markham, J.R. Dilinger - Rev. Sci. Inst. 27, 240 (1956).
- 8) J. Abriata, O.J. Bressan, C.A. Luengo y D. Thoulouze - Phys. Rev. Sept. 15(1970)

T A B L A I

Tipo de resistencia	Experi- m. N°	Tiempo entre exper.	R Ω	T °K	T m °K	% Δ T/T
AB 15	11	30 d	901,6	1,4365	2,8	0,2
	12		901,8	1,4337		
	11		148	3,384	4,9	0,15
	12		148	3,3791		
	5	90 d	780	1,513	6	0,29
	11		780	1,507		
	5		115,7	4,0189	2,8	0,04
	11		115,7	4,017		
	21	50 d	2106,7	1,367	1,2	0,02
	23		2106,8	1,3658		
	21		1193,3	3,9609	0,1	0,002
	23		1193,3	3,961		
Speer 470	21	50 d	2106,7	1,367	1,2	0,02
	23		2106,8	1,3658		
	21		1193,3	3,9609	0,1	0,002
	23		1193,3	3,961		

T A B L A II

(x)

Función	$i/T = \sum_{i=j}^k a_i (\log R)^i$			$T = a_1 / ((\ln R) - a_2)^{a_3}$
j	-1	-3	-3	
k	1	1	3	
M	2,8	2.5	1	2,1
exp. N°	5	5	5	5
figura	3-I	3-II	3-III	
a_1	2,79917	-175,246	85177,98	9,79231
a_2	-1,77422	113,075	93901,06	2,8372
a_3	0,30258	24,127	-42992,72	1,39732
a_4		1,02344	10465,32	
a_5		0,19595	1428,32	
a_6			103,65	
a_7			-3,1229	

Nota: Para la función (x), los coeficientes A, B, C, corresponden a los valores de: a_1, a_2, a_3 , respectivamente.

T A B L A III

V a l o r	γ	β	(1)	(2)	(3)	(4)
Calculado	0,697	0,049	0,3 %	2 %	4 %	2 %
Standard	0,695	0,048	-	-	-	-

(1) Desviación del valor standard para γ

(2) " " " " " β

(3) Dispersión de los puntos: Máxima

(4) " " " " : cuadrática media.

- Fig. 1 - Variación de la resistencia con la temperatura, para la AB 15 Ω y la Speer 470 Ω .
- Fig. 2 - Sensibilidad de las resistencias AB 15 Ω y Speer 470 Ω en función de la temperatura.
- Fig. 3 y 4 - Dispersión relativa de los valores de temperatura calculados con distintas funciones (ver tabla II) utilizando los datos de una sola experiencia para cada figura.
- Fig. 5 - Dispersión relativa de la temperatura para la Speer 470 Ω utilizando la función (d) .

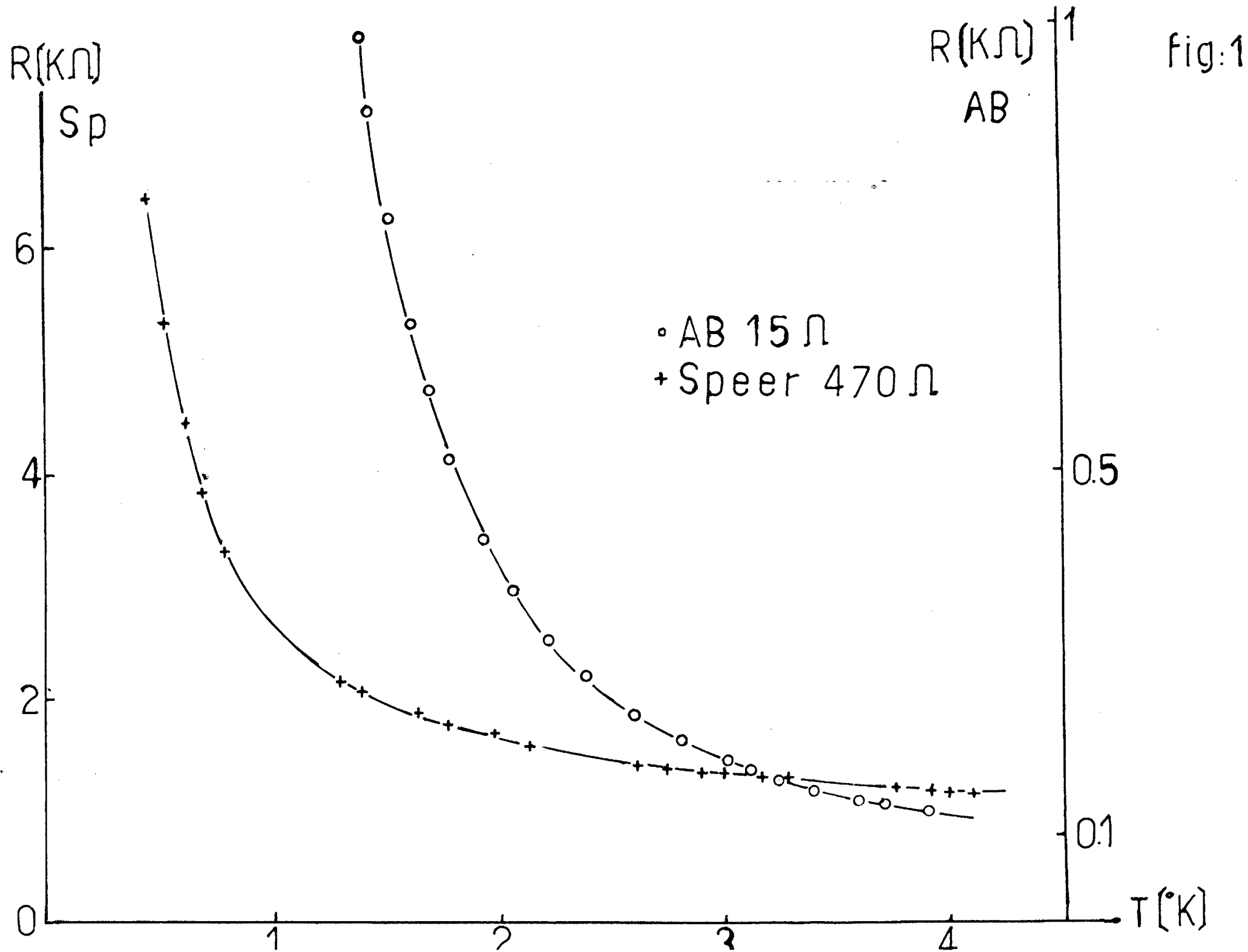


fig:2

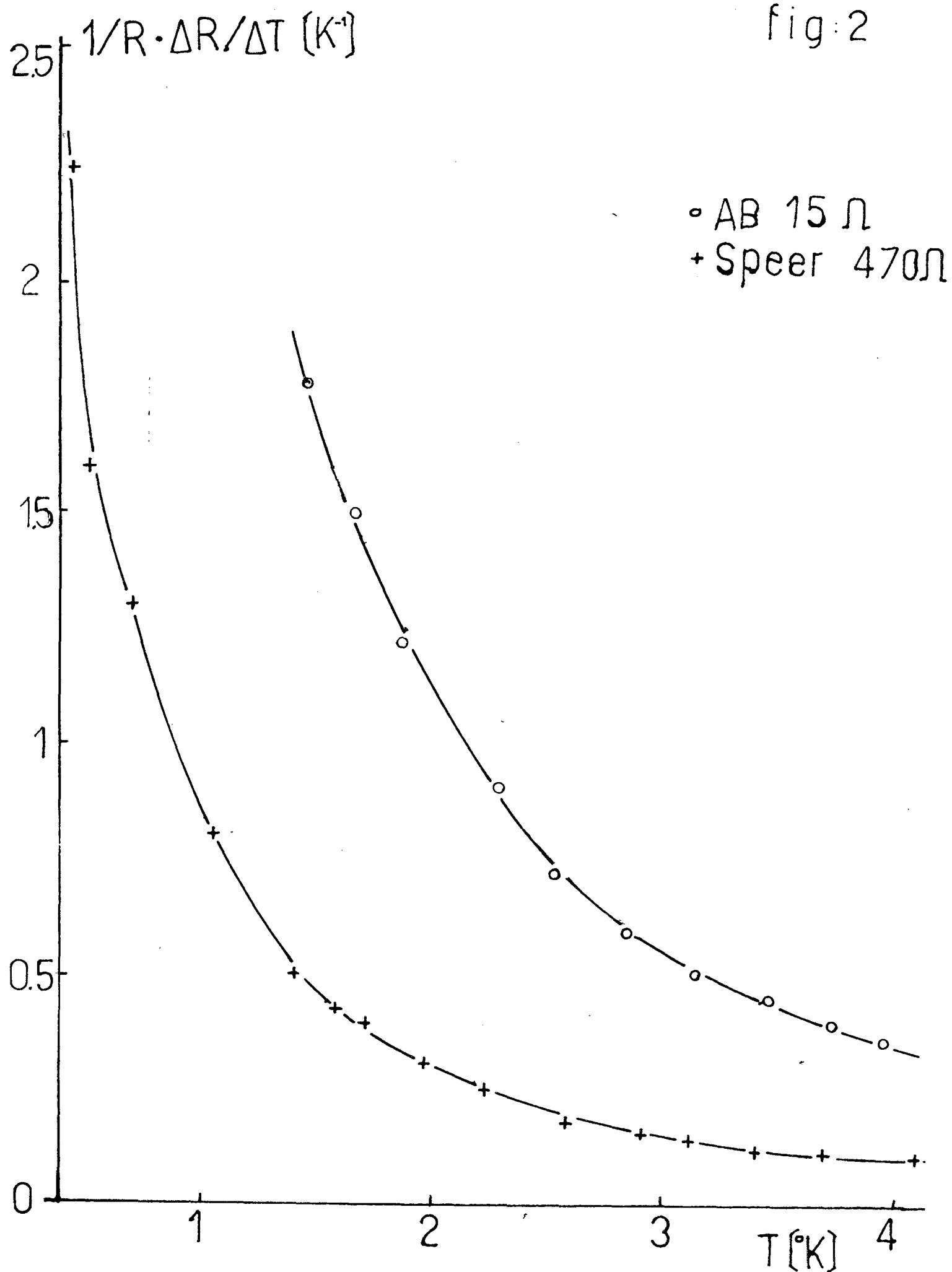


fig: 3

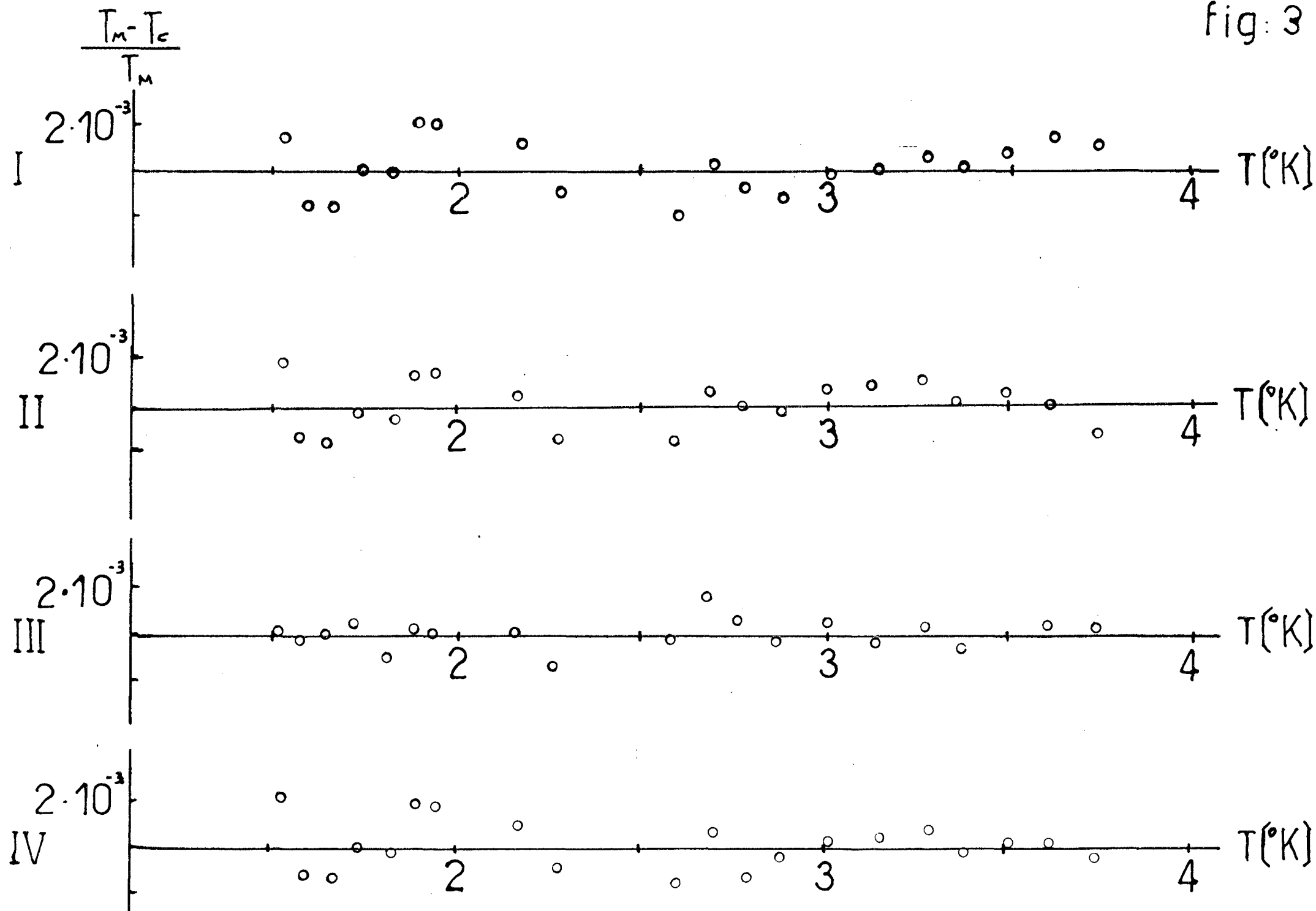


fig:4

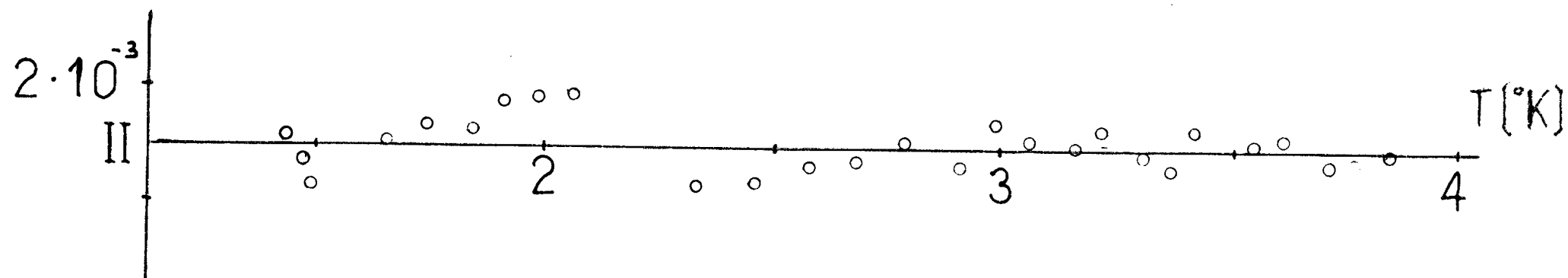
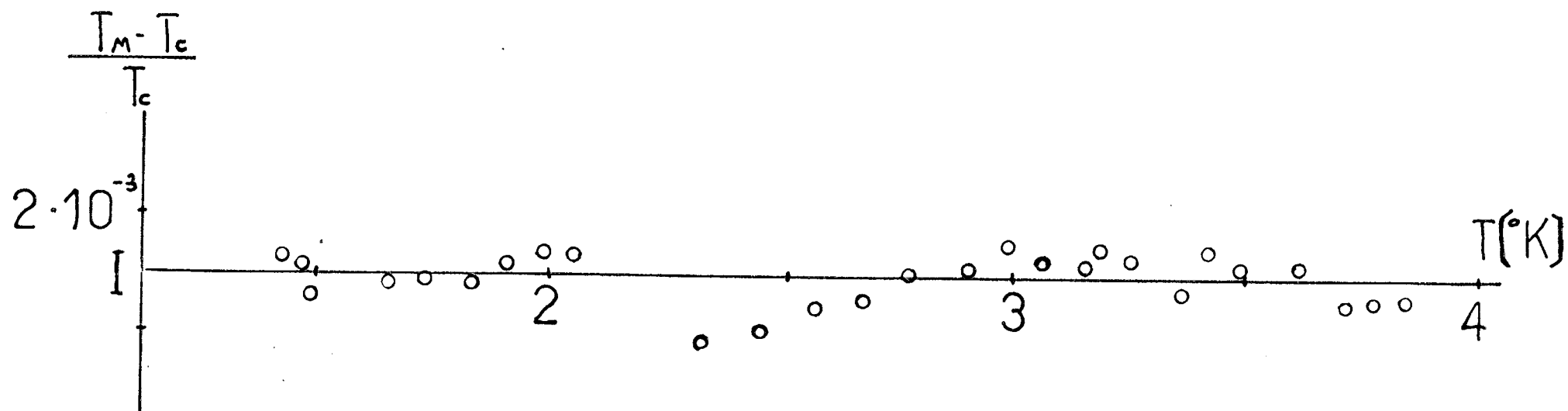


fig:5

