

**J. E. N. 380**

Sp ISSN 0081-3397

**Determinación simultánea del perfil de una  
línea espectral y de la función aparato del  
espectrometro Fabry-Perot en presencia de  
fondo continuo de radiación**

por

J. M. Moreno  
M. Quintanilla  
S. Mar

**JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR**

**MADRID, 1978**

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES

A12

OPTICAL SPECTROMETERS

SPATIAL RESOLUTION

HELIUM-NEON LASERS

CADMIUM

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Documentación Biblioteca y Publicaciones, Junta de Energía Nuclear, Ciudad Universitaria, Madrid-3, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Los descriptores se han seleccionado del Thesaurus del INIS para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. Para más detalles consulte el informe IAEA-INIS-12 (INIS: Manual de Indización) y IAEA-INIS-13 (INIS: Thesaurus) publicado por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Este trabajo se ha recibido para su impresión en Octubre de 1977.

NOTA

El presente trabajo corresponde al Informe #1 del equipo viii) Diagnosis, del Subprograma de la J.E.N. sobre Confinamiento Inercial, proyecto Laser-Fisión-Fusión, descrito en el Informe JEN-351.

DETERMINACION SIMULTANEA DEL PERFIL DE UNA LINEA ESPECTRAL  
Y DE LA FUNCION APARATO DEL ESPECTROMETRO FABRY-PEROT  
EN PRESENCIA DE FONDO CONTINUO DE RADIACION

Por

J. M. Moreno, M. Quintanilla y S. Mar  
Departamento de Optica. Facultad de Ciencias  
Universidad de Valladolid

RESUMEN.- En este trabajo se desarrolla un método de deconvolución del perfil registrado por un espectrómetro Fabry-Perot en el caso en que el perfil real de la fuente sea un perfil de Voigt acompañado de un fondo continuo de radiación. Se prueba la fiabilidad y precisión del método aplicandolo a perfiles generados teóricamente, obteniendose resultados satisfactorios.

Como comprobación de su eficacia en el estudio de perfiles experimentales, se utiliza en la determinación del perfil real de líneas y la caracterización de un espectrómetro Fabry-Perot concreto.

Estos dos tipos de medida se hacen simultaneamente gracias al análisis de la variación del perfil registrado, para las líneas de  $6438,5 \text{ \AA}$  del Cd y  $6328 \text{ \AA}$  de un laser de He - Ne, con la modificación del camino óptico entre los espejos del interferómetro. Se detallan los resultados que ponen de manifiesto la bondad del método.

## INTRODUCCION.-

El espectrómetro de Fabry-Perot es, en esencia, un filtro de paso de banda estrecho con centro de banda variable, lo que permite barrer un rango de longitudes de onda, suministrando el registro del perfil de las líneas que contenga el espectro de la fuente en estudio. El espectrómetro ideal sería aquel que tuviese anchura de banda nula, con lo que el perfil registrado sería exactamente el perfil de la línea estudiada. Sin embargo, los aparatos reales tienen una anchura de banda finita lo que produce una modificación del perfil de las líneas, por lo que el perfil registrado es la convolución del perfil real con la función de transmisión del espectrómetro. A todo esto hay que añadir la posible presencia de un espectro continuo de fondo que enmascarará el nivel de referencia del perfil.

La única forma de determinar el perfil real de la línea es deconvolucionar el perfil registrado, conociendo previamente la función de transmisión del espectrómetro. De igual manera, si conocemos el perfil real de la línea espectral, por deconvolución del perfil registrado podremos determinar la función de transmisión que caracteriza el aparato. O bien, pueden hacerse ambas cosas simultáneamente cuando no se dispone de ninguno de estos datos aprovechando la forma de variación del perfil respecto a modificaciones del espaciado entre los espejos. Esto es lo que nos proponemos en este trabajo, desarrollando en primer lugar una expresión analítica del perfil registrado en función de las anchuras de las diversas funciones que lo describen y de la separación entre los espejos. De todos estos parámetros podemos fijar algunos, bien por hacerlos despreciables

frente a los demás o midiéndolos por otros métodos de fácil ejecución, y así reducir el número de ellos para determinarlos por ajuste iterativo del perfil registrado con el cálculo.

#### FUNCIÓN PERFIL REGISTRADO.-

La función aparato, o función de transmisión, de un espectrómetro Fabry-Perot es la convolución de un conjunto de funciones independientes (1), cada una de las cuales describe una causa de ensanchamiento de la banda pasante del instrumento. El poder reflector de los espejos, inferior a la unidad, da lugar a la función " etalon " ideal que es una función de Airy:

$$A(\sigma) = \tau_A \frac{1}{1 + m \operatorname{sen}^2[2n\ell\pi(\sigma - \sigma_0)]}$$

donde  $\tau_A = \left(1 - \frac{A}{1-R}\right)^2$  es el factor de transparencia, n es el índice de refracción del medio entre los espejos, siendo  $\ell$  la distancia entre ellos y  $m = 4R/(1-R)^2$ ; R es el poder reflector de los espejos y A su coeficiente de absorción.

El diámetro finito del diafragma explorador da lugar a una función de banda pasante finita dada por:

$$F(\sigma) = \begin{cases} 1 & |\sigma - \sigma_0| < f/2 \\ 1/2 & |\sigma - \sigma_0| = f/2 \\ 0 & |\sigma - \sigma_0| > f/2 \end{cases}$$

siendo f la anchura de la función.

Los defectos de planeidad de los espejos producen un ensanchamiento del perfil y, en general, se tiene en cuenta dividiéndolos en dos tipos de defectos: defectos de micropulido de distribución aleatoria y defectos de curvatura esférica de los espejos. El primer tipo se describe mediante una función gaussiana  $D_G(\sigma) = e^{-4 \ln 2 \left(\frac{\sigma - \sigma_0}{d}\right)^2}$ , siendo  $d$  la anchura a altura mitad. El segundo tipo se expresa mediante una función rectángulo de anchura  $d_c$ :

$$D_c(\sigma) = \begin{cases} 1 & |\sigma - \sigma_0| < d_c/2 \\ 1/2 & |\sigma - \sigma_0| = d_c/2 \\ 0 & |\sigma - \sigma_0| > d_c/2 \end{cases}$$

Los aparatos de detección y registro (2) intervienen a través de su constante de tiempo  $\tau$ , que en unidades adecuadas se expresa mediante

$$P(\sigma) = e^{-\frac{\sigma - \sigma_0}{\tau}}$$

La función aparato total es la convolución de todas estas funciones. Dicha convolución se puede realizar de forma directa obteniéndose una expresión analítica (2). Dado que la función de Airy es una función periódica de período  $4\sigma = 1/2l$  el problema se reduce a la determinación de la convolución en dicho intervalo. La resolución de las integrales que aparecen en el cálculo es más fácil si se normaliza el periodo a  $2\pi$ , lo que equivale al cambio de variable  $x = 4\pi l(\sigma - \sigma_0)$  to-



mando como origen el centro del pico. Desarrollando en serie de Fourier la función de Airy toma la forma

$$A(x) = \frac{1}{2\alpha} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} R^n \cos nx \right]$$

normalizada a área unidad en un período.

Con esta preparación y tomando todas las funciones normalizadas a área unidad, por convolución directa de ellas obtenemos la expresión de la función aparato:

$$E(x) = \frac{1}{2\alpha} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} R^n e^{-\left(\frac{nD_G}{2}\right)^2} \operatorname{sinc} \frac{2nF}{\Delta\sigma} \operatorname{sinc} \frac{2nD_c}{\Delta\sigma} \times \right. \\ \left. \times (1 + T^2 n^2) (\cos nx + nT \operatorname{sen} nx) \right]$$

en la que  $D_G$ ,  $F$ ,  $D_c$ , son respectivamente las semianchuras a altura mitad de las funciones de defectos de micropulido aleatorio de diafragma explorador y de defectos de curvatura en unidades de  $x$ , siendo  $T$  la constante de tiempo del circuito de detección y registro en esas mismas unidades.

El perfil de emisión de una línea espectral en ciertos casos simples (ausencia de otras líneas, isótopos, estructura hiperfina, autoabsorción, asimetrías debidas a la presencia de

un gas tampón o cuando estos efectos son despreciables frente a la función aparato) viene dado por la convolución de una lorentziana  $\mathcal{L}(x) = \frac{L}{M(L^2 - x^2)}$  de semianchura a altura mitad (HWHH) L, y una gaussiana  $G(x) = \frac{1}{G\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{x}{G}\right)^2}$  de HWHH G; es decir, es un perfil de Voigt. La lorentziana da cuenta del perfil natural y del ensanchamiento por presión y la gaussiana del ensanchamiento Doppler.

El perfil observado de una línea de este tipo a través de un Fabry-Perot vendrá dado por la convolución de la función perfil real:  $V(x) = \mathcal{L}(x) * G(x)$  con la función instrumental  $E(x)$  y tiene la forma

$$y(x) = \frac{1}{2\pi} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (R e^{-L})^n e^{-\frac{n^2}{4}(D_G^2 + G^2)} \operatorname{sinc} \frac{2nF}{4\sigma} \operatorname{sinc} \frac{2nD_c}{4\sigma} x \right. \\ \left. \times (1 + T^2 n^2) (\cos nx + nT \operatorname{sen} nx) \right]$$

Si se elige debidamente la relación entre constante de tiempo del circuito de detección y registro  $\tau$  y el tiempo de barrido de un intervalo espectral libre  $T_{int}$  se puede hacer despreciable el parámetro T, ya que viene dado por:

$$T = \frac{2\pi\tau}{T_{int}}$$

Por otra parte dado que sin un conocimiento previo de R o L su contribución por separado es indiscernible podemos poner  $B = R e^{-L}$ . Igualmente en el factor de gaussiana si no se conoce una de las variables  $D_G$  o G, por lo que simplificaremos la expresión haciendo

$$c = e^{-\frac{D_G^2 + G^2}{4}}$$

Con estas particularizaciones la función perfil observado se expresa así:

$$Y(x) = \frac{1}{2\pi} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} B^n C^{n^2} \operatorname{sinc} \frac{2nF}{\Delta\sigma} \operatorname{sinc} \frac{2nD_c}{\Delta\sigma} \cos nx \right] \quad (1)$$

Esta función tiene cuatro parámetros: B, C, F y  $D_c$ , de los cuales dos el B y el C son esencialmente desconocidos, en tanto que el  $D_c$  es especificado por el fabricante a través de la flecha de curvatura esférica de las láminas y F es fácilmente determinable conocida la apertura angular del diafragma explorador frente a la lente colectora.

#### PRESENCIA DE FONDO CONTINUO Y NORMALIZACION DEL PERFIL.-

La función  $Y(x)$  describe el perfil observado con un Fabry-Perot de una línea espectral pura, situación que se da casi exclusivamente cuando se trata de una línea laser y con un buen apantallamiento de luz extraña. En el caso más general aún admitiendo la presencia de una línea Voigt pura, suele aparecer un fondo continuo debido a la influencia de los pies de líneas espectrales alejadas, emisión de radiación de espectro continuo de la propia lámpara, emisión de los electrodos calientes si los hay, y luz extraña no apantallada totalmente, etc. Para dar cuenta de este fenómeno es preciso introducir un término aditivo,  $\delta'$ , desconocido en principio.

Por otra parte la expresión (1) describe un perfil normalizado a área unidad, de forma que si queremos describirlo en otro tipo de normalización (altura unidad, unidades del registro experimental) es preciso añadir un factor  $K'$  (incluimos en él el factor  $\frac{1}{2\pi}$ ).

Con estas consideraciones, la nueva expresión:

$$Y(x) = \delta' + K' \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} B^n C^{n^2} \operatorname{sinc} \frac{2nF}{\Delta\sigma} \operatorname{sinc} \frac{2nD_c}{\Delta\sigma} \cos nx \right]$$

describe, el perfil registrado completo en las unidades deseadas. O de manera más simplificada

$$Y(x) = \delta + K \sum_{n=1}^{\infty} B^n C^{n^2} A(n) \cos nx$$

donde

$$\delta = \delta' + K'$$

$$K = 2 K'$$

$$A(n) = \operatorname{sinc} \frac{2nF}{\Delta\sigma} \operatorname{sinc} \frac{2nD_c}{\Delta\sigma}$$

#### METODO DE DECONVOLUCION.-

Nuestro método no es una deconvolución en sentido literal sino el ajuste de los parámetros que caracterizan las diversas funciones cuyo producto de convolución describe el perfil registrado.

Los parámetros a ajustar son B, C,  $\delta$  y K, dado que los demás se conocen fácilmente como ya indicamos.

El ajuste se realiza tomando una serie de puntos del perfil experimental y haciendo que las desviaciones cuadráticas a la función Y(x) sean mínimas. Los puntos experimentales pueden ser tomados en número arbitrario pero siempre superior o igual a cuatro ya que son cuatro los parámetros a ajustar, obviamente la calidad del ajuste dependerá del número de puntos tomados. La coordenada Y puede tomarse en unidades cualesquiera dado que se ajustan S y K, mientras que x debe tomarse en unidades de intervalo espectral libre normalizado a  $2\pi$  y con origen en el centro del pico de la línea a estudiar.

Si llamamos  $Y_i$  a la altura del perfil en el punto  $x_i$  el problema se reduce a calcular los valores de B, C, S y K que minimizan la expresión:  $\sum_{i=1}^m [Y_i - Y(x_i)]^2$  siendo m el número de puntos experimentales. O, de otra manera, a resolver el sistema de ecuaciones que resulta de igualar a cero las derivadas, respecto a los cuatro parámetros, de esa expresión:

$$\sum_{i=1}^m Y_i - m\delta - K \sum_{i=1}^m \sigma_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^m Y_i \sigma_i - \delta \sum_{i=1}^m \sigma_i - K \sum_{i=1}^m \sigma_i^2 = 0$$

$$\sum_{i=1}^m Y_i \sigma_i^B - \delta \sum_{i=1}^m \sigma_i^B - K \sum_{i=1}^m \sigma_i \sigma_i^B = 0$$

$$\sum_{i=1}^m Y_i \sigma_i^C - \delta \sum_{i=1}^m \sigma_i^C - K \sum_{i=1}^m \sigma_i \sigma_i^C = 0$$

donde

$$\sigma_i = \sum_{h=1}^{\infty} B^h C^{h^2} A(h) \cos hx_i$$

$$q_i^B = \frac{\partial \sigma_i}{\partial B}$$

$$q_i^C = \frac{\partial \sigma_i}{\partial C}$$

Las variables  $\delta$  y K pueden despejarse inmediatamente de las primeras ecuaciones:

$$K = \frac{m \sum_{i=1}^m y_i \sigma_i - \left( \sum_{i=1}^m y_i \right) \left( \sum_{i=1}^m \sigma_i \right)}{m \sum_{i=1}^m \sigma_i^2 - \left( \sum_{i=1}^m \sigma_i \right)^2}$$

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^m y_i - K \sum_{i=1}^m \sigma_i}{m}$$

que sustituidos en las otras dos ecuaciones reducen el sistema a dos ecuaciones con dos incognitas, B y C. Dada la forma en que aparecen estas dos variables es imposible despejarlas pero el sistema se puede resolver numéricamente con facilidad. Llamamos  $Z_1(B, C)$  y  $Z_2(B, C)$  respectivamente al primer miembro de las dos últimas ecuaciones del sistema inicial una vez sustituidos en ella K y  $\delta$  por las expresiones despejadas arriba. Se trata ahora de encontrar los valores de B y C que anulan simultáneamente  $Z_1$  y  $Z_2$ . Se probó con un método de Newton generali-

zado a dos variables pero resulta más seguro calcular los cortes parámetro a parámetro. Se da un valor a C, se calcula el valor de B que anula Z, por el método de Newton a una variable agilizado por un rastreo previo que asegura la existencia de dicho cero. Hecho esto B pasa a ser una función numérica de C,  $B = g(C)$ ; con lo que  $Z_2(B, C) = Z_2[g(C), C]$  cuyo cero se determina de igual manera que se hizo con  $Z_1(B, C \text{ fijo})$ . Determinadas B y C, las expresiones obtenidas para S y K nos dan sus correspondientes valores inmediatamente.

Evidentemente, el proceso de cálculo requiere el uso de un computador aún en el caso de utilizar un pequeño número de puntos para el ajuste, ya que los sumatorios  $\sigma_i$ ,  $\sigma_i^b$  y  $\sigma_i^c$  es preciso hacerlos sobre bastantes términos pues no convergen con demasiada rapidez.

Al realizar el programa de cálculo mediante computador es conveniente recoger en una matriz de dimensiones adecuadas los elementos invariables que deben ser utilizados gran número de veces, por ejemplo la parte no dependiente de los parámetros a ajustar en los términos de los sumatorios  $\sigma_i$ ,  $\sigma_i^b$  y  $\sigma_i^c$  también es recomendable programar controles en los procesos iterativos que impidan la obtención de resultados falsos cuando el problema tiene solución matemática sin significado físico (valores de B ó C mayores que 1).

Hemos confeccionado un programa en FORTRAN IV para el computador IBM 1130 que puede trabajar hasta con nueve puntos experimentales. Esta limitación se debe a la pequeña capacidad

---

Se puede suministrar listado bajo petición.

de memoria de este dispositivo que impide la definición de matrices de grandes dimensiones sin el uso de periféricos.

Para comprobar su eficacia y precisión se ha aplicado al análisis de perfiles conocidos, bien generados por nosotros o tomados de otros trabajos.

En primer lugar se aplica al perfil cuyos datos aparecen en la tabla 1. Los resultados designados por L y G son dados automáticamente por el programa a partir de B y C a través de las expresiones  $B = e^{-L}$  y  $C = e^{-\frac{G^2}{4}}$ . Esta forma de tomar B significa identificar la función de Airy, con una lorentziana repetida periódicamente, lo que no es exacto, aunque si muy aproximado si  $R > 0,6$ . En una aplicación general es preciso tener en cuenta esta salvedad en la forma que se verá más adelante

TABLA 1

PARAMETROS GENERALES	PUNTOS DEL PERFIL	
	$X_i$	$Y_i$
H = 0,483882 cm	0,000000	1,020000
$\lambda$ = 632,816 nm	0,010543	0,976687
XPP = 1,033308	0,021087	0,865294
$D_c$ = 0,000081 Kaisers	0,031631	0,725477
F = 0,001188 K	0,042175	0,590712
L = 0,045847 K	0,094895	0,223941
G = 0,010116 K	0,100335	0,078491
S' = 0,020000 K	0,305774	0,050576
K' = 0,143061	0,516654	0,039826



Se han introducido los datos tal como aparecen en la tabla 1 con todas sus cifras y haciendo una alteración aleatoria no superior al 1% a los valores de Y los resultados aparecen en la tabla 2.

TABLA 2

	con $Y_i$ exactos		con $Y_i$ alterados	
L	0,045848	K	0,046765	K
G	0,010112	K	0,008511	K
S'	0,019999		0,019041	
K'	0,143061		0,143990	

Si se altera el número de puntos o su distribución sobre el perfil se obtienen resultados más exactos como es esperable cuanto mayor es el número de puntos utilizado y cuando se distribuyen sobre el perfil en las zonas de mayor información: pico, pies y altura media.

Otra prueba se realizó utilizando datos de un perfil de Voigt tabulado (3). Dado que estos datos eran de un perfil de Voigt hubo que simular unas condiciones de trabajo del interferómetro que hiciesen despreciable la influencia de la superposi

ción de los pies de dos picos consecutivos. Esto se logró dando un valor pequeño al espaciado entre las láminas del interferómetro H. Los datos se detallan en la Tabla 3

TABLA 3

PARAMETROS GENERALES	PUNTOS DEL PERFIL	
	$X_i$	$Y_i$
H = 0,100000 cm	0,000000	1,000000
$\lambda$ = 500,000 nm	0,280650	0,800000
XPP = 5,000000	0,500000	0,500000
D <sub>c</sub> = 0,000500 K	0,578350	0,400000
F = 0,001250 K	0,668830	0,300000
L = 0,106000 K	0,722240	0,250000
G = 0,441000 K	0,784970	0,200000
S' = 0,000000	0,863360	0,150000
K' = 0,233000	0,973050	0,100000

En este caso en lugar de alterar aleatoriamente los valores de  $Y_i$  se fue truncando sucesivamente con redondeo el número de decimales de  $X_i$ .

Los resultados obtenidos aparecen en la tabla 4

TABLA 4

Nº de- cimales	5	4	3	2	1
L	0,107165	0,106331	0,101489	0,070737	0,016879
G	0,440339	0,440727	0,442783	0,458033	0,481675
S'	-0,006382	-0,006006	-0,003702	0,007074	0,043710
K'	0,232611	0,232338	0,230655	0,221657	0,203841

Estas diferencias solo son apreciables numéricamente, si se representan los perfiles obtenidos y los puntos dados las desviaciones son inapreciables visualmente. La causa de ésto es la gran sensibilidad de los parámetros G y L a pequeñas variaciones del perfil.

En conclusión, el programa de cálculo muestra un comportamiento adecuado para la determinación de L en cualquier caso, con un error relativo igual al de los datos experimentales. La obtención de igual precisión en la determinación de G requiere que su valor no sea demasiado pequeño frente a L, en cuyo caso solamente se puede estimar. Esta condición se puede realizar facilmente en muchos casos sin más que dar a H un valor alto, lo que reduce la componente instrumental del parámetro B.

CARACTERIZACION DE UN ESPECTROSCOPIO FOTOELECTRICO FABRY-PEROT

Disponiendo del sistema de deconvolución descrito anteriormente, podemos determinar los parámetros B y C, o bien L y C de perfiles de líneas espectrales tipo Voigt registrados con el aparato cuya caracterización se intenta. Estos parámetros, como ya se ha visto, se relacionan con los propios de instrumento y fuente por las siguientes expresiones:

$$B = e^{-4\pi LH} = R e^{-4\pi L_i H} \quad (2)$$

$$C = e^{-(2\pi H)^2 (G_i^2 + D_G^2)} = e^{-(2\pi H G)^2} \quad (3)$$

donde se designan por  $L_i$ ,  $G_i$ , respectivamente las HwHH de lorentzianas y gaussianas intrínsecas a la fuente de luz.

De la expresión (2) llegamos a:

$$L = L_i - \frac{\ln R}{4\pi H} \quad (4)$$

y de la (3) a:  $G^2 = G_i^2 + D_G^2 \quad (5)$

Por otra parte (1):  $D_G = \frac{\sqrt{32 \ln 2}}{4 H n}$

donde n es el número de veces que la media cuadrática de los defectos de micropulido de las láminas cabe en la longitud de onda de la radiación en estudio.

Con ésto la expresión (5) queda

$$G^2 = G_i^2 + K_G \frac{1}{H^2} \quad (6)$$

donde

$$K_G = \frac{32 \ln 2}{(4n)^2} \quad (6')$$

A su vez, la expresión (4) se puede escribir:

$$L = L_i + K_L \frac{1}{H} \quad (7)$$

donde

$$K_L = - \frac{\ln R}{4\pi}$$

Si se realizan varios registros de la misma línea espectral con distintos valores de H se pueden determinar las rectas (6) y (7) y por tanto sus coeficientes  $L_i$ ,  $G_i$ ,  $K_G$ , y  $K_L$  y en consecuencia  $n$  y  $R$ . Es decir, quedan valorados simultáneamente las semianchuras a altura mitad de las componentes lorentziana y gaussiana del perfil de Voigt intrínseco a la fuente y la reflectancia y la magnitud de los defectos de micropulido de los espejos del interferómetro.

Este procedimiento presenta la ventaja de no requerir un conocimiento previo del perfil real de la línea, solamente se le exige que sea de tipo perfil de Voigt.

#### APLICACION PRACTICA.-

Como comprobación experimental del método de deconvolución desarrollado, lo hemos utilizado para la caracterización de un espectrómetro Fabry-Perot por el procedimiento que acabamos de describir. El aparato problema está basado en un interferómetro Fabry-Perot de barrido piezoeléctrico de la casa BURLEIGH (modelo RC-110). Este aparato está dotado de espejos de multicapa dieléctrica con las siguientes especificaciones:

$R \approx 0,96$  en el rango 4500 a 5500 Å  
curvatura esférica de  $\frac{\lambda}{100}$  medida a 5000 Å y con un diámetro útil de 30,48 mm.

El fabricante acompaña el producto con una gráfica detallada  $R(\lambda)$  en el rango 4.150 a 5800Å y de una curva típica no homologada, fig. 1, en un rango más extenso.

Hemos realizado una serie de registro de la raya del Cd (6438,5 Å) emitida por una lámpara espectral OSRAM y aislada del resto del espectro mediante un filtro rojo de vidrio. Se ha utilizado un diafragma explorador de 0,1 mm situado en el plano focal de una lente colectora de 25 mm de focal, y un área circular centrada del interferómetro de 30 mm de diámetro. El detector utilizado es un fotomultiplicador PHILIPS XP 1003 con la salida conectada a un registrador gráfico.

Los resultados obtenidos por el programa de ajuste a partir de estos registros se detallan en la tabla 5.

TABLA 5

Registro	H cm	L cm <sup>-1</sup>	G cm <sup>-1</sup>	Fondo	Y (o)
1	0,1074	0,494	0,0586	3,67	76,60
2	0,235	0,265	0,0333	2,02	71,60
3	0,33507	0,170	0,0449	3,42	75,60
4	0,58168	0,111	0,0336	4,55	87,30
5	1,425	0,0536	0,0525	4,62	60,20
6	2,01	0,0372	0,0291	13,68	83,00

Representado  $(L, 1/H)$  en fig. 2 se observa la esperada distribución lineal, cuyos parámetros determinamos ajustando una recta por mínimos cuadrados:  $L = 0,020 (\pm 0,008) + 0,052 (\pm 0,002) 1/H$ .

El punto correspondiente al registro 2 tiene una desviación alta, probablemente debido a cambios en la lámpara.

Representando  $(G^2, 1/H^2)$  se observa una gran dispersión que hace difícil asignarle una recta. Esta situación nos hace pensar que la lámpara no estaba en iguales condiciones en cada registro.

Otra serie de registros se hizo utilizando como fuente un laser de He - Ne ( $6325 \overset{0}{\text{Å}}$ ) de 8 mW. Se emplearon espaciados pequeños para evitar que apareciesen resueltos los diversos modos axiales permitidos por la curva de ganancia. En estas condiciones cabe esperar que una buena aproximación al perfil de la línea laser sea un perfil de Voigt. En realidad se trata de una superposición de lorentzianas ensanchadas por la función aparato cuyos máximos se hallan muy próximos. Resulta una buena aproximación (4) sustituir la suma de lorentzianas por una sola lorentziana.

Los datos elaborados por el programa de ajuste de estos registros aparecen en la tabla 6

TABLA 6

Registro	H	cm	L	G	Fondo	Y (o)
1	0,04365		0,761	0,254	-3,76	219,0
2	0,1521		0,223	0,0499	0,516	98,0
3	0,3715		0,0930	0,0337	0,633	100,0

Representados los puntos en una gráfica  $L_i$  frente  $1/H_i$  fig. 3, se observa el buen acuerdo con una recta que ajustada por mínimos cuadrados resulta ser:

$$L = 0,0049(\pm 0,0011) + 0,03306(\pm 0,00008) \frac{1}{H}$$

Lo que significa una pequeña lorentziana intrínseca del laser:  $L_i = 4,9 \pm 1,1$  mk. La reflectancia correspondiente al valor de  $K_e$  obtenido:  $R = 0,6600 \pm 0,0007$  : Este valor, lógicamente mayor que para la raya del Cd estudiada más arriba, está en buen acuerdo con la curva típica del fabricante fig. 1.

Los puntos  $G^2$  frente a  $1/H^2$  no se puede afirmar que tengan una distribución lineal. Esta dispersión puede ser debida a variaciones del paralelismo de las láminas del interferómetro al hacer los registros, ya que (5) pequeñas desviaciones de este afectan sensiblemente a la gaussiana de la función aparato. Este fenómeno puede estar presente también en los anteriores registros del Cd.



Para comprobar estos supuestos se hizo una nueva serie de registros de la raya roja del Cd, controlando las condiciones de emisión a través de la corriente eléctrica aplicada a la lámpara. Pusimos especial cuidado en el paralelismo de los espejos. Para cada valor de H hemos hecho dos registros, uno con la lámpara trabajando a su corriente nominal (1,5 A) y otro a corriente más baja (1,2 A), dejando en ambos casos que la lámpara se estabilice antes de proceder al registro del perfil.

Los resultados de esta serie se recogen en la tabla 7.

TABLA 7

Regis- tro.	$I_1$ (amp)	H cm	$L \text{ cm}^{-1}$	$G \text{ cm}^{-1}$	fondo	
1	1,5	1,046	0,0730	0,0225	2,54	
1'	1,2	"	0,0695	0,0183	4,17	
2	1,5	0,685	0,1018	0,0264	3,14	
2'	1,2	"	————	————	————	no ajustable (no Voigt)
3	1,5	0,442	0,1439	0,0295	2,63	
3'	1,2	"	————	————	————	no ajustable (no Voigt)
4	1,5	0,1777	0,3678	0,0663	2,11	
4'	1,2	"	0,3465	0,0590	9,68	

Algunos registros realizados con una corriente de descarga de 1,2 A no han podido ser deconvolucionados por no ser de tipo Voigt. Esto es debido a que a esta corriente la descarga

no es completamente estable, a corrientes más bajas aparece el espectro del gas iniciador de la descarga (He). En los perfiles de este tipo ajustados  $n^{0S}$  1' y 4' se observa la presencia de un fondo elevado achacable a una incipiente emisión del He.

En la fig. 4 se han representado los puntos  $L \frac{1}{H}$  y la recta ajustada a los puntos de corriente 1,5 A

$$L = 0,021\ 02 (\pm 0,00014) + 0,054\ 7 (\pm 0,0005) \frac{1}{H}$$

La desviación de los puntos de 1,5 A respecto a esta recta es pequeña mientras que, los de 1,2 A quedan ligeramente por debajo como era de esperar. (menor temperatura  $\Rightarrow$  menor presión  $\Rightarrow$  menor L). Los parámetros de la recta no difieren mucho de los obtenidos en la primera serie. La lorentziana intrínseca de la fuente tiene, pues, una semianchura a altura mitad de  $21,02 \pm 0,14$  m K. Del parámetro  $K_1 = 0,0547 \pm 0,0005$  obtenemos que la reflectancia de los espejos para esta línea es  $R = 0,51 \pm 0,01$ . No podemos cotejar este resultado con las especificaciones del fabricante de manera exacta ya que esta línea está fuera del rango de trabajo de los espejos. Sin embargo en una curva típica dada por el fabricante de manera estimativa se observa, fig. 1, que la reflectancia esperable es del orden de magnitud obtenido en nuestro trabajo.

En la fig. 5, se representan los puntos  $(G^2, \frac{1}{H^2})$  y la recta ajustada a los de 1,5 A:

$$G^2 = 0,000375 (\pm 0,000015) + 0,0000998 (\pm 0,0000007) \frac{1}{H^2}$$

Se observa la bondad del ajuste, y la desviación en el sentido esperado de los puntos de 1,2 Å (menor temperatura por tanto menor G).

La gaussiana intrínseca de la fuente (Doppler) así obtenida es  $G_i = \sqrt{G_i^2} = 19,4 \pm 0,4$  m K a la que corresponde una temperatura cinética de los átomos emisores de 1370°K, del orden de magnitud esperado en las condiciones de trabajo.

De la constante  $K_G$  obtenemos a través de la expresión (6') el valor de  $n = 117,9 \pm 0,4$ , es decir los defectos de micropulido de los espejos tienen una media cuadrática de  $\frac{\lambda}{117,9} \pm 0,4$  para la línea espectral estudiada ( $\lambda = 0643,85037$  nm).

El hecho de que se hayan podido ajustar las diferentes anchuras de lorentziana y gaussiana a las leyes de variación con el espaciado, sobre todo cuando se han tomado precauciones adecuadas respecto al paralelismo, nos permite concluir que el método de deconvolución propuesto es idóneo para medidas experimentales de perfiles de Voigt con fondo a través de un espectrómetro cuya función instrumental sea la convolución de dos rectángulos con una función de Airy y con una gaussiana; es decir, con un espectrómetro Fabry-Perot.

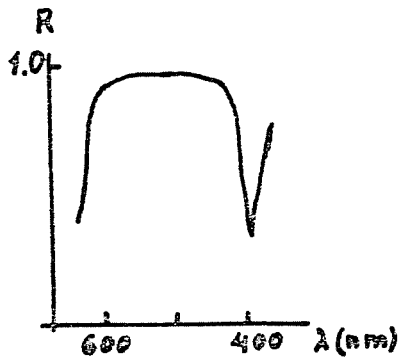


Fig. 1

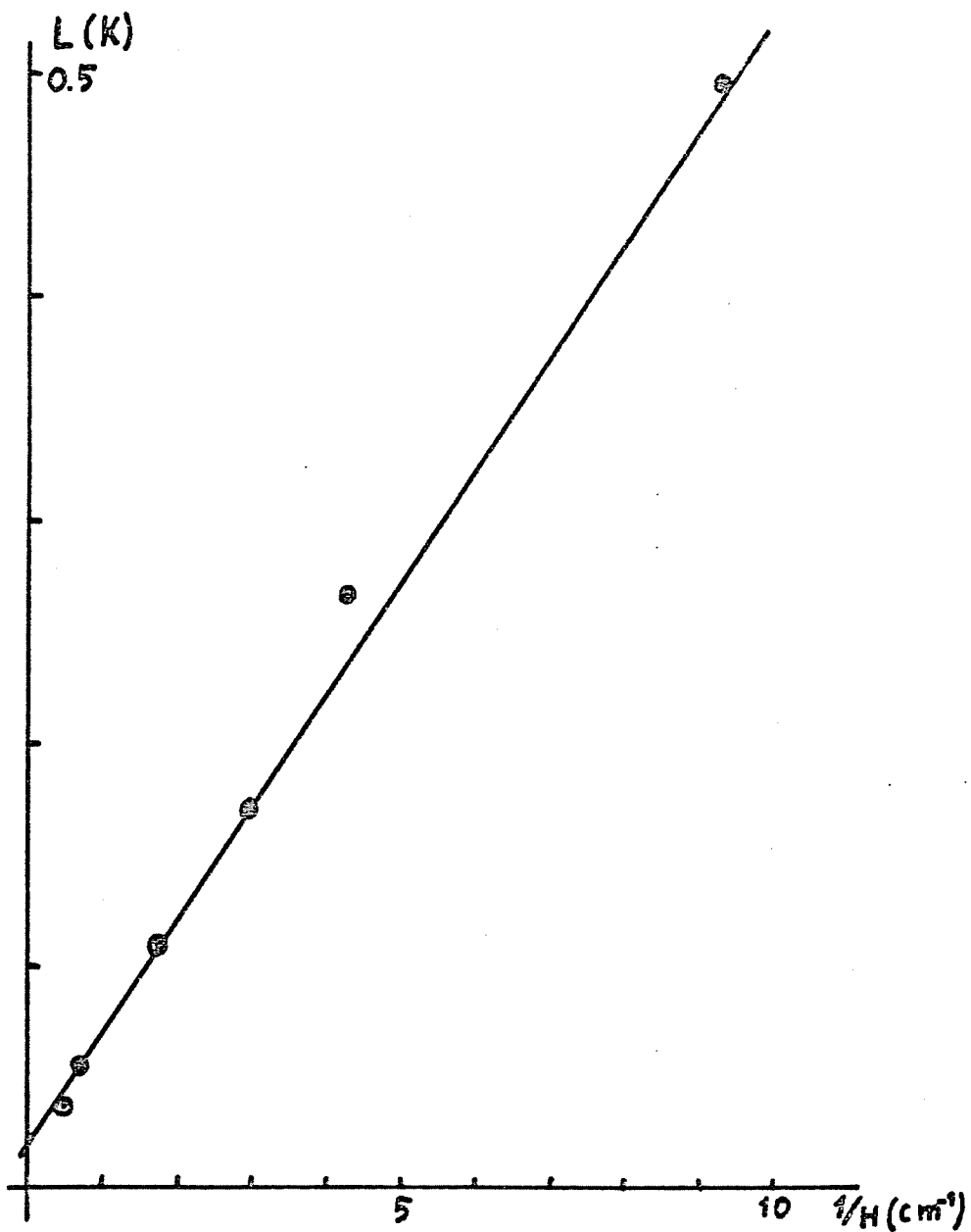


Fig. 2

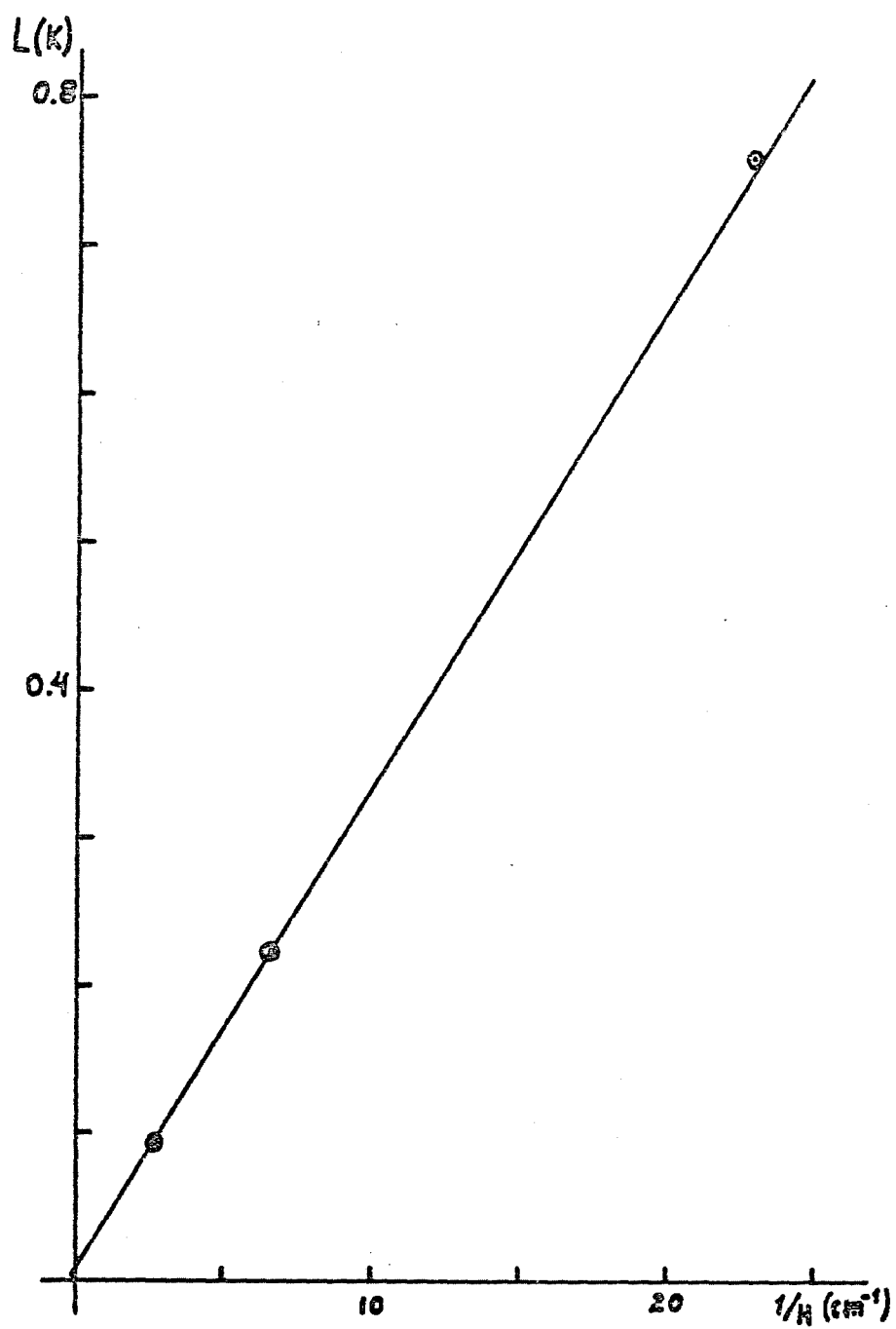


Fig. 3

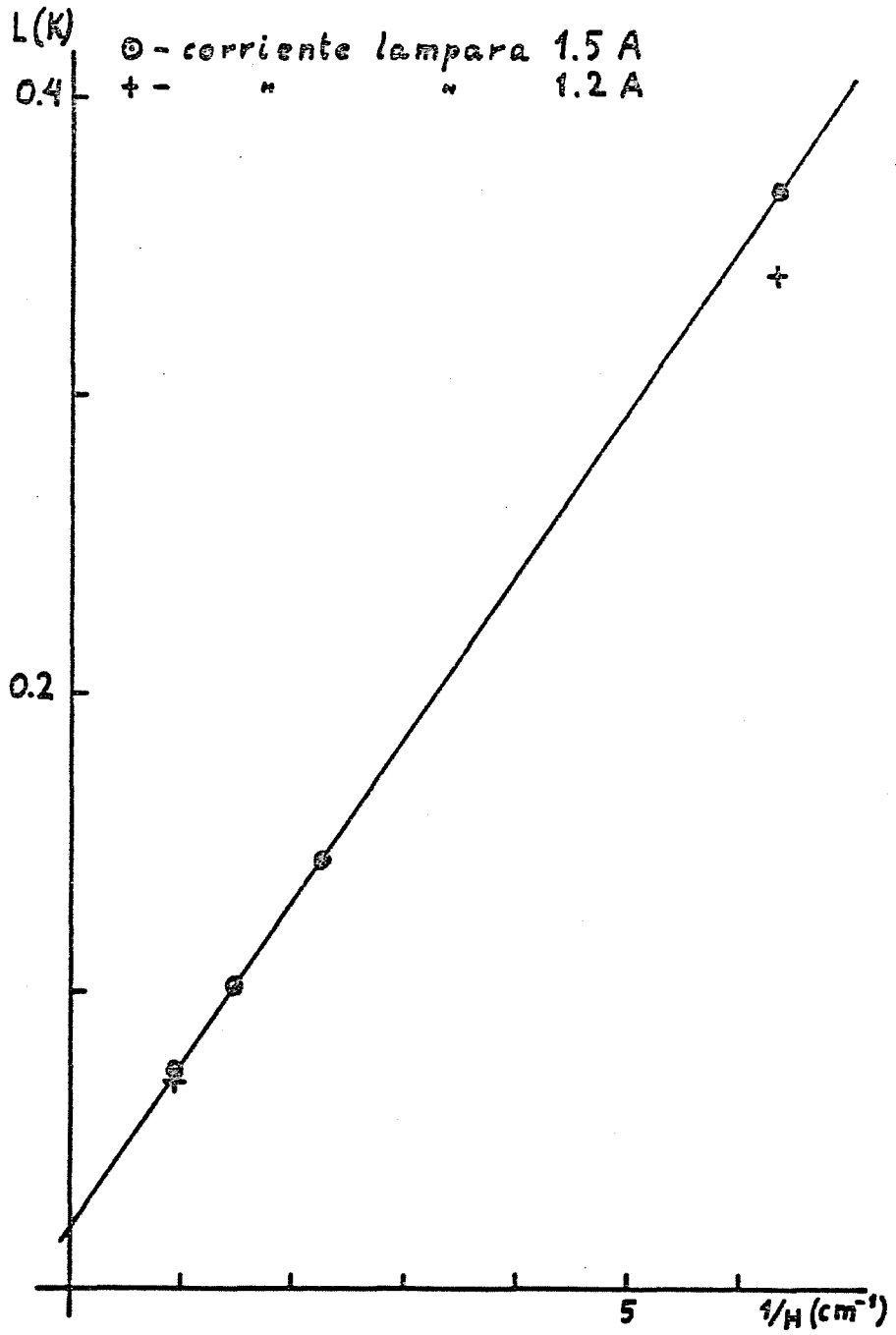


Fig. 4

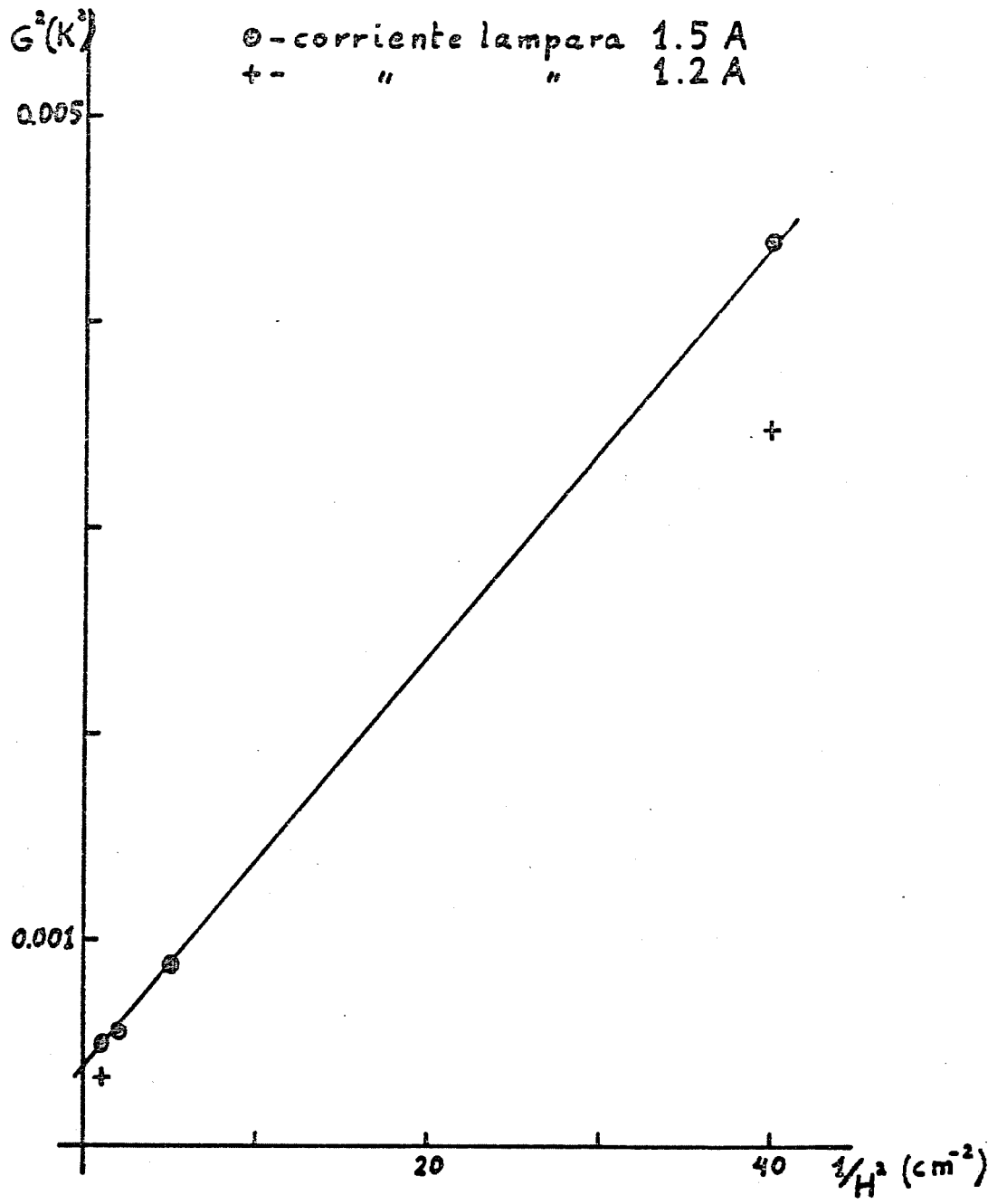


Fig. 5

BIBLIOGRAFIA

- 1.-R.CHABBAL, J. Recherches CNRS, 24, p. 138 (1953)
- 2.-G. HERNANDEZ; Applied Optics, 5, 11, p.1745 (Nov. 1968)
- 3.-H. G. KUHN, "Atomic Spectra", p. 416 (2<sup>a</sup> ed., Longman, Londres) (1969)
- 4.-H. HAKEN, "Laser Handbook", vol 1, p.132 (F.T. Arechi, E.O. Schulz-Dubois eds., North-Holland, Amsterdam, 1972)
- 5.-H. G. KUHN, J. M. VAUGHAN, Proc. Roy. Soc., A277, p.297 (1963)



J. E. N. 380

Junta de Energía Nuclear. Departamento de Tecnología de Reactores, Madrid.

"Determinación simultánea del perfil de una línea espectral y de la función aparato del espectrometro Fabry-Perot en presencia de fondo continuo de radiación".

MORENO, J.M.; QUINTANILLA, M.; MAR, S. (1978) 28 pp. 5 figs. 5 refs.

En este trabajo se desarrolla un método de deconvolución del perfil registrado por un espectrómetro Fabry-Perot en el caso en que el perfil real de la fuente sea un perfil de Voigt acompañado de un fondo continuo de radiación. Se prueba la fiabilidad y precisión del método aplicándolo a perfiles generados teóricamente, obteniéndose resultados satisfactorios.

Como comprobación de su eficacia en el estudio de perfiles experimentales, se utiliza en la determinación del perfil real de líneas y la caracterización de un espectrómetro Fabry-Perot concreto.

Estos dos tipos de medida se hacen simultáneamente gracias al análisis de la variación del perfil registrado, para las líneas de  $6438,5 \text{ \AA}$  del Cd y  $6328 \text{ \AA}$  de un laser de

J. E. N. 380

Junta de Energía Nuclear. Departamento de Tecnología de Reactores, Madrid.

"Determinación simultánea del perfil de una línea espectral y de la función aparato del espectrometro Fabry-Perot en presencia de fondo continuo de radiación".

MORENO, J.M.; QUINTANILLA, M.; MAR, S. (1978) 28 pp. 5 figs. 5 refs.

En este trabajo se desarrolla un método de deconvolución del perfil registrado por un espectrómetro Fabry-Perot en el caso en que el perfil real de la fuente sea un perfil de Voigt acompañado de un fondo continuo de radiación. Se prueba la fiabilidad y precisión del método aplicándolo a perfiles generados teóricamente, obteniéndose resultados satisfactorios.

Como comprobación de su eficacia en el estudio de perfiles experimentales, se utiliza en la determinación del perfil real de líneas y la caracterización de un espectrómetro Fabry-Perot concreto.

Estos dos tipos de medida se hacen simultáneamente gracias al análisis de la varia-

J. E. N. 380

Junta de Energía Nuclear. Departamento de Tecnología de Reactores, Madrid.

"Determinación simultánea del perfil de una línea espectral y de la función aparato del espectrometro Fabry-Perot en presencia de fondo continuo de radiación".

MORENO, J.M.; QUINTANILLA, M.; MAR, S. (1978) 28 pp. 5 figs. 5 refs.

En este trabajo se desarrolla un método de deconvolución del perfil registrado por un espectrómetro Fabry-Perot en el caso en que el perfil real de la fuente sea un perfil de Voigt acompañado de un fondo continuo de radiación. Se prueba la fiabilidad y precisión del método aplicándolo a perfiles generados teóricamente, obteniéndose resultados satisfactorios.

Como comprobación de su eficacia en el estudio de perfiles experimentales, se utiliza en la determinación del perfil real de líneas y la caracterización de un espectrómetro Fabry-Perot concreto.

Estos dos tipos de medida se hacen simultáneamente gracias al análisis de la variación del perfil registrado, para las líneas de  $6438,5 \text{ \AA}$  del Cd y  $6328 \text{ \AA}$  de un laser de

J. E. N. 380

Junta de Energía Nuclear. Departamento de Tecnología de Reactores, Madrid.

"Determinación simultánea del perfil de una línea espectral y de la función aparato del espectrometro Fabry-Perot en presencia de fondo continuo de radiación".

MORENO, J.M.; QUINTANILLA, M.; MAR, S. (1978) 28 pp. 5 figs. 5 refs.

En este trabajo se desarrolla un método de deconvolución del perfil registrado por un espectrómetro Fabry-Perot en el caso en que el perfil real de la fuente sea un perfil de Voigt acompañado de un fondo continuo de radiación. Se prueba la fiabilidad y precisión del método aplicándolo a perfiles generados teóricamente, obteniéndose resultados satisfactorios.

Como comprobación de su eficacia en el estudio de perfiles experimentales, se utiliza en la determinación del perfil real de líneas y la caracterización de un espectrómetro Fabry-Perot concreto.

Estos dos tipos de medida se hacen simultáneamente gracias al análisis de la varia-

He-Ne, con la modificación del camino óptico entre los espejos del interferómetro. Se detallan los resultados que ponen de manifiesto la bondad del método.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: Optical spectrometers. Spatial resolution. Helium-neon lasers. Cadmium. A12

He-Ne, con la modificación del camino óptico entre los espejos del interferómetro. Se detallan los resultados que ponen de manifiesto la bondad del método.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: Optical spectrometers. Spatial resolution. Helium-neon lasers. Cadmium. A12

ción del perfil registrado, para las líneas de  $6438,5 \text{ \AA}$  del Cd y  $6328 \text{ \AA}$  de un laser de He-Ne, con la modificación del camino óptico entre los espejos del interferómetro. Se detallan los resultados que ponen de manifiesto la bondad del método.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: Optical spectrometers. Spatial resolution. Helium-neon lasers. Cadmium. A12

ción del perfil registrado, para las líneas de  $6438,5 \text{ \AA}$  del Cd y  $6328 \text{ \AA}$  de un laser de He-Ne, con la modificación del camino óptico entre los espejos del interferómetro. Se detallan los resultados que ponen de manifiesto la bondad del método.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: Optical spectrometers. Spatial resolution. Helium-neon lasers. Cadmium. A12

J. E. N. 380

Junta de Energía Nuclear. Departamento de Tecnología de Reactores, Madrid.

"Simultaneous measure of a spectral line profile and the apparatus function of a Fabry-Perot spectrometer when continuous background is present".

MORENO, J.M.; QUINTANILLA, M.; MAR, S. (1978) 28 pp. 5 figs. 5 refs.

A deconvolution method of registered profile on a Fabry-Perot spectrometer is developed, when the actual profile of the source is a Voigt pattern together with a continuous background. The reliability and accuracy of the method is tested with theoretically simulated profiles.

This method is applied both to measure the real line profiles and to find the Fabry-Perot parameters, as a test of its validity on studies of experimental profiles. Both measure types -source profile and apparatus function- are made simultaneously by means of analysis of the variations of registered profile, at 6438.5 Å Cd line and 6328 Å He-Ne laser line, varying the optical path between interferometer mirrors.

J. E. N. 380

Junta de Energía Nuclear. Departamento de Tecnología de Reactores, Madrid.

"Simultaneous measure of a spectral line profile and the apparatus function of a Fabry-Perot spectrometer when continuous background is present".

MORENO, J.M.; QUINTANILLA, M.; MAR, S. (1978) 28 pp. 5 figs. 5 refs.

A deconvolution method of registered profile on a Fabry-Perot spectrometer is developed, when the actual profile of the source is a Voigt pattern together with a continuous background. The reliability and accuracy of the method is tested with theoretically simulated profiles.

This method is applied both to measure the real line profiles and to find the Fabry-Perot parameters, as a test of its validity on studies of experimental profiles. Both measure types -source profile and apparatus function- are made simultaneously by means of analysis of the variations of registered profile, at 6438.5 Å Cd line and 6328 Å He-Ne laser line, varying the optical path between interferometer mirrors.

J. E. N. 380

Junta de Energía Nuclear. Departamento de Tecnología de Reactores.

"Simultaneous measure of a spectral line profile and the apparatus function of a Fabry-Perot spectrometer when continuous background is present".

MORENO, J.M.; QUINTANILLA, M.; MAR, S. (1978) 28 pp. 5 figs. 5 refs.

A deconvolution method of registered profile on a Fabry-Perot spectrometer is developed, when the actual profile of the source is a Voigt pattern together with a continuous background. The reliability and accuracy of the method is tested with theoretically simulated profiles.

This method is applied both to measure the real line profiles and to find the Fabry-Perot parameters, as a test of its validity on studies of experimental profiles. Both measure types -source profile and apparatus function- are made simultaneously by means of analysis of the variations of registered profile, at 6438.5 Å Cd line and 6328 Å He-Ne laser line, varying the optical path between interferometer mirrors.

J. E. N. 380

Junta de Energía Nuclear. Departamento de Tecnología de Reactores.

"Simultaneous measure of a spectral line profile and the apparatus function of a Fabry-Perot spectrometer when continuous background is present".

MORENO, J.M.; QUINTANILLA, M.; MAR, S. (1978) 28 pp. 5 figs. 5 refs.

A deconvolution method of registered profile on a Fabry-Perot spectrometer is developed, when the actual profile of the source is a Voigt pattern together with a continuous background. The reliability and accuracy of the method is tested with theoretically simulated profiles.

This method is applied both to measure the real line profiles and to find the Fabry-Perot parameters, as a test of its validity on studies of experimental profiles. Both measure types -source profile and apparatus function- are made simultaneously by means of analysis of the variations of registered profile, at 6438.5 Å Cd line and 6328 Å He-Ne laser line, varying the optical path between interferometer mirrors.

The given results make apparent the accuracy of this method.

INIS CLASSIFICATIONS AND DESCRIPTORS: A12. Optical spectrometers. Spatial resolution. Helium-neon lasers. Cadmium.

The given results make apparent the accuracy of this method.

INIS CLASSIFICATIONS AND DESCRIPTORS: A12. Optical spectrometers. Spatial resolution. Helium-neon lasers. Cadmium.

The given results make apparent the accuracy of this method.

INIS CLASSIFICATIONS AND DESCRIPTORS: A12. Optical spectrometers. Spatial resolution. Helium-neon lasers. Cadmium.

The given results make apparent the accuracy of this method.

INIS CLASSIFICATIONS AND DESCRIPTORS: A12. Optical spectrometers. Spatial resolution. Helium-neon lasers. Cadmium.