

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: **84400846.6**

51 Int. Cl.³: **H 01 J 49/30**

22 Date de dépôt: **26.04.84**

30 Priorité: **03.05.83 FR 8307360**

71 Demandeur: **CAMECA, 103, Boulevard Saint-Denis, F-92400 Courbevoie (FR)**

43 Date de publication de la demande: **07.11.84**
Bulletin 84/45

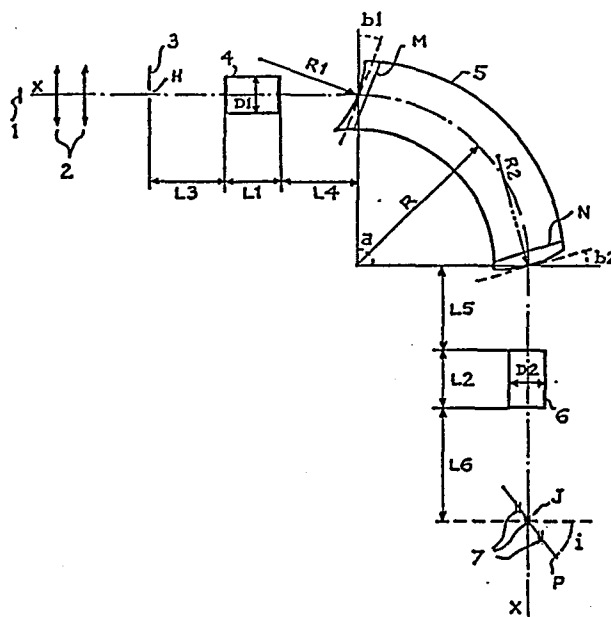
72 Inventeur: **Rasser, Bernard, THOMSON-CSF SCPI 173, bld Haussmann, F-75379 Paris Cedex 08 (FR)**

84 Etats contractants désignés: **DE FR GB**

74 Mandataire: **Courtellemont, Alain et al, THOMSON-CSF SCPI 173, Bld Haussmann, F-75379 Paris Cedex 08 (FR)**

54 **Spectromètre de masse à grande luminosité.**

57 Spectromètre de masse dans lequel sont corrigées à la fois les aberrations d'ouverture dans le plan radial et l'inclinaison du plan image (P). La correction provient du réglage simultané d'au moins trois paramètres: les rayons de courbure R_1 et R_2 des faces d'entrée et de sortie du secteur magnétique (5) du spectromètre et le coefficient de couplage, k , d'un sextupole (6) disposé entre le secteur magnétique et le plan image (P) du spectromètre; ceci revient lors de la mise au point à résoudre un système de trois équations (les aberrations d'ouverture pouvant être définies par deux coefficients A et B et l'angle d'inclinaison par un coefficient I) dans lequel les variables sont les trois paramètres R_1 , R_2 et k .



Spectromètre de masse à grande luminosité

La présente invention se rapporte aux spectromètres de masse, quel que soit leur type (à thermoionisation, à gaz, ...), et concerne plus particulièrement la luminosité du secteur magnétique et la possibilité de multicollection, c'est-à-dire la possibilité de placer simultanément plusieurs collecteurs d'analyse dans le plan image du spectromètre.

Pour un encombrement donné du secteur magnétique d'un spectromètre de masse, la luminosité du secteur magnétique est limitée, pour une résolution donnée, par les aberrations d'ouverture du secteur magnétique. Il est connu de réduire et même d'annuler ces aberrations d'ouverture par un choix convenable des rayons de courbure des faces d'entrée et de sortie du secteur magnétique, mais il en résulte généralement une augmentation de l'angle d'inclinaison du plan image par rapport à la normale à l'axe optique de sortie du secteur magnétique ; cet angle pouvant alors atteindre une valeur importante (80° et plus) une analyse en multicollection n'est plus possible car les différents collecteurs relatifs aux différentes masses, doivent être placés dans le plan image sans que les collecteurs les plus proches du secteur magnétique fassent écran devant ceux qui en sont les plus éloignés ; et, même quand c'est possible, des problèmes de rebonds d'électrons et d'électrons secondaires faussent l'analyse. Il est également connu d'employer des spectromètres comportant un sextupole d'entrée et un sextupole de sortie et d'annuler les aberrations d'ouverture en réglant l'excitation du sextupole d'entrée ou la courbure de la face d'entrée du secteur magnétique et la courbure de la face de sortie du secteur magnétique ou l'excitation du sextupole de sortie et en gardant fixes les deux autres paramètres ; dans de tels sextupoles il est également connu d'annuler l'angle d'inclinaison du plan image en modifiant les distances échantillon-secteur magnétique et secteur magnétique-plan image, mais ce réglage perturbe complètement un réglage qui aurait été fait pour annuler les aberrations d'ouverture et ces dernières peuvent être importantes au moment où l'inclinaison du plan image est réduite à zéro.

La présente invention a pour but d'éviter ces inconvénients et de permettre une analyse en multicollection dans un spectromètre de masse dont les aberrations d'ouverture sont corrigées dans le plan radial et dont le plan image est redressé normalement à l'axe optique de sortie.

Ceci est obtenu grâce à un spectromètre comportant au moins un sextupole entre son secteur magnétique et son plan image.

Selon l'invention, un spectromètre de masse comportant, en série sur son axe optique, un secteur magnétique, un sextupole de sortie, un plan image, est caractérisé en ce que le coefficient de couplage k du sextupole et les rayons de courbure, R_1 , R_2 , des faces d'entrée et de sortie du secteur magnétique ont des valeurs telles que, simultanément, les coefficients d'aberration A et B , relatifs aux décalages dans le plan radial, dus aux aberrations dans le plan radial et dans le plan axial, soient inférieurs à 1 en valeur absolue, et l'angle d'inclinaison du plan image soit inférieur à 10° en valeur absolue.

L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques apparaîtront à l'aide de la description ci-après et des figures s'y rapportant qui représentent :

- 15 - la figure 1, un spectromètre selon l'invention,
 - la figure 2, un schéma relatif aux aberrations dans un spectromètre,
 - la figure 3 une vue plus détaillée de l'un des éléments de la figure 1.
- 20 Sur les différentes figures les mêmes éléments sont désignés par les mêmes références.

La figure 1 est une vue schématique d'un spectromètre de masse à thermoionisation selon l'invention. Ce spectromètre comporte en série :

- 25 - un filament, 1, sur lequel est déposé l'échantillon à analyser,
 - une optique, dite de transfert, 2, schématisée par deux lentilles successives,
 - un écran à fente, 3, déterminant ce qui est communément appelé une fente-source, et dont le point central de la fente est repéré H,
 - 30 - un premier sextupole 4,
 - un secteur magnétique, 5, pour dévier les ions issus de la fente et provenant de l'échantillon,
 - un second sextupole, 6,
 - et un ensemble, 7, de trois collecteurs d'ions disposés dans le plan image P du spectromètre.
- 35

Sur la figure 1, il a été indiqué :

- l'axe optique XX du spectromètre, avec sa courbure, de rayon R et son angle de déviation α , dus au secteur magnétique 5,
- les longueurs L1 et L2 des sextupoles 4 et 6 ainsi que leurs diamètres D1, D2,
- la distance L3 entre la fente-source 3 et le sextupole 4,
- la distance L4 entre le sextupole 4 et la face d'entrée du secteur magnétique
- la distance L5 entre la face de sortie du secteur magnétique et le sextupole 6,
- la distance L6 entre le sextupole 6 et le plan image P,
- les rayons de courbure R1 et R2 et les angles d'inclinaison b_1 , b_2 des faces d'entrée et de sortie du secteur magnétique 5,
- l'angle d'inclinaison, i , du plan image P ainsi que le point J où l'axe optique XX coupe le plan image.

Le spectromètre selon la figure 1 se distingue des spectromètres classiques par la présence à la fois des courbures des faces d'entrée et de sortie du secteur magnétique et des deux sextupoles 4 et 6 dont les rôles vont être indiqués dans ce qui suit.

Dans un spectromètre de masse la sensibilité résulte, en particulier, de la luminosité du secteur magnétique. Or la luminosité est limitée principalement par les aberrations d'ouverture dans le plan radial, c'est-à-dire dans le plan de la figure 1.

La figure 2 est un schéma géométrique relatif aux aberrations d'ouverture dans un spectromètre. Le secteur magnétique de rayon R de la figure 1 donne, avec certains ions, du point H (point de l'axe optique situé au niveau de l'écran) une image située, dans le plan image, en J. Cette image est entâchée d'une aberration d'ouverture dont la largeur dans le plan radial est

$$R.A.\alpha^2 + R.B.\beta^2$$

le terme $R.A.\alpha^2$ correspond au fait qu'un rayon issu du point H, contenu dans le plan radial et faisant un angle α avec l'axe optique, ne passe pas par le point J après avoir traversé le secteur magnétique mais reste dans le plan radial et coupe l'axe Jy (Jy perpendiculaire à l'axe optique dans le plan radial) à une distance $R.A.\alpha^2$ de J ; quant au terme $R.B.\beta^2$ il

correspond au fait qu'un rayon issu du point H, contenu, à la sortie de la fente-source, dans le plan axial (plan, ou plus exactement surface courbe, perpendiculaire au plan radial, qu'il coupe selon l'axe optique) et faisant un angle β avec l'axe optique, n'est pas contenu, après le secteur magnétique, dans le plan axial : la projection, parallèlement à Jz , de l'intersection de ce rayon avec le plan Jyz coupe l'axe Jy à une distance $RB \beta^2$ de J.

Comme cela a été indiqué précédemment, en choisissant pour les faces d'entrée et de sortie du secteur magnétique 5 des rayons de courbure $R1$, $R2$ et des angles d'inclinaison convenables, il est connu d'annuler les aberrations d'ouverture en α^2 et β^2 mais cela peut conduire à une augmentation importante de l'angle i (figure 1) d'inclinaison du plan image P. Cela rend difficile, voire impossible, une analyse en multicollection.

Le spectromètre selon la figure 1 permet de corriger simultanément les aberrations d'ouverture définies par les coefficients A et B dont il a été question à l'occasion de la description de la figure 2, et l'angle d'inclinaison i du plan image P habituellement défini, dans la littérature spécialisée, par un coefficient I.

Ces deux aberrations et cette inclinaison peuvent, comme le prouve l'expérience, être corrigées par des champs de type sextupolaire. Du fait que trois coefficients, A, B, I, sont à corriger, trois degrés de liberté, au moins, et donc trois dispositifs sextupolaires sont nécessaires. Ces trois dispositifs peuvent être constitués par les courbures des faces d'entrée et de sortie du secteur magnétique et par un sextupole électrostatique ou magnétique (6, figure 1) qui doit être placé dans une zone où il y a dispersion du faisceau d'ions à analyser, c'est-à-dire après le secteur magnétique ; un sextupole supplémentaire (4, figure 1) peut également être disposé avant le secteur magnétique, de manière à donner un degré de liberté de plus et donc plus de souplesse lors de la mise au point du spectromètre. Il est également possible de prendre comme dispositifs sextupolaires les sextupoles 4 et 6 de la figure 1 ainsi que la courbure de la face de sortie du secteur magnétique et de prendre une face d'entrée plane ($R1$ infini) pour le secteur magnétique ; mais pour une fabrication industrielle il sera, en général, préférable de prendre, comme dispositifs

sextupolaires, les courbures des faces d'entrée et de sortie du secteur magnétique et un sextupole disposé après le secteur magnétique.

L'étude des coefficients A, B, I, relatifs à la figure 1, par la théorie des matrices de transfert du deuxième ordre, montre que ces

5 coefficients peuvent s'écrire :

$$A = A_0 + A_1 \cdot C_1 + A_2 \cdot C_2 + A_3 \cdot k_1 + A_4 \cdot k_2$$

$$B = B_0 - A_1 \cdot C_1 + B_2 \cdot C_2 - A_3 \cdot k_1 + B_4 \cdot k_2$$

$$I = I_0 + I_2 \cdot C_2 + I_4 \cdot k_2$$

10 où $C_1 = \frac{R_1}{R}$ et $C_2 = \frac{R_2}{R}$, où k_1 et k_2 sont les coefficients d'excitation des sextupoles (représentatifs des tensions d'excitation des sextupoles 4 et 6, avec $k = \frac{3}{2} \frac{1}{r^3} \frac{V_e}{V_0}$, où $r = \frac{R'}{R}$, $R' = \frac{D^2}{2}$ étant le rayon du cercle tangent intérieurement aux barreaux du sextupole, où $V_e = V$ = tension d'excitation du sextupole, où V_0 = charge des ions) et où $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, B_0,$
15 B_2, B_4, I_0, I_2, I_4 sont des coefficients dépendant des paramètres géométriques du spectromètre. Ces coefficients sont obtenus par décomposition de la matrice de transfert du deuxième ordre du système optique ainsi constitué ; cette matrice de transfert est celle qui est obtenue par multiplication des matrices de transfert des différents constituants (sec-
20 teur magnétique, sextupoles, espaces L3, L4, L5, L6 entre les éléments) ; ces matrices se trouvent dans la littérature spécialisée (par exemple : K.L. BROWN "A First- and Second-Order Matrix Theory for the Design of Beam Transport Systems and Charged Particle Spectrometers". Advances in Particle Physics, vol.1, pages 71-134, 1967).

25 Dans l'exemple décrit la solution du système de trois équations

$$A = 0$$

$$B = 0$$

$$I = 0 \text{ donnant } i = 0^\circ$$

a été recherchée sans le sextupole d'entrée, 4, en faisant varier C_1, C_2

30 et k_2 .

Avec un spectromètre présentant les caractéristiques géométriques ci-après (comparer avec la figure 1) :

$$L3 + L1 + L4 = 307,1 \text{ mm (sextupole 4 retiré)}$$

$$a = 90^\circ$$

$$b1 = 40^\circ$$

$$b2 = 22,5^\circ$$

$$R = 200 \text{ mm}$$

$$L5 = 160 \text{ mm}$$

$$5 \quad L2 = 40 \text{ mm}$$

$$D2 = 30 \text{ mm} = 2 R' \text{ (voir figure 3), soit } r = \frac{R'}{R} = \frac{15}{200} = 0,075$$

$$L6 = 495,6 \text{ mm,}$$

dans lequel l'entrefer du secteur magnétique 5 a une hauteur de 15 mm tandis que les six barreaux du sextupole 6 (voir figure 3) ont un diamètre
10 de 15 mm et dans lequel l'énergie cinétique des ions V_0 est de 4500 eV, le choix ci-après

$$R1 = 78,8 \text{ mm}$$

$$R2 = 70 \text{ mm}$$

$V = 11,29$ volts (V et $-V$: tensions d'excitation du sextupole 6 -
15 voir figure 3),

a donné

$$A = 0,17$$

$$B = -0,38$$

I tel que $i = 0^\circ$ (à la précision près des mesures qui était de $\pm 7^\circ$)

20 les valeurs de A et B sont relatives à un système de mesure où les angles sont exprimés en radians.

Il est à noter que, en pratique, des conditions de fonctionnement parfaitement satisfaisantes du spectromètre sont atteintes dès que A et B sont inférieures à 1 et que i est inférieur à 10° .

25 La tension optimale d'excitation du sextupole correspondant à l'annulation de A est comprise entre 11,4 et 11,5 volts ; l'ajustement optimal a été effectué en étudiant la forme des pics d'analyse. Dans ces conditions le coefficient B n'était pas tout à fait nul : $B = -0,3$; pour rendre B nul il aurait fallu reprendre le réglage des rayons de courbure des
30 faces d'entrée et de sortie du secteur magnétique mais cela n'a pas été nécessaire étant donné que la faible valeur de B conduit à des élargissements de raie négligeables, inférieurs à 10^{-2} mm pour $R = 200$ mm et $\beta = 10^{-2}$ radians.

Au sujet du réglage, pendant l'expérimentation, des rayons de
35 courbure $R1$ et $R2$, il est à noter qu'il s'est fait en utilisant des pièces

amovibles, localisées (voir figure 1) entre la face d'entrée concave du secteur magnétique et un plan M et entre un plan N et la face de sortie convexe du secteur magnétique. Quand aux autres caractéristiques géométriques du spectromètre et en particulier les angles b_1 et b_2 , elles ont
5 été choisies en fonction de l'expérience acquise antérieurement sur les spectromètres.

La figure 3 montre comment est réalisé le sextupole 6 dont il a été question dans la description de la figure 1. Ce sextupole comporte six barreaux métalliques, cylindriques, 60 à 65, régulièrement disposés autour
10 de l'axe optique XX, avec leur axe principal, non représenté, parallèle à l'axe optique ; les barreaux 60, 62, 64 sont réunis, par des entretoises métalliques situées au tiers de leur longueur, à une couronne métallique 66 portée au potentiel +V ; de même les barreaux 61, 63, 65 sont réunis, par des entretoises métalliques situées aux deux tiers de leur longueur, à
15 une couronne métallique 67 portée au potentiel -V. Les pièces isolantes qui réunissent les couronnes 66 et 67 pour faire du sextupole un ensemble rigide, n'ont pas été représentées afin de mieux faire apparaître la façon dont sont réunis, par deux groupes de trois, les barreaux 60-66.

La présente invention n'est pas limitée à l'exemple décrit ; elle
20 s'applique en particulier aussi bien à l'utilisation de sextupoles électrostatiques qu'à celle de sextupoles magnétiques ; elle s'applique également à l'utilisation de plusieurs sextupoles disposés derrière le secteur magnétique (entre le secteur magnétique et le plan image) et même à l'utilisation de plusieurs sextupoles disposés devant le secteur magnétique. Il est à
25 noter que les sextupoles amènent également, par leur forme et leur position sur l'axe optique XX, d'autres paramètres de réglage du spectromètre mais ce sont là des paramètres qu'il est bien plus difficile de modifier que les tensions d'excitation du sextupole.

La présente invention s'applique également à des spectromètres
30 de masse utilisant, en plus du secteur magnétique considéré dans la description ci-avant, un ou plusieurs secteurs électrostatiques et/ou magnétiques ; elle sert à corriger les aberrations d'ouverture et l'angle d'inclinaison du plan image.

REVENDICATIONS

1. Spectromètre de masse comportant, en série sur son axe optique, un secteur magnétique (5), un sextupole de sortie (6), un plan image (P), caractérisé en ce que le coefficient de couplage k du sextupole et les rayons de courbure, R_1 , R_2 , des faces d'entrée et de sortie du
5 secteur magnétique ont des valeurs telles que, simultanément, les coefficients d'aberration A et B , relatifs aux décalages dans le plan radial, dus aux aberrations dans le plan radial et dans le plan axial, soient inférieurs à 1 en valeur absolue, et l'angle d'inclinaison (i) du plan image soit inférieur à 10° en valeur absolue.
- 10 2. Spectromètre de masse comportant, en série sur son axe optique, un sextupole d'entrée (4), un secteur magnétique (5), un sextupole de sortie (6), un plan image (P), caractérisé en ce que les coefficients de couplage k_1 , k_2 des sextupoles d'entrée et de sortie et les rayons de courbure, R_1 , R_2 , des faces d'entrée et de sortie du secteur magnétique
15 ont des valeurs telles que, simultanément, les coefficients d'aberration A et B , relatifs aux décalages dans le plan radial du spectromètre, dus aux aberrations dans le plan radial et dans le plan axial du spectromètre, soient inférieurs à 1 en valeur absolue, et l'angle d'inclinaison (i) du plan image soit inférieur à 10° en valeur absolue.

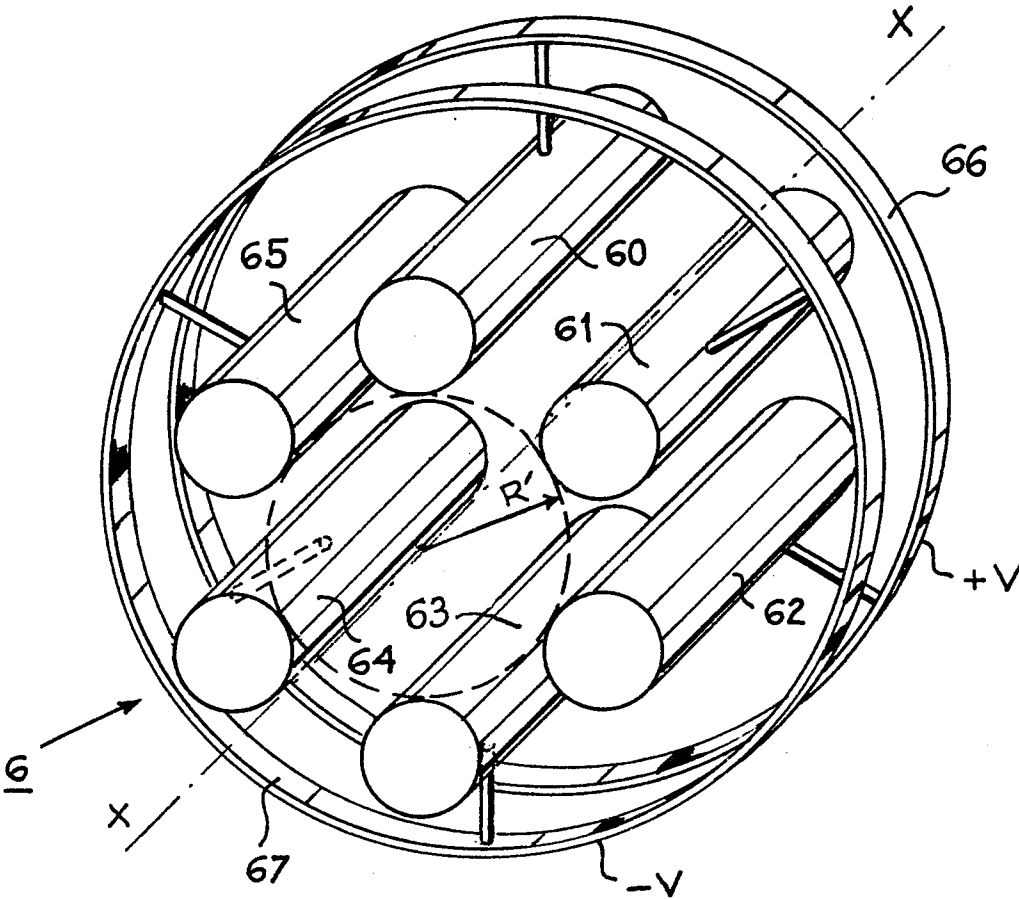


Fig.3



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

00124440

Numéro de la demande

EP 84 40 0846

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. ³)
X	OPTIK, vol. 51, no. 4, octobre 1978, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart (DE); N.W. PARKER et al.: "Design of magnetic spectrometers with second-order aberrations corrected. I: Theory", pages 333-351 * Résumé; page 334, lignes 9-15; page 337, lignes 6-8; figures 1,2 *	1,2	H 01 J 49/30
A	--- OPTIK, vol. 57, no. 2, novembre 1980, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart (DE); R.F. EGERTON: "Design of an aberration-corrected electron spectrometer for the TEM", pages 229-242 * Résumé; figure 1 * -----	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. ³) H 01 J
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 14-08-1984	Examineur GALANTI M.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant	