

⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑰ Numéro de dépôt: 84400707.0

⑤① Int. Cl.³: **H 01 J 49/30**
H 01 J 49/32

⑱ Date de dépôt: 10.04.84

⑳ Priorité: 19.04.83 FR 8306375

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

④③ Date de publication de la demande:
21.11.84 Bulletin 84/47

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

⑧④ Etats contractants désignés:
DE GB

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

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

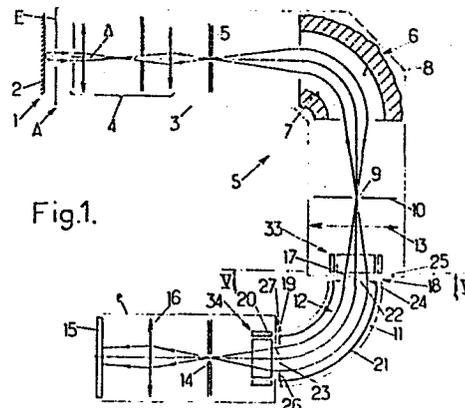
⑦② Inventeur: **Chaintreau, Marcel**
THOMSON-CSF SCPI 173, bld Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

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

⑤④ **Perfectionnements apportés aux spectromètres de masse.**

⑤⑦ Spectromètre de masse comportant une source d'ions (1), des moyens d'accélération (A) propres à communiquer aux ions une énergie dépendant essentiellement de leur charge électrique, des moyens (11) pour établir dans un secteur (12) un champ magnétique orthogonal au plan de la trajectoire des ions pour incurver cette trajectoire, et des moyens (15) pour détecter des ions. On prévoit à l'entrée (17) du secteur magnétique (12), des moyens électrostatiques (18) propres à modifier la vitesse tangentielle des ions, et donc leur énergie, d'une manière telle que des ions de masses différentes puissent, à des instants différents, suivre la même trajectoire incurvée dans le secteur magnétique (12).

Application, notamment, aux spectromètres de masse à double focalisation.



Perfectionnements apportés aux spectromètres de masse

La présente invention est relative à un spectromètre de masse comportant une source d'ions, des moyens d'accélération propres à communiquer aux ions une énergie dépendant essentiellement de leur charge électrique, des moyens pour établir dans un secteur un champ magnétique orthogonal au plan de la trajectoire des ions pour incurver
5 cette trajectoire, et des moyens pour détecter des ions.

En vue d'effectuer une mesure précise des rapports d'abondance isotopique, on peut effectuer un balayage en masse qui permet de passer fréquemment d'un isotope à l'autre ou d'un élément à l'autre si l'on veut
10 obtenir la valeur précise d'un rapport. Un tel balayage en masse serait superflu si le spectromètre était pourvu de sorties multiples autorisant la collection simultanée, sur des détecteurs séparés, de plusieurs espèces ioniques. Mais de tels spectromètres à sorties multiples sont en général conçus pour des applications particulières de sorte qu'il est souvent mal
15 aisé, voire impossible sans transformation de structure, de changer la nature des quelques éléments initialement prévus; ces spectromètres à sorties multiples sont en outre coûteux. Le balayage en masse reste, de ce fait, la solution la plus répandue et permet de travailler, à des instants différents, sur des isotopes de masses différentes, avec un balayage
20 suffisamment rapide dans le temps pour atténuer les dérives de la source d'ions.

L'invention a pour but, surtout, de fournir un spectromètre de masse dans lequel le balayage en masse puisse être effectué de manière précise et rapide.

25 Selon l'invention, un spectromètre de masse du genre défini précédemment est caractérisé par le fait qu'il comporte, à l'entrée du secteur magnétique, des moyens électrostatiques propres à modifier la vitesse tangentielle des ions, et donc leur énergie, d'une manière telle que des ions de masses différentes puissent, à des instants différents, suivre la
30 même trajectoire incurvée dans le secteur magnétique.

De préférence, le spectromètre comporte, à la sortie du secteur magnétique, des moyens électrostatiques propres à annuler la modifica-

tion de vitesse tangentielle introduite par les moyens électrostatiques situés à l'entrée du secteur magnétique. Autrement dit, si un ion a subi une accélération tangentielle positive à son entrée dans le secteur magnétique, il sera freiné à la sortie pour retrouver sa vitesse de base ;
5 inversement, si un ion a été freiné à l'entrée il sera accéléré à la sortie.

Généralement, les ions après avoir été accélérés par les moyens d'accélération et après avoir reçu une énergie déterminée, décrivent leur trajectoire, sous vide, dans une enceinte métallique portée au potentiel de la masse ; les moyens propres à modifier la vitesse tangentielle des ions
10 peuvent comprendre une enveloppe métallique à contour transversal fermé, ouverte à ses deux extrémités, et dont la ligne moyenne correspond à la trajectoire prévue pour les ions, cette enveloppe étant placée dans le champ magnétique et s'étendant de l'entrée du secteur magnétique à la sortie de ce secteur, et étant portée au même potentiel électrique
15 que des électrodes transversales situées à l'entrée de l'enveloppe et propres à créer un champ électrostatique d'accélération ou de freinage tangential, essentiellement parallèle à la direction de la vitesse des ions à l'entrée de cette enveloppe.

Cette enveloppe métallique isolée placée dans le champ électromagnétique, c'est-à-dire entre les pôles de l'électro-aimant, permet de
20 maintenir les pôles de l'aimant à la masse, sans qu'il en résulte une influence sur les ions dont l'énergie, modifiée à l'entrée du champ magnétique, reste constante dans ce champ.

Selon une autre possibilité, la tension électrique destinée à créer
25 le champ électrostatique d'accélération tangentielle, à l'entrée du secteur magnétique, pourrait être directement appliquée sur les pôles de l'aimant. La tension électrique destinée à créer une accélération tangentielle (positive ou négative) à l'entrée du secteur magnétique est de l'ordre de quelques centaines de volts, de telle sorte que la commande des variations
30 de cette tension peut s'effectuer de manière plus précise et plus rapide que pour une tension beaucoup plus élevée. Les incréments de tension peuvent n'atteindre que 15 millivolts, ce qui permet une grande précision du pointage d'une raie.

L'invention s'applique avantageusement aux spectromètres de
35 masse à double focalisation.

L'invention consiste, mises à part les dispositions exposées ci-dessus, en certaines autres dispositions dont il sera plus explicitement question ci-après, à propos de modes de réalisation particuliers décrits avec référence aux dessins ci-annexés, mais qui ne sont nullement
5 limitatifs.

La figure 1, de ces dessins, est un schéma d'un spectromètre de masse, à double focalisation, conforme à l'invention, vu de dessus.

La figure 2 est un schéma d'une variante du spectromètre de la figure 1.

10 La figure 3 est une vue en plan d'une enveloppe métallique destinée à être placée dans le secteur magnétique et appartenant aux moyens propres à modifier la vitesse tangentielle des ions.

La figure 4 est une coupe suivant IV-IV, figure 3.

La figure 5, enfin, est une vue d'un quadrupôle suivant V-V,
15 figure 1.

Avant d'effectuer la description des dessins, il convient de procéder à quelques rappels permettant de mieux situer l'invention, dont l'objectif est de permettre la mesure précise des rapports d'abondance isotopique avec un spectromètre de masse et plus particulièrement avec
20 un spectromètre de masse du type analyseur ionique, généralement à double focalisation. Dans un analyseur ionique, les ions sont produits par un phénomène d'émission ionique secondaire c'est-à-dire qu'un échantillon de la matière à analyser est bombardé par des ions ; ce bombardement provoque l'éjection d'ions caractéristiques de la matière à analyser.
25 L'analyse effectuée par le spectromètre porte sur ces ions éjectés. Les ions ainsi éjectés présentent une assez grande dispersion d'énergie au départ de la cible (formée par la matière à analyser) ; cette dispersion d'énergie est nettement supérieure à celle qui existe lorsque les ions sont émis par effet thermo-ionique. En outre, le phénomène d'émission ionique
30 secondaire produit tout à la fois des ions polyatomiques et des ions simples qui peuvent avoir des masses voisines. Par exemple, le magnésium possède trois isotopes ^{24}Mg , ^{25}Mg , ^{26}Mg ; les conditions de vide, de bombardement ou la nature même de l'échantillon font qu'il existe souvent des ions du type MgH^+ qui se superposent aux ions du type Mg^+ . Ainsi, au
35 nombre de masse 25, on trouvera des ions $^{25}\text{Mg}^+$, $(^{24}\text{MgH})^+$; les seconds

(ions polyatomiques) sont en général beaucoup plus faibles mais leur intensité peut être suffisamment élevée pour gêner une mesure précise des rapports d'abondance isotopique. Dans cet exemple, un pouvoir séparateur ($M/\Delta M$) de 3700 est suffisant pour distinguer les deux types d'ions. De
5 ce fait, on est généralement conduit à utiliser un spectromètre à double focalisation fonctionnant à haute résolution en masse pour rassembler en une seule et même "raie" les ions de même masse quel que soit l'angle (petit) avec lequel ils émergent de la source et quelle que soit l'énergie exacte qu'ils possèdent autour de la valeur moyenne à laquelle ils ont été
10 nominalement accélérés.

Les dérives de la source d'ions rendent nécessaires un balayage en masse qui permet de passer fréquemment d'un isotope à l'autre ou d'un élément à l'autre si l'on veut obtenir la valeur précise d'un rapport.

L'invention se propose précisément, d'améliorer ce balayage en
15 masse.

En se reportant à la figure 1, on peut voir le schéma d'un spectromètre de masse S à double focalisation servant d'analyseur ionique.

Ce spectromètre comporte une source d'ions I fonctionnant suivant le phénomène d'émission ionique secondaire. Cette source I
20 comprend une cible 2 formée par un échantillon de la matière à analyser, qui est bombardée par des ions provenant d'une source non représentée. L'ensemble du spectromètre de masse se trouve dans une enceinte fermée, non représentée, dans laquelle un vide suffisant a été établi.

Des moyens d'accélération A sont propres à communiquer aux ions
25 éjectés de la cible 2 une énergie dépendant essentiellement de leur charge électrique. Ces moyens A comprennent une électrode E située dans un plan perpendiculaire à la direction Δ du mouvement des ions. Cette électrode E est portée, par rapport à la cible 2 à un potentiel communiquant l'énergie souhaitée aux ions. Le champ électrostatique d'accélération entre l'électrode E et la cible 2 est parallèle à la trajectoire des ions.
30 L'électrode E peut être portée au potentiel de la masse, auquel cas la cible 2 est portée à un potentiel positif si l'on souhaite accélérer des ions positifs, ou à un potentiel négatif pour des ions négatifs. Le potentiel d'accélération est de l'ordre de plusieurs milliers de volts, par exemple de
35 l'ordre de 4000 volts. Les ions, après avoir été accélérés, circulent dans

une enceinte tubulaire métallique 3 portée au même potentiel que l'électrode E et servant de protection.

Le faisceau d'ions traverse une première optique électrostatique 4 et passe à travers un diaphragme d'entrée 5 puis pénètre dans un secteur électrostatique 6 entre deux parois incurvées 7 et 8 concentriques, portées à des potentiels différents de telle sorte que le champ électrostatique dans le secteur 6 soit orienté radialement. Ce secteur électrostatique produit une première focalisation des ions au niveau de l'ouverture 9 d'un second diaphragme 10. La direction de la trajectoire des ions, à la sortie du secteur électrostatique 6, a tourné d'un certain angle par rapport à sa direction d'entrée, cet angle étant de 90° dans l'exemple de la figure 1.

Des moyens, formés par un électro-aimant dont un pôle 11 est schématiquement représenté, sont prévus pour établir dans un secteur magnétique 12 un champ magnétique orthogonal au plan de la trajectoire des ions, c'est-à-dire orthogonal au plan de la figure 1, propre à incurver la trajectoire des ions. Une lentille électrostatique de couplage 13 est prévue entre le secteur électrostatique 6 et le secteur magnétique 12. Des fentes de sélection 14 sont prévues dans la zone de focalisation créée par le secteur magnétique 12. Des moyens de détection des ions comprennent un système de détection 15 situé en aval d'une lentille collectrice 16.

Avec un tel appareil, lorsque le champ magnétique dans le secteur 12, est réglé de façon à adresser exactement des isotopes ayant une masse \underline{M} déterminée au milieu de la fente 14 de sélection, les autres isotopes ayant même charge électrique mais ayant des masses différentes de \underline{M} vont tourner, dans le secteur 12, suivant des rayons différents. Les isotopes de masse inférieure à \underline{M} vont tourner suivant un rayon plus petit, tandis que les isotopes de masse supérieure à \underline{M} vont tourner suivant un rayon plus grand que celui associé à l'isotope de masse \underline{M} .

Selon l'invention, le spectromètre comporte, à l'entrée 17 du secteur magnétique 12 des moyens électrostatiques 18 propres à modifier la vitesse tangentielle des ions et donc leur énergie, d'une manière telle que des ions de masses différentes puissent, à des instants différents, suivre la même trajectoire incurvée dans le secteur magnétique 12.

En reprenant l'exemple du magnésium, on va supposer que le champ magnétique fixe, dans le secteur 12, est réglé de façon à adresser l'isotope ^{25}Mg au milieu de la fente 14. Si l'on veut adresser non plus l'isotope ^{25}Mg , mais l'isotope ^{24}Mg au milieu de la fente 14, conformément à l'invention, sans modifier le champ magnétique, on accélère positivement suivant la direction de leur trajectoire, les ions à leur entrée 17 dans le secteur 12 de telle sorte que l'isotope ^{24}Mg puisse tourner suivant la même trajectoire que celle suivie précédemment par l'isotope ^{25}Mg .

10 Si l'on veut adresser l'isotope ^{26}Mg au milieu de la fente 14, on fait subir aux ions, à l'entrée 17, une accélération négative, c'est-à-dire un freinage suivant la direction de leur trajectoire, de telle sorte que l'isotope ^{26}Mg suive la même trajectoire que celle suivie précédemment par l'isotope ^{25}Mg .

15 Des moyens électrostatiques 19 sont prévus à la sortie 20 du secteur 12 pour annuler la modification d'énergie introduite par les moyens 18. Autrement dit, si les moyens 18 ont accélérés positivement les ions à l'entrée, les moyens 19 exercent un freinage pour ramener ces ions à leur énergie initiale, et inversement, si les moyens 18 ont exercé un
20 freinage, les moyens 19 exercent une accélération.

Les moyens 18 comprennent une enveloppe métallique 21, notamment en cuivre recouvert d'or, à contour transversal fermé (voir figure 4), ouverte à ses deux extrémités 22, 23, et dont la ligne moyenne correspond à la trajectoire prévue pour les ions dans le secteur 12. Cette enveloppe
25 21 est placée dans le champ magnétique et s'étend de l'entrée 17 à la sortie 20 du secteur 12. Cette enveloppe 21 est portée au même potentiel électrique que des électrodes ou plaques métalliques transversales 24, reliées à cette enveloppe, et situées à l'entrée 17 du secteur 12. Ces
30 plaques 24 sont situées en regard d'autres plaques transversales 25 de l'extrémité de l'enceinte tubulaire 3 et portées au même potentiel que cette enceinte 3, c'est-à-dire au potentiel de la masse ou potentiel 0. Les plaques 24 et 25 sont situées dans des plans orthogonaux à la direction moyenne de la trajectoire des ions au niveau de ces plaques et forment des électrodes dont l'axe est aligné sur celui du faisceau d'ions. Le champ
35 électrique entre ces plaques est orienté parallèlement à l'axe du faisceau.

Les moyens 19 comportent d'autres plaques transversales, ou électrodes, 26 prévues à l'extrémité 23 de l'enveloppe. Ces plaques 26 sont au même potentiel que l'enveloppe 21 et que les plaques 24. Des plaques 27, au potentiel de la masse, sont situées en face des plaques 26, les plans de ces plaques étant perpendiculaires à l'axe du faisceau d'ions sortant du secteur 12. Le champ électrique créé entre les plaques 26 et 27 exerce un effet contraire, mais de même amplitude, que celui produit par les plaques 24, 25.

Les plaques 27 sont solidaires d'un écran tubulaire métallique e qui se trouve au même potentiel que les plaques 27 et qui s'étend jusqu'au système de détection.

L'enveloppe métallique 21 protège les ions chargés électriquement, dans le secteur magnétique 12, contre les influences électrostatiques parasites extérieures. De ce fait, les pôles tels que 11 de l'électro-aimant peuvent se trouver au potentiel de la masse sans inconvénient.

Selon une autre solution, de mise en oeuvre moins pratique, les pôles tels que 11 de l'électro-aimant pourraient être portés au potentiel des plaques 24 et 26, auquel cas l'enveloppe métallique 21 pourrait être supprimée.

Pour réduire la formation de capacité parasite entre l'enveloppe 21 et les pôles 11 de l'électro-aimant, on donne à la section transversale 28 (figure 4) de cette enveloppe une forme aplatie, sensiblement en losange dont le grand axe est situé dans le plan médiateur du champ de l'entrefer, tandis que le petit axe est situé à mi-largeur de l'entrefer. Les bords latéraux 28a, 28b de l'enveloppe, qui sont écartés radialement de la trajectoire intéressante, se trouvent plus éloignés des pôles de l'électro-aimant que la partie centrale 28c de l'enveloppe 21 ; il en résulte une diminution de la capacité parasite qui limite le temps de commutation des tensions appliquées à l'enveloppe 21.

Cette enveloppe 21 comporte avantageusement, dans sa paroi, des redans 29 (figure 3) de telle sorte que des chicanes soient formées à l'intérieur de l'enveloppe 21 pour arrêter les ions dont les masses sont différentes de celle à laquelle on s'intéresse plus particulièrement.

Selon une variante représentée sur la figure 3, les pôles magnétiques 11a, et le secteur magnétique 12a ; peuvent avoir une forme

sensiblement en Y, constituée par deux arcs de cercle 30, 31, tournant leur convexité l'un vers l'autre, tangents à une extrémité et symétriques l'un de l'autre par rapport à la tangente. L'une des branches, formée par l'arc 30 situé sur la gauche de la représentation de la figure 3, sert au spectromètre de masse proprement dit, tandis que l'autre branche 31 est destinée à un appareil de visualisation combiné avec le spectromètre de masse. Dans ce cas, l'enveloppe 21 a, de préférence, une forme semblable à celle du secteur magnétique 12a et comporte deux branches en arc de cercle 30a, 31a, se raccordant à l'extrémité commune 32a. Seule la branche 30a intervenant dans la partie du spectromètre servant à l'analyseur ionique comporte les redans 29. La présence de la branche 31a permet d'éviter les phénomènes parasites, notamment des distorsions sur l'image observée dans cette partie de l'appareil.

Toujours pour éviter les effets parasites, notamment les effets de focalisation susceptibles d'être introduits par les moyens électrostatiques 18, 19, on donne aux plaques 24 et 25 d'une part et 26, 27 d'autre part, une forme permettant d'éviter ou de réduire ces effets de focalisation parasites.

Les propriétés optiques des espaces d'accélération et de freinage (au niveau des moyens 18 et 19) peuvent être prises en compte ainsi que leurs effets délétères sur la double focalisation. De petits "multipôles" et en particulier des "quadrupôles" 33, 34, convenablement placés à l'entrée et/ou à la sortie du secteur magnétique permettent de corriger ces effets parasites. Des tensions de quelques volts sont suffisantes de sorte qu'il n'y a aucune difficulté à programmer l'application quasi-simultanée de la tension sur l'enveloppe 21 et des tensions sur les quadrupôles 33, 34. Le quadrupôle 33 est formé par quatre plaques métalliques rectangulaires disposées suivant les faces d'un parallélépipède rectangle (voir figure 5); les plaques opposées deux à deux sont portées au même potentiel; les plaques voisines situées dans des plans orthogonaux sont donc à des potentiels différents.

Grâce à l'invention, on peut passer en quelques millisecondes d'un isotope à l'autre et conserver des raies pratiquement aussi fines, exactement situées au milieu de la fente de sélection 14. La relation fondamentale entre les masses atomiques M_1 , M_2 , M_3 ... des éléments considérés

et les différences de potentiel $V_1, V_2, V_3 \dots$ d'accélération des ions pendant leur passage dans le champ magnétique est la suivante :

$$M_1 V_1 = M_2 V_2 = M_3 V_3 \dots$$

Si V_0 est la valeur nominale de la différence de potentiel d'accélération au niveau de la source 1 et v_1, v_2, v_3 les tensions additionnelles appliquées sur l'enveloppe 21 on a :

$$M_1 (V_0 + v_1) = M_2 (V_0 + v_2) = M_3 (V_0 + v_3) = \dots$$

Il n'y a pas de difficultés à effectuer les mesures dans un domaine d'écart de masse ΔM tel que $\Delta M/M$ sensiblement égal à $\pm 1/10$. Pour V_0 de l'ordre de 4000 volts, il suffit de faire varier la tension additionnelle de plus ou moins 400 volts.

Ainsi tous les rapports isotopiques sont accessibles à partir du lithium (y compris le lithium).

On peut encore noter plusieurs points importants.

Il n'est pas nécessaire que la valeur fixe du champ magnétique soit exactement réglée pour qu'un isotope particulier passe au milieu des fentes 14 ; ce réglage peut être effectué directement au moyen de la tension "v" appliquée à l'enveloppe métallique 21. La précision du pointage d'une raie dépasse largement la résolution en masse ; en effet, un $\Delta M/M$ de 10^{-5} est détectable. Cette précision peut être utilisée pour déterminer exactement la nature d'un ion polyatomique ; elle peut aussi être mise à profit pour adresser les raies au milieu de la fente de sélection 14 ; on peut alors donner à cette dernière la largeur optimale compatible avec l'élimination de l'ion interférant et avec une mesure précise de l'intensité de la raie car les risques de coupure par les lèvres de la fente sont alors minimisés.

Enfin, si dans la suite du montage la mesure des intensités se fait par comptage avec un multiplicateur (ce qui semble inévitable vu la fréquence de commutation), il faut s'assurer que les faisceaux commutés frappent toujours au même endroit de la dynode où s'effectue la conversion ions-électrons. Si cela n'était pas le cas, il faudrait placer des correcteurs excités ou synchronisés avec la commutation.

La figure 2 montre une variante de réalisation selon laquelle le secteur magnétique 12 est situé en amont du secteur électrostatique 6. Les mêmes références numériques que celles de la figure 1 sont utilisées, sur la figure 2, pour désigner des éléments identiques ou semblables.

REVENDEICATIONS

1. Spectromètre de masse comportant une source d'ions, des moyens d'accélération propres à communiquer aux ions une énergie dépendant essentiellement de leur charge électrique, un électro-aimant pour établir dans un secteur un champ magnétique orthogonal au plan de la trajectoire des ions pour incurver cette trajectoire, et des moyens pour
5 détecter des ions, caractérisé en ce qu'il comporte à l'entrée (17) du secteur magnétique (12), des moyens électrostatiques (18) propres à modifier la vitesse tangentielle des ions, et donc leur énergie, d'une manière telle que des ions de masses différentes puissent, à des instants
10 différents, suivre la même trajectoire incurvée dans le secteur magnétique (12).

2. Spectromètre selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte à la sortie (20) du secteur magnétique (12), des moyens électrostatiques (19) propres à annuler la modification de vitesse tangentielle introduite par les moyens électrostatiques (18) situés à l'entrée du
15 secteur magnétique (12).

3. Spectromètre selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les ions décrivent leur trajectoire dans une enceinte métallique portée au potentiel de la masse, caractérisé en ce que les moyens propres à modifier la
20 vitesse tangentielle des ions comprennent une enveloppe métallique (21) à contour transversal (20) fermé, ouverte à ses deux extrémités (22, 23), cette enveloppe étant placée dans le champ magnétique et s'étendant de l'entrée (17) du secteur magnétique à la sortie (20) de ce secteur et étant portée au même potentiel électrique que des plaques transversales (24)
25 situées à l'entrée de l'enveloppe et propres à créer un champ électrostatique d'accélération ou de freinage tangentiel, essentiellement parallèle à la direction de la vitesse des ions à l'entrée de cette enveloppe.

4. Spectromètre selon la revendication 3, caractérisé en ce que la section transversale (28) de l'enveloppe a une forme aplatie, sensiblement
30 en losange, dont le grand axe est situé dans le plan médiateur du champ de l'entrefer, tandis que le petit axe est situé à mi-largeur de l'entrefer.

5. Spectromètre selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que l'enveloppe (21) comporte, dans sa paroi, des redans (29) de telle sorte

qu'une chicane soit formée à l'intérieur de cette enveloppe pour arrêter les ions de masses différentes de celle à laquelle on s'intéresse.

5 6. Spectromètre selon la revendication 3 ou selon l'ensemble de la revendication 3 et de l'une quelconque des revendications 3 à 5 dans lequel le secteur magnétique a une forme sensiblement en Y, constituée par deux arcs de cercle tournant leur convexité l'un vers l'autre, caractérisé en ce que l'enveloppe (21) a une forme semblable à celle du secteur magnétique (12a) et comporte deux branches en arc de cercle (30a, 31a) se raccordant à l'extrémité commune (32a).

10 7. Spectromètre selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte des multipôles, en particulier des quadrupôles (33, 34), placés à l'entrée et/ou à la sortie du secteur magnétique (12) pour la correction d'effets parasites des espaces d'accélération et de freinage.

15 8. Spectromètre selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens électrostatiques propres à modifier la vitesse tangentielle des ions sont formés par une tension électrique directement appliquée sur les pôles (11) de l'électro-aimant, et destinée à créer un champ électrostatique d'accélération tangentielle.

20 9. Spectromètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens électrostatiques propres à modifier la vitesse tangentielle des ions à l'entrée du secteur magnétique sont alimentés par une tension électrique de l'ordre de quelques centaines de volts, les incréments de tension pouvant n'atteindre que 15 millivolts.

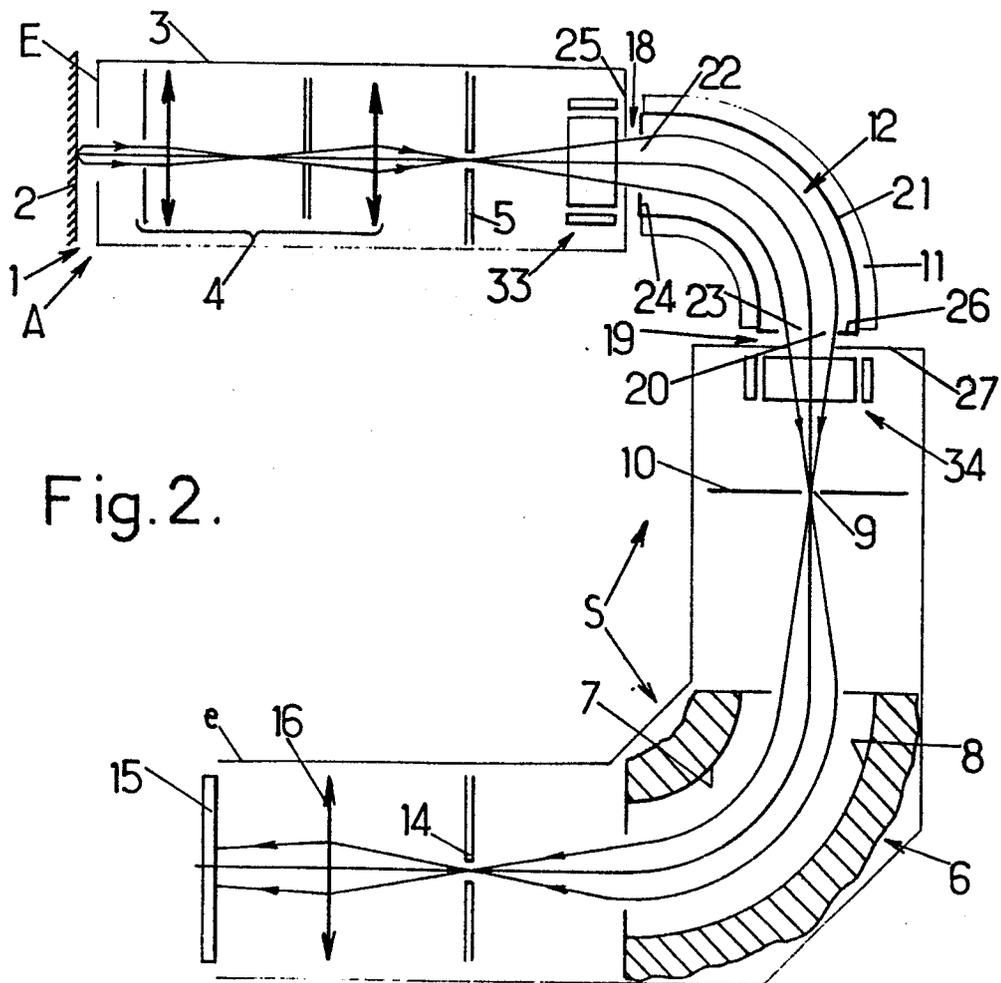
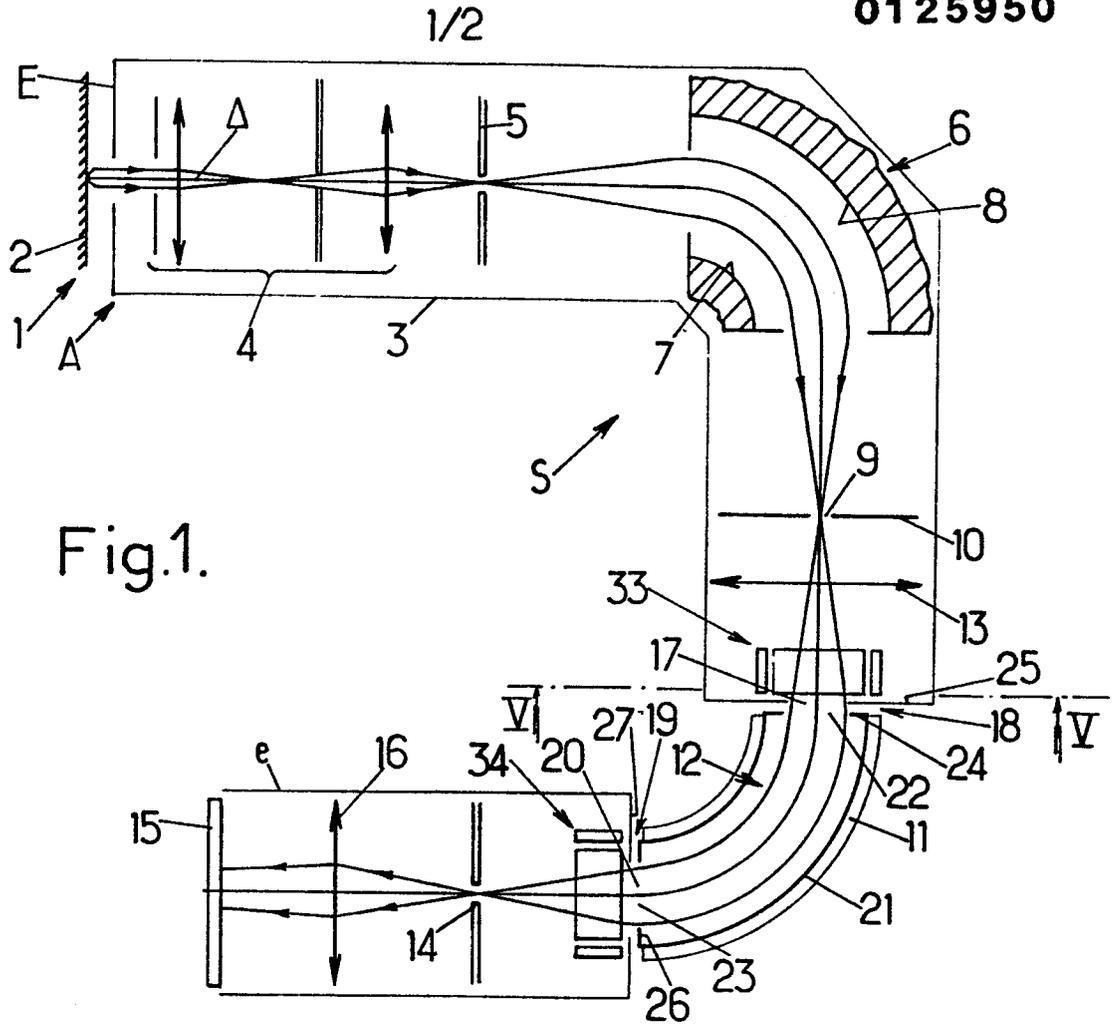


Fig. 3.

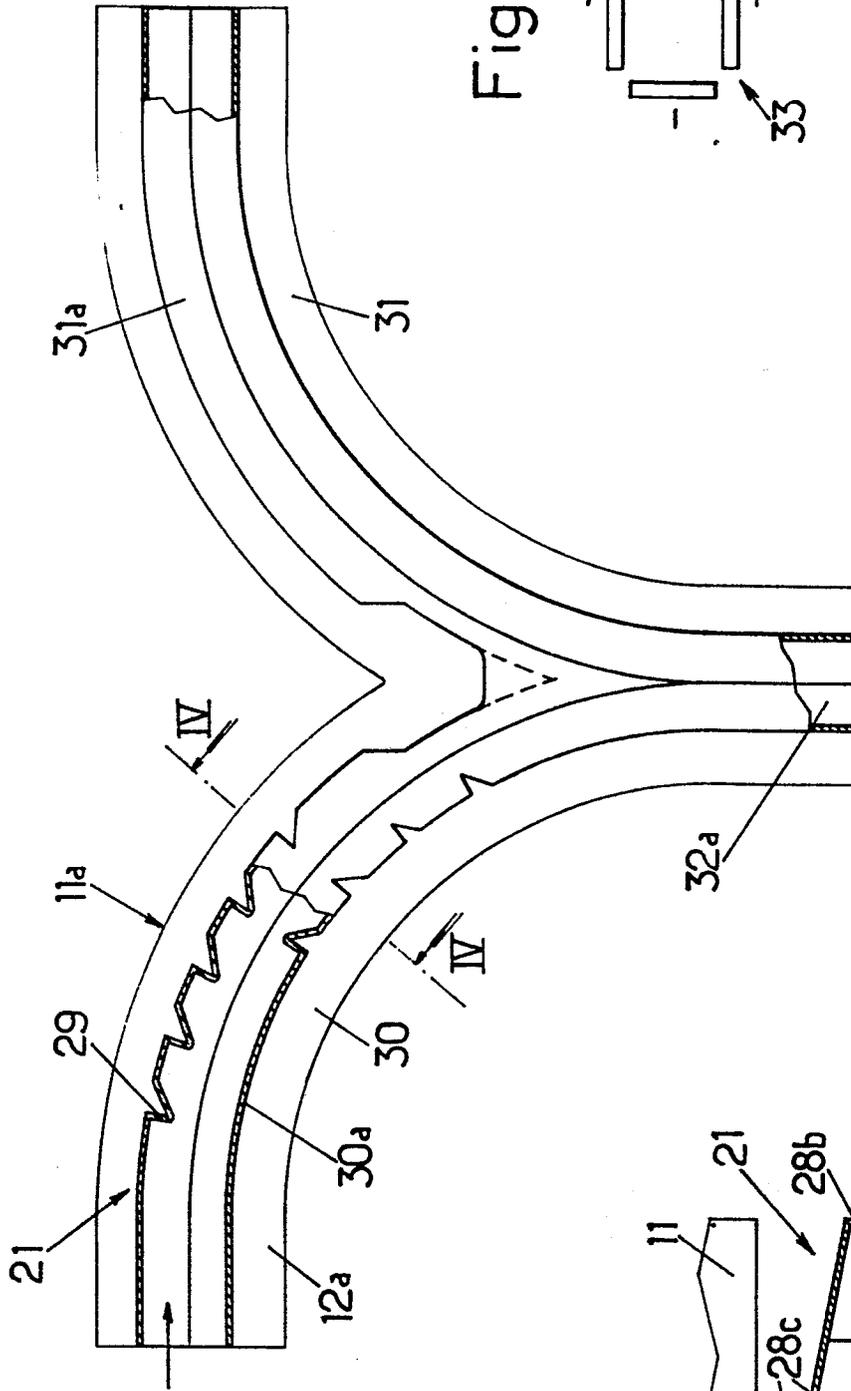


Fig. 4.

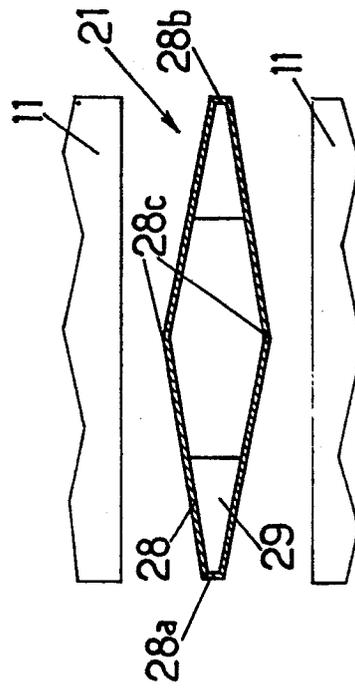


Fig. 5

