

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2012/004225 A1

(43) Date de la publication internationale
12 janvier 2012 (12.01.2012)

PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
H05H 7/04 (2006.01) H05H 13/00 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP201 1/061238
- (22) Date de dépôt international :
4 juillet 2011 (04.07.2011)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
BE201000415 9 juillet 2010 (09.07.2010) BE
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **Ion Beam Applications S.A.** [BE/BE]; Chemin du Cyclotron 3, B-1348 Louvain-la-neuve (BE).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **KLEEVEN, Willem** [NL/BE]; Zavelsfraat 17, B-3212 Pellenberg (BE).
- (74) Mandataire : **PRNOVEM - OFFICE VAN MALDEREN**; Ave Josse Goffm 158, B-1082 Brussels (BE).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : CYCLOTRON COMPRISING A MEANS FOR MODIFYING THE MAGNETIC FIELD PROFILE AND ASSOCIATED METHOD

(54) Titre : CYCLOTRON COMPRENANT UN MOYEN DE MODIFICATION DU PROFIL DE CHAMP MAGNÉTIQUE ET PROCÉDÉ ASSOCIÉ

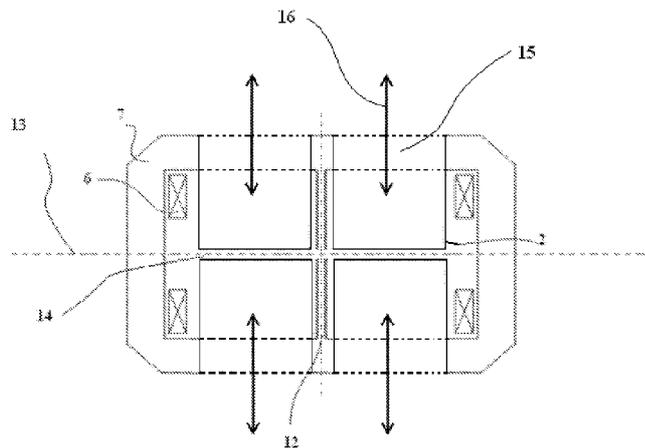


Fig. 2

(57) Abstract : The present invention relates to a cyclotron able to produce a first beam of accelerated charged particles defined by a first "charge to mass" ratio (q/m) or a second beam of accelerated charged particles defined by a second "charge to mass" ratio (q/m) lower than said first "charge to mass" ratio (q/m), said cyclotron comprising: an electromagnet comprising two poles, preferably an upper pôle and a lower pôle, placed symmetrically with respect to a median plane perpendicular to the central axis of the cyclotron, which poles are separated by a gap provided for the flow of charged particles, each of said poles comprising several sectors placed so as to have in alternation narrow-gap zones called "hills" and wide-gap zones called "valleys"; a main inductor coil used to create an essentially constant main inductive field in the gap between said poles; and means for modifying the magnetic field profile according to the "charge to mass" ratio of the particles to be accelerated, comprising a ferromagnetic part present in one of said valleys and extending radially from a region near the centre towards the periphery of the cyclotron, said ferromagnetic part forming a magnetic circuit with the bottom of said valley, so as to create an additional magnetic field strong enough to

[Suite sur la page suivante]



WO 2012/004225 A1



SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, **Publiée :**
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

accelerate particles of said first beam having said first charge-to-mass ratio (q/m), characterized in that: a secondary inductor coil is placed around said ferromagnetic part so that it can induce a magnetic field s' opposing the magnetic field induced in said ferromagnetic part by said main induction coil and reduce the contribution of the additional magnetic field provided by said ferromagnetic part, so as to accelerate particles of said second beam having said second charge-to-mass ratio (q/m)'.

(57) Abrégé : La présente invention se rapporte à un cyclotron apte à produire un premier faisceau de particules chargées accélérées définies par un premier rapport « charge sur masse » (q/m) ou un deuxième faisceau de particules chargées accélérées définies par un deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) ' inférieur audit premier rapport « charge sur masse » (q/m), ledit cyclotron comprenant : un électroaimant comprenant deux pôles, de préférence un pôle supérieur et un pôle inférieur, disposés de manière symétrique par rapport à un plan médian perpendiculaire à l'axe central du cyclotron et séparés par un entrefer prévu pour la circulation des particules chargées, chacun desdits pôles comprenant plusieurs secteurs disposés de manière à avoir une alternance de zones à entrefer étroit appelées « collines » et de zones à entrefer large appelées « vallées »; une bobine d' induction principale pour créer un champ d' induction principal essentiellement constant dans l'entrefer entre lesdits pôles et un moyen de modification du profil de champ magnétique selon le rapport « charge sur masse » des particules à accélérer comprenant une pièce ferromagnétique présente dans une desdites vallées et s' étendant radialement d'une région proche du centre vers la périphérie du cyclotron, ladite pièce ferromagnétique formant un circuit magnétique avec le fond de ladite vallée, de façon à créer un champ magnétique additionnel suffisamment important pour l'accélération de particules dudit premier faisceau ayant ledit premier rapport charge sur masse (q/m); caractérisé par : une bobine d' induction secondaire disposée autour de ladite pièce ferromagnétique de façon à pouvoir induire un champ magnétique s' opposant au champ magnétique induit dans ladite pièce ferromagnétique par ladite bobine d' induction principale et diminuer la contribution de champ magnétique additionnel fournie par ladite pièce ferromagnétique pour l'accélération de particules dudit deuxième faisceau ayant ledit deuxième rapport charge sur masse (q/m) '.

**CYCLOTRON COMPRENANT UN MOYEN DE MODIFICATION
DU PROFIL DE CHAMP MAGNÉTIQUE ET PROCÉDÉ ASSOCIÉ**

5 **OBJET DE L'INVENTION**

[0001] La présente invention se rapporte à un cyclotron et à un procédé de modification du profil de champ magnétique dans le cyclotron en fonction du rapport « charge sur masse » d'une particule à accélérer .

10

ARRIÈRE -PLAN TECHNOLOGIQUE ET ÉTAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Les cyclotrons sont des accélérateurs circulaires permettant d'accélérer des particules chargées telles que des ions positifs (protons, deutons, hélions, particules alpha, etc.) ou des ions négatifs (H-, D-, etc.), qui sont utilisées entre autres pour la production d'isotopes radioactifs, pour la radiothérapie, ou à des fins expérimentales. Un cyclotron de type isochrone comprend généralement :

15

20

- un électroaimant comprenant un pôle supérieur et un pôle inférieur, disposés de manière symétrique par rapport à un plan médian, perpendiculaire à l'axe central du cyclotron, et séparés par un entrefer prévu pour la circulation des particules chargées, chacun des dits pôles comprenant plusieurs secteurs disposés de manière à avoir une alternance de zones à entrefer étroit couramment appelées « collines » et de zones à entrefer large couramment appelées « vallées » ;
- 30 - des retours de flux pour fermer ledit circuit magnétique ;

25

- une bobine d'induction principale pour créer un champ d'induction principal essentiellement constant dans l'entrefer entre lesdits pôles.

[0003] Un exemple de cyclotron de type isochrone est décrit dans le document BE1009669. Dans un cyclotron isochrone, le profil du champ magnétique doit être tel que la fréquence de rotation des particules soit constante et indépendante de leur énergie. Pour compenser l'accroissement de masse relativiste des particules le champ magnétique moyen doit augmenter avec le rayon pour assurer cette condition d'isochronisme. Pour décrire cette relation, on définit l'indice de champ par la relation suivante (1) :

$$n = \frac{R}{B} \frac{dB}{dR} \quad (1)$$

où dB/B et dR/R sont respectivement les variations relatives du champ magnétique B et du rayon au rayon R . L'augmentation de l'intensité du champ magnétique s'effectue suivant une loi donnée par l'équation (2) :

$$B(R) = B_0 \sqrt{1 - (qB_0 R / m_{ic})^2} \quad (2)$$

où

$B(R)$ est le champ magnétique moyen autour d'un cercle de rayon R ;

B_0 , le champ magnétique au centre du cyclotron ;

q , la charge de la particule ;

m_i , la masse au repos ;

et c , la vitesse de la lumière.

Dans la suite du texte, m_i sera considérée en première approximation comme la masse de la particule m donnée par le produit du nombre de masse A par la masse des nucléons m_N .

[0004] Dans certains cyclotrons isochrones, les secteurs sont usinés de manière à accélérer un type de particule de rapport « charge sur masse » q/m bien précis. Par exemple un cyclotron dont les secteurs sont usinés pour accélérer des particules de rapport « charge sur masse » $q/m = \frac{1}{2}$ peut accélérer des particules alpha, des deutons D^+ , des HH^+ , ${}^6Li^{3+}$, ${}^{10}B^{5+}$ ou ${}^{12}C^{6+}$ ou d'autres particules du même rapport $q/m = \frac{1}{2}$. L'accélération d'un autre type de particules de rapport $q/m = 1$ requiert l'usage d'un autre cyclotron dont les secteurs sont usinés pour l'accélération de ce type de particules .

[0005] Il est néanmoins possible dans un cyclotron isochrone de passer d'un premier profil de champ magnétique permettant d'accélérer un premier type de particules à un deuxième profil de champ magnétique pour accélérer un deuxième type de particules, où grâce à des bobines annulaires concentriques de correction de champ magnétique disposées à la surface des pôles selon une répartition bien précise, chacune desdites bobines concentriques étant reliée à un générateur de courant spécifique afin d'induire le champ magnétique additionnel nécessaire. Un exemple d'un tel dispositif sont décrits dans le document US 3,789,355. Néanmoins, le nombre de bobines chacune reliée à un générateur de courant spécifique, la répartition de ces bobines et le courant à appliquer dans chaque bobine pour obtenir le champ magnétique désiré compliquent la réalisation et l'utilisation de ce genre de cyclotrons.

[0006] D'autres cyclotrons, comme le Cyclone 18/9 d'IBA, ont été conçus de manière à pouvoir accélérer différents types d'ions caractérisés par leur rapport «

charge sur masse » q/m différent. Le cyclone 18/9 peut accélérer des protons ($q/m = 1$) à une énergie de 18MeV et des deutons ($q/m = 1/2$) à une énergie de 9MeV. Le profil de champ magnétique isochrone doit être adapté

5 selon le type de particules à accélérer. La figure 1 montre les profils de champs magnétiques moyens $\langle B \rangle$ en fonction du rayon moyen $\langle R \rangle$ de la particule dans le cyclotron pour l'accélération de particules de rapport q/m égal à 1 et de particules de rapport « charge sur

10 masse » q/m égal à $\frac{1}{2}$. En vertu de l'équation (2), pour un même rayon moyen de la particule dans le cyclotron, le champ magnétique moyen doit être plus important pour l'accélération de protons que pour l'accélération de deutons. Dans le cas des Cyclone 18/9 et Cyclone 30/15

15 d'IBA, un moyen mécanique supporte des plaques ferromagnétiques qui s'étendent, dans deux vallées opposées, d'une zone proche du centre du cyclotron vers la périphérie du cyclotron. Pour l'accélération de protons, ledit moyen mécanique positionne lesdites

20 plaques ferromagnétiques à proximité du plan médian du cyclotron afin de fournir un champ additionnel permettant d'obtenir le profil de champ magnétique isochrone requis. Pour l'accélération de deutons nécessitant un profil de champ magnétique moyen

25 différent en fonction du rayon moyen, lesdites plaques ferromagnétiques sont éloignés par rapport au plan médian de manière à diminuer ou supprimer l'intensité du champ magnétique additionnel et à obtenir le profil de champ magnétique isochrone requis pour

30 l'accélération de deutons.

[0007] Dans le cas des cyclotrons de basse énergie, les corrections à effectuer sur le champ magnétique

pour passer d'un profil de champ magnétique destiné à l'accélération de particules de rapport $q/m = \frac{1}{2}$ à un profil de champ magnétique destiné à l'accélération de particules de rapport $q/m = 1$ ne nécessitent pas l'application d'un champ magnétique additionnel trop important. On considère en première approximation, que pour l'accélération de protons, le profil du champ magnétique moyen en fonction du rayon moyen varie en augmentant d'environ 1% par « pas » de 10 MeV. Le profil du champ magnétique moyen en fonction du rayon moyen augmente d'environ 0.5% par pas de 10 MeV pour le cas des deutons. Par exemple, pour un cyclotron 10/5 capable d'accélérer des protons à une énergie de 10MeV et des deutons à une énergie de 5 MeV, la variation du champ magnétique moyen du centre du cyclotron à l'extrémité des pôles est de 1% pour le proton et de 0.25% pour le deuton. Dans ce cas, lesdites plaques ferromagnétiques telles qu'employées dans les Cyclone 18/9 et Cyclone 30/15 suffisent à produire le champ magnétique additionnel nécessaire pour l'accélération de protons. Si l'on souhaite concevoir un cyclotron capable d'accélérer des protons à 70MeV et des deutons à 35 MeV, la variation du profil de champ magnétique moyen du centre du cyclotron vers l'extrémité des pôles devrait être d'environ 7% pour l'accélération de protons et de 1,75% pour l'accélération de deutons. Pour l'accélération de deutons, la variation du profil du champ magnétique moyen en fonction du rayon moyen ne nécessite qu'un usinage adéquat des secteurs, c'est-à-dire, un élargissement azimuthal des collines à proximité des extrémités des pôles. Si cette solution pour l'accélération des deutons pose peu de problèmes

au niveau de la réalisation, en revanche pour l'accélération de protons, lesdites plaques ferromagnétiques doivent pouvoir produire suffisamment de champ magnétique additionnel pour obtenir le profil
5 désiré de champ magnétique moyen en fonction du rayon moyen. Lesdites plaques ferromagnétiques ne permettent pas de produire un champ magnétique additionnel suffisamment important pour assurer l'isochronisme . D'autre part, le volume compris entre deux collines ne
10 permet pas un élargissement azimuthal desdites plaques ferromagnétiques dans le but de créer le champ magnétique additionnel.

[0008] Le document « Magnetic field design and calculation for the IBA C70 cyclotron » s. Zaremba et
15 al., Cyclotrons and their applications 2007, Eighteenth International Conférence, pages 75-77, décrit le développement d'un cyclotron isochrone nommé C70 ou Cyclone 70, capable d'accélérer 4 types de particules : des protons ($q/m = 1$) et des particules alpha ($q/m = 1/2$) à une énergie de 70MeV, ainsi que des deutons ($q/m = 1/2$) et des HH^+ ($q/m = 1/2$) à une énergie de 35 MeV. Ce document explique les différentes solutions qui ont été envisagées afin d'obtenir un cyclotron pouvant
20 fonctionner selon deux champs magnétiques isochrones différents de manière à accélérer un type de particules de rapport q/m souhaité. Ce cyclotron C70 comprend des collines divisées en trois parties superposées et parallèles au plan médian :

- une première partie éloignée du plan médian
30 formant la base de la colline ;

- une seconde partie centrale formant un pôle autour duquel sont enroulées des bobines de correction avec une distribution précise et ;

5 - une troisième partie, la plus proche du plan médian, étant une plaque de blindage des bobines de correction .

[0009] Cette configuration de collines est néanmoins compliquée et nécessite un alignement très précis desdites trois parties ainsi qu'une répartition des bobines bien précise. Un vide poussé étant nécessaire à 10 l'intérieur du cyclotron, en particulier pour l'accélération de particules chargées négativement, l'assemblage doit pouvoir supporter des variations de pressions importantes, sans que cela n'occasionne de 15 désajustement des différentes pièces. Aussi, lors de la mise sous vide du cyclotron, des problèmes de dégazage au niveau des bobines de correction peuvent se produire, celles-ci se trouvant confinées entre la base de la colline et la plaque de blindage. Enfin il est 20 nécessaire d'optimiser l'épaisseur de la plaque de blindage afin que la fraction de flux magnétique utile à l'accélération des particules dans l'entrefer soit suffisante tout en gardant une certaine rigidité mécanique de ladite plaque.

25 [0010] L'objet de la présente invention est de fournir un cyclotron capable d'accélérer des types de particules de rapport « charge sur masse » q/m différents, ne présentant pas les inconvénients de l'art antérieur.

30 [0011] Un autre objet de la présente invention est de fournir à un cyclotron un moyen de correction de profil du champ magnétique selon le rapport q/m du type

de particules à accélérer, ledit moyen permettant une réalisation plus simple que les moyens de l'art antérieur .

5 [0012] Un autre objet de la présente invention est de fournir à un cyclotron un moyen de correction de profil du champ magnétique selon le rapport q/m du type de particules à accélérer, ledit moyen pouvant produire suffisamment de champ magnétique additionnel dans le cas de cyclotrons de moyenne à haute énergie.

10 [0013] Un autre objet de la présente invention est de fournir à un cyclotron un moyen de correction de profil de champ magnétique ne perturbant pas le vide interne du cyclotron.

15 RÉSUMÉ DE L'INVENTION

[0014] La présente invention se rapporte à un cyclotron apte à produire un premier faisceau de particules chargées accélérées définies par un premier rapport « charge sur masse » (q/m) ou un deuxième faisceau de particules chargées accélérées définies par un deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) ' inférieur audit premier rapport « charge sur masse » (q/m) , ledit cyclotron comprenant :

25 - un électroaimant comprenant deux pôles, de préférence un pôle supérieur et un pôle inférieur, disposés de manière symétrique par rapport à un plan médian perpendiculaire à l'axe central du cyclotron et séparés par un entrefer prévu pour la circulation des particules chargées, chacun desdits pôles comprenant
30 plusieurs secteurs disposés de manière à avoir une alternance de zones à entrefer étroit appelées

« collines » et de zones à entrefer large appelées « vallées » ;

5 - une bobine d'induction principale pour créer un champ d'induction principal essentiellement constant dans l'entrefer entre lesdits pôles et

10 - un moyen de modification du profil de champ magnétique selon le rapport « charge sur masse » des particules à accélérer comprenant une pièce ferromagnétique présente dans une desdites vallées et s'étendant radialement d'une région proche du centre vers la périphérie du cyclotron, ladite pièce ferromagnétique formant un circuit magnétique avec le fond de ladite vallée, de façon à créer un champ magnétique additionnel suffisamment important pour
15 l'accélération de particules dudit premier faisceau ayant ledit premier rapport charge sur masse (q/m) ; caractérisé par :

20 - une bobine d'induction secondaire disposée autour de ladite pièce ferromagnétique de façon à pouvoir induire un champ magnétique s'opposant au champ magnétique induit dans ladite pièce ferromagnétique par ladite bobine d'induction principale et diminuer la contribution de champ magnétique additionnel fournie par ladite pièce ferromagnétique pour l'accélération de
25 particules dudit deuxième faisceau ayant ledit deuxième rapport charge sur masse (q/m) '.

[0015] De préférence, la bobine d'induction secondaire est disposée autour de ladite pièce ferromagnétique de manière parallèle à ladite bobine
30 d'induction principale.

[0016] Dé préférence, ladite pièce ferromagnétique comprend :

- une première partie, s'étendant du centre vers la périphérie dudit cyclotron, formant un entrefer, et;

- une seconde partie comprenant un pilier réalisé en un matériau ferromagnétique soutenant ladite première partie .

5

[0017] De préférence, ladite bobine d'induction secondaire entoure ledit pilier.

[0018] De préférence, le cyclotron comprend des moyens de modification du profil de champ magnétique situés dans deux vallées opposées.

10

[0019] De préférence, le cyclotron est caractérisé par :

- une ouverture située dans le fond d'une vallée, permettant le passage de la totalité de ladite pièce ferromagnétique ou dudit pilier ;

15

- un dispositif mécanique permettant d'éloigner ladite pièce ferromagnétique du plan médian lorsque l'on souhaite accélérer des particules ayant le deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) ' ou de rapprocher ladite pièce ferromagnétique du plan médian lorsque l'on souhaite accélérer des particules ayant le premier rapport « charge sur masse » (q/m) .

20

[0020] Selon un autre aspect, la présente invention se rapporte à un procédé pour produire un faisceau de particules chargées accélérées et caractérisé par le fait que :

25

- l'on utilise un cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes pour la production dudit faisceau de particules chargées accélérées ; et

30

- l'on règle ou ajuste l'intensité de courant dans ladite bobine d'induction secondaire en fonction du

rapport « charge sur masse » des particules à accélérer .

[0021] De préférence, le procédé est caractérisé en ce que :

5 - l'on produit un premier faisceau de particules chargées accélérées définies par un premier rapport « charge sur masse » (q/m) au moyen dudit cyclotron, sans appliquer de courant dans ladite bobine d'induction secondaire ; et/ou

10 - l'on produit un deuxième faisceau de particules chargées accélérées définies par un deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) ' au moyen dudit cyclotron en appliquant un courant dans ladite bobine d'induction secondaire de manière à induire un champ magnétique
15 s'opposant audit champ d'induction principal, le premier rapport charge sur masse (q/m) étant supérieur au deuxième rapport charge sur masse (q/m) '.

[0022] De préférence, le procédé est caractérisé en ce que :

20 - l'on applique un courant dans ladite bobine d'induction secondaire de manière à induire un champ magnétique s'opposant audit champ induction principal si l'on passe de l'accélération d'un premier faisceau de particules ayant le premier rapport « charge sur
25 masse » (q/m) à l'accélération d'un deuxième faisceau de particules ayant le deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) '.

[0023] De préférence, le procédé est caractérisé en ce que :

30 - l'on prévoit la fermeture du passage du courant dans ladite bobine d'induction secondaire si l'on passe de l'accélération d'un deuxième faisceau de particules

ayant le deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) ' à l'accélération d'un premier faisceau de particules ayant le rapport « charge sur masse » (q/m) .

[0024] De préférence, le procédé est caractérisé en ce que l'on accélère un faisceau de particules sur une cible comprenant un précurseur de radioisotope.

[0025] Selon un dernier aspect, la présente invention se rapporte également à une utilisation d'un cyclotron tel que décrit ci-dessus ou du procédé tel que décrit ci-dessus pour la production de radioisotopes .

DESCRIPTION DES FIGURES

[0026] La figure 1 représente le profil du champ magnétique moyen $\langle B \rangle$ à appliquer dans un cyclotron isochrone en fonction du rayon moyen $\langle R \rangle$ de la particule, pour l'accélération de protons et de deutons .

[0027] La figure 2 représente une vue schématique en coupe selon un plan perpendiculaire au plan médian d'un cyclotron selon un premier mode de réalisation de la présente invention.

[0028] La figure 3 représente une vue schématique en coupe selon le plan médian d'un cyclotron selon un deuxième mode de réalisation de la présente invention.

[0029] La figure 4 représente une vue schématique en coupe selon un plan perpendiculaire au plan médian d'un cyclotron selon un deuxième mode de réalisation de la présente invention.

[0030] La figure 5 représente une vue tridimensionnelle d'une partie d'un cyclotron selon un troisième mode de réalisation de la présente invention.

[0031] La figure 6 représente une vue schématique en coupe selon un plan perpendiculaire au plan médian d'un cyclotron selon un troisième mode de réalisation de la présente invention.

5

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

[0032] Le dispositif de la présente invention est un cyclotron apte à produire un faisceau de particules chargées accélérées définies par un rapport « charge sur masse » (q/m) ou un faisceau de particules accélérées définies par un rapport « charge sur masse » (q/m)' inférieur audit rapport « charge sur masse » (q/m). Ledit cyclotron est apte à accélérer des particules de rapport « charge sur masse » (q/m), par exemple, égal à 1, comme des protons, ou des particules de rapport (q/m)' égal à $\frac{1}{2}$, comme des particules alpha, des deutons, des HH^+ des ${}^6\text{Li}^{3+}$, des ${}^{10}\text{B}^{5+}$ ou des ${}^{12}\text{C}^{6+}$ ou d'autres particules de même rapport (q/m)' = $\frac{1}{2}$. Ledit cyclotron selon la présente invention est représenté aux figures 2 à 6. Ledit cyclotron comprend un circuit magnétique comprenant :

- un électroaimant comprenant deux pôles, un pôle supérieur et un pôle inférieur, lesdits pôles étant disposés de manière symétrique par rapport à un plan médian 13 perpendiculaire à l'axe central 12 du cyclotron, et séparés par un entrefer 14 prévu pour la circulation des particules chargées, chacun desdits pôles comprenant plusieurs secteurs disposés de manière à avoir une alternance de zones à entrefer étroit appelées « collines » 5 et de zones à entrefer large appelées « vallées » 4 ;

30

- des retours de flux 7 pour fermer ledit circuit magnétique ;

- une bobine d'induction principale 6 pour créer un champ d'induction principal essentiellement constant dans l'entrefer 14 entre lesdits pôles et;

- un moyen de modification du profil de champ magnétique selon le rapport q/m du type de particules à accélérer .

[0033] Ledit cyclotron est caractérisé en ce que ledit moyen de modification du profil de champ magnétique comprend :

- une pièce ferromagnétique 2, généralement réalisée en fer doux, présente dans une desdites vallées 4 et s'étendant d'une région proche du centre vers la périphérie du cyclotron, ladite pièce ferromagnétique 2 formant un circuit magnétique avec le fond de ladite vallée, de manière à créer un champ magnétique additionnel suffisamment important pour l'accélération de particules de rapport « charge sur masse » (q/m) ;

- un moyen permettant de diminuer la contribution de champ magnétique additionnel fourni par ladite pièce ferromagnétique 2, de manière à accélérer des particules de rapport « charge sur masse » (q/m) ' .

[0034] Dans ledit moyen de modification du profil de champ magnétique, ladite pièce ferromagnétique 2 peut prendre différentes formes tant qu'une partie ou la totalité de celle-ci s'étend du centre vers la périphérie du cyclotron. Par exemple, ladite pièce ferromagnétique 2 peut comprendre :

- une première partie s'étendant du centre vers la périphérie du cyclotron, formant un entrefer et;

- une seconde partie comprenant un pilier ferromagnétique 3, connecté aux retours de flux 7 et supportant ladite première partie.

[0035] Ledit cyclotron peut comprendre par exemple deux moyens de modification du profil de champ magnétique situés dans des vallées 4 opposées. Deux autres vallées opposées comprennent des électrodes d'accélération couramment appelées « dés » (non représentées) .

10 [0036] Par exemple, ledit cyclotron peut comprendre quatre collines 5, chacune de ces collines 5 étant séparées les unes des autres par des vallées 4. Dans cet exemple non limitatif de la présente invention, les secteurs du cyclotron sont arrangés selon une symétrie d'ordre 4, avec deux vallées 4 opposées comprenant ledit moyen de modification du champ magnétique et deux autres vallées comprenant les dés.

[0037] Selon un premier mode de réalisation de l'invention représenté à la figure 2, ledit moyen permettant de diminuer la contribution du champ magnétique additionnel comprend :

- une ouverture 15 située dans le fond d'une vallée, permettant le passage de la totalité de ladite pièce ferromagnétique 2 ou dudit pilier 3 et ;
- 25 - un dispositif mécanique 16 permettant d'éloigner ladite pièce ferromagnétique 2 du plan médian lorsque l'on souhaite accélérer des particules de rapport « charge sur masse » (q/m) ' ou de rapprocher ladite pièce ferromagnétique 2 du plan médian lorsque l'on souhaite
- 30 accélérer des particules de rapport « charge sur masse » (q/m) .

[0038] Dans un deuxième mode de réalisation représenté aux figures 3 et 4, ledit moyen permettant de diminuer la contribution du champ magnétique additionnel comprend une bobine d'induction secondaire 1 disposée autour de ladite pièce ferromagnétique 2 de manière parallèle à ladite bobine d'induction principale 6. Ladite bobine d'induction secondaire 1 est reliée à un dispositif d'alimentation électrique 11 permettant de faire passer un contre courant induisant un champ magnétique s'opposant au champ magnétique induit dans ladite pièce ferromagnétique par ladite bobine d'induction principale 6.

[0039] Dans un troisième mode de réalisation de l'invention représenté aux figures 5 et 6, ladite pièce ferromagnétique 2 comprend :

- une première partie s'étendant du centre vers la périphérie du cyclotron, formant un entrefer et;
- une seconde partie comprenant un pilier ferromagnétique 3, connecté aux retours de flux 7 et supportant ladite première partie, ladite bobine d'induction secondaire 1 entourant ledit pilier 3 et est disposée de manière parallèle à ladite bobine d'induction principale 6.

[0040] Afin d'éviter une surchauffe due au passage de courant dans la bobine d'induction secondaire 1, celle-ci peut être entourée par un élément réfrigérant (non représenté) permettant son refroidissement. Ladite bobine d'induction secondaire 1 peut être entourée d'une armature métallique permettant d'éviter des problèmes de dégazage au niveau des spires de lorsque le vide est créé dans le cyclotron.

[0041] De préférence, le cyclotron selon la présente invention comprend :

- une première partie, s'étendant du centre vers la périphérie dudit cyclotron, formant un entrefer, et;
- 5 - une seconde partie comprenant un pilier réalisé en un matériau ferromagnétique soutenant ladite première partie .

[0042] Avantageusement, le cyclotron selon la présente invention comprend des moyens de correction du profil de champ magnétique situés dans deux vallées opposées .

[0043] De préférence, ledit moyen permettant de diminuer la contribution de champ magnétique additionnel fourni par ladite pièce ferromagnétique comprend :

- une ouverture située dans le fond d'une vallée, permettant le passage de la totalité de ladite pièce ferromagnétique ou dudit pilier ;
- un dispositif mécanique permettant d'éloigner ladite pièce ferromagnétique du plan médian lorsque l'on souhaite accélérer des particules ayant le deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) ' ou de rapprocher ladite pièce ferromagnétique du plan médian lorsque l'on souhaite accélérer des particules ayant le premier rapport « charge sur masse » (q/m) .

[0044] Avantageusement, ledit moyen permettant de diminuer la contribution de champ magnétique additionnel fourni par ladite pièce ferromagnétique comprend :

- 30 - une bobine d'induction secondaire disposée autour de ladite pièce ferromagnétique de manière parallèle à ladite bobine d'induction principale et connectée à un

moyen d'alimentation électrique permettant de faire passer un courant induisant un champ magnétique s'opposant au champ magnétique induit dans ladite pièce ferromagnétique par ladite bobine principale.

5 [0045] De manière avantageuse, ladite bobine d'induction secondaire entoure ledit pilier.

[0046] La présente invention se rapporte également à un procédé de correction du profil de champ magnétique dans un cyclotron apte à produire un premier faisceau de particules chargées accélérées définies par un premier rapport « charge sur masse » (q/m) ou un deuxième faisceau de particules chargées accélérées définies par un deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) inférieur audit premier rapport « charge sur masse » (q/m), ledit cyclotron comprenant un circuit magnétique comprenant :

20 - un électroaimant comprenant deux pôles, un pôle supérieur et un pôle inférieur, lesdits pôles étant disposés de manière symétrique par rapport à un plan médian perpendiculaire à l'axe central du cyclotron, et séparés par un entrefer prévu pour la circulation des particules chargées, chacun desdits pôles comprenant plusieurs secteurs disposés de manière à avoir une alternance de zones à entrefer étroit appelées « collines » et de zones à entrefer large appelées « vallées », de manière à assurer une refocalisation dudit faisceau dans le plan médian ;

25 - des retours de flux pour fermer ledit circuit magnétique ;

30 - une bobine d'induction principale pour créer un champ d'induction principal essentiellement constant dans l'entrefer entre lesdits pôles ;

- un moyen de correction du profil de champ magnétique selon le rapport q/m du type de particule à accélérer, caractérisé en ce que l'on prévoit un moyen de correction du profil du champ magnétique comprenant :

5 - une pièce ferromagnétique comprise dans une desdites vallées et s'étendant radialement d'une région proche du centre vers la périphérie du cyclotron, ladite pièce ferromagnétique formant un circuit magnétique avec le fond de ladite vallée, de manière à créer un champ
10 magnétique additionnel suffisamment important pour l'accélération de particules du premier faisceau ayant le premier rapport « charge sur masse » (q/m) ;

- un moyen permettant de diminuer la contribution de champ magnétique additionnel fourni par ladite pièce
15 ferromagnétique, de manière à accélérer les particules du deuxième faisceau ayant le deuxième rapport « charge sur masse » (q/m)' .

[0047] De préférence, ladite pièce ferromagnétique comprend :

20 - une première partie, s'étendant du centre vers la périphérie dudit cyclotron, formant un entrefer, et;
- une seconde partie comprenant un pilier réalisé en un matériau ferromagnétique et soutenant ladite première partie .

25 [0048] Avantageusement, ledit moyen permettant de diminuer la contribution de champ magnétique additionnel fourni par ladite pièce ferromagnétique comprend :

30 - une ouverture située dans le fond d'une vallée, permettant le passage de la totalité de ladite pièce ferromagnétique ou dudit pilier;

- un dispositif mécanique permettant d'éloigner ladite pièce ferromagnétique du plan médian lorsque l'on souhaite accélérer des particules ayant le deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) ' ou de rapprocher ladite pièce ferromagnétique du plan médian lorsque l'on souhaite accélérer des particules ayant le premier rapport « charge sur masse » (q/m) .

[0049] De préférence encore, pour ledit moyen permettant de diminuer la contribution de champ magnétique additionnel fourni par ladite pièce ferromagnétique, l'on prévoit :

- une bobine d'induction secondaire disposée autour de ladite pièce ferromagnétique de manière parallèle à ladite bobine d'induction principale et connectée à un moyen d'alimentation électrique permettant de faire passer un courant induisant un champ magnétique s'opposant au champ magnétique induit dans ladite pièce ferromagnétique par ladite bobine principale.

[0050] Avantageusement, l'on règle ou ajuste l'intensité de courant dans ladite bobine d'induction secondaire en fonction du rapport « charge sur masse » de la particule à accélérer.

[0051] De manière davantage préférée, le procédé selon l'invention comprend l'étape de production d'un premier faisceau de particules accélérées définies par un premier rapport « charge sur masse » (q/m) au moyen dudit cyclotron, sans appliquer de courant dans ladite bobine d'induction secondaire, ou production d'un deuxième faisceau de particules définies par un deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) ' au moyen dudit cyclotron en appliquant un courant dans ladite bobine d'induction secondaire de manière à induire un

champ magnétique s'opposant audit champ d'induction principal, le premier rapport « charge sur masse » (q/m) étant supérieur au deuxième rapport « charge sur masse » (q/m)'.

5 [0052] De préférence encore, le procédé selon l'invention comprend l'étape d'application d'un courant dans ladite bobine d'induction secondaire de manière à induire un champ magnétique s'opposant audit champ induction principal si l'on passe de l'accélération
10 d'un premier faisceau de particules ayant le premier rapport « charge sur masse » (q/m) à l'accélération d'un deuxième faisceau de particules ayant le deuxième rapport « charge sur masse » (q/m)', ou fermeture du passage du courant dans ladite bobine d'induction
15 secondaire si l'on passe de l'accélération d'un deuxième faisceau de particules ayant le deuxième rapport « charge sur masse » (q/m)' à l'accélération d'un premier faisceau de particules ayant le rapport « charge sur masse » (q/m).

20 [0053] De manière préférée, l'on accélère un faisceau de particules sur une cible comprenant un précurseur de radioisotope.

[0054] La présente invention concerne également l'utilisation dudit procédé ou dudit cyclotron pour la
25 production de radioisotope.

Exemple d'utilisation de la présente invention

[0055] Dans un cyclotron isochrone selon la présente invention, il est possible de sélectionner un type de
30 particule de rapport « charge sur masse » q/m à accélérer comme par exemple des protons ($q/m = 1$) ou des deutons ($q/m = \frac{1}{2}$), d'autres particules pouvant être

également accélérées. Dans le cas non limitatif d'un cyclotron isochrone capable d'accélérer des protons à une énergie de 70 MeV, la position de ladite pièce ferromagnétique 2 dans deux vallées opposées, influence les lignes de flux du champ magnétique induit par ladite bobine d'induction principale 6 et fournit un champ magnétique additionnel permettant d'obtenir le champ magnétique isochrone nécessaire à l'accélération des protons. Si l'on souhaite avec ce même cyclotron accélérer des deutons ou d'autres particules de rapport « charge sur masse » égal à $\frac{1}{2}$ à une énergie de 35 MeV, le profil du champ magnétique doit être modifié de manière à obtenir un profil de champ magnétique isochrone tel que montré à la figure 1. On doit donc diminuer le champ magnétique additionnel fourni par ladite pièce ferromagnétique 2. Cela peut se faire en appliquant dans ladite bobine d'induction secondaire 1 un contre-courant créant un champ magnétique s'opposant au champ magnétique principal induit par ladite bobine d'induction principale 6, de manière à obtenir le champ magnétique isochrone nécessaire à l'accélération de deutons ou de particules de rapport « charge sur masse » égal à $\frac{1}{2}$. Ces rapports « charge sur masse » de 1 et $\frac{1}{2}$ ne constituent pas une limitation de la présente invention et d'autres rapports « charge sur masse » peuvent être considérés.

[0056] La présente invention permet d'éviter d'avoir recours à un système de bobinage et d'usinage complexe au niveau des secteurs. Les deuxième et troisième modes de réalisation de la présente invention permettent d'éviter le recours à un système mobile pour passer d'un champ magnétique isochrone nécessaire à

l'accélération d'un type de particules de rapport « charge sur masse » q/m à un autre. Un autre avantage substantiel des deuxième et troisième modes de réalisation de la présente invention est que dans le cas d'un usinage des pôles approximatif, il est toujours possible de corriger le champ magnétique en faisant varier le courant dans la bobine d'induction secondaire 1 de manière à obtenir le champ magnétique isochrone désiré avec une bonne précision.

[0057] La présente invention peut être utilisée pour accélérer des particules de rapport q/m sur une cible pour la production de radio-isotopes. Par exemple, dans une première utilisation, ledit cyclotron peut être utilisé pour accélérer des particules de rapport « charge sur masse » q/m égal à 1, comme par exemple des protons sur une cible comprenant un précurseur de radio-isotope. Dans une seconde utilisation, le champ magnétique dans ledit cyclotron peut-être modifié de manière à accélérer des particules de rapport « charge sur masse » (q/m) ' égal à $\frac{1}{2}$, comme par exemple des deutons, sur une cible comprenant un précurseur de radio-isotope .

25

30

Liste des éléments :

- 1 bobine d'induction secondaire
- 2 pièce métallique
- 3 pilier
- 5 4 vallée
- 5 colline
- 6 bobine d'induction principale
- 7 retour de flux
- 9 trou de pompage
- 10 11 moyen d'alimentation électrique.
- 12 conduit central
- 13 plan médian
- 14 entrefer
- 15 ouverture
- 15 16 moyen mécanique

20

25

30

Revendications

1. Cyclotron apte à produire un premier faisceau de particules chargées accélérées définies par un premier rapport « charge sur masse » (q/m) ou un deuxième faisceau de particules chargées accélérées définies par un deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) ' inférieur audit premier rapport « charge sur masse » (q/m) , ledit cyclotron comprenant :
- 10 - un électroaimant comprenant deux pôles disposés de manière symétrique par rapport à un plan médian (13) perpendiculaire à l'axe central (12) du cyclotron et séparés par un entrefer (14) prévu pour la circulation des particules chargées, chacun desdits pôles comprenant plusieurs secteurs disposés de manière à avoir une alternance de zones à entrefer étroit appelées « collines » (5) et de zones à entrefer large appelées « vallées » (4) ;
 - une bobine d'induction principale (6) pour créer un champ d'induction principal essentiellement constant dans l'entrefer (14) entre lesdits pôles et
 - un moyen de modification du profil de champ magnétique selon le rapport « charge sur masse » des particules à accélérer comprenant une pièce ferromagnétique (2) présente dans une desdites vallées (4) et s'étendant radialement d'une région proche du centre vers la périphérie du cyclotron, ladite pièce ferromagnétique (2) formant un circuit magnétique avec le fond de ladite vallée, de façon à créer un champ magnétique additionnel suffisamment important pour l'accélération de particules dudit premier faisceau ayant ledit premier rapport charge sur masse (q/m) ;

caractérisé par :

- une bobine d'induction secondaire (1) disposée
autour de ladite pièce ferromagnétique (2) de façon à
pouvoir induire un champ magnétique s'opposant au champ
5 magnétique induit dans ladite pièce ferromagnétique par
ladite bobine d'induction principale (6) et diminuer la
contribution de champ magnétique additionnel fournie
par ladite pièce ferromagnétique (2) pour
l'accélération de particules dudit deuxième faisceau
10 ayant ledit deuxième rapport charge sur masse (q/m)'.

2. Cyclotron selon la revendication 1, dans lequel
ladite bobine d'induction secondaire (1) est disposée
autour de ladite pièce ferromagnétique (2) de manière
15 parallèle à ladite bobine d'induction principale (6).

3. Cyclotron selon les revendications 1 ou 2, dans
lequel ladite pièce ferromagnétique (2) comprend :

- une première partie, s'étendant du centre vers la
20 périphérie dudit cyclotron, formant un entrefer, et;

- une seconde partie comprenant un pilier (3)
réalisé en un matériau ferromagnétique soutenant ladite
première partie.

25 4. Cyclotron selon la revendication 3, dans lequel
ladite bobine d'induction secondaire (1) entoure ledit
pilier (3) .

5. Cyclotron selon l'une quelconque des
30 revendications précédentes comprenant des moyens de
modification du profil de champ magnétique situés dans
deux vallées (4) opposées.

6. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par :

- 5 - une ouverture (15) située dans le fond d'une vallée, permettant le passage de la totalité de ladite pièce ferromagnétique (2) ou dudit pilier (3) ;
- 10 - un dispositif mécanique (16) permettant d'éloigner ladite pièce ferromagnétique du plan médian lorsque l'on souhaite accélérer des particules ayant le deuxième rapport « charge sur masse » (q/m) ' ou de rapprocher ladite pièce ferromagnétique (2) du plan médian (13) lorsque l'on souhaite accélérer des particules ayant le premier rapport « charge sur masse » (q/m) .

15

7. Procédé pour produire un faisceau de particules chargées accélérées, caractérisé en ce que :

- 20 - l'on utilise un cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes pour la production dudit faisceau de particules chargées accélérées ; et
- l'on règle ou ajuste l'intensité de courant dans ladite bobine d'induction secondaire (1) en fonction du rapport « charge sur masse » des particules à accélérer .

25

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que :

- 30 - l'on produit un premier faisceau de particules chargées accélérées définies par un premier rapport « charge sur masse » (q/m) au moyen dudit cyclotron, sans appliquer de courant dans ladite bobine d'induction secondaire (1) ; et/ou

- l'on produit un deuxième faisceau de particules chargées accélérées définies par un deuxième rapport « charge sur masse » $(q/m)'$ au moyen dudit cyclotron en appliquant un courant dans ladite bobine d'induction
5 secondaire (1) de manière à induire un champ magnétique s'opposant audit champ d'induction principal, le premier rapport charge sur masse (q/m) étant supérieur au deuxième rapport charge sur masse $(q/m)'$.

10 9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que :

- l'on applique un courant dans ladite bobine d'induction secondaire (1) de manière à induire un champ magnétique s'opposant audit champ induction
15 principal si l'on passe de l'accélération d'un premier faisceau de particules ayant le premier rapport « charge sur masse » (q/m) à l'accélération d'un deuxième faisceau de particules ayant le deuxième rapport « charge sur masse » $(q/m)'$.

20

10. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que :

- l'on prévoit la fermeture du passage du courant dans ladite bobine d'induction secondaire (1) si l'on passe
25 de l'accélération d'un deuxième faisceau de particules ayant le deuxième rapport « charge sur masse » $(q/m)'$ à l'accélération d'un premier faisceau de particules ayant le rapport « charge sur masse » (q/m) .

30

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, caractérisé en ce que l'on accélère un faisceau

de particules sur une cible comprenant un précurseur de radioisotope .

12. Utilisation du cyclotron selon l'une quelconque
5 des revendications 1 à 6 ou du procédé selon l'une
quelconque des revendications 7 à 11 pour la
production de radioisotopes .

10

15

20

25

30

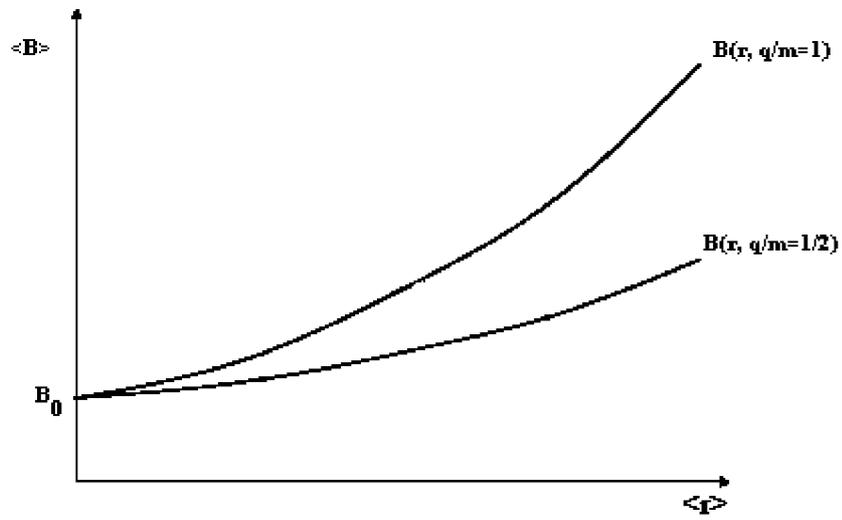


Fig. 1

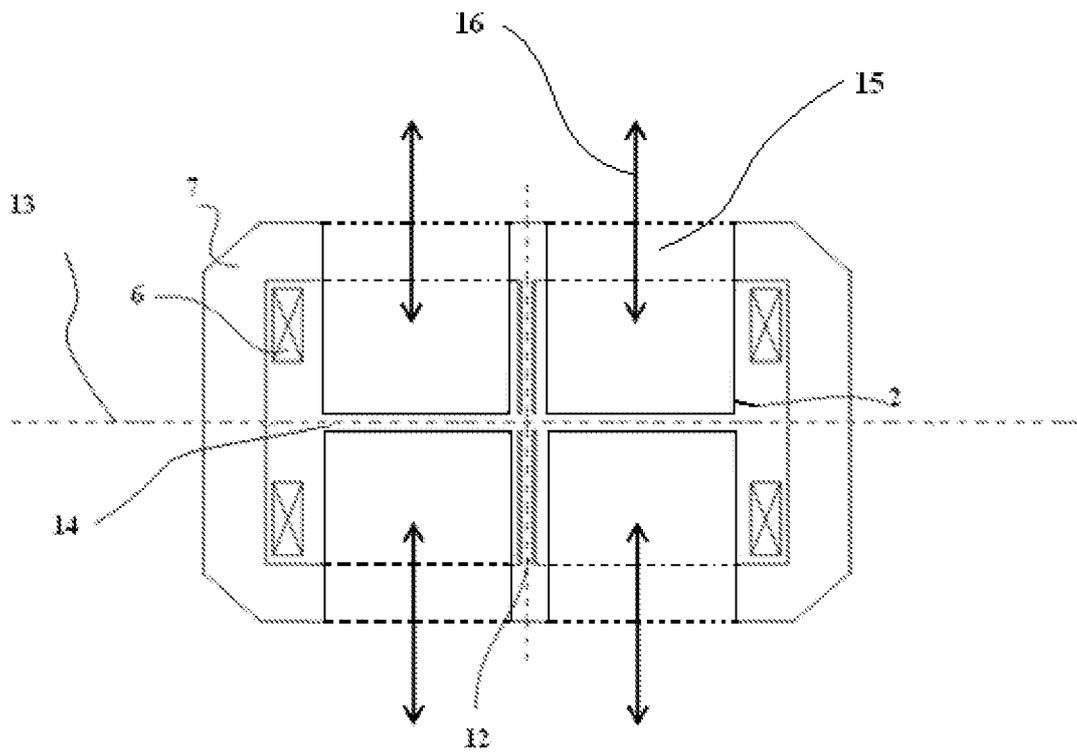


Fig. 2

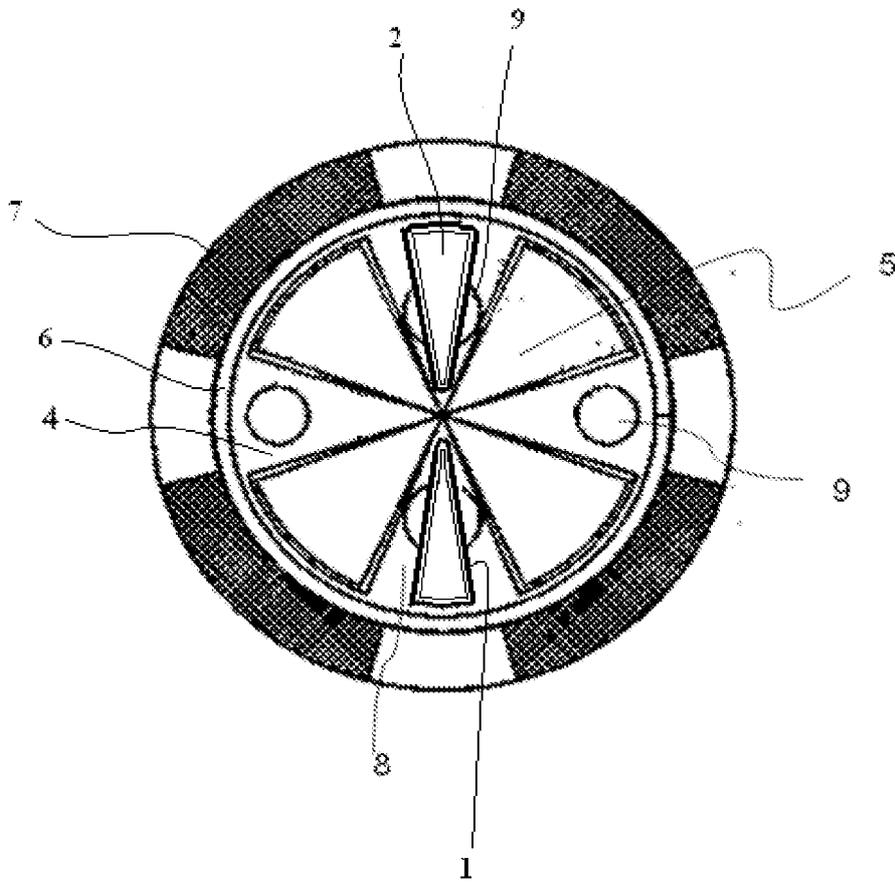


Fig. 3

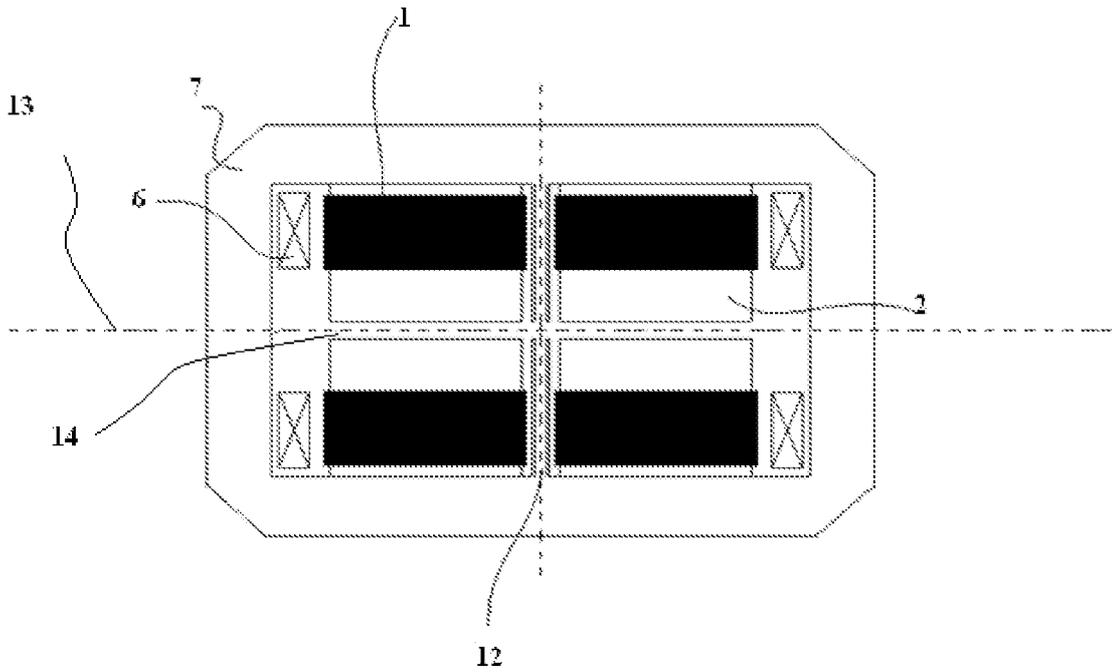


Fig. 4

3/3

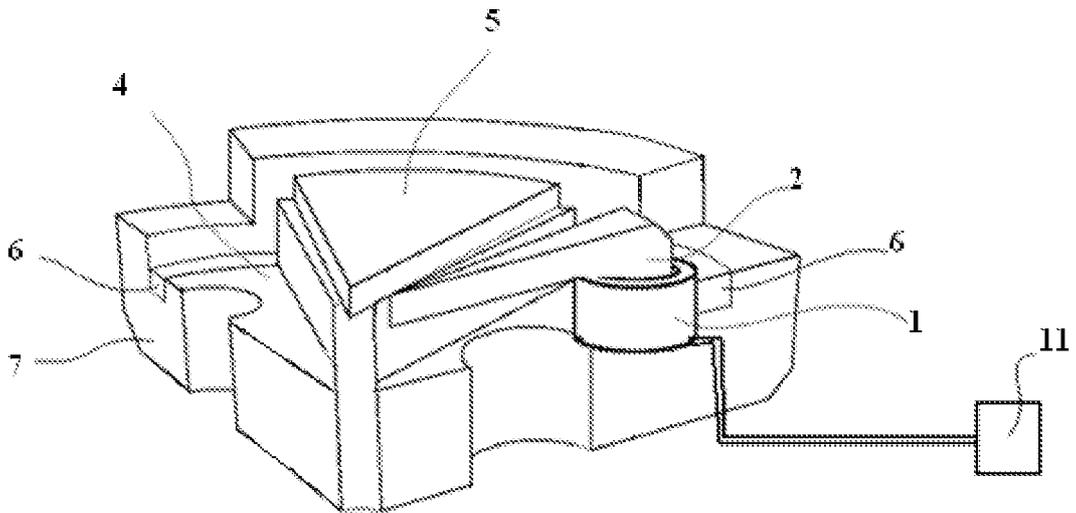


Fig. 5

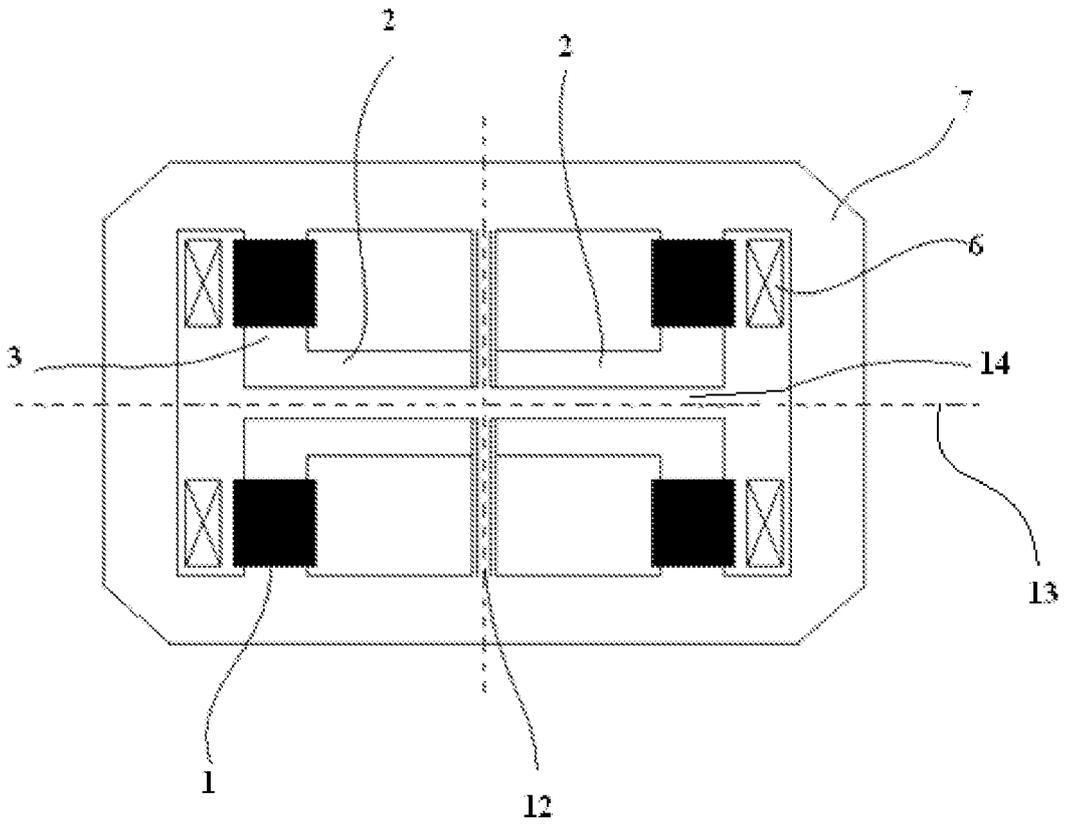


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2011/061238
--

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H05H7/04 H05H13/00
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification **System** followed by classification **symbols**)
H05H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal , WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>T.VANDERLINDEN ET AL: "Three Years of Opération of Cyclone 30 in Louvain-La-Neuve" , PROCEEDINGS OF EPAC 1990, 12 June 1990 (1990-06-12) , - 16 June 1990 (1990-06-16) , pages 437-439 , XP002624574, Nice, France abstract; figure 3 page 438, column 2, lines 11-33; table 1</p> <p style="text-align: center;">----- -/- .</p>	1-12

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Spécial catégories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 23 September 2011	Date of mailing of the international search report 29/09/2011
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Crescenti , Massimo
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/061238

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	E. CONARD ET AL: "Current Status and Future of Cyclotron Development at IBA", PROCEEDINGS OF EPAC 1990, 12 June 1990 (1990-06-12), - 16 June 1990 (1990-06-16), pages 419-421, XP002624576, Ni ce, France abstract; figure 1 page 420, column 1, lines 25-30 page 420, column 2, lines 15-19 page 421	1-12
A	----- S. ZAREMBA ET AL: "Magnetic Field Design and Calculations for the IBA C70 Cyclotron", CYCLOTRONS AND THEIR APPLICATIONS 2007, 1 October 2007 (2007-10-01), - 5 October 2007 (2007-10-05), page 75-77, XP002624577, Catani a, Italy cited in the application abstract; figures 1-3 page 76, column 1, line 47 - column 2, line 5	1-12
A	----- W. BEECKMAN ET AL: "Machining and Assembly of the IBA C70 Cyclotron Magnet", CYCLOTRONS AND THEIR APPLICATIONS 2007, 1 October 2009 (2009-10-01), - 5 October 2007 (2007-10-05), pages 81-83, XP002624578, Catani a, Italy column 1 - page 82; figure 7	1-12
A	----- GB 1 304 630 A (GESELLSCHAFT FUER KERNFORSCHUNG MBH) 24 January 1973 (1973-01-24) claim 1; figures 1,2 -----	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/061238

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 1304630	A	24-01-1973	
		DE 2007338 AI	02-09-1971
		FR 2078780 A5	05-11-1971
		NL 7102019 A	20-08-1971

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2011/061238

<p>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H05H7/04 H05H13/00 ADD.</p>		
<p>Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB</p>		
<p>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</p>		
<p>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H05H</p>		
<p>Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche</p>		
<p>Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal , WPI Data, INSPEC</p>		
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</p>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>T.VANDERLINDEN ET AL: "Three Years of Opération of Cyclone 30 in Louvain-La-Neuve", PROCEEDINGS OF EPAC 1990, 12 juin 1990 (1990-06-12) , - 16 juin 1990 (1990-06-16) , pages 437-439 , XP002624574, Ni ce, France abrégé; figure 3 page 438, colonne 2, ligne 11-33; tableau 1</p> <p style="text-align: center;">----- -/- .</p>	1-12
<p><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</p>		
<p>* Catégories spéciales de documents cités:</p>		
<p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p>		
<p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p>		
<p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p>		
<p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p>		
<p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p>		
<p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p>		
<p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p>		
<p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p>		
<p>"&" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>		
<p>Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée</p> <p style="text-align: center;">23 septembre 2011</p>		<p>Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale</p> <p style="text-align: center;">29/09/2011</p>
<p>Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale</p> <p>Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016</p>		<p>Fonctionnaire autorisé</p> <p style="text-align: center;">Crescenti , Massimo</p>

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>E. CONARD ET AL: "Current Status and Future of Cyclotron Development at IBA" , PROCEEDINGS OF EPAC 1990, 12 juin 1990 (1990-06-12) , - 16 juin 1990 (1990-06-16) , pages 419-421 , XP002624576, Ni ce, France abrégé; figure 1 page 420, colonne 1, ligne 25-30 page 420, colonne 2, ligne 15-19 page 421</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>S. ZAREMBA ET AL: "Magnetic Field Design and Calculations for the IBA C70 Cyclotron" , CYCLOTRONS AND THEIR APPLICATIONS 2007 , 1 octobre 2007 (2007-10-01) , - 5 octobre 2007 (2007-10-05) , page 75-77 , XP002624577 , Catani a, Italy cité dans la demande abrégé; figures 1-3 page 76, colonne 1, ligne 47 - colonne 2, ligne 5</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>W. BEECKMAN ET AL: "Machining and Assembly of the IBA C70 Cyclotron Magnet" , CYCLOTRONS AND THEIR APPLICATIONS 2007 , 1 octobre 2009 (2009-10-01) , - 5 octobre 2007 (2007-10-05) , pages 81-83 , XP002624578, Catani a, Italy colonne 1 - page 82; figure 7</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>GB 1 304 630 A (GESELLSCHAFT FUER KERNFORSCHUNG MBH) 24 janvier 1973 (1973-01-24) revendication 1; figures 1,2</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2011/061238

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 1304630	A	24-01-1973	
		DE 2007338 AI	02-09-1971
		FR 2078780 A5	05-11-1971
		NL 7102019 A	20-08-1971
