

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 853 867 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

28.07.1999 Bulletin 1999/30

(21) Numéro de dépôt: **96931694.2**

(22) Date de dépôt: **25.09.1996**

(51) Int Cl.⁶: **H05H 7/10, H05H 13/00**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/BE96/00101

(87) Numéro de publication internationale:
WO 97/14279 (17.04.1997 Gazette 1997/17)

(54) **METHODE D'EXTRACTION DE PARTICULES CHARGÉES HORS D'UN CYCLOTRON
ISOCHRONE ET DISPOSITIF APPLIQUANT CETTE METHODE**

VERFAHREN ZUM ENTFERNEN DER GELADENEN TEILCHEN AUS EINEM ISOCHRONEN
ZYKLOTRON UND DIESES VERFAHREN VERWENDENDE VORRICHTUNG

METHOD FOR SWEEPING CHARGED PARTICLES OUT OF AN ISOCHRONOUS CYCLOTRON,
AND DEVICE THEREFOR

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE**

(30) Priorité: **06.10.1995 BE 9500832**

(43) Date de publication de la demande:
22.07.1998 Bulletin 1998/30

(73) Titulaire: **ION BEAM APPLICATIONS S.A.
B-1348 Louvain-la-Neuve (BE)**

(72) Inventeur: **JONGEN, Yves
B-1348 Louvain-la-Neuve (BE)**

(74) Mandataire: **Van Malderen, Joelle et al
Office Van Malderen,
Place Reine Fabiola 6/1
1083 Bruxelles (BE)**

(56) Documents cités:
**WO-A-93/10651 FR-A- 2 139 671
US-A- 3 024 379 US-A- 3 175 131**

- **NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN
PHYSICS RESEARCH, SECTION - A:
ACCELERATORS, SPECTROMETERS,
DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT,
vol. a256, no. 3, 15 Mai 1987, AMSTERDAM NL,
pages 434-438, XP000573276 WOLBER ET AL.:
"A kicker magnet for sweeping ion beams from
a medical cyclotron"**

EP 0 853 867 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description**Objet de l'invention.**

- 5 **[0001]** La présente invention se rapporte à une méthode d'extraction de particules chargées hors d'un cyclotron isochrone dans lequel le faisceau de particules est focalisé par secteurs.
- [0002]** La présente invention se rapporte également audit cyclotron isochrone appliquant cette méthode d'extraction de particules chargées.
- 10 **[0003]** La présente invention se rapporte aussi bien aux cyclotrons isochrones compacts qu'aux cyclotrons focalisés par secteurs. De même, la présente invention se rapporte aux cyclotrons isochrones dits supraconducteurs ou non supraconducteurs.

Etat de la technique.

- 15 **[0004]** Les cyclotrons sont des accélérateurs de particules utilisés en particulier pour la production d'isotopes radioactifs. Ces cyclotrons se composent habituellement de deux ensembles principaux distincts, constitués d'une part par l'électro-aimant et d'autre part par le résonateur haute fréquence.
- [0005]** L'électro-aimant assure le guidage des particules chargées sur une trajectoire présentant approximativement une spirale de rayon croissant autour de l'accélération. Dans les cyclotrons modernes de type isochrone, les pôles d'électroaimants sont divisés en secteurs présentant alternativement un entrefer réduit et un entrefer plus grand. La variation azimutale du champ magnétique qui en résulte a pour effet d'assurer la focalisation verticale et horizontale du faisceau au cours de l'accélération.
- 20 **[0006]** Parmi les cyclotrons isochrones, il convient de distinguer les cyclotrons de type compact, qui sont énergétisés par au moins une bobine circulaire principale, et les cyclotrons dits à secteurs séparés, où la structure magnétique est divisée en unités séparées entièrement autonomes.
- 25 **[0007]** Le second ensemble est constitué par les électrodes accélératrices, appelées fréquemment "dées" pour des raisons historiques. On applique ainsi aux électrodes une tension alternative de plusieurs dizaines de kilovolts à la fréquence de rotation des particules dans l'aimant, ou alternativement à une fréquence qui est un multiple exacte de la fréquence de rotation des particules dans l'aimant. Ceci a pour effet d'accélérer les particules du faisceau tournant
- 30 dans le cyclotron.
- [0008]** Pour de nombreuses applications utilisant un cyclotron, il est nécessaire d'extraire le faisceau de particules accélérées hors du cyclotron, et de le guider jusqu'à une cible où on souhaite l'utiliser. Cette opération d'extraction du faisceau est considérée par l'homme de l'art comme l'étape la plus difficile dans la production d'un faisceau de particules accélérées au moyen d'un cyclotron. Cette opération consiste à amener le faisceau de la partie du champ magnétique
- 35 où il est accéléré jusqu'à l'endroit où le champ magnétique ne parvient plus à retenir le faisceau. Dans ce cas, le faisceau est libre d'échapper à l'action du champ et est extrait hors du cyclotron.
- [0009]** Dans le cas de cyclotrons accélérant des particules chargées positivement, on connaît l'utilisation d'un déflecteur électrostatique dont le rôle est de tirer les particules hors du champ magnétique comme dispositif d'extraction. Pour obtenir un tel effet, il est nécessaire d'interposer sur le chemin des particules une électrode appelée le septum,
- 40 qui interceptera une partie de ces particules. De ce fait, le rendement d'extraction est relativement limité, et la perte en particules dans le septum contribuera notamment à rendre le cyclotron fortement radioactif.
- [0010]** Il est également connu d'extraire des particules chargées négativement en effectuant une conversion des ions négatifs en ions positifs en faisant passer ceux-ci à travers une feuille qui a pour fonction de dépouiller les ions négatifs de leurs électrons. Cette technique permet des rendements d'extraction proches de 100% et permet également
- 45 l'utilisation d'un dispositif nettement moins complexe que celui décrit précédemment. Néanmoins, l'accélération des particules négatives présente quant à elle des difficultés importantes. Le principal inconvénient réside dans le fait que les ions négatifs sont fragiles, et sont de ce fait facilement dissociés par des molécules de gaz résiduelles ou par des champs magnétiques excessifs traversés à haute énergie et présents dans le cyclotron. La transmission du faisceau dans l'accélérateur est donc limitée, ce qui contribue aussi à l'activation de ce dernier.
- 50 **[0011]** A l'opposé, les cyclotrons accélérant des particules positives permettent de produire de plus hautes intensités de courant de faisceaux, et augmentent la fiabilité du système, et tout en permettant une forte réduction de la taille et du poids de la machine.
- [0012]** Il est également connu par le document "The review of Scientist Instruments, 27 (1956), n° 7" et par le document "Nuclear Instruments and Methods 18, 19 (1962), pp. 41-45" de J. Reginald Richardson, une technique selon
- 55 laquelle le faisceau de particules aurait pu être extrait du cyclotron sans l'utilisation d'un dispositif d'extraction. Les conditions requises pour obtenir cette auto-extraction sont des conditions particulières de résonance du mouvement des particules dans le champ magnétique.
- [0013]** Néanmoins, cette méthode décrite est particulièrement difficile à réaliser, et aurait donné un faisceau dont

les qualités optiques étaient tellement mauvaises qu'en pratique, elle n'a jamais été appliquée.

[0014] Le document US-A-0324379 se rapporte à un dispositif du type cyclotron destiné à accélérer des particules qui possède des moyens magnétiques étant essentiellement indépendants de l'angle azimutal. Ceci signifie qu'il s'agit d'un cyclotron non isochrone. En outre, il convient de noter que le cyclotron décrit possède des moyens d'extraction du faisceau qui sont constitués par des "régénérateurs" et des "compresseurs", qui permettent, en perturbant le champ magnétique, d'obtenir une extraction du faisceau de particules.

[0015] Le document WO-93/10651 au nom de la Demanderesse décrit un cyclotron isochrone compact présentant un entrefer localisé entre deux collines de forme essentiellement elliptique et tendant à se refermer complètement à l'extrémité radiale des collines sur le plan médian. Le dispositif décrit dans ce document comprend également des moyens classiques d'extraction du faisceau qui sont un déflecteur électrostatique dans le présent cas.

Buts de la présente invention.

[0016] La présente invention vise à proposer une méthode d'extraction de particules chargées hors d'un cyclotron isochrone en évitant l'utilisation de dispositifs d'extraction tels que décrits précédemment.

[0017] Un but complémentaire de la présente invention vise de ce fait à proposer un cyclotron isochrone qui soit de conception plus simple et plus économique que ceux habituellement utilisés.

[0018] La présente invention vise également à augmenter le rendement d'extraction du faisceau de particules, et en particulier dans le cas d'extraction de particules positives.

Principaux éléments caractéristiques de la présente invention.

[0019] La présente invention se rapporte à une méthode d'extraction de particules chargées hors d'un cyclotron isochrone comportant un électro-aimant constituant le circuit magnétique qui inclut un certain nombre de paires de secteurs appelées "collines" où l'entrefer est réduit, séparées par des espaces en forme de secteurs appelés "vallées" où l'entrefer est de dimension plus grande; cette méthode étant caractérisée par le fait que l'on réalise un cyclotron isochrone avec un entrefer d'aimant entre les collines dont les dimensions sont choisies de sorte que la valeur minimale de cet entrefer au voisinage du rayon maximal entre les collines soit inférieure à vingt fois le gain en rayon par tour des particules accélérées par le cyclotron à ce rayon.

[0020] Selon cette configuration particulière, on observera que les ions peuvent être extraits de l'influence du champ magnétique sans l'aide d'aucun dispositif d'extraction.

[0021] Il convient de noter que pour des cyclotrons isochrones de l'état de l'art, l'entrefer de l'aimant est en général compris entre 5 et 20 cm, alors que le gain en rayon par tour est d'environ 1 mm. Dans ce cas, le rapport de l'entrefer au gain en rayon par tour est supérieur à 50.

[0022] On observe qu'en appliquant la caractéristique principale de la présente invention, le champ magnétique diminue de façon très brutale au voisinage de la limite du pôle de l'aimant, de telle sorte que le point d'auto-extraction est atteint avant que le déphasage des particules par rapport à la tension accélératrice n'atteigne 90 degrés. De cette manière, les particules sortent automatiquement du champ magnétique sans intervention d'aucun dispositif d'extraction.

[0023] Selon une forme d'exécution particulièrement préférée de la présente invention, on peut envisager de dessiner un entrefer présentant un profil elliptique qui a tendance à se refermer à l'extrémité radiale des collines, tel que décrit dans le brevet W093/10651.

[0024] Selon une forme d'exécution préférée de la présente invention, l'extraction des particules est concentrée sur un secteur grâce à une dissymétrie apportée délibérément à la forme ou au champ magnétique dudit secteur.

[0025] Selon une autre forme d'exécution préférée de la présente invention, on réduit l'angle de l'un des secteurs au niveau du rayon polaire pour permettre de déplacer les orbites et d'obtenir ainsi l'extraction de tout le faisceau de ce côté, de manière, par exemple, à pouvoir irradier une cible de large volume.

[0026] Selon une autre forme d'exécution préférée de la présente invention, on réalise une distribution particulière du faisceau de particules de manière à irradier simultanément plusieurs cibles montées côte à côte sur la trajectoire du faisceau.

[0027] La présente invention permet avantageusement d'être utilisée pour la protonthérapie ou la production de radio-isotopes, et plus particulièrement de radio-isotopes destinés à la tomographie par émission de positrons (TEP).

Brève description des figures.

[0028]

Les figures 1 et 2 représentent les profils magnétiques d'un cyclotron isochrone selon l'état de la technique et

d'un cyclotron isochrone utilisant la méthode d'extraction selon la présente invention.

La figure 3 représente de manière schématique une vue éclatée des principaux éléments constituant un cyclotron isochrone.

La figure 4 représente une vue en coupe d'un cyclotron isochrone.

Description d'une forme d'exécution préférée de l'invention.

[0029] Le profil du champ magnétique dans un cyclotron isochrone est tel que la fréquence de rotation des particules doit être constante et indépendante de leur énergie. Pour compenser l'augmentation de masse relativiste des particules, le champ magnétique doit donc augmenter avec le rayon pour assurer cette condition d'isochronisme. Pour décrire cette relation, on définit l'indice de champ par la relation suivante :

$$n = \frac{dB}{B} \cdot \frac{R}{dR}$$

dans laquelle dB/B et dR/R sont respectivement les variations relatives du champ magnétique et du rayon au rayon R .

[0030] Il convient de noter qu'il est impossible de maintenir la condition d'isochronisme au voisinage du rayon maximal du pôle. En effet, à ce moment, le champ cesse d'augmenter avec le rayon. Il a atteint un maximum et commence ensuite à décroître de plus en plus rapidement.

[0031] La figure 1 illustre la variation du champ en fonction du rayon dans un cyclotron isochrone classique. Un déphasage croissant s'installe entre la fréquence de rotation des particules et la fréquence de résonance des électrodes accélératrices. Lorsque ce déphasage atteint 90 degrés, les particules cessent d'être accélérées et elles ne peuvent dépasser ce rayon.

[0032] La figure 2 illustre la variation du champ en fonction du rayon dans un cyclotron isochrone utilisant la méthode d'extraction selon la présente invention. En choisissant de manière précise les dimensions de l'entrefer de l'aimant entre les collines, de telle sorte qu'il soit réduit à une valeur de moins de vingt fois le gain en rayon par tour, on observe un profil du champ magnétique tel que représenté à la figure 2.

[0033] Dans ce cas, le champ magnétique diminue de façon très brutale au voisinage de la limite du pôle de l'aimant, de telle manière que le point d'auto-extraction défini par l'indice de champ $n = -1$ est atteint avant que le déphasage des particules par rapport à la tension accélératrice n'atteigne 90 degrés.

[0034] A partir de ce moment, les particules sortent automatiquement du champ magnétique sans intervention d'aucun dispositif extracteur.

[0035] Un cyclotron isochrone tel qu'il est utilisé dans la méthode d'extraction de particules chargées selon la présente invention est représenté schématiquement aux figures 3 et 4. Ce cyclotron est un cyclotron isochrone compact destiné à l'accélération de particules positives, et plus particulièrement des protons.

[0036] La structure magnétique 1 du cyclotron se compose d'un certain nombre d'éléments 2, 3, 4 et 5 réalisés en un matériau ferro-magnétique et de bobines 6 réalisées de préférence en un matériau conducteur ou supra-conducteur.

La structure ferro-magnétique comporte de manière classique :

- deux plaques de base appelées culasses 2 et 2',
- au moins trois secteurs 3 supérieurs appelés collines et un même nombre de secteurs inférieurs 3' situés symétriquement par rapport à un plan de symétrie 10 dit plan médian aux secteurs supérieurs 3, et qui sont séparés par un faible entrefer 8,
- entre deux collines consécutives, il existe un espace où l'entrefer est de dimension plus élevée et est qui appelé vallée 4,
- au moins un retour de flux 5 réunissant de façon rigide la culasse inférieure 2 à la culasse supérieure 2',

[0037] Les bobines 6 sont de forme essentiellement circulaire, et sont localisées dans l'espace annulaire laissé entre les secteurs 3 ou 3' et les retours de flux 5.

[0038] Le conduit central est destiné à recevoir au moins une partie de la source de particules 7 à accélérer. Ces particules sont injectées au centre de l'appareil par des moyens connus en soi.

[0039] Pour un cyclotron isochrone accélérant un faisceau de protons jusqu'à une énergie de 11 MeV, l'aimant est dessiné, selon la présente invention, avec un entrefer de 10 mm pour un champ magnétique de 2 teslas sur les secteurs magnétiques 3 et 3'. La tension accélératrice est de 80 kilovolts de manière à obtenir un gain en rayon de 1,5 mm au rayon maximal.

[0040] Ce choix inusuel des paramètres permet qu'à l'extrémité radiale des collines, on observe une décroissante

extrêmement rapide de l'induction extérieure qui permet d'auto-extraire le faisceau de particules avant la limite d'accélération, ce qui est plus particulièrement représenté à la figure 2.

[0041] Selon une première forme d'exécution préférée, on réduit l'angle d'un des secteurs au niveau du rayon polaire de manière à permettre de déplacer les orbites et d'obtenir l'extraction de tout le faisceau de ce côté (voir figure 4).

[0042] Le faisceau de particules extrait est alors axialement focalisé et radialement défocalisé.

[0043] Selon une autre forme d'exécution préférée, on utilise ce profil de faisceau pour l'irradiation simultanée de quatre cibles localisées entre les deux bobines 6 montées côte à côte sur la trajectoire du faisceau.

Revendications

1. Méthode d'extraction d'un faisceau de particules chargées hors d'un cyclotron isochrone (1) comportant un électro-aimant constituant le circuit magnétique qui inclut au moins un certain nombre de secteurs (3, 3') appelés "collines" où l'entrefer est réduit, séparés par des espaces en forme de secteurs (4) appelés "vallées" où l'entrefer est de dimension plus grande, la méthode d'extraction étant caractérisée par le fait que le faisceau de particules est extrait sans recours à un dispositif d'extraction par une disposition particulière du champ magnétique obtenue en dessinant l'entrefer de l'aimant aux collines (3, 3') du cyclotron isochrone de telle sorte que le rapport dimension de l'entrefer de l'aimant aux collines au voisinage du rayon maximum sur le gain en rayon par tour des particules accélérées par le cyclotron à ce rayon soit inférieur à 20.
2. Cyclotron isochrone dans lequel un faisceau de particules est focalisé par secteurs et qui comporte un électro-aimant constituant un circuit magnétique qui inclut au moins un certain nombre de secteurs (3, 3') appelés "collines" où un entrefer est réduit, séparés par des espaces en forme de secteurs (4) appelés "vallées" où un entrefer est de dimension plus grande, caractérisé en ce que l'entrefer de l'aimant aux collines (3, 3') est dessiné de telle sorte que le rapport dimension de l'entrefer de l'aimant aux collines au voisinage du rayon maximum sur le gain en rayon par tour des particules accélérées par le cyclotron à ce rayon soit inférieur à 20.
3. Cyclotron isochrone selon la revendication 2, caractérisé en ce que le profil de l'entrefer de l'aimant aux collines est un profil elliptique ayant tendance à se refermer à l'extrémité radiale des collines.
4. Cyclotron selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce qu'au moins un secteur présente une forme ou un champ magnétique dissymétrique par rapport aux autres secteurs.
5. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce qu'on réduit l'angle d'un des secteurs au niveau du rayon polaire.
6. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce qu'on réalise une distribution particulière du faisceau de particules de manière à irradier simultanément plusieurs cibles montées côte à côte sur la trajectoire du faisceau.
7. Utilisation de la méthode d'extraction des particules selon la revendication 1 ou du dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 6 pour la protonthérapie ou pour la production de radio-isotopes, et en particulier pour la production de radio-isotopes destinés à la tomographie par émission de positrons.

Patentansprüche

1. Methode zur Extraktion eines Bündels geladener Teilchen aus einem isochronen Zyklotron (1), das einen Elektromagneten umfaßt, der den magnetischen Kreis bildet, der mindestens eine gewisse Anzahl von "Hügel" genannten Sektoren (3, 3') enthält, wo der Luftspalt verringert ist, die durch Zwischenräume in Form von "Täler" genannten Sektoren (4) getrennt sind, wo der Luftspalt größer ist; wobei die Extraktionsmethode dadurch gekennzeichnet ist, daß das Teilchenbündel ohne Verwendung einer Extraktionsvorrichtung durch eine besondere Anordnung des Magnetfeldes extrahiert wird, die erhalten wird, wenn der Luftspalt des Magneten bei den Hügeln (3, 3') des isochronen Zyklotrons so ausgelegt wird, daß das Verhältnis der Abmessung des Luftspaltes des Magneten bei den Hügeln in der Nähe des maximalen Radius zu der Zunahme des Radius pro Umlauf der durch das Zyklotron beschleunigten Teilchen bei diesem Radius kleiner als 20 ist.
2. Isochrones Zyklotron, bei dem ein Teilchenbündel durch Sektoren fokussiert wird, und das einen Elektromagneten

umfaßt, der den magnetischen Kreis bildet, der mindestens eine gewisse Anzahl von "Hügel" genannten Sektoren (3, 3') enthält, wo der Luftspalt kleiner ist, die durch Zwischenräume in Form von "Täler" genannten Sektoren (4) getrennt sind, wo der Luftspalt eine größere Abmessung hat, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftspalt des Magneten bei den Hügeln (3, 3') so ausgelegt ist, daß das Verhältnis der Abmessung des Luftspalts des Magneten bei den Hügeln in der Nähe des maximalen Radius zu der Zunahme des Radius pro Umlauf der durch das Zyklotron beschleunigten Teilchen bei diesem Radius kleiner als 20 ist.

3. Isochrones Zyklotron gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Profil des Luftspaltes des Magneten bei den Hügeln ein elliptisches Profil ist, das dazu neigt, sich an dem radialen Ende der Hügel zu schließen.

4. Zyklotron gemäß Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Sektor eine bezüglich der anderen Sektoren unsymmetrische Form oder ein bezüglich der anderen Sektoren unsymmetrisches Magnetfeld aufweist.

5. Zyklotron gemäß irgendeinem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel von einem der Sektoren im Bereich des Polradius verringert wird.

6. Zyklotron gemäß irgendeinem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine besondere verteilung des Teilchenbündels verwirklicht wird, so daß mehrere, die in der Bahn des Bündels nebeneinander angebrachte Targets gleichzeitig bestrahlt werden.

7. Verwendung der Methode zur Extraktion der Teilchen gemäß dem Anspruch 1, oder der Vorrichtung gemäß irgendeinem der Ansprüche 2 bis 6 zur Protonentherapie oder zur Erzeugung von Radioisotopen, und insbesondere zur Erzeugung von Radioisotopen, die für die Positronenemissionstomographie bestimmt sind.

Claims

1. Method of extracting a beam of charged particles from an isochronous cyclotron (1) having an electromagnet constituting the magnetic circuit which includes at least a certain number of sectors (3, 3'), referred to as "hills", where the air gap is reduced, these being separated by spaces in the form of sectors (4), referred to as "valleys", where the air gap is of larger size, the extraction method being characterized in that the particle beam is extracted by a particular arrangement of the magnetic field, without resorting to an extraction device, this arrangement being obtained by designing the air gap of the magnet at the hills (3, 3') of the isochronous cyclotron in such a way that the ratio of the dimension of the air gap of the magnet at the hills in the vicinity of the maximum radius to the gain in radius per circuit of the particles accelerated by the cyclotron at this radius is less than 20.

2. Isochronous cyclotron in which a particle beam is focused by sectors and which has an electromagnet constituting a magnetic circuit which includes at least a certain number of sectors (3, 3'), referred to as "hills", where an air gap is reduced, these being separated by spaces in the form of sectors (4), referred to as "valleys", where an air gap is of larger size, characterized in that the air gap of the magnet at the hills (3, 3') is designed in such a way that the ratio of the dimension of the air gap of the magnet at the hills in the vicinity of the maximum radius to the gain in radius per circuit of the particles accelerated by the cyclotron at this radius is less than 20.

3. Isochronous cyclotron according to Claim 2, characterized in that the profile of the air gap of the magnet at the hills is an elliptical profile tending to close on itself at the radial end of the hills.

4. Cyclotron according to Claim 2 or 3, characterized in that at least one sector has a shape or a magnetic field that is asymmetric with respect to the other sectors.

5. Cyclotron according to any one of Claims 2 to 4, characterized in that the angle of one of the sectors is reduced at the pole radius.

6. Cyclotron according to any one of Claims 2 to 4, characterized in that a particular distribution of the particle beam is produced so as simultaneously to irradiate a plurality of targets mounted side by side on the path of the beam.

7. Use of the particle extraction method according to Claim 1 or of the device according to any one of Claims 2 to 6 for proton therapy or for the production of radioisotopes, and in particular for the production of radioisotopes which

are intended for positron emission tomography.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Figure 1

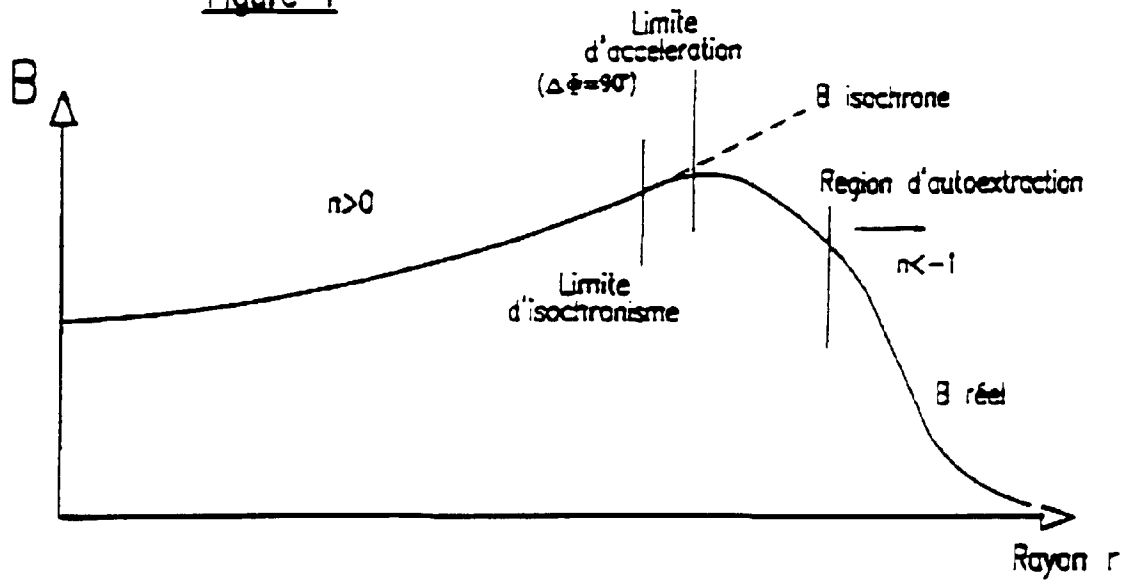


Figure 2

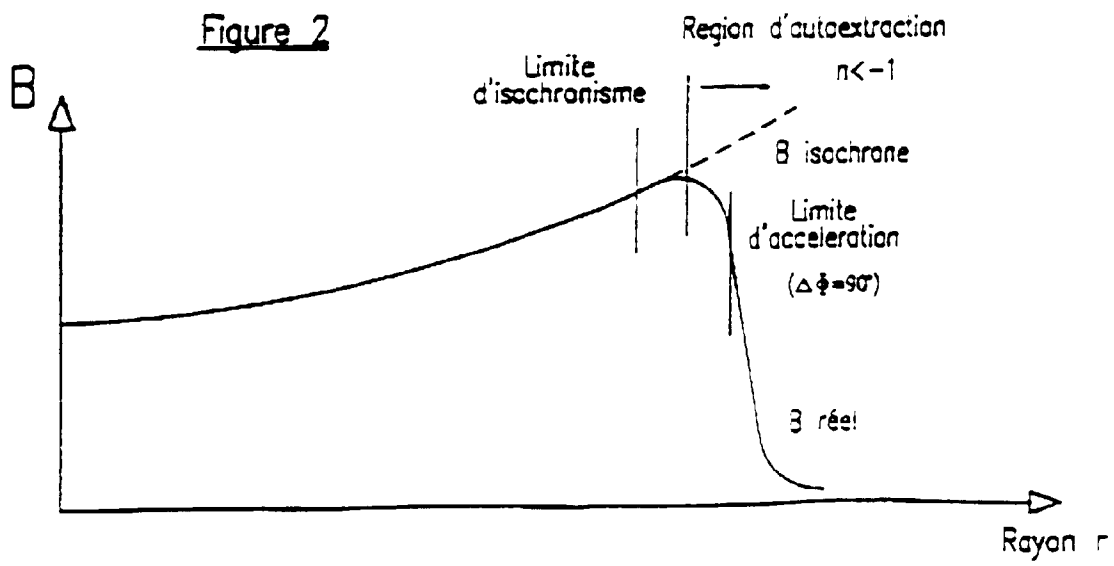
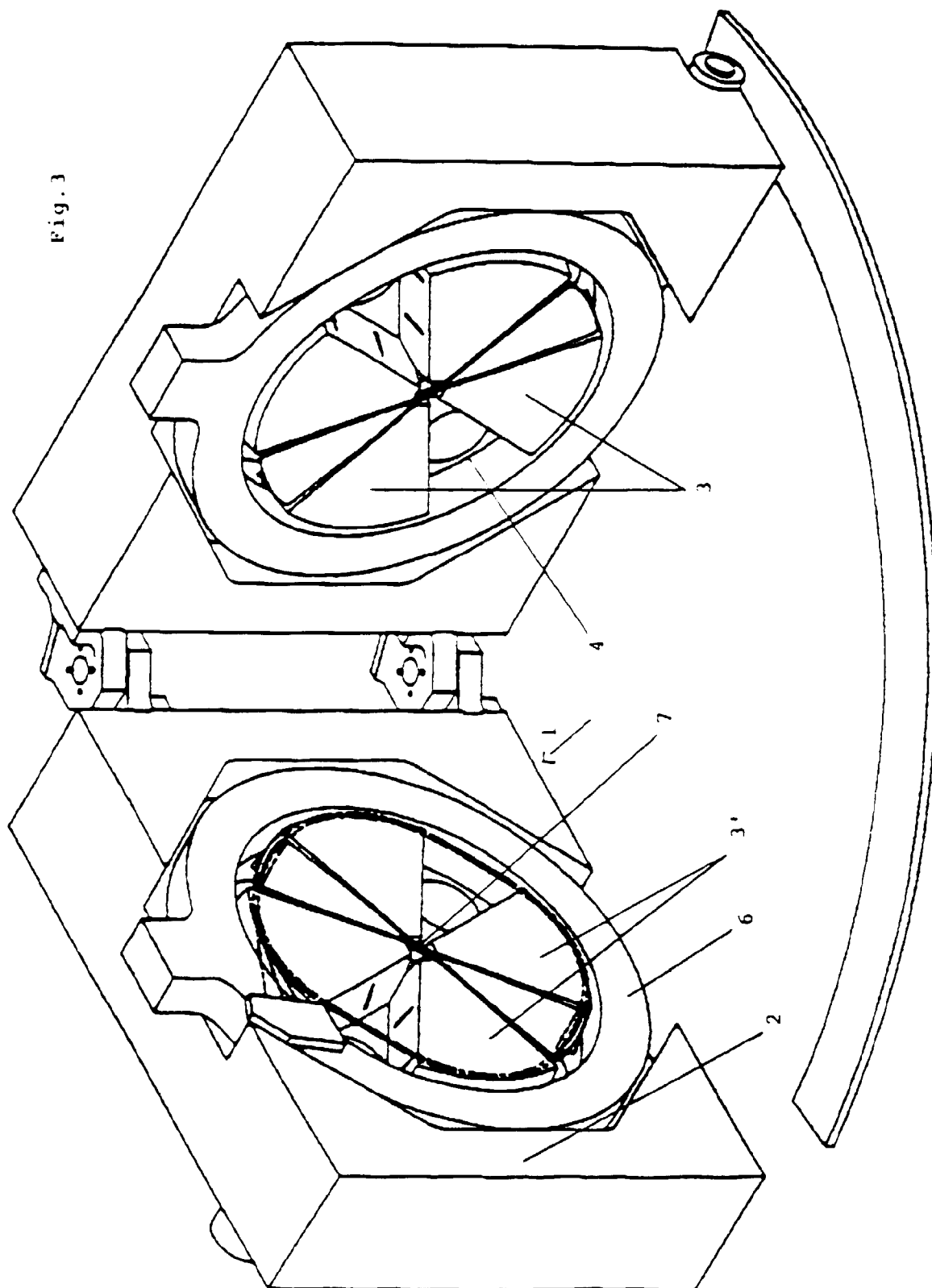


Fig. 3



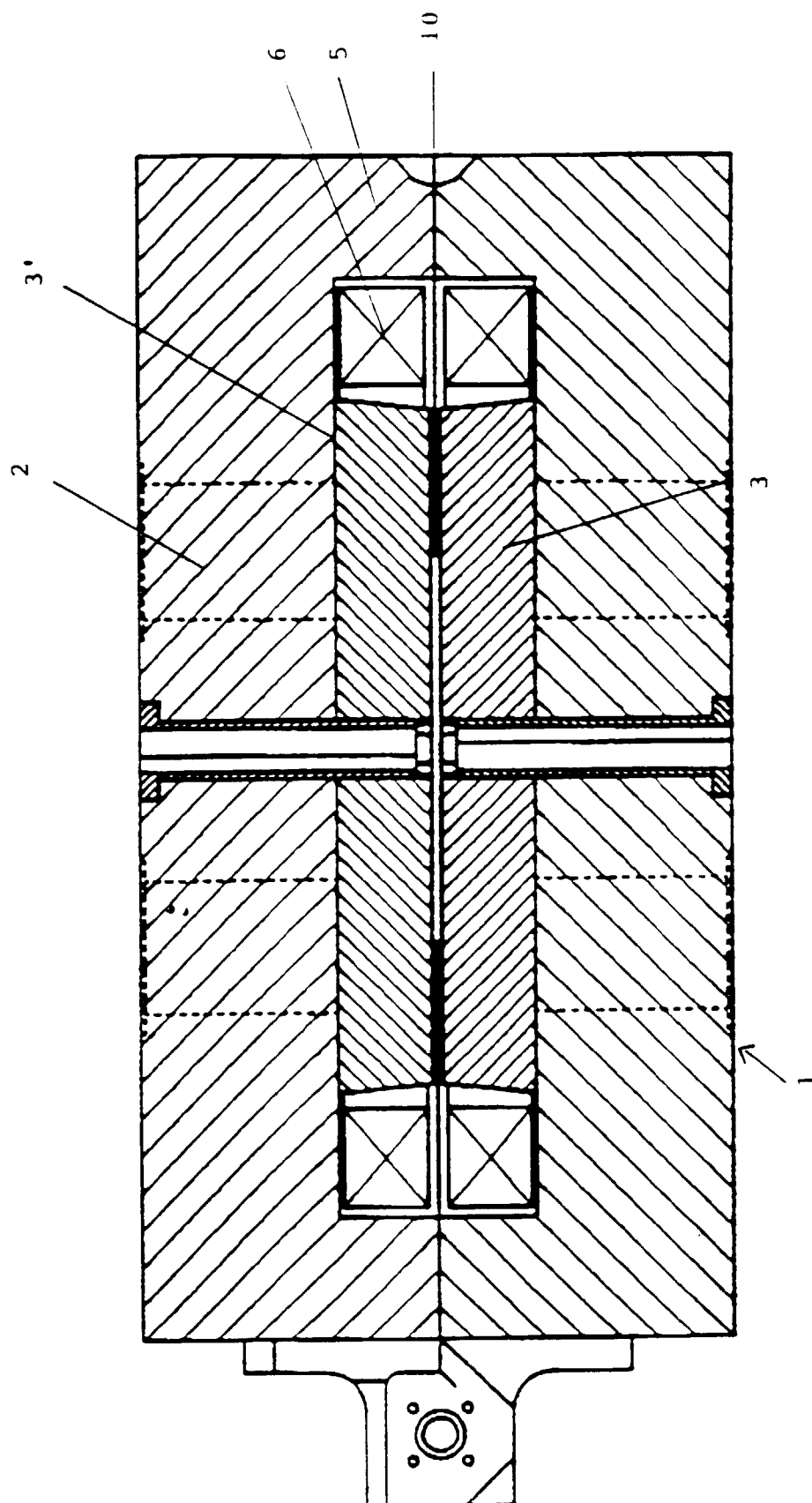


Fig. 4