



NUMERO DE PUBLICATION : 1003551A3

NUMERO DE DEPOT : 8901242

Classif. Internat.: H05H

MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

Date de délivrance : 21 Avril 1992

---

Le Ministre des Affaires Economiques,

Vu la loi du 28 Mars 1984 sur les brevets d' invention, notamment l' article 22;

Vu l' arrêté royal du 2 Décembre 1986 relatif à la demande, à la délivrance et au maintien en vigueur des brevets d' invention, notamment l' article 28;

Vu le procès verbal dressé le 21 Novembre 1989 à 15h45  
à l' Office de la Propriété Industrielle

## ARRETE :

ARTICLE 1.- Il est délivré à : ION BEAM APPLICATIONS S.A.  
avenue Jean J.E. Lenoir 6, 1348 LOUVAIN-LA-NEUVE(BELGIQUE)

représenté(e)(s) par : VAN MALDEREN Michel, OFFICE VAN MALDEREN, Avenue J.-S. Bach,  
22 bte 43 - B 1080 BRUXELLES.

un brevet d' invention d' une durée de 20 ans, sous réserve du paiement des taxes annuelles, pour : CYCLOTRONS FOCALISES PAR SECTEURS.

INVENTEUR(S) : Jongen Yves, rue du Castinia 13/302, 1348 LOUVAIN-LA-NEUVE (BE)

ARTICLE 2.- Ce brevet est délivré sans examen préalable de la brevetabilité de l' invention, sans garantie du mérite de l' invention ou de l' exactitude de la description de celle-ci et aux risques et périls du(des) demandeur(s).

Bruxelles, le 21 Avril 1992  
PAR DELEGATION SPECIALE :

WUYTS L  
Directeur

5

10

### CYCLOTRONS FOCALISES PAR SECTEURS

#### Objet de l'invention

La présente invention concerne des cyclotrons où le faisceau de particules est focalisé par secteurs. Plus particulièrement, la présente invention concerne des cyclotrons isochrones comportant un circuit magnétique constitué par au moins deux secteurs appelés "collines" où l'entrefer est réduit, séparés par des espacements en forme de secteurs appelés "vallées" où l'entrefer est de dimension plus grande.

20

La présente invention concerne à la fois les cyclotrons supraconducteurs et non supraconducteurs.

#### Etat de la technique

Les cyclotrons sont des accélérateurs de particules utilisés en particulier pour la production d'isotopes radioactifs.

25

Les cyclotrons se composent habituellement de trois ensembles principaux distincts constitués par l'électro-aimant, le résonateur haute fréquence et l'enceinte à vide avec pompes.

30

L'électro-aimant assure le guidage des ions sur une trajectoire représentant approximativement une spirale de rayon croissant au cours de l'accélération. Cet aimant peut utiliser des bobinages classiques ou supraconducteurs.

35

Dans les cyclotrons modernes, dits cyclotrons isochrones ou focalisés par secteurs, les pôles de l'électro-aimant sont divisés en secteurs présentant alternativement un entrefer réduit et un entrefer plus grand. La variation

azimuthale du champ magnétique qui en résulte a pour effet d'assurer la focalisation verticale du faisceau au cours de l'accélération.

Les électrodes accélératrices (fréquemment appelées "dés" pour des raisons historiques) sont destinées à accélérer les particules en rotation dans le cyclotron. On applique 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 exact de la fréquence de rotation des particules dans l'aimant, ce qui a pour effet, d'accélérer les faisceaux de particules tournant dans la machine.

Pour pouvoir engendrer sur les électrodes accélératrices des tensions élevées à des fréquences très hautes, on éprouve généralement le besoin de raccorder l'électrode accélératrice au potentiel électrique de la masse par un élément de circuit électrique possédant un caractère inductif. L'ensemble fourni par l'électrode accélératrice, qui possède un aspect capacitif vis-à-vis de la masse, et de l'élément inductif ainsi décrit forme un circuit électromagnétique résonnant, possédant un facteur de surtension élevé. L'ensemble ainsi formé est appelé le "résonateur haute fréquence" ou "électrodes accélératrices résonnantes".

Enfin, l'action de pompes permet d'obtenir un vide poussé dans l'enceinte hermétique entourant les collines et les résonateurs haute fréquence, appelée de ce fait enceinte à vide.

Un mode de réalisation particulièrement favorable pour un cyclotron est décrit dans la demande de brevet européen n° 86902291.3 où l'entrefer des secteurs appelés collines est réduit à une valeur proche de la taille du faisceau accéléré, tandis que l'entrefer des secteurs appelés vallées, qui séparent les collines, est très grand de façon telle que le champ magnétique y est approximativement nul.

Dans ce mode de réalisation préférentiel, les résonateurs haute fréquence sont installés dans deux vallées opposées. Ces systèmes résonnants haute fréquence sont composés des électrodes accélératrices et de piliers verticaux,

électriquement conducteurs, raccordant les électrodes à la masse et formant avec les électrodes un circuit électromagnétique résonnant à un multiple de la fréquence choisie pour l'accélération du faisceau.

5 **Buts de l'invention**

La présente invention vise à fournir une construction plus simple et plus économique d'un cyclotron focalisé par secteurs.

La présente invention vise également à augmenter.  
10 la fiabilité du cyclotron du fait de son dessin simplifié.

Un but complémentaire est d'augmenter l'efficacité de l'accélération du faisceau par un choix adéquat de différents paramètres.

D'autres buts et avantages apparaîtront dans la  
15 description qui suit.

**Principaux éléments caractéristiques**

La présente invention consiste à confondre en un même organe des secteurs magnétiques assurant la focalisation du faisceau appelés collines, avec le système accélérateur,  
20 dit résonateur haute fréquence, par un choix approprié de leur configuration et de leurs dimensions.

Ces collines sont dimensionnées de manière à présenter une résonance électromagnétique de haute fréquence permettant ainsi de développer des tensions alternatives  
25 requises pour l'accélération des particules.

On entend par haute fréquence des valeurs supérieures à 10 mégacycles par seconde.

En particulier, l'effet désiré selon l'invention peut être atteint par les dispositions suivantes :

30 - les deux collines situées symétriquement par rapport au plan médian et destinées à jouer le rôle d'électrode accélératrice résonnante doivent être substantiellement disjointes des collines voisines de la chambre à vide. Elles ne se raccordent au potentiel de la masse qu'à leur base,  
35 du côté le plus éloigné du plan médian. Ces deux collines peuvent être connectées électriquement l'une à l'autre (mais de manière à ne pas interférer avec l'accélération des particules). Cette dernière connexion, assurant une

parfaite symétrie des tensions radiofréquence de part et d'autre du plan médian, est recommandée mais n'est toutefois pas indispensable pour atteindre l'effet désiré de l'invention.

- 5 - la fréquence accélératrice choisie, qui est un multiple exact de la fréquence de rotation des ions dans le cyclotron, doit être telle que la longueur d'onde associée soit supérieure à quatre fois la profondeur des vallées. Un fonctionnement particulièrement favorable est obtenu
- 10 lorsque la longueur d'onde associée à la fréquence accélératrice est comprise entre cinq fois et dix fois la profondeur des vallées.
- une capacité réglable est prévue entre la paire de collines résonnantes et une électrode au potentiel de la masse (par
- 15 exemple la boîte à vide) afin d'assurer le réglage fin de la fréquence de résonance du résonateur.

#### Brève description des figures

- La figure 1 représente une vue en coupe dans le plan médian du cyclotron selon l'invention.
- 20 - La figure 2 représente une vue en coupe radiale selon la ligne A-A de la figure 1.
- La figure 3 représente une vue en coupe azimuthale selon la ligne B-B de la figure 1.

#### Description d'une forme d'exécution préférée du cyclotron selon l'invention

25 Le cyclotron représenté schématiquement aux figures 1, 2 et 3 est un cyclotron destiné à l'accélération de protons jusqu'à une énergie de 250 MeV.

30 La structure magnétique du cyclotron se compose d'un certain nombre d'éléments réalisés en un matériau ferromagnétique (1, 2, 3 et 9) et de bobines 4 réalisées en un matériau de préférence conducteur, (ou supraconducteur).

La structure ferromagnétique est constituée de :

- deux plaques de base 2 et 2' appelées culasses;
- 35 - d'au moins deux secteurs supérieurs appelés collines 1 et/ou 9 et d'un même nombre de secteurs inférieurs 1' et/ou 9' situés symétriquement aux secteurs supérieurs 7 et/ou 9 par rapport au plan de symétrie 7 dit plan médian séparés

par un faible entrefer; entre chaque colline est situé un espace où l'entrefer est de dimension plus élevée appelé "vallée" 11 et 11';

- d'au moins deux retours de flux 3 réunissant de façon rigide la culasse inférieure 2 à la culasse supérieure 2'.

Les bobines 4 sont de forme essentiellement circulaire et sont localisées dans l'espace annulaire laissé entre les secteurs 1 et 9 et les retours de flux.

Ces bobines peuvent être réalisées dans un matériau supraconducteur, mais dans ce cas il faudra prévoir les dispositifs de cryogénie nécessaires.

Le conduit central 8 est destiné à recevoir, au moins en partie, la source de particules à accélérer qui sont injectées au centre de l'appareil par des moyens connus en soi.

Dans un mode d'exécution particulièrement préféré de l'invention, le cyclotron possède avantageusement 4 paires de collines dont 2 paires 1 et 1' sont du type résonnant et assurent de ce fait l'accélération.

Les deux autres paires de collines 9 et 9' sont connectées électriquement à la boîte à vide 5 et ne résonnent donc pas.

Le champ magnétique moyen au rayon d'extraction est de 2,4 Tesla. La fréquence de rotation correspondante des protons est d'environ  $30 \cdot 10^6$  rotations par seconde. La fréquence accélératrice choisie est deux fois supérieure soit 60 mégacycles par seconde, la longueur d'onde correspondante étant de 4.62 m.

La profondeur des vallées 11 et 11' mesurée à partir du plan médian est de 55 cm.

Dans ce cas, l'obtention de la résonance à 60 mégacycles par seconde requiert l'addition d'une capacité supplémentaire de 120 picofarads par ensemble résonateur. Une partie de cette capacité résulte de l'adjonction d'électrodes aidant l'accélération du faisceau au centre de la machine et le reste est fourni par un condensateur variable 6 installé dans le plan médian 7 entre le résonateur 1 et la boîte à vide 5.

Les connexions électriques 10 entre collines résonnantes permettent d'assurer une parfaite symétrie des tensions radiofréquence de part et d'autre du plan médian 7.

On peut considérer que les collines ainsi décrites, 5 disjointes des autres collines et de la boîte à vide constituent le conducteur d'une ligne de transmission coaxiale dont le conducteur extérieur est constitué par la boîte à vide et les autres collines. On peut considérer que le segment de ligne coaxiale ainsi formé est court-circuité aux deux extré- 10 mités, à l'endroit où les collines viennent s'attacher aux plaques de base du cyclotron.

Il est bien connu en électromagnétisme qu'une telle ligne coaxiale ainsi court-circuitée aux deux extrémités présente une résonance électromagnétique à une fréquence 15 telle que la longueur d'onde associée est égale au double de la longueur du segment de la ligne coaxiale court-circuitée.

Pour cette résonance électromagnétique, le maximum de tension est observé au milieu de la ligne soit, dans le cyclotron, au niveau du plan médian où s'accélèrent les 20 particules.

Enfin, il est bien connu en électromagnétisme que la résonance précitée peut être déplacée à une fréquence plus basse, en plaçant une capacité supplémentaire entre le conducteur intérieur et extérieur de ligne coaxiale, de préfé- 25 rence en son milieu.

D'autre part, la distance angulaire entre deux espaces d'accélération (espaces situés entre deux collines jouant le rôle de résonateur de haute fréquence) peut avantageusement être l'angle séparant deux vallées successives 30 alors que dans les configurations classiques l'angle maximum entre deux espaces accélérateurs doit être inférieur à l'angle d'une vallée.

Ceci permet l'utilisation d'angles plus grands entre les espaces d'accélération, ce qui permet dans certains 35 cas, une accélération beaucoup plus efficace du faisceau.

Dans le cas de la géométrie précitée, l'obtention d'une tension alternative de 100 kW ne requiert qu'une puissance radiofréquence de 30 kW par résonateur.

REVENDEICATIONS

1. Cyclotron caractérisé en ce qu'il comporte des secteurs magnétiques assurant la focalisation (collines) qui sont dimensionnés de façon à présenter une résonance électromagnétique à une fréquence supérieure à 10 mégacycles par seconde, telle que les champs électriques de haute fréquence résultant de cette résonance peuvent être utilisés pour l'accélération des particules.

2. Cyclotron selon la revendication 1 caractérisé en ce que la fréquence choisie pour l'accélération des particules est telle que la longueur d'onde associée à cette fréquence est supérieure à quatre fois la profondeur des vallées mesurée à partir du plan médian.

3. Cyclotron selon la revendication 2 caractérisé en ce que la longueur d'onde associée à la fréquence accélératrice est comprise entre cinq fois et dix fois la profondeur des vallées mesurées à partir du plan médian.

4. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que les deux collines situées symétriquement par rapport au plan médian et destinées à jouer le rôle d'une électrode accélératrice résonnante sont disjointes des autres paires de collines.

5. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que les deux collines situées symétriquement par rapport au plan médian et destinées à jouer le rôle d'une électrode accélératrice résonnante sont connectées électriquement l'une à l'autre.

6. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'une capacité réglable est prévue entre la paire de collines résonnantes et une électrode au potentiel de la masse.



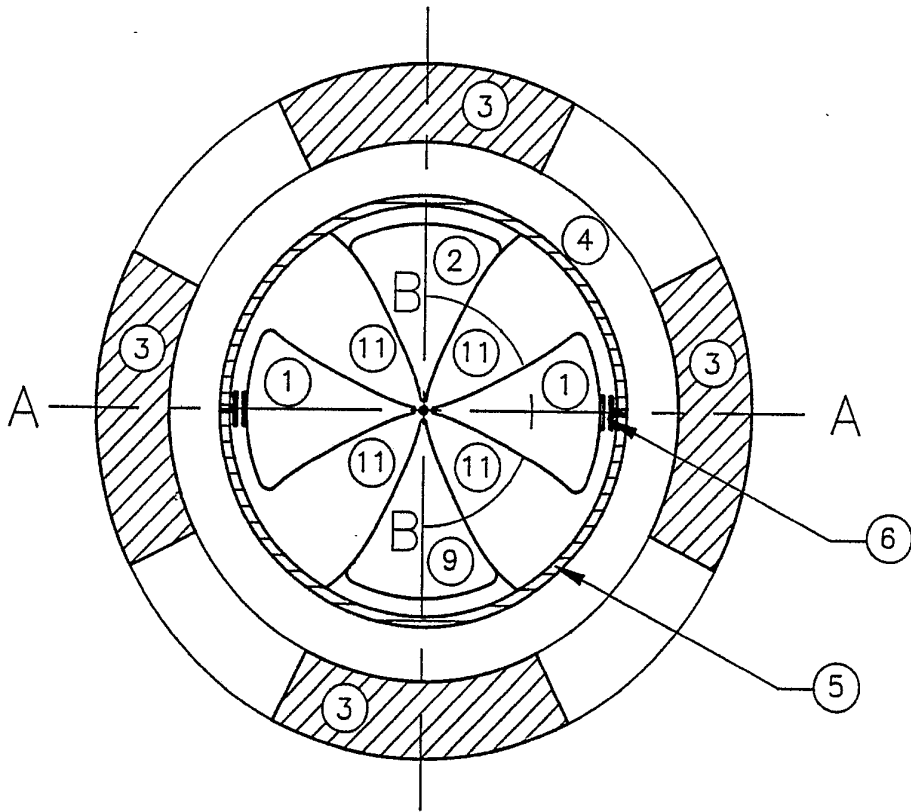


FIG. 1

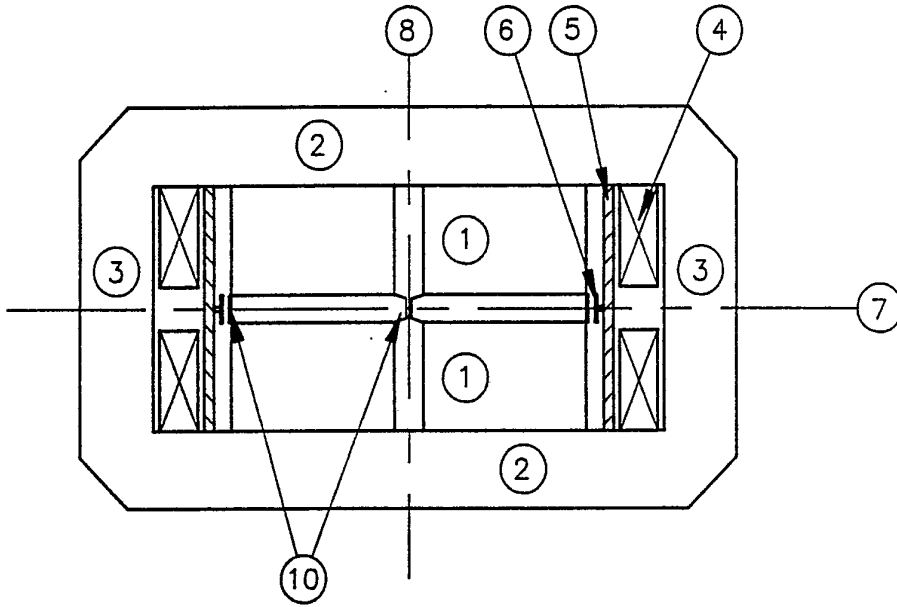


FIG. 2

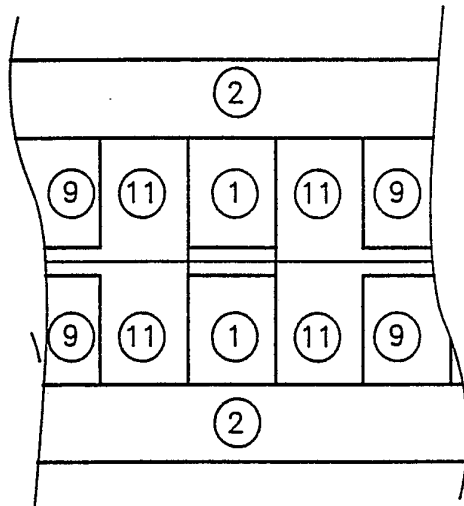


FIG. 3



Office européen  
des brevets

### RAPPORT DE RECHERCHE

établi en vertu de l'article 21 § 1 et 2  
de la loi belge sur les brevets d'invention  
du 28 mars 1984

Numero de la demande  
nationale

BE 8901242  
BO 2287

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
X	NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. vol. A254, no. 2, 15 février 1987, AMSTERDAM NL pages 237 - 251; BIGHAM ET AL: "FIRST OPERATION OF THE CHALK RIVER SUPERCONDUCTING CYCLOTRON" * page 239, colonne de droite, alinéa 3 - page 240, ligne R, alinéa 4; figure 4 *	1	H05H13/00
A	---	2-6	
D,A	WO-A-8606924 (UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN) * page 2, ligne 32 - page 3, ligne 16; figures *	1, 5	
A	FR-A-2176485 (THOMSON-CSF) * page 2, ligne 22 - page 3, ligne 7; figures *	1, 4, 5	
A	US-A-3175131 (BURLEIGH ET AL) * colonne 3, lignes 39 - 58; figures 1, 2 *	1	
A	EP-A-128052 (C.G.R. MEV) -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			H05H
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
LA HAYE		09 NOVEMBRE 1990	ERRANI C.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.82 (P0448)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET BELGE NO.**

BE 8901242  
BO 2287

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 09/11/90  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO-A-8606924	20-11-86	LU-A- 85895	05-12-86
		EP-A, B 0222786	27-05-87
		JP-T- 63501533	09-06-88
		US-A- 4771208	13-09-88
FR-A-2176485	02-11-73	Aucun	
US-A-3175131		Aucun	
EP-A-128052	12-12-84	FR-A, B 2544580	19-10-84
		DE-A- 3472054	14-07-88
		US-A- 4639634	27-01-87

EPO FORM P0463

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82