

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 055 507

21 N° d'enregistrement national : 16 58064

51 Int Cl⁸ : H 05 H 13/02 (2017.01)

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 31.08.16.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 02.03.18 Bulletin 18/09.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : AIMA DEVELOPPEMENT Société
anonyme — FR.

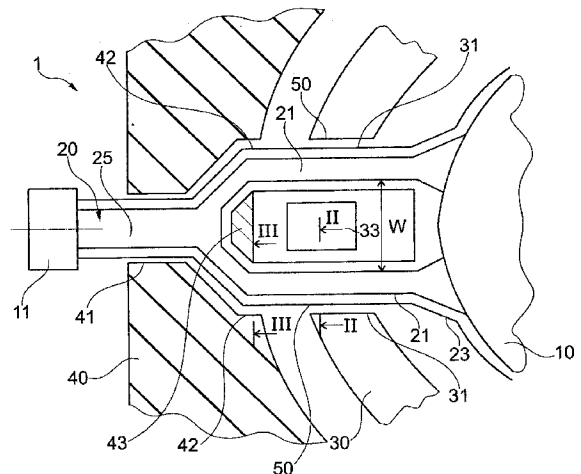
72 Inventeur(s) : MANDRILLON PIERRE et MANDRIL-
LON JEROME.

73 Titulaire(s) : AIMA DEVELOPPEMENT Société ano-
nyme.

74 Mandataire(s) : CABINET NONY.

54 SYNCHROCYCLOTRON SUPRACONDUCTEUR.

57 Synchrocyclotron supraconducteur comportant au
moins un Dé relié à une source HF de fréquence variable
par un stem, et au moins une bobine supraconductrice dis-
posée dans un cryostat, caractérisé par le fait que le stem
se divise en au moins deux branches en allant de la source
HF vers le Dé, ces branches traversant chacune le cryostat
à la faveur d'une ouverture respective.



FR 3 055 507 - A1



SYNCHROCYCLOTRON SUPRACONDUCTEUR

La présente invention concerne les synchrocyclotrons, et plus particulièrement les synchrocyclotrons supraconducteurs.

Les synchrocyclotrons sont actuellement utilisés en protonthérapie pour traiter
5 certaines tumeurs-en radiothérapie de haute précision, notamment chez l'enfant.

Un synchrocyclotron supraconducteur comporte classiquement une cavité accélératrice au sein de laquelle un champ accélérateur est généré par au moins un Dé relié à une source HF de fréquence variable par un élément appelé « stem » qui assure également son maintien mécanique en porte-à-faux à l'intérieur de la cavité accélératrice.
10 Les particules sont amenées à décrire des révolutions à l'aide d'un champ magnétique puissant, généré au moyen de bobines supraconductrices maintenues à basse température au sein d'un cryostat. Ce dernier est traversé par le stem et comporte un support qui maintient les bobines en place. La tenue mécanique de ce support doit lui permettre de résister, notamment là où il est affaibli par l'ouverture de passage du stem, aux forces
15 d'origine électromagnétiques créées par les bobines, ainsi qu'à la contraction de ces dernières lors de leur refroidissement.

Un synchrocyclotron de ce type, destiné à la protonthérapie, a été présenté lors du 38^{ème} European Cyclotron Progress Meeting (ECPM) en mai 2012.

Il existe un besoin pour disposer d'accélérateurs de plus grande énergie
20 capables d'accélérer des particules plus lourdes que les protons, notamment des particules alpha, les bénéfiques sur le plan clinique de tels accélérateurs étant très importants.

Néanmoins, les accélérateurs pour l'hadronthérapie (c'est-à-dire accélérant des hadrons, i.e. protons et particules chargées plus lourdes) se doivent de rester le plus compact possible pour limiter les travaux d'infrastructure lors de leur installation et
25 conserver un coût compatible avec leur diffusion auprès du plus grand nombre d'hôpitaux.

L'accroissement de la taille de l'accélérateur entraîne celle du Dé.

Il est connu du synchrocyclotron installé à l'université de Nevis de reprendre une partie du poids du Dé à l'aide d'isolateurs placés au centre de la chambre accélératrice.

Une telle solution pose un problème de maintenance car les isolateurs sont
30 soumis au champ radiofréquence, s'échauffent, s'usent rapidement et deviennent radioactifs.

Il subsiste par conséquent un besoin pour perfectionner encore les synchrocyclotrons supraconducteurs afin de faciliter la réalisation de synchrocyclotrons de plus forte puissance et qui restent relativement compacts.

5 L'invention répond à ce besoin grâce à un synchrocyclotron supraconducteur comportant au moins un Dé relié à une source HF de fréquence variable par un stem, et au moins une bobine supraconductrice disposée dans un cryostat, caractérisé par le fait que le stem se divise en au moins deux branches en allant de la source HF vers le Dé, ces branches traversant chacune le cryostat à la faveur d'une ouverture respective.

10 Un tel synchrocyclotron est avantageusement configuré pour accélérer des ions plus lourds que les protons, notamment des deutons ou des ions He^3 , He^4 , carbone, néon ou oxygène.

15 Grâce à l'invention, le Dé peut être supporté mécaniquement en porte-à-faux sans qu'il soit nécessaire de prévoir un maintien par des isolateurs au centre de la cavité accélératrice, les branches du stem étant réalisées avec l'inertie nécessaire pour maîtriser la flèche du Dé.

La traversée du cryostat se fait par des ouvertures de taille plus restreinte que pour un stem sans division, de sorte que le support des bobines disposé à l'intérieur du cryostat peut être réalisé plus facilement avec la résistance mécanique nécessaire pour tenir les bobines.

20 De plus, la division en branches du stem diminue l'impédance au niveau des branches, ce qui permet d'allonger le stem et d'éloigner la source HF, ce qui est avantageux notamment lorsque la source HF comporte un condensateur rotatif qu'il convient d'éloigner au mieux du champ magnétique de fuite de l'électroaimant de l'accélérateur.

25 Le synchrocyclotron peut comporter une culasse avec un retour de culasse pour refermer le champ. Dans ce cas, le retour de culasse est traversé par le stem. La division du stem peut avoir lieu à l'intérieur du retour de culasse. Les branches du stem peuvent sortir du retour de culasse en direction du cryostat par des ouvertures respectives du retour de culasse.

30 La source HF peut être de tout type, par exemple à condensateur rotatif, ou comporter une ferrite ou être à large bande.

De préférence le stem ne comporte que deux branches.

De préférence l'écart entre les branches est supérieur à la dimension transversale des branches mesurée parallèlement au plan médian d'accélération. Cela facilite la réalisation d'ouvertures séparées pour la traversée du cryostat.

L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, d'un exemple de mise en œuvre non limitatif de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé, sur lequel :

- La figure 1 est une vue de dessus schématique et partielle d'un synchrocyclotron selon l'invention, dans une direction perpendiculaire au plan médian de la cavité accélératrice,

10 - Les figures 2 et 3 sont des coupes schématiques selon II-II et III-III de la figure 1.

On a représenté à la figure 1 un synchrocyclotron supraconducteur 1 comportant de façon connue en soi une cavité accélératrice pourvu d'au moins un Dé 10 permettant de générer un champ électrique accélérateur.

15 Ce Dé 10 est relié à une source HF à fréquence variable 11 comportant par exemple un condensateur rotatif, connu en lui-même, par un stem 20.

Le synchrocyclotron 1 comporte un cryostat 30 qui entoure la cavité accélératrice et qui loge des bobines supraconductrices non représentées permettant de générer le champ magnétique nécessaire pour incurver la trajectoire des particules durant leur accélération afin de leur permettre de décrire des révolutions dans la cavité accélératrice.

Dans l'exemple considéré, le synchrocyclotron 1 comporte une culasse magnétique qui comporte un retour 40 permettant de refermer le champ magnétique généré par les bobines.

25 La partie 25 du stem 20 provenant de la source HF 11 pénètre par à l'intérieur du retour de culasse 40 par une ouverture 41 et s'y divise en deux branches 21, lesquelles sont de préférence parallèles, comme illustré. Ces dernières quittent le retour 40 par des ouvertures respectives 42 et traversent le cryostat 30 à la faveur d'ouvertures respectives 31. Les ouvertures 41 sont séparées par une portion pleine 43 du retour de culasse 40. Les ouvertures 31 du cryostat sont séparées par une portion 33 de celui-ci participant au support des bobines contenues à l'intérieur.

Un blindage de masse 23, encore appelé « liner », s'étend en regard du stem 20. Sur les figures 2 et 3, ce blindage 23 a été représenté espacé de la paroi des ouvertures 31 et 41 mais il peut en variante s'appliquer dessus.

5 L'écartement W entre les branches 21 est supérieur à la dimension transversale d des branches mesurée parallèlement au plan médian M de la cavité accélératrice.

Des moyens d'étanchéité 50 sont prévus pour assurer la traversée étanche du cryostat 30 par les branches 21 du stem 20.

Ces moyens d'étanchéité 50 sont par exemple disposés à l'entrée des ouvertures 31, comme illustré.

10 Bien entendu, l'invention n'est pas limitée à l'exemple qui vient d'être décrit.

Par exemple, la section des branches 21 du stem 20 peut être quelconque, notamment circulaire.

La forme du stem 20 peut varier, notamment l'orientation des branches 21, lesquelles peuvent par exemple diverger vers le Dé 10. La forme de ce dernier n'est pas
15 limitée à la forme illustrée.

REVENDICATIONS

1. Synchrocyclotron supraconducteur (1) comportant au moins un Dé (10) relié
5 à une source HF (11) de fréquence variable par un stem (20), et au moins une bobine supraconductrice disposée dans un cryostat (30), caractérisé par le fait que le stem (20) se divise en au moins deux branches (21) en allant de la source HF vers le Dé, ces branches traversant chacune le cryostat à la faveur d'une ouverture respective (31).
2. Synchrocyclotron selon la revendication 1, comportant une culasse
10 magnétique et un retour de culasse (40) traversé par le stem (20).
3. Synchrocyclotron selon la revendication 2, la division du stem ayant lieu à l'intérieur du retour de culasse.
4. Synchrocyclotron selon la revendication 3, les branches (21) du stem sortant
15 du retour de culasse en direction du cryostat par des ouvertures respectives (42) du retour de culasse (40).
5. Synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, la source HF étant à condensateur rotatif (11).
6. Synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, la source
20 HF comportant une ferrite.
7. Synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, la source HF est à large bande.
8. Synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, le stem (20) ne se divisant qu'en deux branches (21).
9. Synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes,
25 l'écart (W) entre les branches (21) étant supérieur à la dimension transversale (d) des branches mesurées parallèlement au plan médian d'accélération (M).
10. Utilisation du synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, pour accélérer des ions plus lourds que les protons.

1/1

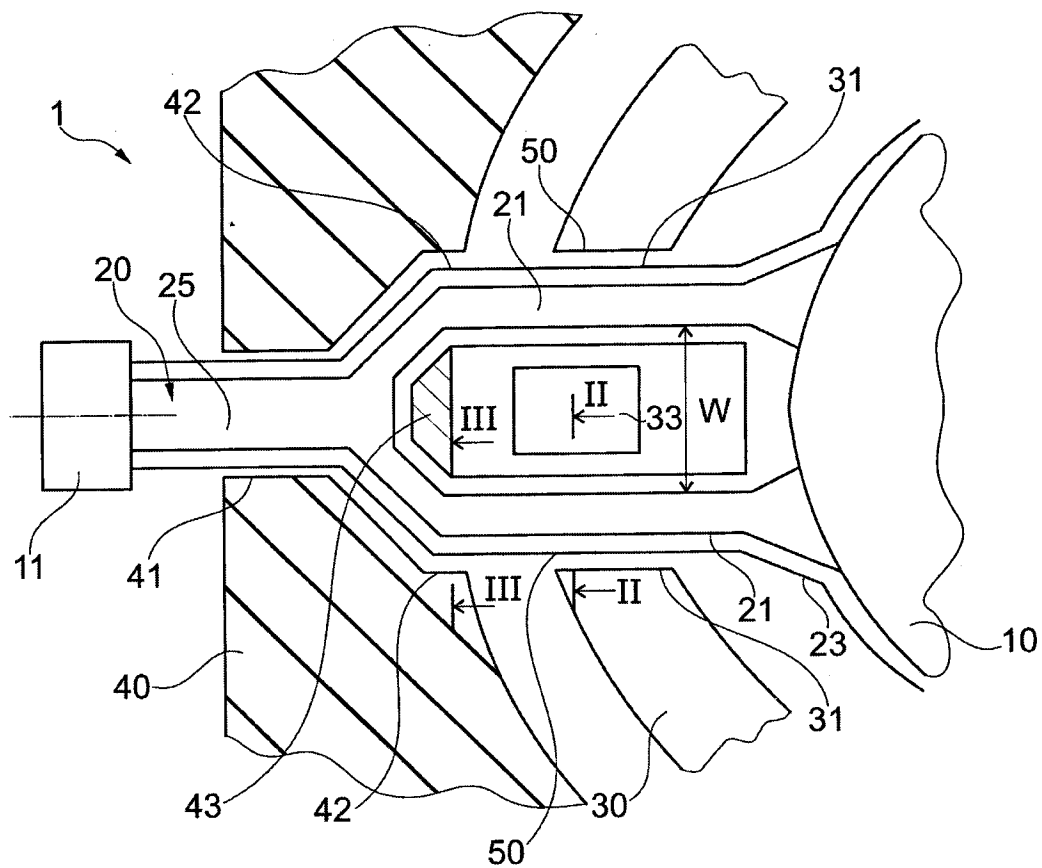


Fig. 1

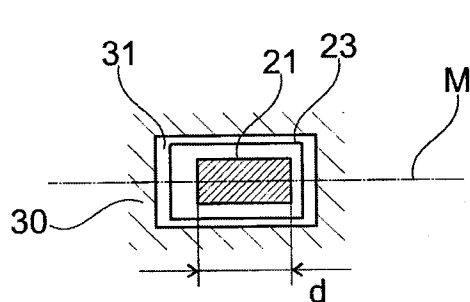


Fig. 2

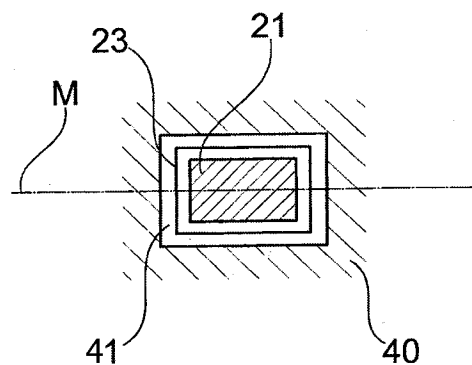


Fig. 3



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 835810
FR 1658064

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	W. J.G.M KLEEVEN ET AL: "The IBA Superconducting Synchrocyclotron Project S2C2", CYCLOTRONS2013, 1 mars 2014 (2014-03-01), XP055380634, * page 1 - page 18 *	1-10	H05H13/02
A	WO 2014/177748 A1 (CT DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS CIEM) 6 novembre 2014 (2014-11-06) * page 3, ligne 17 - page 12, ligne 27 * * figures 1-5 *	1-10	
A	WO 2007/130164 A2 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]; ANTAYA TIMOTHY A [US]) 15 novembre 2007 (2007-11-15) * figures 1,5-8 * * page 6, ligne 16 - page 27, ligne 15 *	1-10	
A	US 4 345 210 A (TRAN DUC T) 17 août 1982 (1982-08-17) * figure 4 * * colonne 2, ligne 54 - colonne 3, ligne 46 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H05H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
21 juin 2017		Clemente, Gianluigi	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1658064 FA 835810**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **21-06-2017**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2014177748 A1	06-11-2014	ES 2436010 A1	26-12-2013
		WO 2014177748 A1	06-11-2014

WO 2007130164 A2	15-11-2007	AT 460071 T	15-03-2010
		EP 1977631 A1	08-10-2008
		EP 1977632 A2	08-10-2008
		EP 2190269 A2	26-05-2010
		JP 5481070 B2	23-04-2014
		JP 2009524200 A	25-06-2009
		JP 2009524201 A	25-06-2009
		US 2007171015 A1	26-07-2007
		US 2009206967 A1	20-08-2009
		US 2010148895 A1	17-06-2010
		US 2011193666 A1	11-08-2011
		US 2012142538 A1	07-06-2012
		WO 2007084701 A1	26-07-2007
		WO 2007130164 A2	15-11-2007

US 4345210 A	17-08-1982	CA 1139819 A	18-01-1983
		FR 2458201 A1	26-12-1980
		JP S55163800 A	20-12-1980
		NO 801633 A	01-12-1980
		US 4345210 A	17-08-1982
