



MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

NUMERO DE PUBLICATION : 1005530A4

NUMERO DE DEPOT : 09101080

Classif. Internat. : H05H

Date de délivrance le : 28 Septembre 1993

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 22 Novembre 1991 à 24H00 à l'Office de la Propriété Industrielle

ARRETE :

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

représenté(e)(s) par : VAN MALDEREN Michel, OFFICE VAN MALDEREN, Place Reine
Fabiola 6/1 - B 1080 BRUXELLES.

un brevet d'invention d'une durée de 20 ans, sous réserve du paiement des taxes
annuelles, pour : CYCLOTRON ISOCHRONE

INVENTEUR(S) : Laisne André, Allée du Champ de la Mare 86, Chevry 2, F-91190
Gif-sur-Yvette (FR)

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) demandeurs(s).

Bruxelles, le 28 Septembre 1993
PAR DELEGATION SPECIALE :

G. DE CLYPERE
Secrétaire d'administration

5

10

CYCLOTRON ISOCHRONEObjet de l'invention

La présente invention concerne un cyclotron isochrone de conception nouvelle dans lequel le faisceau de particules est focalisé par secteurs. Plus particulièrement, la présente invention concerne un cyclotron isochrone comportant un circuit magnétique incluant au moins trois 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 plus particulièrement un cyclotron isochrone compact c'est-à-dire énergétisé par au moins une paire de bobines circulaires principales entourant les pôles.

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

25

Etat de la technique

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

30

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

35

L'électro-aimant assure le guidage des ions sur une trajectoire représentant approximativement une spirale de rayon croissant au cours de l'accélération.

Dans les cyclotrons modernes de type isochrone les pôles de l'électro-aimant sont divisés en secteurs présentant alternativement un entrefer réduit et un entrefer plus grand. La variation azimutale du champ magnétique qui en résulte a
5 pour effet d'assurer la focalisation verticale et horizontale du faisceau au cours de l'accélération.

Parmi les cyclotrons isochrones, il convient de distinguer les cyclotrons de type compact qui sont énergétisés par au moins une paire de bobines circulaires principales
10 et les cyclotrons dits à secteurs séparés où la structure magnétique est divisée en unités séparées entièrement autonomes.

Les cyclotrons isochrones de la première génération sont des cyclotrons qui utilisent des bobines circulaires de
15 type classique, c'est-à-dire non supraconductrices. Pour ces cyclotrons de la première génération le champ d'induction moyen obtenu était limité à des valeurs de 1,4 Tesla.

Un mode de réalisation particulièrement favorable pour un cyclotron de ce type est décrit dans la demande de
20 brevet européen n° EP-A-0 222 786 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 approximative-
25 ment nul.

Depuis une vingtaine d'années, sont apparus les cyclotrons appelés cyclotrons de la seconde génération qui utilisent les technologies des supraconducteurs. Dans ces
30 cyclotrons, les bobines principales sont de type supraconductrices et permettent d'obtenir des inductions moyennes comprises entre 1,7 et 5 Tesla, ce qui permet de délivrer des faisceaux de particules présentant des rigidités magnétiques (Br) nettement supérieures à ceux délivrés par les cyclotrons de la première génération.

35 Cependant, du fait des inductions plus élevées obtenues, il a fallu augmenter le nombre de cavités accélératrices autant que possible afin d'éviter que le faisceau ne doive exécuter un trop grand nombre de tours au sein du

cyclotron. En effet, lorsque le faisceau doit effectuer un nombre élevé de tours, ceci nécessite une précision accrue de réalisation du champ magnétique et on préfère dans ce cas utiliser toutes les vallées pour y loger les cavités accélératrices.

De ce fait, les dispositifs d'extraction dans les cyclotrons isochrones supraconducteurs sont rejetés en colline, ce qui complique nettement l'extraction.

Un second inconvénient dû au fait que des champs élevés sont obtenus pour des cyclotrons supraconducteurs est que les dispositifs d'extraction constitués par un canal électrostatique et/ou un canal électromagnétique, ont vu leur efficacité relative diminuer et par conséquent les cyclotrons de la seconde génération nécessitent des dispositifs d'extraction beaucoup plus complexes que ceux de la première génération.

En particulier les dispositifs d'extraction des cyclotrons connus de la seconde génération présentent la particularité qu'ils occupent presque un tour entier de machine le long duquel on peut dénombrer deux à trois extracteurs suivis de trois à dix éléments focalisateurs.

A titre d'exemple, on peut mentionner les dispositifs d'extraction particulièrement complexes K520 de Chalk-River ou K600 de Milan et AGOR utilisés dans des cyclotrons supraconducteurs.

Dans tous les cyclotrons isochrones compacts à bobines supraconductrices ou non, dans lesquels l'entrefer entre deux collines est essentiellement constant, on observe une décroissance de l'induction créée par la magnétisation des collines qui se fait sentir dès les deux premiers tiers du rayon polaire pour tomber à la moitié de sa valeur maximale au rayon polaire.

Une première solution a été proposée afin d'éviter cette décroissance, en choisissant un rayon polaire notablement plus grand que celui auquel l'énergie maximale est atteinte, mais de ce fait on a également allongé la zone radiale où le champ magnétique continue à croître sans être isochrone; celui-ci passe par un maximum et décroît au-delà.

L'extension de cette zone radiale de champ de bord va également compliquer nettement l'extraction.

Buts de l'invention

La présente invention vise à proposer une nouvelle
5 configuration de cyclotron isochrone compact supraconducteur ou non ne présentant pas les inconvénients de l'art antérieur.

Un premier but de la présente invention vise à proposer un cyclotron isochrone compact supraconducteur ou
10 non qui tend à empêcher l'affaiblissement de la composante verticale de l'induction lorsque l'on s'approche de l'extrémité radiale des pôles.

En particulier, la présente invention vise à proposer un cyclotron isochrone où la zone de champ non utilisable
15 à l'extrémité des pôles se réduit à quelques millimètres.

Un autre but de la présente invention est de proposer un cyclotron qui présente un dispositif d'extraction simplifiée, en particulier dans le cas d'un cyclotron supraconducteur.

Un but complémentaire de la présente invention est par conséquent de réduire le coût de réalisation du dispositif d'extraction destiné au cyclotron selon l'invention.
20

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

25 Principaux éléments caractéristiques de la présente invention

La présente invention concerne un cyclotron isochrone compact caractérisé en ce que l'entrefer des collines présente un profil évolutif et de préférence elliptique qui a tendance à se refermer à l'extrémité radiale des collines
30 (rayon polaire) sur le plan médian.

Cette configuration de l'entrefer des collines permet d'obtenir théoriquement une continuité parfaite de l'induction sur toute l'étendue radiale des collines.

En pratique, si on utilise un entrefer réduit à quelques millimètres à l'extrémité radiale des pôles, la zone de champ isochrone s'étendant sur moins de 2 cm à partir de l'extrémité radiale du pôle.
35

Toutefois il subsiste une remontée de l'induction

au voisinage du rayon polaire du fait de la non uniformité de la magnétisation au bord même du pôle.

Afin d'éviter ce phénomène, on prévoit de réaliser la fermeture de l'entrefer au plan médian sous forme de "shunt" magnétique présentant de préférence une épaisseur radiale comprise entre 2 et 10 mm.

Outre le fait que selon cette configuration on rétablit la quasi parfaite continuité de l'induction interne jusqu'au rayon polaire, on observe également une décroissance extrêmement rapide de l'induction extérieure au-delà du rayon polaire, ce qui permet de simplifier fortement le système d'extraction du faisceau de particules.

Brève description des figures

La présente invention sera mieux décrite à l'aide des figures annexées dans lesquelles:

- la figure 1 représente de manière schématique une vue éclatée des principaux éléments constituant un cyclotron isochrone compact;
- la figure 2 représente une vue en coupe d'un cyclotron selon la présente invention;
- la figure 3 représente une vue plus détaillée d'un entrefer entre deux collines présentant les caractéristiques essentielles de la présente invention;
- les figures 4a à 4d sont des représentations graphiques de la valeur de la composante verticale de l'induction en fonction du rayon au plan médian de l'entrefer situé entre deux collines pour un cyclotron de l'art antérieur (fig. 4a) ou selon la présente invention (fig. 4b, 4c et 4d).

Description d'une forme d'exécution préférée d'un cyclotron

Le cyclotron représenté schématiquement à la figure 1 est un cyclotron destiné à l'accélération de protons jusqu'à une énergie de 230 MeV.

La structure magnétique 1 du cyclotron se compose d'un certain nombre d'éléments 2, 3, 4 et 5 réalisés en un

matériau ferromagnétique et de bobines 6 réalisées en un matériau de préférence conducteur ou supraconducteur.

La structure ferromagnétique est constituée de :

- deux plaques de base 2 et 2' appelées culasses;
- 5 - d'au moins trois secteurs supérieurs 3 appelés collines et d'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 chaque colline se situe un
- 10 espace 4 où l'entrefer est de dimension plus élevée appelé "vallée";
- d'au moins un retour de flux 5 réunissant de façon rigide la culasse inférieure 2 à la culasse supérieure 2'.

Les bobines 6 sont de forme essentiellement circulaire et sont localisées dans l'espace annulaire laissé entre

15 les secteurs 3 ou 3' et les retours de flux 5.

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

20 Le conduit central est destiné à recevoir, au moins en partie, la source de particules 7 à accélérer qui sont injectées au centre de l'appareil par des moyens connus en soi.

La figure 2 représente une vue en coupe d'un cyclotron selon la présente invention.

25

La caractéristique essentielle du cyclotron selon la présente invention est constitué par le fait que l'entrefer 8 localisé entre deux collines 3 et 3' présente un profil évolutif et de préférence elliptique qui tendance à se refermer sur le plan médian 10 à l'extrémité radiale des collines

30 appelée rayon polaire R_p .

Ainsi que déjà mentionné précédemment, en pratique on n'obtient qu'une quasi-fermeture, c'est-à-dire qu'il subsiste toujours une légère ouverture de l'ordre de quelques

35 millimètres pour permettre le passage du faisceau dans le plan médian.

Selon une forme d'exécution encore préférée représentée à la figure 3, on a disposé au rayon polaire R_p un

shunt magnétique sous forme d'un écran métallique présentant une épaisseur radiale comprise entre 2 et 10 mm et de préférence de l'ordre de 6,5 mm.

Il est bien entendu que le shunt magnétique est
5 muni d'au moins une ouverture 11 pour permettre le passage du faisceau extrait.

Les figures 4a à 4d représentent la composante
10 verticale B_z de l'induction en fonction du rayon r dans le cas d'une magnétisation \vec{M} uniforme.

La figure 4a représente cette variation dans le cas d'un entrefer constant b entre deux collines comme c'est le cas pour un cyclotron selon l'art antérieur.

On observe que dans ce cas l'induction verticale
15 B_z décroît rapidement en fonction du rayon r et ceci déjà pour une valeur nettement inférieure au rayon polaire R_p .

Cette décroissance se fait déjà sentir dès les deux premiers tiers du rayon polaire pour tomber à la moitié de sa valeur maximale au rayon polaire R_p .

La figure 4b représente la variation de l'induction
20 magnétique B_z en fonction du rayon r dans le cas où l'entrefer se présente sous forme elliptique se fermant au rayon polaire R_p .

Dans ce cas théorique, on observe une continuité
25 parfaite de l'induction pour toute distance radiale inférieure au rayon polaire R_p et une décroissance extrêmement rapide au-delà du rayon polaire.

Néanmoins ainsi que déjà mentionné précédemment, ce cas est théorique; en réalité on a une non uniformité de
30 la magnétisation \vec{M} au voisinage du rayon polaire R_p qui génère par conséquent une remontée de l'induction telle que représentée à la figure 4c.

Afin d'éviter cet effet indésirable, il convient
35 d'introduire un shunt magnétique qui obstrue le plan médian et permet ainsi de rétablir l'uniformité de la magnétisation et par conséquent la continuité quasi parfaite de l'induction verticale pour un rayon inférieur au rayon polaire ainsi que cela apparaît à la figure 4d.

Il convient de noter que la valeur de la composante verticale $B_z(r)$ de l'induction magnéto-statique pour le rayon inférieur au rayon R_p polaire dépend essentiellement de la valeur du demi petit axe (b) de l'ellipse générant le
5 profil de l'entrefer formé entre deux collines.

L'avantage principal de cette configuration de l'entrefer pour un cyclotron selon la présente invention réside dans le fait que le système d'extraction du faisceau de particules sera fortement simplifié par rapport au système
10 d'extraction pour des cyclotrons selon l'état de l'art antérieur.

En particulier, un cyclotron selon la présente invention peut posséder un système d'extraction composé uniquement d'un seul déflecteur électrostatique suivi de deux
15 ou trois canaux magnétostatiques focalisateurs.

Dans le présent cas, ces canaux magnétostatiques sont constitués de barres de fer doux à section rectangulaire de petite dimension et sont par conséquent d'un coût de réalisation très faible.

20 De manière générale, un cyclotron selon la présente invention présente l'avantage de la réduction du volume de fer nécessaire à la réalisation des pôles de la culasse par rapport à ceux d'un cyclotron selon l'art antérieur.

REVENDEICATIONS

1. Cyclotron isochrone compact (1) supraconducteur ou non caractérisé en ce que l'entrefer (2) localisé entre deux collines (3 et 3') présente un profil évolutif, et de
5 préférence elliptique qui a tendance à se refermer à l'extrémité radiale des collines (R_p) sur le plan médian (10).

2. Cyclotron selon la revendication 1 caractérisé en ce que l'entrefer elliptique (8) entre deux collines (3 et 3') présente une légère ouverture de l'ordre de quelques
10 millimètres au rayon polaire (R_p).

3. Cyclotron selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que l'on réalise la fermeture de l'entrefer au plan médian (10) sous forme d'un shunt magnétique (9).

4. Cyclotron selon la revendication 3 caractérisé
15 en ce que le shunt magnétique (9) est muni d'au moins une ouverture (11) afin de permettre le passage du faisceau extrait.

5. Cyclotron selon la revendication 3 ou 4 caractérisé en ce que le shunt magnétique (9) se présente sous la
20 forme d'un écran métallique d'une épaisseur radiale comprise entre 2 et 10 mm.

6. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que le système d'extraction associé au cyclotron se compose d'un seul déflecteur
25 électrostatique suivi de préférence de deux ou trois canaux magnétostatiques focalisateurs.

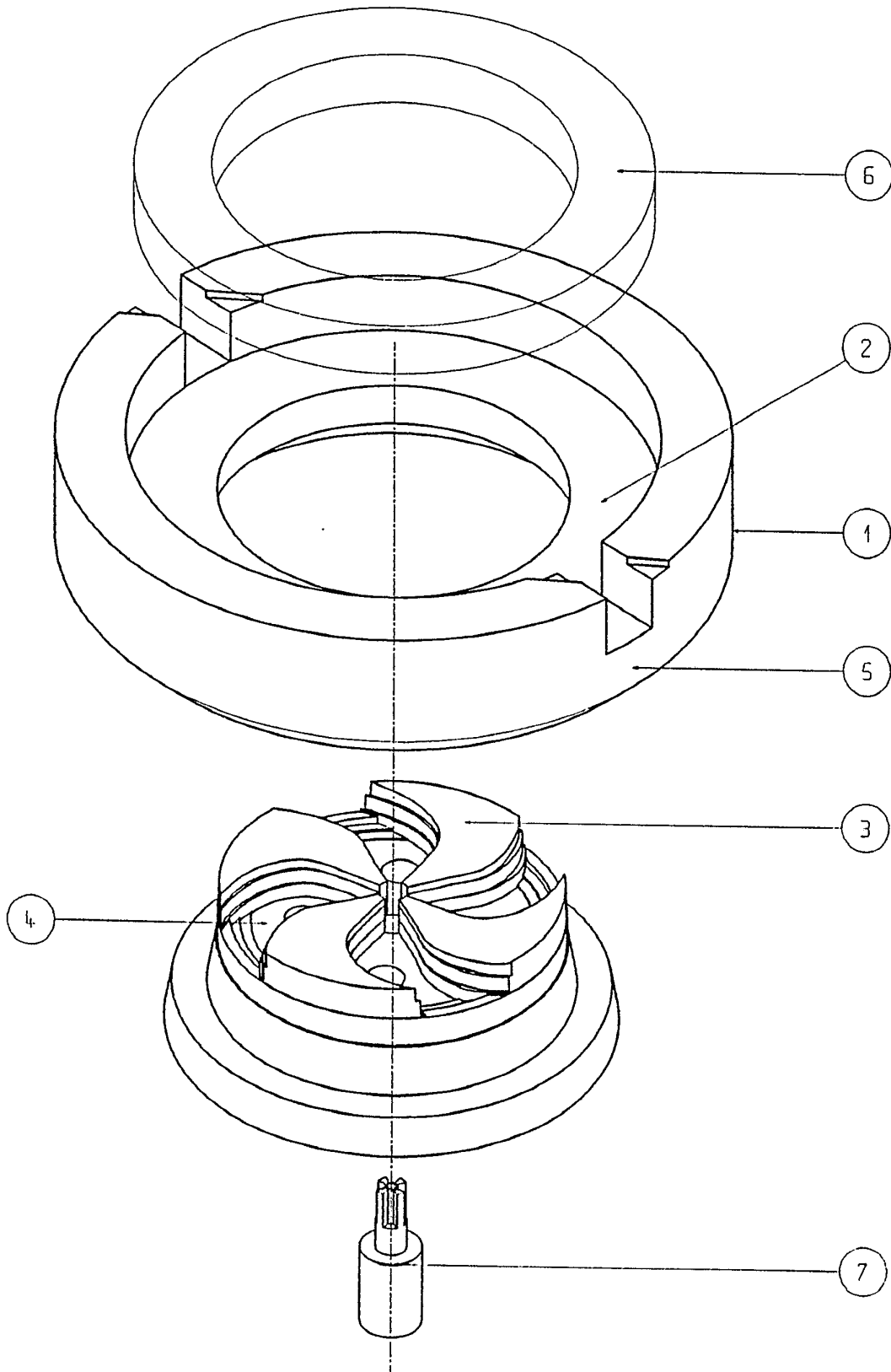
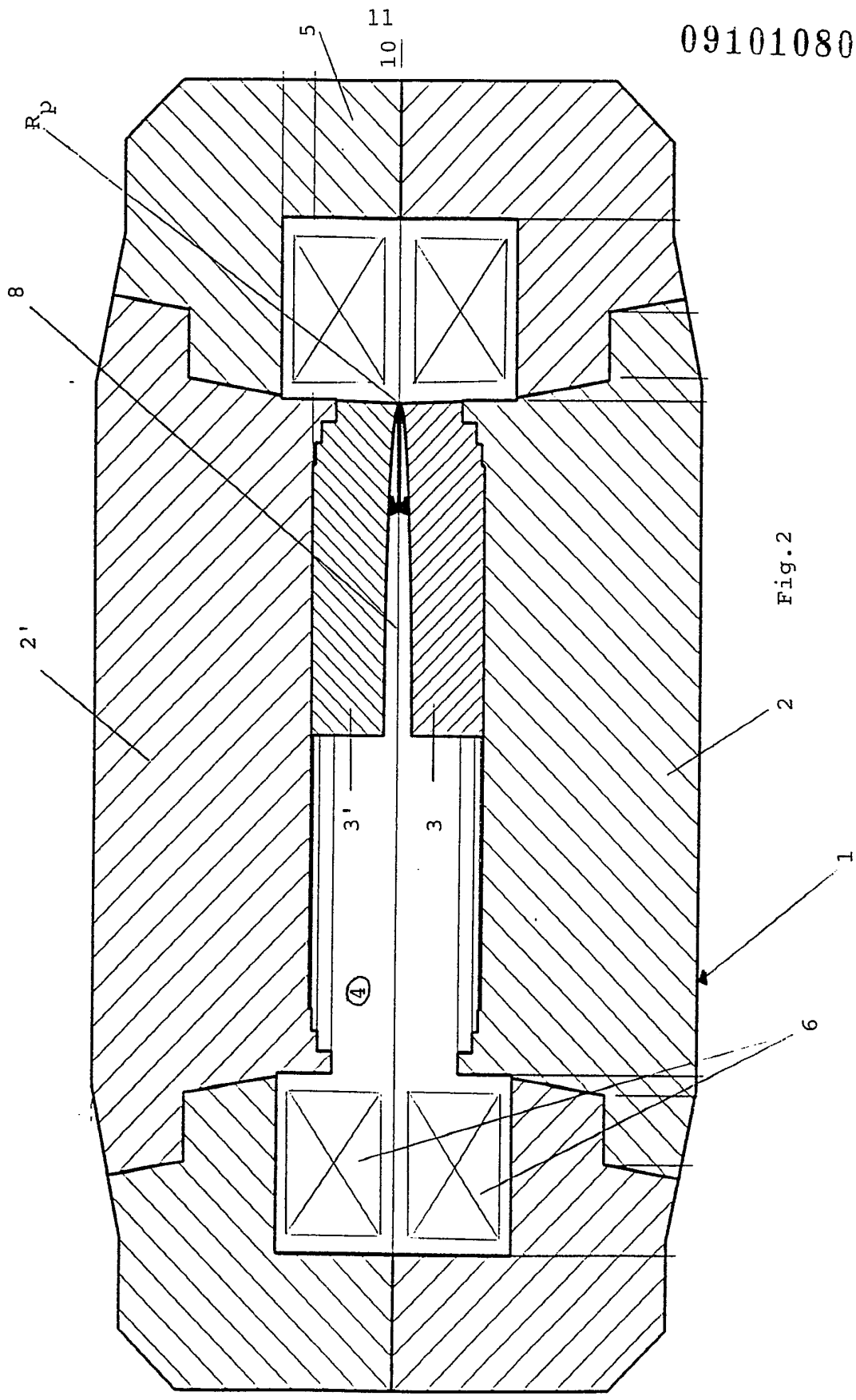


Fig 1

09101080



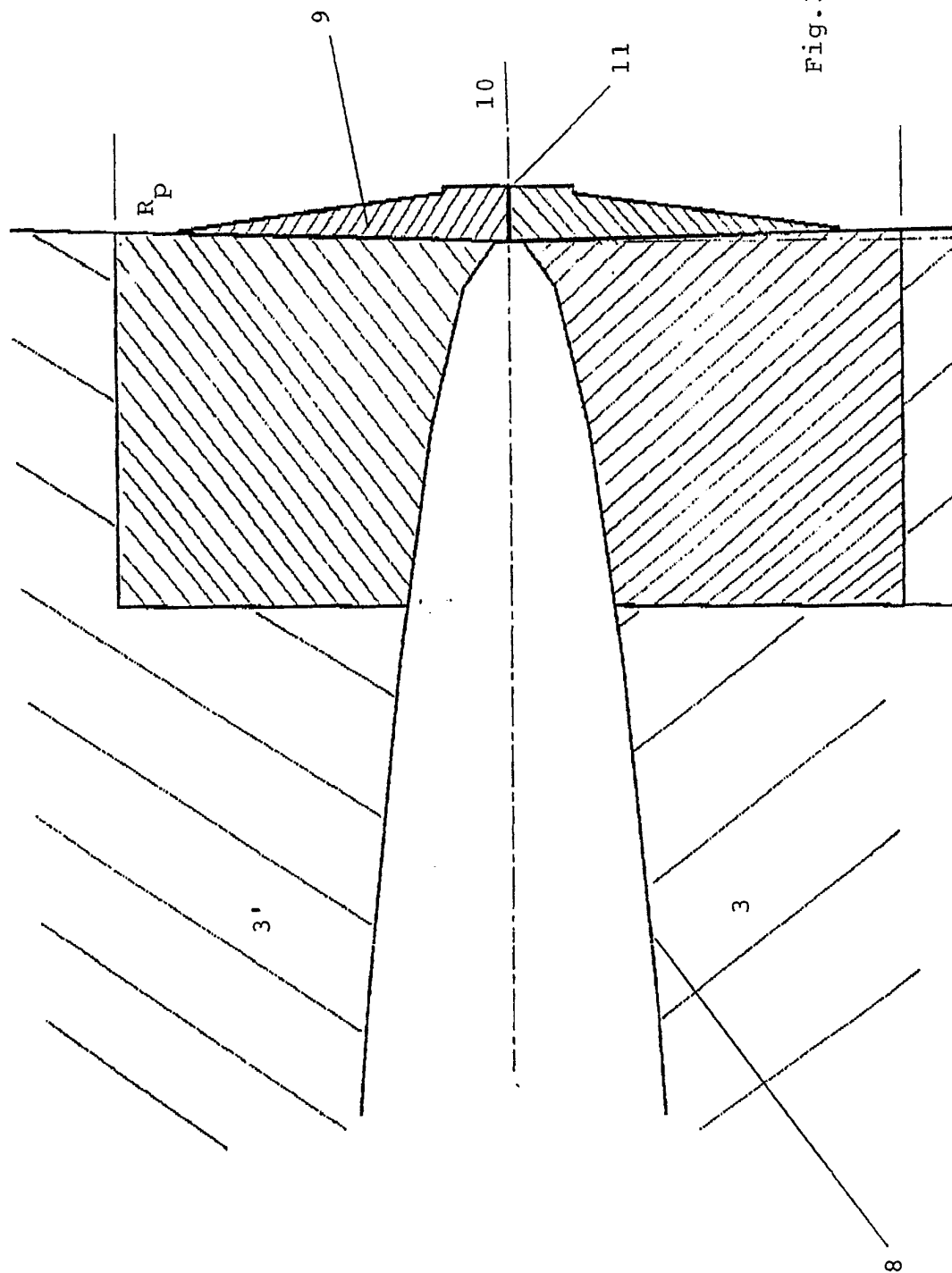


Fig. 3

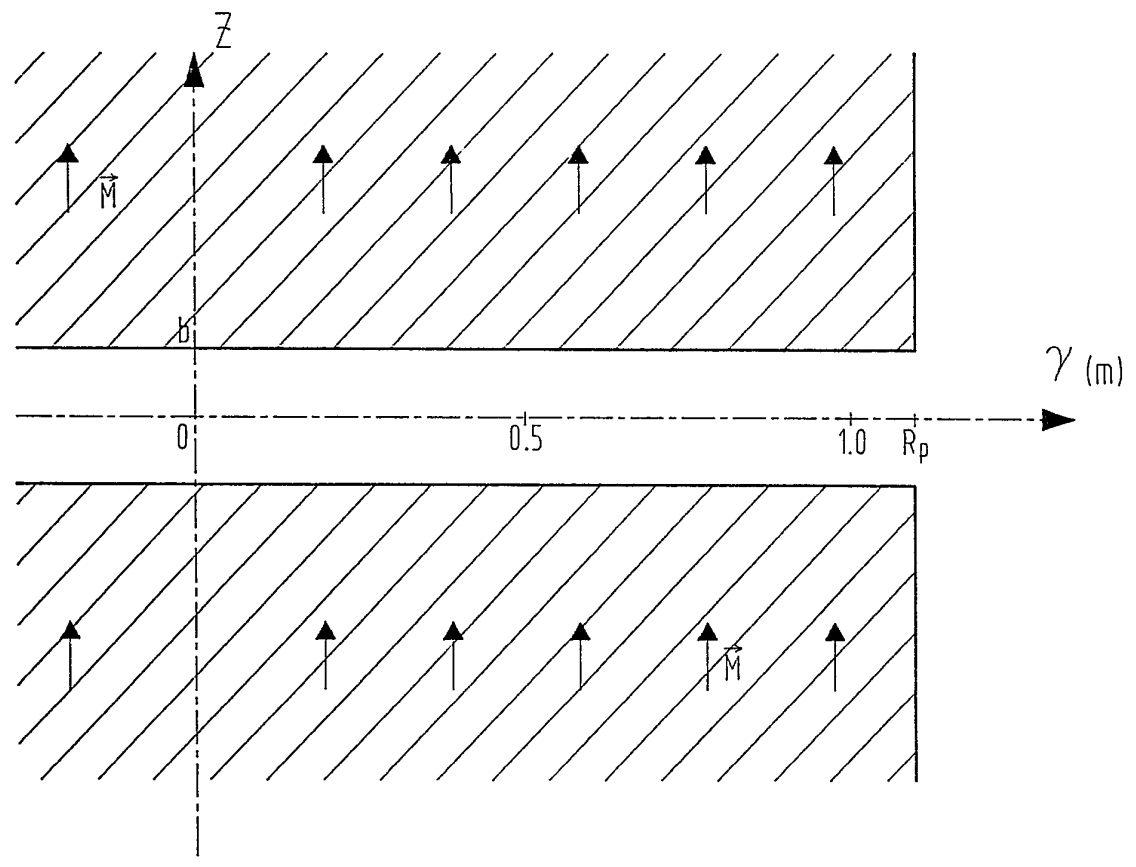
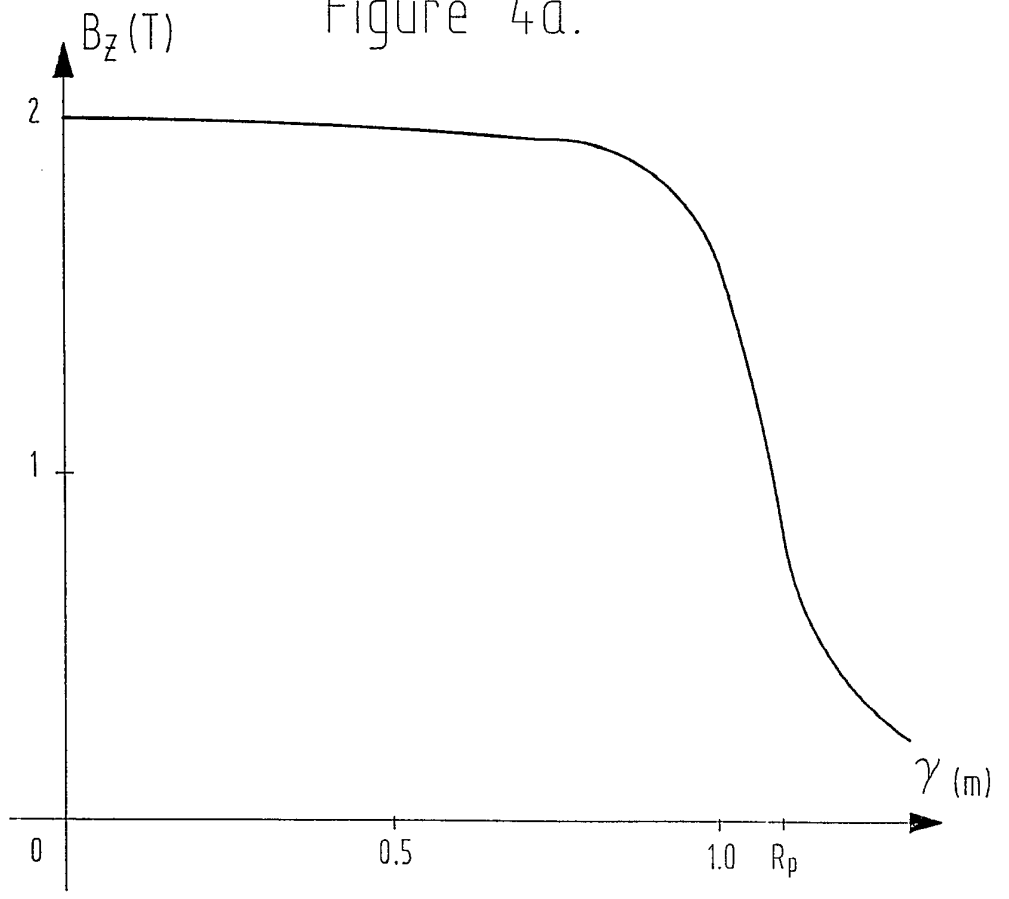


Figure 4a.



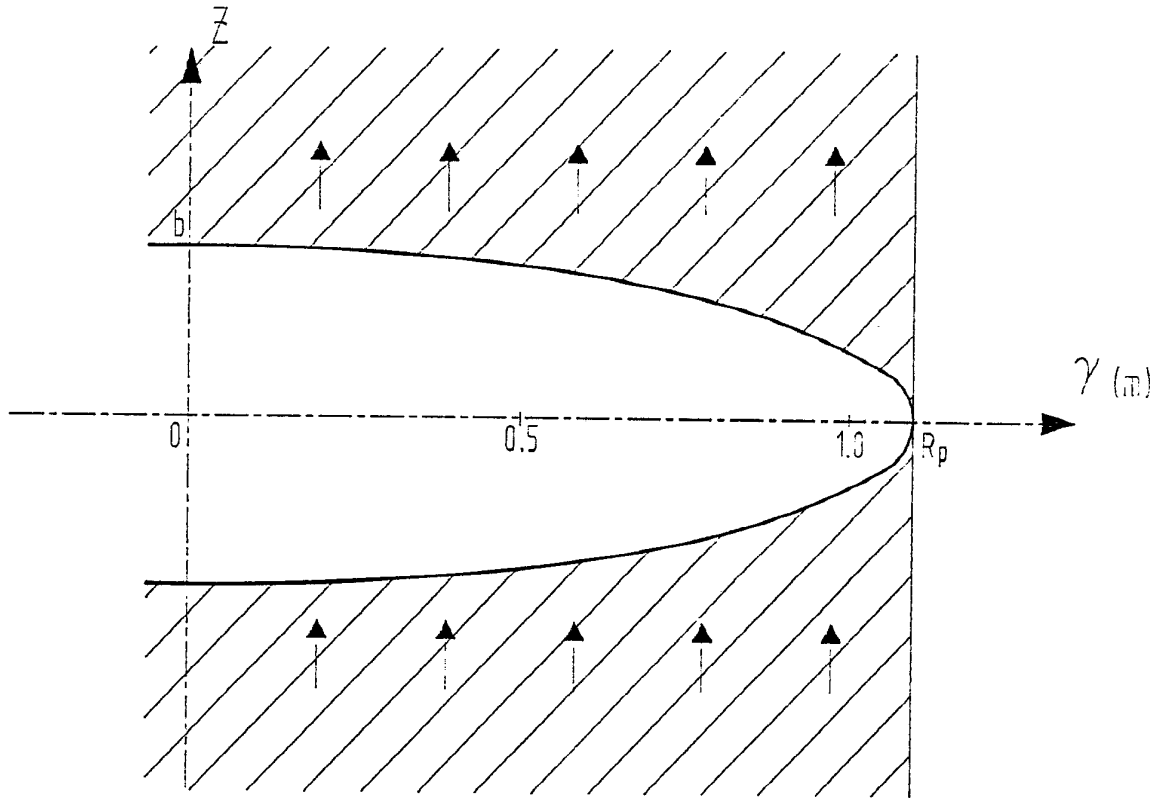
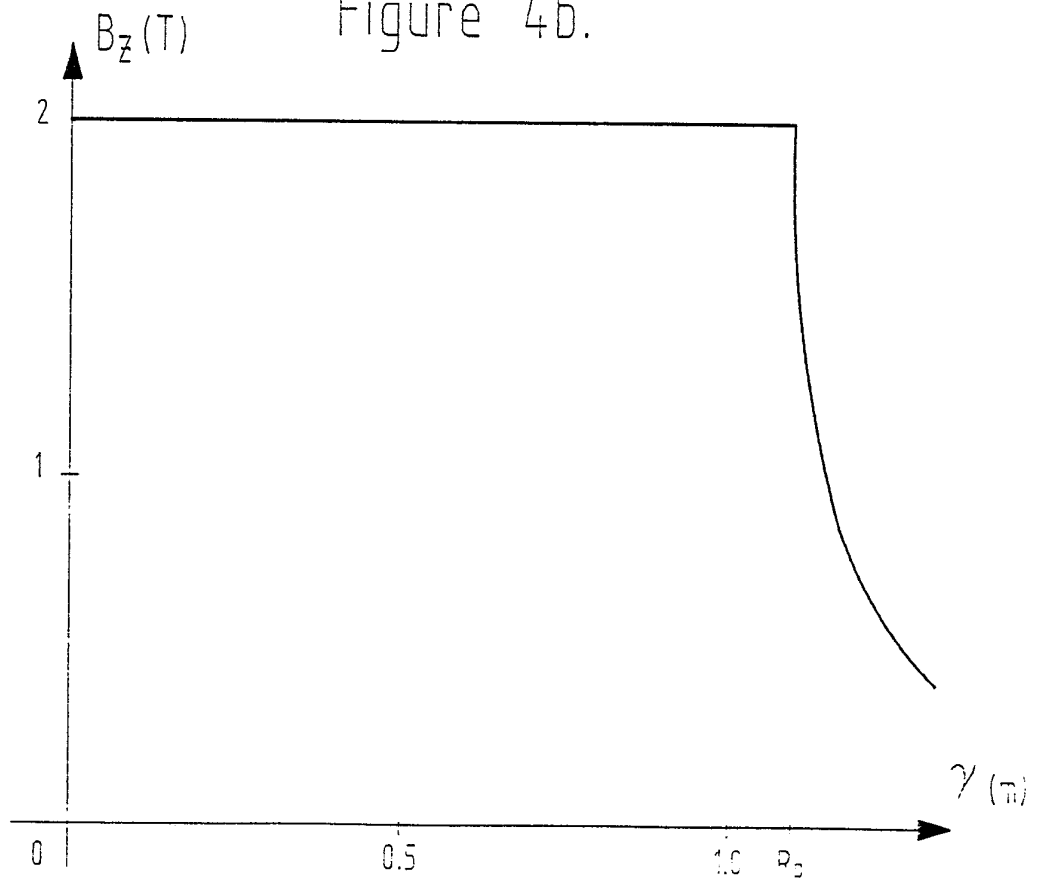


Figure 4b.



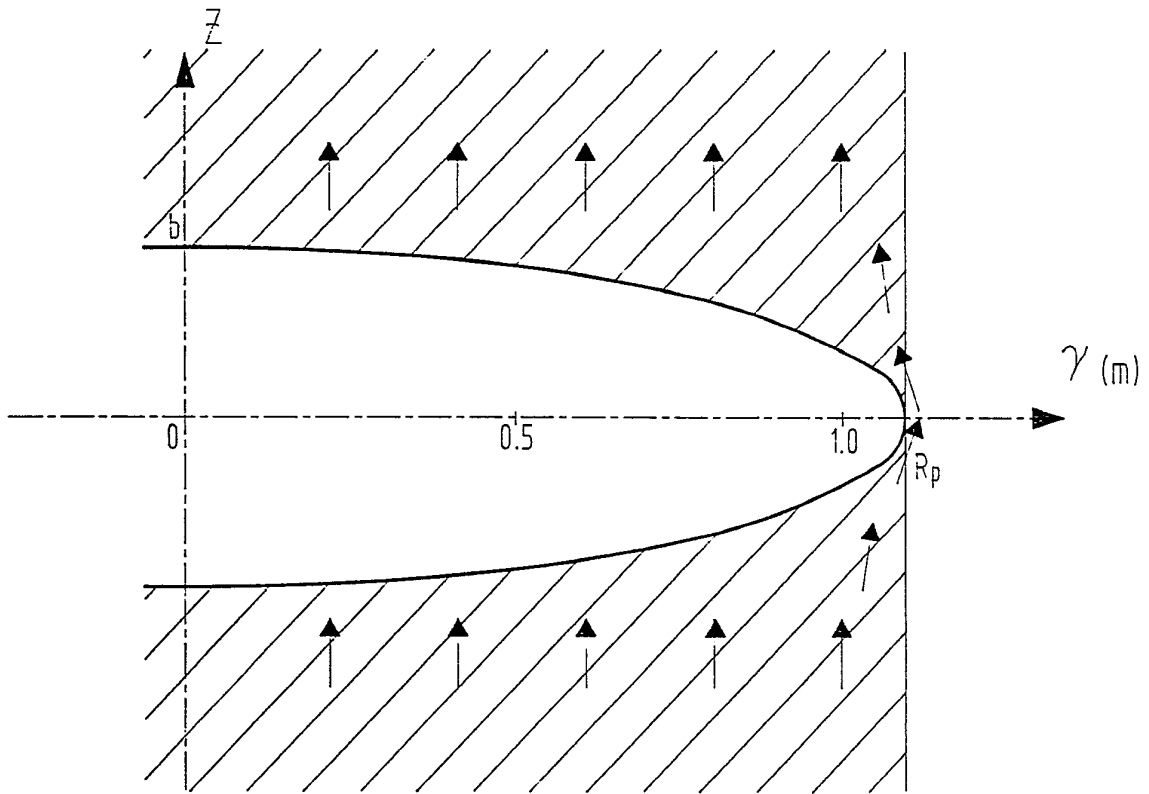
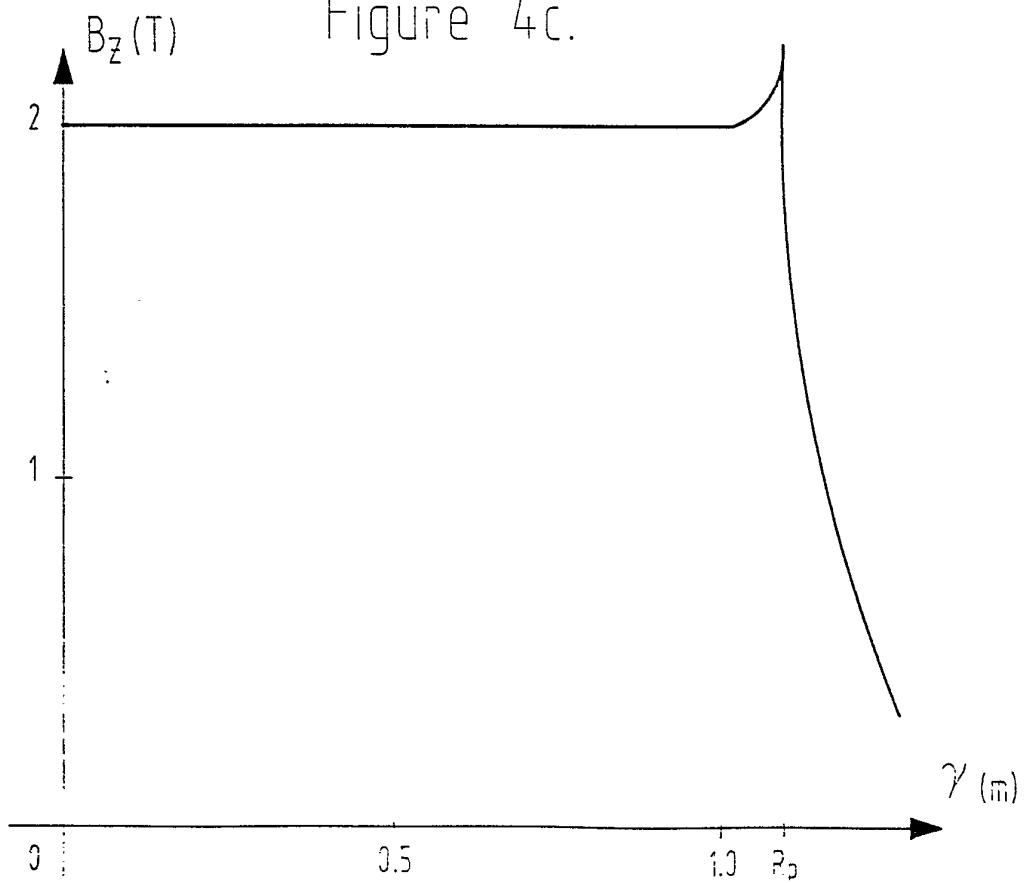
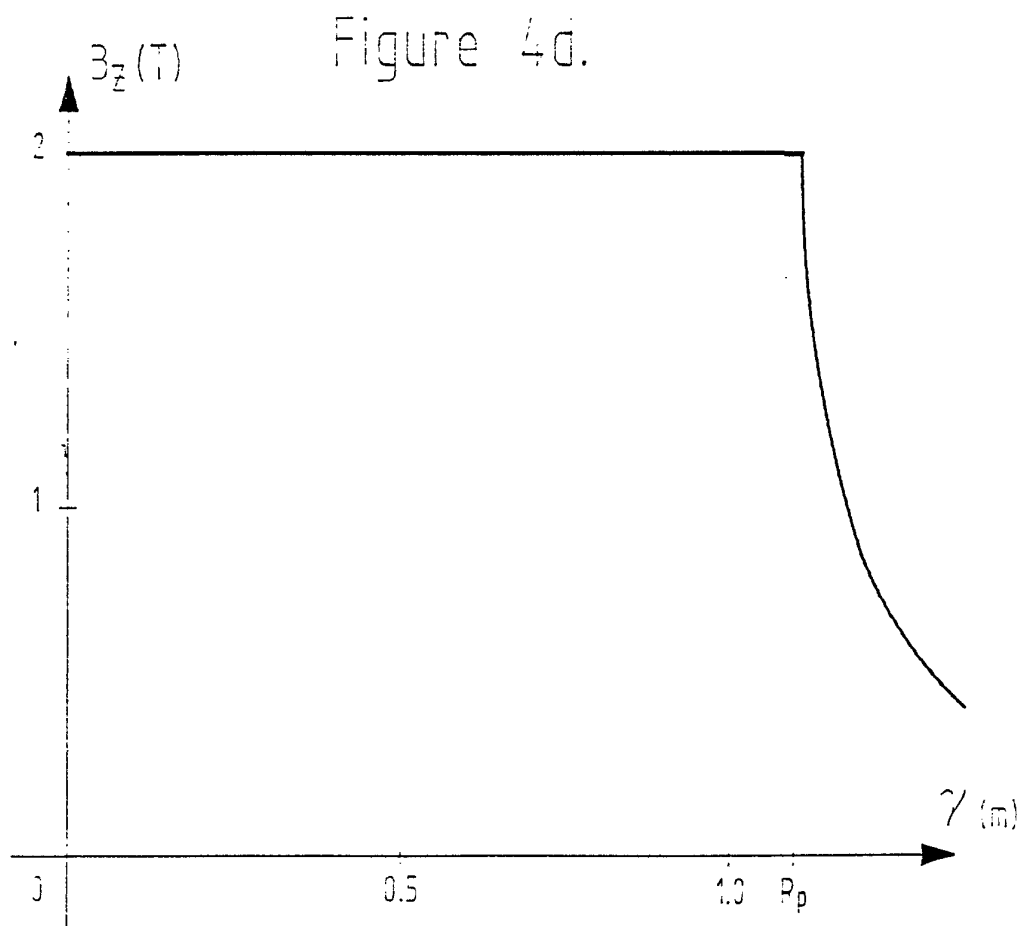
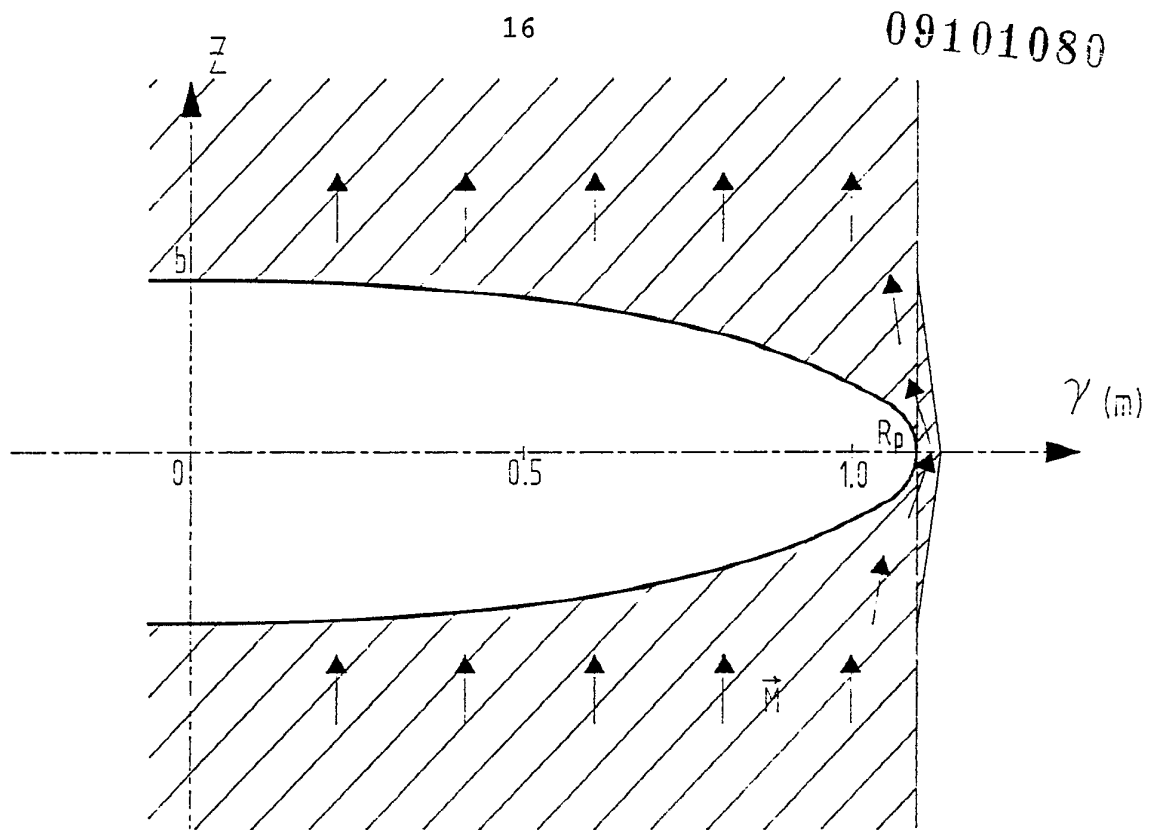


Figure 4c.







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 9101080
BO 3358

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)
Y	WO-A-9 107 864 (ION BEAM) 30 Mai 1991 * page 4, ligne 26 - page 5, ligne 15 *	1-2, 6	H05H13/00
A	* page 6, ligne 1 - ligne 11; revendication 5 * * figures 1-2 *	3	
Y	IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, vol. NS-32, no. 5/2, Octobre 1985, NEW YORK US pages 3316 - 3317; SURA ET AL.: 'A compact cyclotron C-30 for medical isotopes production' * le document en entier *	1-2, 6	H05H
Y	KERNTECHNIK, vol. 17, no. 8, 1975, MUNCHEN DE pages 345 - 349; JOHO ET AL.: 'The 590 MeV isochronous ring cyclotron of the Swiss Institute of Nuclear Research (S.I.N.)' * page 347, colonne de gauche, alinéa 1 *	6	
A	US-A-2 872 574 (MCMILLAN ET AL.) 3 Février 1959 * colonne 3, ligne 55 - ligne 68 * * colonne 7, ligne 61 - colonne 8, ligne 14 * * figures 1-4, 6 *	1-2	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
A	US-A-3 883 761 (G.O. HENDRY) 13 Mai 1975 * revendication 1 *	6	
D,A	WO-A-8 606 924 (UNIV. CATHOLIQUE DE LOUVAIN) 20 Novembre 1986 * figure 2 *	3-5	
LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 29 JUIN 1992	Examineur CAPOSTAGNO E.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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		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	

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

BE 9101080
BO 3358

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

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

29/06/92

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO-A-9107864	30-05-91	Aucun	
US-A-2872574		Aucun	
US-A-3883761	13-05-75	Aucun	
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