

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11)

Numéro de publication:

**0 000 309
B1**

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45)

Date de publication du fascicule de brevet:
01.04.81

(51)

Int. Cl.³: **H 01 J 23/07**

(21)

Numéro de dépôt: **78400033.3**

(22)

Date de dépôt: **23.06.78**

(54)

Générateur de faisceau tubulaire d'électrons monocinétiques en orbites hélicoïdales.

(30)

Priorité: **27.06.77 FR 7719620**

(43)

Date de publication de la demande:
10.01.79 Bulletin 79/1

(45)

Mention de la délivrance du brevet:
01.04.81 Bulletin 81/13

(84)

Etats contractants désignés:
DE GB NL

(56)

Documents cités:
**DE-A-1 491 318
DE-B-1 286 647
GB-A-555 827
GB-A-872 170
US-A-2 959 706
US-A-2 975 317
US-A-3 226 595
US-A-3 363 138
US-A-3 389 347
US-A-3 391 349**

(73)

Titulaire: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
Etablissement de Caractère Scientifique Technique et
Industriel, B.P. 510, F-75752 Paris Cedex 15 (FR)**

(72)

Inventeur: **Alirot, Jean-Louis, 406, rue Gourgouillon,
F-63400 Chamalières (FR)**
Inventeur: **Le Gardeur, René, 41, rue des Eaux Claires,
F-38100 Grenoble (FR)**

(74)

Mandataire: **Mongredien, André et al, c/o
Brevatome 25, rue de Ponthieu, F-75008 Paris (FR)**

EP 0 000 309 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).

Générateur de faisceau tubulaire d'électrons monocinétiques en orbites hélicoïdales

La présente invention a pour objet un injecteur d'un faisceau annulaire d'électrons monocinétiques en orbites hélicoïdales. L'injection se fait dans une cavité résonnante ou structure électromagnétique.

On utilise de façon connue dans la technique de production d'énergie sous forme électromagnétique à très haute fréquence, l'interaction entre un faisceau d'électrons et le champ électromagnétique d'une cavité ou structure résonnante. De façon plus précise, il est connu d'avoir recours pour ce faire à un faisceau annulaire d'électrons en liaison, essentiellement, avec la composante azimutale du champ électrique d'une cavité ou structure électromagnétique en mode résonnant. Par faisceau annulaire, on désignera dans la suite du texte tout faisceau dont la section droite est une couronne comprise entre deux circonférences concentriques. Il est en tous cas très important, dans ce genre de dispositif de production d'énergie, de pouvoir disposer d'un faisceau d'électrons monocinétiques à la sortie de l'injecteur si l'on veut obtenir des rendements élevés de puissance hyperfréquence.

La présente invention a précisément pour objet un injecteur d'un faisceau annulaire d'électrons monocinétiques en orbites hélicoïdales d'une réalisation simple et qui permet, par un réglage très facile, d'obtenir à volonté des faisceaux annulaires d'électrons monocinétiques dont l'épaisseur est variable à volonté dans des proportions importantes et dont l'angle d'inclinaison des trajectoires hélicoïdales de chaque électron par rapport à l'axe de l'hélice correspondante peut atteindre des valeurs élevées.

Cet injecteur comporte dans une enceinte à vide de révolution, un canon à électrons annulaire et des bobines électriques induisant un champ magnétique, caractérisé par le fait que lesdites bobines électriques sont aptes à créer l'effet cyclotron par un champ magnétique statique variant progressivement et de façon continue selon l'axe de l'injecteur depuis une valeur B_1 dans la zone du canon proprement dit, jusqu'à une valeur B_3 dans la zone de sortie rétrécie de l'injecteur en passant par une valeur intermédiaire B_2 dans la zone de raccordement convergente entre ladite zone du canon et ladite zone de sortie et qu'il comprend une électrode correctrice située au niveau de l'anode et mobile selon l'axe de l'injecteur et portée à un potentiel électrique différent de celui de l'anode d'extraction dudit canon à électrons.

Dans une forme d'exécution de l'objet de l'invention, l'électrode correctrice, située sur l'axe du dispositif à l'intérieur du faisceau annulaire électronique, est constituée d'une masse conductrice de l'électricité ayant une forme ovoïde dont l'axe de symétrie se confond avec celui de l'injecteur. Elle sert uniquement, par le potentiel auquel elle est portée, à assurer la modification de la configuration des lignes du champ élec-

trique régnant dans l'injecteur. C'est en faisant varier à la fois la position axiale de cette électrode ainsi que le potentiel positif ou négatif auquel elle est portée par rapport à l'anode d'extraction du canon à électrons que l'on parvient à modifier l'angle d'inclinaison des hélices constituant les diverses trajectoires des électrons.

Dans un mode de réalisation particulier de la forme d'exécution précédente, les champs magnétiques B_1 et B_3 (ou plus exactement leur composante axiale) qui sont appliquées respectivement dans la région de l'anode d'extraction du canon à électrons et dans la zone de sortie de l'injecteur peuvent être de même sens ou de sens opposés et il en résulte alors des formes totalement différentes pour les trajectoires des électrons dans la zone annulaire qu'ils remplissent.

Lorsque les champs B_1 et B_3 (ou plus exactement leur composante axiale) sont de même sens, chaque électron décrit sous l'effet cyclotron une hélice particulière dont l'axe est parallèle à l'axe de symétrie de l'injecteur mais situé de plus dans la zone annulaire couverte par le faisceau. Autrement dit, dans ce cas, chaque électron décrit une petite hélice dont le diamètre est égal à l'épaisseur annulaire du faisceau d'électrons.

Dans le mode de mise en œuvre où les composantes axiales des champs magnétiques B_1 et B_3 sont de sens opposés, la configuration du faisceau est alors différente, et chaque électron décrit sous l'effet cyclotron une hélice qui entoure de façon excentrée l'axe de l'injecteur. Si de surcroît, dans ce mode de mise en œuvre, on règle le faisceau à l'aide de l'électrode correctrice pour obtenir une épaisseur annulaire minimale, chaque électron décrit alors une hélice particulière dont l'axe coïncide pratiquement avec l'axe de l'injecteur: dans ce cas limite par conséquent, chaque électron décrit une hélice dont le rayon est pratiquement égal au rayon du faisceau tubulaire lui-même.

Selon l'invention, un système de bobines placées le long de la paroi externe de l'enceinte à vide de l'injecteur, sont prévues pour réaliser aux endroits désirés les différents champs magnétiques statiques B_1 , B_2 et B_3 dont les composantes axiales varient d'une façon continue depuis le canon à électrons jusqu'à la zone d'extraction à la sortie de l'appareil.

Plusieurs modes de réalisation seront décrits en se référant aux fig. 1 à 4 ci-jointes dans lesquelles:

- la fig. 1 représente une vue schématique en coupe selon l'axe de l'injecteur objet de l'invention, dans un premier mode de mise en œuvre où les champs B_1 et B_3 sont de sens opposés,
- les fig. 2a, 2b et 2c représentent en coupe selon le plan XY de la fig. 1, trois configurations différentes du faisceau juste avant son entrée dans la cavité ou structure électromagnétique logée dans la région d'interaction 2.

– la fig. 3 représente en coupe selon l'axe, une vue schématique de l'injecteur objet de l'invention dans un deuxième mode de mise en œuvre où les champs B_1 et B_3 sont de même sens.

– les fig. 4a, 4b et 4c représentent trois configurations possibles du faisceau annulaire obtenu selon le plan de coupe $X'Y'$ de la fig. 3 au voisinage de son entrée dans la région d'interaction 2.

Sur la fig. 1, on a représenté de façon schématique l'enceinte à vide 1 associée à une région 2 d'interaction-faisceau électronique-champ électromagnétique contenant la cavité ou structure résonnante. Cette enceinte à vide est de révolution autour de son axe 3 et comporte schématiquement trois régions référencées I, II et III sur la fig. 1. Les régions extrêmes I et III sont cylindriques de révolution mais de diamètre différent; la région II est une région de raccordement entre la région I et la région III et a une forme générale sensiblement conique. Dans le mode de réalisation de la fig. 1, trois bobines référencées 5, 6 et 7 servent à créer les champs magnétiques statiques B_1 , B_2 et B_3 respectivement dans chacune des zones I, II et III. Le canon à électrons 4 comporte une anode d'extraction 8 qui produit un faisceau annulaire d'électrons 9 dont les vitesses à leur sortie du canon 4 sont toutes concourantes en un même point situé sur l'axe 3, lorsque, comme c'est le cas de la fig. 1, le faisceau sortant est de forme générale conique convergente. Le champ magnétique B_1 généralement de valeur absolue plus faible que le champ B_3 dans la région III a des lignes de force pratiquement parallèles aux vitesses des électrons du faisceau 9 au moment de leur sortie du canon 4. Le champ B_3 dans la région III est pratiquement uniforme et ses lignes de force sont parallèles à l'axe 3 de l'injecteur. C'est ce champ B_3 qui agit sur le faisceau tubulaire 10 à sa sortie de l'injecteur à travers la zone d'interaction 2, contenant la cavité ou structure résonnante placée vers la cible 11 et qui provoque l'effet cyclotron selon lequel, de façon bien connue, les différents électrons du faisceau parcourent des orbites hélicoïdales autour de la direction du champ magnétique.

Dans la région intermédiaire II, le champ magnétique varie en amplitude et en direction de façon à passer de manière continue de la valeur B_1 dans la région I à la valeur B_3 dans la région III. Dans l'exemple particulier de la fig. 1, où les champs B_1 et B_3 sont de sens opposés, il existe donc un point de région II dans laquelle le champ magnétique est nul.

Selon l'axe 3 de l'injecteur, est située, conformément à l'invention, l'électrode correctrice 12 qui permet comme on le verra plus loin de modifier la forme des trajectoires des électrons. Cette électrode est constituée d'une masse conductrice métallique dont la forme importe assez peu pourvu qu'elle soit de révolution autour de l'axe 3. Cette électrode 12 est portée à un potentiel V par rapport à l'anode d'extraction 8 du canon à électrons 4 et sa position longitudinale selon l'axe 3 peut être modifiée à volonté par translation le

long d'une ouverture 13 pratiquée dans la paroi de l'enceinte à vide 1. Le potentiel V auquel elle est portée est, dans la plupart des cas, inférieur au potentiel d'accélération du faisceau d'électrons par le canon 4.

Deux modes de mise en œuvre fondamentalement différents de l'injecteur qui vient d'être décrit en se référant à la fig. 1 peuvent être envisagés et seront décrits successivement.

Le premier mode de mise en œuvre de l'injecteur d'un faisceau tubulaire d'électrons monodirectionnels, objet de l'invention, qui sera fait en se référant à la fig. 1, concerne le cas où les champs magnétiques B_1 et B_3 ont leur composante axiale de sens opposés comme représenté sur la fig. 1. Dans ce mode de fonctionnement, les trajectoires des différents électrons sont des hélices qui entourent l'axe 3 de l'injecteur de façon excentrée. Ces différentes trajectoires sont schématisées en 14 dans la zone de sortie de l'injecteur et l'angle d'inclinaison alpha des hélices ainsi décrites par les électrons sur l'axe 3 peut atteindre des valeurs élevées proches de 90° à la limite si besoin est. La régulation de cet angle alpha est faite en agissant sur les divers paramètres du système que sont le potentiel V de l'électrode correctrice 12, la tension d'accélération du canon à électrons 4, le courant du faisceau, ainsi que les différentes valeurs absolues et relatives des champs magnétiques B_1 , B_2 et B_3 entre eux.

Lorsque le potentiel V de l'électrode correctrice 12 est nul, c'est-à-dire lorsque celle-ci est au même potentiel que l'anode d'extraction 8 du canon à électrons 4, la section du faisceau électronique tubulaire par le plan XY perpendiculaire à l'axe 3 de l'injecteur a la configuration représentée sur la fig. 2a. Les différentes trajectoires 14 d'électrons sont alors des hélices de diamètre relativement élevé et l'épaisseur e du faisceau annulaire est grande. Dans cette configuration, chaque trajectoire hélicoïdale telle que 14 entoure de façon excentrique l'axe 3 de l'injecteur. Si à partir de cette position de fonctionnement, on porte petit à petit l'électrode correctrice 12 à un potentiel V croissant, généralement positif, on obtient comme l'indique la fig. 2b une concentration progressive du faisceau annulaire dont l'épaisseur devient e' sensiblement inférieure à l'épaisseur e de la fig. 2a. Il peut être nécessaire pour obtenir ce résultat de modifier également simultanément la position axiale de l'électrode 12 sur l'axe 3 pour parvenir empiriquement au résultat recherché. A la limite, on obtient même un faisceau dont la section est représentée sur la fig. 2c avec une concentration maximum, c'est-à-dire un faisceau dont l'épaisseur est pratiquement négligeable et dont tous les électrons tournent pratiquement autour de l'axe 3 de l'injecteur. L'expérience montre que la facilité d'obtention de la correction optimale telle que représentée sur la fig. 2c dépend en partie de la variation du champ magnétique dans la région II de la valeur B_1 à la valeur B_3 ; ce réglage est d'autant plus facile que cette variation est graduelle et monotone et dans cette hypothèse il est facile, en mo-

difiant empiriquement et simultanément la position et le potentiel de l'électrode correctrice 12, d'obtenir l'épaisseur minimale du faisceau tubulaire dans le plan XY avant l'entrée des électrons dans la zone d'interaction 2. On obtient ainsi facilement les deux avantages principaux dus à la structure de l'injecteur objet de l'invention, à savoir: d'une part des vitesses pratiquement monocinétiques pour tous les électrons qui constituent le faisceau annulaire hélicoïdal 14 dans la région III et, d'autre part, une épaisseur très faible de ce même faisceau annulaire hélicoïdal.

Un deuxième mode de mise en œuvre de l'injecteur d'un faisceau annulaire d'électrons monocinétiques objet de l'invention est représenté sur la fig. 3 où l'on retrouve les mêmes éléments portant les mêmes nombres de référence que ceux de la fig. 1 mais où les champs magnétiques B_1 et B_3 ont le même sens au moins quant à leur composante axiale. On obtient ainsi un faisceau annulaire 15 d'électrons monocinétiques dont la section par le plan X'Y' perpendiculaire à l'axe 3 est représenté sur les fig. 4a, 4b et 4c dans trois hypothèses de correction possibles à l'aide de l'électrode 12. Dans ce mode de mise en œuvre également, l'angle d'inclinaison α des hélices et trajectoires par rapport à l'axe 3 de l'injecteur, dépend essentiellement du potentiel V de l'électrode correctrice 12 ainsi que d'autres paramètres tels que la tension d'accélération du canon 4 et le courant du faisceau et les valeurs absolues et relatives des champs magnétiques B_1 , B_2 et B_3 entre eux.

La différence essentielle de fonctionnement entre ce mode de mise en œuvre et le précédent réside dans la forme des trajectoires qui n'entourent plus comme sur les fig. 2a, 2b et 2c l'axe 3 de l'injecteur, mais qui sont des hélices 16 dont les axes tels que 17, sont situés dans la zone annulaire du faisceau lui-même. Lorsque le potentiel de l'électrode correctrice 12 est nul, l'angle d'inclinaison α des hélices sur l'axe 3 est faible et la section du faisceau par le plan X'Y' a la configuration de la fig. 4a, c'est-à-dire que l'épaisseur du faisceau annulaire est relativement faible. Au fur et à mesure que l'on porte l'électrode correctrice 12 à des potentiels V augmentant progressivement et généralement positifs par rapport à l'anode 8 d'extraction du canon 4, l'angle d'inclinaison α des différentes hélices s'accroît et tend vers 90° à la limite. Parallèlement, l'épaisseur e du faisceau s'accroît ce que l'on voit nettement en comparant les fig. 4a, 4b et 4c qui correspondent respectivement à des potentiels V croissant depuis la valeur nulle jusqu'à une valeur élevée, l'angle α évoluant parallèlement dans le même sens.

L'épaisseur e du faisceau ainsi obtenue dépend de nombreux facteurs, et notamment de l'énergie cinétique du faisceau, du champ B_3 et de l'angle d'inclinaison α de l'hélice, lui-même sous la dépendance du potentiel et de la position de l'électrode correctrice 12, et de la charge d'espace due à la présence des autres électrons constituant le faisceau. Dans le mode opératoire de la

fig. 3, la position et la forme de l'électrode correctrice 12 joue certes un rôle qui n'est pas négligeable mais c'est principalement le potentiel V auquel elle est portée qui détermine finalement l'angle d'inclinaison α de l'hélice que l'on souhaite obtenir avant l'injection du faisceau dans la zone d'interaction 2, contenant la cavité ou structure électromagnétique.

Revendications

1. Injecteur d'un faisceau annulaire d'électrons monocinétiques en orbites hélicoïdales à angle d'inclinaison élevé par rapport à l'axe de l'hélice, comportant dans une enceinte à vide de révolution un canon à électrons annulaire et des bobines électriques induisant un champ magnétique, caractérisé par le fait que lesdites bobines électriques sont aptes à créer l'effet cyclotron par un champ magnétique statique variant progressivement et de façon continue selon l'axe de l'injecteur depuis une valeur B_1 dans la zone du canon proprement dit, jusqu'à une valeur B_3 dans la zone de sortie rétrécie de l'injecteur en passant par une valeur intermédiaire B_2 dans la zone de raccordement convergente entre ladite zone du canon et ladite zone de sortie et qu'il comprend une électrode correctrice située au niveau de l'anode et mobile selon l'axe de l'injecteur et portée à un potentiel électrique différent de celui de l'anode d'extraction dudit canon à électrons.

2. Injecteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'électrode correctrice est disposée à l'intérieur du faisceau annulaire.

3. Injecteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'électrode correctrice est localisée sur l'axe de l'injecteur, près de ladite zone du canon.

4. Injecteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'électrode correctrice est de révolution autour de ladite zone du canon.

5. Injecteur selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'électrode correctrice est une masse conductrice ayant une forme sensiblement ovoïde.

6. Injecteur selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les composantes axiales des champs magnétiques B_1 et B_3 sont de même sens, chaque électron décrivant une hélice particulière dont l'axe est situé dans la zone annulaire couverte par le faisceau.

7. Injecteur selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les composantes axiales des champs magnétiques B_1 et B_3 sont de sens opposés, chaque électron décrivant une hélice entourant de façon excentrée l'axe de l'injecteur.

8. Injecteur selon la revendication 7, caractérisé en ce que le potentiel de l'électrode correctrice ainsi que sa position sont choisis tels que l'épaisseur du faisceau annulaire hélicoïdal est minimale et chaque électron décrit une hélice particulière dont l'axe coïncide pratiquement avec l'axe de l'injecteur.

Patentansprüche

1. Injektor für einen Hohl-Strahl von monokinetischen Elektronen auf schraubenlinienförmigen Bahnen grösseren Neigungswinkels zur Schraubenlinien-Achse, mit einem in einem dreh-symmetrischen Vakuum-Gefäss angeordneten ringförmigen Elektronen-Erzeuger und mit elektrischen Spulen, die ein Magnetfeld erzeugen, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Spulen derart ausgebildet sind, dass sie den Zyklotron-Effekt durch ein statisches Magnetfeld erzeugen, das progressiv und kontinuierlich entlang der Achse des Injektors von einem Wert B_1 in der eigentlichen Erzeuger-Zone bis zu einem Wert B_3 in einer eingeschnürten Ausgangs-Zone des Injektors über einen Zwischen-Wert B_2 in einer konvergenten Verbindungs-Zone zwischen der Erzeuger- und der Ausgangs-Zone variiert, und dass eine Korrektur-Elektrode in Höhe der Anode sowie auf der Achse des Injektors beweglich und mit einem elektrischen Potential beaufschlagt vorgesehen ist, das von dem der Saug-Anode des Elektronen-Erzeugers verschieden ist.

2. Injektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur-Elektrode innerhalb des Hohl-Strahls angeordnet ist.

3. Injektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur-Elektrode auf der Achse des Injektors nahe der Erzeuger-Zone angeordnet ist.

4. Injektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur-Elektrode dreh-symmetrisch um die Erzeuger-Zone ausgebildet ist.

5. Injektor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur-Elektrode eine leitende Masse von im wesentlichen Ei-Form ist.

6. Injektor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die axialen Komponenten der Magnetfelder B_1 und B_3 im wesentlichen denselben Richtungssinn aufweisen, wobei jedes Elektron eine gesonderte Schraubenlinie beschreibt, deren Achse sich in der vom Strahl erfassten ringförmigen (Hohl-)Zone befindet.

7. Injektor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die axialen Komponenten der Magnetfelder B_1 und B_3 entgegengesetzten Richtungssinn aufweisen, wobei jedes Elektron eine zur Achse des Injektors exzentrische Schraubenlinie beschreibt.

8. Injektor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Potential der Korrektur-Elektrode sowie seine Lage so gewählt sind, dass die Dicke des schraubenlinienförmigen Hohl-Strahls minimal ist und jedes Elektron eine gesonderte

Schraubenlinie beschreibt, deren Achse im wesentlichen mit der Achse des Injektors zusammenfällt.

Claims

1. An injector for providing an annular beam of monokinetic electrons in helical orbits at a high angle of inclination relative to the axis of the helix, comprising in a vacuum chamber of revolution an annular electron gun and electrical coils inducing a magnetic field, characterised in that said electrical coils are adapted to create the cyclotron effect by a static magnetic field varying progressively and continuously along the axis of the injector from a value B_1 in the zone of the actual gun to a value B_3 in the narrow exit zone of the injector via an intermediate value B_2 in the convergent connecting zone between said zone of the gun and said exit zone and in that it comprises a correcting electrode situated at the level of the anode and displaceable along the axis of the injector and having an applied electrical potential different from that of the extraction anode of said electron gun.

2. An injector according to Claim 1, characterised in that the correcting electrode is situated at the interior of the annular beam.

3. An injector according to Claim 1, characterised in that the correcting electrode is arranged on the axis of the injector near said zone of the gun.

4. An injector according to Claim 1, characterised in that the correcting electrode is mounted to rotate about said zone of the gun.

5. An injector according to Claim 4, characterised in that the correcting electrode is a conductive mass substantially ovoidal in shape.

6. An injector according to Claim 1 or Claim 2, characterised in that the axial components of the magnetic fields B_1 and B_3 have the same direction, each electron describing a particular helix of which the axis is situated in the annular zone covered by the beam.

7. An injector according to Claim 1 or Claim 2, characterised in that the axial components of the magnetic fields B_1 and B_3 are oppositely directed, each electron describing a helix eccentrically surrounding the axis of the injector.

8. An injector according to Claim 7, characterised in that the potential of the correcting electrode and its position are selected such that the thickness of the helical annular beam is minimal and each electron describes a particular helix of which the axis practically coincides with the axis of the injector.

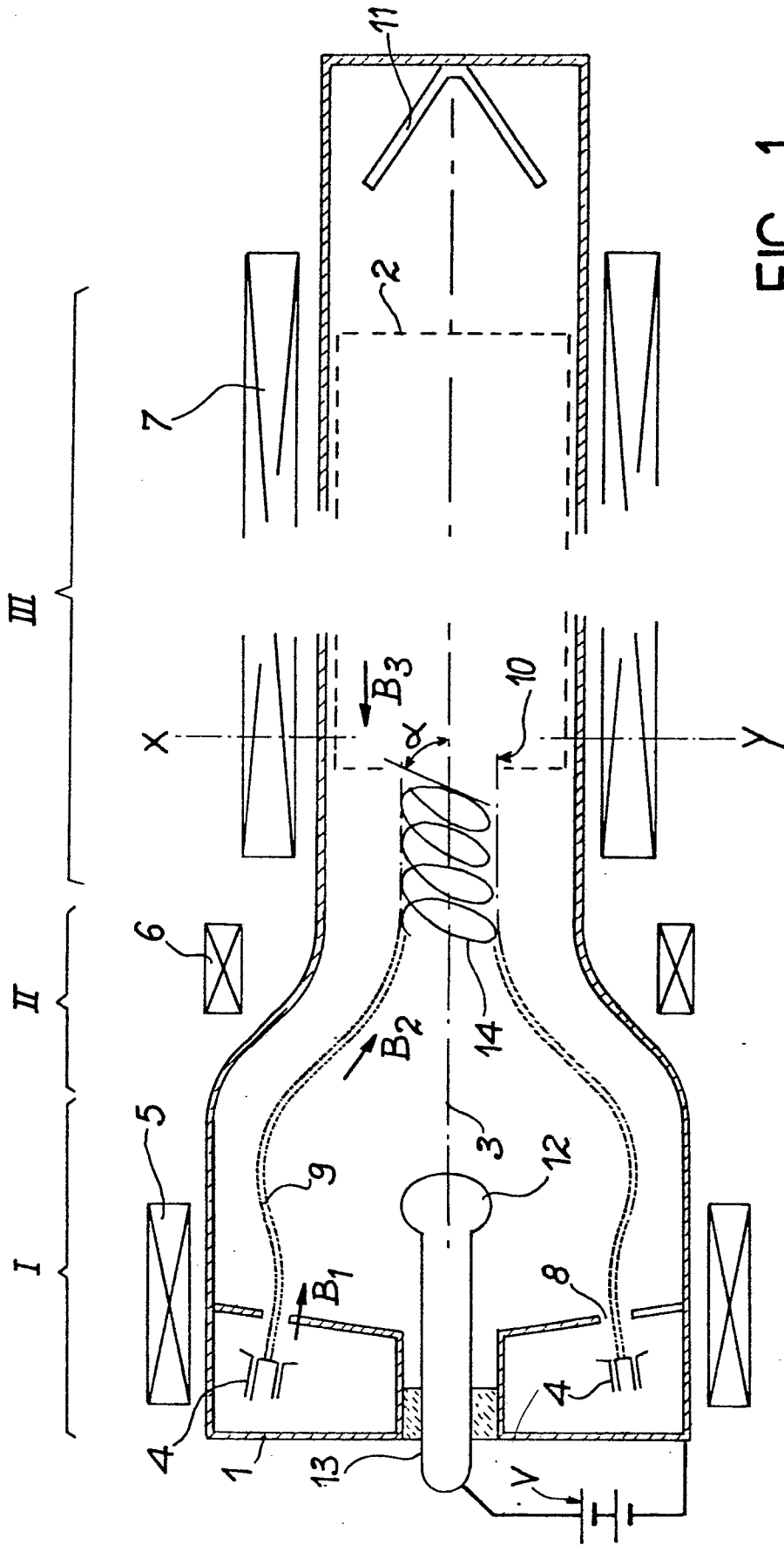


FIG. 1

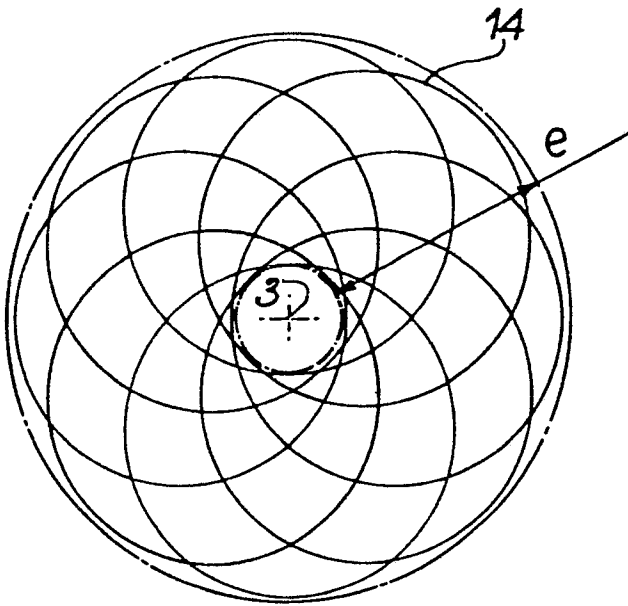


FIG. 2_a

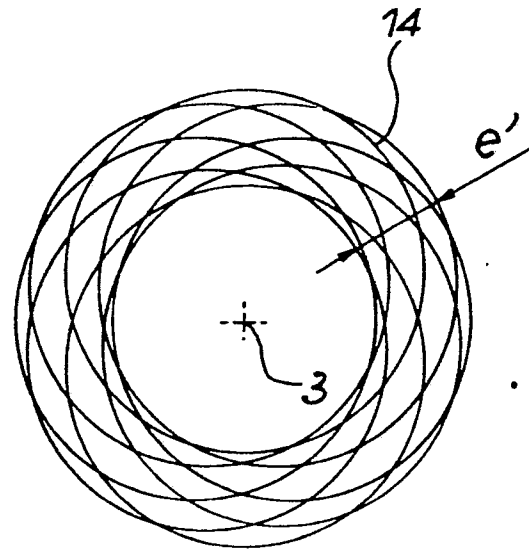


FIG. 2_b

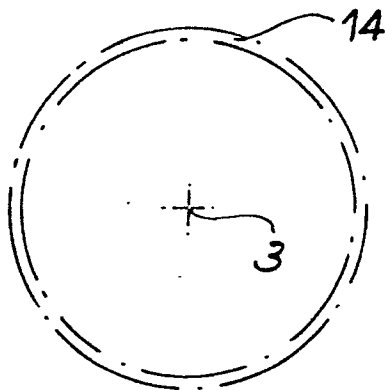


FIG. 2_c

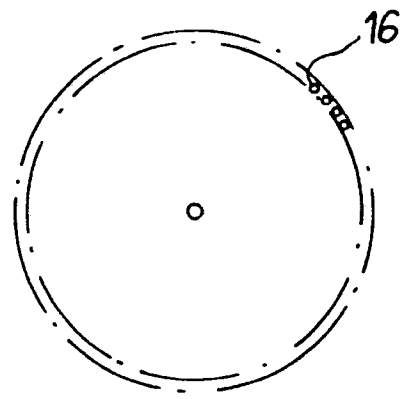


FIG. 4_a

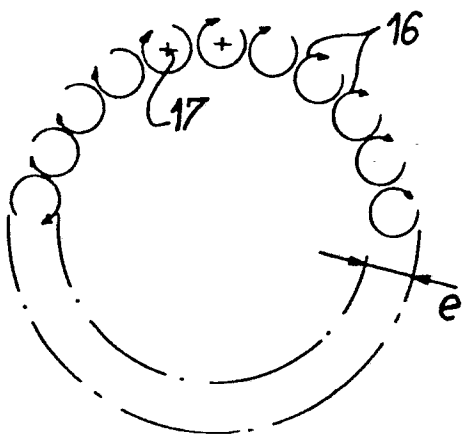


FIG. 4_b

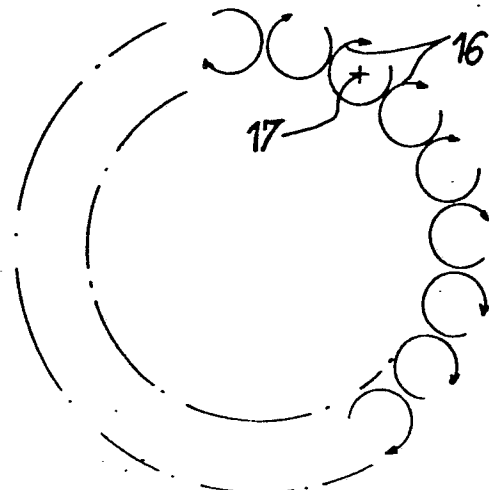


FIG. 4_c

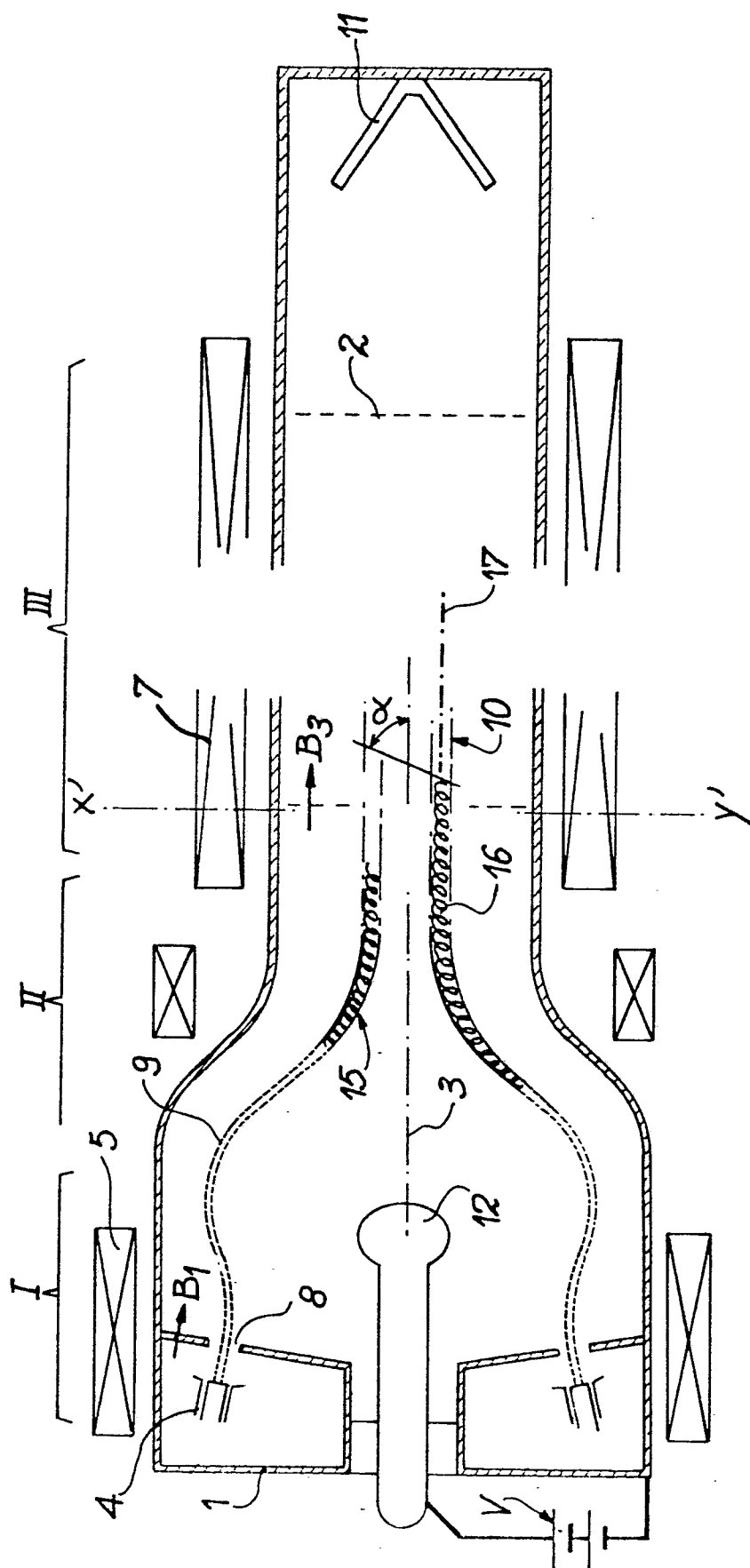


FIG. 3