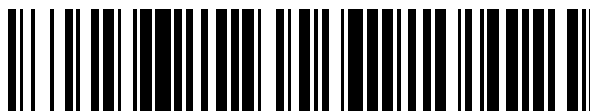


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 373 548**

51 Int. Cl.:
H05H 7/08 (2006.01)
H05H 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **03739886 .4**
96 Fecha de presentación: **18.07.2003**
97 Número de publicación de la solicitud: **1527658**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.05.2005**

54 Título: **CICLOTRÓN PROVISTO DE NUEVOS MEDIOS DE INFLEXIÓN DEL HAZ DE PARTÍCULAS.**

30 Prioridad:
22.07.2002 EP 02447140

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
06.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
06.02.2012

73 Titular/es:
ION BEAM APPLICATIONS S.A.
CHEMIN DU CYCLOTRON, 3
1348 LOUVAIN-LA-NEUVE, BE

72 Inventor/es:
JONGEN, Yves

74 Agente: **Curell Aguilá, Mireya**

ES 2 373 548 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Ciclotrón provisto de nuevos medios de inflexión del haz de partículas.

5 Objeto de la invención

La presente invención prevé proponer un ciclotrón provisto de un nuevo tipo de inflector utilizado para "desviar" un haz de partículas cargadas inyectadas axialmente por un dispositivo de inyección o inyector hacia el plano mediano del ciclotrón.

10

Estado de la técnica

Los ciclotrones son unos aceleradores de partículas cargadas utilizados en particular para la producción de isótopos radiactivos. Estos ciclotrones están basados en los principios elementales de la fuerza de Lorenz: $F = qv \times B$, que induce el hecho de que una partícula cargada describe esencialmente un arco de círculo en un campo magnético uniforme perpendicular al plano en el que se desplaza la partícula cargada.

15

Los ciclotrones se componen de varios conjuntos principales distintos, tales como el electroimán que asegura el guiado de las partículas cargadas, el resonador de alta frecuencia que asegura la aceleración de dichas partículas y, por último, el sistema de inyección de dichas partículas en el ciclotrón.

20

La combinación de los diferentes medios permite realizar una aceleración de las partículas cargadas que describirán en el plano mediano del ciclotrón (perpendicular al campo magnético) una trayectoria que presenta aproximadamente una forma de espiral de radio creciente alrededor del eje central (vertical) del ciclotrón, que es perpendicular al plano mediano.

25

En los ciclotrones modernos de tipo isócrono, los polos del electroimán están divididos en sectores que presentan alternativamente un entrehierro reducido y un entrehierro más grande. La variación acimutal del campo magnético resultante tiene como efecto asegurar el enfocado vertical y horizontal del haz en el curso de la aceleración.

30

Entre los ciclotrones isócronos conviene distinguir los ciclotrones de tipo compacto, que son energizados por un par de bobinas circulares principales, y los ciclotrones denominados de sectores separados, en los que la estructura magnética está dividida en unidades separadas completamente autónomas.

35

El resonador de alta frecuencia está constituido a su vez por los electrodos aceleradores, denominados frecuentemente "des" por razones históricas. Se aplica así a los electrodos una tensión alternativa de varias decenas de kilovoltios a la frecuencia de rotación de las partículas en el imán.

40

Estas partículas cargadas aceleradas por un ciclotrón pueden ser unas partículas positivas, tales como unos protones, o unas partículas negativas, tales como unos iones H⁻.

45

Estas últimas partículas (los iones H⁻ en este caso) son extraídas efectuando una conversión de los iones negativos en iones positivos haciéndolos pasar a través de una hoja, por ejemplo de carbono, que tiene como función despojar los iones negativos de sus electrones.

45

Sin embargo, la aceleración de dichas partículas negativas adolece de dificultades importantes.

El principal inconveniente reside en el hecho de que los iones negativos son frágiles y, por tanto, se disocian fácilmente mediante unas moléculas de gas residual o mediante los campos magnéticos importantes atravesados con energía elevada y presentes en el ciclotrón.

50

Por tanto, es imperativo que el vacío presente en el ciclotrón sea muy elevado.

Asimismo, por estas razones, el dispositivo de inyección y la fuente están situados en el exterior del ciclotrón. Esto permite evitar cualquier contaminación del entrehierro del ciclotrón.

55

Otra razón por la cual los dispositivos de inyección y la fuente están dispuestos en el exterior del ciclotrón reside en la exigüidad del espacio disponible en el seno mismo del ciclotrón.

60

Habitualmente, los dispositivos de inyección y la fuente están dispuestos directamente por encima del eje central del ciclotrón con el fin de inyectar las partículas generadas según una dirección esencialmente vertical hacia el centro del ciclotrón, en el que serán desviadas progresivamente con el fin de dirigirse al plano mediano (horizontal) del ciclotrón, en el que experimentarán las diversas aceleraciones.

65

Es por esta razón por la cual los ciclotrones se denominan ciclotrones de inyector axial.

Conviene observar que, dado que el diseño natural del campo magnético que reina en el ciclotrón es a su vez vertical, la inyección del haz de partículas se realizará, por tanto, según las líneas del campo magnético y las partículas no serán desviadas si no se perturba dicho campo magnético.

5 Según el estado de la técnica, para dirigir el haz de partículas de manera adecuada en el plano mediano, es decir, perpendicularmente a la dirección de inyección, se propone disponer en el ciclotrón unos deflectores que desvíen progresivamente el haz.

10 Según el estado de la técnica, los deflectores conocidos son unos deflectores electrostáticos que están constituidos esencialmente por un electrodo negativo y por un electrodo positivo, entre los cuales se crea un campo eléctrico mediante una diferencia de potencial. Este desviará progresivamente el haz de partículas hasta posicionarlo correctamente de manera tangencial en el plano mediano del ciclotrón y, por tanto, perpendicularmente con respecto a su dirección de llegada.

15 En realidad, el haz de partículas efectúa un movimiento en hélice espiralizada.

20 En efecto, en cuanto, bajo el efecto del campo eléctrico esencialmente horizontal que reina entre los electrodos a la entrada del deflector electrostático, las partículas cargadas adquieren una componente de velocidad en el plano horizontal, se someten a la fuerza de Lorentz.

La combinación de las dos componentes genera un movimiento en espiral del haz de partículas en el seno de la parte central del ciclotrón.

25 En la bibliografía se describen abundantemente ejemplos de dichos dispositivos. En particular, el documento NL-A-9302257 describe este tipo de deflector.

La presencia de dicho deflector destinado a permitir la introducción del haz de partículas por el eje central (vertical) genera la presencia de un orificio en el entrehierro y perturba por ello el campo magnético vertical.

30 Los otros inconvenientes residen en el hecho de que estos electrodos deben someterse a una diferencia de potencial tanto más importante cuanto mayor sea la importancia de la intensidad del haz de partículas.

Ahora bien, la tendencia actual es desear aumentar la intensidad de los haces, que, por el momento, está comprendida entre 300 y 500 μ A, hasta unos valores que pueden alcanzar algunos mA.

35 Otro problema importante reside en el hecho de que, para aumentar la intensidad del haz de partículas, se aumenta la carga de espacio, es decir, la densidad de carga eléctrica, provocando así la repulsión electrostática de las cargas y, de este modo, un ensanchamiento del haz (cargas eléctricas provocadas por la presencia de numerosas partículas cargadas que se repelen mutuamente en un espacio, provocando así un aumento de tamaño del haz).
40 Evidentemente, esta carga de espacio depende de la intensidad y de la velocidad del haz. Por tanto, para disminuir la carga de espacio, es necesario aumentar la velocidad de las partículas cargadas a partir del dispositivo de inyección y, por tanto, la tensión de inyección.

45 Esto significa que sería necesario asimismo aumentar las tensiones de los electrodos del deflector, que son del orden de 5 kV por el momento, a unos valores próximos a 15 kV, incluso más, por ejemplo algunas decenas de kilovoltios.

Evidentemente, esto sería la causa de toda una serie de problemas inherentes a los electrodos, como particularmente problemas de aislamiento insuficiente o de ruptura de dichos electrodos.

50 Un último problema procede del hecho de la simetría de revolución del ciclotrón isócrono, que comprende una alternancia de colinas y valles.

55 Para este tipo de ciclotrones, el enfocado se efectúa por gradientes alternos y es particularmente delicada en el centro del ciclotrón a causa de que el efecto de modulación del campo debido a las colinas y valles desaparece en el centro del ciclotrón. Para remediar esta falta de enfoque, se desea colocar una protuberancia de campo en este lugar. La presencia del orificio axial requerido por la inyección del haz se opone a la creación de dicha protuberancia de campo.

60 A partir de los documentos GOTO A *ET AL*: "Design of injection system for the IPCR SSC. II" Scientific papers of the Institute of Physical and Chemical Research, Dic. 1980, Japón, vol. 74, nº 4, páginas 124-145, y YANO Y *ET AL*: "Design and Model Study of injection bending magnet for RIKEN SSC" Scientific Papers of the Institute of Physical and Chemical Research, Dic. 1981, Japón, vol. 75, nº 4, páginas 176-192, se conoce un ciclotrón con sectores separados, provisto de un dispositivo de inyección que comprende una multiplicidad de electroimanes de desviación. Este dispositivo es aplicable únicamente a los ciclotrones con sectores separados, puesto que los electroimanes de desviación requieren un espacio que no está disponible en la zona central de un ciclotrón compacto. Son necesarias unas corrientes importantes para alimentar estos imanes de desviación. El trayecto de la inyección se realiza

verticalmente, y luego a 45°, en el espacio comprendido entre dos sectores del ciclotrón con sectores separados, a cierta distancia del eje de la máquina.

Objetivos de la invención

5 La presente invención prevé proponer una solución que permita superar los diferentes inconvenientes del estado de la técnica.

10 La presente invención prevé, en particular, proponer un ciclotrón que presente un nuevo tipo de inflector que permita desviar progresivamente el haz de partículas cargadas que proceden de un dispositivo de inyección o inyector exterior, dispuesto axialmente con respecto al centro del ciclotrón, hacia el plano mediano de dicho ciclotrón con vistas a someterlas a las aceleraciones.

15 Más precisamente, la presente invención prevé proponer un ciclotrón provisto de un nuevo tipo de inflector que permita resolver el problema de la presencia de una "protuberancia" de campo en el centro de dicho ciclotrón en el caso de un ciclotrón isócrono.

Principales elementos característicos

20 La presente invención se refiere a un ciclotrón destinado a la aceleración de un haz de partículas cargadas, que presenta un inyector denominado axial, es decir, dispuesto en el exterior del ciclotrón y perpendicularmente con respecto al plano mediano y según el eje central de dicho ciclotrón, que, combinado con unos medios de inflexión que desvían el haz de partículas progresivamente, permite posicionar el haz en el plano mediano, en el que las partículas experimentarán de manera clásica las aceleraciones necesarias. Estos medios de inflexión están dispuestos esencialmente en la intersección del plano mediano y del eje del ciclotrón.

30 Según la presente invención, estos medios de inflexión están constituidos por un inflector magnético, es decir, uno o unos elementos que permiten dar una componente horizontal o radial al campo magnético con el fin de guiar el haz de partículas cargadas progresivamente hacia el plano mediano.

Según una primera forma de realización, se eligen simplemente como medios de inflexión unos elementos ferromagnéticos dispuestos de manera que creen un campo de inducción que presentan una componente horizontal y radial, y que son solidarios a los polos del ciclotrón.

35 Según otra forma de realización preferida, se utilizan unos anillos o arandelas constituidos por bloques pegados de un material que no modifica el campo magnético axial.

40 Este material es preferentemente un imán permanente fuerte realizado en una aleación tal como una aleación de samario-cobalto o neodimio-hierro-boro.

Disponiendo correctamente estos anillos o arandelas, se prevé dar una componente horizontal o radial al campo magnético, permitiendo así guiar el haz de partículas cargadas de manera que se desvíe progresivamente hacia el plano mediano.

Breve descripción de las figuras

45 La figura 1 representa una vista esquemática en perspectiva de un ciclotrón isócrono en el que se podrá utilizar un inflector según la presente invención.

50 La figura 2 describe una vista en sección de dicho ciclotrón.

Las figuras 3a y 3b representan una vista detallada en planta y en perspectiva de una primera forma de realización de un inflector según la presente invención.

55 La figura 4 representa una vista detallada de una segunda forma de realización de un inflector según la presente invención.

60 La figura 5 muestra un anillo de Sm-Co utilizado según una forma de realización preferida de la invención ilustrada en la figura 4.

Descripción detallada de varias formas de realización de la invención

65 Las figuras 1 y 2 describen un ejemplo de un ciclotrón que puede utilizar los deflectores según las diversas formas de realización descritas a continuación.

El ciclotrón 1, tal como se representa, es un ciclotrón isócrono compacto, tal como el ciclón 30 producido por la

solicitante y destinado a la aceleración de partículas negativas, tales como unos H⁻.

La estructura magnética del ciclotrón 1 está representada en la figura 1 de manera vertical. En la descripción siguiente, esta estructura magnética está dispuesta de manera que el plano mediano sea esencialmente horizontal. Se compone de un cierto número de elementos realizados en un material ferromagnético y de bobinas 6 realizadas en un material conductor o supraconductor.

La estructura ferromagnética comprende de manera clásica:

- dos placas de base denominadas culatas 2 y 2',
- al menos tres sectores 3 superiores denominados colinas y un mismo número de sectores inferiores 3' situados simétricamente con respecto a un plano de simetría 10, denominado plano mediano a los sectores superiores 3, y que están separados por un pequeño entrehierro 8, y definiendo entre dos colinas consecutivas un espacio en el que el entrehierro es de dimensión más elevada y que se denomina valle 4,
- al menos un retorno de flujo 5 que reúne de forma rígida la culata inferior 2 con la culata superior 2'.

Las bobinas 6 son de forma esencialmente circular y están localizadas en el espacio anular dejado entre los sectores 3 y 3' y los retornos de flujo 5.

Un dispositivo de inyección 100 está dispuesto de manera esencialmente axial, es decir, a una cierta distancia en el exterior del ciclotrón con respecto al plano mediano 10. De manera adecuada, este dispositivo de inyección está situado en la prolongación del eje central del ciclotrón.

Se crea entonces un conducto central 20 en la culata, por ejemplo superior, con el fin de permitir que las partículas cargadas sean inyectadas al centro del aparato.

De esta manera, el haz de partículas cargadas será inyectado en dicho conducto y será dirigido a continuación con ayuda de elementos de inflexión hasta posicionarse en el plano mediano de dicho ciclotrón.

Con este fin, un inflector 30 está dispuesto esencialmente en el entrehierro a nivel del conducto central y permitirá desviar progresivamente el haz de partículas procedente del dispositivo de inyección 100 hacia el plano mediano 10.

Según la presente invención, el ciclotrón presenta unos medios de inflexión o un inflector magnéticos. Por tanto, la característica esencial de la presente invención reside en el hecho de que este tipo de inflector no crea ningún campo magnético en el centro del ciclotrón. El inflector según la presente invención está compuesto por materiales magnéticos, es decir, por materiales ferromagnéticos o por imanes permanentes, que perturbarán el campo magnético axial del ciclotrón, creando así una componente horizontal o radial de dicho campo que desviará progresivamente el haz según el trayecto deseado.

Según una primera forma de realización ilustrada en las figuras 3a y 3b, dicho inflector está constituido por piezas que forman el circuito magnético en la zona central del ciclotrón. Estas piezas son solidarias a los polos y están realizadas en un material ferromagnético que permite introducir una componente horizontal o radial en el campo magnético.

Según una variante de esta forma de realización preferida, los medios de inflexión están constituidos por un primer elemento 31 en forma de cono y cuyo eje de simetría coincide con el eje 22 del ciclotrón y por un segundo elemento 33 esencialmente en forma de un anillo, con el mismo eje de simetría, y que rodea esencialmente el cono 31, con el fin de formar un espacio anular 34 entre los dos elementos 31 y 33. Estos elementos están realizados necesariamente en un material ferromagnético, tal como un acero de bajo índice de carbono o una aleación de hierro-cobalto.

Su disposición creará una perturbación del campo magnético 25 entre los polos del ciclotrón, que permitirá la inflexión deseada del haz 26 según un trayecto esencialmente en forma de hélice espiralizada hasta posicionarlo de manera adecuada en el plano mediano.

Por tanto, para llegar a este resultado, se crea una componente radial del campo magnético mediante los medios de inflexión. Se observa, como se representa en la figura 3a, que dicha componente radial se creará gracias a la forma específica de los elementos 31 y 33.

El haz de partículas tendrá tendencia a desviarse según un trayecto en forma de hélice espiralizada, tal como se representa en la figura 3b.

Debido a que el haz llega esencialmente por la parte superior situada por encima de los elementos de inflexión, se debe desviar ligeramente con respecto al eje central (y vertical) del ciclotrón durante su paso entre dichos medios de

inflexión. Con este fin, unas bobinas de guiado 28 u otros dispositivos de deflexión adecuados deben estar presentes por encima de los elementos de inflexión.

5 Según otra forma de realización ilustrada en la figura 4, los medios de inflexión están constituidos por unos anillos o arandelas que permiten asimismo dar una componente horizontal al campo magnético. Dichos anillos 40 están contruidos a partir de pequeños elementos 41 que son preferentemente unos imanes de samario-cobalto.

10 Como se representa en la figura 5, cada anillo está realizado a partir de elementos 41 que son todos unos imanes permanentes con unas orientaciones individuales del campo magnético que evolucionan progresivamente a lo largo del perímetro del anillo.

15 De esta manera, se realiza un campo uniforme 42 en el interior del anillo 40. Gracias a las características del material utilizado, un anillo, tal como se representa en la figura 5, dispuesto en el centro del ciclotrón, no perturbará el campo magnético esencialmente axial (vertical) que está presente en el entrehierro del ciclotrón, con la excepción del espacio situado en el interior del anillo. En este lugar, se crea una componente adicional del campo magnético. Disponiendo adecuadamente dichos anillos, se podrá desviar progresivamente el haz de partículas hasta disponerlo en el plano mediano.

20 La solución, tal como se representa en las figuras 4 y 5 y que corresponde a la segunda forma de realización, permite, por la disposición de una serie de imanes en forma de anillo en el centro del ciclotrón, desviar progresivamente el haz procedente del inyector axial según un trayecto formado por el punto central de los anillos sucesivos. Este trayecto está simbolizado por una espiral.

25 Según esta última forma de realización, la solución presentará la ventaja de no exigir la presencia de dispositivos de deflexión, tales como unas bobinas de guiado, corriente arriba de los elementos de inflexión.

30 Un ejemplo de realización permite contemplar la aceleración de partículas H^- en un ciclotrón de 115 MeV para una energía de inyección de 80 kV. El campo magnético en el centro será $B_c = 0,811$ T con una rigidez magnética de 4,15 T.cm. El radio del centro del ciclotrón será de 5,12 cm y el radio de conexión estará comprendido entre 6 y 7 cm.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Ciclotrón (1) destinado a la aceleración de un haz (26) de partículas cargadas que circulan en el plano mediano (10) que se presenta esencialmente en forma de dos polos que inducen un campo magnético y que presenta un inyector (100) denominado axial, es decir, un inyector dispuesto en el exterior del ciclotrón esencialmente según el eje principal (22) del ciclotrón y, por tanto, perpendicularmente al plano mediano de éste y que está combinado con unos medios de inflexión (30 ó 40) que permiten desviar el haz de partículas hasta posicionarlo en el plano mediano, caracterizado porque los medios de inflexión están constituidos por un inflector magnético.
- 10 2. Ciclotrón según la reivindicación 1, caracterizado porque los medios de inflexión dan una componente horizontal o radial al campo magnético a nivel del centro del ciclotrón, permitiendo así guiar el haz de partículas cargadas de manera que se desvíe progresivamente hacia el plano mediano.
- 15 3. Ciclotrón según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque los medios de inflexión están constituidos por unos elementos ferromagnéticos (31 y 33), preferentemente solidarios a los dos polos.
- 20 4. Ciclotrón según la reivindicación 3, caracterizado porque dichos medios de inflexión comprenden un primer elemento en forma de cono (31) y un segundo elemento en forma de anillo (33) que rodea una parte de dicho cono.
- 25 5. Ciclotrón según la reivindicación 4, en el que los ejes de simetría de dichos elementos coinciden con el eje de simetría del ciclotrón.
- 30 6. Ciclotrón según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, caracterizado porque comprende además, corriente arriba de los medios de inflexión, unos elementos de guiado (28) de dicho haz.
7. Ciclotrón según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque los medios de inflexión están constituidos por unos anillos o arandelas (40) ensamblados a partir de elementos individuales que son unos imanes permanentes.
8. Ciclotrón según la reivindicación 7, en el que dichos imanes permanentes están realizados en una aleación tal como una aleación de samario-cobalto o neodimio-hierro-boro.
9. Ciclotrón según la reivindicación 8, en el que dichos medios de inflexión están constituidos por una serie de anillos cuyos puntos centrales definen una trayectoria en forma de hélice espiralizada.

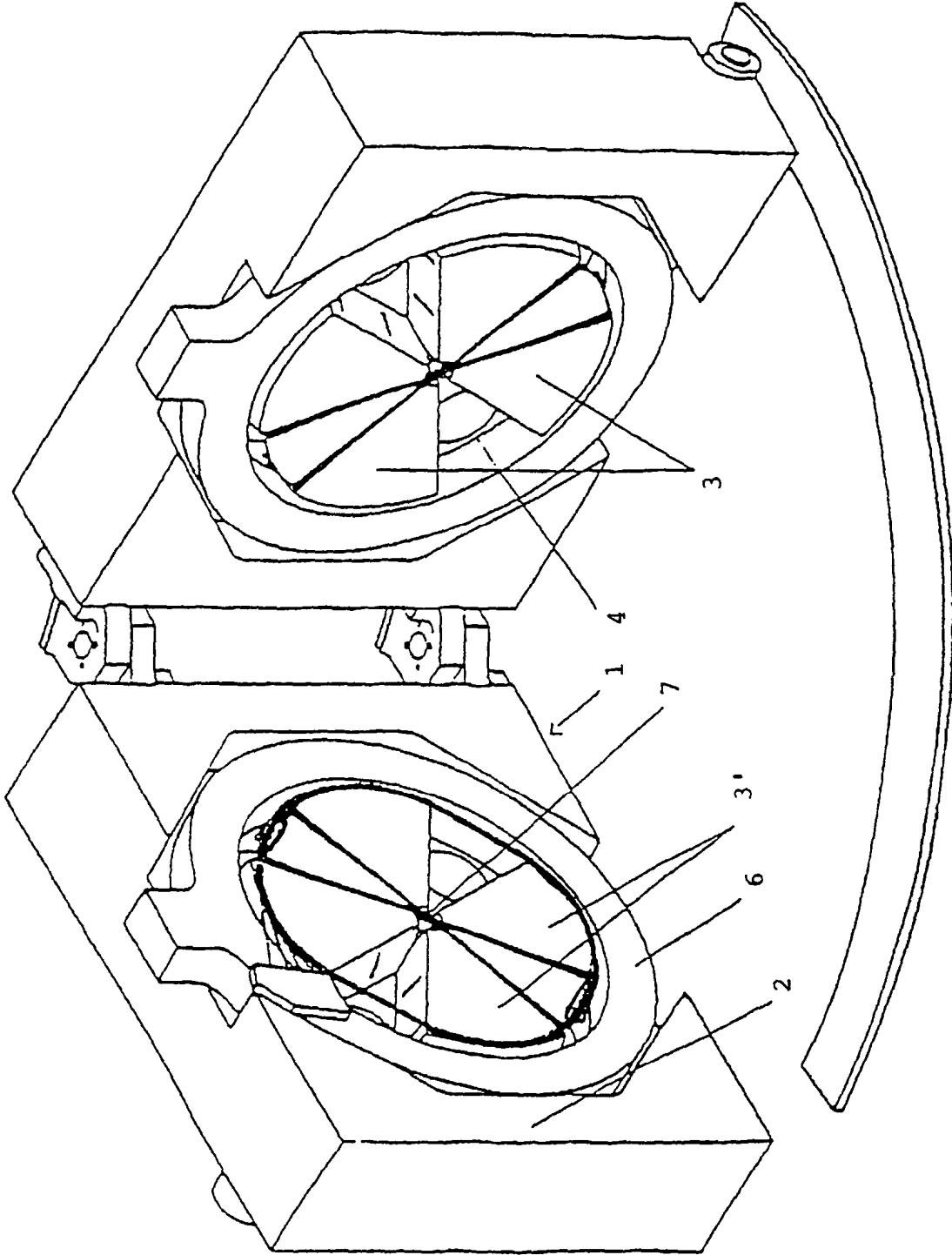


FIG. 1

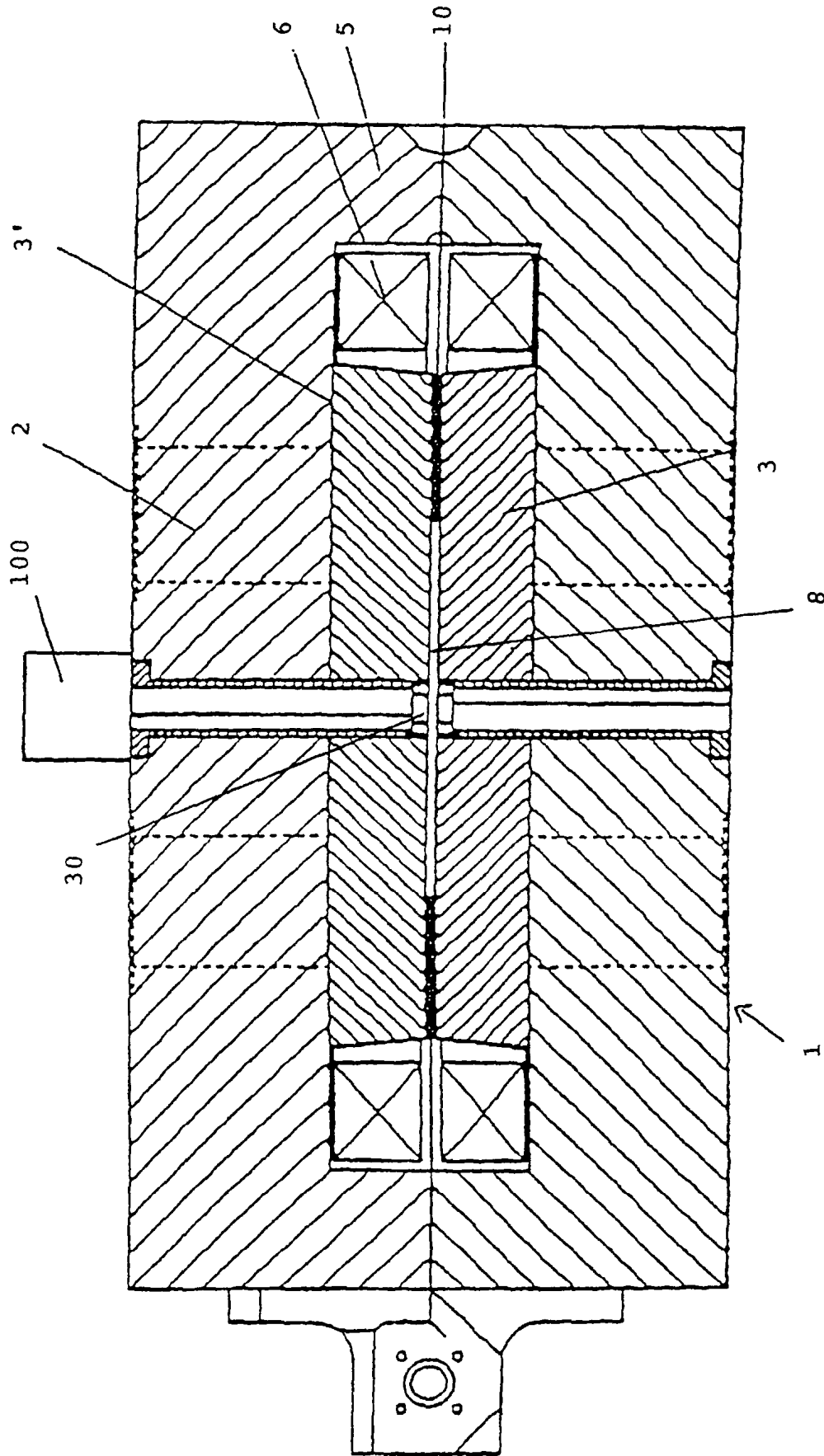


FIG. 2

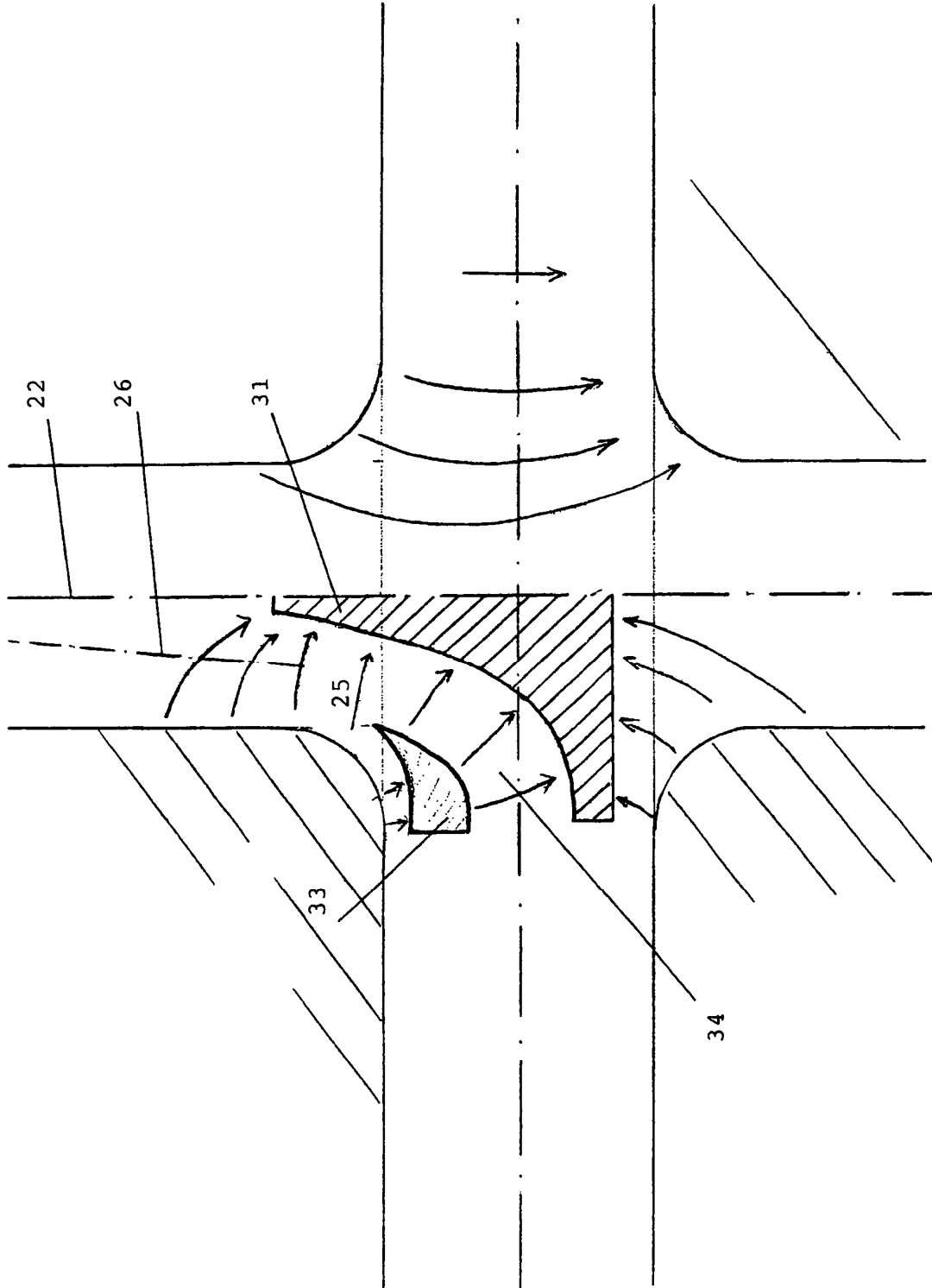


FIG. 3a

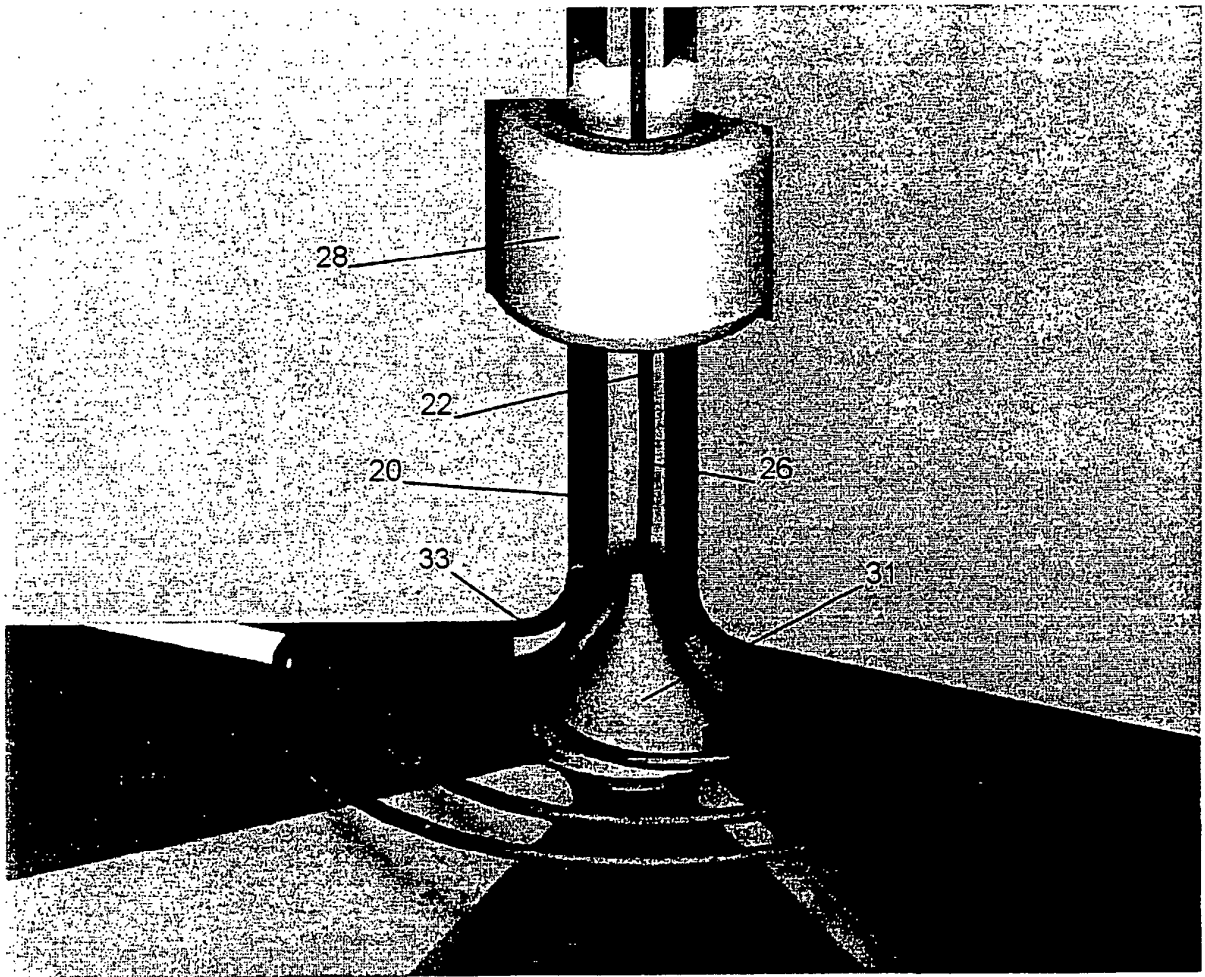


FIG. 3b

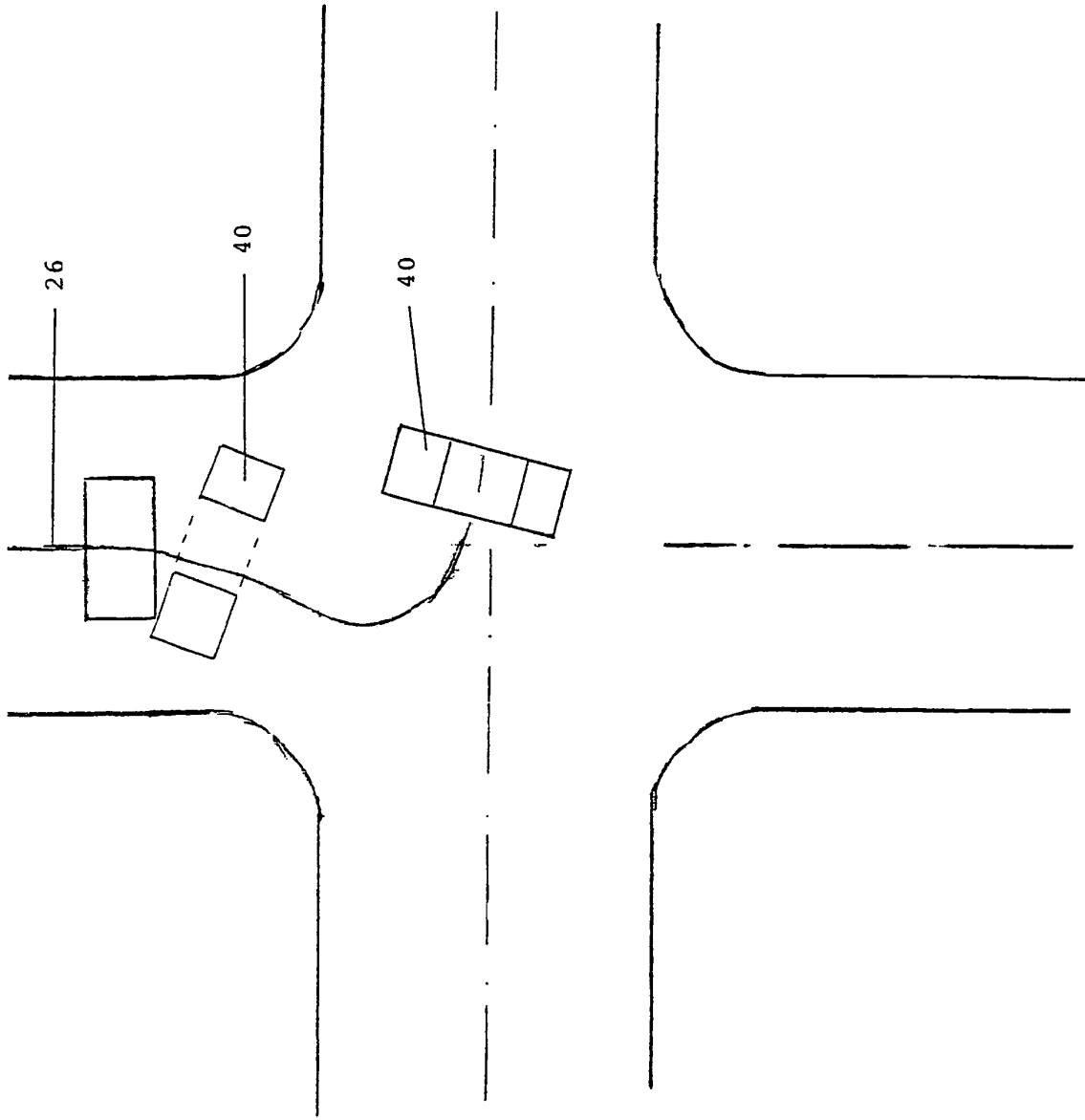


FIG. 4

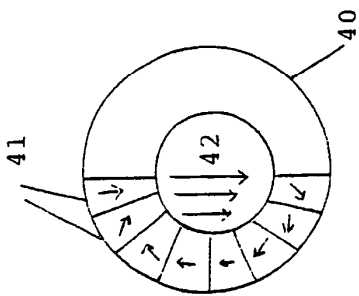


FIG. 5