

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 385 709**

51 Int. Cl.:  
**H05H 7/10**

(2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03776680 .5**

96 Fecha de presentación: **14.11.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1566082**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.08.2005**

54 Título: **Ciclotrón**

30 Prioridad:  
**25.11.2002 EP 02447230**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**30.07.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**30.07.2012**

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

72 Inventor/es:  
**JONGEN, Yves y  
GENIN, Frédéric**

74 Agente/Representante:  
**de Elzaburu Márquez, Alberto**

**ES 2 385 709 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

**Objeto de la invención**

5 La presente invención se refiere a un ciclotrón y a un procedimiento que permiten un ajuste fácil y eficaz de la posición de un haz de partículas cargadas.

**Antecedente tecnológico y estado de la técnica**

Los ciclotrones son aceleradores circulares que permiten acelerar partículas cargadas tales como iones positivos (protones, deutones, heliones, partículas alfa, etc.) o iones negativos (H<sup>-</sup>, D<sup>-</sup>, etc.), que son utilizadas entre otros para la producción de isótopos radioactivos, para la radioterapia, o con fines experimentales.

10 Los primeros ciclotrones comprendían un circuito magnético que estaba constituido simplemente por dos polos simétricos dispuestos a una y otra parte de un plano medio y separados por un entrehierro por el cual circulan las partículas aceleradas. El circuito magnético está completado por retornos de flujo con miras a cerrar el citado circuito y por culatas que sirven de placas de base a los polos. Los polos están rodeados por un par de bobinas de inducción recorridas por una corriente, que genera un campo magnético uniforme y constante apto para confinar las partículas según una trayectoria esencialmente circular o de modo más preciso según una trayectoria en forma de espiral en el plano medio.

15 En una variante mejorada, se han concebido máquinas de variación acimutal de campo. Los polos del electroimán están entonces divididos en sectores que presentan alternativamente un entrehierro reducido y un entrehierro más grande. La variación acimutal del campo que así resulta tiene por efecto asegurar la focalización vertical y horizontal del haz en el transcurso de la aceleración.

Entre los ciclotrones de variación acimutal de campo, conviene distinguir los ciclotrones de tipo compacto, en los que el campo es creado por un par de bobinas circulares principales, y los ciclotrones de sectores separados, en los cuales la estructura magnética está dividida en unidades separadas totalmente autónomas, donde cada par de polos dispone de sus propias bobinas.

25 El documento EP-A-0222786 describe un ejemplo de ciclotrón isócrono compacto.

El documento US-A-3868522 describe un ciclotrón isócrono que utiliza un imán de núcleo de aire superconductor que produce campos magnéticos de gran intensidad en el cual, para facilitar un campo de focalización axial, sectores de hierro con bordes en espiral actúan como polos aeroelásticos situados en el campo magnético de tal modo que la saturación del hierro en los sectores da un campo incrementado entre los sectores y un campo ligeramente disminuido en el exterior.

30 El documento US-A-4639634 describe a su vez un ciclotrón en el que las bobinas de desfocalización vertical están dispuestas a lo largo de una trayectoria circular en la cual está dispuesto el blanco. Las bobinas alargadas y curvadas tienen por efecto destruir la focalización vertical y por consiguiente agrandar el haz antes del impacto con el blanco, con el fin de que este último no quede dañado.

35 Un gran campo de aplicación de los ciclotrones es la utilización de las partículas aceleradas para bombardear blancos con miras a la producción de radioisótopos. A tal fin, se puede extraer el citado haz de partículas aceleradas fuera del ciclotrón. Entre los métodos de extracción, un método conocido es el método de extracción por « stripping ». Las partículas aceleradas son casi siempre iones cargados negativamente constituidos por un núcleo y varios electrones.

40 En la proximidad de la periferia del ciclotrón, el haz es dirigido hacia una lámina delgada, denominada « lámina de stripping », realizada generalmente de carbono. Esta lámina de stripping tiene por efecto arrancar los electrones periféricos de los iones, cambiando así su carga. La curvatura de la trayectoria es entonces invertida, y el haz es conducido hacia el exterior de la máquina, por un orificio practicado en el retorno de flujo del circuito magnético.

45 Otro método conocido de extracción del haz es la autoextracción, por medio de una variación radial brusca del campo de inducción en la periferia del ciclotrón. Este método está descrito en detalle en los documentos WO A-97/14279 y WO-A-01/05199.

Para la aplicación particular de la producción de radioisótopos, el haz de partículas cargadas es dirigido hacia un blanco que contiene al menos un elemento precursor del radioisótopo que hay que producir. En este caso, es particularmente deseable que el haz sea dirigido hacia el centro del blanco.

50 Un elemento limitativo de la productividad de una instalación de producción de radioisótopos es la capacidad del blanco para disipar la potencia térmica que ésta recibe por el haz. Si el citado blanco recibe una intensidad de haz (o corriente) demasiado importante, éste corre el riesgo de ser dañado. Para ciertos tipos de blanco, las intensidades

de irradiación están limitadas a 40  $\mu\text{A}$ , mientras que los ciclotrones en medicina nuclear son capaces de producir haces con intensidades que pueden llegar de 80  $\mu\text{A}$  a 100  $\mu\text{A}$ . Así pues, en este caso concreto no se pueden utilizar plenamente las capacidades de producción del ciclotrón esto debido esencialmente a que no se llega a enfriar suficientemente el blanco.

5 Con el objetivo de aumentar la productividad de una instalación de producción de radioisótopos al tiempo que no se rebase el límite de corriente aceptable para un blanco, se han propuesto instalaciones de doble haz. De acuerdo con una configuración de este tipo, dos láminas de stripping están dispuestas en la periferia del ciclotrón de manera diametralmente opuesta con respecto al eje central de la máquina. El haz es así dividido en dos fracciones sensiblemente iguales. Sin embargo, en razón por ejemplo de un defecto de simetría del ciclotrón, podría ser que uno de los blancos reciba una intensidad de haz esencialmente diferente de la recibida por el otro blanco. Puede ocurrir entonces que uno de los blancos quede dañado por una corriente demasiado importante. Esta situación puede producirse en particular cuando en el transcurso de una larga irradiación, por ejemplo de varias horas, ciertos parámetros de la máquina experimentan entonces una deriva, especialmente tras un calentamiento progresivo de sus elementos.

15 Para resolver este problema, es conocido proponer láminas de stripping desplazables radialmente. Esta solución es utilizada por ejemplo en la máquina Cyclone 30 de la Solicitante. Por un desplazamiento radial de la lámina de stripping hacia el interior o el exterior del ciclotrón, se aumenta o se disminuye la fracción del haz interceptada por la lámina. En una máquina de doble haz, desplazando una de las dos láminas hacia el interior, y la otra hacia el exterior, se puede asegurar una repartición equilibrada de la intensidad del haz que golpea a cada uno de los blancos. Esta solución es sin embargo delicada y costosa, puesto que ésta requiere la instalación de equipos móviles regulables en el seno mismo de la máquina, es decir en la cámara de vacío.

20 El documento EP-A-1069809 propone la utilización de bobinas armónicas con miras a hacer los dos haces de partículas procedentes de una misma instalación de doble haz esencialmente equivalentes, es decir que presenten una intensidad equivalente. De acuerdo con esta solución, se ha propuesto disponer entre los polos del electroimán bobinas armónicas de pequeña dimensión. Dos bobinas son recorridas por corrientes opuestas que producen un aumento del campo magnético en una región del entrehierro, y una disminución del campo magnético en la región del entrehierro diametralmente opuesta. Esta solución permite así regular la intensidad de los haces, pero presenta los inconvenientes siguientes: en particular, las bobinas armónicas deben estar localizadas a nivel de las colinas, donde el entrehierro es más estrecho. Éstas por tanto pueden ser alcanzadas directamente por el haz y de modo más particular en caso de defecto de alineamiento axial del citado haz, lo que implicará infaliblemente una destrucción de las citadas bobinas. Además, estando dispuestas estas bobinas en la cámara de vacío, los conductores que alimentan estas bobinas deben atravesar la pared de la citada cámara por medios que respeten una estanqueidad perfecta, lo que no deja de presentar dificultades.

25 Una tercera solución conocida y ya utilizada por la solicitante está ilustrada en la figura 1. Si se hace variar la tensión alterna de alta frecuencia aplicada a los electrodos de aceleración (los des), se observa la situación siguiente: si se aumenta progresivamente la amplitud de la tensión de alta frecuencia aplicada a los des (Vde), se observa un aumento correspondiente de la intensidad total del haz producido por el ciclotrón, que se explica por el aumento de la eficacia de la fuente de iones con esta tensión. Se observa igualmente, como lo muestra la figura 1, que las intensidades que llegan a cada uno de los blancos oscilan alrededor de un valor medio, y que para ciertos valores precisos de Vde, donde las curvas se cortan, las intensidades son iguales. Basta por tanto elegir la tensión Vde igual a uno de los valores para igualar la intensidad del haz que llega a cada uno de los blancos. Se observan sin embargo casos en los que, a consecuencia de derivas térmicas, o en razón de disimetrías en la construcción del ciclotrón, estas dos curvas no se cortan nunca. Se está entonces en la imposibilidad de equilibrar las corrientes que golpean a los dos blancos por este procedimiento.

#### 45 **Objetivos de la invención**

La presente invención es con miras a proponer un dispositivo y un procedimiento que no presenten los inconvenientes de los dispositivos y procedimientos del estado de la técnica, descritos anteriormente.

50 Un objetivo importante de la invención es proponer un dispositivo y un procedimiento que permitan regular con precisión la intensidad del haz de partículas cargadas aceleradas extraído de un ciclotrón sobre el citado blanco, de manera que se obtenga a nivel del citado blanco el efecto técnico buscado (por ejemplo, la producción de un radioelemento de interés a partir de un elemento precursor contenido en el citado blanco) y esto sin destrucción del blanco, pero al tiempo que se utilicen plenamente las capacidades de producción del ciclotrón.

La presente invención pretende especialmente proponer un dispositivo y un procedimiento que puedan ser utilizados en una instalación de irradiación, y en particular en una instalación con un ciclotrón isócrono compacto, en el cual se busca irradiar simultáneamente al menos dos blancos, es decir para una instalación de irradiación de doble o múltiple haz.

Así pues, la presente invención pretende en particular proponer un dispositivo y un procedimiento que intenten regular e igualar la intensidad de cada uno de los haces recibidos por varios blancos simultáneamente.

### Elementos característicos de la invención

La presente invención se refiere a un ciclotrón apto para producir un haz de partículas cargadas aceleradas destinadas a la irradiación de al menos un blanco, comprendiendo el citado ciclotrón un circuito magnético constituido esencialmente:

- 5 - por un electroimán con al menos dos polos, un polo superior y un polo inferior, estando dispuestos los citados polos de manera simétrica con respecto a un plano medio perpendicular al eje central del ciclotrón, y separados por un entrehierro por el que circulan las partículas cargadas y por retornos de flujo para cerrar el citado circuito magnético;
- por un par de bobinas de inducción principales para crear un campo de inducción principal esencialmente constante en el entrehierro, entre los citados polos,
- 10 - y por medios de centrado del citado haz que comprenden al menos un par de bobinas de compensación alimentadas por una fuente de corriente y aptas para modular la intensidad del campo de inducción principal producido por las citadas bobinas principales con miras a obtener un aumento de la intensidad del campo de inducción en una primera zona del ciclotrón y una disminución de la intensidad del campo de inducción en una segunda zona del ciclotrón diametralmente opuesta con respecto al eje central del ciclotrón.
- 15 De acuerdo con la invención, las citadas bobinas de compensación rodean porciones de los retornos de flujo dispuestos de manera diametralmente opuesta con respecto al eje central del ciclotrón.

La presente invención se refiere igualmente a un procedimiento de centrado de un haz extraído de un ciclotrón sobre un blanco, comprendiendo el citado ciclotrón un circuito magnético constituido esencialmente por:

- 20 - un electroimán con al menos dos polos, un polo superior y un polo inferior, estando dispuestos los citados polos de manera simétrica con respecto a un plano medio perpendicular al eje central del ciclotrón y separados por un entrehierro por el que circulan las partículas cargadas y por retornos de flujo para cerrar el citado circuito magnético;
- un par de bobinas de inducción principales para crear un campo de inducción principal esencialmente constante en el entrehierro, entre los citados polos.

El citado procedimiento está caracterizado por la sucesión de las etapas siguientes:

- 25 - se provee al ciclotrón con al menos un par de bobinas de compensación dispuestas de manera que rodeen porciones diametralmente opuestas de los retornos de flujo con respecto al eje central del ciclotrón;
- se alimenta el par de bobinas principales de manera que se cree un campo magnético esencialmente constante en el entrehierro del ciclotrón,
- 30 - se alimentan las bobinas de compensación por intermedio de una fuente de corriente de manera que aumente la intensidad del campo de inducción en una primera zona del ciclotrón y disminuya la intensidad del campo de inducción en una segunda zona situada de manera diametralmente opuesta con respecto al eje central del ciclotrón.
- Preferentemente, en el citado procedimiento, se regula o ajusta la intensidad de corriente de la fuente de corriente con el fin de optimizar la intensidad del haz que golpea al blanco.

Ventajosamente, en el citado procedimiento:

- 35 - se mide la intensidad de corriente de haz a nivel del citado blanco con la ayuda de un detector,
- se transmite esta medición a un regulador, y
- en función de esta medición, se regula o ajusta la intensidad de corriente en las bobinas de compensación por intermedio de un ajuste de la corriente de la alimentación.

- 40 La presente invención se refiere igualmente a la utilización del procedimiento y del dispositivo para la producción de radioisótopos de uso médico a partir de un blanco que comprende un precursor del citado radioisótopo.

Ventajosamente, el procedimiento y el dispositivo se utilizan para una instalación de doble o múltiple haz según la cual se equilibra la intensidad de la fracción del haz que golpea a cada uno de los citados blancos.

### Breve descripción de las figuras

- 45 La figura 1 representa la intensidad del haz que golpea a cada uno de los dos blancos de un ciclotrón de doble haz, en función de la tensión alterna de alta frecuencia aplicada a los des.

La figura 2 representa una vista de un ciclotrón de acuerdo con la invención correspondiente a una vista desde arriba según un corte en el plano medio del ciclotrón.

La figura 3 representa una vista del ciclotrón de la figura 2, vista en perspectiva complementaria de la vista de la figura 2.

La figura 4 representa un esquema de un bucle de regulación que pone en práctica el procedimiento de acuerdo con la presente invención.

## 5 Descripción detallada de una forma de ejecución particular de la invención

Las figuras 2, 3 y 4 muestran un ciclotrón isócrono compacto utilizado en el marco de una forma de ejecución preferida de la presente invención. Este ciclotrón comprende clásicamente varios subsistemas:

a – un circuito magnético,

b – un dispositivo de aceleración RF,

10 c – una cámara de vacío,

d – medios de inyección de las partículas cargadas,

e – medios de extracción de las partículas cargadas aceleradas.

15 El circuito magnético está constituido esencialmente por un electroimán que se presenta en forma de dos polos, un polo superior 1 (no representado en las figs. 2 y 3) y un polo inferior 1', dispuestos simétricamente con respecto a un plano medio 110 perpendicular al eje central 100 del ciclotrón. Estos polos 1, 1' tienen esencialmente una forma cilíndrica y están separados por un entrehierro 120.

Por otra parte, el circuito magnético está completado por retornos de flujo 2 que cierran el circuito.

20 De acuerdo con la forma de ejecución particular representada en las figuras, los dos polos superior 1 e inferior 1' del electroimán comprenden (están divididos en) cada uno varios sectores con miras a crear alternativamente colinas, es decir sectores en los que el entrehierro es estrecho, indicados por las referencias S1, S2, S3, S4 y por valles, es decir sectores en los que el entrehierro es importante, indicados por las referencias V1, V2, V3, V4.

Ventajosamente, en los retornos de flujo 2 están localizadas aberturas 10. Estas aberturas 10 pueden ventajosamente liberar el paso a una o varias líneas de haz, o alojar en su volumen a uno o varios blancos que se pueden utilizar simultánea o separadamente.

25 Además, un par de bobinas solenoides 5, 5' están enrolladas alrededor de los citados polos 1, 1'. El citado par de bobinas 5, 5' es denominado « par de bobinas principales de inducción » y es apto para generar un campo magnético constante denominado « campo magnético principal ».

30 De acuerdo con la invención, el ciclotrón comprende igualmente dos bobinas adicionales, denominadas « bobina de recentrado » o « bobina de compensación » 6, 7. Estas bobinas 6, 7 rodean porciones de los retornos de flujo 2 y están dispuestas de manera diametralmente opuesta con respecto al eje central 100. Estas bobinas, que están cableadas en serie, son alimentadas de corriente continua por una fuente de tipo 8 C.C. cuya intensidad es regulable. Cada bobina de compensación 6, 7 es así capaz de modificar localmente el campo magnético.

35 De modo más preciso, estas dos bobinas de compensación 6, 7 están dispuestas de tal manera que, en su proximidad, una de estas bobinas 6 aumenta el campo principal creado por las bobinas principales 5, 5' mientras que la otra bobina 7 disminuye, en su proximidad, el campo principal creado por las bobinas principales 5, 5'.

40 En otras palabras, de acuerdo con la invención, gracias a la utilización de las bobinas de compensación 6, 7, se obtiene localmente un aumento del campo de inducción magnética resultante a nivel de una zona A situada a nivel de los sectores S1 y S2. Paralelamente, se obtiene una disminución del campo de inducción magnética resultante a nivel de una zona B situada a nivel de los sectores S3 y S4. Sin embargo, no obstante el campo medio que se ejerce sobre una partícula en el transcurso de una vuelta en la máquina, definido como la media de los campos de inducción creados en el conjunto del recorrido de una partícula cargada, no se altera sensiblemente.

45 El aumento de la intensidad del campo resultante en los sectores colindantes S1 y S2 (zona A) tiene por efecto reducir el radio de curvatura de las trayectorias de las partículas en estos sectores. Inversamente, la disminución del campo en los sectores opuestos S3 y S4 (zona B) tiene por efecto aumentar aquí el radio de curvatura de las trayectorias de las partículas. Resulta así un desplazamiento de las trayectorias de las partículas. Las trayectorias permanecen sensiblemente circulares, pero no están centradas en el eje central del ciclotrón, sino ligeramente descentradas hacia la parte inferior de la figura 2.

50 Por otra parte, se observará que aunque puedan ser practicadas aberturas suplementarias en los retornos de flujo 2 para hacer pasar las espiras de las bobinas de compensación 6, 7, es posible y fácil hacer pasar éstas por las aberturas 10 existentes previstas para la instalación de los objetivos.

5 Además, el ciclotrón comprende como medios de extracción láminas de stripping (o strippers) 3, 4. Ventajosamente, estas láminas están realizadas de carbono y tienen la función de arrancar los electrones periféricos de los iones, cambiando así su carga. En este caso, la curvatura de la trayectoria de los citados iones es así invertida y el haz de partículas es conducido al exterior del ciclotrón por una abertura practicada en el elemento de retorno del flujo del circuito magnético. La primera lámina 3 está dispuesta en la bisectriz S del polo, la segunda lámina 4 a 11° aguas arriba de esta primera. Cada uno de estos strippers 3, 4 puede ser puesto en servicio o en posición de retirada por medio de un dispositivo motorizado.

10 El desplazamiento de las trayectorias de las partículas aceleradas tendrá por efecto, por una parte, aumentar la fracción del haz que golpea a los strippers situados a nivel de los sectores S1 y S4 y, por otra, disminuir la fracción del haz que golpea a los strippers situados a nivel de los sectores S2 y S3. Invertiendo el sentido de la corriente en las bobinas de compensación 6, 7, se obtendrá naturalmente el efecto inverso, a saber un aumento de la fracción del haz que golpea a los strippers situados a nivel de los sectores S2 y S3, y una disminución de la fracción del haz que golpea a los strippers situados a nivel de los sectores S1 y S4.

15 La Solicitante ha experimentado una solución práctica según la cual las bobinas de compensación 6, 7 que comprenden cada una 60 espiras son alimentadas por una fuente 8 de corriente continua capaz de facilitar una intensidad de 20 A, que convenía para la regulación de un ciclotrón industrial.

20 La figura 4 describe en detalle un esquema que representa un bucle de regulación de un ciclotrón que pone en práctica el procedimiento de acuerdo con la presente invención. En esta figura, se prevé un regulador 20 clásico de tipo conocido que puede ajustar la intensidad de la corriente en las bobinas de compensación 6, 7 por intermedio de la variación de la corriente de alimentación de la fuente 8 en función de las intensidades de haz medidas por detectores 210 a nivel de los blancos 200.

25 Ajustando la intensidad de la corriente facilitada por la fuente 8 y que atraviesa a las bobinas de compensación 6, 7, se ajusta así de manera fina y flexible la intensidad de la corriente de haz que golpea a cada uno de los blancos 200. Una corriente en sentido opuesto puede ser inyectada por la fuente 8 en las bobinas de compensación 6, 7 si una corrección en sentido opuesto es necesaria. Se optimiza así la intensidad total que golpea al o a los blancos. En el caso de una instalación de doble haz, se puede así regular la corriente de las bobinas de compensación para que cada uno de los blancos reciba la misma intensidad de haz.

30 En conclusión, el dispositivo de acuerdo con la invención es particularmente simple de poner en práctica. Éste puede ser instalado fácilmente en una máquina existente, sin intervención mayor sobre el circuito magnético, y sin intervención en el interior de la cámara de vacío, lo que constituye una ventaja con respecto, por ejemplo, a la utilización de bobinas armónicas colocadas en el entrehierro de las colinas tales como las descritas en el estado de la técnica.

35 Se indicará que la invención no debe ser comprendida como estando limitada al ejemplo de realización descrito anteriormente, sino que se refiere a otras variantes y aplicaciones. En particular, la invención no está limitada a una aplicación a las instalaciones de doble haz, sino que puede aplicarse a las instalaciones de haz simple o múltiple, por ejemplo cuádruplo. La invención se aplica igualmente a la utilización de más de dos bobinas de recentrado, por ejemplo cuatro bobinas de recentrado, dispuestas a 90°, y que da la posibilidad de recentrar el haz en todas las direcciones o de cambiar la forma de las trayectorias. Ésta puede aplicarse a un ciclotrón superconductor o a un ciclotrón resistivo.

40

**REIVINDICACIONES**

1. Ciclotrón apto para producir un haz de partículas cargadas aceleradas destinadas a la irradiación de al menos un blanco (200), comprendiendo el citado ciclotrón un circuito magnético constituido esencialmente:

5 - por un electroimán con al menos dos polos (1, 1'), un polo superior (1) y un polo inferior (1'), estando dispuestos los citados polos de manera simétrica con respecto a un plano medio (110) perpendicular al eje central (100) del ciclotrón, y separados por un entrehierro (120) por el que circulan las partículas cargadas y por retornos de flujo (2) para cerrar el citado circuito magnético;

- por un par de bobinas de inducción principales (5, 5') para crear un campo de inducción principal esencialmente constante en el entrehierro, entre los citados polos 1 y 1',

10 - y por medios de centrado del citado haz que comprenden al menos un par de bobinas de compensación (6, 7) alimentadas por una fuente de corriente (8) y aptas para modular la intensidad del campo de inducción principal producido por las citadas bobinas principales (5, 5') con miras a obtener un aumento de la intensidad del campo de inducción en una primera zona del ciclotrón y una disminución de la intensidad del campo de inducción en una segunda zona del ciclotrón diametralmente opuesta con respecto al eje central (100) del ciclotrón,

caracterizado porque las bobinas de compensación (6, 7) rodean porciones de retornos de flujo (2) dispuestas de manera diametralmente opuesta con respecto al eje central (100) del ciclotrón.

2. Procedimiento de centrado de un haz extraído de un ciclotrón sobre un blanco, comprendiendo el citado ciclotrón un circuito magnético constituido esencialmente por:

20 - un electroimán con al menos dos polos (1, 1'), un polo superior (1) y un polo inferior (1'), estando dispuestos los citados polos de manera simétrica con respecto a un plano medio (110) perpendicular al eje central (100) del ciclotrón, y separados por un entrehierro (120) por el que circulan las partículas cargadas y por retornos de flujo (2) para cerrar el citado circuito magnético;

25 - un par de bobinas de inducción principales (5, 5') para crear un campo de inducción principal esencialmente constante en el entrehierro (120), entre los citados polos (1, 1'),

caracterizado porque:

- se provee al ciclotrón con al menos un par de bobinas de compensación (6, 7) dispuestas de manera que rodean porciones diametralmente opuestas de los retornos de flujo (2) con respecto al eje central del ciclotrón;

30 - se alimenta el par de bobinas principales (5, 5') de manera que se cree un campo magnético esencialmente constante en el entrehierro (120) del ciclotrón,

35 - se alimentan las bobinas de compensación (6, 7) por intermedio de una fuente de corriente (8) de manera que aumente la intensidad del campo de inducción en una primera zona del ciclotrón y disminuya la intensidad del campo de inducción en una segunda zona situada de manera diametralmente opuesta con respecto al eje central (100) del ciclotrón.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque se regula o ajusta la intensidad de corriente de la fuente de corriente (8) con el fin de optimizar la intensidad del haz que golpea al blanco (200).

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado porque:

- se mide la intensidad de corriente de haz a nivel del citado blanco (200) con la ayuda de un detector (210),

40 - se transmite esta medición a un regulador, y

- en función de esta medición, se regula o ajusta la intensidad de corriente en las bobinas de compensación (6, 7) por intermedio de un ajuste de la corriente de la alimentación (8).

45 5. Utilización del procedimiento y del dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes para la producción de radioisótopos de uso médico a partir de un blanco que comprende un precursor del citado radioisótopo.

6. Utilización del procedimiento y del dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 para una instalación de doble o múltiple haz según la cual se equilibra la intensidad de la fracción del haz que golpea a cada uno de los citados blancos.

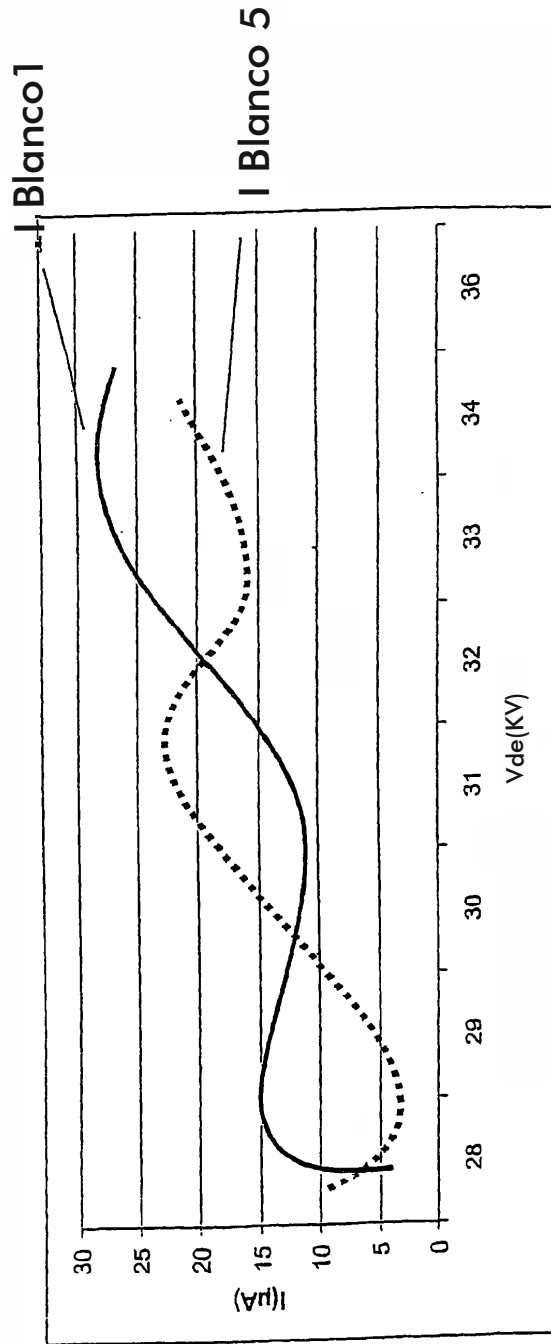


Fig.1



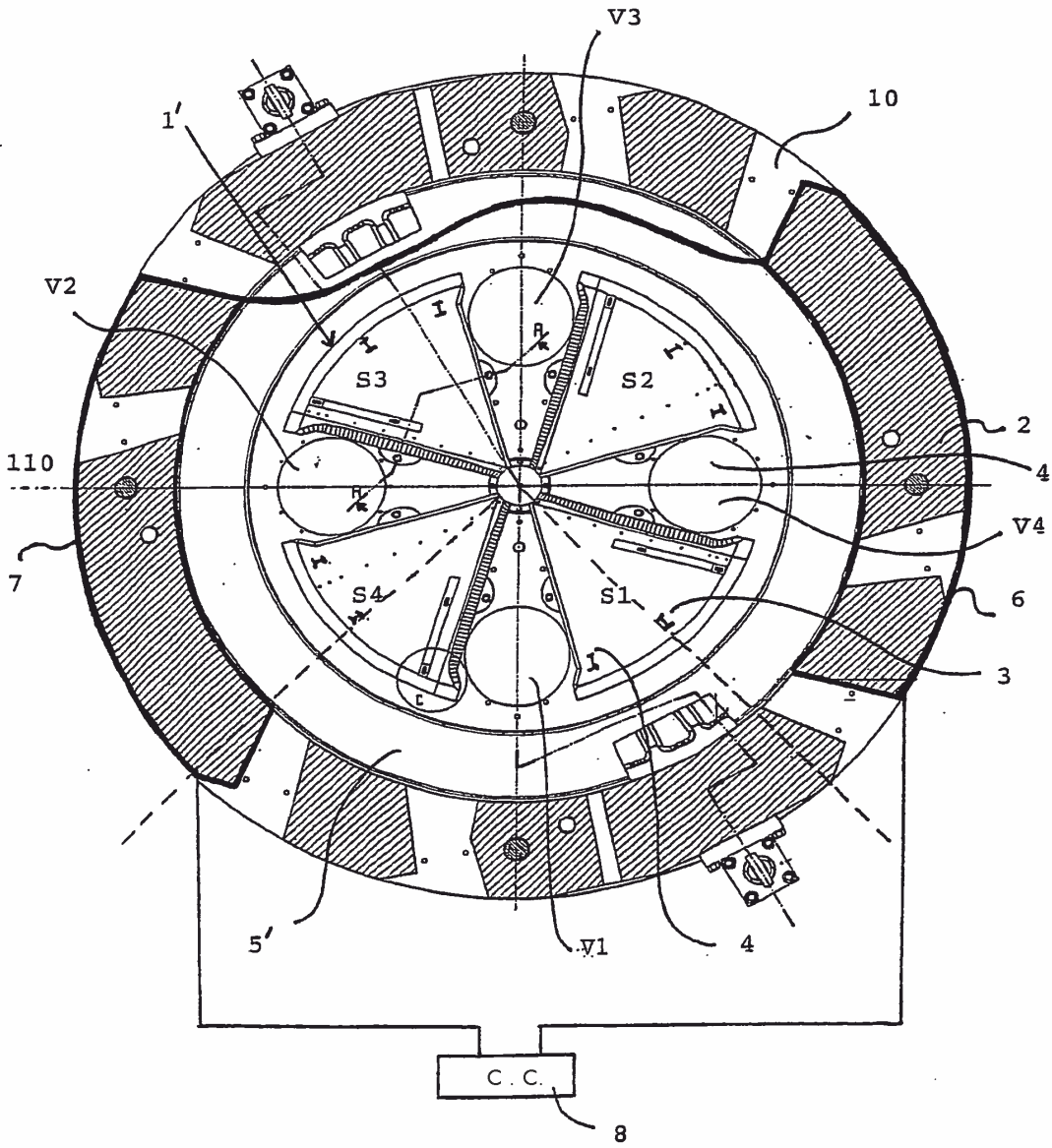


FIG. 2

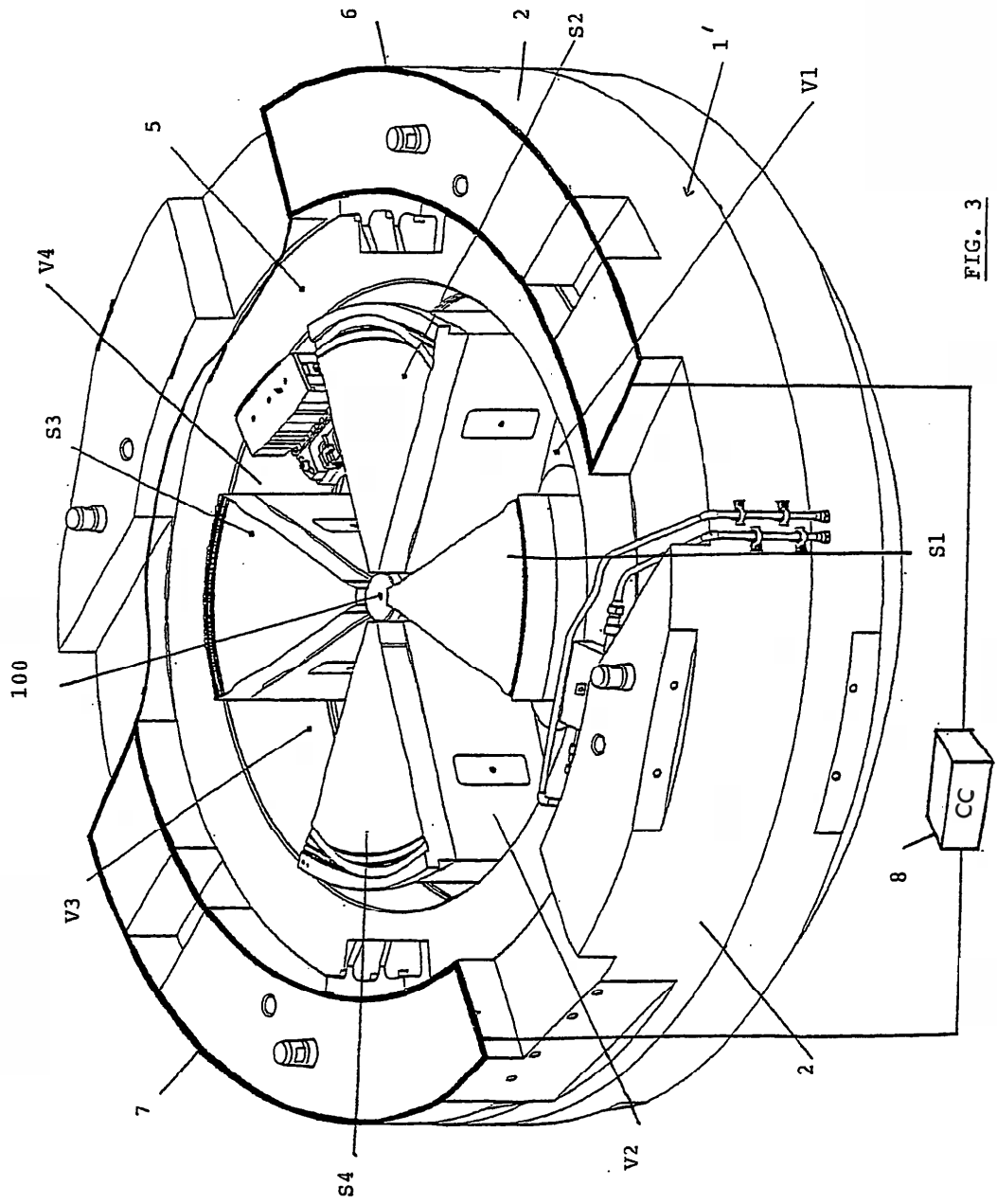


FIG. 3

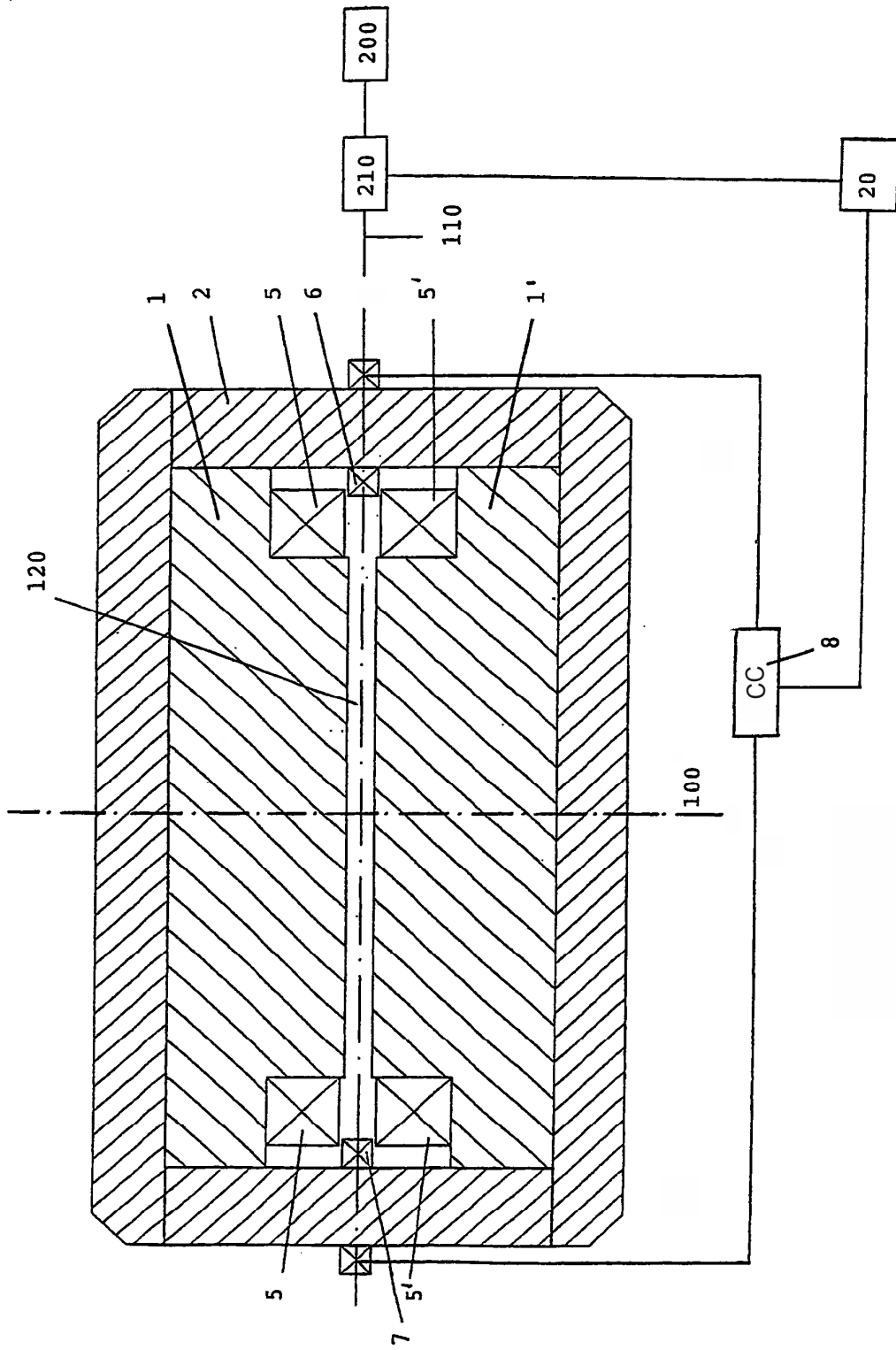


FIG. 4